

ANALIZA UTICAJA TEMPERATURNIH I PADAVINSKIH OSCILACIJA NA RIJEČNE PROTOKE U SARAJEVSKOJ KOTLINI

Emina HADŽIĆ, Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu,
Nusret DREŠKOVIĆ, Prirodno-matematski fakultet Univerziteta u Sarajevu

REZIME

Široko je prihvaćeno da globalno zatopljavanje ima značajan utjecaj na vodne resurse. Ovaj utjecaj se može reflektirati na različite načine, ovisno od mikroklimatskih uvjeta, morfoloških osobnosti terena te antropogenog učinka. S tim u vezi, svako istraživanje koje analizira određenu, karakterističnu morfološku cjelinu, poput kockica mozaika, doprinosi globalnom prepoznavanju učinka klimatskih promjena na vodne resurse. Za prostor Sarajevske kotline, koji predstavlja planinsko kotlinsku morfološku cjelinu, orografski dobro izolovanu od direktnih antropogenih utjecaja, analiziran je utjecaj temperaturnih i padavinskih oscilacija na riječne proticaje rijeke Bosne i rijeke Miljacke, za period od 1926. do 2010. Podaci o temperaturama i padavinama su razmatrani za duži instrumentalni period (1888-2010). Rezultati izvršenih analiza su pokazali da, premda je evidentirano povećanje temperature zraka u instrumentalnom periodu, te blago povećanje u količini padavina, riječni protoci na analiziranim rijekama u promatranom periodu se nisu značajno mijenjali.

Ključne reči: klimatska varijabilnost, uticaj na vodne resurse, temperatura, padavine, proticaji

1. UVOD

Voda je osnova svih oblika života na Zemlji i jedna od osnovnih karakteristika našeg planeta, bila ona u tekućoj, plinovitoj ili u krutoj fazi. U privrednom smislu, voda zauzima centralno mjesto u razvoju i opstanku društva. Ona omogućava poljoprivrednu proizvodnju, služi za proizvodnju energije, neophodna je za razvoj industije, rudarstva, turizma i ostalih sektora privrede, te za snabdijevanje stanovništva vodom. U cijelom svijetu se sve ubrzanije zaoštravaju uvjeti snabdijevanja naselja vodom, a vodoopskrba se odvija uz sve brojnije poteškoće, što je dovelo do

činjenice da se voda sada smatra kritičnim, kriznim resursom 21. vijeka (*Hadžić, E. 2013*). Zbog svega navedenog, veoma je važno znati sa kojim količinama vode raspoložemo i da li su nam one dostupne. Naravno, pitanje kvaliteta vode je neodvojivo od pitanja kvantiteta, ali se u ovom poglavlju nećemo baviti njime. To svakako ne znači da se radi o manje značajnom pitanju, nego o pitanju koje zaslužuje zasebnu pažnju.

Zbog prirodne sposobnosti samoobnavljanja i samopročišćavanja tokom vodnog ciklusa, smatralo se kako je količina vode neiscrpna. Imajući na umu procjenu globalne raspodjele vode u jednom ciklusu kruženja vode, lako je razumljiva temeljna iluzija čovječanstva s obzirom na vodu - iluzija o neiscrpnosti vode. Iz tog razloga nastao je nemaran odnos prema vodi, koji je podrazumijevao minimalna ili nikakva ulaganja za prečišćavanje otpadnih voda i uopće za razmatranje problematike zaštite voda. Više je nego jasno, kako Zemlja ima ograničene količine vode. Također je jasno da se ljudska potreba za njom eksponencijalno povećava. Porast populacije na planeti, urbanizacija i koncentracija stanovništva, porast zagađenja u svakojakom smislu, s jedne strane, te potreba za povećanom proizvodnjom hrane, energije, porast zahtjeva za pitkom vodom sa druge strane samo su neki od problema koji su se pojavili.

Sve do kraja 20 stoljeća, uglavnom se smatralo, da glavni problemi koji se mogu pojaviti, a koji se odnose na vode i njihovo korištenje, jesu problemi vezani sa zagađivanjem voda, tj. problemi sa njenim kvalitetom. U veoma kratkom vremenu, pojavili su se mnogo veći izazovi – šta ako ne budemo imali dovoljne količine raspoložive vode i ako pri tom i one raspoložive budu zagađene? Razlozi za zabrinutost u smislu nedovoljnih količina vode i porasta zagađenja postoje, oni su uočeni i prepoznati. Nejasni ostaju načini na koji bismo se mogli izvući iz krize, sa što

manje posljedica za generacije koje dolaze. Prepoznavanje problema te njihovih uzročnika, u ovom slučaju, se ne može niti jednostavno niti jednostrano riješiti. Razloge za ovakvo stajalište možemo naći u činjenici da su vode i vodni ciklus kompleksni i stohastički procesi koje je veoma teško prognozirati. Također važno je istaći da su hidrološke i meteorološke serije najčešće mješoviti procesi sastavljeni od determinističkih i stohastičkih komponenti (*Mihailović, V., Radić, Z. 2010*).

Ukoliko svim ovim neizvjesnostima pridodamo i nepoznat, u smislu teško prognozirani zbog izuzetne kompleksnosti, utjecaj klimatskih promjena na vodni ciklus i vodne resurse općenito, problematika se značajno usložnjava (*Hadžić, E., Drešković, N., 2013*). Mnoge, već urađene, studije ukazuju na moguće značajne promjene u kružnom putu vode upravo zbog klimatskih promjena koje se dešavaju zadnjih desetljeća. Naučnici upozoravaju na učinke klimatskih promjena na vodni ciklus, bez obzira da li su uzrokovane antropogenom emisijom stakleničkih gasova, kako tvrdi IPCC ili je riječ o uobičajenoj varijaciji klime (*Bonacci, O., 2012*). Prema mišljenjima, slijedi nam intenzivnija promjena vodnog ciklusa, što konkretno treba da znači: kratka kišna razdoblja s olujnim pljuskovima ili kraćim snježnim olujama i duga, topla sušna razdoblja. Ovako ubrzan i intenziviran vodni ciklus mogao bi imati i posljedice na kvalitet vode. Mnoge geokemijske i kemijske supstance koje dospjevaju u vodu, zahvaljujući njenom prolasku kroz biosferu, tlo i geološke slojeve, zbog antropogenog učinka i kraćeg zadržavanja u tlu, mogu se promijeniti i uzrokovati značajne promjene kvaliteta vode.

U uslovima kada se pogoršavaju vodni režimi, tako da povodnji postaju sa sve većim vrhom talasa, sve rušilačkiji i nagliji, a malovodni periodi su sa sve dužim trajanjem i sa sve nižim minimumima, rehabilitacija rijeka i riječnih koridora postaje jedna od veoma važnih, često nezamjenljivih mjera za socijalnu, ekološku i urbanu obnovu gradova (*Popovska, C., Dorđević, B. 2013*).

Iako je sistematsko praćenje klimatskih elemenata relativno mlada disciplina¹, veći broj nesigurnosti u procjenama učinaka atmosferskih pojava u vezi je s povratnim učinkom između klime i vodnog ciklusa.

¹ Sistematsko praćenje klimatskih elemenata traje oko 200 godina

Kompleksna interakcija između klimatskih elemenata, pedoloških osobnosti terena, hidroloških karakteristika, te antropogenog dejstva, ograničila je razumijevanje veze između vode i klimatskih promjena.

2. ANALIZA KLIMATSKIH UVJETA SARAJEVSKE KOTILINE

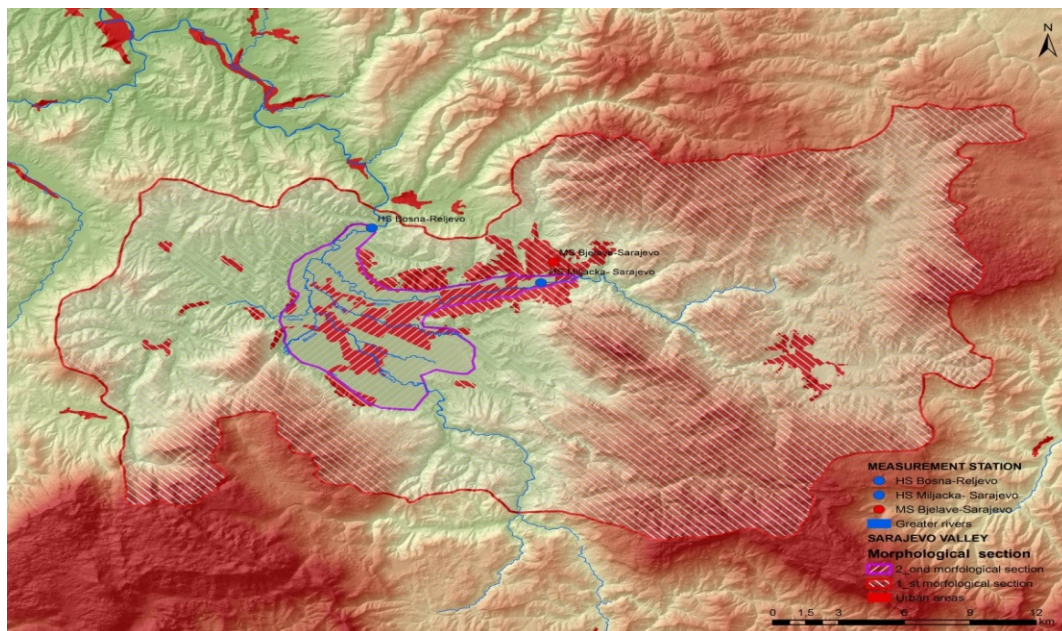
2.1. Geografske karakteristike Sarajevske kotline

Sarajevska kotlina je smještena u međugorskoj (unutargorskoj) depresiji između masiva Bjelašnice i Igmana na jugozapadu i niskogorskog i srednjogorskog prostora na sjeveroistoku. Opći pravac pružanja joj je približno dinarski (NW-SE) gdje su, također, niskogorski i srednjogorski prostori: na jugoistoku kose i povijarci Trebevića, a na sjeverozapadu međudolinski rtovi od mladotercijarnih naslaga. Unutar kotline je smještena izvorišna oblast rijeke Bosne sa pritokama: Zujevina sa Rakovicom, Željeznica sa Kasindolkom, Dobrinja sa Tilavom i Miljacka. Na osnovu geološkog sastava i geomorfološkog sklopa, prostor Sarajevske kotline je moguće izdiferencirati na dvije morfološke cjeline: prva morfološka cjelina ili planinski obod i druga morfološka cjelina ili dolinsko dno Miljacke sa Sarajevskim poljem (slika 1).

Prostor planinskog oboda karakteriše nekoliko zasebnih cjelina, koje imaju različite hidrogeološke odlike uvjetovane različitim strukturnim i facijalnim sastavom. To su: najviši planinski vrhovi, planinska oblast srednje visine i pojas niskog oboda. Najviši planinski vrhovi su visine oko 1000 m i više i u njihovoj građi dominiraju karstificirani krečnjaci i dolomiti. To su: Bjelašnica, Igman, Trebević, Jahorina, Crepoljsko i sl. Planinski prostori srednjih visina (700 do 1000 m) morfološki su složeniji. Ovdje je krečnjačka masa zastupljena uglavnom u manjim zonama, izoliranim tablama ili blokovima, između kojih su rasprostranjene užje ili šire zone verfenskih sedimenata. Pojas niskog oboda obuhvata prostor od 520 do 700 m i morfološki se znatno razlikuje od prethodne dvije cjeline. Ovdje se, pored krečnjaka i dolomita donjeg trijasa, javljaju i znatno šire zone verfena, a u višim dijelovima i reliktni ostaci slatkovodnog tercijara. Najniže dijelove izgrađuje kompleks tercijarnih sedimenata u kojem su se obrazovale kvartarne terase različite starosti.

Prostor Sarajevskog polja sa dolinskim dnom rijeke Miljacke čini drugu veliku morfološku cjelinu, unutar koje slatkovodni tercijarni kompleksi prekrivaju naslage šljunkovito-pjeskovitih sedimenata različite debljine. Sarajevsko polje se, u užem smislu, može izdiferencirati na dva dijela. Prvi, najmlađi, se prostire neposredno od podnožja Igmana (malo južnije od Vojkovića do Vrela Bosne) pa dalje prema istoku,

približno do linije Blažuj – Ilidža -Kotorac (na kojoj se nalazi prva barijera podzemne akumulacije). Kvartarne naslage muljevito-ilovačastog sočiva leže relativno duboko (na oko 40 m), što ukazuje na pozitivno osciliranje dna kada se u ovaj prostor taložio samo sitnozrni materijal, a krupnozrni se zadržavao daleko južnije, na starim ušćima rijeka.



Slika 1. Topografski položaj Sarajevske kotline sa lokacijama meteoroloških i hidroloških stanica korištenim u radu

Na ovom prostoru je utvrđeno postojanje gornjeg i donjeg vodonosnog horizonta sa bitno različitim hidrauličkim svojstvima. Drugi dio polja nalazi se sjeverno i sjeveroistočno od linije Blažuj – Ilidža-Kotorac. Strukturno se razlikuje od mlade kvartarne depresije po tome što su trijasko naslage ovdje potonule znatno dublje kao i slatkovodni kompleks. Kvartar je u ovom dijelu polja relativno plitak, od nekoliko do desetak metara (prostor oko Lukavice, Nedžarića, Rajlovca i dr.).

2.2. Klimatske karakteristike

Prostor planinskog oboda ima prilično heterogene klimatske karakteristike, koje su pod snažnim utjecajem okolnih, visokih planina Bjelašnice, Jahorine i Treskavice. Ove planine čine barijeru za maritimni režim, što se naročito očituje velikim razlikama u padavinama; sume godišnjih padavina na Bjelašnici i Jahorini se kreću oko 1800 mm, a na susjednoj

Romaniji, na istim nadmorskim visinama oko 1000 mm. Prema vlažnosti, ljetni mjeseci se mogu svrstati u red subhumidnih do vrlo vlažnih, a prema temperaturi od hladnih do toplih mjeseci. Za kotlinski dio prostora karakteristične su padavine u obliku kiše sa učešćem snijega do 20%, dok su na planinskom masivu Igman – Bjelašnica snježne padavine zastupljene i do 50%. Prostor Sarajevskog polja sa aluvijalnom zaravni rijeke Miljacke, karakterišu prilično stabilne prosječne mjesečne padavine, kojima osnovni ton daje modificirani mediteranski kišni režim. Padavine su znatno više u jesenjem periodu u odnosu na ostali dio godine. Prosječna suma godišnjih padavina na istražnom prostoru Sarajevskog polja iznosi oko 879 mm. Nasuprot padavinama, temperature imaju veliku amplitudu kolebanja oko 70°C, što je karakteristično za kontinentalni tip klime. Prosječna godišnja temperatura u Sarajevskom polju iznosi oko 9.7°C, a u širem istražnom prostoru ovisi od nadmorske visine (Hadžić, E., Drešković, N., 2012).

2.3. Analiza temperaturnih fluktuacija

Analiza klimatskih kolebanja u instrumentalnom periodu je zasnovana na razmatranjima temperaturnih i padavinskih fluktuacija, obzirom da je riječ o dva najvažnija klimatska elementa. Meteorološka stanica na Bjelavama posjeduje homogeni niz osmatranja i mjerenja od 1888. godine do danas, što je sasvim reprezentativno za istraživanja klimatskih fluktuacija. Ovakva analiza ima i posebno značenje s obzirom da je Sarajevska kotlina pravi reprezent općih klimatskih odlika planinskog dijela jugoistočne Evrope, pa s tim u vezi može biti dobra dopuna za upotpunjavanje slike o razmjerama klimatskih kolebanja na cjelokupnom evropskom kontinentu.

Prva, od najviše korištenih metoda za analizu temperaturnih fluktuacija je metoda pokretnih ili presizajućih temperaturnih srednjaka (Hadžić, E., Drešković, N., 2012.). Ona ima za cilj da se anuliraju vremenski najkraća osciliranja koja se odnose na jednogodišnje vremenske intervale, a da se pritom istaknu kolebanja u višegodišnjim periodima. Međutim, prema mnogim istraživačima ova metoda jako naglašava dugoperiodske oscilacije (ili kvazi-

cikluse) zbog čega se izračunatim podacima mora pristupiti s određenom dozom opreza (Drešković, N. 2012). Na osnovu dosadašnjih istraživanja kao najproduktivnije u konkretnim analizama su se pokazale serije presizajućih srednjaka dobivene usrednjavanjem petogodišnjih temperaturnih vrijednosti, izračunate prema sljedećoj formuli:

$$X_{n+1} = X_n (X_{6+n} - X_n) : 6, \text{ gdje je}$$

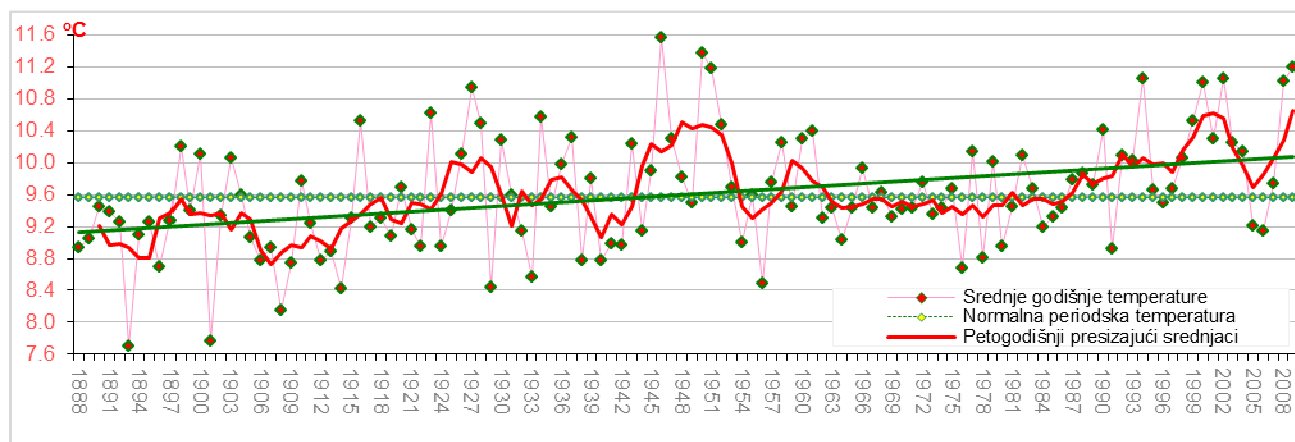
$$X_n = 1/6 \sum_{i=n}^{n+5} X_i;$$

X_i – pojedinačna vrijednost po godinama;

$n = 0, 1, 2, 3 \dots m$ – osmatrački niz godina, u kojem m označava petogodišnji odnosno desetogodišnji vremenski interval.

Na osnovu navedene formule izračunata je serija presizajućih srednjaka, koja je predstavljena na slici 2.

Srednja godišnja temperatura cjelokupnog instrumentalnog perioda (1888. do 2010. god.) iznosi 9,55 °C, ali su uočljive vrlo izražene međugodišnje varijacije, koje se kreću u temperaturnim granicama između 7,71 °C (1893.god.) do 11,57 °C (1946.god.).



Slika 2. Temperaturne promjene za period 1888-2010 na meteorološkoj stanici Sarajevo - Bjelave

Opću tendenciju kretanja temperatura najbolje izražava linija linearnog trenda, koji predstavlja svojevrsni dinamički srednjak cijele temperature serije. Konkretna vrijednost mu je određena linearnom funkcijom oblika $y = ax + b$, pri čemu su kvantitativne vrijednosti parametara jednadžbe pravca a i b određeni metodom sume najmanjih kvadrata, koji za srednje godišnje temperature imaju sljedeće vrijednosti: $a = 0,0075$ i $b = 9,1368$

Na ovaj način određen trend kretanja srednjih godišnjih temperatura je pozitivan sa vrijednošću zatopljavanja, u cjelokupnom instrumentalnom periodu od **0,82°C**.

Na osnovu izloženih činjenica o 5-godišnjim presizajućim srednjacima može se zaključiti da postoji ukupno 11 fluktuativnih perioda koji su različite dužine trajanja od 6 do 14 godina. Također se kao karakteristika može navesti da su tokom navedenih intervala opažene uglavnom suprotne temperature

tendencije, osim u dva perioda koji su izdvojeni na osnovu vrlo izraženih međugodišnjih temperaturnih variranja. Kao opće obilježje instrumentalnog perioda se može navesti da završetak 19-tog i početak 20-tog vijeka karakteriše izrazito zahlađenje koje je, tokom prve polovine prošlog vijeka, smijenio jedan period ravnomjernijih temperatura čije vrijednosti se kolebaju oko prosjeka instrumentalnog perioda. Druga polovina 20-tog vijeka se može identificirati kao vrijeme zatopljanja unutar kojeg postoje dva desetogodišnja perioda intenzivnog povećanja temperatura, sa tekućim trendom njihovog održavanja. (Hadžić, E., Drešković, N., 2012.).

Shodno dosadašnjim iznesenim činjenicama može se izvesti nekoliko generalnih zaključaka o termičkom režimu Sarajevske kotline u instrumentalnom periodu: (i) osnovno obilježje termičkog režima jeste zatopljanje, s obzirom da je linearni trend temperature pozitivan i da iznosi $0,82^{\circ}\text{C}$; (ii) osciliranja stvarnih srednjih godišnjih temperatura su veoma izražena zbog čega na osnovu njih nije moguće uočiti neke posebne zakonitosti u vremenskom razvoju temperatura; (iii) polinomialni trend, određen na osnovu funkcije šestog stepena, pokazao je da se u odnosu na normalnu temperaturu, mogu izdvojiti četiri glavna vremenska perioda povećanih, odnosno sniženih temperatura, što upućuje na zaključak da postoji određeni fluktuativni tok temperatura. Dužina ovih perioda je, međutim, dosta različita - od 18 do 40 godina, što značajno otežava donošenje sigurnijih zaključaka o konkretnoj fluktuativnoj zakonomjernosti; (iv) analiza petogodišnjih presizajućih srednjaka pokazala je da postoji ukupno 11 perioda, dužine trajanja od 6 do 14 godina, koji pokazuju uglavnom suprotne temperaturne tendencije.

2.4. Analiza fluktuacija padavina

Pored istraživanja fluktuacija temperatura, istraživanje fluktuacija padavina spada u osnovne pokazatelje u proučavanju klimatskih kolebanja. Korištena metodologija je potpuno identična već korištenoj u analizi temperaturnih fluktuacija.

Prosječna sekularna vrijednost godišnje sume padavina iznosi 918,8 mm, ali se može uočiti vrlo izraženo rasipanje pojedinačnih godišnjih padavinskih suma oko instrumentalnog prosjeka. Najniža prosječna godišnja suma padavina od 625,0 mm je registrovana tokom 1926.godine, dok je godišnji padavinski maksimum registrovan 1915.godine i iznosi 1534,0 mm. U

odnosu na navedeni sekularni prosjek tokom 58 godine je utvrđena povećana godišnja suma padavina, dok je u 64 godine godišnja padavinska suma bila niža od navedenog prosjeka. U analiziranoj seriji je utvrđeno ukupno 30 stvarnih dvogodišnjih do sedmogodišnjih vremenskih intervala unutar kojih godišnja visina padavina ima povećane odnosno snižene vrijednosti u odnosu na instrumentalni prosjek. Tokom 13 takvih intervala prosječna godišnja visina padavina je bila iznad, a u preostalih 17 je bila ispod navedenog prosjeka, što upućuje na zaključak da periodi povećanih visina padavina vremenski traju duže u odnosu na kraće periode tokom kojih se izlučivala manja količina padavina.

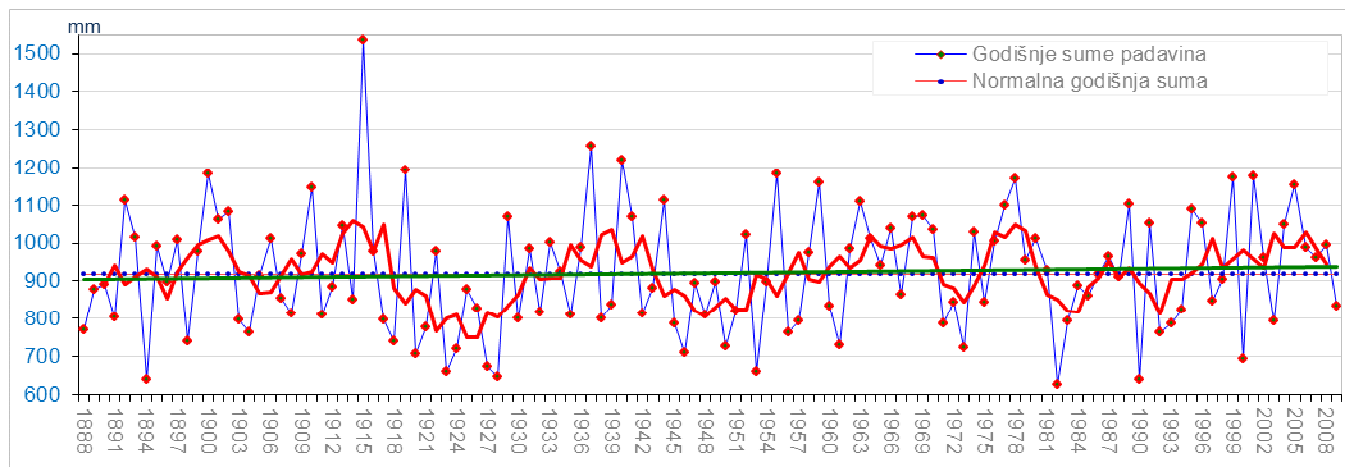
Analizom linearnog trenda dolazi se do zaključka da se godišnja visina padavina u instrumentalnom periodu neznatno povećala. Konkretnije, tokom 114 godina ukupno povećanje godišnje visine padavina iznosi svega oko 20 mm, tako da se može govoriti o jedva primjetnoj humizaciji klime unutar Sarajevske kotline.

Analizom petogodišnjih presizajućih srednjaka može se utvrditi postojanje ukupno 8 zaokruženih ciklusa različite vremenske dužine trajanja, unutar kojih se ispoljavaju sve postojeće temperaturne tendencije (Slika 3).

3. ANALIZA HIDROGRAFSKIH KARAKTERISTIKA SARAJEVSKE KOTLINE

Sarajevka kotlina ima vrlo razvijenu mrežu površinskih i podzemnih voda. Istraživanom području pripadaju riječni tokovi rijeke Miljacke, Željeznice, Dobrinje, Zujevine i uzvodni dio toka rijek Bosne, do VS Reljevo. Ukupna dužina riječne mreže iznosi oko 120 km.

U dijelu interne depresije u području Sarajevskog polja, vladaju različiti hidrogeološki odnosi u njegovim pojedinim dijelovima, a potpuno drugačiji na njegovom planinskom obodu. Strukturno-morfo-genetske razlike uz različitost hidrogeoloških funkcija stijena u litofacijalnom smislu, direktno se odražavaju na sve hidrološke i hidrogeološke pojave, procese, dinamiku i režim podzemnih voda, kao i na formiranje tipa izdani, naročito većih akumulacija i načina njihovog prihranjivanja, pražnjenja i hidrauličkih odlika. Grubo klastične taložine kao što su pijesak, šljunak, pješčenjak itd, su primarno porodne



Slika 3. Padavinske fluktuacije godišnjih suma padavina za period (1888. – 2010.) na M.S. Sarajevo-Bjelave.

stijene, čija veličina poroznosti ovisi uglavnom od sortiranosti zrna. Po pravilu podzemna voda u ovakvim poroznim sredinama struji malim brzinama, odnosno tečenje se može posmatrati kao laminarno. Mjerenja efektivnih brzina u polju su pokazala da se vrijednost brzine kreće od 20 do 50 m/dan, a da pravac kretanja odgovara kretanju vode na površini terena, odnosno topografiji terena.

Tabela 1. Glavni vodotoci Sarajevske kotline (L - dužina rijeke, S.P.-slivno područje)

R.br.	Vodotok	L (km)	S.P. (km ²)
2	Zujevina	23,50	171,20
3	Dobrinja	9,20	57,50
4	Bosna	8,30	35,80
5	Zeljeznica	40,0	481,80
6	Miljacka	38,0	387,60
Ukupno:		122,80	1133,90

Sagledavanje uticaja klimatskih promjena na riječne tokove, rijeke Miljacke i Bosne, su procijenjene kao najinteresantnije. Zbog specifičnih okolnosti koje se odnose na zahvatanje voda neposredno nakon izvorišne zone rijeke Bosne, te infiltracije riječnih voda u gornju granularnu akumulaciju koja egzistira na prostoru Sarajevskog polja rijeka Bosna ima nesumnjiv značaj. S druge strane rijeka Miljacka predstavlja rijeku oko koje se formirala gradska aglomeracija Sarajeva. Zbog neriješenih kanalizacijskih problema, uglavnom sva gradska kanalizacija se upušta u rijeku Miljacku, neposredno prije VS Reljevo, što itekako ima uticaj na protok iste.

3.1. Analiza fluktuacija proticaja rijeka Bosne i Miljacke

Za potrebe istraživanja hidroloških fluktuacija analizirani su proticaji na odabranim profilima na rijekama Bosna i Miljacka. Na rijeci Bosni postoji nekoliko mjernih profila: Bosna-vrelo, Bosna-Plandište i Bosna-Reljevo. Od navedenih mjernih profila izabran je Bosna-Reljevo, jer je lociran na izlazu iz Sarajevskog polja, odnosno nakon kolektovanja svih pritočnih voda. Također, navedeni profil posjeduje reprezentativan i pouzdan instrumentalni hidrološki monitoring od 1926. godine. Na rijeci Miljacki je također uspostavljeno više mjernih profila, kako u dijelu uzvodno od aluvijalnog proširenja i u dijelu nizvodno od navedenog lokaliteta gdje je uspostavljeno ukupno tri referentna mjerna profila. Za istraživanje fluktuacija proticaja korišten je referentni profil uspostavljen na mostu Skenderija, u samom gradu, koji također raspolaže sa pouzdanim hidrološkim monitoringom.

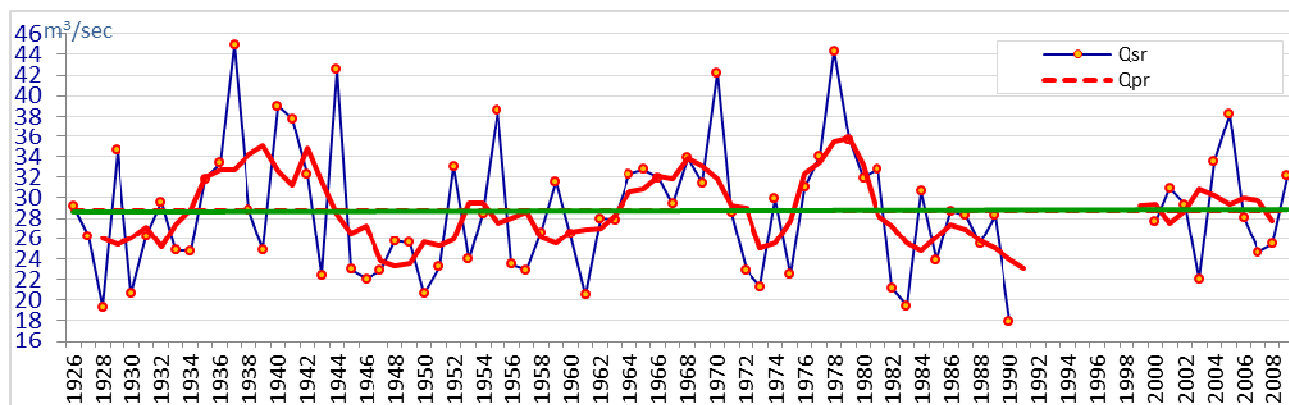
Rijeka Bosna nastaje od oko 50 kraških vrela formiranih na kontaktu krečnjačkog odsjeka Igmana i intergranularnih naslaga Sarajevskog polja. Glavno vrelo rijeke Bosne na mjestu izviranja ima prosječan godišnji proticaj oko 8 m³/sec, s tim da u vrijeme padavinske sezone vrijednost se povećava na oko 24 m³/s. Vrlo karakteristično je da izvorišna zona ne presušuje ni tokom perioda malih voda što je rezultat pored ostalog i prihranjivanja iz karstnog podzemlja. Na potezu od izvorišne zone do HS „Bosna-Reljevo“, koji je dug oko 11,6 km, rijeka Bosna prima vode iz

vodotoka Željeznice, Zujevina, Dobrinjska rijeka i Miljacke.

Na vodomjeru se u kontinuitetu obavljaju redovna hidrološka mjerenja, osim prekida koji je nastao u periodu (1990. – 2002.). Za navedni period je iskustveno utvrđeno da nije bilo posebnih hidro-klimatskih niti bilo kakvih drugih (antropogenih) poremećaja koji bi mogli utjecati na kvantitativnu vrijednost trenda odnosno opći izgled grafikona fluktuacija. Drugim riječima, korišteni podaci se mogu uzeti kao sasvim reprezentativni za istraživanja proticaja u korelaciji sa klimatskim fluktuacijama. Korištena metodologija u istraživanju fluktuacija proticaja u potpunosti je identična sa metodologijom primijenjenom u istraživanjima temperaturnih i padavinskih fluktuacija.

Srednji proticaj u instrumentalnom periodu iznosi 28,70 m³/s, s tim da su karakteristična značajna

variranja od navedenog prosjeka. Konkretnije, najveći registrovani srednji godišnji proticaj u analiziranom periodu je registrovan 1937.g. i iznosio je 44,93 m³/s. Drugi ekstremni analog – srednji minimalni godišnji proticaj je zabilježen 1990.g, sa vrijednošću od 17,92 m³/s. Prvi fluktuativni period, koji je registrovan od 1926.g. do 1932.g., se karakteriše smanjenom vrijednošću, s obzirom da mu je periodski prosjek iznosio 26,0 m³/s. Nakon njega nastupa period, koji se u odnosu na normalni, odlikuje sa povišenim vrijednostima proticaja, odnosno, u periodu od 1933. do 1940. prosječni proticaj je iznosio 31,9 m³/s. Sljedeći fluktuativni period, koji je trajao od 1941. do 1948., se razvijao na trendu blagog rasta, odnosno prosječni proticaj je iznosio – 28,4 m³/s. Sljedeći fluktuativni period je trajao 12 godina (1949. – 1960.) sa periodskim prosjekom bliskim normalnom – 26,8 m³/s. Od 1961. do 1973. je trajao peti period fluktuacije sa prosječnim proticajem od 30,0 m³/s, što indicira na daljnji blagi trend porasta proticaja.



Slika 4. Hidrološke fluktuacije srednjeg godišnjeg proticaja u instrumentalnom periodu (1926.– 2009.) na H.S. Bosna-Reljevo.

U periodu od 1974. do 1983. se odvila naredna fluktuacija, sa sličnim karakteristikama kao i prethodne tri, tj.razvijala se na trendu blagog rasta, sa periodskim prosjekom proticaja od 30,5 m³/s. Naredni sedmogodišnji fluktuativni period (od 1984. do 1990.) se odlikovao sa opadanjem proticaja ispod normalne vrijednosti – 25,4 m³/s. Iako je u periodu od 1990. do 2000. nastao prekid u instrumentalnom monitoringu, može se nazrijeti kontinuitet u opadanju proticaja, s obzirom da je od 2000. do 2003. registrovana vrijednost iznosila 28,5 m³/s. Posljednji fluktuativni period koji se završava sa 2010. godinom ima neznatno povišen periodski prosjek u odnosu na normalnu vrijednost od 29,5 m³/s. Na osnovu iznesenih podataka može se zaključiti da je u periodu od 1926. do 2010.

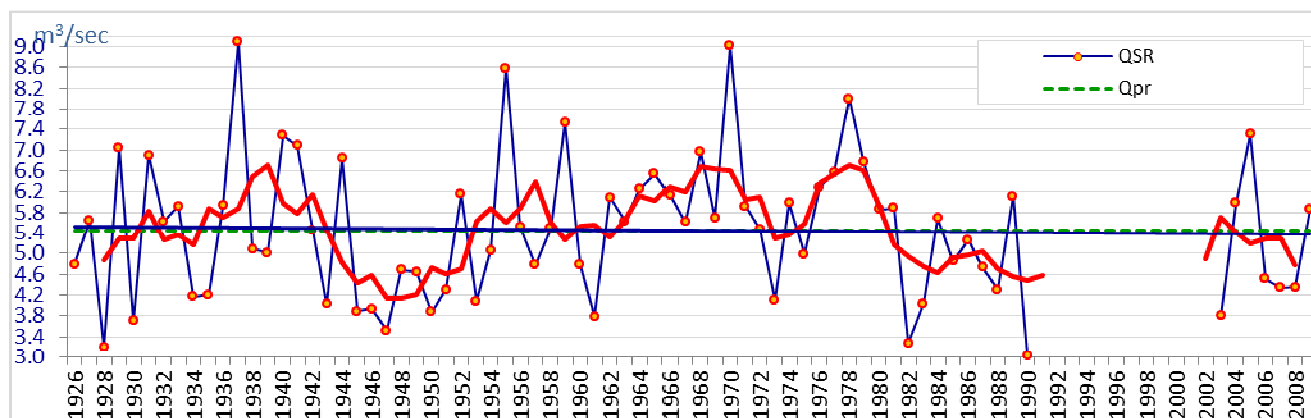
registrovano ukupno 9 fluktuativnih perioda čiji periodi trajanja su varirali unutar raspona od 7 do 12 godina. Opšta karakteristika kvantitativne dinamike proticaja na HS „Bosna-Reljevo“ u instrumentalnom periodu jeste da je utvrđen gotovo stagnirajući trend promjene, odnosno vrijednost trenda je pozitivna sa svega oko 0,2 m³/s.

Rijeka Miljacka u hidrološkom smislu nastaje sutokom njena dva izvorišna kraka: Paljanske Miljacke i Mokranjske Miljacke, u široj zoni lokaliteta Kozija Čuprija. Duža pritoka, i u tom smislu, izvorišni tok, predstavlja rijeka Paljanska Miljacka, koja nastaje od vodoizdašnog krškog vrela u zapadno-sjeverozapadnom obodu planine Jahorine, na

nadmorskoj visini od 1134 m. Cjelokupni riječni sistem Miljacke uzvodno od proširenja aluvijalne zaravni (kod naselja Babića Bašta) ima obilježja planinskog toka, sa vrlo strmim i neusaglašenim uzdužnim profilom. Nizvodno od navedenog lokaliteta rijeka Miljacka teče kroz aluvijalnu zaravan sa vrlo malim padom od svega 3 ‰ do 5 ‰. U ovom dijelu riječne doline Miljacke razvijena je sarajevska aglomeracija koja broji preko 400000 stanovnika. HS „Miljacka-Sarajevo“ je uspostavljena na mostu na Skenderiji, sa reprezentativnim hidrološkim monitoringom, koji je također prekinut u periodu 1990.-2002.

Analogno prethodnoj primijenjenoj metodologiji izračunat je srednji proticaj u cijelom instrumentalnom periodu od 5,46 m³/s, s tim da su karakteristična značajna odstupanja od navedenog prosjeka. Konkretnije, najveći registrovani srednji godišnji proticaj u analiziranom periodu je registrovan 1937.godine i iznosio je 9,09 m³/s. Drugi ekstremni analog – srednji minimalni godišnji proticaj je

zabilježen 1990. sa trostruko nižom vrijednošću od 3,03 m³/s. Prvi fluktuativni period je registrovan od 1926.g. do 1933.g. unutar kojeg je registrovana prosječni periodski protok od 5,3 m³/s. Sljedeći fluktuativni period traje 7 godina (1934. – 1940.) sa povećanim periodskim prosjekom proticaja od 6,0 m³/s. Od 1941. do 1947. je trajao treći period fluktuacije sa sniženim prosječnim proticajem od 5,0 m³/s. Četvrti fluktuativni period je trajao 11 godina (1948.– 1959.) i karakterisao se sa nižim prosjekom od normalnog, odnosno periodski prosjek je imao vrijednost od 5,2 m³/s. Naredni sedmogodišnji period je imao slabije izražena osciliranja sa povišenim prosjekom u odnosu na srednji od 5,6 m³/s. Trend blagog rasta proticaja je nastavljen i tokom šestog fluktuativnog perioda (od 1966. do 1973.) s obzirom da je prosjek iznosio 6,2 m³/s. U periodu od 1974. do 1983. je registrovan trend blagog opadanja vrijednosti proticaja, iako je on još uvijek iznad normalnog, tj. iznosio je 5,8 m³/s.



Slika 5. Hidrološke fluktuacije srednjeg godišnjeg proticaja u instrumentalnom periodu (1926. – 2009.) na H.S. Miljacka-Sarajevo.

Tokom osmog fluktuativnog perioda (1984. – 1990.) je registrovan daljnji trend opadanja proticaja, s obzirom na periodski prosjek od 4,7 m³/s. U periodu prekida rada (1990. – 2002.) mogu se izvesti slični zaključci kao i kod HS „Bosna-Reljevo“, odnosno empirijski je utvrđen period sniženog proticaja, koji je nastavljen i naposljednji fluktuativni period 2003. do 2010., tokom kojeg je periodski prosjek bio ispod normalnog za oko 5,2 m³/s (Drešković, N. 2012). Na osnovu prezentiranih podataka utvrđeno je postojanje također 9 fluktuativnih perioda, sa dužinom trajanja koja se kretala u vremenskim periodima od 7 do 11 godina. Karakteristike trenda također imaju preovlađujuća

stagnirajuća obilježja, odnosno, može se utvrditi trend nezatnog opadanja od svega 0,1 m³/s.

4. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

U radu su analizirani osnovni klimatski parametri (temperatura, padavine) i hidrološki parametar (proticaj) sa aspekta definiranja veličine i vremenske dužine trajanja fluktuativnih perioda. U cilju anuliranja osciliranja godišnjih vrijednosti za analizirane parametre su izračunati 5-ogodišnji klizni srednjaci, koji su bili osnova za istraživanje fluktuacija.

Dobiveni rezultati navedenih istraživanja ukazuju da se na podacima instrumentalnog monitoringa za sve istraživane parametre mogu izdvojiti vremenski periodi različite dužine trajanja (od 7 do 12 godina) unutar kojih se obavila jedna puna fluktuacija, odnosno, vremenski periodi unutar kojih je analizirani parametar ispoljio sve kvantitativne osobnosti koje karakterišu njegov višegodišnji tok. Prvi i posebno interesantan zaključak koji se može izvesti iz navedenih istraživanja jeste visoka korelacija u kvantitativnim vrijednostima i oblicima godišnje visine padavina i srednjih godišnjih proticaja. Za godišnje tokove temperatura utvrđeno je da imaju uglavnom obrnuti tok u odnosu na dva prethodna elementa, što je u potpunosti u skladu sa zakonomjernom prostorno-vremenskom dinamikom kojoj podliježu analizirani parametri.

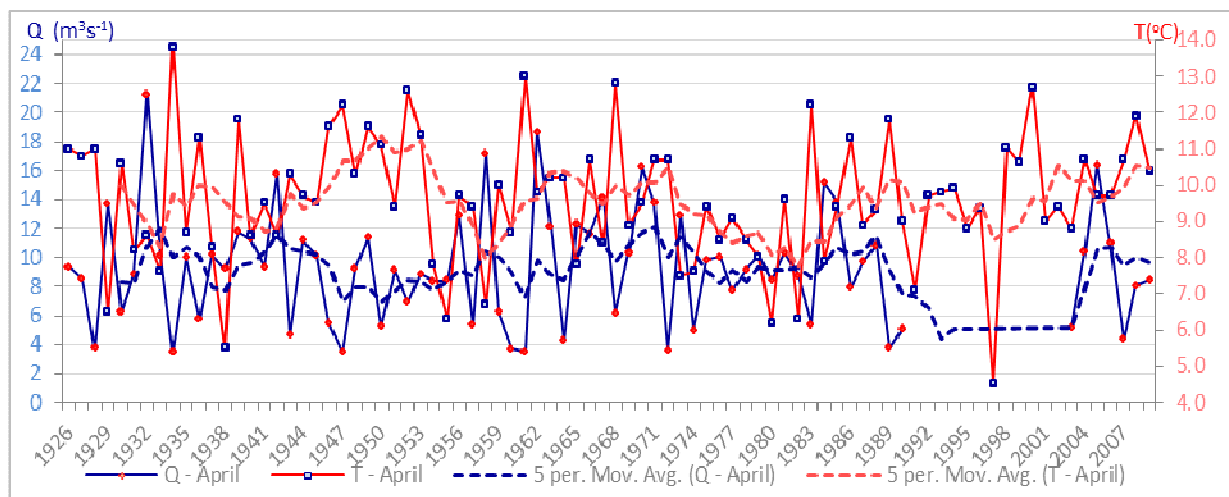
Navedeni zaključci su izvedeni iz tabelarno-grafičkog prikaza godišnjih tokova srednje temperature zraka, srednje visine padavina i srednjeg proticaja za mjesec april, u instrumentalnom periodu. Mjesec april je izabran kao reprezentativan primjer zato što su u ovom mjesecu registrovani najveći mjesečni proticaji. Konkretno istraživanje je provedeno samo na H.S. Bosna-Reljevo s obzirom da su prethodne analize pokazale da proticaji u instrumentalnom periodu na obje hidrološke stanice međusobno visoko koreliraju, te je sasvim dovoljno da su razmatranje uzme samo jedna od njih, odnosno H.S. Bosna-Reljevo.

Rezultati analiza prezentirani su na slikama 6 i 7. Na slici 6 dat je uporedni prikaz srednje temperature i

srednjeg proticaja za mjesec april u instrumentalnom periodu. Osnovni zaključak, koji se može dobiti na osnovu prezentiranih podataka jeste da se gotovo u potpunosti ispoljava činjenica da je da se temperaturni režim nalazi u obrnutom odnosu sa riječnim proticajem. Svakako da su prisutna mala odstupanja koja se odnose na blago vremensko kašnjenje promjene proticaja u odnosu na temperaturne uticaje, što je u potpunosti u skladu sa zakonomjernim mehanizmom zagrijavanja kopnene površine i kontaktnih vodotoka. Na slici 7 su prezentirani rezultati analize godišnjih tokova srednje visine padavina i srednjih proticaja za mjesec april, u hidrološkom instrumentalnom periodu.

Glavni zaključak koji se može izvesti iz analiziranih podataka jeste da postoji visok stepen korelacije u godišnjim tokovima srednjih visina padavina i srednjih proticaja, odnosno da su srednji proticaji direktno proporcionalni visini padavina. Slično kao i kod analize prethodnog grafikona i ovdje se mogu utvrditi mala vremenska kašnjenja na relaciji pojave visokih voda u odnosu na maksimalnu visinu padavina. Osnovni razlog za navedeno može se naći u specifičnoj geološkoj građi terena kontaktnih planinskih cjelina koje se odlikuje izvjesnom retardacijom zbog specifičnosti karstnog terena.

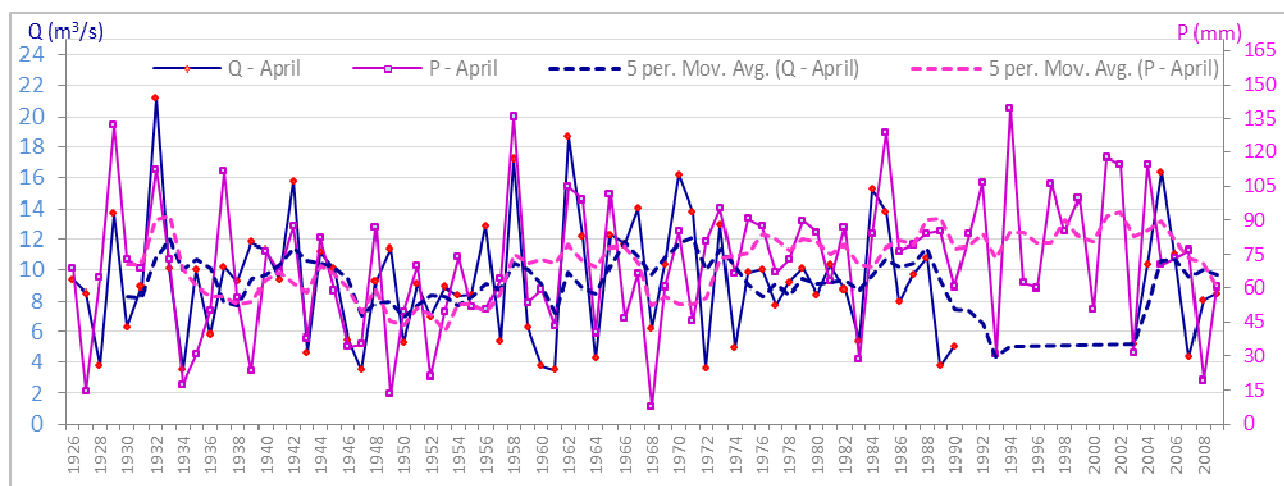
Izvršene analize temperatura zraka i visine padavina su pokazale da su u meteorološkom instrumentalnom periodu (1888. – 2010.) mogu izdvojiti fluktuacije sa prosječnom vremenskom dužinom trajanja od 7 do 11 godina. Analizom dopunskih podataka je utvrđeno da



Slika 6. Uporedni prikaz srednjih proticaja i srednjih temperature za mjesec april na H.S. Bosna-Reljevo

se unutar navedenog vremenskog intervala ispoljavaju sve kvantitativno-kvalitativne osobenosti u njihovoj prostorno-vremenskoj dinamici. Glavni zaključak koji je dobiven analizama klimatskih podataka je da u Sarajevskoj kotlini postoji pozitivan trend srednje godišnje temperature zraka od 0,82 °C. Trend godišnje visine padavina je također pozitivan i iznosi 14 mm. Slična konstatacija se može utvrditi i prilikom analiza podataka o riječnom proticaju unutar hidrološkog instrumentalnog monitoringa (1926. – 2010.) na H.S. Bosna-Reljevo i H.S.Miljacka-Sarajevo. Utvrđeni trendovi riječnog proticaja imaju gotovo stagnantna obilježja, s obzirom na vrijednosti od 0,2 m³/s na H.S.Bosna-Reljevo 0,1 m³/s na H.S.Miljacka-Sarajevo.

Korelacijom osnovnih klimatskih elemenata, padavina i temperatura zraka, sa riječnim proticajima rijeka Miljacke i Bosne, zaključeno je da postoji visok stepen kvantitativne usaglašenosti u njihovim godišnjim tokovima. Ovakvi rezultati indiciraju da klimatske promjene u području Sarajevske kotline, u odnosu na sjevernu hemisferu, imaju još uvijek slabije izražene utjecaje na vodni režim. Navedena konstatacija se dobrim dijelom može objasniti činjenicom da se nalazimo se u zoni planinsko-kotlinske geografske regije koja je orografski dobro izolovana od izraženih antropogenih utjecaja koji uglavnom dolaze iz velikih urbanih aglomeracija sjeverne hemisfere.



Slika 7. Upporedni prikaz srednjih proticaja i srednjih visina padavina za mjesec april, H.S. Bosna-Reljevo

LITERATURA

- [1] Bonacci, O. 2012. Increase of mean annual surface air temperature in the Western Balkans during last 30 years, *Vodoprivreda* 44 (2012) 255-257 p. 75-89.
- [2] Balaz, I., Mihailovic, D.T.: Proceedings of iEMSS 2008, 104-113 (2008)
- [3] Drešković N., *Ph.D. Thesis*, Faculty of Science, University of Sarajevo: Sarajevo, BA, 2012, p. 224 (In Bosnian).
- [4] Hadžić, E., Drešković, N.: Essays on Fundamental and Applied Environmental Topic, Chapter XIII-Climate change impact on Water River Flow, Nova Science Publishers, Inc., New York, 2012.
- [5] Hadžić, E.: Definiranje optimalnih količina vode koje se mogu zahvatati sa izvorišta podzemnih voda u Sokolovićima, *Vodoprivreda*, 45 (2013) 261-263 p. 69-80.
- [6] Ludwig, F., P.Kabat, H. van Schaik, M. van der Valk: Climate change adaptation in the water sector, London: Sterling, 35-44 (2009)
- [7] Mihailović, V., Radić, Z. 2010. Marginalne raspodele kumulativnih dnevnih padavina na prostoru Srbije, *Vodoprivreda* 42 (2010) 243-245 p. 39-54.
- [8] Pahl-Wostl, C., P.Kabat, J.Moltgen (Eds.), Adaptive and integrated water management, Berlin, Springer, (2008)

[9] Popovska, C., Đorđević, B. 2013. Rehabilitacija reka – nužan odgovor na pogoršanje ekoloških i klimatskih uslova u gradovima, Vodoprivreda, 45 (2013) 261-263 p. 3-20.

[10] Radinović, Đ.: Weather and Climate of Yugoslavia; Federal Hidrometeorological Institute, Belgrade, RS, 1974; p. 245 (In Bosnian).

ANALYSIS OF THE IMPACT OF TEMPERATURE AND PRECIPITATION FLUCTUATIONS ON RIVER FLOW IN THE SARAJEVO VALLEY

by

Emina HADŽIĆ, Faculty of Civil Engineering, Sarajevo
Nusret DREŠKOVIĆ, Faculty of Science University of Sarajevo

Summary

It is widely accepted that global warming has had a significant impact on water resources. This impact is reflected in different ways and is dependent on the impact size of the main climatic elements. Thus, like the tiles of a complex mosaic, any research conducted to analyze the characteristics of specific places contributes to the global recognition of the impact that climate change has on water resources. For the Sarajevo valley, which is a mountainous, morphological area that is geographically well-isolated from the direct impact of the large, urban centers of the European continent, the impact of air temperature and precipitation fluctuation on the flow of rivers has been analyzed in the Miljacka

River, as well as the Bosna River, during the hydrological instrumental period 1926. – 2010. Climate variability is considered for the meteorological instrumental period (1888. – 2010) at the meteorological station Bjelave, which is representative for the Sarajevo valley. We concluded that although an increase in the air temperature and a slight increase in the amount of precipitation exist, there is still evident stagnation in the considered river flow. Sarajevo

Key words: climate variability, impact on water resources, temperature, precipitaaion, riverflow

Redigovano 19.11.2014.