



FILOZOFSKI FAKULTET

MILENA RADULOVIĆ

**ANALIZA REŽIMA PROTICAJA RIJEKE MORAČE U
KONTEKSTU SAVREMENIH KLIMATSKIH PROMJENA**

MASTER RAD

NIKŠIĆ, 2024.



FILOZOFSKI FAKULTET

Studijski program: Geografija

**ANALIZA REŽIMA PROTICAJA RIJEKE MORAČE U
KONTEKSTU SAVREMENIH KLIMATSKIH PROMJENA**

MASTER RAD

Mentor:

Prof. dr Dragan Burić

Kandidat, br indeksa:

Milena Radulović, 3/21

Nikšić, 2024.

PODACI I INFORMACIJE O STUDENTU:

Ime i prezime: Milena Radulović

Datum i mjesto rođenja: 26. 07. 1999. god., Podgorica

Naziv završenog osnovnog studijskog programa i godina završetka studija: Geografija, 2021.

INFORMACIJE O MASTER RADU:

Naziv master studija: Geografija

Naslov rada: *Analiza režima proticaja rijeke Morače u kontekstu savremenih klimatskih promjena*

Fakultet na kojem je rad odbranjen: Filozofski fakultet – Nikšić, Univerzitet Crne Gore

UDK, OCJENA I ODBRANA MASTER RADA:

Datum sjednice Vijeća na kojoj je prihvaćena tema: 04. 04. 2023. god.

Datum sjednice Odbora za monitoring master studija na kojoj je dato mišljenje za prijavu master rada: 02. 06. 2023. god.

Mentor: Prof. dr Dragan Burić

Komisija za ocjenu/odbranu rada:

1. Prof. dr Dragan Burić, mentor
2. Prof. dr Miroslav Doderović
3. Dr Jovan Mihajlović

Lektor: Isidora Jovović

Datum odbrane master rada:

ETIČKA IZJAVA

(u skladu sa članom 22. Zakona o akademskom integritetu i članom 18. Pravila studiranja na master studijama)

Potpisana: Milena Radulović

Broj indeksa: 3/21

Izjavljujem

pod krivičnom i materijalnom odgovornošću da je master rad pod naslovom:
„Analiza režima proticaja rijeke Morače u kontekstu savremenih klimatskih promjena“

moje originalno djelo.

U Nikšiću,

Svojeručni potpis

PREDGOVOR

U fokusu ovog master rada je analiza režima proticaja rijeke Morače u kontekstu savremenih klimatskih promjena. Uticaj savremenih klimatskih promjena se osjeća na režim mnogih rijeka.

Ovaj master rad pokazuje šta se dešava sa rijekom Moračom u periodu od 1951. do 2010. godine, kakav je režim velikih i malih voda, specifični oticaj, vodni bilans itd. Kroz analizu vodnosti rijeke Morače svrha je ukazati na značaj istraživanja rijeka, jer su vodotoci prirodno dobro za sva vremena. Kako su rijeke proizvod klime, tako nema sumnje da će savremene klimatske promjene imati uticaja na elemente vodnog režima, prije svega na količinu vode koja otiče rijekama (proticaj).

Posebnu zahvalnost dugujem svom mentoru i dugogodišnjem prof. dr Draganu Buriću na izdvojenom vremenu, pomoći i savjetovanju prilikom izrade master rada.

SAŽETAK RADA

Master rad ima za cilj da analizira režim proticaja rijeke Morače u kontekstu savremenih klimatskih promjena. Rijeka Morača je autohtona rijeka Crne Gore, jer cijelim svojim tokom prolazi kroz našu državu. Gotovo cijelo slivno područje rijeke Morače pripada Crnoj Gori (oko 93%) i upravo je ona njen najznačajniji vodotok.

Crna Gora spada u 4% svjetske teritorije sa najvećim specifičnim oticajem. Imajući pri tome u vidu da se čak 95,3% vodotoka formira na teritoriji Crne Gore, s pravom možemo reći da je voda naš najveći prirodni resurs.

Za potrebe analiziranja korišćeni su podaci sa hidrološke stanice Podgorica, koja je locirana u gradu i nizvodno od ušća rijeke Zete u Moraču. Analiziran je period od 60 godina (1951–2010). Svi proračuni su urađeni na sezonskom, mjesečnom i godišnjem nivou. U metodološkom smislu, osim analize i sinteze, istraživanje je realizovano primjenom sljedećih metoda:

- Metodom aritmetičke sredine prikazane su prosječne vrijednosti proticaja Morače na posmatranom profilu.
- Trend komponenta pokazaće opšti pravac kretanja proticaja rijeke Morače u analiziranom 60-godišnjem periodu (1951–2010).
- Metodom normalizovanih anomalija i usvojenih klasa, izdvojene su čestine velikih i malih voda.
- Metod diferencija pokazaće promjene prosječnih proticaja za dva istodobna 30-godišnja perioda (1951–1980 i 1981–2010).

Na osnovu dobijenih rezultata zaključujemo sljedeće:

- Najmanji prosječni proticaj registruje se u avgustu, a najveći u decembru.
- Standardizovana odstupanja (SD) su pokazala da je najveće prosječno kolebanje proticaja Morače u decembru, a najmanje u avgustu.
- U posmatranom 60-godišnjem periodu (1951–2010) srednje mjesečni proticaji češće su bili ispod prosjeka, ali ne zabrinjavajuće ispod prosjeka, jer nije bilo vrlo malih i ekstremno malih voda.
- U periodu od 1951 do 2010. godine najmanji i najveći srednji mjesečni proticaj registrovan je u decembru.
- Na mjesečnom nivou septembar, oktobar i decembar registruju pozitivne vrijednosti trenda, ali beznačajno. U svim ostalim mjesecima proticaj Morače se smanjuje.
- Najmanji srednji mjesečni oticaj registrovan je u avgustu.
- Prosječna godišnja količina padavina u posmatranom periodu iznosi 2494l/m². Visina oticaja iznosi 1929,3mm, a ispari 564,7mm.
- Nema nikakve dileme da je smanjenje padavina i porast temperature u periodu 1951–2010. godine uticalo na proticaj rijeke Morače.

Ključne riječi: *rijeka Morača, režim proticaja, savremene klimatske promjene, padavine, temperatura*

ABSTRACT

The Master thesis aims to analyze the flow regime of the Morača River in the context of contemporary climate changes. The Morača River is an autochthonous river of Montenegro because it passes through our country throughout its whole course. The entire catchment area of the Morača River belongs to Montenegro (about 93%) and it is precisely its most important watercourse.

Montenegro belongs to 4% of the world's territory with the highest specific outflow. Bearing in mind that as much as 95.3% of watercourses are formed on the territory of Montenegro, we can rightly say that water is our greatest natural resource.

Data from the hydrological station Podgorica, which is located in the city and downstream from the mouth of the Zeta River in Morača, were used for the analysis. A period of 60 years (1951–2010) was analyzed. All calculations were made on a seasonal, monthly, and annual level. In terms of methodology, apart from analysis and synthesis, the research was carried out using the following methods:

- The average values of the Morača flow on the observed profile are shown using the arithmetic mean method.
- The trend component will show the general direction of the flow of the Morača River in the analyzed 60-year period (1951–2010).
- Using the method of normalized anomalies and adopted classes, parts of large and small waters were separated.
- The difference method will show changes in average flows for two simultaneous 30-year periods (1951–1980 and 1981–2010).

Based on the obtained results, we conclude the following:

- The lowest average flow is registered in August and the highest in December.
- Standardized deviations (SD) showed that the highest average fluctuation of the Morača flow is in December and the least in August.
- In the observed 60-year period (1951–2010), mean monthly flows were more often below average, but not worryingly below average, because there were no very small or extremely small waters.
- In the period from 1951 to 2010, the lowest and highest average monthly flow was registered in December.
- At the monthly level, September, October, and December register positive trend values, but insignificantly. In all other months, the Morača flow decreases.
- The lowest average monthly runoff was registered in August.
- The average annual amount of precipitation in the observed period is 2494l/m². The outflow height is 1929.3 mm, and the evaporation height is 564.7 mm.
- There is no doubt that the decrease in precipitation and increase in temperature in the period 1951–2010. affected the flow of the Morača River.

Keywords: *Morača river, flow regime, contemporary climate changes, precipitation, temperature*

SADRŽAJ

1. UVOD	13
1.1. Hipoteze istraživanja	14
1.2. Predmet istraživanja	14
1.3. Motiv i cilj istraživanja	15
2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA.....	16
3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA.....	18
3.1. Geografski položaj sliva rijeke Morače	18
3.2. Fizičko-geografske karakteristike slivnog područja	20
3.3. Geologija sliva.....	22
3.4. Reljef slivnog područja	23
3.5. Klimatske karakteristike.....	25
3.6. Riječni sistem Morače.....	27
4. BAZA PODATAKA I METODI ISTRAŽIVANJA	29
5. REZULTATI I DISKUSIJA REZULTATA ISTRAŽIVANJA	32
5.1. Godišnji režim srednjih voda	32
5.2. Srednje velike i srednje male vode Morače na profilu HS Podgorica	36
5.3. Trend proticaja Morače na profilu HS Podgorica	43
5.4. Specifični oticaj u slivu rijeke Morače do profila HS Podgorica.....	48
5.5. Vodni bilans sliva rijeke Morače do profila HS Podgorica	52
5.6. Statistička značajnost razlike proticaja perioda: 1951–1980. i 1981–2010.	54
6. ZAKLJUČAK.....	59
LITERATURA	63

SPISAK SLIKA

Slika 1 <i>Rijeka Morača</i> (https://www.cue-podgorica.com/moraca-river-the-heartbeat-of-podgorica/).....	19
Slika 2 <i>Kanjon rijeke Morače</i> (https://www.discover-montenegro.com/moraca-canyon/)	21
Slika 3 <i>Rijeke Jadranskog sliva</i> (https://www.dinarskogorje.com/rijeke-jadranskoga-slivasljeva.html)	28
Slika 4 <i>Lokacija HS Podgorica na Morači</i> (autor: Ivan Mijanović)	29
Slika 5 <i>Srednje mjesečne vrijednosti proticaja (Q) Morače na HS Podgorica i padavina (R) i temperature vazduha (T) na meteorološkoj stanici Podgorica za period 1951–2010.</i>	33
Slika 6 <i>Prosječne vrijednosti standardne devijacije (SD), koeficijenta varijacije (Cv) i koeficijenta asimetrije (Cs) proticaja rijeke Morače na HS Podgorica, period 1951–2010.</i>	35
Slika 7 <i>Srednji godišnji proticaji rijeke Morače na HS Podgorica (1951–2010)</i>	42
Slika 8 <i>Trend srednjih mjesečnih proticaja Morače na profilu HS Podgorica (1951–2010)</i>	46
Slika 9 <i>Trend srednjih sezonskih proticaja Morače na profilu HS Podgorica (1951–2010)</i>	47
Slika 10 <i>Trend srednjih godišnjih proticaja Morače na profilu HS Podgorica (1951–2010)</i>	48
Slika 11 <i>Prosječne vrijednosti specifičnog oticaja u slivu rijeke Morače do profila HS Podgorica za period 1951–2010.</i>	49
Slika 12 <i>Trend specifičnog oticaja rijeke Morače na profilu HS Podgorica za period 1961–2010.</i>	51

SPISAK TABELA

Tabela 1 Rangiranje vodotoka prema vrijednostima koeficijenta varijacije – Cv.	34
Tabela 2 Srednja vrijednost parametara proticaja rijeke Morače na HS Podgorica za period 1951–2010: proticaj (Q), standardna devijacija (SD), koeficijent varijacije (Cv) i koeficijent asimetrije (Cs).	36
Tabela 3 Kategorizacija srednjih mjesečnih proticaja na osnovu normalizovanih odstupanja – rijeka Morača na profilu HS Podgorica, period 1951–2010.	39
Tabela 4 Normalizovana odstupanja srednjih sezonskih i godišnjih proticaja – Morača na profilu HS Podgorica, 1951–2010.	41
Tabela 5 Najveći i najmanji srednji proticaji Morače na profilu HS Podgorica za period 1951–2010.	43
Tabela 6 Trend srednjih proticaja rijeke Morače na profilu HS Podgorica za period 1951–2010.	44
Tabela 7 Komponente vodnog bilansa sliva Morače do profila HS Podgorica (1951–2010)	53
Tabela 8 Razlika u količini padavina i temperaturi vazduha u Podgorici između dva 30-godišnja perioda: 1951–1980. i 1981–2010.	55
Tabela 9 Razlika između prosječnih vrijednosti proticaja rijeke Morače na profilu HS Podgorica dva 30-godišnja perioda: 1951–1980. ($\bar{x}_1$) i 1981–2010. ($\bar{x}_2$)	57

1. UVOD

Crna Gora spada u red najbogatijih država Evrope sa atmosferskom vodom. Zahvaljujući velikim količinama padavina, formirani su brojni vodotoci, koji su, zbog konfiguracije terena, uglavnom kraćih dužina. S obzirom na to da je značajan dio terena Crne Gore izgrađen od krečnjačkih stijena, atmosferska voda ponire i teče podzemnim putem. To znači da, naročito u jugozapadnom dijelu države, postoji veliko bogatstvo podzemnih voda. Veliko bogatstvo podzemnih voda i činjenica da su gotovo sve rijeke autohtone, odnosno formirane unutar državnih granica, s pravom se može reći da su površinske i podzemne vode osnovni prirodni resurs Crne Gore.

Gustina riječne mreže Crne Gore nije u skladu sa velikom količinom padavina zbog toga što je većina teritorije Crne Gore izgrađena od vodopropustljivih stijena. Od vodopropustljivih stijena izgrađen je najviše sjeveroistočni dio Crne Gore i upravo tu je riječna mreža i najgušća. Jadranskom i Crnomorskom slivu pripadaju rijeke Crne Gore. Jadranskom slivu pripadaju Morača, Zeta, Rijeka Crnojevića i rijeka Bojana. Ovi vodotoci se najprije ulivaju u Skadarsko jezero, a potom rijekom Bojanom teku prema Jadranskom moru. Rijeke Jadranskog sliva imaju neke karakteristike po kojima su i poznate: krašku hidrografiju, odvodnjavanje glavnih rijeka preko Skadarskog jezera, takođe i odvodnjavanje preko teritorija susjednih zemalja. Što se tiče rijeka Crnomorskog sliva glavne su: Tara, Piva, Lim, Ćehotina i Ibar. Rijeke Crnomorskog sliva su bogatije vodom, razgranatije i duže u odnosu na rijeke jadranskog sliva.

Najveći vodotok Jadranskog sliva u Crnoj Gori je Morača, rijeka koja protiče kroz najnaseljeniji dio Crne Gore i koja ima veliki značaj za stanovništvo. Ovaj master rad baviće se analizom režima proticaja rijeke Morače u kontekstu savremenih klimatskih

promjena. Naime, uticaj savremenih klimatskih promjena se osjeća na režim mnogih rijeka. Master rad će pokazati šta se dešava sa rijekom Moračom u periodu 1951–2010. godine, da li postoji povećanje ili pak tendencija smanjenja proticaja, kakav je režim velikih i malih voda itd.

1.1. Hipoteze istraživanja

Čitavo slivno područje rijeke Morače pripada mediteranskom pluviometrijskom režimu padavina. Kako su rijeke proizvod klime, odnosno količina vode u njihovim koritima je u direktnoj korelaciji sa količinom i režimom padavina, to znači da su godišnje i međugodišnje varijacije proticaja sasvim normalna pojava. Međutim, polazeći od detektovanih klimatskih promjena u Crnoj Gori, radna hipoteza je da je došlo do promjene režima proticaja, i to u smislu:

- promjene trenda proticaja rijeke Morače,
- promjene čestine velikih i malih voda.

1.2. Predmet istraživanja

Predmet istraživanja je rijeka Morača, odnosno analiza režima proticaja ovog vodotoka u posmatranom periodu (1951–2010). Kroz analizu režima proticaja vidjeće se da li su savremene klimatske promjene imale uticaja na vodnost rijeke Morače. Svi planirani proračuni uradiće se na mjesečnom, sezonskom i godišnjem nivou.

1.3. Motiv i cilj istraživanja

Glavni motiv za odabir teme master rada je taj što vodni režim predstavlja značajnu determinantu geografske sredine. Najvažniji element vodnog režima svake rijeke je proticaj. Poznavanje režima proticaja, pojava povodnja, velikih voda, poplava, sušnih perioda, ali i kvaliteta i drugih karakteristika riječne vode, ima veliki značaj za vodoprivredu i razvoj mnogih privrednih djelatnosti na određenom prostoru. Polazeći od činjenice da su rijeke proizvod klimata, nema sumnje da će savremene klimatske promjene imati uticaja na pomenute elemente vodnog režima, prije svega na količinu vode koja otiče rijekama (proticaj). Zato je cilj da se u ovom master radu da osvrt na režim proticaja rijeke Morače u kontekstu savremenih klimatskih promjena. Kroz analizu vodnosti Morače, svrha je ukazati na značaj istraživanja rijeka, generalno, jer su vodotoci prirodno dobro za sva vremena.

2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

U studiji Svjetske meteorološke organizacije (WMO – World Meteorological Organization) o stanju globalnih vodnih resursa za 2021. godinu, ističe se sve jače prepoznavanje uticaja varijabilnosti klime na hidrološki ciklus, koji se, između ostalog, manifestuje kroz promjene vodnosti površinskih i podzemnih voda (WMO, [2022](#)). Potreba za vodom je sve veća, a samo 0,5% vode na Zemlji je upotrebljivo i dostupno kao slatka voda. Zabrinjava činjenica da se u proteklih dvadeset godina, količina površinskih i podzemnih voda na kopnu, uključujući i vodni ekvivalent u snijegu, ledu i vlagu u tlu, smanjuje brzinom većom od ukupne godišnje ljudske potrošnje vode (WMO, [2021](#)). S obzirom na to da se povećava broj svjetske populacije, kao i činjenice da se životna sredina sve više degradira, nedostatak čiste vode može predstavljati veliki problem čovječanstva, i to u bližoj budućnosti (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC, [2021](#)).

Najvažniji izvori vode za piće u svijetu i najviše korišćene su površinske i podzemne vode (Paun et al., [2016](#)). Međutim, vodnim resursima, posebno kada su u pitanju rijeke i jezera, jako se loše upravlja (Sasakova et al., [2018](#)). Da bi razumjeli kako klimatske promjene utiču na vodne resurse, prije svega na količinu, režim i kvalitet riječnih voda, potrebni su podaci i analiza istih. Dobijeni rezultati takvih i sličnih analiza su ključni za pametno donošenje odluka u smislu planiranja određenih mjera u upravljanju, korišćenju i zaštiti voda i vodotoka (Doderović i dr., [2018](#)). U vezi s tim, ovaj master rad ima za cilj da istraži promjene režima proticaja rijeke Morače u kontekstu savremenih klimatskih promjena. S pravom se kaže da je Crna Gora izuzetno bogata vodom, koja je potencijalno najvažniji faktor budućeg ekonomskog razvoja (hidroenergetski, turistički, poljoprivredni i dr. potencijal). Prosječni specifični oticaj sa kopna Crne Gore iznosi 44 l/s/km², što je za preko 6 puta više od svjetskog prosjeka.

Dodajmo i to da je značaj vodnog bogatstva i činjenicu da se čak oko 95% riječnih tokova formira na teritoriji Crne Gore (Burić, 2010), što znači da gotovo nema alogenih tokova. Takvo je slivno područje rijeke Morače, jer se oko 93% nalazi na teritoriji Crne Gore, a samo jedan manji gornji dio rijeke Cijevne (pritoke More) pripada državi Albaniji (Doderović i dr., 2020).

Rijeka Morača nastaje na koti od 975 m (mjesto Ljevište), spajanjem većeg broja potoka, koji se slivaju sa istočnih padina Zebalca, Šuplje stijene i sjevernih padina Moračkih Kapa (Drecun i dr., 1985; Hrvačević, 2004). Prema podacima Zavoda za hidrometeorologiju i seizmologiju Crne Gore (ZHMSCG), dužina toka rijeke Morače je 113,4 km (<http://www.meteo.co.me/>) i to je najduža i vodom najbogatija pritoka Skadarskog jezera.

Njene glavne pritoke su rijeke Zeta i Cijevna. Oko gornjeg toka Morače uzdižu se površi i planinski vijenci Kape Moračke (2226 m), Zebalca (2129 m), Kolijevke (1722 m), površ Javorje (16520m) i drugih planina, dok nizvodno od Podgorice, u dijelu toka kroz Zetsku Ravnicu, ova rijeka ima manje-više ravničarski karakter (Radojičić, 2005).

Prosječna količina padavina u slivu Morače je oko 2000–2200 mm. Podgorica i čitavo područje Zetske i Bjelopavličke ravnice ima mediteransku klimu, dok tereni sliva do 800–900 m visine imaju karakteristike umjereno-kontinentalne klime, a u najvišim djelovima zastupljena je subplaninska i planinska klima (Burić i dr., 2007; Burić et al., 2014). Posljednje 2–3 decenije, slivno područje rijeke Morače bilo je zahvaćeno poplavama, sušama, ekstremnim temperaturama, toplotnim talasima i drugim klimatskim i vremenskim ekstremima (Burić et al., 2021; Burić et al., 2022). Klimatske projekcije za 21. vijek nijesu ohrabrujuće, jer rezultati istraživanja ukazuju da će se ekstremne vremenske situacije u Crnoj Gori vjerovatno i češće dešavati (Burić & Doderović, 2021). U svakom slučaju, svjedoci smo da klimatske promjene imaju uticaja na režim rijeka u Crnoj Gori. Šta se dešava sa proticajem Morače, da li se povećava ili opada, kakva je čestina velikih i malih voda, pokazaće rezultati ovog master rada.

3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

3.1. Geografski položaj sliva rijeke Morače

Rijeka Morača je glavni vodotok Zetske ravnice i najveća pritoka Skadarskog jezera koja doprinosi sa 62% u njegovom totalnom bilansu. Morača nastaje u sjevernom dijelu Crne Gore, iznad Ljevišta, opština Kolašin na koti od 970 m, u pleistocenom cirku Vragdo, ispod padina Štita, planinskih vrhova Zupci, Kablova lastva i Sumora, spajanjem velikog broja povremenih i stalnih potoka, među kojima su najveći Javorski i Rzavski potok. Od spajanja Rzavskog potoka i Javorskog potoka do mjesta Mioske, rijeka ima pravac pružanja od sjeverozapada prema jugoistoku, odakle skreće ka jugozapadu. Kod Zlatice, Morača ulazi u Zetsku ravnicu kroz koju teče njenim zapadnim obodom sve do ušća u Skadarsko jezero. Oko izvorišta okružuju je planine: Kapa Moračka (2226 m) na jugu, V. Zelebac (2129 m) na zapadu, Kolijevka (1722 m) i površ Javorja (1660 m) na sjeveru (Radojičić, 2008: 208).

Rijeka Morača je jedna od tri najvažnije rijeke u Crnoj Gori. Ona je klasična planinska rijeka, samo donjim tokom protiči kroz ravnicu (Zetska ravnica). Njeno izvorište joj je nadvisilo druge rijeke. Morača prima veći broj manjih i brzih planinskih rijeka. Upravo zbog toga ima i veliki hidroenergetski potencijal. U početku svog toka, prva 3 km Morača je usmjerena prema sjeveroistoku do kote 780 mnm, odakle naglo skreće u generalni smjer sjeverozapad-jugoistok, sve do Kotilišta (354 mnm). Odavde ona skreće na jug gdje otiče skoro pa meridijanskim pravcem do kote 58 mnm u Bioče. Od Bioča tok Morače skreće na jug-jugozapad, i ona taj smjer zadržava sve do ušća u Skadarsko jezero, koje varira između 4,53 i 9,84 mnm (Hrvačević, 2004: 201).

Izvorište rijeke Morače koje čini nekoliko manjih potoka i izvora, koje leži na nadmorskoj visini od skoro 100 m, i upravo zbog ovoga prosječni pad Morače iznosi blizu 10 m na jednom kilometru toka. Njena najveća pritoka rijeka Zeta, koja se uliva u Moraču, neposredno iznad Podgorice i na ovoj poziciji Zeta nosi veću količinu vode u odnosu na samu Moraču, tako da vode Zete čine više nego polovinu rijeke Morače, na poziciji ispod Podgorice (Mrdak i dr., 2023). U dijelu toka kroz Podgoricu, preko rijeke Morače je podignuto nekoliko mostova, a najljepši je most Milenijum (slika 1), koji je postao jedan od simbol grada.



Slika 1 Rijeka Morača (<https://www.cue-podgorica.com/moraca-river-the-heartbeat-of-podgorica/>)

3.2. Fizičko-geografske karakteristike slivnog područja

Dužina rijeke Morače je oko 113,4 km (<http://www.meteo.co.me/>), teče od sjevera prema jugu i uliva se u Skadarsko jezero. Morača je relativno mala rijeka, široka nešto više od 100 m i uglavnom je plitka, zato njen tok nije mijenjan. Njene pritoke, sa lijeve strane Koštanica i Sjevernica, a sa desne Zeta, ne presušuju ni u sušnim godinama. Korito Morače u izuzetno sušnim godinama, između manastira Duga i ušća Zete i na donjem dijelu toka između Botuna i Skadarskog jezera, presušuje u izuzetno sušnim godinama. Na djelovima koji su suvi voda se gubi u ponore i fluvioglacialni nanos. Dužina toka Morače je 64 km do ušća Zete u Moraču.

Prije spajanja sa rijekom Zetom, prosječni proticaj na Morači iznosi 67 m³/s, u Podgorici 161,9 m³/s, dok prosječni proticaj pri ušću u jezero iznosi 201 m³/s. Na vodomjernoj stanici Podgorica apsolutni maksimum proticaja iznosi 3888 m³/s, dok apsolutni minimum iznosi svega 9,6 m³/s. Uzvodno od ušća Zete, površina sliva rijeke Morače iznosi 1092 km², dok ukupna površina iznosi 3257 km² (Radojičić, 2008: 209–210).

U svom gornjem i srednjem toku ona je izrazito planinska rijeka. Širina korita Morače puno varira što je uslovljeno njenim veoma kamenitim obalama i kreće se od oko 20 do 250 m. Dubina vode u koritu isto varira i može se kretati od oko 0,5 do 10 m. Morača, kao moćna i planinska rijeka formirala je jedan od najživopisnijih kanjona, probijajući se kroz krečnjake usjekla je svoj duboki, impozantni kanjon zvani Platije (slika 2), koji odvaja vijenac Moračkih planina od vijenca Sinjajevine. Kanjon Morače je posebno poznat po svojim strmim liticama i prekrasnim vidicima, koji podjednako privlače posjetioce i avanturiste. Morača ima značajan pad duž svog toka od 19,7%, posebno u gornjem dijelu gdje pad rijeke na dužini od 5 km iznosi oko 344 m ili 68,5%, ovo omogućava brz protok vode i stvara povoljne uslove za aktivnosti poput raftinga.

Na osnovu nekih fizičko-hemijskih karakteristika tok rijeke Morače se može podijeliti u tri dijela: gornji tok (od izvorišne regije pa do mjesta Međuriječje), zatim srednji tok (od Međuriječja pa do Podgorice) i donji tok (od Podgorice pa do Skadarskog jezera). Sva ova tri dijela se karakterišu različitom nadmorskom visinom, zatim nagibom riječnog toka, različitom temperaturom vode, klimatom kroz koji prolazi kao i različitim ribljim zajednicama koje žive u rijeci. Količina vode koju nosi Morača se povećava od izvorišnog regiona i dostiže maksimum na ušću u Skadarsko jezero. U svom donjem dijelu toka kroz Zetsku ravnicu, Morača je tipična dolinska rijeka sa tokom koji je veoma širok i koji meandrira, okružena niskim terenom koji ona zna da plavi i koji je obrastao u livade i šume (Mrdak i dr., 2023).



Slika 2 Kanjon rijeke Morače (<https://www.discover-montenegro.com/moraca-canyon/>)

3.3. Geologija sliva

Značajni dio sliva rijeke Morače izgrađen je od gornjokrednih sedimenata, uglavnom od sedimenata koji pripadaju durmitorskom flišu (konlomerati, breče, pješčari, glinci, laporci, tankoslojeviti laporci, pjeskoviti krečnjaci), u kojima je rijeka duboko urezala svoje korito. Kada Morača napusti flišni teren, od mjesta Andrijevo, ona teče dalje kroz karstno područje, kao rijeka probojnica, tačnije, pravac toka je skoro pa upravan na pravac pružanja slojeva. Upravo na ovom dijelu je rijeka probijajući se kroz krečnjake formirala kanjon Platije (Radulović, 2000:29).

Na najvišim djelovima dolinskih strana nalaze se slojeviti i masivni bankoviti krečnjaci, sa ulošcima rožnaca. Upravo ovakav geološki sastav terena rezultirao je pojavom velikog broja izvora, obično manje izdašnosti. Na mnogim mjestima gdje Morača i njene pritoke nailaze na čiste krečnjake usječene su kanjonske doline i klisure: Bijele stijene, Subadanj, Platije, Omazonica i dr. (Radojičić, 2005: 156).

Kompleks vodopropusnih i vodonepropusnih stijena – stijene sa naizmjeničnim hidrogeološkim osobinama koje u vodopropusnom dijelu karakteriše intergranularna poroznost, na prostoru terena sliva rijeke Morače uzvodno od ušća Zete, svrstava morenski materijal: pjeskove, šljunkove i veće blokove, koji su u nekim lokalnostima izmiješani sa glinama (Radusinović & Pajović, 2005). Zatim, postoji grupa nevezanih stijena koja se javlja u koritu i na padinama kanjona rijeke Morače koju čine kvartarne klastične sedimentne stijene: deluvijum, aluvijum, terasni sedimenti, morene i glaviofluvijalni sedimenti. U njihovom sastavu su prisutni: prašina, pijesak, šljunak, drobina i blokovi. Ovu grupu karakteriše intergranularna poroznost i različita vodonosnost.

Mineralne sirovine kao što su šljunak i pijesak javljaju se kao aluvijalni sedimenti u koritu i u dolini rijeke Morače. U koritu rijeke Morače i rijeke Cijevne su se najviše

eksploatisani šljunak i pijesak. Dosadašnja eksploatacija šljunka i pijeska značajno je devastirala korito rijeke Morače, a najviše u dijelu toka između Morače i Skadarskog jezera (Radusinović & Pajović, 2010).

Radulović (2011) u radu „Hidroelektrane u dolini-kanjonu rijeke Morače i zaštita manastira Morača“ iznosi podatke o terenu sliva Morače i zaključuje da uzvodno od potencijalne HE „Zlatice“ teren izgrađuju sedimentne, magmatske, metamorfne stijenske mase koje pripadaju mlađem paleozoiku, mezoziku i kenozoiku. Dominantno učešće imaju sedimentne stijene mezozoika i kenozoika, dok učešće magmatskih i metamorfnih u građi terena zauzima manje prostore. Tereni sliva rijeke Morače uzvodno od brane HE „Zlatice“ su dijelovi dvije velike prostrane geotektonske jedinice Dinarida: zone Visokog krša i Durmitorske navlake, koje su geotektonske jedinice prvog reda. Najveći dio ovog terena pripada zoni Visokog krša, a sjeverni dio, Durmitorskoj navlaci. Većim dijelom zonu visokog krša čine tereni Kučke kraljušti, dok u manjim tereni sinklinorijuma Starocrnogorske kraljušti. Durmitorska navlaka je od sjevera i sjeveroistoka navučena na sinklinorijum doline Morače koji prema jugu i jugozapadu prelazi u antiklinorijum Žijovo, Maganik–Prekornica (Kučka kraljušt zone Visokog krša). Ova kraljušt je dalje prema jugu i jugoistoku oslonjena na sinklinorijum Starocrnogorske kraljušti.

3.4. Reljef slivnog područja

Morača je u svom gornjem dijelu izrazito planinska rijeka, a planinske rijeke imaju svoja izvorišta na kontaktu krečnjaka i durmitorskog fliša, pa tako u gornjim djelovima dolina nastaju proširenja. Čim rijeke stignu do čistih krečnjaka u njima su usijekle duboke kanjonske doline. Dolina Morače u gornjem dijelu ima dinarski pravac pružanja (sjeverozapad-jugoistok), a u srednjem sjever-jug. Što se tiče gornjeg dijela doline, on je proširen u slojevima durmitorskog fliša. U tom dijelu postoje tri proširenja doline: Gornja Morača, gdje njena visina opada od 975 m (Ljevišta) do 465 m (Požnja), zatim Donja

Morača, između 365 m (Mioska) i 214 m (ušće Ibrištice) i Rovca duž doline Mrtvice, između 1014 m (Velje duboko) i 182 m, kod ulaza Morače u kanjon. Kanjon Morače, zvani Platije, dug je 38km, usiječen vertikalno između Kamenika i Vjeternika, prosječno dubok oko 1000 m. Na izgled rijeke Morače glacijalni uticaj je bio znatan. U slivu gornje Morače, sa lijeve strane toka prema Sinjajevini, nalazi se cirk Đedov do, a sa desne strane cirk u izvorišnom dijelu Rzačkog potoka, ispod Velikog Zebaoca, zatim postoji još šest cirkova na Kapi moračkoj i Maganiku niz koji su se lednici strmo kretali u dolinu Morače. Pritoke gornjeg dijela sliva Morače, takođe su planinske rijeke, gdje su duboko usiječeni kanjoni i klisure u krečnjačkim stijenama, a visina strana često dostižu preko 1000 m. Što se tiče donjih djelova doline Morače i njenih pritoka na mnogim mjestima su zaostale, iz perioda pleistocena, moćne akumulacione terase fluvioglacijskog materijala, iznad dna korita 20–40 m (Radojičić, 2005: 36).

Morača je poznata po uskoj i strmoj riječnoj dolini sve do ulaska u Zetsku ravnicu, ograđena je visokim planinama i planinskim grebenima, to su njene pritoke kratkog toka i velikog pada. Oko izvorišta rijeke Morače širi dio čine planine: Kapa moračka (2226 m) na jugu, V. Zebalac (2129 m) na zapadu, Kolijevka (1722 m) i površ Javorja (1660 m) na sjeveru (Radojičić, 2005: 156). Djelovi terena sliva rijeke Morače koji su izgrađeni od krečnjaka i dolomita su sa karstnim pojavama različitih dimenzija, prostornog položaja koji su karakteristični za holokarst, odnosno ljuti krš (Radulović, 2011: 105).

Erozija voda Morače u terenima koji su izgrađeni od flišnog litološkog kompleksa formirala je relativno proširenu dolinu koja ima veoma strme padine. Sve ovo je uslovalo pojavu površina ubrzanog spiranja, jaružanja, kidanja a na nekim mjestima i do klizanja. Sjeverni djelovi sliva koji su izgrađeni od krutih stijena su dali moćne i prostrane drobine – sipare. Prisutne su prostrane naslage glacijalnih sedimenata – morene na visokim djelovima sliva terena. Pored vodotoka mogu se naći terase koje su izgrađene od fluvioglacijskih sedimenata (Radulović, 2011: 105).

U dijelu sliva rijeke Morače brojne su i raznovrsne hidrogeološke pojave. Što se tiče hidrogeoloških pojava možemo da izdvojimo izdani, izvori, vrela, vrulje, estavele,

jame i pećine. Zbijene izdani možemo pronaći u aluvijalnim sedimentima korita Morače i nekih njenih pritoka. Ove izdani su pod direktnim uticajem stanja i režima voda tačnije vodotoka u posmatranom profilu. Izvori-vrela su brojni. Među najpoznatijim su dublje u koritu i kanjonu Morače i njenih pritoka: Svetigora koji se nalazi kod Manastira Morače, Bijeli Nerini u kanjonu Mrtvice i izvor pod Vjetrinom uzvodno od mjesta brane za HE „Andrijevo”. U koritu Morače nizvodno od profila, naspram Manastira Duge, javljaju se vrulje i estavele sve do izlaska iz kanjona. U terenima koji su izgrađeni od karbonatnih stijenskih masa javljaju se jame i pećine sa i bez vode. Uzvodno od brane za HE „Andrijevo“ poznata je pećina Gundulija koja u kišovitom dobu godine daje vode nekad i preko 1 m³/s. Slične pećine možemo naći i u kanjonu Mrtvice. Jame su brojne na karstnoj površi iznad kanjona vodotoka (Radulović, [2011](#): 109–110).

3.5. Klimatske karakteristike

Crna Gora je zemlja koja je raznovrsna u svakom pogledu, pa i u klimatskom. Teško se može naći da je na manjem prostoru zastupljeno više klimatskih tipova sa nekoliko podtipova i varijeteta kao što je to na prostoru Crne Gore. Upravo to je posljedica matematičko-geografskog položaja, raščlanjenosti i diseciranosti reljefa, premještanja i sučeljavanja vazdušnih masa različitih fizičkih osobina, karaktera podloge i mnogih drugih faktora (Burić i dr., [2011](#): 11).

Generalno govoreći, glavni klimatski činioci su geografski položaj, more, reljef, biljni pokrivač i nadmorska visina. Crna Gora bi imala umjerenu klimu kada bi klima zavisila samo od matematičko-geografskog položaja. Najviše uticaja na klimu Crne Gore ima sjevernoafričko kopno (Sahara) i Sredozemno more. Iz Sredozemlja uglavnom stižu tople i vlažne vazdušne mase, dok hladne stižu sa sjevera i sjeveroistoka Evrope. Pravcem pružanja, nadmorskom visinom, orijentacijom, reljef preoblikuje klimu. Glavnu

klimatsku barijeru u Crnoj Gori čine primorske planine Orjen, Lovćen i Rumija i one uticaj sredozemne klime ograničavaju na uski priobalni pojas.

Čitavo slivno područje rijeke Morače pripada mediteranskom pluviometrijskom režimu padavina. Kako su rijeke proizvod klime, odnosno količina vode u njihovim koritima je u direktnoj korelaciji sa količinom i režimom padavina, to znači da su godišnje i međugodišnje varijacije proticaja sasvim normalna pojava. Na višim nadmorskim visinama duž rijeke, usljed nižih temperatura može biti više padavina, naročito sniježnih u toku zimskih mjeseci.

Matematičko-geografski položaj, kao i blizina mora, ali i znatna raščlanjenost i diseciranost reljefa, imaju glavni uticaj na formiranje klime Podgorice. Obodni brdsko-planinski djelovi opštine imaju odlike umjereno-kontinentalne, a područje planina, koje su ovdje visoke 1500 do preko 2000 metara, karakteriše kontinentalna i planinska klima. U Podgorici zime su dosta blage i kišovite, povremeno i veoma vjetrovite što uslovljava veći osjećaj hladnoće. Udari sjevernog vjetra, koji je kanalisani kanjonom Morače znaju u Podgorici da dostignu brzinu čak i preko 100 km/h. Na samom izlazu iz kanjona Platije, u naseljima Smokovac i Zlatica posebno su jaki udari sjevernog vjetra. Prema podacima za period 1961-2000, srednja zimska temperatura vazduha je 6,2°C, sa najhladnijim mjesecom januarom sa srednjom temperaturom od 5,2°C. Veoma su rijetki ledeni i mrazni dani. U zimskom periodu povećana je oblačnost, tako da je skoro svaki treći dan oblačan i tmuran i upravo zbog toga je povećana količina padavina. Ljeta su vedra, suva, topli i dugotrajna. Mjesec jul je najtopliji mjesec sa prosječnom temperaturom od 26,2 °C, dok je srednja ljetnja temperatura 25,1 °C. U Crnoj Gori Podgorica je grad sa najvišom srednjom julskom temperaturom. Oblačnost je veoma mala, svaki drugi avgustovski dan je vedar. Povoljni klimatski uslovi omogućavaju intenzivnu poljoprivrednu proizvodnju i gajenje raznovrsnih poljoprivrednih kultura, pa čak i mediteranskog voća (Burić i dr, 2007: 17, 84, 85).

Jadransko more ima uticaja na klimu sliva rijeke Morače. Dolinom rijeke Bojane, preko Skadarskog jezera, uz uticaj planina koje okružuju niže terene oko glavnog grada

Podgorice, klima se definiše kao izmijenjeno sredozemna. Interesantno je to da je za određivanje granice između suptropskog i umjerenog pojasa najbolji pokazatelj maslina. Maslina može donijeti plodove isključivo gdje srednja januarska temperatura nije niža od 6°C. S obzirom na to se u posljednje vrijeme maslina uzgaja i u Podgorici, jasan je pokazatelj da je klima postala toplija.

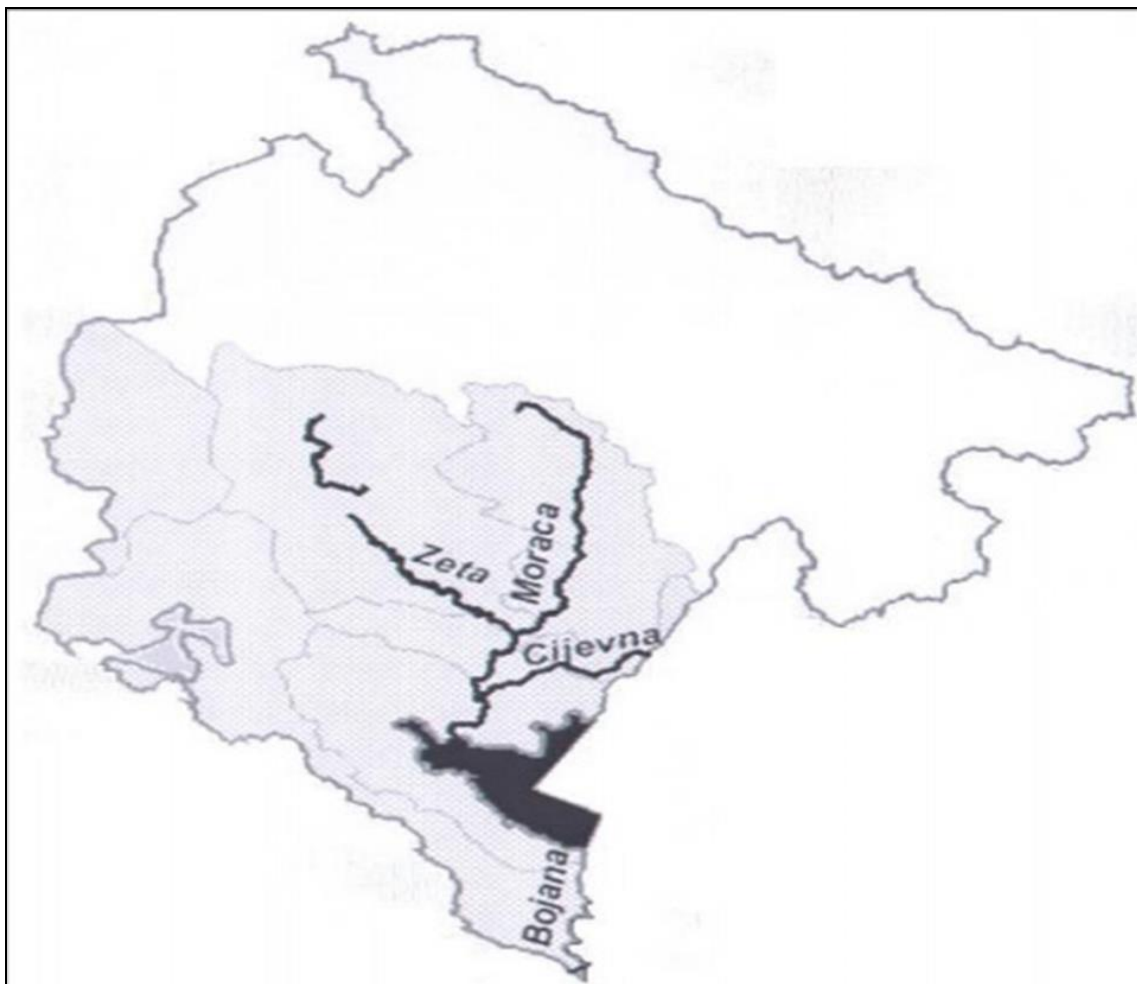
3.6. Riječni sistem Morače

Rijeka Morača zajedno sa svojim pritokama Cijevnom i Zetom pripadaju Jadranskom slivu, čija površina u Crnoj Gori iznosi 6.560 km² (slika 3). Pritoke rijeke Morače su relativno kratkog toka i velikog pada. Sa lijeve strane, pored brojnih manjih potoka koje rijeci daju vodu, važnije pritoke su: Javorski potok, Slatina, Koštanica, Sjevernica, Kruševački potok, Mala rijeka, Ribnica i Cijevna. Mala Rijeka i Cijevna presušuju u toku ljetnjih mjeseci-jul i avgust. Sa desne strane pritoke su joj Ratnja rijeka, Požnja, Topli potok, Vrela, Ibrištica, Mrtvica, Melještak, Bogotuvski potok, Zeta i Sitnica. Od desnih pritoka u gornjem dijelu toka Morače, veće su Ibrištica i Mrtvica. Njene pritoke, koje ne presušuju ni u sušnim godinama su: sa lijeve strane Koštanica i Sjevernica, a sa desne Zeta. U izuzetno sušnim godinama i korito Morače presušuje na dijelu donjeg toka između Botuna i Skadarskog jezera (Radojičić, 2008: 208, 209).

Kada se spoji sa svojom najvećom i najznačajnijom pritokom Zetom, čija je dužina toka 85 km, a površina sliva do hidrološke stanice Danilovgrad je 1216 km², Morača ulazi u Zetsku ravnicu i teče do svog ušća u Skadarsko jezero. Morača Skadarskom jezeru daje preko 62% vode i zbog tih razloga vodostaji jezera direktno zavise od dotoka rijeke Morače.

Morača je bujična kraška rijeka koju karakteriše veliko variranje proticaja, tačnije količine vode koju nosi u pojedinim periodima godine. Količina vode koja protiče

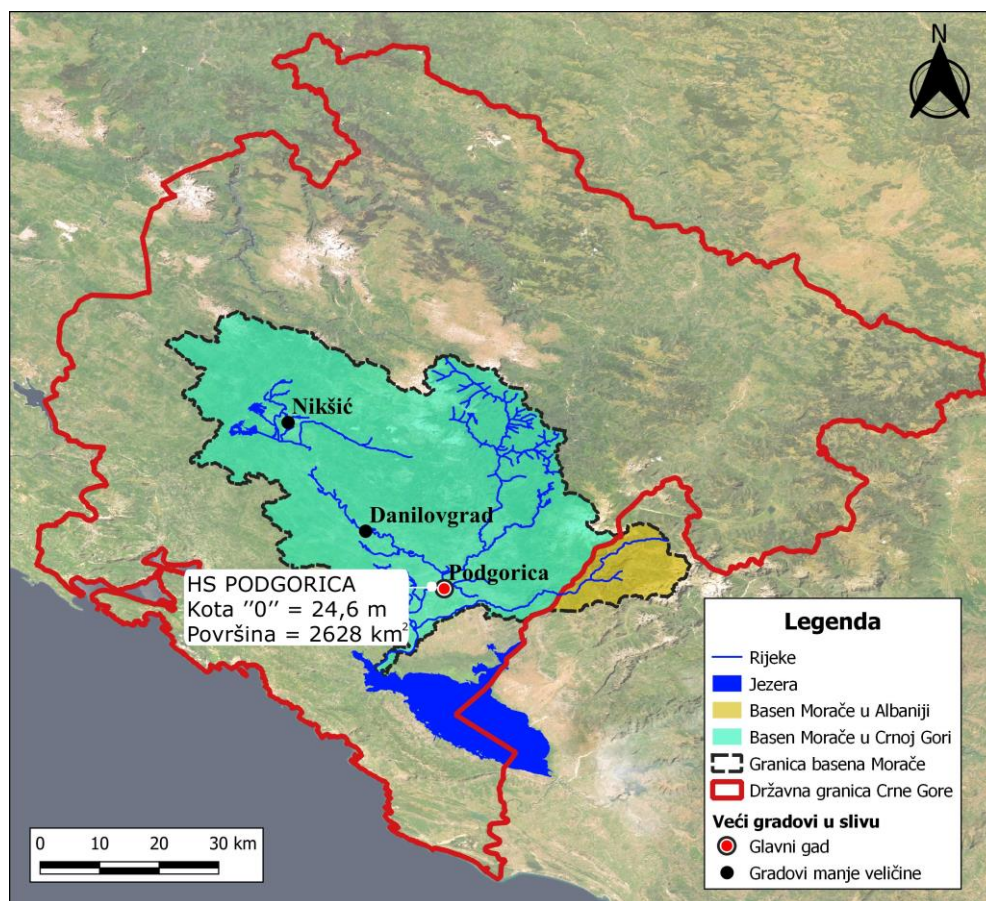
koritom Morače i njenim pritokama u pojedinim djelovima godine variraju i upravo joj to daje karakter bujičnog toka. Prema informacijama Zavoda za hidrometeorologiju i seizmologiju Crne Gore, duž toka rijeke Morače ima četiri hidrološke stanice: Međuriječje, Pernica, Zlatica i Podgorica (<https://www.meteo.co.me/page.php?id=79>).



Slika 3 Rijeke Jadranskog sliva (<https://www.dinarskogorje.com/rijeke-jadranskoga-slivaslijeva.html>)

4. BAZA PODATAKA I METODI ISTRAŽIVANJA

Hidrološka stanica (HS) Podgorica locirana je u gradu, nizvodno od ušća rijeke Zete i uzvodno od ušća rijeke Cijevne. S obzirom na to da je HS Podgorica locirana u najnižvodnijem dijelu rijeke Morače, odnosno da do ušća ove rijeke u Skadarsko jezero ne postoji nijedna HS, može se reći da promjene proticaja Morače na HS Podgorica na neki način oslikavaju generalno vodno stanje u većem dijelu sliva ove rijeke. Uzimajući u obzir prethodno pomenuto i činjenicu da je vremenska serija za period 1951–2010. bila kompaktna, korišćeni su podaci o proticaju sa HS Podgorica ([slika 4](#)).



Slika 4 Lokacija HS Podgorica na Morači (autor: Ivan Mijanović)

Prema podacima Zavoda za hidrometeorologiju i seizmologiju Crne Gore (ZHMSCG), kota „nule“ HS Podgorica na Morači je na 24,6 m, a od ušća u Skadarsko jezero pomenuta stanica je udaljena 31,4 km. Površina sliva rijeke Morače do kote HS Podgorica iznosi 2628 km². Podaci o srednjem mjesečnom proticaju sa HS Podgorica preuzeti su iz Godišnjaka Zavoda za hidrometeorologiju i seizmologiju (ZHMSCG, [2023](#)).

U metodološkom smislu, osim analize i sinteze, istraživanje je realizovano primjenom sljedećih metoda:

- Metodom aritmetičke sredine prikazane su prosječne vrijednosti proticaja Morače na posmatranom profilu.
- Trend komponenta pokazaće opšti pravac kretanja proticaja rijeke Morače u analiziranom 60-godišnjem periodu (1951–2010).
- Metodom normalizovanih anomalija i usvojenih klasa, izdvojene su čestine velikih i malih voda.
- Metod diferencija pokazaće promjene prosječnih proticaja za dva istodobna 30-godišnja perioda (1951–1980 i 1981–2010).

Osim prvog, svi ostali pomenuti metodi se koriste u razmatranju savremenih klimatskih promjena, odnosno u konkretnom slučaju u analizi proticaja rijeka u kontekstu savremenih klimatskih promjena. Međunarodna oznaka za proticaj rijeka je englesko slovo Q, pa će se pomenuta skraćenica koristiti u nastavku. Dodajmo i to da se Q izražava u m³/s (Q, m³/s).

Kada je trend u pitanju, on je računat prema metodu Sena, a njegova značajnost ispitana je pomoću Men-Kendal testa (Mann-Kendall), kako je to opisana u radu „Promjene temperature i padavina u instrumentalnom periodu (1951–2018) i projekcije do 2100. godine u Podgorici (Crna Gora)“ (Burić & Doderović, [2022](#)). Pomenuti autori navode da je u pitanju neparametarski metod, koji je prihvatljiviji za hidrološke veličine u odnosu na jednačinu najmanjih kvadrata. Značajnost trenda provjerena je za stepen rizika

od: $p <$ od: 0,001, 0,01, 0,05 i 0,1. Drugim riječima, testirana je ispravnost hipoteze od 99,9%, 99%, 95% i 90%. O metodima izračunavanja specifičnog oticaja, visine oticaja i statističke značajnosti razlike u prosječnim proticajima dva istodobna podperioda u okviru cijelog analiziranog perioda, biće riječi u navedenim pododjeljcima.

5. REZULTATI I DISKUSIJA REZULTATA ISTRAŽIVANJA

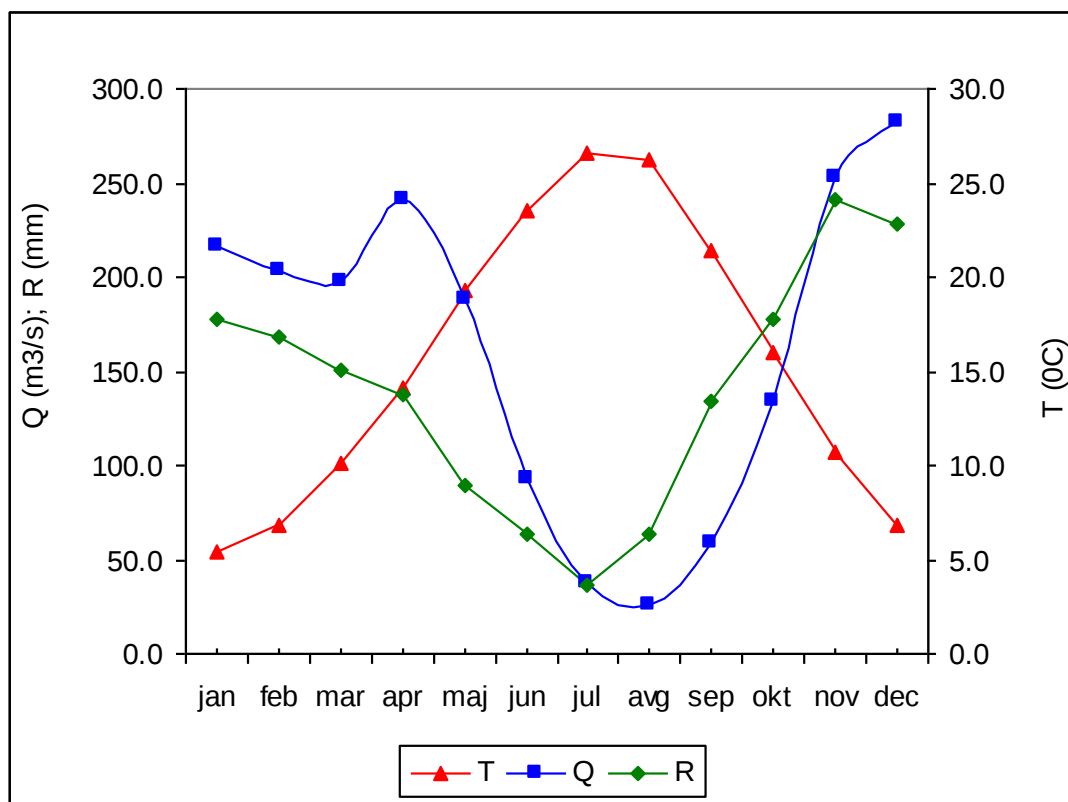
Na početku treba istaći da je Morača autohtona rijeka Crne Gore, jer cijelim tokom protiče kroz našu državu. Takođe, gotovo cijelo slivno područje rijeke Morače pripada Crnoj Gori. Pomenuto i činjenica da ova rijeka protiče kroz glavni i najveći grad (Podgorica), te kroz najveću i najplodniju ravnicu (Zetska ravnica), ukazuje da je Morača najznačajniji vodotok u Crnoj Gori. Generalno, cio riječni sistem Morače (rijeka sa svim svojim pritokama) ima značajnu ulogu u razvoju Crne Gore.

5.1. Godišnji režim srednjih voda

Proticaj rijeke Morače je prevashodno u funkciji padavina, ali i temperature u njenom slivnom području. Kako cio sliv ima mediteranski pluviometrijski režim i veći dio varijante mediteranske klime, najmanji proticaji Morače registruju se ljeti i početkom jeseni, a najveći krajem jeseni i zimi. U prosječnoj godini, najmanji mjesečni proticaj ima avgust – prosječna vrijednost $26,2 \text{ m}^3/\text{s}$, a najveći decembar – prosjek $281,9 \text{ m}^3/\text{s}$. Dakle, prosječni proticaj u decembru je skoro 11 puta veći u odnosu na avgust mjesec. Ovakav režim proticaja Morače u toku godine nije povoljan za životnu sredinu i čovjekove potreba za vodom.

Pomenuto je da je proticaj Morače u prvom redu u funkciji padavina i temperature vazduha u njenom slivu. Koristeći podatke sa meteorološke stanice koja je locirana na gradskoj teritoriji Podgorice, kao i HS, zaključujemo da je najkišniji mjesec novembar

241,3 mm, a da najmanju količinu padavina registruju jul, svega 36,1 mm kiše. Proticaj rijeke Morače na HS Podgorica najveći je u decembru, a najmanji u avgustu, što znači da se prosječne ekstremne vrijednosti javljaju sa zakašnjenjem od jedan mjesec u odnosu na padavine (slika 5). Naime, tokom juna i jula je veoma mala količina padavina, a zbog visokih temperatura veliko je isparavanje vode, kako u slivu tako i samog vodotoka. U avgustu je količina padavina nešto veće u odnosu na jul, ali je bilans vode i dalje negativan (veće je isparavanje od priliva vode u koritu rijeke Morače), tako da je najniži proticaj u avgustu. U septembru i daljem periodu, količina padavina se povećava, zbog nižih temperatura isparavanje vode se smanjuje, tako da proticaj Morače raste iz mjeseca u mjesec. Novembarske kiše zasite zemljište vodom i optereće hidrološki sistem Morače, tako da je u prosječnoj godini najveći proticaj ove rijeke u decembru, a ne u novembru kada ja maksimum padavina. Na ovaj način se objašnjava kašnjenje prosječno najvećeg i najmanjeg proticaja u odnosu na padavine.



Slika 5 Srednje mjesečne vrijednosti proticaja (Q) Morače na HS Podgorica i padavina (R) i temperature vazduha (T) na meteorološkoj stanici Podgorica za period 1951–2010.

Prema vrijednostima standardne devijacije (SD) za period 1951-2010, najveće prosječno kolebanje proticaja Morača dešava se u decembru ($156,4 \text{ m}^3/\text{s}$), a najmanje u avgustu ($14,1 \text{ m}^3/\text{s}$). Ovo je u skladu sa režimom srednjih voda Morače u toku godine. Za potrebe rada, urađeni su i proračuni koeficijenta varijacije (Cv), kao jednog od pokazatelja kolebanja proticaja. Na osnovu dobijenih rezultata, Cv rijeke Morače na profilu posmatrane HS najveću vrijednost ima u septembru (0,94), a najmanju u aprilu (0,33). Prema klasifikaciji koju su dali Tošić, Crnogorac (2005), može se izdvojiti 4 grupe vodotoka na osnovu vrijednosti Cv (tabela 1):

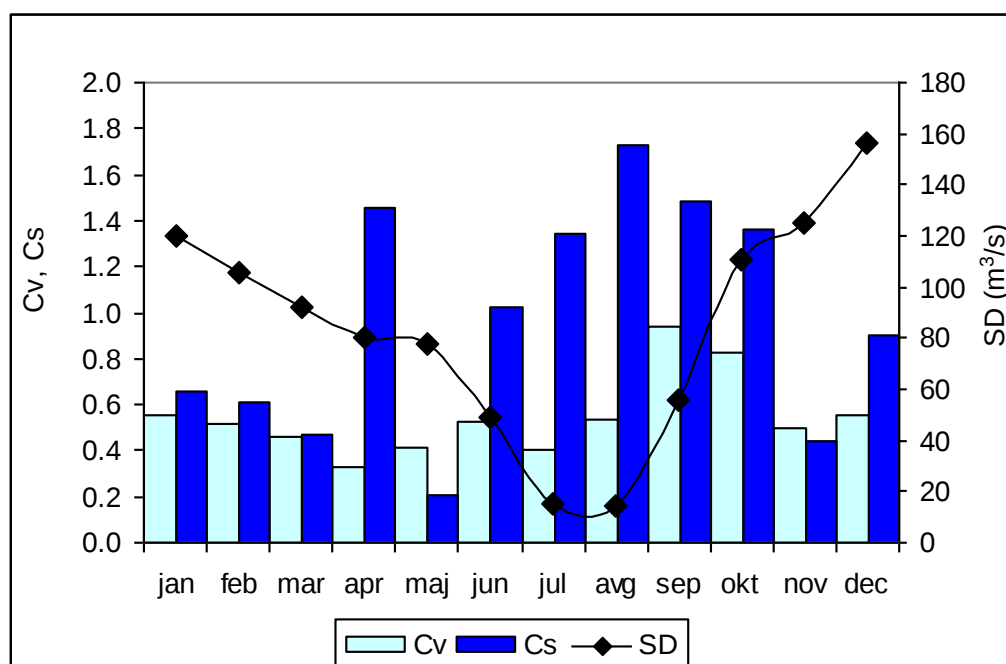
Tabela 1 Rangiranje vodotoka prema vrijednostima koeficijenta varijacije – Cv (Tošić & Crnogorac, 2005).

Grupa	Vrijednost Cv	Karakteristika
I	< 0,5	Malo kolebanje
II	od 0,51 do 0,65	Umjereno kolebanje
III	od 0,66 do 0,80	Veće kolebanje
IV	> 0,80	Veliko kolebanje

Primjenom pomenute klasifikacije, proticaj rijeke Morača tokom tri prolječna mjeseca (mart, april i maj), kao i u julu i novembru, pripada I grupi vodotoka, koju karakterišu mala kolebanja. Takođe, tokom 5 mjeseci (januar, februar, jun, avgust i decembar), proticaj Morače ima umjereno kolebanje. Prema prosječnim vrijednostima Cv, veće kolebanje (III grupa) rijeka Morača ima tokom septembra i oktobra.

Na osnovu prosječnih mjesečnih vrijednosti proticaja, izračunat je i koeficijent asimetrije (Cs), koji se kreće u rasponu od 0,21 u maju do čak 1,73 u avgustu. Dobijeni rezultati ukazuju da jedino u maju postoji mala statistička asimetrija, dok veći dio godine registruje srednju i jaku asimetriju. Drugim riječima, tokom pet mjeseci (period jun–oktobar), postoji izrazita asimetrija grupisanja podataka, odnosno velika kolebanja proticaja rijeke Morače na posmatranom profilu.

Treba dodati da su pozitivne vrijednosti Cs pokazatelj negativnih anomalija proticaja u periodu 1951–2010. To znači da u posmatranom 60-godišnjem periodu treba računati veću učestalost negativnih u odnosu na pozitivna odstupanja, kako na mjesečnom, tako i na sezonskom i godišnjem nivou. Analiza koja slijedi treba to da i pokaže. Na grafičkom prikazu date su prosječne mjesečne vrijednosti standardne devijacije, koeficijenta varijacije i koeficijenta asimetrije proticaja Morače na HS Podgorica (slika 6).



Slika 6 Prosječne vrijednosti standardne devijacije (SD), koeficijenta varijacije (Cv) i koeficijenta asimetrije (Cs) proticaja rijeke Morače na HS Podgorica, period 1951–2010.

Proračuni su urađeni i na sezonskom i godišnjem nivou. Na profilu kroz Podgoricu, rijeka Morača tokom jednog zimskog dana prosječno pronese 233,7 m³/s vode, dok je proticaj ljeti neuporedivo manji, svega 52,2 m³/s. Prosječni prolječni proticaj (209,1 m³/s) je veći nego u jesen (148,7 m³/s). Ovo je prevashodno posljedica pluviometrijskog režima u slivu ove rijeke. Normalno ili standardno kolebanje proticaja je najveće zimi, kada su i najveći proticaji na profilu HS Podgorica. Tako da u ovom godišnjem dobu SD iznosi 91,7 m³/s, dok je njena najmanja vrijednost ljeti, 22,3 m³/s.

Međutim, kako su proticaji najmanji ljeti i početkom jeseni, Cv je upravo najveći tokom dva pomenuta godišnja doba – ljeti iznosi 0,43, a u jesen 0,45. Kada je u pitanju koeficijent asimetrije, najveća vrijednost Cs od 1,09 dobijena je za ljetnju sezonu. Tako velika vrijednost Cs ljeti je posljedica najmanjih proticaja i pokazatelj je da u ovom godišnjem dobu postoji izražena dominacija negativnih odstupanja proticaja u posmatranom 60-godišnjem periodu. U toku prosječne godine, kroz profil HS Podgorica koritom Morače protekne 161,0 m³/s vode, a uobičajeno kolebanje je $\pm 38,2$ m³/s. Iako na mjesečnom i sezonskom nivou proticaj Morače prilično oscilira, godišnja vrijednost Cv (0,24) ukazuje na ne tako izražena kolebanja. Godišnja vrijednost Cs (0,45) pokazatelj je povećane asimetrije i dominacije negativnih anomalija. Vrijednosti pomenutih parametra proticaja Morače na posmatranom profilu dati su u tabeli 2.

Tabela 2 Srednja vrijednost parametara proticaja rijeke Morače na HS Podgorica za period 1951–2010: proticaj (Q), standardna devijacija (SD), koeficijent varijacije (Cv) i koeficijent asimetrije (Cs).

Parametar	Zima	Proljeće	Ljeto	Jesen	Godina
Q (m ³ /s)	233.7	209.1	52.2	148.7	161.0
SD (m ³ /s)	91.7	63.0	22.3	67.5	38.2
Cv	0.39	0.30	0.43	0.45	0.24
Cs	0.20	0.51	1.09	0.36	0.45

5.2. Srednje velike i srednje male vode Morače na profilu HS Podgorica

S obzirom na to da rijeka Morača protiče kroz glavni i najnaseljeniji grad u Crnoj Gori i da se HS Podgorica nalazi upravo u gradu, za život i radne aktivnosti stanovništva, značajno je utvrditi čestinu srednje velikih i srednje malih voda. Naime, velike vode povećavaju rizik od poplava, a male vode od suša. Oba hazarda (poplave i suše) nijesu povoljna za životnu sredinu. Za ove potrebe, kao srednje velike vode izdvojeni su svi

proticaji čija su odstupanja veća od jedne standardne devijacije, a srednje male vode su one sa odstupanjima manjim od jedne standardne devijacije.

Razumije se, što je odstupanje veće to je i rizik od poplava i suša veći. Na primjer, ako je odstupanje manje od 1 SD, postoji manji rizik od suša, a odstupanje manje od 2 SD ukazuje na potencijalno srednji nivo rizika od suša, dok odstupanje manje od 3 SD predstavlja veliki rizik od suša. Isto važi i kada su u pitanju srednje velike vode – potencijalno manji, srednji i veliki rizik od poplava. Proračuni koji slijede imaju veliku praktičnu vrijednost, a zbog pluviometrijskog režima padavina, posebnu pažnju treba obratiti na ljetnje i zimske mjesece, jer su u pitanju godišnja doba najrizičnija na sušu (ljetno) i poplave (zima).

Primjera radi, jun mjesec karakteriše čak 38 srednjih proticaja sa negativnim odstupanjima, a 22 sa pozitivnim. Dakle, tokom posmatranog 60-godišnjeg perioda, u 63,3% slučajeva srednji proticaj u junu je imao negativnu vrijednost. Od 38 pomenutih slučajeva, čak 24 je registrovano u drugoj polovini posmatranog perioda (1981–2010). Drugim riječima, tokom posljednjih analiziranih 30 godina (1981–2010), srednji proticaj Morače na profilu HS Podgorica u junu mjesecu je u 80% slučajeva bio ispod prosjeka. Ovo je zabrinjavajuća situacija, jer ukazuje na povećanje aridizacije inače aridnih ljetnjih uslova u mediteranskom dijelu Crne Gore.

Analiza je dalje pokazala apsolutnu dominaciju srednjih proticaja u granicama tzv. normalnog odstupanja (± 1 SD). U periodu od 60 godina, jun je 9 puta imao srednji proticaj koji se svrstava u kategoriju velikih voda (1–2 SD), a po jednom je svrstan u kategoriju vrlo velikih voda (2–3 SD) i ekstremno velikih voda (odstupanje > 3 SD). Da pomenemo da su u junu mjesecu vrlo velike vode zabilježene 1953. godine, a ekstremno velike vode 1959. godine. S druge strane, tokom 7 od 60 godina koje smo analizirali srednji proticaj Morače na HS Podgorica pripadao je kategoriji malih voda (od -1 do -2 SD), dok velikih voda i ekstremno velikih voda nije bilo.

Ako posmatramo jedan zimski mjesec, npr. decembar, logično da su u većini slučajeva odstupanja u granicama normalnog kolebanja, kao i kod ostalih mjeseci. Srednji decembarski proticaj na profilu HS Podgorica, tokom 35 godina bio je sa odstupanjima ispod prosjeka, a u 25 slučajeva iznad prosjeka. U ovom mjesecu, male vode su registrovane 8 puta, dok vrlo malih i ekstremno malih voda nije bilo. Velike vode su se pojavile 6 puta, a vrlo velike vode 3 puta.

Proračuni su urađeni i za ostale mjesece, a dobijeni rezultati prikazani su u tabeli 3. Zajednička karakteristika za sve mjesece je apsolutna dominacija negativnih odstupanja. Izuzetak je jedino mjesec maj, koji je u posmatranom 60-godišnjem periodu registrovao isti broj pozitivnih i negativnih odstupanja (po 30 slučajeva).

Dakle, srednji mjesečni proticaji sa vrijednostima ispod prosjeka se češće javljaju, a osim septembra svi ostali mjeseci su registrovali po nekoliko puta male vode (1–13 puta), ali je interesantno da nikada nijesu zabilježene vrlo male i ekstremno male vode. Takođe, svi mjeseci su registrovali 2–10 puta velike vode. Za razliku od vrlo malih i ekstremno malih voda, koje nijesu zabilježene, svi mjeseci su registrovali vrlo velike vode (2–3 puta), a april, tri ljetnja mjeseca (jun, jul i avgust) i oktobar bilježe i po 1–2 slučaja ekstremno velikih voda.

Na osnovu dobijenih rezultata možemo zaključiti da su srednji mjesečni proticaji često bili ispod prosjeka u posmatranom periodu (1951–2010), ali ne zabrinjavajuće ispod prosjeka, jer nije bilo vrlo malih i ekstremno malih voda. Međutim, bilo je vrlo velikih i ekstremno velikih voda. Šta ovo znači? Dugoročno posmatrano, vrlo vjerovatno da srednji mjesečni proticaji imaju negativan trend, odnosno tendenciju ka aridnijim uslovima, a da sa druge strane imamo pojedinačne slučajeve sa vrlo velikim i ekstremno velikim vodama, koji povećavaju rizik od poplava, prevashodno u periodu godine koji je bogat padavinama (kraj jeseni i zima).

Tabela 3 Kategorizacija srednjih mjesečnih proticaja na osnovu normalizovanih odstupanja – rijeka Morača na profilu HS Podgorica, period 1951–2010.

	jan.	feb.	mar.	apr.	maj	jun	jul	avg.	sep.	okt.	nov.	dec.
1951	-0.02	0.83	1.57	0.28	0.99	0.93	0.22	-0.22	-0.63	-0.65	0.46	-1.06
1952	1.08	0.12	-1.05	-0.34	-0.86	-0.81	-0.98	-0.71	0.32	1.50	1.67	2.74
1953	1.08	-0.28	-1.24	-0.44	0.31	2.21	0.74	-0.56	-0.76	-1.11	-1.95	-1.75
1954	-1.63	-1.15	2.72	-0.22	2.03	0.17	-0.84	-0.93	-0.84	-0.46	-1.08	-0.36
1955	1.13	2.10	0.15	-1.27	-1.44	-1.15	-0.89	0.14	1.76	2.10	0.23	-0.45
1956	0.21	-0.56	-0.57	-0.13	0.24	-0.02	-0.26	-0.84	-0.87	-0.96	0.37	-0.88
1957	-1.02	1.31	-0.80	-0.88	-0.26	-0.55	-0.45	-0.72	-0.68	0.01	-0.24	-0.22
1958	0.12	0.44	1.21	1.60	1.19	-0.04	-0.64	-0.83	-0.87	-0.83	0.32	0.82
1959	2.02	-0.66	-0.06	0.27	0.93	3.24	3.30	1.45	0.54	-0.91	0.76	2.83
1960	0.05	2.08	0.98	-0.24	0.29	-0.17	0.02	-0.51	-0.69	1.01	1.51	0.70
1961	0.08	-1.23	-1.38	-1.47	-0.07	-0.10	-0.42	-0.51	-0.80	-0.01	1.25	-0.61
1962	-0.52	-0.96	2.29	1.69	0.29	-0.70	-0.05	-0.50	-0.81	-1.01	0.93	-0.21
1963	2.72	1.65	-0.14	-0.28	0.66	1.67	0.70	-0.47	-0.44	-0.58	-0.40	1.12
1964	-0.84	-0.64	0.63	0.14	-0.95	-0.38	0.80	0.09	-0.66	1.57	-0.42	1.38
1965	0.16	-0.64	0.87	0.81	0.52	1.87	1.87	-0.01	-0.58	-1.02	-0.21	0.54
1966	0.02	1.28	-0.28	-0.17	0.47	0.43	1.64	0.73	-0.33	0.80	0.84	0.12
1967	-0.20	-0.95	-0.47	0.90	0.58	0.27	1.86	0.44	-0.24	-0.68	-1.42	-0.19
1968	0.37	0.10	0.24	-0.64	-0.66	0.15	0.02	1.63	0.53	-0.87	0.62	0.34
1969	-0.04	1.72	0.43	0.62	1.28	1.46	1.13	1.91	0.99	-0.81	-0.45	0.34
1970	2.36	0.55	0.97	3.76	0.56	1.70	2.94	0.93	-0.48	-0.61	-0.24	-0.82
1971	1.74	-0.31	-0.15	0.28	0.24	0.10	-0.35	-0.34	-0.32	-0.38	-0.28	-0.45
1972	-0.82	0.06	-0.64	-0.46	-0.48	-0.78	0.53	2.19	1.79	-0.21	-0.04	-1.14
1973	-0.58	-0.03	-0.97	-0.79	-0.10	-0.96	-0.22	-0.19	-0.11	-0.47	-0.81	-0.28
1974	-0.95	-0.26	-0.86	-1.31	1.15	-0.18	-0.41	-0.45	0.97	3.72	0.12	-0.77
1975	-1.31	-1.43	-0.68	-0.25	-1.36	-1.12	-0.15	0.03	-0.53	0.35	-0.42	-0.93
1976	-1.01	-0.81	-0.77	-0.46	0.47	0.54	0.21	1.10	0.49	-0.03	0.61	0.83
1977	0.38	1.54	0.86	0.70	-0.61	-0.71	-0.54	3.06	0.93	0.26	-0.09	-0.52
1978	-0.28	1.51	1.18	0.88	2.71	1.36	1.17	0.03	1.03	0.61	-1.49	-0.01
1979	1.11	2.06	0.35	2.11	1.01	1.23	2.08	3.44	-0.11	0.68	2.62	-0.21
1980	-0.02	-0.17	0.00	-1.12	1.67	1.63	0.82	-0.07	-0.69	1.22	1.77	0.01
1981	-0.64	-0.45	1.01	-0.15	0.36	-0.11	-0.22	-0.29	-0.36	0.75	-1.31	1.17
1982	-0.22	-1.26	-0.65	-0.06	-1.08	-0.74	-0.92	-0.62	-0.80	-0.14	-1.04	0.23
1983	-1.01	0.07	-0.64	-0.47	-1.05	-0.86	-0.77	-0.76	-0.67	-1.06	-1.73	-0.42
1984	0.47	-0.59	-0.29	-0.35	1.40	0.26	0.33	-0.53	2.27	0.60	0.00	-1.01
1985	-0.42	0.10	-0.16	-0.62	0.24	-0.73	-0.83	-0.71	-0.80	-1.07	1.90	-0.51
1986	1.52	1.99	1.58	0.25	-0.32	1.19	0.53	-0.49	-0.69	-0.86	-1.68	-1.45
1987	0.55	0.14	-0.37	-0.24	0.99	0.93	-0.14	-0.53	-0.79	-0.96	-0.28	0.02
1988	-0.92	0.69	0.44	0.29	-0.24	-0.02	-0.28	-0.68	1.15	-0.73	-0.90	-0.21
1989	-1.50	-1.25	0.35	-0.87	-1.07	-0.85	-0.68	0.61	0.05	-0.19	-0.09	-1.13
1990	-1.25	-1.03	-1.49	-0.10	-1.47	-1.08	-1.09	-0.76	-0.75	-0.33	-0.05	-0.26
1991	-1.01	0.13	-0.65	-1.04	0.43	1.29	0.12	-0.32	-0.62	0.20	1.83	-0.89
1992	-1.37	-1.40	-1.16	0.03	-1.34	-0.32	-0.15	-0.55	-0.75	2.23	0.57	-0.51
1993	-1.44	-1.54	-1.31	-0.91	-1.55	-1.30	-1.12	-0.56	-0.50	0.09	0.37	0.73
1994	0.02	-0.60	-1.14	2.96	-0.47	-0.67	-0.61	-0.32	-0.38	-0.47	-0.87	-1.59
1995	-0.24	0.02	0.46	-0.39	0.64	-0.18	-0.69	2.19	2.93	-0.80	-1.15	0.60
1996	0.58	0.13	-0.05	1.02	1.12	-0.54	-0.72	-0.59	2.80	0.80	0.31	0.24
1997	0.23	-1.05	-1.08	-1.36	-0.08	-0.87	-1.01	-0.64	-0.85	-0.78	-0.30	-0.18
1998	-0.53	-1.11	-1.74	-0.63	0.20	-0.05	-0.85	-0.19	2.66	1.48	-0.24	-0.48
1999	-0.56	-0.01	-0.47	-0.11	-0.13	-0.51	-0.93	-0.70	-0.80	-0.94	-0.44	1.82
2000	-0.59	-0.94	-0.78	0.04	-1.53	-1.39	-1.43	-1.15	0.40	0.08	0.53	0.11
2001	1.39	0.15	0.95	-0.04	-0.96	-0.70	-0.28	-0.57	0.41	-0.94	0.09	-1.13
2002	-1.12	-0.76	-1.17	0.68	-1.78	-1.08	-0.95	0.62	0.96	1.40	-0.63	-0.59
2003	1.10	-0.33	-1.40	-1.04	-1.04	-1.21	-1.19	-0.87	-0.56	1.57	0.67	-0.62
2004	0.32	0.34	1.34	1.27	1.24	0.61	-0.05	-0.31	-0.43	-0.18	-0.44	1.77
2005	-0.66	0.01	1.39	0.58	-0.01	-0.35	0.61	0.95	0.82	0.13	-0.21	0.91
2006	0.17	-0.08	1.35	0.10	0.18	-0.03	-0.01	0.80	-0.32	-0.92	-1.48	-0.73
2007	-0.41	0.34	0.14	-1.15	-1.28	-0.94	-0.62	-0.10	-0.13	-0.31	-0.08	-0.76
2008	-0.45	-1.01	0.73	-0.41	-0.90	-0.69	-0.75	-0.74	-0.67	-0.69	-0.36	1.19
2009	1.10	0.40	-0.15	-1.08	-1.39	-0.56	0.92	-0.75	-0.83	-0.06	0.23	0.56
2010	1.49	1.62	0.61	0.23	-0.01	0.22	-0.08	-0.74	-0.66	-0.14	2.22	2.19
+ SD	28	29	27	24	30	22	22	19	20	23	26	25
- SD	32	31	33	36	30	38	38	41	40	37	34	35
	Normalno kolebanje				Velike vode				Male vode			

Kada su sezone u pitanju, srednji proticaj Morače na profilu HS Podgorica zimi je tokom 38 godina bio u granicama normalnog odstupanja. Velike vode su registrovane 11 puta, a male vode 9 puta. Po jedanput su zimi zabilježene vrlo male srednje vode (1954. godine) i vrlo velike srednje vode (1960. godine), dok ekstremno velikih i ekstremno malih voda nije bilo u ovom godišnjem dobu. Inače, postoji dominacija negativnih u odnosu na pozitivna odstupanja (32:28), što je rezultat mjesečnih proračuna. I u proljećnoj sezoni dominiraju negativna odstupanja, ali nije bilo vrlo malih i ekstremno malih voda. Prolječne male vode registrovane su ukupno 11 puta u periodu od 1951. do 2010. godine. Takođe, nije bilo ni ekstremno velikih voda, dok su vrlo velike i velike vode registrovane 3, odnosno 6 puta.

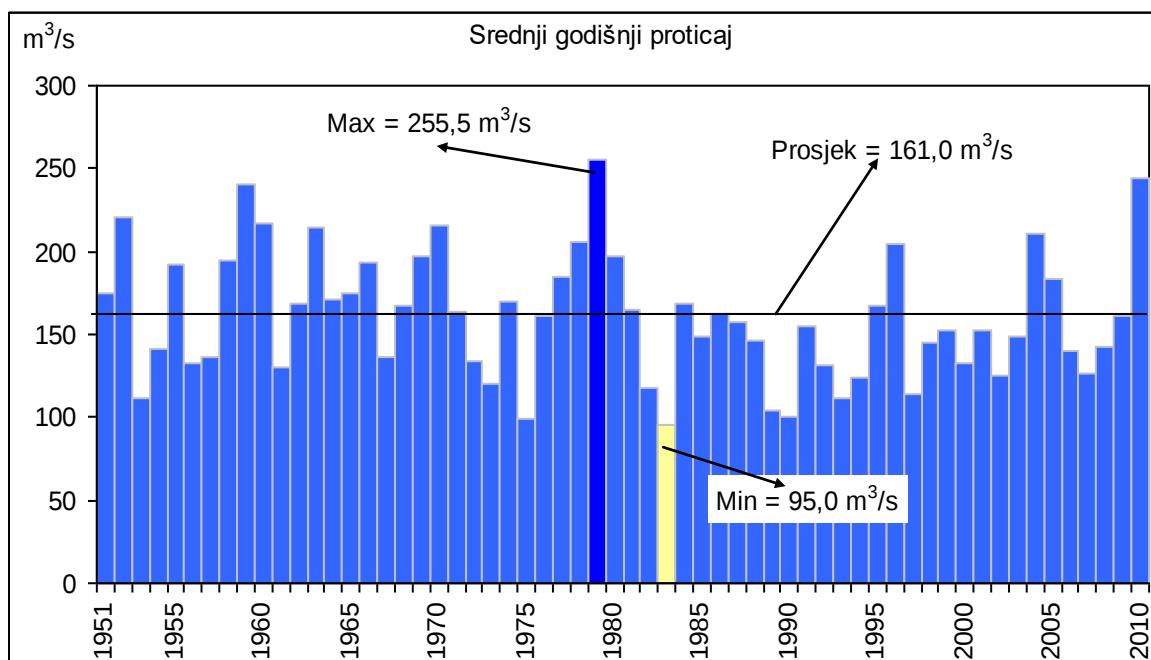
Rijeka Morača najniže vodostaja registruje ljeti, jer je to godišnje doba sa najmanjom količinom padavina u njenom slivu i najvećim isparavanjem. Na posmatranom profilu, prosječni proticaj Morače zimi je 4,5 puta veći nego ljeti. I u ovom godišnjem dobu dominiraju negativna odstupanja (36:24). U 76,7% slučajeva (46 godina) ljetnji srednji proticaj Morače bio je u granicama uobičajenog odstupanja. Velike vode su registrovane u 10,0% (6 godina), a male vode u 8,3% (5 godina) slučajeva. Ni u ovom godišnjem dobu nije bilo vrlo malih i ekstremno malih voda. U 3,3% slučajeva (2 godine) registrovane su vrlo velike vode, a 1959. godine srednji ljetnji proticaj pripadao je kategoriji ekstremno velikih voda, ali nije predstavljao rizik od poplava. U jesenjoj sezoni nije bilo ekstremno velikih i ekstremno malih voda, a samo su po jedanput registrovane vrlo velike i vrlo male vode (tabela 4).

Prosječni godišnji proticaji Morače iznosi 161,0 m³/s, a najveća vrijednost registrovana je 1979. godine, 255,5 m³/s. Drugi i treći najveći proticaj Morače na profilu HS Podgorica zabilježeni su 2010. i 1959. godine. Tri pomenute godine (1979., 2010. i 1959.) pripadaju kategoriji vrlo velikih voda i u svim slučajevima, i to u zimskoj sezoni, registrovale su poplave. Po nezapamćenim poplavama posebno se ističe 2010. godina, kada su početkom decembra i u januaru, zabilježene katastrofalne poplave u donjem dijelu toka Morače i oko njenog ušća u Skadarsko jezero (Burić i dr., 2016).

Tabela 4 Normalizovana odstupanja srednjih sezonskih i godišnjih proticaja – Morača na profilu HS Podgorica, 1951–2010.

	zima	proljeće	ljet	jesen	godina
1951	1.46	1.29	0.68	-0.24	0.35
1952	-0.08	-1.01	-0.96	1.95	1.55
1953	1.92	-0.66	1.66	-2.02	-1.30
1954	-2.15	2.06	-0.26	-1.15	-0.51
1955	1.10	-1.06	-1.01	1.78	0.83
1956	-0.38	-0.24	-0.25	-0.53	-0.74
1957	-0.44	-0.87	-0.65	-0.33	-0.64
1958	0.10	1.75	-0.34	-0.50	0.87
1959	1.10	0.47	3.40	0.12	2.09
1960	2.43	0.49	-0.23	1.29	1.47
1961	-0.03	-1.33	-0.27	0.55	-0.82
1962	-0.94	1.95	-0.63	-0.19	0.20
1963	1.71	0.09	1.27	-0.69	1.40
1964	0.03	-0.02	-0.08	0.42	0.27
1965	0.62	0.98	1.78	-0.85	0.37
1966	0.81	-0.02	0.84	0.87	0.84
1967	-0.38	0.39	0.71	-1.32	-0.65
1968	0.10	-0.43	0.46	0.05	0.15
1969	0.84	1.01	1.71	-0.45	0.96
1970	1.44	2.29	2.09	-0.61	1.45
1971	0.18	0.15	-0.08	-0.47	0.07
1972	-0.59	-0.70	0.01	0.35	-0.72
1973	-0.91	-0.85	-0.79	-0.79	-1.07
1974	-0.67	-0.50	-0.31	2.38	0.23
1975	-1.56	-0.99	-0.84	-0.21	-1.62
1976	-1.28	-0.38	0.67	0.50	-0.01
1977	1.23	0.47	0.01	0.34	0.62
1978	0.16	2.06	1.26	-0.30	1.17
1979	1.27	1.48	2.08	1.97	2.48
1980	-0.20	0.21	1.35	1.57	0.94
1981	-0.44	0.57	-0.19	-0.50	0.12
1982	0.09	-0.78	-0.88	-0.94	-1.13
1983	-0.28	-0.94	-0.96	-1.83	-1.73
1984	-0.26	0.28	0.15	0.95	0.20
1985	-0.71	-0.24	-0.87	0.36	-0.33
1986	1.14	0.74	0.89	-1.70	0.04
1987	-0.53	0.12	0.54	-0.91	-0.09
1988	-0.12	0.23	-0.22	-0.64	-0.38
1989	-1.26	-0.64	-0.64	-0.15	-1.49
1990	-1.58	-1.37	-1.20	-0.42	-1.58
1991	-0.54	-0.58	0.90	1.07	-0.17
1992	-1.64	-1.10	-0.38	1.37	-0.76
1993	-1.50	-1.66	-1.31	0.14	-1.30
1994	0.20	0.51	-0.69	-0.90	-0.97
1995	-1.01	0.32	0.17	-0.34	0.15
1996	0.65	0.86	-0.68	1.40	1.14
1997	-0.16	-1.14	-0.99	-0.85	-1.23
1998	-0.76	-1.03	-0.27	1.39	-0.41
1999	-0.52	-0.33	-0.73	-1.01	-0.21
2000	0.42	-0.99	-1.57	0.49	-0.76
2001	0.73	0.05	-0.70	-0.35	-0.22
2002	-1.42	-1.01	-0.87	0.64	-0.93
2003	0.02	-1.55	-1.34	1.13	-0.34
2004	-0.08	1.70	0.37	-0.48	1.31
2005	0.72	0.92	0.08	0.16	0.60
2006	0.56	0.77	0.14	-1.50	-0.55
2007	-0.46	-0.94	-0.85	-0.25	-0.92
2008	-1.01	-0.19	-0.83	-0.78	-0.49
2009	1.31	-1.10	-0.36	-0.12	-0.01
2010	1.59	0.44	-0.02	1.11	2.19
+ SD	28	29	24	26	28
- SD	32	31	36	34	32
	Normalno kolebanje		Velike vode		Male vode

HS Podgorica zabilježila je najmanji srednji godišnji proticaj ($95,0 \text{ m}^3/\text{s}$) 1983. godine, koji je pripadao kategoriji malih voda. Inače, ovoj kategoriji (male vode) pripadalo je ukupno 9 godina, dok vrlo malih i ekstremno malih voda nije bilo. Proticaji ispod prosjeka registrovani su 32 puta, a iznad tokom 28 godina. Na grafičkom prilogu (slika 7) jasno se uočava da se poslije 1980-te godine češće registruju proticaji koji su manji od prosjeka.



Slika 7 Srednji godišnji proticaji rijeke Morače na HS Podgorica (1951–2010)

Zajednička karakteristika za sve vremenske jedinice (mjesec, sezona i godina) jeste da proticaj Morače na posmatranom profilu koleba u širokom opsegu, odnosno da rijeka ima bujični karakter. Dalje se može zaključiti da je čestina proticaja iznad prosjeka veća u prvoj polovini posmatranog perioda (1951–1980), dok u drugoj polovini (1981–2010) dominiraju proticaji ispod prosjeka.

5.3. Trend proticaja Morače na profilu HS Podgorica

U periodu od 1951. do 2010. godine, najmanji i najveći srednji mjesečni proticaj registrovan je u decembru. Naime, decembra 1953. godine proticaj Morače na profilu HS Podgorica iznosio je svega 8,1 m³/s. S druge strane, srednji proticaj u decembru 1959. godine bio je 724,1 m³/s (tabela 5). To znači da je odnos između maksimalne i minimalne srednje vrijednosti 1:89,2. Pomenute vrijednosti se odnose na srednji mjesečni proticaj. Apsolutno najveći proticaj Morače na HS Podgorica izmjereno je 17. novembra 1979. godine, a iznosi je 1226 m³/s. Na osnovu raspoloživih informacija od hidrologa Zavoda za hidrometeorologiju i seizmologiju Crne Gore, nije se desilo da Morača na posmatranom profilu presuši.

*Tabela 5 Najveći i najmanji srednji proticaji
Morače na profilu HS Podgorica za period
1951–2010.*

	MIN	MAX
Januar	20.4	544.2
Februar	40.9	424.4
Mart	38.5	446.8
April	122.7	542.3
Maj	50.4	398.4
Jun	25.0	251.2
Jul	16.0	86.9
Avgust	10.0	74.6
Septembar	11.0	222.1
Oktobar	11.3	548.0
Novembar	9.0	580.5
Decembar	8.1	724.1
Zima	36.9	456.6
Proljeće	104.5	353.5
Ljeto	17.0	128.3
Jesen	12.3	309.5
Godina	95.0	255.5

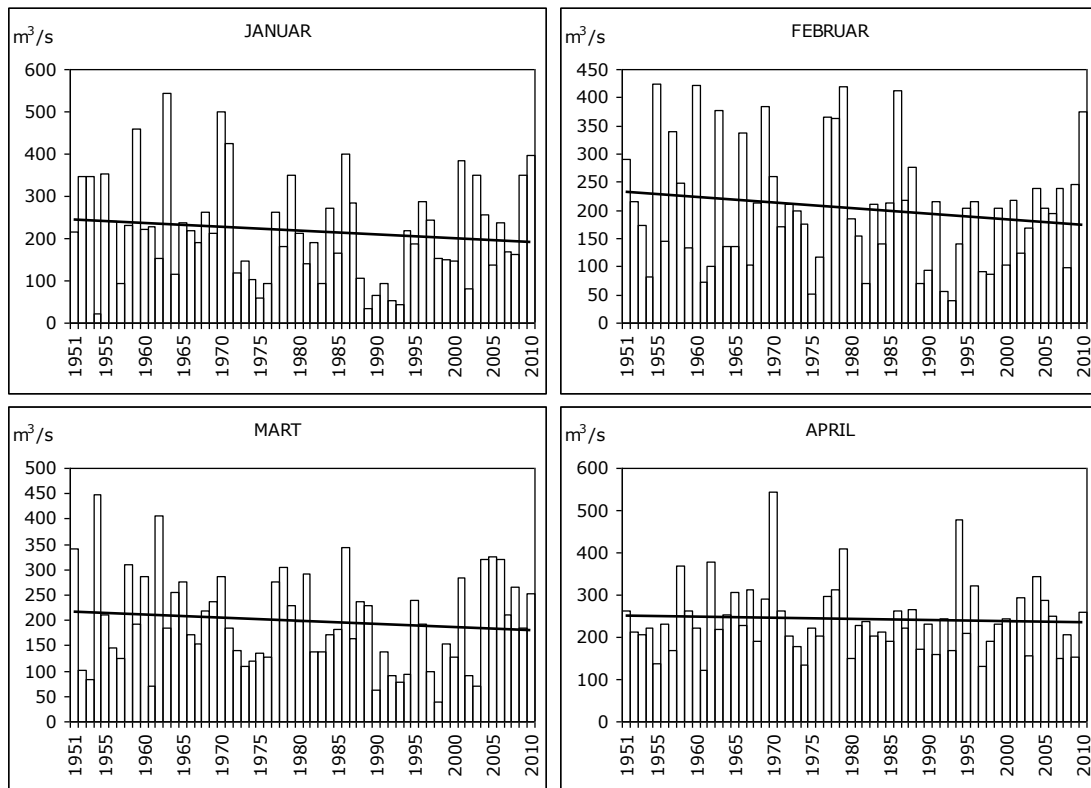
Kada je u pitanju trend komponenta, u većini slučajeva dobijene su negativne vrijednosti, što znači da se proticaj Morače na posmatranom profilu smanjuje. Na mjesečnom nivou, jedino septembar, oktobar i decembar registruju pozitivne vrijednosti, odnosno povećanje proticaja: 1,7, potom 3,8 i 1,1 m³/s/ dekad. Najizrazitije smanjenje proticaja registruje maj mjesec, -14,3 m³/s po dekad. Zimi i tokom proljeća i ljeta srednji proticaj Morače se smanjuje po stopi trenda od -10,1, odnosno od -6,8 i -3,5 m³/s/dekad. S obzirom na to da je trend proticaja u septembru i oktobru pozitivnog znaka, srednji jesenji proticaj Morače bilježi povećanje od 1,1 m³/s/dekad. U posmatranom 60-godišnjem periodu, srednji godišnji proticaj Morače na profilu HS Podgorica se smanjuje po stopi trenda od - 5,4 m³/s/dekad. Smanjenje proticaja u maju, junu i julu, kao i tokom ljeta, statistički je značajno na nivou rizika od $p < 0,05$, odnosno 95% nivou prihvatanja hipoteze. Uslove Men-Kendalovog testa značajnosti zadovoljava i trend smanjenje godišnjeg proticaja, ali na nižem nivou prihvatanja hipoteze, 90% nivo ($p < 0,1$). U svim ostalim slučajevima trend promjena proticaja Morače je beznačajan (tabela 6).

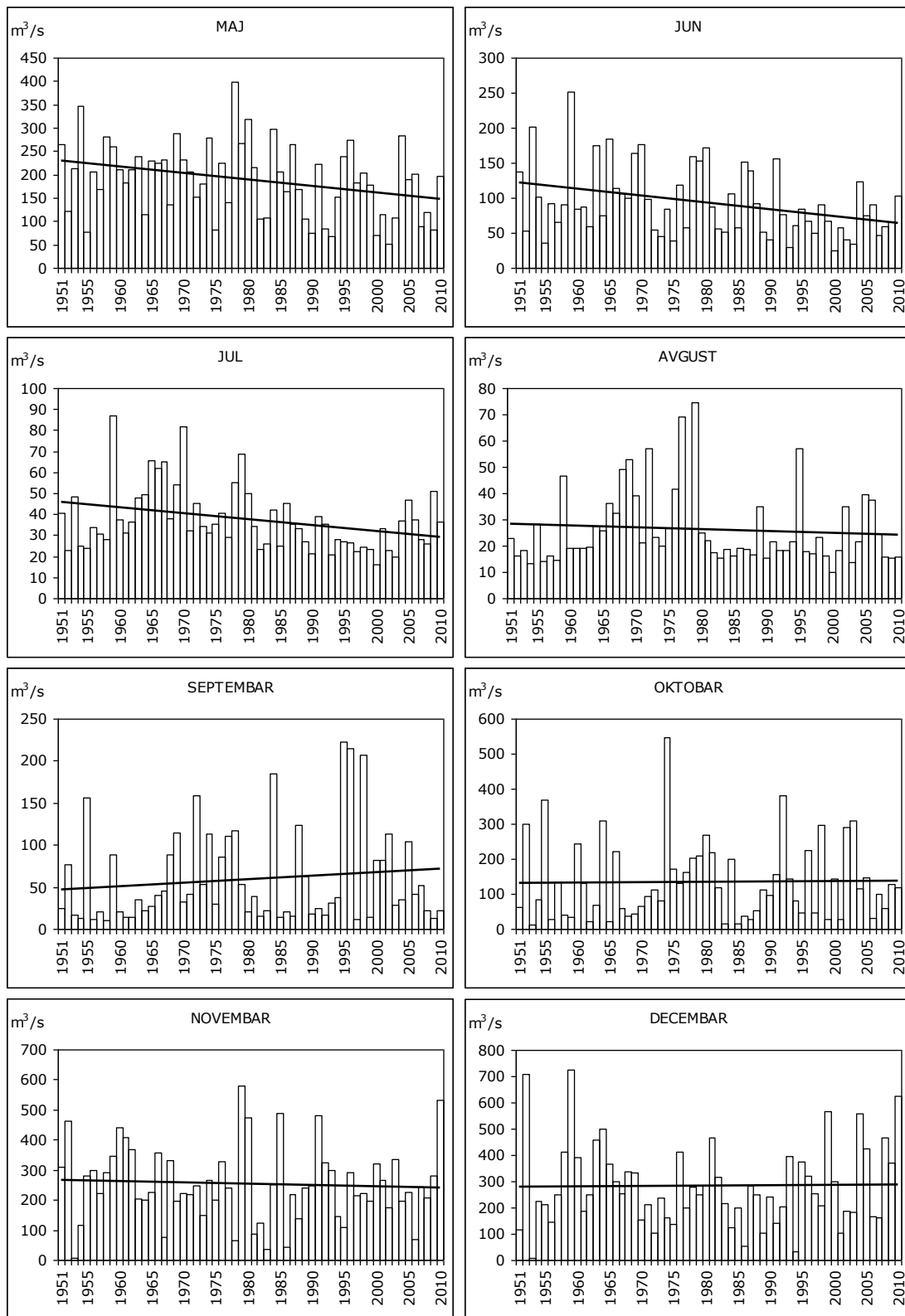
Tabela 6 *Trend srednjih proticaja rijeke Morače na profilu HS Podgorica za period 1951–2010.*

	Značajnost	Trend (m ³ /s/dekad)
Januar	Ne	-9.6
Februar	Ne	-4.6
Mart	Ne	-5.5
April	Ne	-1.0
Maj	*	-14.3
Jun	*	-8.3
Jul	*	-2.3
Avgust	Ne	-0.5
Septembar	Ne	1.7
Oktobar	Ne	3.8
Novembar	Ne	-6.3
Decembar	Ne	1.1
Zima	Ne	-10.1
Proljeće	Ne	-6.8
Ljeto	*	-3.5
Jesen	Ne	1.1
Godina	+	-5.4

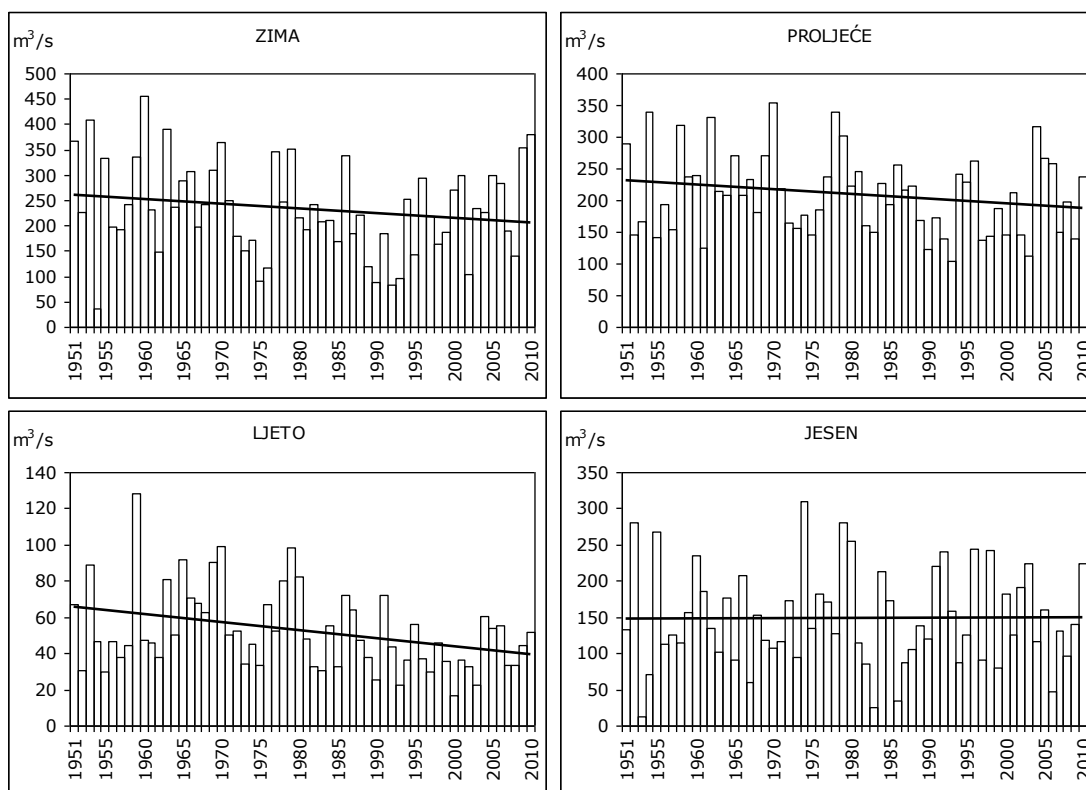
Nivo značajnosti: * $p < 0,05$; + $p < 0,1$.

Na grafičkim priložima koji slijede, date su vrijednosti srednjeg proticaja Morače na profilu HS Podgorica, kako na mjesečnom tako i sezonskom i godišnjem nivou, te nacrtana Senova linija nagiba trenda. Linija trenda potvrđuje blagi porast proticaja u septembru, oktobru i decembru, dok za ostale mjesece ima silazni karakter, odnosno prikazuje smanjenje proticaja (slika 8). Takođe, linija trenda potvrđuje i sezonske dobijene vrijednosti (slika 9). Da pomenemo da je trend smanjenja proticaja ljeti ($-3,5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{dekadi}$) statistički značajan i da to zabrinjava. Naime, ljeto je godišnje doba sa najmanje padavina i ima karakteristike aridne klime u većem dijelu sliva Morače. Ukoliko se nastavi negativan trend proticaja ljeti, vrlo vjerovatno da u ovom godišnjem dobu u bliskoj budućnosti može doći i do presušivanja Morače u dijelu toka kroz Podgoricu, a to će sigurno imati negativan uticaj na životnu sredinu.



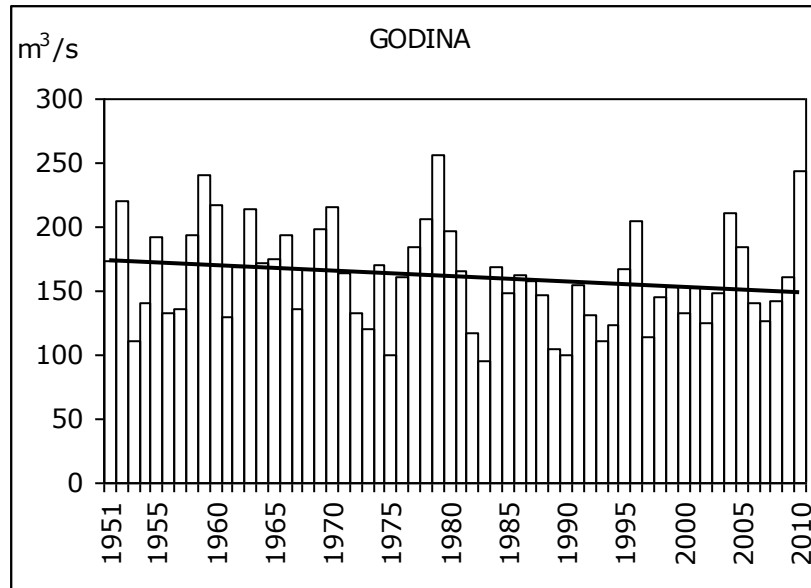


Slika 8 Trend srednjih mjesečnih proticaja Morače na profilu HS Podgorica (1951–2010)



Slika 9 Trend srednjih sezonskih proticaja Morače na profilu HS Podgorica (1951–2010)

Trend smanjenja proticaja je najveći zimi ($-10,1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{dekadi}$), ali je statistički beznačajan. Ova nelogičnost da je negativan trend ljeti gotovo 3 puta manji nego zimi, posljedica je vrijednosti proticaja u ova dva godišnja doba. Prosječni proticaj ljeti je svega $52,2 \text{ m}^3/\text{s}$, pa je zato stopa trenda od $-3,5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{dekadi}$ značajna. Prosječni proticaj zimi je $233,7 \text{ m}^3/\text{s}$, pa zato za trend od $-10,1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{dekadi}$ nije dobijena statistička značajnost. Već je pomenuto da je prosječni godišnji proticaj Morače na profilu HS Podgorica $161,0 \text{ m}^3/\text{s}$, ali vrijednost trenda od $-5,4 \text{ m}^3/\text{s}/\text{dekadi}$ je značajna na 90% nivou povjerenja, a silaznu tendenciju potvrđuje i linija trenda po metodu Sena (slika 10).



Slika 10 Trend srednjih godišnjih proticaja Morače na profilu HS Podgorica (1951–2010)

5.4. Specifični oticaj u slivu rijeke Morače do profila HS Podgorica

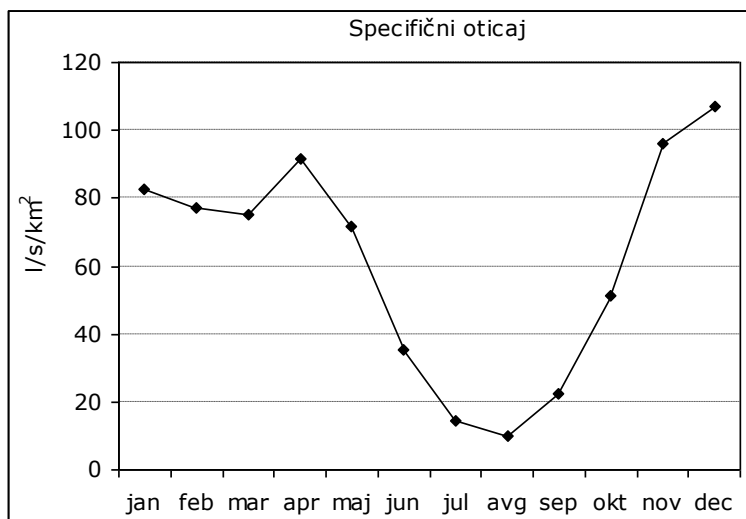
U ovom dijelu predloženi su rezultati proračuna specifičnog oticaja u slivu Morače do posmatranog profila. Specifični oticaj (q) je računat za svaku vremensku jedinicu (mjesec, sezona, godina), po obrascu (Dukić & Gavrilović, 2006):

$$q = Q \cdot 1000 / F \text{ (l/s/km}^2\text{)}$$

Dakle, specifični oticaj predstavlja broj litara atmosferske (padavinske) vode koja otekne sa površine od 1 km² sliva u jednoj sekundi. Proticaj (Q) se množi sa 1000 da bi se m³ pretvorili u litre (1 m³ = 1000 litara). Za potrebe master rada korišćene su prosječne vrijednosti proticaja na HS Podgorica i površina sliva (F) do pomenutog profila (2628 km²).

U kvalitativnom smislu, godišnji hod specifičnog oticaja isti je kao i godišnji hod srednje vode. Najmanji srednji mjesečni proticaj, kao i specifični oticaj, regustruje se u

avgustu. Naime, ljeti je mala količina padavina, veliko isparavanje, zemljište suvo (bez vlage), tako da je u avgustu specifični oticaj svega 26,2 l/s/km². Poslije avgusta, dakle od septembra, povećava se količina padavina, smanjuje isparavanje vode i zemljište je sve zasićenije vlagom, tako da najveći dio atmosfere vode otiče sa sliva u korito rijeke Morače. Međutim, najveći specifični oticaj, takođe i proticaj, ne registruje se u novembru, kada je obično najveća količina padavina, već u decembru (107,3 l/s/km²). Ovo iz razloga što je decembar poslije novembra mjesec koji je najbogatiji padavinama u slivu rijeke Morače i što je zbog nižih temperatura malo isparavanje, a zemljište zasićeno vlagom od novembarskih kiša. Nakon decembra, vrijednosti specifičnog oticaja opadaju do aprila, kada se registruje blago povećanje u odnosu na mart (slika 11). Vrlo vjerovatno da je veća vrijednost specifičnog oticaja u aprilu nego u martu posljedica topljenja snijega u gornjem planinskom dijelu sliva rijeke Morače. Nakon toga, zbog porasta temperature i isparavanja, te manjih količina padavina, specifični oticaj se smanjuje sve do zaključno sa avgustom.



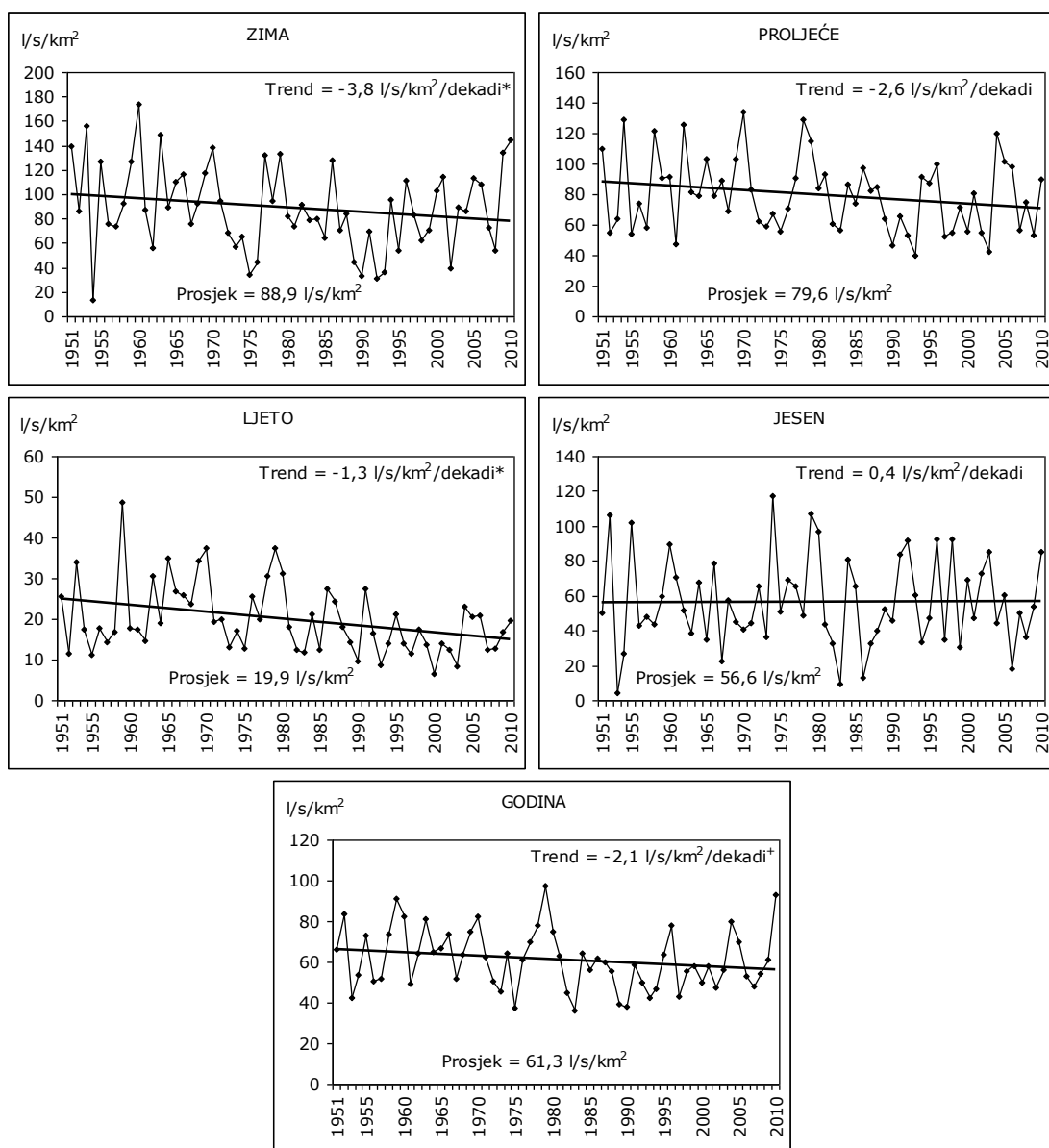
Slika 11 Prosječne vrijednosti specifičnog oticaja u slivu rijeke Morače do profila HS Podgorica za period 1951–2010.

Sezonske vrijednosti specifičnog oticaja u skladu su sa proticajem rijeke Morače. Najveća količina padavinske vode sa površine od jednog km² otiče zimi, 88,9 l/s/km². U

ostalim godišnjim dobima specifični oticaj iznosi: proljeće 79,6 l/s/km², ljeto 19,9 l/s/km² i u jesen 56,6 l/s/km². Srednjegodišnja vrijednost specifičnog oticaja u slivu Morače, do profila Podgorica, iznosi 61,3 l/s/km². Za sezonske i godišnje vrijednosti proračuni su urađeni za svaku godinu posebno, a potom je izračunat trend i ispitana njegova značajnost. Tokom zime i ljeta specifični oticaj se značajno smanjuje, jer sa površine od 1 km² u jednoj sekundi trend smanjenja iznosi -3,8 i -1,3 l po dekadi. Smanjenje specifičnog oticaja prisutno je i tokom proljeća (-2,6 l/s/km²/dekadi), ali je trend beznačajan. Takođe, beznačajne promjene prisutne su i u jesenjoj sezoni (0,4 l/s/km²/dekadi). Na godišnjem nivou trend specifičnog oticaja je -2,1 l/s/km²/dekadi i ta vrijednost je statistički značajna za $p < 0.1$ (slika 12).

Pomenute vrijednosti specifičnog oticaja odnose se prosjek cijelog sliva rijeke Morače do profila HS Podgorica. Sigurno da viši brdsko-planinski djelovi sliva imaju veće vrijednosti specifičnog oticaja nego niži ravničarski (Bjelopavlička ravnica i Podgorička kotlina). To je razlog veće količine padavina u višim terenima. Svakako, treba istaći da i geologija terena ima uticaja, pa tamo gdje dominiraju karbonatne stijene treba računati na veći specifični oticaj.

Koliki je uticaj krasa, najbolje pokazuje sljedeći primjer (Dukić & Gavrilović, 2006): u planinskom zaleđu Crnogorskog primorja (posebno Katunska nahija i jugozapad Crne Gore), najtipičnijem holokrasu u Evropi, za koji veliki J. Cvijić kaže tamo „gde ni kap vode ne otiče površinski”, u dubinu karstifikovane krečnjačko-dolomitske mase prodiere sloj vode od preko 2 m godišnje. O povećanju specifičnog oticaja u kraškim terenima Srbije pisao je i hidrolog Živković (2009). Pomenuti autor ističe da su npr. u gornjem dijelu sliva Kolubare, odnosno na području Valjevskih planina, dosta zastupljeni krečnjaci, a poznato je da kras povećava oticanje. Autor navodi podatak da je u slivu rijeke Gradac, desne pritoke Kolubare, do profila Degurić, koeficijent zakrašćenosti 70%, a specifični oticaj 17,57 l/s/km², odnosno značajno veći nego u slivu Kolubare – godišnji prosjek 8,25 l/s/km².



Slika 12 Trend specifičnog oticaja rijeke Morače na profilu HS Podgorica za period 1961–2010.

Na osnovu srednje vrijednosti specifičnog oticaja (mjesečne, sezonske, godišnje), može se izračunati prosječna ukupna zapremina otekne vode sa površine od 1 km^2 sliva. Ako je prosječni godišnji specifični oticaj $61,3 \text{ l/s/km}^2$, sa površine od 1 km^2 sliva Morače do profila HS Podgorica, prosječno otekne ukupna zapremina vode od $1.934.481 \text{ m}^3$ ($q \cdot 31,5576 \cdot 10^6 / 1000$ ili $q \cdot 31,5576 \cdot 10^3$). Prethodni podaci ukazuju da je naša država bogata vodom: „Sa prosječnim oticajem od 40 litara/s/km^2 , zapreminski izraženo oko

19,5 km³/god., Crna Gora spada u 4% svjetske teritorije sa najvećim prosječnim oticajem. Imajući pri tome u vidu činjenicu da se čak 95,3% vodotokova formira u Crnoj Gori, dakle sa izvoristom i slivnim područjem na teritoriji države, s pravom se može reći da je voda naš najveći prirodni resurs“ (ZHMSCG, [2024](#)).

5.5. Vodni bilans sliva rijeke Morače do profila HS Podgorica

Koristeći podatke o specifičnom oticaju i količini padavina, izračunata je visina i koeficijent oticaja, kao i ukupno isparavanje, odnosno razmatran je i vodni bilans za proučavani dio sliva. Vodni bilans sliva daje mogućnost upoznavanja vodnih resursa i ima veliki praktični značaj za vodoprivredu i planiranje iskorišćavanja vodotoka, tim prije što je potreba za vodom sve veća – za potrebe snabdijevanja stanovništva i industrije vodom, navodnjavanja, ali i njene zaštite od zagađenja. Vodni bilans je razmatran na osnovu uprošćene Briknerove jednačine (Dukić & Gavrilović, [2006](#)):

$$X_0 = Y_0 + Z_0$$

Drugim riječima, prosječna visina padavina (X_0) jednaka je zbiru prosječne visine oticaja (Y_0) i prosječnog isparavanja (Z_0) za datu vremensku jedinicu. To su glavni elementi vodnog bilansa. Za ove potrebe najveći problem predstavljali su podaci o padavinama, jer se raspolagalo samo sa podacima sa svega 4 meteorološke stanice (MS) – glavna MS Podgorica i 3 padavinske stanice (Andrijevo, Kupinovo i Lijeva Rijeka). Pomoću podataka sa 4 pomenute MS izračunat je gradijent padavina i procijenjena prosječna količina za sliv Morače do profila HS Podgorica, pa u tom kontekstu treba posmatrati dobijeni rezultate za one parametre koji se dobijaju preko padavina. Drugim riječima, dobijene rezultate treba prihvatiti kao približno tačne. Visina oticaja izračunata je preko specifičnog oticaja po obrascu (Dukić & Gavrilović, [2006](#)):

$$Y_0 = q \cdot 31,56 \cdot 10^6 \text{ (mm)} - \text{za godinu}$$

$$Y_0 = q \cdot 2,59 \cdot 10^6 \text{ (mm)} - \text{za mjesec sa 30 dana}$$

$$Y_0 = q \cdot 2,68 \cdot 10^6 \text{ (mm)} - \text{za mjesec sa 31 dan}$$

$$Y_0 = q \cdot 2,44 \cdot 10^6 \text{ (mm)} - \text{za mjesec februar}$$

Isparavanje je izračunato kao razlika između padavina i visine oticaja ($Z_0 = X_0 - Y_0$). Za potrebe rada izračunat je i koeficijent oticaja (C), kao odnos visine oticaja i padavina ($C = Y_0/X_0$). Rezultati proračuna za pomenute hidrološke varijable dati su u tabeli 7, a zbog jednodobnosti odnose se na 1 m² sliva. Prema procjeni, prosječna godišnja količina padavina u posmatranom dijelu sliva iznosi 2494 l/m². Od pomenute količine, visina oticaja iznosi 1929,3 mm, a ispari 564,7 mm. Na osnovu ovih podataka prosječna godišnja vrijednost koeficijenta oticaja je 77,4%. Inače, koeficijent oticaja je najmanji tokom ljetnjih mjeseci, posebno u julu i avgustu (< 35%), zbog velikog isparavanja, dok je najveća vrijednost dobijena za zimske mjesece (> 85%).

Tabela 7 *Komponente vodnog bilansa sliva Morače do profila HS Podgorica (1951–2010)*

	X ₀ (mm)	X ₀ (%)	Y ₀ (mm)	Y ₀ (%)	Z ₀ (mm)	Z ₀ (%)	C	C (%)
jan.	250.0	10.0	220.9	11.5	29.1	5.1	0.88	88.4
feb.	220.0	8.8	188.5	9.8	31.5	5.6	0.86	85.7
mar.	229.0	9.2	201.7	10.5	27.3	4.8	0.88	88.1
apr.	264.0	10.6	237.5	12.3	26.5	4.7	0.90	89.9
maj	220.0	8.8	192.2	10.0	27.8	4.9	0.87	87.4
jun	150.0	6.0	91.6	4.7	58.4	10.3	0.61	61.1
jul	110.0	4.4	38.2	2.0	71.8	12.7	0.35	34.8
avg.	115.0	4.6	26.7	1.4	88.3	15.6	0.23	23.2
sep.	125.0	5.0	58.4	3.0	66.6	11.8	0.47	46.7
okt.	201.0	8.1	136.9	7.1	64.1	11.4	0.68	68.1
nov.	310.0	12.4	249.1	12.9	60.9	10.8	0.80	80.3
dec.	300.0	12.0	287.5	14.9	12.5	2.2	0.96	95.8
godina	2494.0	100.0	1929.3	100.0	564.7	100.0	0.77	77.4

X₀-padavine; Y₀-visina oticaja; Z₀-isparavanje; C-koeficijent oticaja

Treba istaći da oticanje atmosferske vode u slivu svake rijeke zavisi od klimatskih elemenata, prije svega od količine i režima padavina, njihovog oblika (kiša, snijeg), intenziteta i veličine isparavanja, koje zavisi od temperature vazduha, vode i zemljišta. Svakako, bitan je i uticaj ostalih faktora koji utiču na veličinu oticanja – oblik reljefa, geologija terena (naročito kras), vegetacija, gustina riječne mreže, ljudske djelatnosti u slivu. Pri ostalim istim uslovima, najbitniji je pluviometrijski režim, odnosno količina i raspodjela padavina u toku godine.

Pluviometrijski režim u slivu rijeke Morače je direktna posljedica ciklonskih aktivnosti i konvekcije vazduha u ljetnjim mjesecima, ali djelimično i orografije u planinskom dijelu sliva. To znači da najveću učestalost imaju frontalne (ciklonske), potom orografske, a ljeti se lokalno javljaju i konvektivne padavine. Mjesečne sume padavina su izrazito neravnomjerno raspodijeljene tokom prosječne godine. Za potrebe poljoprivrede, pluviometrijski režim je prilično nepovoljan, jer se najviše padavina izluči u hladnijem dijelu godine, a najmanje u periodu maj-avgust, odnosno u periodu kada je vegetaciji voda najpotrebnija. Na kraju ovog segmenta rada da ponovimo da su padavine procijenjene za proučavani dio sliva. Na godišnjem nivou, prosječna procijenjena količina padavina iznosi 2494 mm. U studiji „Hidrologija slivova rijeka Morače, Zete i Pive u kontekstu nove razvojne paradigme“, gdje se razmatrao hidroenergetski potencijal pomenutih rijeka, navodi se da prosječna godišnja količina padavina iznosi 2336 mm (Sekulić & Radulović, 2016), što je približno procjeni koja je data u ovom radu.

5.6. Statistička značajnost razlike proticaja perioda: 1951–1980. i 1981–2010.

Prosječni godišnji proticaj, za cio posmatrani period (1951–2010) iznosio je 161,0 m³/s. Za periodu od 1951. do 1980. godine ta vrijednost je 174,0 m³/s. Dakle, ovo je jasan indikator da se proticaj u drugoj polovini posmatranog perioda (1981–2010) smanjio. Prva asocijacija je da uzrok tome može biti da je u periodu 1981–2010. godina u odnosu na prethodni 30-godišnji period (1951–1980) došlo do smanjenja količine padavina i/ili

povećanja temperature vazduha koja je usloвила povećano isparavanje vode. Proračuni su to i potvrdili, generalno. Primjera radi, podaci MS Podgorica ukazuju da je prosječna godišnja količina padavina u prvoj polovini posmatranog perioda (1951-1980) iznosila 1699,1 mm, a u drugoj polovini perioda (1981–2010) bila je 1637,1 mm. Dakle, u drugoj polovini perioda prosječna godišnja količina padavina je manja za 61,9 mm. Sa temperaturom se dešava suprotno – druga polovina perioda toplija je od prve, a na godišnjem nivou ta razlika iznosi 0,6 °C. Maj, jul i avgust su u drugoj polovini perioda topliji u srednjoj vrijednosti za čak 1,1–1,3°C u odnosu na prvi 30-godišnji period (tabela 8). Posmatrajući sezone, najintenzivnije zagrijavanje registruje se ljeti. Za klimatski period 1981–2010., srednja ljetnja temperatura je viša za 1,1°C u odnosu na prethodni 30-godišnji period (1951–1980). Najnoviji rezultati trend analize za Crnu Goru potvrđuju značajno zagrijavanje za period 1961–2020. godine (Burić et al., 2024) i da će se trend zagrijavanja nastaviti do kraja 21. vijeka (Burić, 2024).

Tabela 8 Razlika u količini padavina i temperaturi vazduha u Podgorici između dva 30-godišnja perioda: 1951–1980. i 1981–2010.

	Temperatura (°C)			Padavine (mm)		
	1951–1980 (A)	1981–2010 (B)	B-A	1951–1980 (A)	1981–2010 (B)	B-A
Januar	5.1	5.8	0.7	195.1	159.7	-35.3
Februar	6.7	6.9	0.2	179.1	157.8	-21.4
Mart	9.8	10.4	0.6	148.2	153.9	5.6
April	13.9	14.4	0.5	137.3	138.3	1.0
Maj	18.8	19.8	1.1	96.3	83.3	-13.0
Jun	23.1	24.0	0.9	61.8	64.2	2.4
Jul	25.9	27.2	1.3	44.9	27.3	-17.6
Avgust	25.7	26.8	1.1	71.1	55.8	-15.3
Septembar	21.3	21.5	0.3	121.1	146.7	25.6
Oktobar	15.7	16.3	0.6	182.1	172.9	-9.2
Novembar	10.7	10.6	-0.1	237.1	245.5	8.3
Decembar	6.9	6.8	0.0	224.9	231.9	7.1
Zima	6.3	6.5	0.2	602.8	545.8	-57.0
Proljeće	14.2	14.9	0.7	381.8	375.5	-6.3
Ljeto	24.9	26.0	1.1	177.9	147.3	-30.6
Jesen	15.9	16.1	0.2	540.3	565.0	24.6
Godina	15.3	15.9	0.6	1699.1	1637.2	-61.9

Nema sumnje da je smanjenje padavina i porast temperature uticalo i na proticaj rijeke Morače. U suštini, razlika u vrijednostima proticaja između dva istodobna perioda (1951–1980. i 1981–2010) je donekle i logična, jer se radi o promjenljivoj hidrološkoj varijabli koja je u funkciji klime. Međutim, pitanje je da li je ta razlika statistički značajna ili ne.

Za ove potrebe primijenjena je statistika koju su koristili Burić et al. (2018). Značaj razlike između dva istodobna perioda provjeren je pomoću t-testa, koristeći aproksimativni metoda standardizovan normalnom distribucijom, odnosno formulu (Vukadinović, 1981):

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\delta \cdot (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}; \quad \text{gdje je: } \delta \cdot (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) = \sqrt{\frac{Sd_1^2}{n_1} + \frac{Sd_2^2}{n_2}}$$

$\bar{x}_1$ ($\bar{x}_2$) – srednja vrijednost prvog (drugog) niza;

Sd_1 (Sd_2) – normalizovano odstupanje prvog (drugog) niza;

n_1 (n_2) – broj članova prvog (drugog) niza;

Za prihvatanje ili odbacivanje nulte hipoteze najčešće se koristi tablična vrijednost veličine t_α za vjerovatnoću rizika od 0,05 i 0,01 (vjerovatnoća rizika od 5% i 1%), odnosno dvostrani test. Hipotezu prihvatamo sa pragom značajnosti α ako se vrijednost t izračunata po formuli nalazi u intervalu $\pm \alpha$: $t \in \pm \alpha$. Suprotno, ako je vrijednost t izračunata po formuli veća od tablične (t_α) za vjerovatnoću 0,05 (ili 0,01), tada se nulta hipoteza odbacuje, odnosno razlika između dvije srednje vrijednosti je statistički značajna.

Dakle, period od 60 godina (1951–2010) podijeljen je na dva 30-godišnja podperioda (1951–1980. i 1981–2010.), izračunate su prosječne vrijednosti i ispitano da su razlike tih vrijednosti statistički značajne ili ne. Rezultati su pokazali da jedino mjesec

septembar ima veći prosječni proticaj u drugoj polovini (1981–2010) u odnosu na prvu polovinu (1951–1980), i to za 7,8 m³/s, ali je ta razlika statistički beznačajna. Razlog većeg proticaja u ovom mjesecu treba tražiti u minornom porastu temperature (svega 0,3⁰C) i povećanju padavina od 25,6 mm. Svi ostali mjeseci registruju manji prosječni proticaj u periodu 1981–2010. u odnosu na period 1951–1980. godine. U apsolutnom iznosu, najveća razlika dobijena je za mjesec maj (-55,7 m³/s). Razlika od preko 50 m³/s dobijena je i za mjesec februar (-51,2 m³/s). Sezonski prosječni proticaji Morače na posmatranom profilu su tokom sva četiri godišnja doba manji u drugoj polovini posmatranog periodu u odnosu na prvu. Najveće smanjenje proticaja u periodu 1981–2010. u odnosu na period 1951–1980. godine registruje zimska sezona (-42,0 m³/s). U ostalim godišnjim dobima razlika iznosi: proljeće = -33,8 m³/s, ljeto = -19,8 m³/s i jesen = -15,6 m³/s. Prosječni godišnji proticaj Morače na profilu HS Podgorica iznosi za period 1951–1980. godine 174,0 m³/s, a za period 1981–2010. godine 148,0 m³/s, što čini razliku između drugog i prvog podperioda od -26,0 m³/s (tabela 9).

Tabela 9 Razlika između prosječnih vrijednosti proticaja rijeke Morače na profilu HS Podgorica dva 30-godišnja perioda: 1951–1980. ($\bar{x}_1$) i 1981–2010. ($\bar{x}_2$)

	Srednji proticaj (m ³ /s)		
	$\bar{x}_1$	$\bar{x}_2$	$\bar{x}_2 - \bar{x}_1$
Januar	238.3	195.1	-43.2*
Februar	228.7	177.5	-51.2**
Mart	211.1	184.5	-26.6*
April	250.5	231.4	-19.1
Maj	216.4	160.6	-55.7**
Jun	111.3	74.5	-36.8**
Jul	44.4	30.6	-13.9**
Avgust	30.6	21.8	-8.7**
Septembar	55.3	63.1	7.8
Oktobar	142.6	125.9	-16.8*
Novembar	271.7	233.8	-37.9*
Decembar	286.8	277.1	-9.6
Zima	254.7	212.8	-42.0*
Proljeće	226.0	192.2	-33.8*
Ljeto	62.1	42.3	-19.8**
Jesen	156.5	140.9	-15.6
Godina	174.0	148.0	-26.0*

Značajnost razlike na nivou rizika ** $\alpha = 0,01$ i * $\alpha = 0,05$.

Redukcija proticaja u drugom 30-godišnjem podperiodu je u većini slučajeva statistički značajna. I prema ovom metodu najviše zabrinjava činjenica da je smanjenje proticaja statistički značajno u ljetnjim mjesecima (jun, jul i avgust), i to na nivou vjerovatnoće rizika prihvatanja hipoteze od 1% (99% nivo povjerenja). Na ovom nivou rizika prihvatanja hipoteze, statistički značajno smanjenje proticaja registruje i februar i maj mjesec. Tokom januara, marta, oktobra i novembra prosječno manji proticaj u drugom podperiodu je statistički značajan na nižem nivou od 0,05 (95% nivo povjerenja). U aprilu, septembru i decembru razlika između dva pomenuta podperioda je statistički beznačajna.

Sezonske promjene proticaja su značajne tokom zime, ljeta i proljeće, a beznačajne u jesenjoj sezoni. Manji prosječni godišnji proticaj Morače na profilu HS Podgorica u drugom podperiodu (1981–2010) u odnosu na prvi (1951–1980) je statistički značajan na nivou prihvatanja hipoteze od 95%. Posmatrajući promjene prosječnih mjesečnih, sezonskih i godišnjih proticaja na ovaj način, kao razliku između dva 30-godišnja podperioda u okviru perioda 1951–2010. godine, moglo bi se zaključiti da se proticaj značajno smanjio u većini slučajeva. U julu i avgustu je najmanji proticaj (oko 30–40 m³/s), pa svako smanjenje predstavlja ozbiljan problem za životnu sredinu. Generalno, ljetnja sezona registruje najintenzivniji porast temperature i smanjenje padavina. Značajno zagrijavanje ljeti dodatno povećava inače veliko isparavanje vode u slivu rijeke Morače i to je vrlo vjerovatno glavni razlog zabrinjavajućeg smanjenja proticaja u ovom godišnjem dobu.

U uslovima globalnog zagrijavanja, mnoge velike svjetske rijeke bilježe smanjenje proticaja, a projekcije ukazuju da će se trend porasta globalne temperature nastaviti i da će vodni resursi u budućnosti biti pod još većim klimatskim pritiscima nego danas (van Vliet et al., 2023; Wang et al., 2024). Istraživanja pokazuju da mnoge rijeke Balkanskog poluostrva registruju trend smanjenja proticaja posljednjih decenija (Orešić et al., 2017; Dimkić, 2018). U svakom slučaju, neophodno je preduzeti sve mjere kako bi se rijeke kao najznačajnije kopnene vode sačuvala.

6. ZAKLJUČAK

Master rad je imao za cilj da analizira režim proticaja rijeke Morače u kontekstu savremenih klimatskih promjena. Za te potrebe korišćeni su podaci sa hidrološke stanice Podgorica, koja je locirana u gradu i malo nizvodnije od ušća glavne pritoke rijeke Zete u Moraču, pa su dobijeni rezultati dobar reprezent za slivno područje ove veoma značajne rijeke za Crnu Goru. Obraden je period od 60 godina (1951–2010) i primijenjena je savremena metodologija, poput: trenda, normalizovanih anomalija i statistika ispitivanja značajnosti razlika dva istodobna podperioda u okviru cijele vremenske serije.

Na osnovu dobijenih rezultata. Može se zaključiti sljedeće:

- Najmanji prosječni mjesečni proticaj registruje se u avgustu, svega $26,2 \text{ m}^3/\text{s}$, a najveći u decembru – prosjek $281,9 \text{ m}^3/\text{s}$. Ovo govori da je prosječni proticaj u decembru skoro 11 puta veći u odnosu na avgust mjesec. Ovakav režim proticaja Morače u toku godine nije povoljan za životnu sredinu i čovjekove potreba za vodom. Dakle, proticaj rijeke Morače je prevashodno u funkcije mediteranskog pluviometrijskog režima, ali i temperature u njenom slivnom području.
- Standardizovana odstupanja (SD) su pokazala da je najveće prosječno kolebanje proticaja Morače u decembru ($156,4 \text{ m}^3/\text{s}$), a najmanje u avgustu ($14,1 \text{ m}^3/\text{s}$). Ovo je u skladu sa režimom srednjih voda Morače u toku godine. Međutim, koeficijent varijacije (Cv) rijeke Morače na profilu posmatrane HS Podgorica, kao pouzdanija mjera kolebanja, najveću vrijednost ima u septembru (0,94), a najmanju u aprilu (0,33). Prema Cv, proticaj rijeke Morača tokom tri prolječna mjeseca (mart, april i maj), kao i u julu i novembru, pripada I grupi vodotoka,

- koju karakterišu mala kolebanja. Tokom 5 mjeseci (januar, februar, jun, avgust i decembar), proticaj Morače ima umjereno kolebanje. Prema prosječnim vrijednostima Cv, veće kolebanje (III grupa) rijeka Morača ima tokom septembra i oktobra.
- U posmatranom 60-godišnjem periodu (1951–2010), srednji mjesečni proticaji češće su bili ispod prosjeka, posebno nakon 1980-ih godina, ali ne zabrinjavajuće ispod prosjeka, jer nije bilo vrlo malih i ekstremno malih voda. Međutim, bilo je vrlo velikih i ekstremno velikih voda. Dugoročno posmatrano, vrlo vjerovatno da srednji mjesečni proticaji imaju negativan trend, odnosno tendenciju ka aridnijim uslovima, a da s druge strane imamo pojedinačne slučajeve sa vrlo velikim i ekstremno velikim vodama, koji povećavaju rizik od poplava, prevashodno u periodu godine koji je bogat padavinama (kraj jeseni i zima). Zajednička karakteristika za sve vremenske jedinice (mjesec, sezona i godina) jeste da proticaj Morače na posmatranom profilu koleba u širokom opsegu, odnosno da rijeka ima bujični karakter. Dalje se može zaključiti da je čestina proticaja iznad prosjeka veća u prvoj polovini posmatranog perioda (1951–1980), dok u drugoj polovini (1981–2010) dominiraju proticaji ispod prosjeka.
 - U periodu od 1951. do 2010. godine, najmanji i najveći srednji mjesečni proticaj registrovan je u decembru. Naime, decembra 1953. godine srednji proticaj Morače na profilu HS Podgorica iznosio je svega 8,1 m³/s, a u decembru 1959. godine bio je 724,1 m³/s. Međutim, apsolutno najveći proticaj Morače na HS Podgorica izmjeren je 17. novembra 1979. godine, a iznosi je 1226 m³/s.
 - Na mjesečnom nivou, jedino septembar, oktobar i decembar registruju pozitivne vrijednosti trenda, ali beznačajne. U svim ostalim mjesecima proticaj Morače se smanjuje. Najizrazitije smanjenje proticaja registruje maj mjesec, -14,3 m³/s po dekadi. Zimi i tokom proljeća i ljeta srednji proticaj Morače se smanjuje po stopi trenda od -10,1, odnosno od -6,8 i -3,5 m³/s/dekadi. Srednji godišnji proticaj Morače na profilu HS Podgorica se smanjuje po stopi trenda od -5,4 m³/s/dekadi.

- Smanjenje proticaja u maju, junu i julu, kao i tokom ljeta, statistički je značajno na nivou rizika od $p < 0,05$, odnosno 95% nivou prihvatanja hipoteze. Uslove Men-Kendalovog testa značajnosti zadovoljava i trend smanjenje godišnjeg proticaja, ali na nižem nivou prihvatanja hipoteze, 90% nivo ($p < 0,1$).
- Najmanji srednji mjesečni specifični oticaj (q) registruje se u avgustu. Naime, ljeti je mala količina padavina, veliko isparavanje, zemljište suvo (bez vlage), tako da je u avgustu specifični oticaj svega $26,2 \text{ l/s/km}^2$. Međutim, najveći specifični oticaj, takođe i proticaj, ne registruje se u novembru, kada je obično najveća količina padavina, već u decembru ($107,3 \text{ l/s/km}^2$). Ovo iz razloga što je decembar poslije novembra mjesec koji je najbogatiji padavinama u slivu rijeke Morače i što je zbog nižih temperatura malo isparavanje, a zemljište zasićeno vlagom od novembarskih kiša. Tokom zime i ljeta specifični oticaj se značajno smanjuje, jer sa površine od 1 km^2 u jednoj sekundi trend smanjenja iznosi $-3,8$ i $-1,3 \text{ l}$ po dekadi. Smanjenje specifičnog oticaja prisutno je i tokom proljeća ($-2,6 \text{ l/s/km}^2/\text{dekadi}$), ali je trend beznačajan. Takođe, beznačajne promjene prisutne su i u jesenjoj sezoni ($0,4 \text{ l/s/km}^2/\text{dekadi}$). Na godišnjem nivou trend specifičnog oticaja je $-2,1 \text{ l/s/km}^2/\text{dekadi}$ i ta vrijednost je statistički značajna za $p < 0,1$.
 - Prema procjeni, prosječna godišnja količina padavina u posmatranom dijelu sliva Morače iznosi 2494 l/m^2 . Od pomenute količine, visina oticaja iznosi $1929,3 \text{ mm}$, a ispari $564,7 \text{ mm}$. Na osnovu ovih podataka prosječna godišnja vrijednost koeficijenta oticaja je $77,4\%$. Inače, koeficijent oticaja je najmanji tokom ljetnjih mjeseci, posebno u julu i avgustu ($< 35\%$), zbog velikog isparavanja, dok je najveća vrijednost dobijena za zimske mjesece ($> 85\%$).
 - Nema sumnje da je smanjenje padavina i porast temperature u periodu 1951–2010. godine uticalo i na proticaj rijeke Morače. Da bi se to provjerilo, period od 60 godina (1951–2010) podijeljen je na dva 30-godišnja podperioda (1951–1980. i 1981–2010.), a potom su izračunate prosječne vrijednosti proticaja i ispitano da li su razlike tih vrijednosti statistički značajne ili ne. Rezultati su pokazali da

jedino mjesec septembar ima veći prosječni proticaj u drugoj polovini (1981–2010) u odnosu na prvu polovinu (1951–1980), i to za $7,8 \text{ m}^3/\text{s}$, ali je ta razlika statistički beznačajna. Razlog većeg proticaja u ovom mjesecu treba tražiti u minornom porastu temperature (svega $0,3^\circ\text{C}$) i povećanju padavina od $25,6 \text{ mm}$. Svi ostali mjeseci registruju manji prosječni proticaj u periodu 1981–2010. u odnosu na period 1951–1980. godine. U apsolutnom iznosu, najveća razlika dobijena je za mjesec maj ($-55,7 \text{ m}^3/\text{s}$). Razlika od preko $50 \text{ m}^3/\text{s}$ dobijena je i za mjesec februar ($-51,2 \text{ m}^3/\text{s}$). Sezonski prosječni proticaji Morače na posmatranom profilu su tokom sva četiri godišnja doba manji u drugoj polovini posmatranog periodu u odnosu na prvu. Najveće smanjenje proticaja u periodu 1981–2010. u odnosu na period 1951–1980. godine registruje zimska sezona ($-42,0 \text{ m}^3/\text{s}$). U ostalim godišnjim dobima razlika iznosi: proljeće = $-33,8 \text{ m}^3/\text{s}$, ljeto = $-19,8 \text{ m}^3/\text{s}$ i jesen = $-15,6 \text{ m}^3/\text{s}$.

Generalno, može se zaključiti da se proticaj Morače smanjio u periodu od 1951. do 2010. godine. Za isti period, temperatura vazduha se značajno povećala u cijeloj Crnoj Gori, dok se količina padavina smanjila, ali beznačajno. Ovo implicira da je veći uticaj na smanjenje proticaja Morače imala temperatura nego padavine, jer je značajno zagrijavanje povećalo isparavanje, posebno u toplijem dijelu godine koje se najintenzivnije zagrijava i kada je inače najveće isparavanje vode u slivu rijeke Morače.

LITERATURA

1. Burić, M. (2010). „Atlas voda Crne Gore“. Podgorica: Crnogorska akademija nauka i umjetnosti. ISBN 978-86-7215-229-6.
2. Burić, D., Ivanović, R., Mitrović, L. (2007). „Klima Podgorice“. Podgorica: Hidrometeorološki zavod Crne Gore, str. 106. ISBN 978–9940–9101–0–5
3. Burić, D., Ducić, V., Mihajlović, J. (2014). “The climate of Montenegro: Modifiers and types – part two“. *Bulletin of the Serbian Geographical Society*. 94(1), 73–90. <https://doi.org/10.2298/GSGD1401073B>
4. Burić, D., Doderović, M., Dragojlović, J., Penjišević, I. (2021). „Extreme weather and climate events in Montenegro – case study“, November 2019. *Weather* 76(11), 383–388. <https://doi.org/10.1002/wea.3885>
5. Burić D., Banjak D., Doderović M., Marčev A. (2022). “Example of the Importance of early warning of extreme weather events in Montenegro in the context of recent climate change“. Collection of Papers – Faculty of Geography at the University of Belgrade, 70(1), 57–72. <http://doi.org/10.5937/zrgfub2270057B>
6. Burić, D., Doderović, M. (2021). “Changes in temperature and precipitation in the instrumental period (1951–2018) and projections up to 2100 in Podgorica (Montenegro)“. *International Journal of Climatology*, 41(S1), 133–149. <https://doi.org/10.1002/joc.6671>
7. Burić, D., Ducić, V., Doderović, M. (2016). „Poplave u Crnoj Gori krajem 2010. godine sa osvrtom na kolebanje proticaja Morače“. *Glasnik Odjeljenja prirodnih nauka*, 21. Podgorica: CANU, 47–64. <https://www.researchgate.net/publication/343935126>

8. Burić, D. (2024). "Detected and projected temperature changes in the area of mediterranean Montenegro". *Geographical Journal*, 190, e12580. <https://doi.org/10.1111/geoj.12580>
9. Burić, D., Ducić V., Mihajlović J. (2018). "Relationship between mean annual temperatures and precipitation sums in Montenegro between 1951-1980 and 1981-2010 periods". *Bulletin of the Serbian Geographical Society*, 98(1), 31–48. <https://doi.org/10.2298/GSGD180325004B>
10. Burić, D., Mihajlović, J., Luković, J., Jandžiković, B., Dragojlović, J. (2024). "Deciphering the breaking points and spectral periodicities of mean air temperatures and precipitation sums in Montenegro". *Environmental Earth Sciences*, 83(12), 370. <https://doi.org/10.1007/s12665-024-11666-3>
11. Burić D., Doderović M. (2022). "Trend of Percentile Climate Indices in Montenegro in the Period 1961–2020". *Sustainability*, 14(19), 12519, p. 18. <https://doi.org/10.3390/su141912519>
12. Burić, D., Ducić, V., Luković J. (2011). „Kolebanje klime u Crnoj Gori u drugoj polovini XX i početkom XXI vijeka“. Podgorica: Crnogorska akademija nauka i umjetnosti, str. 270. ISBN 978–86–7215–283–8; COBISS.CG-ID 19199760.
13. Doderović, M., Mijanović, I. Burić, D., Milenković, M. (2020). "Assessment of the water quality in the Morača River basin (Montenegro) using water quality index". *Bulletin of the Serbian Geographical Society*, 100(2), 67–81. <https://doi.org/10.2298/GSGD2002067D>
14. Doderović, M., Burić, D., Popović, Lj. (2018). „Hidrologija kopna“. Podgorica: Univerzitet Crne Gore. ISBN 978-86-7664-155-0.
15. Drecun, Đ., Knežević, B., Filipović, S., Petković, S., Petković, S., Nedić, D. (1985). „Biološko-ribarstvena istraživanja rijeke Morače, njenih pritoka i Rikavačkog jezera“. Titograd: Agroekonomski institut.
16. Dukić, D., Gavrilović, LJ. (2006). „Hidrologija“. Beograd: Zavod za udžbenike i nastavna sredstva.

17. Dimkić, D. (2018). "Observed climate and hydrologic changes in Serbia—what has changed in the last ten years". *Proceedings*, 2(11):616.
<https://doi.org/10.3390/proceedings2110616>
18. Hrvačević, S. (2004). „Resursi površinskih voda Crne Gore“. Nikšić, Podgorica: Elektroprivreda Crne Gore A.D.
19. IPCC (2021). "Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change". [(eds. Masson–Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou)]. Cambridge University Press. In Press.
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf
20. Mrdak, D., Milošević, Malidžan, D., Šundić, M., Bigović, M., Vojinović, M., Simonović, P., Despotović, V. (2023). „Ribolovna osnova sliva rijeke Morače (rijeka Morača, Cijevna i Zeta) i Rikavačkog jezera“. Podgorica: Univerzitet Crne Gore, Prirodno-matematički fakultet.
21. Orešić, D, Čanjevac, I, Maradin, M. (2017). "Changes in discharge regimes in the middle course of the Sava River in the 1931–2010 period". *Prace Geograficzne*, 151: 93–119.
<https://doi.org/10.4467/20833113PG.17.024.8036>
22. Paun, I., Cruceru, L., Chiriac, F.L., Niculescu, M., Vasile, G. G., Marin, N. M. (2016). "Water quality indices—methods for evaluating the quality of drinking water. In: Proceedings of the 19th INCD ECOIND International Symposium—SIMI 2016", *The Environment and the Industry*, Bucharest, Romania, 13–14 October 2016: 395–402.
<https://doi.org/10.21698/simi.2016.0055>
23. Pajović, M., Radusinović, S. (2010). „Mineralne sirovine Crne Gore. Crna Gora u XXI stoljeću u eri kompetitivnosti“. *Životna sredina i održivi razvoj*, Posebna

- izdanja, Knj. 72, Sv 2, Podgorica: Crnogorska akademija nauka i umjetnosti, 237–282.
24. Radojičić, B. (2005). „Vode Crne Gore“. Nikšić: Filozofski fakultet.
 25. Radojičić, B. (2008). „Geografija Crne Gore, prirodna osnova“. Podgorica.
 26. Radulović, M., Đ. (2000). „Hidrogeologija karsta Crne Gore“. Podgorica.
 27. Radulović, V. (2011). „Hidroelektrane u dolini-kanjonu rijeke Morače i zaštita manastira Morača“. Glasnik odjeljenja prirodnih nauka, 19. Podgorica: Crnogorska akademija nauka i umjetnosti, 97–130.
<https://canupub.me/Docs/2011/086-GI-OPN-19/Glasnik%20OPN%2019-2011%20-%2007.%20Vasijlije%20Radulovi%C4%87.pdf>
 28. Radusinović, S., Pajović, M., (2005). „Povezanost geološke građe sa mogućim nastankom katastrofa i hazarda na teritoriji Crne Gore“. Podgorica: FSD Zavod za geološka istraživanja.
 29. Sasakova, N., Gregova, G., Takacova, D., Mojziso, J., Papajova, I., Venglovsky, J., Szaboova, T., Kovacova, S. (2018). “Pollution of Surface and Ground Water by Sources Related to Agricultural Activities“. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2(42), 1–11.
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00042>
 30. Sekulić, G., Radulović, M. (2016). „Hidrologija slivova rijeka Morače, Zete i Pive u kontekstu nove razvojne paradigme“. Inženjerska komora Crna Gore, str. 34.
http://www.ingkomora.me/ikcg_sajt/cms/public/image/uploads/Prezentacija_Goran_Sekulic_Micko_Radulovic.pdf
 31. Tadić, M. (2019). „Geografija za deveti razred osnovne škole, priručnik za nastavnike“. Podgorica: Zavod za udžbenike i nastavna sredstva.
<https://zuns.me/sites/default/files/Geografija%209%20-%20prirucnik%20%5Bunutra%5D.pdf>
 32. Tošić, R., Crnogorac, Č. (2005). „Praktikum iz hidrologije“ (I dio – Potamologija). Banja Luka: Geografsko društvo Republike Srpske.
 33. Vukadinović, S. (1981). „Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike“. Beograd: Privredni pregled.

34. van Vliet, M T H, Thorslund, J, Stokral, M, Hofstra, N, Flörke, M, Macedo, H E, Nkwasa, A, Tang, T, Kaushal, S S, Kumar, R, van Griensven, A, Bouwman, L, Mosley, L M. (2023). “Global river water quality under climate change and hydroclimatic extremes“. *Nature Reviews Earth & Environment*, 4: 687–702. <https://doi.org/10.1038/s43017-023-00472-3>
35. ZHMSCG – Zavod za hidrometeorologiju i seizmologiju Crne Gore. (2023). *Hidrološki godišnjaci*. <http://www.meteo.co.me/page.php?keyword=reports>
36. ZHMSCG – Zavod za hidrometeorologiju i seizmologiju Crne Gore. (2024). *Površinske vode, opšte informacije*. <https://www.meteo.co.me/page.php?id=136>
37. Živković, N. (2009). „Prosečni godišnji i sezonski oticaji reka u Srbiji“. Naučna monografija. Beograd: Geografski fakultet Univerziteta u Beogradu, 1–175.
38. WMO (2022). *State of Global Water Resources 2021*. WMO-No. 1308, pp. 36. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11532
39. WMO (2021). *State of Climate Services*. WMO-No. 1278, pp. 46. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10826
40. Wang, H, Liu, J, Klaar, M, Chen, A, Gudmundsson, L, Holden, J. (2024). “Anthropogenic climate change has influenced global river flow seasonality“. *Science*, 383: 1009–1014. <https://doi.org/10.1126/science.adi9501>