

ЦРНОГОРСКА АКАДЕМИЈА НАУКА И УМЈЕТНОСТИ  
ГЛАСНИК ОДЈЕЉЕЊА ПРИРОДНИХ НАУКА, 21, 2016.

ЧЕРНОГОРСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК И ИСКУССТВ  
ГЛАСНИК ОТДЕЛЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК, 21, 2016

THE MONTENEGRIN ACADEMY OF SCIENCES AND ARTS  
PROCEEDINGS OF THE SECTION OF NATURAL SCIENCES, 21, 2016.

UDK 556.166(497.16)“2010”

*Dragan Burić\*, Vladan Ducić\*\*, Miroslav Doderović\*\*\**

## **POPLAVE U CRNOJ GORI KRAJEM 2010. GODINE SA OSVRTOM NA KOLEBANJE PROTICAJA MORAČE**

### *Sažetak*

Poplave su najčešća prirodna nepogoda. Njihova učestalost je u posljednje vrijeme povećana. Tokom 2010. godine, na području Crne Gore poplave su registrovane tri puta – u januaru, novembru i decembru, i prema raspoloživim podacima to je do sada maksimalna čestina javljanja ove pojave u jednoj godini. Takođe, poplave koje su Crnu Goru zahvatile početkom decembra 2010. godine su bile najveće od početka instrumentalnih osmatranja. U ovom radu su prezentovani rezultati istraživanja uzroka poplava početkom decembra 2010. godine na prostoru Crne Gore. Analizirani su sinoptički uzroci i kretanje visine vodostaja sa nekoliko hidroloških stanica. Na osnovu analize, može se konstatovati da su umjerene do obilne količine padavina, relativna opterećenost hidrološkog sistema, naglo topljenje sniježnog pokrivača i antropogene djelatnosti, glavni uzroci nezapamćenog plavljenja nekoliko lokaliteta na području Crne Gore početkom decembra 2010. godine. U radu je data i analiza proticaja rijeke Morače na profilu Podgorica. Na osnovu podataka sa HS Podgorica, utvrđeno je da proticaj ove rijeke ima tendenciju smanjenja u periodu 1951–2010. godina. Međutim, u posljednje dvije dekade (1991–2010) proticaj Morače se povećava, što nesumnjivo ukazuje da je trend aridizacije za sada prekinut.

*Ključne riječi:* poplave, padavine, proticaj, trend

\* Dragan Burić, Hidrometeorološki zavod Crne Gore, Podgorica; Univerzitet Crne Gore, Filozofski fakultet, Nikšić

\*\* Vladan Ducić, Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet, Beograd

\*\*\* Miroslav Doderović, Univerzitet Crne Gore, Filozofski fakultet, Nikšić

*Abstract*

Floods are the most significant natural disasters in terms of damage and persons being affected. In Montenegro during 2010 floods appeared on January, November and December. Flood on December 2010 was the greatest ever recorded. This paper examines causes of flood in Montenegro on December 2010. Meteorological condition was particularly analysed including water level from several hydrological stations. The analysis has shown that heavy and prolonged rainfall, snows melting as well as human activity are the main causes of such great flood affected Montenegro. In this paper we also analysed the discharge of the river Moraca on the gauge Podgorica. Based on this data, we noticed that the discharge of the river decreasing during the period 1951–2010. However, in the last two decades (1991–2010) discharge is increased, which indicates that the trend of aridization is stopped.

*Key words:* flood, rainfall, discharge, trend.

**1. UVOD**

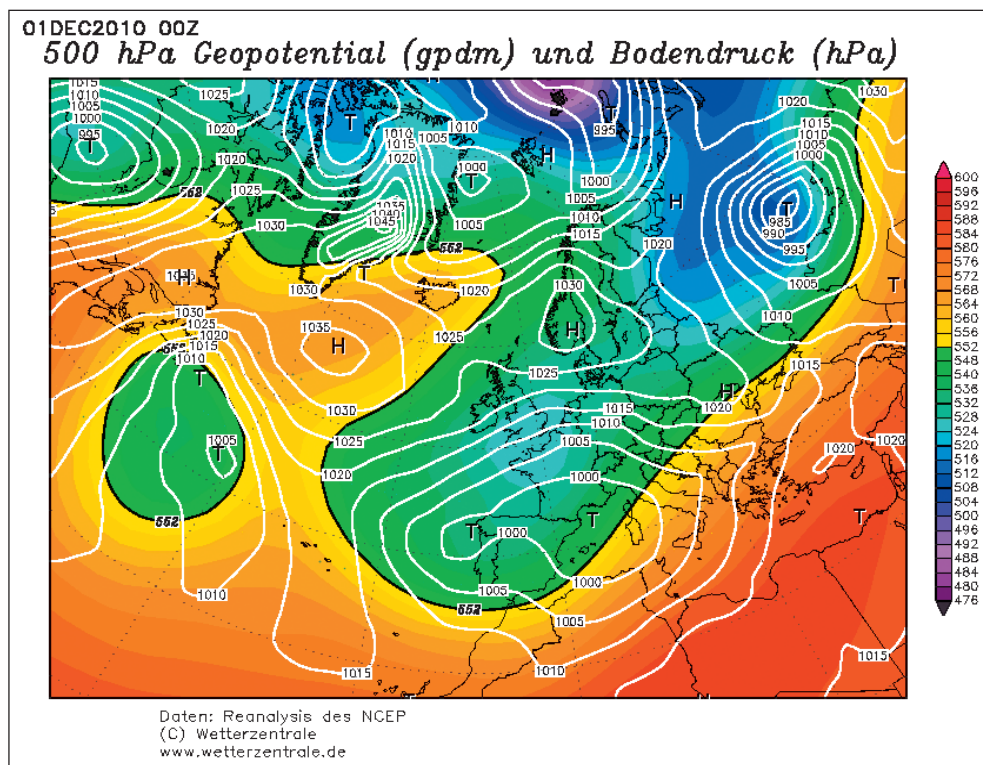
Podaci ukazuju da su poplave najčešće prirodne nepogode, daleko učestalije nego tropski cikloni, zemljotresi, suše i druge pojave (Lj. Gavrilović, 2007). S obzirom na to da je u kotlinama i pored vodenih objekata najveća koncentracija stanovništva, privrednih i infrastrukturnih objekata, kao i poljoprivrednog zemljišta, poplave znaju izazvati velike materijalne štete, a nekada i ljudske gubitke. Pozivajući se na izvještaj EM-DAT Disaster iz 2010. godine, R. Barjaktarović i dr. (2011) ističu da su poplave najučestalija elementarna nepogoda na Mediteranu. U periodu 1990–2010. godine činile su 35% svih elementarnih nepogoda u mediteranskom regionu, pogodile 22 zemlje i preko tri miliona ljudi, odnijele 4 250 života i učinile ukupnu ekonomsku štetu od 25 milijardi evra.

U izvještaju Međuvladinog panela za klimatske promjene (IPCC) iz 2007. godine se ističe da su, kao posledica globalnog zagrijavanja, u mnogim regionima svijeta registrovane promjene u intenzitetu i učestalosti ekstremnih vremenskih događaja, kao što su: suše, poplave, erozija zemljišta, tropski cikloni, olujne nepogode praćene gradom, topli talasi, jake kratkotrajne kiše, požari, itd, uzrokujući velike ljudske žrtve i materijalne štete. Tačno je da su poplave uzrokovane vremenskim (ne)prilikama, ali ne treba zanemariti i uticaj ljudskih aktivnosti. Naime, sve više građevinskih objekata se podiže na lokacijama koje su u prošlosti i više puta bile pod vodom, a to ne treba raditi čak i tamo gdje postoji potencijalna opasnost od poplava. Sa druge strane, sve češći požari u južnim i uglavnom nekontrolisana sječa šuma u sjevernim predjelima Crne Gore, takođe su uzroci koji povećavaju rizik i posledice poplava i erozije zemljišta.

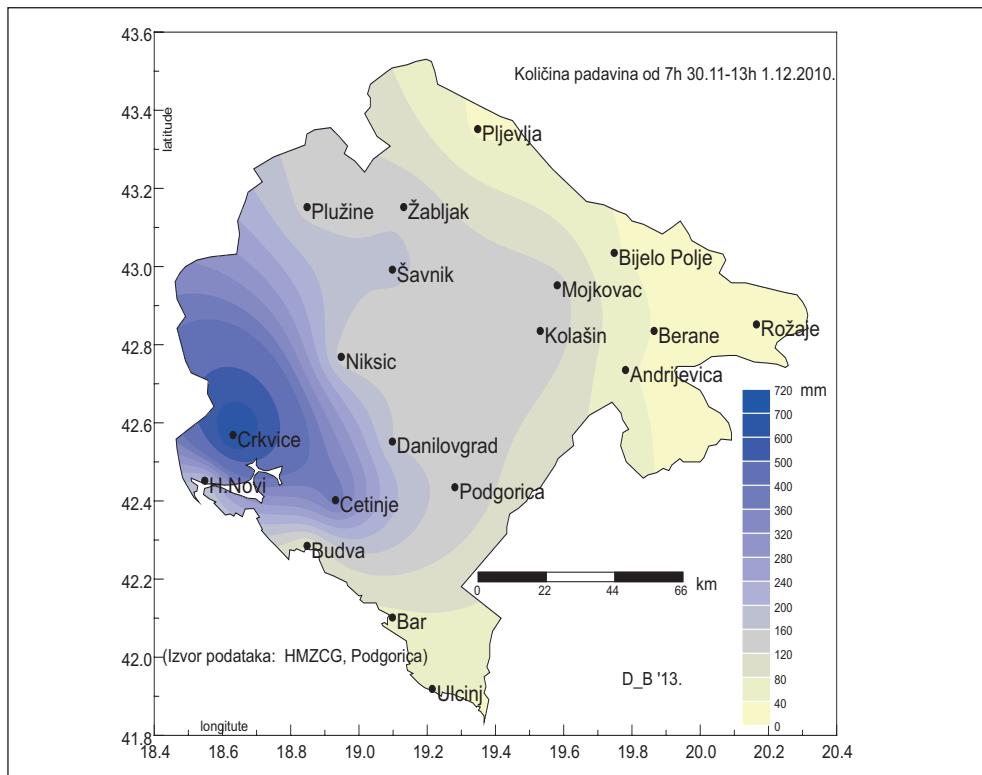
## 2. SINOPTIČKI USLOVI I HIDROLOŠKA SITUACIJA ZA VRIJEME POPLAVA KRAJEM 2010.

U sinoptičkom smislu, Crna Gora je veoma kompleksna – površ diskontinuiteta, odnosno predstavlja značajno deformaciono polje, posebno kada su u pitanju padavine. Jedan od glavnih meteoroloških faktora koji utiče na vrijeme je cirkulacija atmosfere. Kada je riječ o padavinama, njihova količina i pluviometrijski režim na datom prostoru je posledica, prije svega, atmosferske cirkulacije, odnosno dominacije određenih vazdušnih masa. Na visinu i režim padavina na području Crne Gore najveći uticaj imaju ciklonske aktivnosti različitog porijekla, koje se manifestuju u prodorima vlažnih i hladnih vazdušnih masa sa Atlantika i toplih iz oblasti Sredozemlja. Veliki uticaj na padavine u Crnoj Gori ima i orografija. To znači da na ovom području najveću učestalost imaju frontalne (ciklonske) i orografske, a u ljetnjim mjesecima lokalno se javljaju i konvektivne padavine (D. Burić i dr., 2011).

Visinska strujanja u barometarskim depresijama imaju daleko veći uticaj na padavinske prilike nego prizemna. U uslovima kada se područje Crne Gore



Slika 1. Sinoptička situacija na dan 1. XII 2010. godine – prizemna (na nivou mora) i visinska (500 hPa) struktura atmosfere



Slika 2. Raspodjela količine padavina na prostoru Crne Gore u periodu od 7<sup>h</sup> 30.11. do 13<sup>h</sup> 1.12. 2010. godine

nalazi pod uticajem prostrane i duboke visinske baričke doline i snažne ciklonske cirkulacije u prizemlju, vladaju nestabilne vremenske prilike i često sa obilnim padavinama. Čadež M. (1964) ističe da depresije koje se formiraju u Đenovskom zalivu pripadaju grupi orografskih ciklona, jer nastaju pod uticajem Alpa. Jedna takva struktura atmosfere (snažna prizemna i visinska ciklonska cirkulacija) je dominirala krajem 2010. godine (slika 1). Naime, tokom novembra i decembra 2010. godine, serije ciklona su uslovile obilne padavine u većem dijelu Crne Gore. Sume padavina u ova dva mjeseca su doprinijele da je 2010. godina, u periodu instrumentalnih osmatranja (od 1949. godine), bila najkišnija u Baru, Podgorici, Cetinju, Nikšiću i na Žabljaku, a druga u nizu u H. Novom, Ulcinju i Kolašinu. Ukupna visina padavina u 2010. godini se kretala od 664 mm u Pljevljima do 5271 mm na Cetinju. Takođe je oboren i godišnji rekord u Crkvicama (42°34'N, 18°39'E, 937 mm), koje se nalaze na jugoistočnoj padini planine Orjen, 10-ak km sjeverozapadno od primorskog gradića Risan u Bokokotorskom zalivu. Te 2010. godine, ukupna visina vodenog taloga je iznosila 9079 mm, što predstavlja apsolutni maksimum ikad zabilježen u Crkvicama.

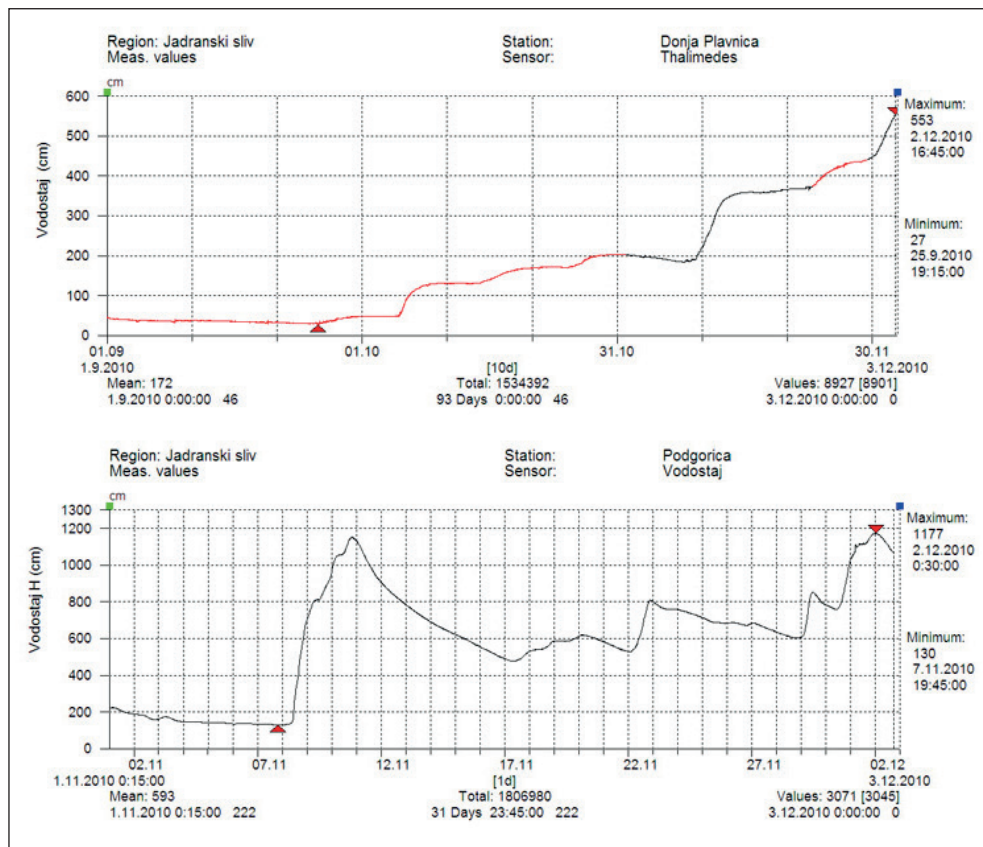
Sinoptičku situaciju 30. novembra i 1. decembra 2010., karakterisalo je jako jugozapadno strujanje u sklopu visinske baričke doline i ciklogeneza u Ligurskom moru i Đenovskom zalivu. Ovakva ciklonska aktivnost usloвила je obilne padavine u većem dijelu Crne Gore, pojačan do jak, na udare i olujni južni vjetar i toplo vrijeme za ovo doba godine. Za period od 30 sati, od 7<sup>h</sup> 30. novembra do 13<sup>h</sup> 1. decembra, gotovo sve meteorološke stanice u južnim i centralnim krajevima registrovale su preko 100 lit/m<sup>2</sup> padavina (sl. 2). Na osnovu raspoloživih podataka, najviše kiše palo je na Cetinju (384 mm), mjestu koje je u prosječnoj godini padavinama najbogatije gradsko naselje na prostoru nekadašnje SFRJ i Crkvicama (719 mm), vjerovatno najkišovitijem mjestu u Evropi.

Hidrološku situaciju je dodatno usložnjavao sniježni pokrivač u višim planinskim predjelima, visine 10–50 cm, koji se formirao krajem novembra. Ovakva meteorološka kombinacija – obilne kišne padavine i topljenje sniježnog pokrivača u gornjim (planinskim) djelovima slivova rijeka, usloвила je nagli priliv vode u jezera i korita rijeka, odnosno porast vodostaja na mnogim hidrološkim objektima i nezapamćene poplave u ravničarskom području oko donjeg toka Morače – južni dio Zetske ravnice. Poplava je bilo i u priobalju Bojane, Zete, Lima i Nikšićkom polju. Pojedine hidrološke stanice na Zeti, Morači, Skadarskom jezeru i Bojani, početkom decembra su registrovale rekordne vodostaje.

### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

Koliko je hidrološki sistem Skadarskog jezera bio opterećen, u čijem priobalju je bila i najkritičnija situacija, govore sledeće činjenice. Vodostaj Skadarskog jezera, po podacima hidrološke stanice (HS) Planica, 20. septembra je iznosio svega 30 cm. Prvog dana decembra nivogram je registrovao vrijednost od 512 cm, a drugog dana od 553 cm. Vodostaj na HS Podgorica na Morači (grad) je 30. XI u 7<sup>30</sup> h iznosio 763 cm, poslije 30 sati (1. XII u 13<sup>30</sup> h) nivogram je pokazao vrijednost od 1114 cm, a nekoliko sati kasnije od 1177 cm (slika 3). Pojačan do jak južni vjetar, koji je na udare dostizao i olujnu brzinu (40–83 km/h), otežavao je pražnjenje rijeke Bojane i Skadarskog jezera.

Međutim, u pomenutom tridesetochasovnom periodu (od 7 časova 30. novembra do 13 časova 1. decembra), u mjestima sa kontinentalnim pluviometrijskim režimom (sjeveroistočni i krajnji sjeverni dio Crne Gore) palo je znatno manje kiše nego u južnim i centralnim predjelima. Na osnovu raspoloživih podataka, u tim krajevima je palo ispod 50 lit/m<sup>2</sup> za 30 sati. S obzirom na to da ove količine nijesu mogle izazvati poplave početkom decembra 2010. godine, postavlja se pitanje: koji su dodatni faktori usloவில் izlivanje Lima iz korita ove rijeke i plavljenje priobalja? Odgovor na postavljeno pitanje je: relativna opterećenost hidrološkog sistema od padavina tokom novembra (1), naglo topljenje sniježnog pokrivača (2) i višegodišnja sječa šume (3) u slivu Lima. Naime, prodor hladnog



Slika 3. Visina vodostaja po podacima nivograma automatske HS Plavnica (Skadarsko jezero, gore) i HS Podgorica (rijeka Morača, dolje), krajem 2010.

(Izvor: HMZCG)

fronta u novembru je uslovio sniježne padavine i formiranje sniježnog pokrivača u višim planinskim predjelima, visine do 50 cm. Nakon toga je uslijedio prodor tople i vlažne vazdušne mase iz južnog kvadranta, koja je posljednjeg dana novembra i početkom decembra uslovila porast temperature vazduha i naglo topljenje sniježnog pokrivača.

Crna Gora je bogata šumskom vegetacijom i po stepenu šumovitosti (45%) jedna je od najšumovitijih zemalja Evrope. Međutim, u mnogim dokumentima se ističe da su šumski ekosistemi izloženi višestrukim pritiscima koji prijete da dovedu do neodrživog korišćenja, prije svega kroz nekontrolisane i neplanske aktivnosti, kao i prekomjernu eksploataciju prirodnih resursa, generalno<sup>1</sup>. Novija istraživanja pokazuju da šume pokrivaju 59,9% površine Crne Gore (dosadašnje

<sup>1</sup> [www.minekon.gov.me/.../FileDownload.aspx?...Mapa%20resursa...](http://www.minekon.gov.me/.../FileDownload.aspx?...Mapa%20resursa...)

procjene se kreću od 45% do 54%), a šumsko zemljište 9,8%. To znači da zajedno šume i šumsko zemljište pokrivaju 69,7% površine Crne Gore<sup>2</sup>. Prema podacima Ministarstva poljoprivrede i ruralnog razvoja (Nacionalna inventura šuma Crne Gore, 2011), ukupna zapremina drveta u šumi i na šumskom zemljištu procjenjena je na 118 mil. m<sup>3</sup>, sa prirastom od 2,8 mil. m<sup>3</sup>. U istom dokumentu se ističe da je ovo „nova dimenzija u poređenju sa do sada procijenjenom ukupnom zapreminom od 72 mil. m<sup>3</sup> drvene zapremine i zapreminskog prirasta od 1,4 mil. m<sup>3</sup>... Međutim, zbog izuzetno visokih sječa koje su vršene tokom 20. vijeka (Nacionalna šumarska politika Crne Gore, 2008), šume nemaju stabla velikog prečnika...”. Bez obzira što je sveukupni godišnji obim sječe niži u odnosu na godišnji prirast, očigledno je da treba poboljšati politiku planiranja eksploatacije šumskih resursa, ali i njihove zaštite. Drugo, proširivanje površina pod šumom je rezultat ne samo vještačkog pošumljavanja već i širenja šumske vegetacije na račun poljoprivrednog zemljišta.

Poznato je da šume imaju važnu ulogu u sprečavanju bujica, poplava, klizišta i erozije. Rijeke čiji su slivovi obrasli šumom imaju znatno niže i ujednačenije vodostaje. Drugim riječima, obešumljavanje slivova povećava učestalost bujica i poplava, jer se povećava površinsko oticanje padavinske vode, odnosno njeno brzo priticanje u korita rijeka. U slivnom području rijeke Lim dominira šumska vegetacija, i to je šumom jedan od najbogatijih ako ne i najbogatiji dio Crne Gore. Međutim, višegodišnja i često nekontrolisana sječa šuma je višestruko povećala rizik od poplava. Kako je već pomenuto, šumska vegetacija se obnavlja i povećava stepen pošumljenosti, ali potrebno je vrijeme da mlade šume postignu svoju punu pozitivnu funkciju na vodostanje rijeka. Dakle, umjerene količine padavina, naglo topljenje sniježnog pokrivača (izostanak nivalne retencije) i često nekontrolisana i neplanska sječa šuma su glavni uzroci plavljenja priobalja Limske doline početkom decembra 2010. godine.

Podaci sa pet automatskih hidroloških stanica na Limu i njenim pritokama, pokazuju da su od 28. novembra vodostaji na svim profilima počeli naglo da rastu. Na Limu (HS Bijelo Polje) i nedaleko od ušća njenih pritoka, Bistrice (HS Gubavač) i Grlje (HS Vusanja), najviše vrijednosti srednjeg dnevnog vodostaja registrovane su 2. decembra. Hidrološke stanice (HS) na ostale dvije pritoke, na Ljubovići i Zlorečici (HS Ravna Rijeka i HS Andrijeвица), maksimalne srednje dnevne vrijednosti registruju 1. decembra. Poplave su trajale tri dana, a najizrazitije su bile poslednjeg, 2. 12. 2010. godine. Analiza vodostaja krajem novembra i početkom decembra 2010. godine, pokazala je da se apsolutni maksimumi poklapaju sa najvišim srednjim dnevnim vrijednostima. Međutim,

---

<sup>2</sup> <http://www.minpolj.gov.me/vijesti/110750/Saopštenje-Nacionalna-Inventura-su-ma-Crne-Gore.html>



Slika 5. Poplave u Nikšićkom polju (gore lijevo), priobalju Lima (gore desno) Bojane (dolje lijevo) i Skadarskog jezera (dolje desno) početkom decembra 2010. godine  
<http://www.google.com/search?q=poplave+2010+crna+gora&hl>

osim na Grlji, ni na jednom od ostalih posmatranih profila nijesu prevaziđeni rekordi. U periodu instrumentalnih osmatranja, najviši vodostaji su registrovani: na HS Bijelo Polje 16. 12. 1952. godine (455 cm), na Bistrici 21. 12. 1979. (245 cm), Ljubovići 7. 10. 1992. godine (218 cm), Zlorečici 24. 10. 1974. (351 cm) i Grlji 30. 10. 2008. godine (131 cm). Nivogram hidrološke stanice Vusanja na rijeci Grlji je 2. 12. 2010. godine registrovao vodostaj od 179 cm, što znači da je prevaziđen rekord od 30. 10. 2008. koji je iznosio 131 cm. Poplave u 2010. godini, naročito početkom decembra, uništile su velike površine poljoprivrednog zemljišta, intenzivirale erozivne procese, oštetile nekoliko kuća, mostova, puteva (sl. 4), ali i pokazale odnos čovjeka prema životnoj sredini.

Decembarske katastrofalne poplave su, pored velike materijalne štete, iza sebe ostavile i ogromne količine smeća. Nekultura življenja i ljudski nemar su, nažalost, bili vidljivi na svakom koraku. Ljudske navike koje su poplave izbacile na vidjelo su nedopustive. Građani ekološke države, koja se opredijelila da turizam bude pokretačka snaga ekonomije i novog razvojnog ciklusa, moraju mijenjati svijest, jer ove djelatnosti više nego bilo koje druge ne trpe degradaciju životne sredine, odnosno nemar i nečistoću.



U izvještajima IPCC, Svjetske meteorološke organizacije (WMO) i pojedinim stručnim radovima se ističe da bi u uslovima otopljanja trebalo očekivati povećanje intenziteta i učestalosti ekstremnih vremenskih događaja, kao što su: poplave, suše, topli talasi, tropski dani itd. Istraživanja pokazuju da je u mnogim mjestima u svijetu (A. Lucie et al., 2005), kao i u Crnoj Gori (D. Burić, 2011; D. Burić i dr, 2012) zaista došlo do povećanja čestine ekstremnih temperaturnih i padavinskih indeksa. Međuvladin panel za klimatske promjene ističe da je trend porasta globalne temperature uzrokovan ljudskim djelatnostima, prije svega povećanjem emisije i atmosferske koncentracije ugljen-dioksida i drugih stakleničkih gasova. Kada su padavine u pitanju, u izvještajima IPCC i na osnovu uvida u stručnu literaturu, stiče se utisak da se još uvijek ne može izvesti generalni zaključak kako bi eventualni antropogeni efekat staklene bašte trebalo da utiče na padavine.

Količina i režim padavina u prvom redu zavise od sinoptičkih uslova. Smatramo da bi eventualne promjene količine padavina i s tim u vezi moguće poplave, prije svega, trebalo tražiti u promjenama cirkulacije atmosfere. U naučnoj javnosti prisutne su sumnje da eventualni antropogeni efekat staklene bašte uslovljava i promjene atmosferske cirkulacije. Mnogi istraživači ističu da je cirkulacija vazduha pod dominantnim uticajem oscilacija prirodnih faktora (Pielke, 1999; Graversen, Christiansen, 2003; Legates et al, 2005; Ducić, Radovanović, 2005; Ducic et al, 2007; Lindzen, Rondaneli, 2007; Ducić, 2008; Ducić, Stanojević, 2010; Baldwin et al., 2010, Burić i dr., 2011).

#### **4. MOGUĆI UZROCI KOLEBANJA PROTICAJA MORAČE U PERIODU 1951–2010.**

Imajući u vidu prethodne činjenice, u razmatranju uzroka eventualnih promjena količine padavina, proticaja rijeka i drugih hidrometeoroloških elemenata, neophodno je razumijevanje i razmatranje prirodnih procesa, prije svega pojava u sistemu okean-atmosfera, odnosno promjena atmosferske cirkulacije i Sunčeve aktivnosti. S tim u vezi, pokušali smo da utvrdimo da li između kolebanja padavina, temperature vazduha i proticaja rijeke Morače na profilu Podgorica i pokazatelja promjena pojedinih prirodnih faktora, na godišnjem nivou, postoje neke veze. Kvantifikovanje povezanosti između ova tri parametra i pokazatelja prirodnih faktora, urađeno je pomoću korelacione analize. Značajnost veze je ispitana pomoću Pirsonovog koeficijenta korelacije ( $r$ ).

Za ispitivanje veze korišćeni su pokazatelji uticaja spoljašnjih (promjene Sunčeve aktivnosti) i unutrašnjih (El Ninjo južna oscilacija – ENSO, Sjevernoatlantska oscilacija – NAO i Atlantska višedecenijska oscilacija – AMO) prirodnih faktora, koji su neprekidno prisutni. O pomenutim faktorima i njihovom uticaju na klimu i proticaj rijeka je pisano u radovima nekoliko autora: Ćurić

M. (1998), Ducić V., Radovanović M. (2005), Ducić V., Stanojević G. (2010), Burić D. i dr. (2011). Tako da ćemo ovdje iznijeti samo rezultate ispitivanja veze, bez detaljnije analize pomenutih faktora. U tabeli 1 date su adrese sa podacima razmatranih faktora, na godišnjem nivou, za period 1951–2010. godina.

Tabela 1. Spisak korišćenih varijabli

Naziv varijable	Izvor	Broj elem.
Sunčeve pjege (Sunspot Number)	<a href="http://solarscience.msfc.nasa.gov/greenwch/spot_num.txt">http://solarscience.msfc.nasa.gov/greenwch/spot_num.txt</a>	n=60
El Ninjo južna oscilacija (SST-ENSO)	<a href="http://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos_wgsp/Timeseries/Nino4/">http://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos_wgsp/Timeseries/Nino4/</a>	n=60
Sjevernoatlantska oscilacija (NAO)	<a href="http://www.cru.uea.ac.uk/~timo/datapages/naoi.htm">http://www.cru.uea.ac.uk/~timo/datapages/naoi.htm</a> <a href="http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/nao/nao.dat">http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/nao/nao.dat</a>	n=60
Atlantska višedecenijaska oscilacija (AMO)	<a href="http://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos_wgsp/Timeseries/AMO/">http://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos_wgsp/Timeseries/AMO/</a>	n=60

Na međugodišnje promjene proticaja najveći uticaj imaju padavine, ali i temperatura vazduha, preko isparavanja. Prije ispitivanja veze padavina, proticaja i temperature vazduha sa pomenutim faktorima, trebalo bi vidjeti šta se dešava sa trendom ova tri elementa u periodu od 1951. do 2010. godine.

Jedan od najkorisnijih i najčešće korišćenih parametarskih modela za detekciju trenda je metod linearne regresije. Međutim, ovaj metod polazi od pretpostavke da je raspodjela normalna (McBean, Motiee, 2008), ali je utvrđeno da mnoge meteorološke i hidrološke promjenljive ne zadovoljavaju kriterijume Gausove raspodjele u nizu, posebno kada su u pitanju količinski elementi (padavine, osunčavanje, isparavanje, proticaj itd.). Zato se sve češće koristi neparametarski Senov metod za proračun trenda i Men-Kendalov test za ispitivanje njegove značajnosti. Osnovne prednosti proračuna trenda pomoću Senove ocjene nagiba su u tome što nije neophodno da su podaci u skladu sa bilo kojom raspodjelom i što nedostajuće vrijednosti u nizu ili pojedinačne greške ne utiču u velikoj mjeri na nagib trenda. Pored toga, Senov metod se može koristiti u slučajevima pretpostavke da je trend linearan, tj.:

$$f(t) = Qt + B, \text{ gdje je } Q \text{ nagib, } B \text{ konstanta, a } t \text{ vrijeme.}$$

Značajnost trenda je ispitana pomoću Men-Kendalovog testa (Mann-Kendall test). Ovo je neparametarski test i koristi se za ispitivanje statističke značajnosti Senove ocjene nagiba linije trenda (Sen's slope estimates). Men-Kendal test se zasniva na proračunu varijanse (S). Za  $n > 10$ , vrijednost Z statistike se dobija po obrazcu (T. Salmi et al., 2002):

$$Z = \left\{ \begin{array}{l} (S - 1) / \sigma_s \xrightarrow{za} S > 0 \\ 0 \xrightarrow{za} S = 0 \\ (S + 1) / \sigma_s \xrightarrow{za} S < 0 \end{array} \right\}$$

$\sigma_s$  je koeficijent, koji se računa pomoći formule:  $\sigma_s = \sqrt{\frac{n \cdot (n-1) \cdot (2n+5)}{18}}$

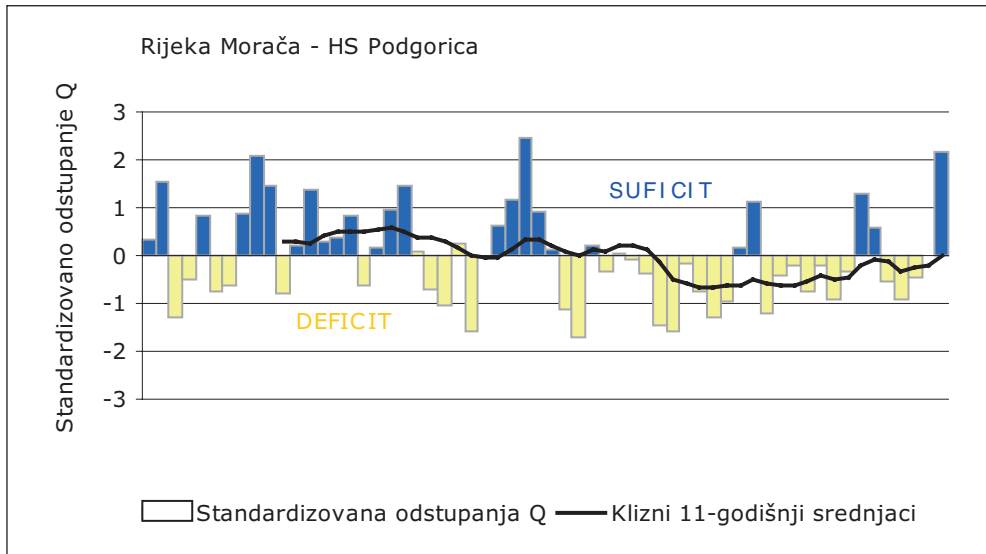
Značajnost trenda se ocjenjuje pomoću Z vrijednosti dobijene formulom i teorijske, koja je data u tabeli dvostranog testa za nivo signifikantnosti od:  $\alpha = 0,1$ ,  $\alpha = 0,05$ ,  $\alpha = 0,01$  i  $\alpha = 0,001$ . Pozitivna (negativna) vrijednost Z ukazuje na trend porasta (pada). Nulta hipoteza se odbacuje ako je apsolutna vrijednost Z veća od teorijske za  $Z_{\alpha/2}$ . Za analizu promjena temperature vazduha (T) i količine padavina (R) korišćeni su podaci sinoptičke (glavne) meteorološke stanice Podgorica, za period 1951–2010. godine. Kada je utvrđeno da su nizovi homogeni, drugi korak u obradi podataka za potrebe analize podrazumijevao je njihovo kompletiranje po dužini. Interpolacija i ekstrapolacija nedostajućih podataka urađena je metodom kvocijenta, a provjerena metodom Kriginga. U tom postupku su za referentni niz korišćene 2 najbliže stanice (Golubovci i Danilovgrad) za koje je dobijena visoka i statistički značajna vrijednost koeficijenta korelacije.

Podaci o proticaju Morače (Q) korišćeni su sa hidrološke stanice Podgorica. Ova stanica se nalazi u donjem dijelu toka Morače, nizvodno od ušća Zete. Ukupna dužina toka Morače je 113,4 km, a površina sliva do HS Podgorica 2628 km<sup>2</sup>. Kontinuirana mjerenja na HS Podgorica se vrše od 1948. godine<sup>3</sup>. Na profilu HS Podgorica, prosječni godišnji proticaj (Q), standardna devijacija ( $\sigma$ ), koeficijent varijacije (Cv) i koeficijenta asimetrije (Cs) za period 1961–1990. godina imaju vrijednosti (normale): Q = 160,8 m<sup>3</sup>/s,  $\sigma$  = 38,5 m<sup>3</sup>/s, Cv = 0,24 i Cs = 0,18. Za cio posmatrani 60-ogodišnji period (1951–2010), vrijednosti pomenutih parametara su slične, osim koeficijenta asimetrije: Q = 161,0 m<sup>3</sup>/s,  $\sigma$  = 38,2 m<sup>3</sup>/s, Cv = 0,24 i Cs = 0,45. Vrijednost koeficijenta varijacije ukazuje da je srednje odstupanje oko 24% u odnosu na prosjek, a koeficijenta asimetrije da je raspored simetričan, posebno za referentni period 1961–1990. godine.

Na slici 6 dat je prikaz pojedinačnih godišnjih vrijednosti srednjegodišnjeg proticaja u vidu standardizovanih odstupanja. Tako se na primjer jasno može vidjeti da su 1983. i 1979. dvije ekstremne godine po vodnosti – najsušnija i najvodnija.

U posmatranom 60-ogodišnjem periodu, izvan opsega normale (period 1961–1990. godina) bilo je 19 godina ili ukupno 31,7% slučajeva, i to 9 ispod i 10 godina iznad granice normalnog odstupanja. Drugim riječima, u opsegu normalnih

<sup>3</sup> <http://www.meteo.co.me/misc.php?text=24&sektor=2>



Slika 6. Standardizovana odstupanja i klizni 11-godišnji srednjaci srednjegodišnjeg proticaja Morače na HS Podgorica za period 1951–2010.

vrijednosti ( $\pm 1\sigma$ ) nalazi se 41 godina ili 68,3% podataka. Standardizovano odstupanje pokazuje da nijedna godina nije imala karakter ekstremnog događaja u pravom smislu te riječi (ekstremno vodna ili ekstremno sušna), izvan opsega  $\pm 3\sigma$ .

Dalje se uočava da je u 60-ogodišnjem periodu bilo 7 vodnih godina (između  $+ 1\sigma$  i  $+ 2\sigma$ ), a vrlo ili veoma vodnih 3 (između  $+ 2\sigma$  i  $+ 3\sigma$ ), i to: 1959, 2010. i 1979. godina. Sa druge strane, svih 9 godina koje su ispod granice normalnog odstupanja, pripadaju klasi sušno ili kategoriji malovodnih godina (između  $-1\sigma$  i  $-2\sigma$ ), što znači da u analiziranom periodu nije bilo veoma i ekstremno sušnih godina (veoma malovodnih i ekstremno malovodnih), prema vrijednostima srednjegodišnjeg proticaja. Takođe se primjećuje da je čestina negativnih odstupanja (sušnijih godina) skoro ista kao i pozitivnih, 31 (deficit) prema 29 (suficit) godina ili 51,7% prema 48,3%. U periodu od 1951. do 2010. godine, zapaža se da se potperiodi 1987–1994. i 1997–2003. godine ističu kao najduži neprekidni nizovi od 8, odnosno 7 godina sa srednjegodišnjim proticajem ispod normale, tj. dva najduža sušna perioda. Međutim, na osnovu podataka za 2010., 2011. i 2012. godinu moglo bi se reći da je nesumnjivo sušni period prekinut. Važno je istaći da nijedna vrijednost pokretnog jedanaestogodišnjeg srednjaka u posmatranom periodu nije prevazišla opseg  $\pm 1$  normalizovanog odstupanja, niti pokazuju ustaljenu tendenciju u jednom ili drugom smeru.

U periodu 1951–2010. godina, trend porasta srednje godišnje temperature vazduha u Podgorici iznosi  $0,18^{\circ}\text{C}$  po dekadi, a godišnjih suma padavina  $3,38$  mm po dekadi ( $0,2\%$  po dekadi) u odnosu na uobičajenu vrijednost (normalnu

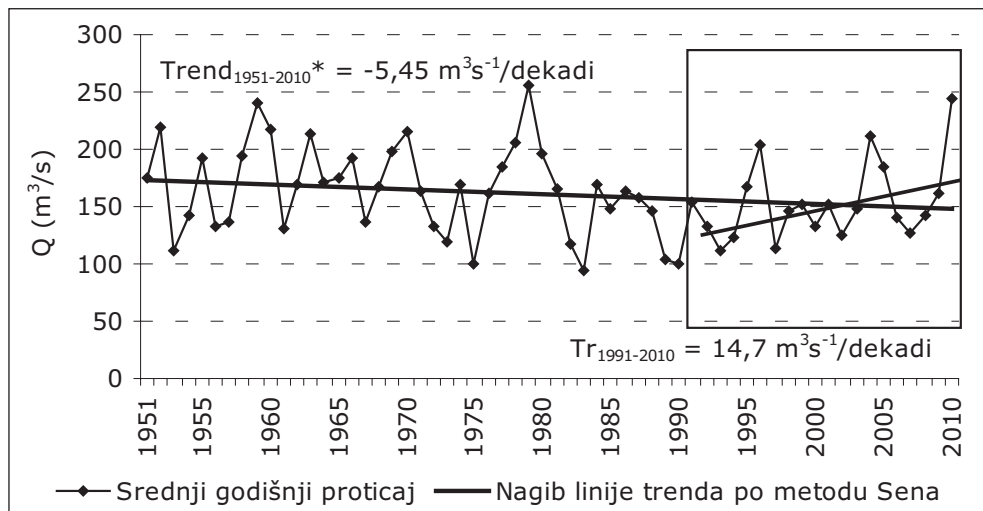
godišnju sumu padavina od 1659,3 mm). Prosječni godišnji proticaj Morače na profilu Podgorica je 160,8 m<sup>3</sup>/s, a u posmatranom šezdesetogodišnjem periodu prisutan je trend smanjenja po stopi od 5,45 m<sup>3</sup>/s po dekadi. Promjene temperature vazduha zadovoljavaju uslove Men-Kendalovog testa na 99,9% nivou povjerenja, dok je trend porasta godišnjih suma padavina beznačajan. Trend smanjenja srednjegodišnjeg proticaja, u periodu 1951–2010. godina, statistički je značajan na najvišem nivou rizika prihvatanja hipoteze, od 0,1 (najniži nivo povjerenja od 90%). Rezultati ukazuju da je trend porasta temperature prisutan i na drugim stanicama u slivnom području Morače. Na osnovu ovih proračuna moglo bi se zaključiti da je statistički značajan trend porasta temperature vazduha, strogo matematički posmatrano, u periodu 1951–2010. godina, uzrokovao smanjenje srednjegodišnjeg proticaja Morače pored Podgorice, jer godišnje sume padavina beznačajno rastu. Uprošćeno govoreći, porast temperature vazduha uslovio je povećanje evapotranspiracije u slivu ove rijeke, a time i smanjenje njenog proticaja. Međutim, proračuni korelacije ( $r$ ) između ova tri elementa ne idu u prilog tome.

Za period 1951–2010. godine, veza između srednje godišnje temperature i godišnjih suma padavina je beznačajna ( $r = -0,10$ ). Isto tako je i veza između temperature i proticaja beznačajna ( $r = -0,18$ ). Vrijednosti koeficijenta korelacije pokazuju najjaču vezu između proticaja i padavina ( $r = 0,81$ ) i statistički je značajna na najvišem nivou povjerenja prihvatanja hipoteze (prag značajnosti 0,01). Ova činjenica potvrđuje tezu da je proticaj rijeka, prije svega, u funkciji padavina, čije se djelovanje na režim rijeka ispoljava preko godišnje količine, pluviometrijskog režima i njihovog intenziteta. Potvrda tome je poslednji dvadesetogodišnji period (slika 7).

U periodu 1991–2010. godine, trend porasta srednje godišnje temperature je skoro tri puta veći (0,53<sup>o</sup> C/dekadi) nego u cijelom periodu. Otopljanje bi trebalo da poveća evapotranspiraciju, a ona da smanji proticaj. Međutim, to se ne dešava. U ovom periodu (1991–2010) prisutan je trend porasta srednjegodišnjeg proticaja, intenziteta od 14,7 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>/dekadi, a to je posledica rasta godišnjih suma padavina od čak 157,7 mm/dekadi. Dakle, ove činjenice ne ukazuju na posledice otopljanja i potvrđuju da je proticaj prvashodno pod uticajem padavina, odnosno prirodnih faktora. Drugo, sa visokim stepenom sigurnosti se može tvrditi da se trend sušnosti, na godišnjem nivou, ne nastavlja.

Korelacija između temperature i proticaja je inverzna, što je i logično – sa rastom temperature povećava se isparavanje pa manja količina vode otiče u korito rijeke. Sa druge strane, veza proticaja i padavina je direktna, i to je, takođe, logično. U svakom slučaju, ovi proračuni potvrđuju tezu Vojejkova da su „rijeke proizvod klimata” (Dukić D., Gavrilović LJ., 2006).

Proračuni korelacije tri hidrometeorološka elementa (temperatura, padavine i proticaj) sa razmatranim prirodnim faktorima pokazali su da, iako se radi o



Slika 7. Trend srednjegodišnjeg proticaja rijeke Morače na profilu HS Podgorica za period 1951–2010. (\* – značajnost trenda na 90% nivou povjerenja)

prostorno udaljenim pojavama, postoje jače ili slabije veze, posebno kada su u pitanju međugodišnja kolebanja. Najbolja veza je dobijena između kolebanja padavina i NAO indeksa (tabela 2).

Relativno dobra veza je i između temperature i AMO indeksa, kao i između proticaja i NAO indeksa. Pomenute veze su statistički značajne na 99% nivou povjerenja, dok su ostale vrijednosti koeficijenta korelacije beznačajne. Pri ovakvim i sličnim istraživanjima često se pribjegava sjedinjavanju podataka (prostornom i

Tabela 2. Matrica korelacija između proticaja (Q), padavina (R) i temperature vazduha (T) sa pokazateljima prirodnih faktora na godišnjem i pokretnom desetogodišnjem nivou, meteorološka i hidrološka stanica Podgorica za period 1951–2010. godina

Godišnje vrijednosti				
Parametar	Broj Sunčevih pjega	SST-ENSO Indeks	NAO Indeks	AMO Indeks
T	-0.18	0.10	-0.16	0.49
R	0.00	0.08	-0.54	0.21
Q	0.06	0.05	-0.43	0.22
Pokretne 10-godišnje vrijednosti				
Parametar	Broj Sunčevih pjega	SST-ENSO Indeks	NAO Indeks	AMO Indeks
T	-0.40	0.61	-0.36	0.81
R	-0.22	-0.38	-0.58	0.05
Q	0.10	-0.57	-0.31	0.00
	Statistička značajnost na nivou rizika prihvatanja hipoteze $\alpha = 0,05$ .			
	Statistička značajnost na nivou rizika prihvatanja hipoteze $\alpha = 0,01$ .			

vremenskom). Cilj sjedinjavanja je prečišćavanje veza između varijabli od različitih nebitnih uticaja, tj. tzv. šumova. U konkretnom slučaju, računane su desetogodišnje pokretne vrijednosti i rezultati proračuna korelacije prezentovani u donji dio tabele 2. Računajući korelaciju na ovaj način, sa SST-ENSO i NAO indeksom je dobijena značajna veza, i to za sva tri parametra. Za temperaturu vazduha dobijen je značajan signal i sa AMO indeksom i brojem Sunčevih pjega.

*Deri i Vud* (Dery and Wood, 2005) su proučavali varijabilnost proticaja 64 rijeke u Sjevernoj Kanadi za period 1964–2003. godina. Autori su utvrdili da postoji smanjenje proticaja, u prosjeku oko 10%. Za isti period su dobili da se i količina padavina smanjila gotovo identično. Dakle, autori smatraju da su promjene proticaja rijeka, na posmatranom prostoru, prevashodno u vezi sa padavinama, a ne sa evapotranspiracijom. Ispitujući moguće uzroke smanjenja padavina i proticaja, autori su statistički značajnu vezu dobili sa Arktičkom oscilacijom (AO), ENSO i Pacifičkom dekadnom oscilacijom (PDO). Na kraju zaključuju da ništa ne ukazuje na posledice globalnog zagrijavanja i da su trendovi uzrokovani varijacijama prirodnih faktora. Ispitivanjem mogućeg uticaja El Niña na promjene temperature vazduha i padavina u Srbiji, bavili su se Ćurić M. (1988), Ducić V. i Luković J. (2005) i drugi. *Ducić V. i dr.* (Ducic et al., 2007) su ispitivali moguću vezu između ENSO i NAO sa padavinama u Srbiji. Primjenom klaster analize, autori su dobili statistički značajne vrijednosti korelacije za pojedine stanice, kao i za Srbiju u cjelini između padavina i ENSO, odnosno NAO. U istom radu se dalje kaže da bi se visoka vrijednost korelacije mogla objasniti mogućim indirektnim mehanizmom uticaja ENSO na NAO indeks. Na kraju zaključuju da se „uticaji NAO mogu primijetiti na stanicama sa kontinentalnim pluviometrijskim režimom, dok se uticaj ENSO može primijetiti na stanicama sa mediteranskim, odnosno prelaznim mediteranskim režimom, što je dijelom i pokazano tokom istraživanja”.

Na osnovu prethodno iznijetog, može se zaključiti da se ni jedan element prirode ne može posmatrati izolovano od drugih, niti je ispravno njegove potencijalne promjene i kolebanja razmatrati na osnovu uticaja samo jednog faktora. U svakom slučaju, dosadašnji rezultati jasno pokazuju da su potrebna dalja iztraživanja u vezi eventualnih promjena današnje klime i proticaja rijeka i detaljnija analiza većeg broja parametara. Osnovni cilj ovog rada je da se, prije svega, ukaže na složenost prirodnog sistema, odnosno da na promjene i kolebanja proticaja, padavina, temperature vazduha i druge hidrometeorološke elemente utiču brojni faktori. Drugim riječima, pogrešno je stavljati akcenat na isključivu i postojanu dominaciju jednog faktora, jer je očigledno da se radi o interakcijskom djelovanju više uticaja, što je u ovom radu djelimično i pokazano. U radu je istaknuto da i degradacija prostora povećava rizik od poplava. Krčenje šuma i makije, ali i požari, prisutno je i u srednjoj i primorskoj regiji Crne Gore.

Požari ogolićuju i sljepljuju tle i time značajno umanjuju infiltracionu sposobnost zemljišta, odnosno povećavaju površinsko oticanje. Tokom avgusta i početkom septembra 2010. godine požari su odnijeli oko 6 500 hektara šume i 600 000 m<sup>3</sup> drveta<sup>4</sup>. Svakako da je i ova činjenica imala uticaja na oticanje padavinske vode krajem 2010. godine.

## 5. ZAKLJUČAK

Osnovni cilj ovoga rada je bio da se na osnovu analize sinoptičkog materijala i hidroloških podataka utvrde uzroci poplava početkom decembra 2010. godine. Na osnovu iznijetog, može se konstatovati da su obilne kišne padavine u većem dijelu Crne Gore i topljenje sniježnog pokrivača (izostanak nivalne retencije) u gornjim djelovima slivova rijeka, usloveli nagli priliv vode u jezera i korita rijeka, odnosno porast vodostaja na mnogim hidrološkim objektima i nezapamćene poplave u ravničarskom području oko donjeg toka Morače i Nikšićkom polju. Poplava je bilo i u priobalju Bojane, Zete i Lima. Pojedine hidrološke stanice na Zeti, Morači, Skadarskom jezeru i Bojani, početkom decembra su registrovale rekordne vodostaje.

Pored relativne opterećenosti hidrološkog sistema od padavina tokom novembra i naglog topljenja sniježnog pokrivača, sa visokim stepenom sigurnosti možemo tvrditi da je višegodišnja sječa šume u slivnom području rijeke Lim, značajno determinisala izlivanje ove rijeke i plavljenje priobalja. Degradacija prostora, u vidu krčenja šuma, makije i požara, prisutna je i u srednjoj i primorskoj regiji Crne Gore. Treba istaći da brojni neklimatski faktori mogu uticati na poplave, kao što su: narušavanje brana i nasipa, promjena namjene zemljišta, širenje urbanih zona na potencijalno plavna područja i drugi društveni uticaji. Ova analiza je djelimično pokazala da degradacija prostora u vidu nekontrolisane sječe šuma, može uzrokovati poplave.

Cilj rada bio je i pokušaj utvrđivanja uzroka kolebanja proticaja rijeke Morače na profilu HS Podgorica. Proračuni korelacije proticaja, ali i temperature vazduha i količine padavina, sa razmatranim unutrašnjim i spoljašnjim prirodnim faktorima, pokazali su da, iako se radi o prostorno udaljenim pojavama, postoje jače ili slabije veze, posebno kada su u pitanju međugodišnja kolebanja. Najbolja veza je dobijena između kolebanja padavina i NAO indeksa. Dobra je i veza između temperature i AMO indeksa, kao i između proticaja i NAO indeksa. Pomenute veze su statistički značajne na 99% nivou povjerenja. Proticaj rijeke Morače na HS Podgorica ima tendenciju smanjenja u periodu 1951–2010. godine. Međutim, u posljednje dvije dekade (1991–2010) proticaj ove rijeke se povećava, što nesumnjivo ukazuje da je trend aridizacije za sada prekinut.

<sup>4</sup> <http://www.vijesti.me/vijesti/crna-gora-ostala-bez-6-500-hektara-sume-clanak-91407>



## LITERATURA

- [1] Baza podataka Hidrometeorološkog zavoda Crne Gore, Podgorica.
- [2] Baldwin M. P. and Thompson D. W. J. (2009): A critical comparison of stratosphere-troposphere coupling indices. *Journal of the Royal Meteorological Society*, 135, 1661–1672.
- [3] Barjaktarović R., Burić D., Kićović D. (2011): Floods in north-east part of Montenegro by the end of 2010. *Zbornik radova XV Internacional eco-conference*, Novi Sad, knj. I, 131–138.
- [4] 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.
- [5] Burić D. (2011): Indexes of temperature and precipitation extremes in Podgorica in the period 1951–2008. *Zbornik radova Geografskog instituta „Jovan Cvijić”, SANU*, 61(1), 31–41.
- [6] Burić D., Ducić V., Luković J., Doderović M. (2012): Trend temperaturnih ekstrema na Crnogorskom primorju. *Glasnik Odjeljenja prirodnih nauka, Crnogorska akademija nauka i umjetnosti*, br. 20.
- [7] Ćurić M. (1998): Analiza trendova nizova padavina i temperature u našoj zemlji u odnosu na El Niño periode, RHMZ, Beograd.
- [8] Gavrilović Lj. (2007): Prirodne nepogode kao faktor ugrožavanja životne sredine. *Zbornik radova Prvog kongresa srpskih geografa*, knj. 1. Srpsko geografsko društvo, 69–76.
- [9] Graversen G. G. and Christiansen B. (2003): Downward propagation from the stratosphere to the troposphere: A comparison of the two hemispheres. *Journal of Geophysical Research*, vol. 108, no. d 24, 480, doi: 10.1029/2003 JD 004077.
- [10] Dukić D., Gavrilović Lj. (2006): Hidrologija. *Zavod za udžbenike i nastavna sredstva*, Beograd.
- [11] Ducić V., Radovanović M. (2005): *Klima Srbije*. *Zavod za udžbenike i nastavna sredstva*, Beograd.
- [12] Ducić V., Luković J. (2005): Moguće veze između El Niño južne oscilacije i promene količine padavina u Srbiji. *Zbornik radova Geografskog fakulteta*, Beograd, sveska LIII.
- [13] Ducić V., Milovanović B., Luković J. (2007): Connection between ENSO Index, NAO Index and Decadal-scale Variability of precipitation in Serbia. U: *International Conference „Global Changes and Regional Challenges”* (3). St. Kliment Ohridski' University Press, Sofia. pp. 137–142.
- [14] Ducić V. (2008): Savremena kolebanja globalne klime – uticaj ljudi ili prirode. *Astronomski magazin* br. 34, str. 22–25.
- [15] Ducić V., Stanojević G. (2010): Uticaj Sunčevog vetra na atmosfersku cirkulaciju na primeru Has-Brezovski klasifikacije, *Beogradska škola meteorologije*, Sveska treća, Biblioteka: Naučna istraživanja, Beograd, str. 299–314.
- [16] Dery S. J. and E. F. Wood (2005): Decreasing river discharge in northern Canada. *Geophysical Research Letters*, 32, L 10401, doi: 10.1029/2005 GL 022845.
- [17] Legates D., Lins H., McCabe G. (2005): Comments on „Evidence for global runoff increase related to climate warming” by Labat et al. *Advances in Water Resources*, vol. 28.
- [18] Lindzen R. and Rondanelli R. (2007): *Climate Sensitivity and Observed Negative Feedbacks*, Program in Atmospheres, Oceans, and Climate, MIT, IPGP, Pariz.
- [19] Lucie A., Vincent and Éva Mekis (2005): *Changes in Daily and Extreme Temperature and Precipitation Indices for Canada over the Twentieth Century*, *Climate Research*. Toronto: Division, Science and Technology Branch, Environment Canada 4905 Dufferin Street, ON M3 H 5 T 4.
- [20] Pielke R. A. (1999): Nine fallacies of floods. *Climate Change* 42., pp. 413–438.

- [21] Summary for Policymakers. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change (2007): Climate Change 2007: The Scientific Basis. Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- [22] Čadež M. (1964). Vreme u Jugoslaviji, Institut za meteorologiju, Beograd.
- [23] McBean E. and Motiee H. (2008): Assessment of Impact of Climate Change on Water Resources: A Long Term Analysis of the Great Lakes of North America, Hydrology and Earth System Sciences, Vol. 12, pp 239–255.
- [24] Ministarstvo poljoprivrede i ruralnog razvoja (2011): Nacionalna inventura šuma Crne Gore, Podgorica.
- [25] Salmi T., Määttä A., Anttila P., Ruoho-Airola T. and Amnell T (2002): Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates –the Excel template application MAKESENS. Helsinki: Finnish Meteorological Institute Publications on Air Quality No. 31.