Promjene protočnog režima Save kod Zagreba

Božanović, Petar

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:916320

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-01**

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno-matematički fakultet

Geografski odsjek

Petar Božanović

Promjene protočnog režima Save kod Zagreba

Prvostupnički rad

Mentor: doc. dr. sc. Ivan Čanjevac

Ocjena: _____

Potpis: _____

Zagreb, 2018.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geografski odsjek

Prvostupnički rad

Promjene protočnog režima Save kod Zagreba

Petar Božanović

Izvadak: Rad se bavi promjenama protočnog režima rijeke Save kod Zagrebu na hidrološkim postajama Podsused žičara, Zagreb i Rugvica u razdoblju od 1991. do 2016. godine. Promjene su analizirane usporedbom vrijednosti protoka godišnjih i mjesečnih srednjaka (maksimumi, minimumi, varijacije godišnjih doba, godišnje amplitude) statističkim pokazateljima (linearnim trendom, aritmetičkom sredinom, medijanom, koeficijentom varijacije) i Pardéovim modulnim koeficijentima.

24 stranice, 17 grafičkih priloga, 6 tablica, 7 bibliografskih referenci; izvornik na hrvatskom jeziku

Ključne riječi: protočni režim, Sava, Zagreb, linearni trend, modulni koeficijenti

Voditelj: doc. dr. sc. Ivan Čanjevac

Tema prihvaćena: 3. 7. 2018.

Datum obrane: 21. 9. 2018.

Rad je pohranjen u Središnjoj geografskoj knjižnici Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Marulićev trg 19, Zagreb, Hrvatska.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Geography

Undergraduate Thesis

Changes in Discharge Regime of Sava River at Zagreb

Petar Božanović

Abstract: The paper describes changes in discharge regime of Sava river at Zagreb (hydrologycal stations: Podsused žičara, Zagreb and Rugvica) in the 1991-2016 period. This paper aims at providing an analysis of changes by comparing monthly and yearly mean values (maximum and minimum values, seasonal variations, annual amplitudes) using statistical indicators (linear trend, arithmetic mean, median, coefficient of variation) and module (Pardé) coefficients.

24 pages, 17 figures, 6 tables, 7 references; original in Croatian

Keywords: discharge regime, Sava river, Zagreb, linear trend, module coefficients

Supervisor: Ivan Čanjevac, PhD, Assistant Professor

Undergraduate Thesis title accepted: 03/07/2018

Undergraduate Thesis defense: 21/09/2018

Thesis deposited in Central Geographic Library, Faculty of Science, University of Zagreb, Marulićev trg 19, Zagreb, Croatia.

SADRŽAJ

1. UVOD …….. 1

2. PROMJENE PROTOČNOG REŽIMA ……... 3

2.1. Promjene karakterističnih protoka i godišnjih amplituda ……. 3

2.2. Promjene protoka prema godišnjim dobima ……. 9

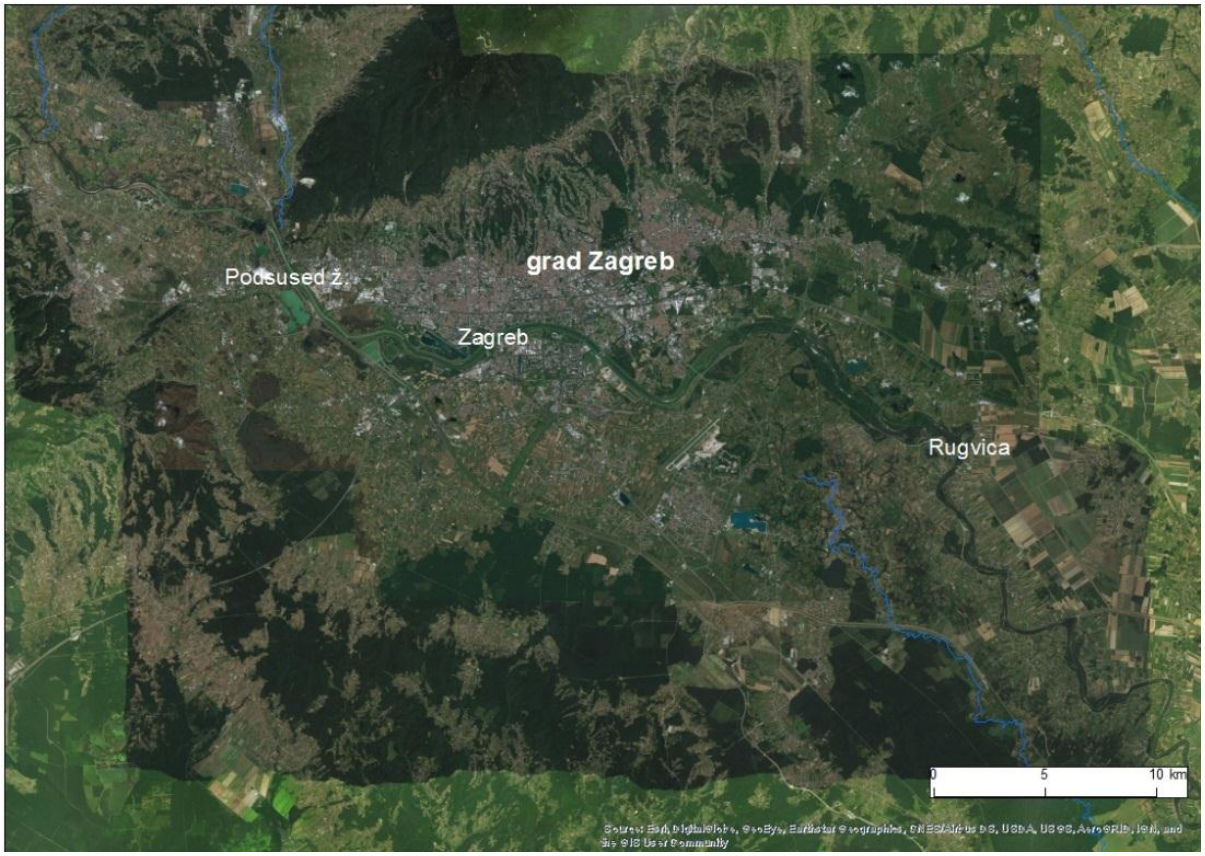
2.3. Promjene modulnih koeficijenata ……... 19

3. ZAKLJUČAK …… 23

LITERATURA I IZVORI ……..…….. 24

1. UVOD

Rijeka Sava kod Zagreba pripada peripanonskom kišno-snježnom režimu protoka. To je složeni režim s po dva maksimuma i minimuma tijekom godine (Čanjevac, 2012). Ovaj rad se bavi promjenama protočnog režima rijeke Save kod Zagreba 1991. - 2016. godine na trima odabranim hidrološkim postajama: Podsused žičara, Zagreb i Rugvica (slika 1). Stanice Podsused žičara i Zagreb nalazi se na gornjem toku rijeke, dok se stanica Rugvica nalazi već na srednjem toku.



Sl. 1. Lokacije odabranih hidroloških stanica na Savi kod Zagreba

Izvor: prema podatcima Digitalnog atlasa Hrvatske, izradio autor

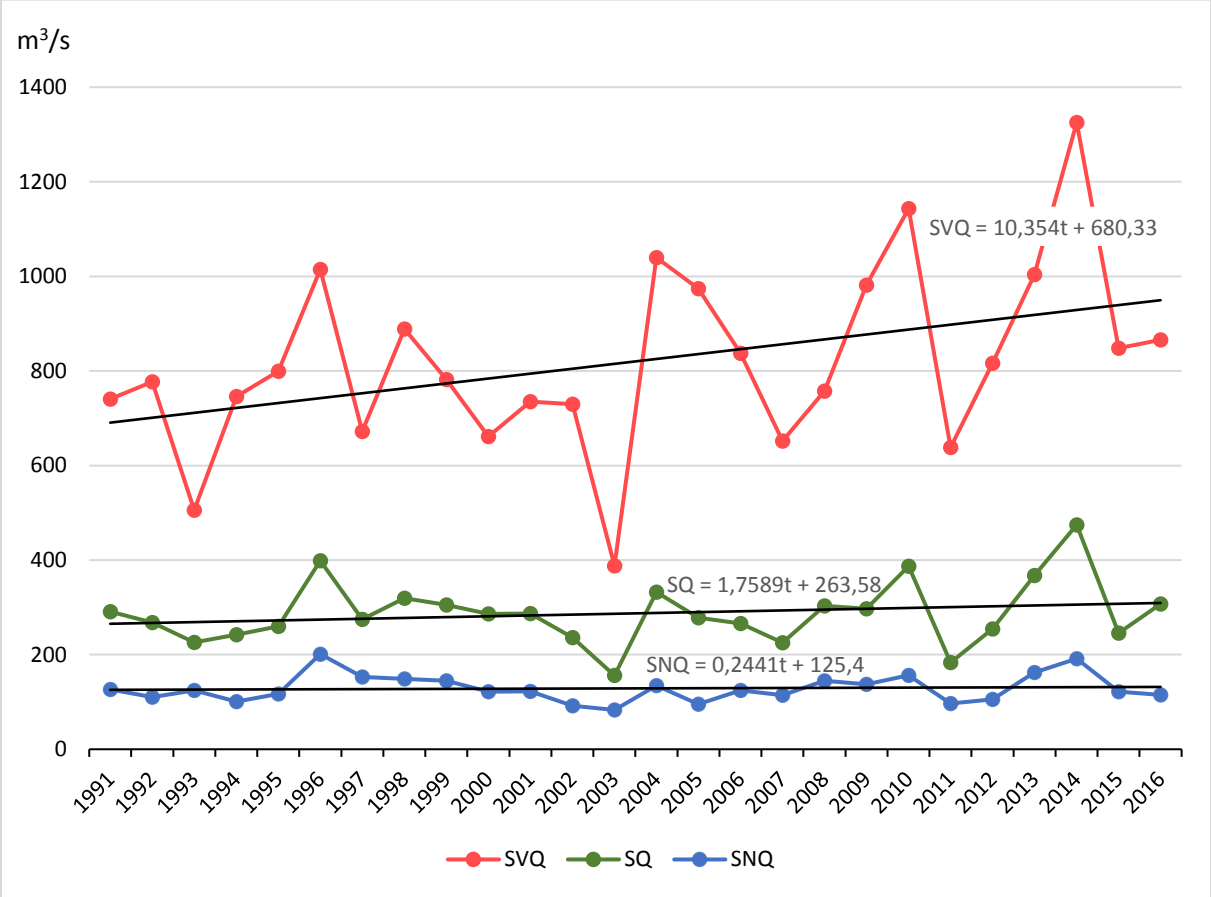
Promjene su analizirane usporedbom vrijednosti protoka godišnjih i mjesečnih srednjaka (maksimumi, minimumi, varijacije godišnjih doba, godišnje amplitude) statističkim pokazateljima (linearnim trendom, aritmetičkom sredinom, medijanom, koeficijentom varijacije) i Pardéovim modulnim koeficijentima. Važno je napomenuti da su za stanicu Rugvica upotrijebljeni podaci 1991. - 1995., 2000. - 2003., za 2005., 2007. - 2013. te za 2015. i 2016. godinu jer nedostaju mjerenja protoka ostalih godina.

Prošla istraživanja promjena protočnog režima Save kod Zagreba različitih vremenskih obuhvata i metodologija ukazuju uglavnom na negativan trend. Prema Čanjevcu (2012), Trniniću i Bošnjak (2009) te Šegoti i Filipčić (2007) trend na postaji Zagreb je negativan, prema Orešiću i dr. (2017) na postaji Rugvica također negativan, dok je prema Bonacciju i Oskoruš (2014) trend godišnjih srednjaka protoka na postaji Podsused žičara pozitivan, a godišnji maksimumi i minimumi imaju negativan trend.

2. PROMJENE PROTOČNOG REŽIMA

2.1. Promjene karakterističnih protoka i godišnjih amplituda

Karakteristični protoci jesu najniži protok (NQ), srednji najniži (SNQ), srednji (SQ), srednji najviši (SVQ) i najviši protok (VQ) u promatranom razdoblju (Riđanović, 1989). U ovom su poglavlju hidrogramima prikazani srednji najniži, srednji i srednji najviši protok u razdoblju 1991. - 2016. na odabranim postajama rijeke Save te njihov linearni trend (slike 2, 3 i 4). Srednje godišnje vrijednosti protoka su aritmetička sredina mjesečnih vrijednosti određene godine. Rezultati trendova hidrograma suprotni su od očekivanoga.

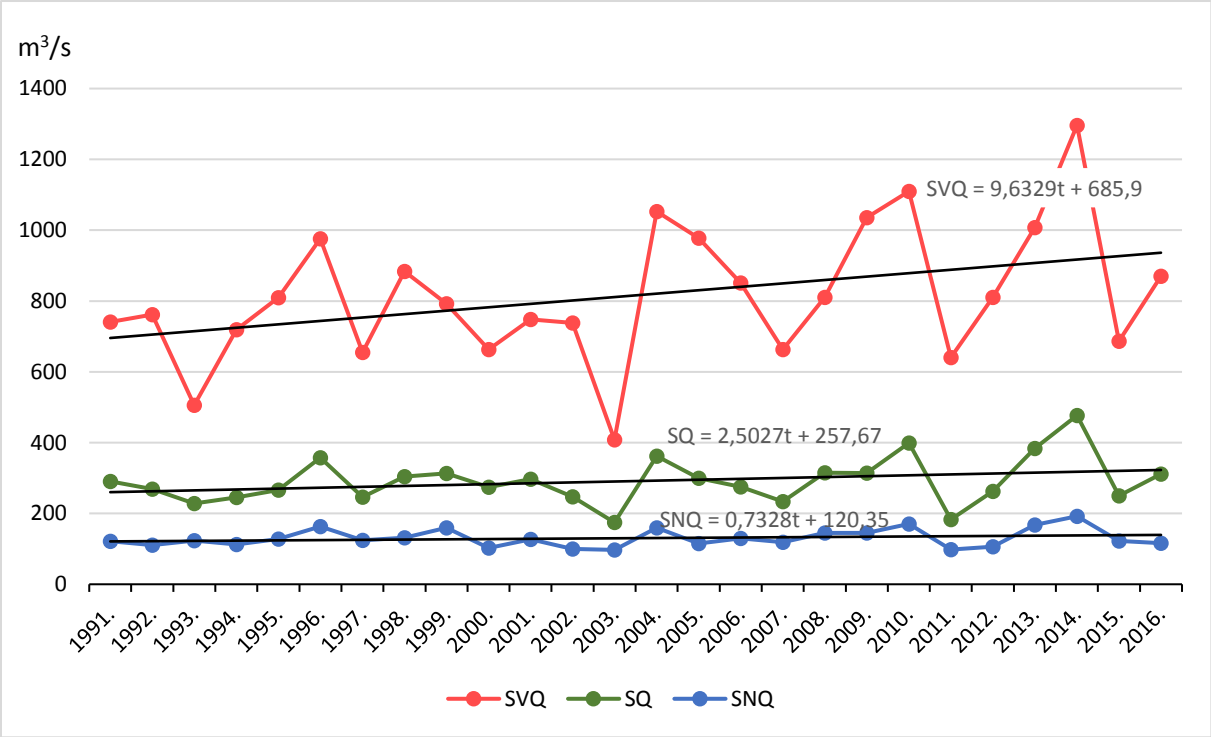


Sl. 2. Karakteristični protoci Save i linearni trendovi na stanici Podsused žičara 1991. - 2016.

Izvor: prema podatcima DHMZ-a, izračunao autor

Na slici 2 prikazan je hidrogram za najuzvodniju hidrološku postaju među odabranima, Podsused žičaru. Linijski trendovi postaje ukazuju na porast svih karakterističnih protoka u promatranome razdoblju. Linijski trend je trend koji ima oblik pravca, a koji označava tendenciju kretanja pojave u promatranom razdoblju. Promatrana pojava s vremenom se povećava ili smanjuje za približno isti apsolutni iznos (Šošić, 2009). Jednadžbu linijskog trenda $Q = b*t + a$ čine koeficijent smjera pravca (b) koji nam ukazuje je li se protok u promatranom razdoblju prosječno godišnje povećavao ili smanjivao i apsolutnu vrijednost promjene, varijabla t iznosi 0 u ishodišnoj 1991. godini te je jedinica za nju 1 godina, a varijabla a predstavlja očekivanu vrijednost protoka u ishodišnoj 1991. godini.

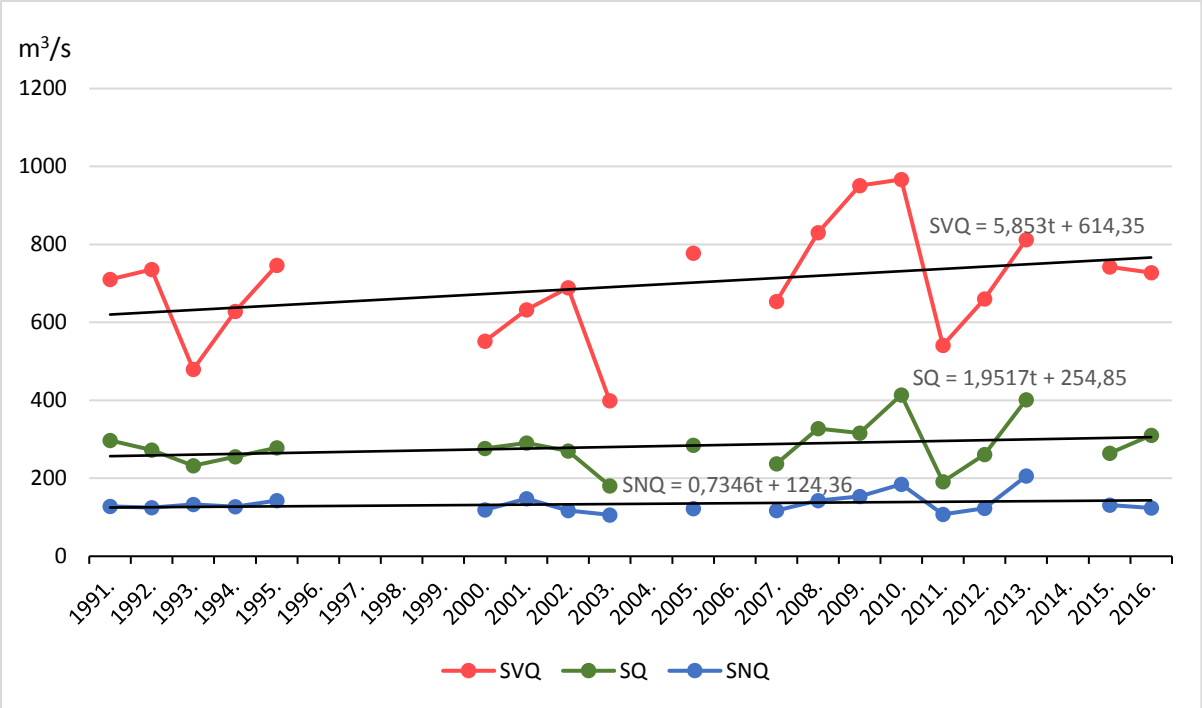
Prosječna godišnja stopa promjene (varijabla b podijeljena s prosječnim godišnjim srednjacima protoka) na navedenoj postaji najveća je kod srednjeg najvišeg protoka (SVQ) te iznosi 1,26 %. Za srednji protok (SQ) ona iznosi 0,61 %, dok je za srednji najniži (SNQ) vrlo mali, 0,19 %. Vrijednost godišnje amplitude u razdoblju ima pozitivan linijski trend s prosječnom stopom godišnje promjene od 1,46 % (tablica 1). O tome ćemo detaljnije govoriti kasnije. Podjelom nizova protoka na dva trinaestogodišnja razdoblja dolazimo do prosječne vrijednosti protoka za razdoblje 1991. - 2003. od 273 m^3/s, dok razdoblje 2004. - 2016. bilježi 302 m^3/s što je porast od 10,6 %. Koeficijentima varijacije (V) ustanovljena su slična međugodišnja odstupanja od aritmetičke sredine u ta dva razdoblja (iznos koeficijenata je u rasponu od 20 do 24 %, što je u okvirima reprezentativnosti).



Sl. 3. Karakteristični protoci Save i linearni trendovi na stanici Zagreb 1991. - 2016.

Izvor: prema podatcima DHMZ-a, izračunao autor

Slika 3 prikazuje hidrogram za hidrološku stanicu Zagreb. Linijski trendovi stanice također ukazuju na porast svih karakterističnih protoka 1991. - 2016. godine. Isto tako, i prosječna godišnja stopa promjene najveća je kod srednjeg najvišeg protoka (SVQ) te iznosi 1,18 %. Za srednji protok (SQ) ona iznosi 0,86 %, dok za srednji najniži (SNQ) 0,56 %, što su veće vrijednosti od prethodne postaje. Vrijednost godišnje amplitude u promatranome razdoblju raste, a prosječna stopa godišnje promjene jest 1,3 % (tablica 1). Podjelom nizova protoka na dva trinaestogodišnja razdoblja, prosječna vrijednost protoka za starije razdoblje od 270 m^3/s, dok mlađe razdoblje bilježi 313 m^3/s što je porast od 15,9 %. Koeficijenti varijacije su oko 20 % te ne postoji izrazita razlika u međugodišnjoj varijabilnosti protoka od aritmetičke sredine u ta dva razdoblja.



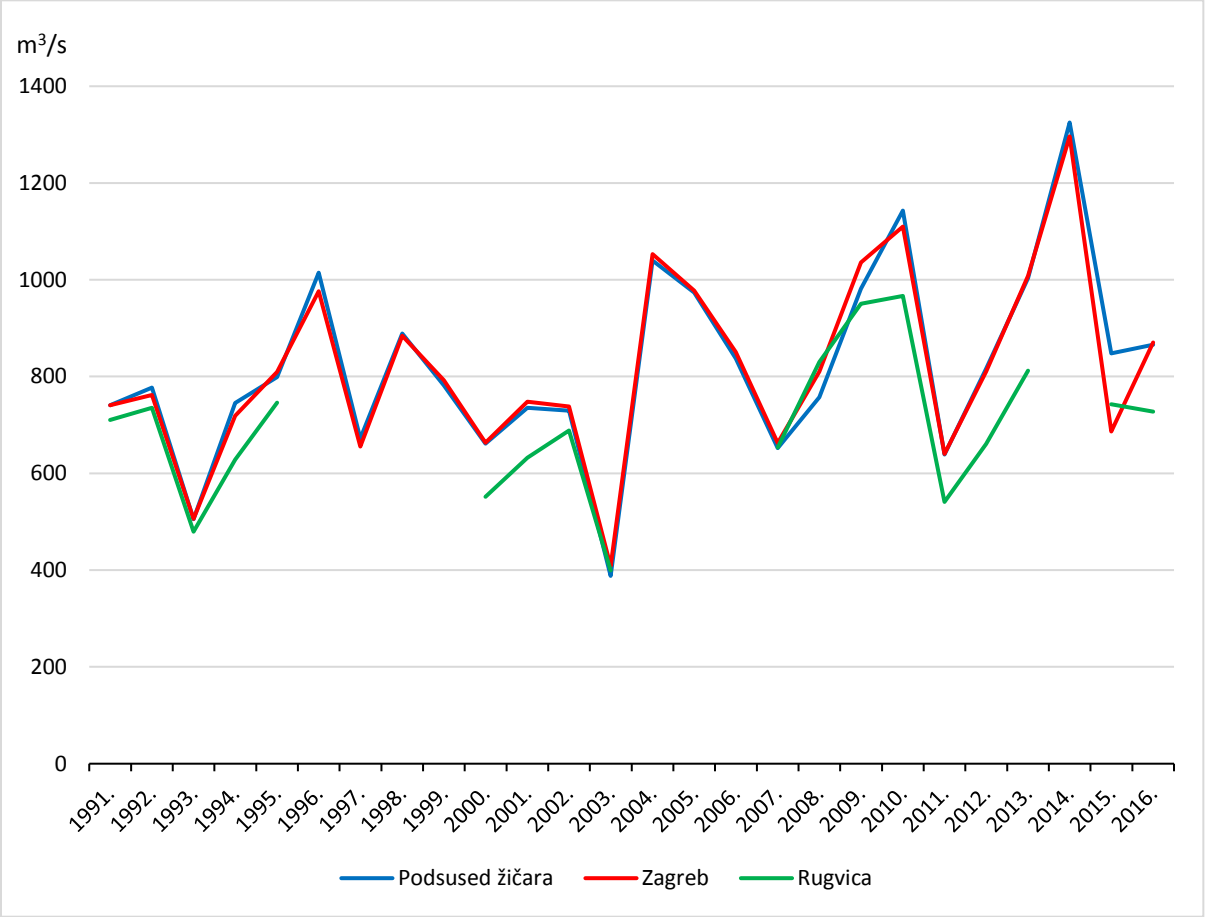
Sl. 4. Karakteristični protoci Save i linearni trendovi na stanici Rugvica 1991. - 2016.

Izvor: prema podatcima DHMZ-a, izračunao autor

Najnizvodnija stanica Rugvica bilježi porast svih karakterističnih protoka 1991. - 2016. kao i prethodne dvije postaje (slika 4). Također je i prosječna godišnja stopa promjene najveća kod srednjeg najvišeg protoka (SVQ) te iznosi 0,84 %. Za srednji protok (SQ) ona iznosi 0,69 % te za srednji najniži (SNQ) 0,54 %, što su najniže stope među stanicama. Vrijednost godišnje amplitude u promatranome razdoblju raste, a prosječna stopa godišnje promjene jest 0,91 % (tablica 1). Podjelom nizova protoka na razdoblje 1991. - 2004. te 2005. – 2016. (zbog nedostatka podataka, uzeti su drugačiji periodi), prosječna vrijednost protoka za razdoblje 1991. - 2004. iznosi 262 m^3/s, dok 2005. - 2016. iznosi 301 m^3/s (porast od 14,9 %). Izračunom koeficijenata varijacije (vrijednost im je oko 15 % odstupanja od aritmetičke sredine) dolazimo do brojki koje ukazuju na razliku u međugodišnjoj varijabilnosti srednjeg i srednjeg niskog protoka u ta dva razdoblja (10%), no upitna im je reprezentativnost zbog prekida u mjerenjima protoka na stanici.

Dakle, na promatranim postajama Save kod Zagreba zamjetan je pozitivan linearni trend kod svih karakterističnih protoka rijeke što je suprotno od očekivanoga. Uspoređujući aritmetičke sredine s medijanima razdoblja, dolazi se do zaključka da ekstremi nemaju puno utjecaja na linearni trend postaja. Nadalje, usporedbom srednjih najviših protoka (slika 5) da se

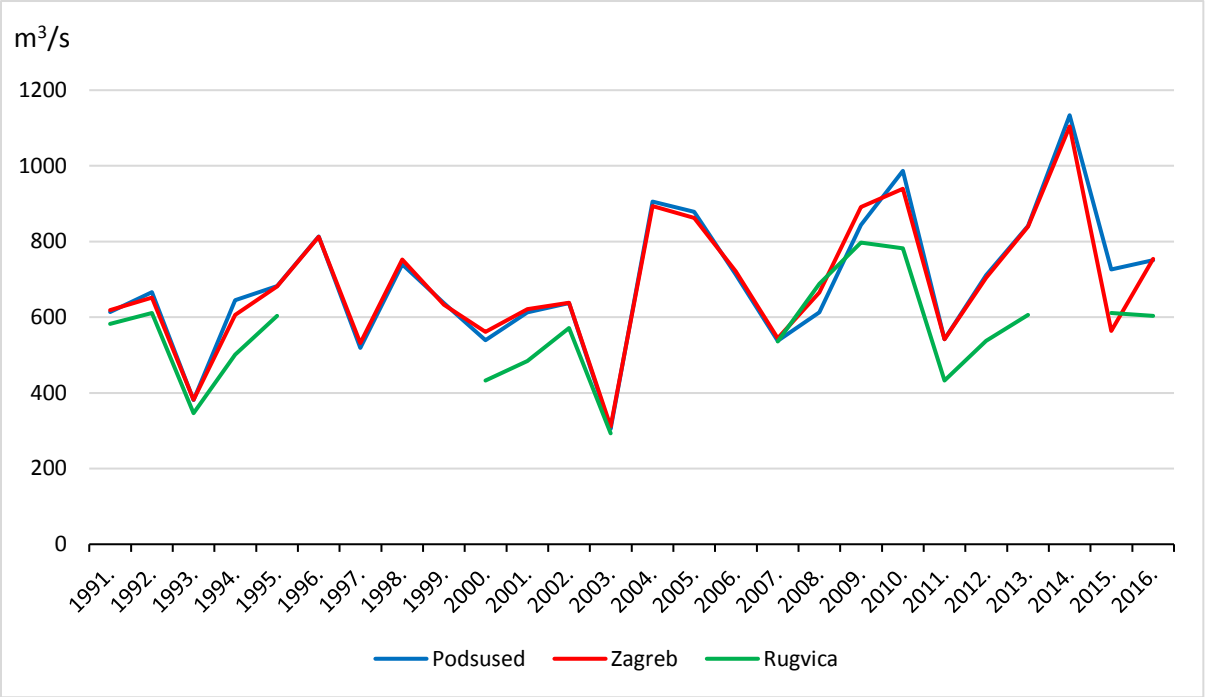
primijetiti da je SVQ Rugvice znatno niži (razlika bude veća za 100 m^3/s) od ostalih dviju postaja te je stopa promjene najniža (Rugvica 0,84%, Zagreb 1,18 %, Podsused žičara 1,26 %).



Sl. 5. Srednji najviši protoci Save kod Zagreba 1991. - 2016.

Izvor: prema podatcima DHMZ-a, izračunao autor

Razlika između srednjih najviših i srednjih najnižih protoka, tj. amplituda, jest u porastu. Vrijednosti godišnjih amplituda Save kod Zagreba 1991. - 2016. prikazane su na slici 6. Godišnja amplituda rijeke Save na stanici Rugvica bude manja i za 200-tinjak m^3/s od ostalih dviju postaja te postoji trend rasta te razlike. Prosječna godišnja stopa promjene amplitude za Podsused žičaru iznosi 1,46 %, za Zagreb 1,3 % te za Rugvicu 0,91 % (tablica 1).



Sl. 6. Vrijednost godišnjih amplituda Save kod Zagreba 1991. – 2016.

Izvor: prema podatcima DHMZ-a, izračunao autor

Tab. 1. Linearni trendovi i promjena godišnjih amplituda Save kod Zagreba 1991. - 2016.

STANICA	JEDNADŽBA LINEARNOG TRENDA (Q u m^3/s, jedinica za t je 1 godina)	PROSJEČNA GODIŠNJA STOPA PROMJENE (%)
Podsused žičara	Q=10,11t + 554,93	1,46
Zagreb	Q = 8,9001t + 565,55	1,3
Rugvica	Q = 5,1184t + 489,99	0,91

Izvor: prema podatcima DHMZ-a, izračunao autor

2.2. Promjene protoka prema godišnjim dobima

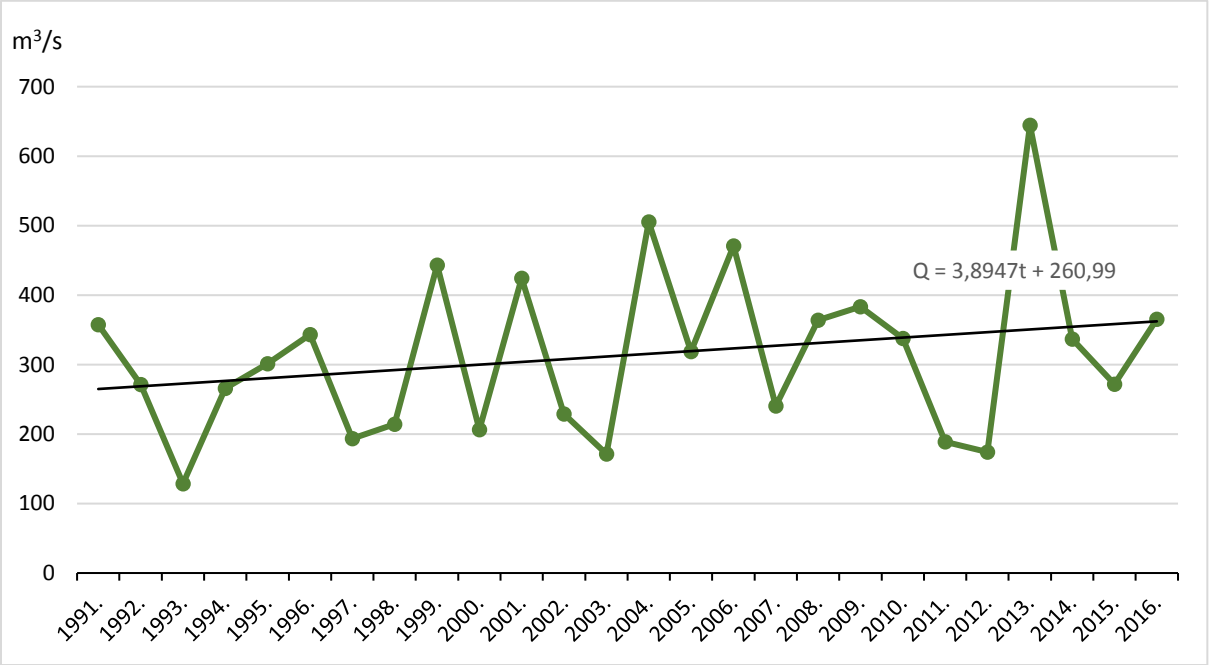
Promjene režima protoka izraženije su analizom rezultata po godišnjim dobima gdje se za proljeće gledaju podaci za ožujak, travanj i svibanj, za ljeto lipanj, srpanj i kolovoz, za jesen rujan, listopad i studeni te za zimu prosinac, siječanj i veljača. Jednadžbe linearnih trendova proljetnih godišnjih srednjaka postaja otkrivaju nam pozitivne godišnje stope promjene na svakoj postaji (tablica 2). Također, svaki mjesec bilježi pozitivan trend. Usporedimo li hidrograme stanica, protočni režimi Save su slični te ćemo tako prikazati samo hidrogram srednje godišnje promjene protoka i njegov linearni trend u proljeće jedne odabrane stanice. Među mjesecima se ističe mjesec ožujak s velikim rastom od 2,49 % na stanici Podsused žičara, 2,7 % na stanici Zagreb te 2,87 % na stanici Rugvica. Travanj daje različite rezultate kod mjernih postaja: za Podsused protok stagnira (0,07 %), Zagreb ima vrlo mali rast (0,31 %) te Rugvica bilježi značajan rast (0,82 %). Napomenimo da je rezultat za Rugvicu upitan jer ne postoje podaci 1996. - 1999. godine gdje su srednje godišnje vrijednosti manje i manja su odstupanja od linearnog trenda, dok su izmjerene godine u kojima se javljaju više vrijednosti i ekstremno visoka vrijednost 2013. godine. U svibnju stanice bilježe mali rast: Podsused žičara 0,38 %, Zagreb 0,62 % i Rugvica 0,55 %. Za prikaz srednje godišnje promjene protoka i njegovog linearnog trenda u proljeće (slika 7) i najistaknutiji mjesec ožujak (slika 8) odabrana je mjerna stanica Zagreb zbog izraženijih promjena od stanice Podsused žičara te ima podatke za sve godine za razliku od stanice Rugvica.

Tab. 2. Srednja godišnja promjena protoka Save kod Zagreba u proljeće 1991. – 2016.

STANICA	OŽUJAK (%)	TRAVANJ (%)	SVIBANJ (%)	PROLJEĆE (%)
Podsused žičara	2,49	0,07	0,38	1,02
Zagreb	2,7	0,31	0,62	1,24
Rugvica	2,87	0,82	0,55	1,49

Izvor: prema podatcima DHMZ-a, izračunao autor

U promatranom razdoblju protok se na stanici Zagreb u proljeće prosječno godišnje povećavao za 1,24 % (slika 7). Podjelom niza protoka na dva trinaestogodišnja razdoblja, prosječna vrijednost protoka proljeća za razdoblje 1991. -2003. godine iznosi 273 m^3/s, dok je ona 2004. - 2016. godine 354 m^3/s što je veliki porast od 29,7 %. Koeficijent varijacije (odstupanja od aritmetičke sredine) za starije razdoblje je 34 % te za mlađe 35 % što znači da ne postoji razlika u međugodišnjoj varijabilnosti protoka u ta dva razdoblja.

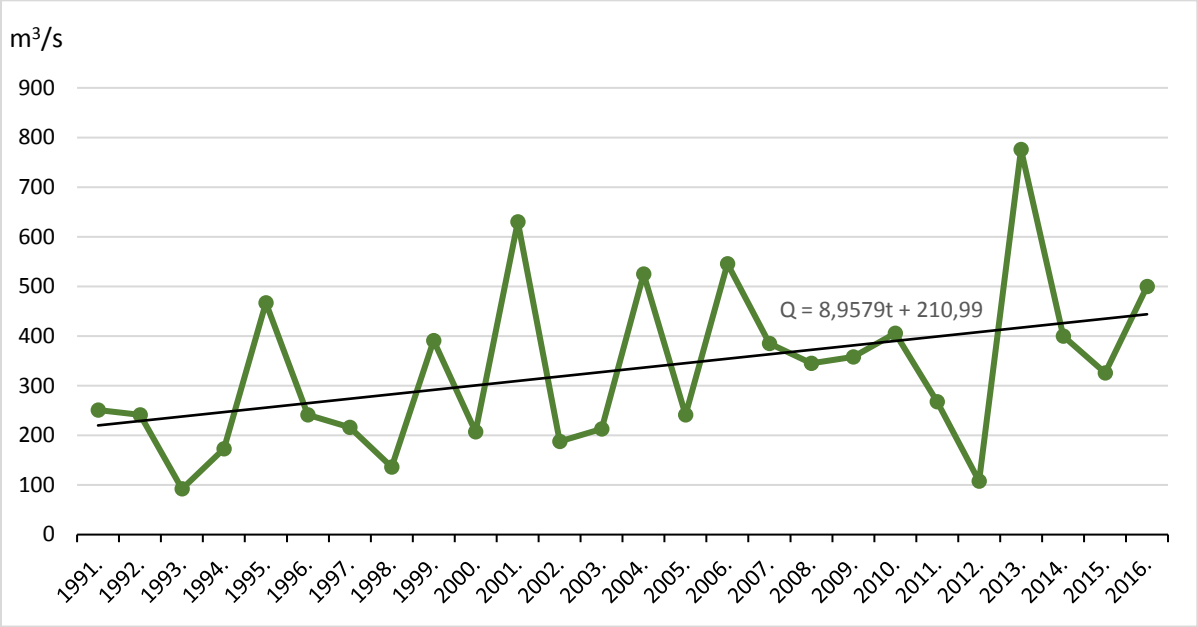


Sl. 7. Srednja godišnja promjena protoka Save i linearni trend u **proljeće** na stanici Zagreb 1991. – 2016.

Izvor: prema podatcima DHMZ-a, izračunao autor

Na slici 8 prikazano je stanje na stanici Zagreb u ožujku, a protok se povećavao za velikih 2,7 % (tablica 2) čime se približio vrijednostima sekundarnog maksimuma u studenom. Ožujak je mjesec primarnog maksimuma Rugvice, a u novije doba i ostalih dviju postaja zbog većeg rasta protoka od travnja (o tome će biti riječi u sljedećem poglavlju). Podjelom niza protoka na dva trinaestogodišnja razdoblja, prosječna vrijednost protoka ožujka za starije razdoblje iznosi 265 m^3/s, a za mlađe 399 m^3/s što je vrlo veliki porast od 50,6 %. Razlog je vjerojatno ranije taljenje snijega. Koeficijent varijacije za starije razdoblje je 53 % te za mlađe

40 % što znači da postoji velika varijabilnost i postoji razlika u međugodišnjoj varijabilnosti protoka od aritmetičke sredine u ta dva razdoblja.



Sl. 8. Srednja godišnja promjena protoka Save i linearni trend u **ožujku** na stanici Zagreb 1991. – 2016.

Izvor: prema podatcima DHMZ-a, izračunao autor

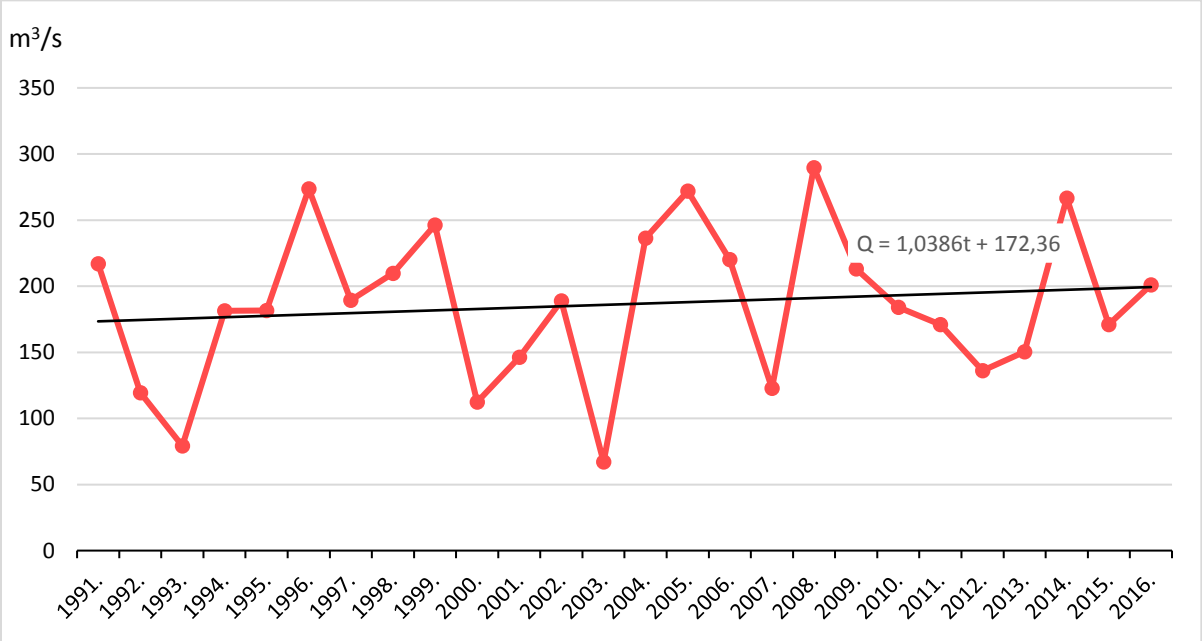
Jednadžbe linearnih trendova ljetnih godišnjih srednjaka postaja otkrivaju nam pozitivne godišnje stope promjene na svakoj postaji: Podsused žičara vrlo mali rast od 0,24 %, Zagreb 0,56 % te Rugvica 0,8 % što je nešto značajnije (tablica 3). U lipnju stanice bilježe mali rast: Podsused žičara 0,47 %, Zagreb 0,74 % i Rugvica 1,1 %. Srpanj daje različite rezultate kod mjernih postaja: za Podsused protok pada (-0,81 %), na stanici Zagreb također (-0,51 %), a Rugvica bilježi blagi rast (0,54 %). Među mjesecima se ističe mjesec kolovoz s rastom od 1,12 % na stanici Podsused žičara, 1,51 % na stanici Zagreb te 0,62 % na stanici Rugvica. Za prikaz srednje godišnje promjene protoka i njegovog linearnog trenda u ljeto (slika 9) i najistaknutiji mjesec kolovoz (slika 10) odabrana je mjerna stanica Zagreb.

Tab. 3. Srednja godišnja promjena protoka Save kod Zagreba u ljeto 1991. – 2016.

STANICA	LIPANJ (%)	SRPANJ (%)	KOLOVOZ (%)	LJETO (%)
Podsused žičara	0,47	-0,81	1,12	0,24
Zagreb	0,74	-0,51	1,51	0,56
Rugvica	1,1	0,54	0,62	0,8

Izvor: prema podatcima DHMZ-a, izračunao autor

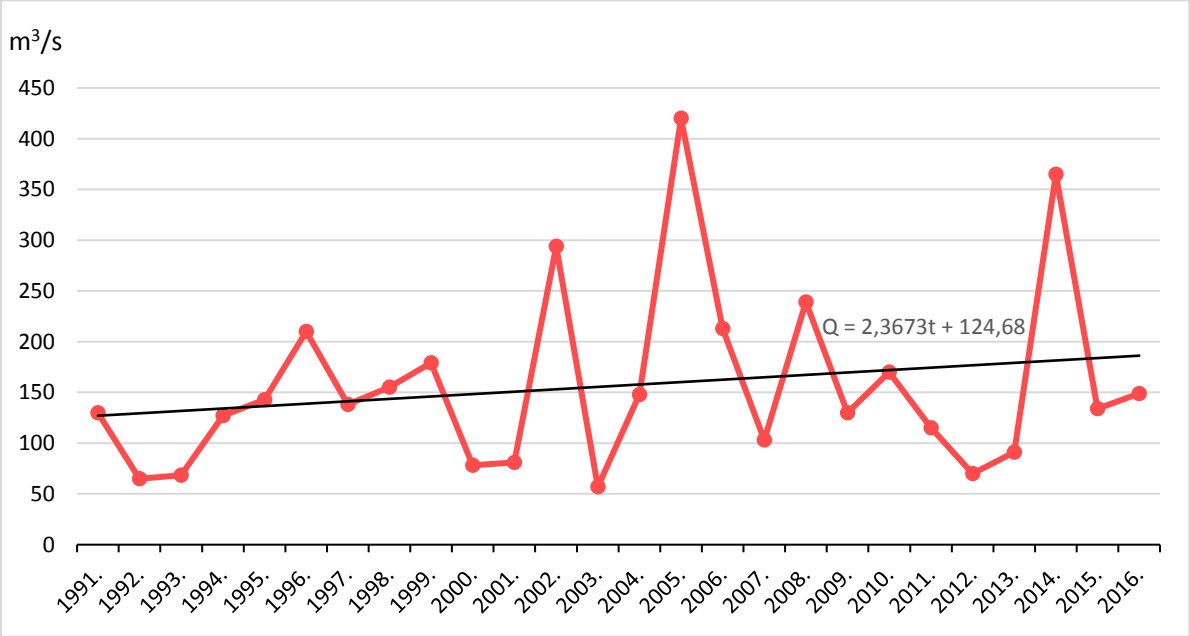
U promatranom razdoblju protok se na stanici Zagreb u ljeto prosječno blago povećavao, za 0,56 % (slika 9). Podjelom niza protoka na dva trinaestogodišnja razdoblja, prosječna vrijednost protoka ljeta starijeg razdoblja iznosi 170 m^3/s, dok je ona za mlađe 203 m^3/s što je porast od 19,4 %. Uspoređujući aritmetičke sredine s medijanima razdoblja čiji je rast od 11 %, dolazi se do zaključka da su ekstremi ljeti izraženiji. Koeficijent varijacije (odstupanja od aritmetičke sredine) za starije razdoblje je 35 % te za mlađe 25 % što znači da postoji razlika u međugodišnjoj varijabilnosti protoka u ta dva razdoblja.



Sl. 9. Srednja godišnja promjena protoka Save i linearni trend u **ljeto** na stanici Zagreb 1991. - 2016.

Izvor: prema podatcima DHMZ-a, izračunao autor

Na slici 10 prikazano je stanje na stanici Zagreb u kolovozu, primarnom minimumu stanica, a protok se povećavao za 1,51 % (tablica 3). Podjelom niza protoka na dva trinaestogodišnja razdoblja, prosječna vrijednost protoka kolovoza za razdoblje 1991. - 2003. iznosi 133 m^3/s, a za mlađe 181 m^3/s što je veliki porast od 36,1 %. Također, i ovdje nailazimo na veliku razliku između porasta prosječne vrijednosti dva razdoblja i medijana. Porast medijana iznosi samo 13,8 % što ukazuje na postojanje velikih ekstremnih vrijednosti. Koeficijent varijacije za starije razdoblje je 49 % te za mlađe 56 % što znači da postoji velika varijabilnost i postoji razlika u međugodišnjoj varijabilnosti protoka od aritmetičke sredine u ta dva razdoblja.



Sl. 10. Srednja godišnja promjena protoka Save i linearni trend u **kolovozu** na stanici Zagreb 1991. – 2016.

Izvor: prema podatcima DHMZ-a, izračunao autor

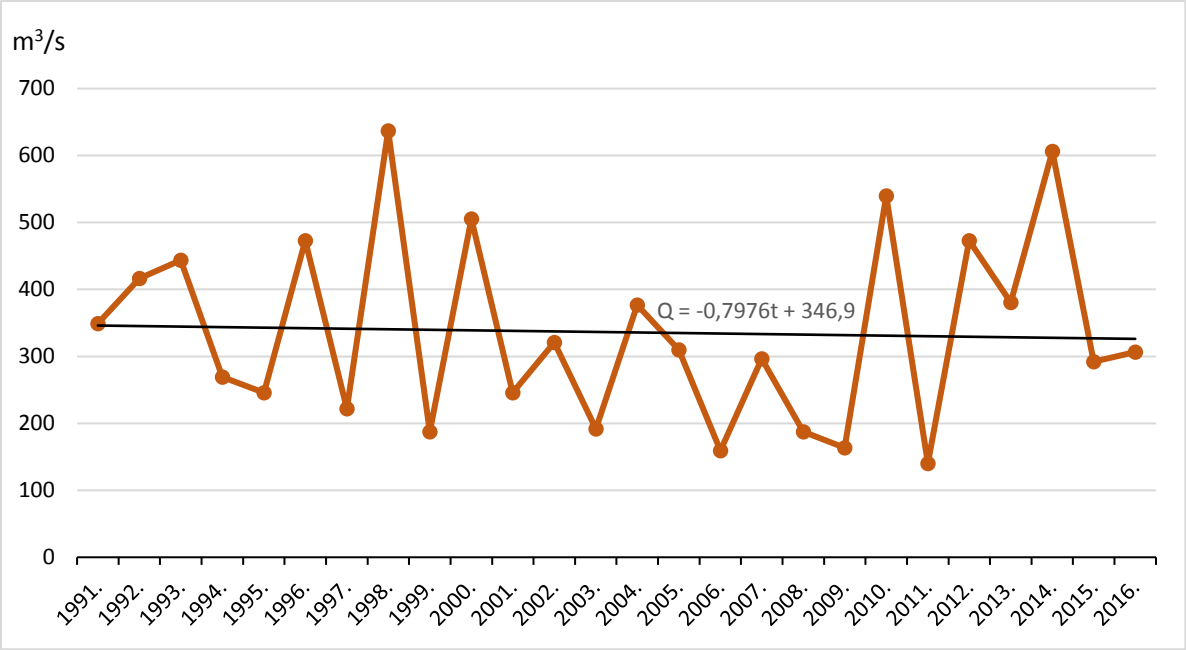
Jednadžbe linearnih trendova jesenskih godišnjih srednjaka postaja otkrivaju nam stagnaciju i blagi pad protoka (tablica 4). Zagreb stagnira (stopa mu je 0 %), dok Podsused žičara (-0,24 %) i Rugvica (-0,55 %) imaju vrlo mali pad. U rujnu stanice bilježe rast: Podsused žičara značajnih 1,45 %, također i Zagreb s 1,72 % te Rugvica s blagih 0,14 %. Razlog velike razlike Rugvice od ostalih dviju postaja leži ponovo u nedostatku podataka, a ponajviše podataka iz 2014. godine kada je u rujnu bila visoka ekstremna vrijednost. Listopad bilježi značajne padove: Podsused žičara -1,63 %, stanica Zagreb -1,37 % te Rugvica -1,12 %, a čime su anulirani pozitivni trendovi rujna. U studenom, sekundarnom maksimumu stanica, se javlja stagnacija i blagi pad (Podsused žičara -0,11 %, Zagreb 0,1 % i Rugvica -0,45 %) te se protok izjednačava s vrijednostima vrlo rastućeg ožujka. Za prikaz srednje godišnje promjene protoka i njegovog linearnog trenda u jesen (slika 11) i najistaknutiji mjesec listopad (slika 12) odabrana je mjerna stanica Podsused žičara koja bilježi blagi pad protoka za razliku od stanice Zagreb koja stagnira (a ima također potpune nizove podataka).

Tab. 4. Srednja godišnja promjena protoka Save kod Zagreba u jesen 1991. – 2016.

STANICA	RUJAN (%)	LISTOPAD (%)	STUDENI (%)	JESEN (%)
Podsused žičara	1,45	-1,63	-0,11	-0,24
Zagreb	1,72	-1,37	0,1	0
Rugvica	0,14	-1,12	-0,45	-0,55

Izvor: prema podatcima DHMZ-a, izračunao autor

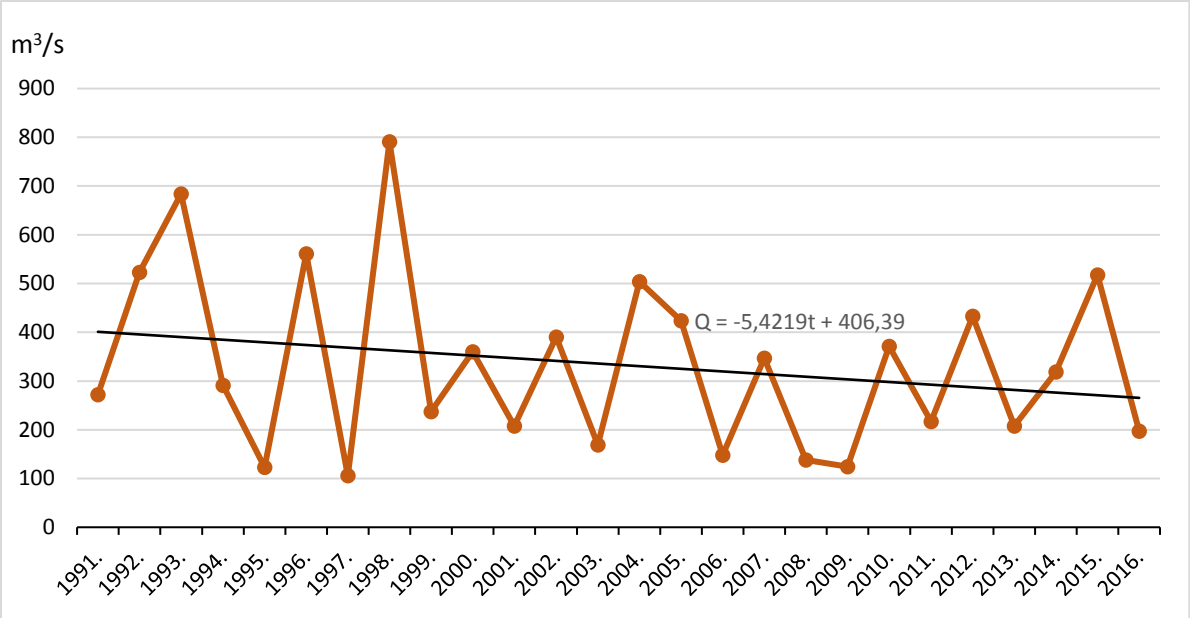
Protok se na stanici Podsused žičara u jesen blago smanjivao uz stopu od -0,24 % (slika 11). Podjelom niza protoka na dva trinaestogodišnja razdoblja, prosječna vrijednost protoka jeseni starijeg razdoblja iznosi 347 m^3/s, dok je ona za mlađe 326 m^3/s što je pad od 6,1 %. Koeficijent varijacije (odstupanja od aritmetičke sredine) za starije razdoblje je 38 % te za mlađe 44 % što znači da ne postoji razlika u međugodišnjoj varijabilnosti protoka te da je varijabilnost znatna, no ekstremi ne utječu na razliku između aritmetičkih sredina dvaju razdoblja.



Sl. 11. Srednja godišnja promjena protoka Save i linearni trend u **jesen** na stanici Podsused žičara 1991. – 2016.

Izvor: prema podatcima DHMZ-a, izračunao autor

Na slici 12 prikazan je hidrogram stanice Podsused žičara za listopad u razdoblju od 1991. - 2016. kada se protok smanjivao za 1,63 % (tablica 4). Ponovnom podjelom niza protoka na dva trinaestogodišnja razdoblja, prosječna vrijednost protoka kolovoza za razdoblje 1991. - 2003. iznosi 363 m^3/s, a za mlađe 304 m^3/s što je pad od 16,3 %. Nailazimo na veliku razliku između pada prosječne vrijednosti protoka dva razdoblja i medijana. Pad medijana iznosi 9,6 % što ukazuje na postojanje velikih ekstremnih vrijednosti. Koeficijent varijacije za starije razdoblje je 58 % te za mlađe 44 % što znači da postoji velika varijabilnost te postoji razlika u međugodišnjoj varijabilnosti protoka od aritmetičke sredine u ta dva razdoblja (veće ekstremne vrijednosti nailazimo u starijem razdoblju).



Sl. 12. Srednja godišnja promjena protoka Save i linearni trend u **listopadu** na stanici Podsused žičara 1991. – 2016.

Izvor: prema podatcima DHMZ-a, izračunao autor

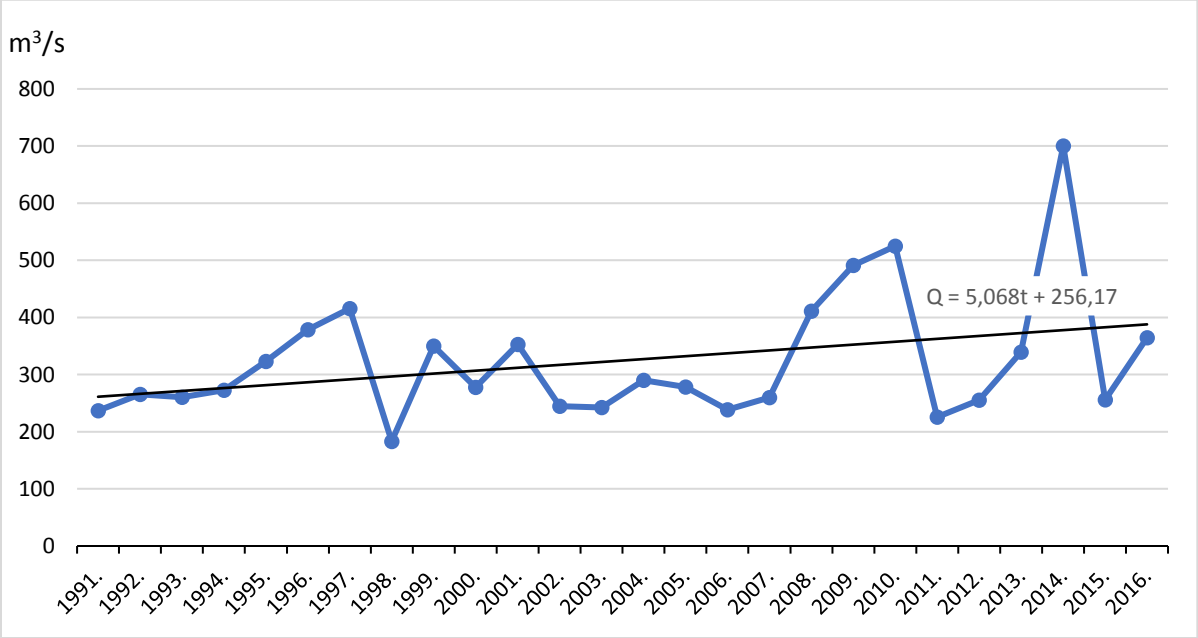
Zimski godišnji srednjaci postaja ukazuju na pozitivne godišnje stope promjene na svakoj postaji: Podsused žičara raste za 1,33 %, Zagreb za 1,56 % te Rugvica za 1,11 % (tablica 5). U prosincu stanice bilježe različite trendove: Podsused žičara pada (-0,43 %), Zagreb vrlo blago pada (-0,17 %), a Rugvica blago raste (0,26 %) gdje se ponovno postavlja pitanje reprezentativnosti podataka za Rugvicu. Siječanj daje također različite rezultate kod mjernih postaja: za Podsused protok blago raste (0,26 %) kao i na stanici Zagreb (0,46 %), a Rugvica bilježi blagi pad (-0,17 %) što je posljedica nedostatka podataka za godine kada su se javljale iznadprosječne vrijednosti. Među mjesecima se ističe mjesec veljača s ogromnim rastom od 4,62 % na stanici Podsused žičara, 4,87 % na stanici Zagreb te 3,58 % na stanici Rugvica. Vjerojatno je trend rasta protoka u zimu, a posebice u veljači, posljedica veće količine padalina. Velikim rastom veljače, sekundarni minimum se seli u novije doba u iz veljače u siječanj. Za prikaz srednje godišnje promjene protoka u zimu (slika 13) i veljaču (slika 14) odabrana je mjerna stanica Zagreb.

Tab. 5. Srednja godišnja promjena protoka Save kod Zagreba u zimu 1991. - 2016.

STANICA	PROSINAC (%)	SIJEČANJ (%)	VELJAČA (%)	ZIMA (%)
Podsused žičara	-0,43	0,26	4,62	1,33
Zagreb	-0,17	0,46	4,87	1,56
Rugvica	0,26	-0,17	3,58	1,11

Izvor: prema podatcima DHMZ-a, izračunao autor

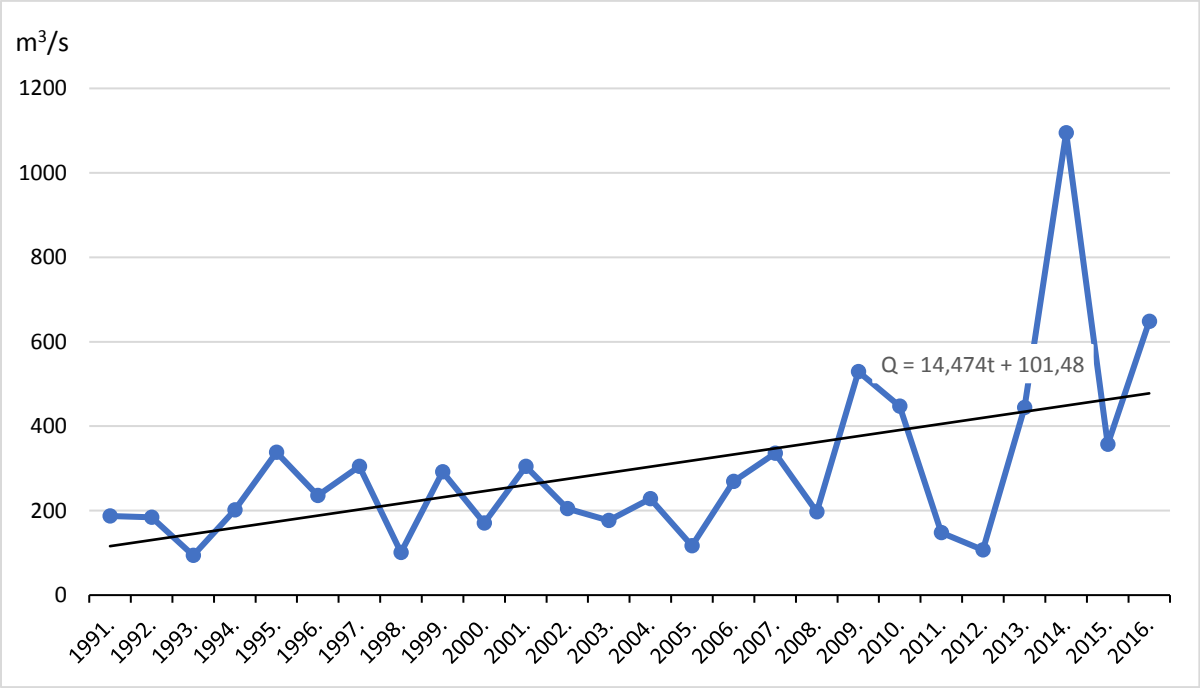
Na stanici Zagreb zimi se za razdoblje 1991. - 2016. protok prosječno povećavao za 1,56 % (tablica 5 i slika 13). Podjelom niza protoka na dva jednaka razdoblja, prosječna vrijednost protoka starijeg razdoblja zimi iznosi 293 m^3/s, dok je ona za mlađe 357 m^3/s što čini porast od 21,8 %. Uspoređujući razliku aritmetičkih sredina dvaju razdoblja s razlikom u medijanima tih razdoblja (čiji je rast samo 6,6 %), dolazi se do zaključka da su ekstremi zimi jako izraženi. Koeficijent varijacije (odstupanja od aritmetičke sredine) za starije razdoblje je 22 % te za mlađe 38 % što znači da postoji razlika u međugodišnjoj varijabilnosti protoka u ta dva razdoblja, što vidimo jasno i iz hidrograma.



Sl. 13. Srednja godišnja promjena protoka Save i linearni trend u **zimu** na stanici Zagreb 1991. - 2016.

Izvor: prema podatcima DHMZ-a, izračunao autor

Na slici 14 prikazan je hidrogram stanice Zagreb za veljaču u razdoblju od 1991. do 2016. godine čiji protok ima prosječnu godišnju stopu promjene od jako velikih 4,87 % (tablica 5) što je najveća promjena nekog mjeseca na odabranim stanicama Save kod Zagreba. Samim time u novije vrijeme veljača više nije sekundarni minimum postaja. Ponovnom podjelom niza protoka na dva trinaestogodišnja razdoblja, prosječna vrijednost protoka veljače za razdoblje 1991. - 2003. iznosi 215 m^3/s, a za mlađe 379 m^3/s što je rast od visokih 76,3 %. Razlika u medijanima starijeg i mlađeg razdoblja iznosi 66,3 % što znači da na razliku srednjaka dvaju razdoblja nisu puno utjecale ekstremne vrijednosti. Koeficijent varijacije od aritmetičke sredine za starije razdoblje iznosi 34 % te za mlađe 69 % što znači da postoji velika varijabilnost te postoji razlika u međugodišnjoj varijabilnosti protoka od aritmetičke sredine u ta dva razdoblja (veće ekstremne vrijednosti nailazimo u mlađem razdoblju).



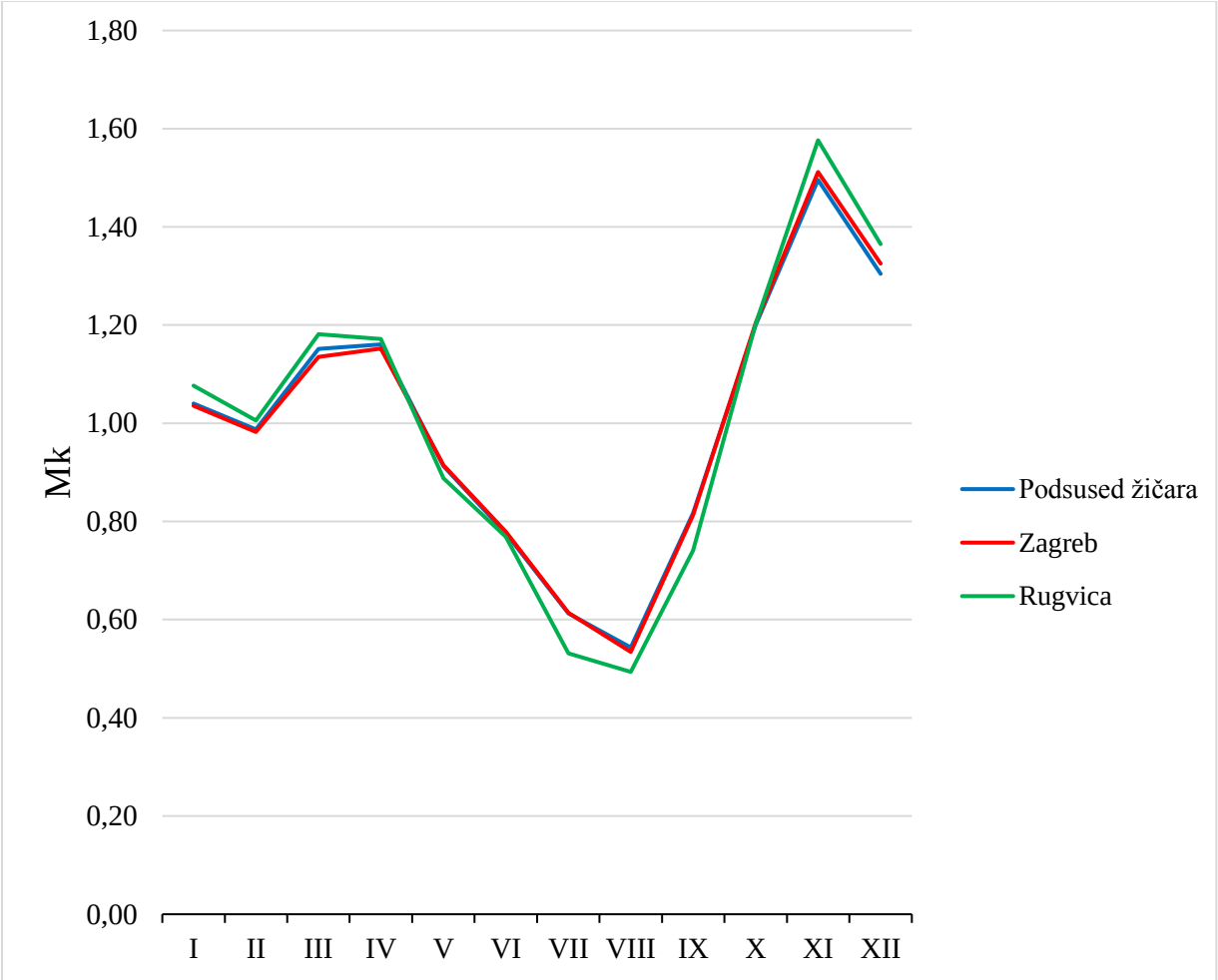
Sl. 14. Srednja godišnja promjena protoka Save i linearni trend u **veljači** na stanici Zagreb 1991. - 2016.

Izvor: prema podatcima DHMZ-a, izračunao autor

Dakle, u razdoblju 1991. - 2016. sve postaje bilježe značajan rast proljeća i zime te blagi rast ljeta. Trend godišnjih srednjaka protoka za jesen u blagom je padu na postajama Podsused žičara i Rugvica, a na postaji Zagreb stagnira. Analizom po godišnjim dobima došli smo do objašnjenja pozitivnog trenda godišnjih srednjaka svih postaja koje je prikazano u prošlom poglavlju. Razlog su veći godišnji srednjaci u novije vrijeme nastali povećanom količinom padalina.

2.3. Promjene modulnih koeficijenata

Sava kod Zagreba pripada peripanonskom kišno-snježnom režimu. Kao što se vidi na slici 15 i u tablici 6, to je složeni režim s po dva maksimuma (ožujak/travanj i studeni) i minimuma (veljača i kolovoz) tijekom godine (Čanjevac, 2012).



Sl. 15. Protočni režim Save kod Zagreba 1991. - 2016.

Izvor: prema podatcima DHMZ-a, izračunao autor

Tab. 6. Modulni koeficijenti Save kod Zagreba 1991. - 2016.

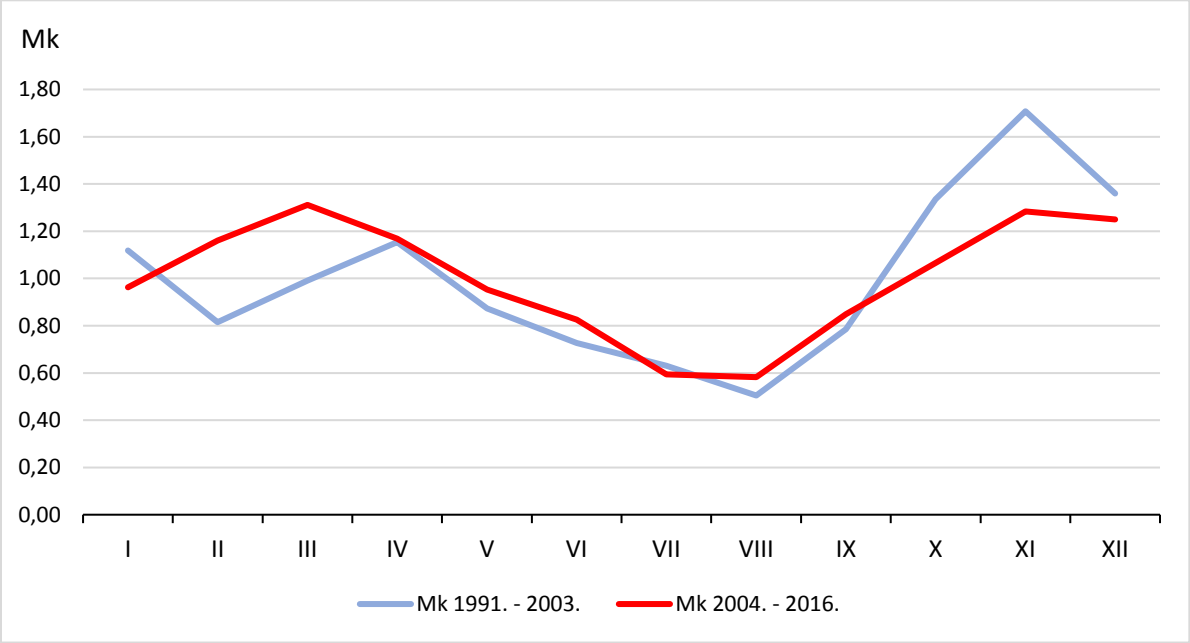
STANICA	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Podsused žičara	1,04	0,99	1,15	1,16	0,91	0,78	0,61	0,54	0,82	1,20	1,50	1,30
Zagreb	1,04	0,98	1,14	1,15	0,91	0,78	0,61	0,53	0,81	1,20	1,51	1,33
Rugvica	1,08	1,01	1,18	1,17	0,89	0,77	0,53	0,49	0,74	1,20	1,58	1,36

Izvor: prema podatcima DHMZ-a, izračunao autor

Suvremene promjene protočnih režima Save kod Zagreba na odabranim postajama analizirane su podjelom razdoblja 1991. - 2016. na dva jednaka trinaestogodišnja razdoblja (slika 16 i slika 17) imajući na umu promjene trendova protoka na razini godišnjih doba i mjeseci obrađenih u prethodnom poglavlju. Na slici 16 vidimo modulne koeficijente za razdoblja 1991. - 2003. te 2004. - 2016. prema kojima možemo analizirati promjene režima protoka Save na stanici Podsused žičara, a ujedno i za postaju Zagreb koja ima gotovo jednake promjene. U starijem razdoblju obje stanice imaju prvi maksimum u travnju (1,15). Od travnja pa sve do kolovoza modulni koeficijent opada do vrijednosti prvog minimuma od 0,5. Izraženiji drugi maksimum je u studenom (1,72). Drugi manje izraženi minimum je u veljači (0,81). Najveća promjena vrijednosti između dva susjedna mjeseca je rujan-listopad (0,55). Iznadprosječne vrijednosti javljaju se u travnju te od listopada do siječnja. Razlika između maksimalnog i minimalnog modulnog koeficijenta iznosi 1,21.

U mlađem razdoblju modulni koeficijent ožujka raste za 32 %, a studenoga pada za 25 % (slika 16) što je posljedica ogromnog rasta srednjaka ožujka od 50,6 % i stagnacije srednjaka u studenom (tablica 4). Razlog rasta ožujka je rast količine padalina u zimu u novije vrijeme. Na postaji Podsused žičara prvi maksimum seli s travnja (1,17) na ožujak (1,31) kao i na postaji Zagreb gdje se ožujak izjednačio s drugim maksimumom u studenom (1,29). Od ožujka do kolovoza modulni koeficijenti opadaju. Prvi minimum kolovoz (0,58) se povećao za 16 % zbog rasta srednjaka od 36,1 % te blažih ljeta i povećanja padalina. Drugi je maksimum u već spomenutom studenom (1,28). Drugi minimum seli iz veljače (1,16) u siječanj (0,96) jer je veljača bilježila najveću promjenu među mjesecima u novijem razdoblju (76,3 %) zbog povećanja količine padalina. Iznadprosječne vrijednosti javljaju se od veljače do travnja te od listopada do prosinca. Razlog zašto su veljača i ožujak iznad prosjeka je njihov veliki rast

nauštrb siječnja koji više nije iznad prosjeka. Najveća promjena vrijednosti između dva susjedna mjeseca više nije rujan-listopad zbog rasta rujna, a pada listopada (tablica 4) nego prosinac-siječanj (0,29). Uspoređujući s prvim razdobljem, modulni koeficijent je porastao od veljače do lipnja (zbog jakog rasta protoka u veljači i ožujku te malog rasta do lipnja), u kolovozu i rujnu (također rastu). Razlika između maksimalnog i minimalnog modulnog koeficijenta u drugom razdoblju iznosi 0,98 što je smanjenje u odnosu na prošlo razdoblje. Razlog je jaki rast protoka u veljači i ožujku koji su bili ispodprosječni u starijem razdoblju te pad listopada, stagnacija studenog i blagi pad prosinca (tablice 4 i 5) koji su inače iznadprosječni (slika 15 i tablica 6).

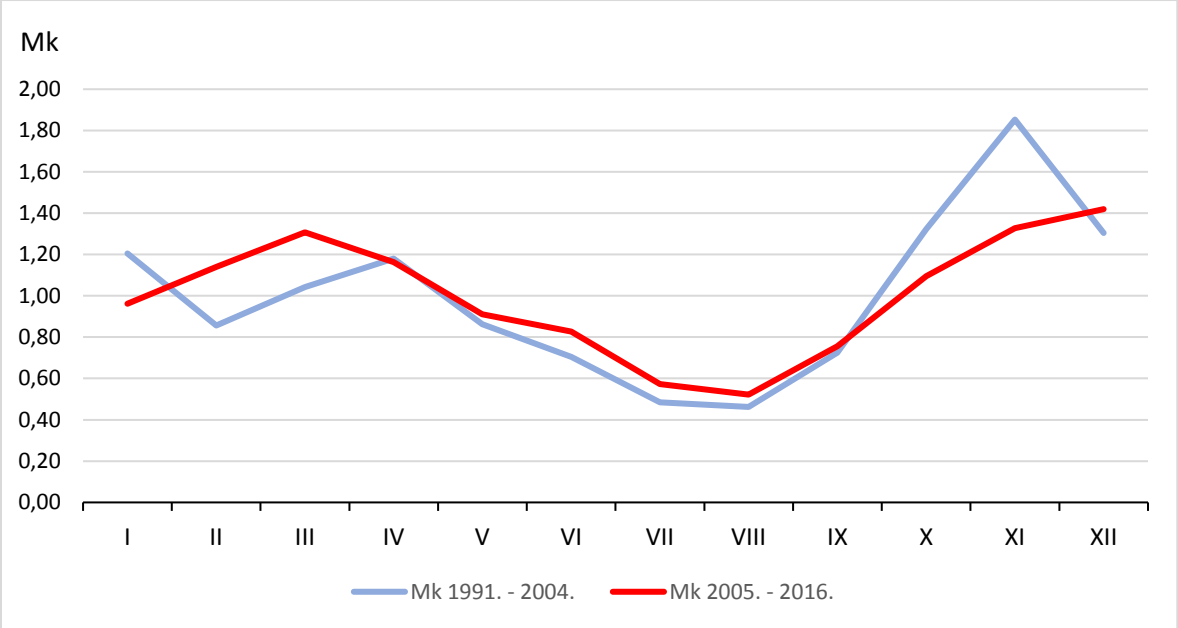


Sl. 16. Modulni koeficijenti Save na stanici Podsused žičara 1991. - 2003. i 2004. - 2016.

Izvor: prema podatcima DHMZ-a, izračunao autor

U razdoblju od 1991. - 2003. stanica Rugvica ima prvi maksimum u travnju (1,18) kao i ostale dvije postaje (slika 17). Modulni koeficijent opada do prvog minimuma u kolovozu (0,46). Izrazit prvi maksimum jednako se javlja u studenom (1,85) kao i na prethodnim postajama. Drugi manje izraženi minimum je također u veljači (0,86). Najveća promjena između dva susjedna mjeseca jest rujan-listopad (0,6). Iznadprosječne vrijednosti javljaju se u ožujku, travnju te od listopada do siječnja. Razlika između maksimalnog i minimalnog modulnog koeficijenta u razdoblju iznosi 1,39. Zaključujemo da je režim protoka na stanici Rugvica prvog razdoblja vrlo sličan onome na prethodnim stanicama u istom razdoblju.

U novije je vrijeme prvi maksimum u ožujku (1,31 – rast od 26 %) zbog visoke prosječne godišnje stope promjene, a drugi maksimum se seli iz studenog (1,33 – pad od 28 %) u prosinac (1,42 – rast od 9 %) (slika 17). Razlog tomu je pad protoka studenog u novije vrijeme, a rast prosinca. Režimi Save na prethodnim stanicama imaju drugi maksimum u studenome. Prvi minimum je u kolovozu (0,52), a drugi se preselio s veljače (1,14 – rast od 33 %) na siječanj (0,96 – pad od 20 %) zbog ogromnog rasta protoka u veljači. Modulni koeficijenti minimuma su veći u mlađem razdoblju zbog smanjenja razlika između maksimalnog i minimalnog koeficijenta. Iznadprosječne vrijednosti se javljaju od veljače (zbog velikog rasta protoka) do travnja te od listopada do prosinca. Najveća promjena vrijednosti između dva susjedna mjeseca više nije rujan-listopad jer rujan stagnira, a listopad izraženo pada (tablica 4) nego prosinac-siječanj (0,46) jer prosinac blago raste, a siječanj blago pada (tablica 5). Uspoređujući s prvim razdobljem, modulni koeficijent je porastao u veljači i ožujku (veliki rast), od svibnja do rujna (mali rast) te u prosincu. Razlika između maksimalnog i minimalnog modulnog koeficijenta u drugom razdoblju iznosi 0,9 što je smanjenje u odnosu na prošlo razdoblje. Razlog je jaki rast protoka u veljači i ožujku koji su imali niži modulni koeficijent u starijem radoblju te pad listopada i studenog i stagnacija prosinca (tablice 4 i 5) koji su inače iznadprosječni (slika 15 i tablica 6).



Sl. 17. Modulni koeficijenti Save na stanici Rugvica 1991. - 2003. i 2004. - 2016.

Izvor: prema podatcima DHMZ-a, izračunao autor

3. ZAKLJUČAK

U radu su dobiveni rezultati koji su suprotni od očekivanih: linijski trend kretanja karakterističnih protoka Save kod Zagreba 1991. - 2016. godine pozitivan je na svim odabranim postajama (rast srednjeg protoka za stanicu Podsused žičara iznosi 0,61 %, Zagreb 0,86 %, Rugvica 0,69 %) te su također i amplitude u porastu zbog jačeg rasta srednjeg visokog protoka od srednjeg niskog na stanicama. Analizom promjene protoka prema godišnjim dobima objašnjen je pozitivan trend godišnjih srednjaka. U promatranom razdoblju sve postaje bilježe značajan rast protoka u proljeće i zimu te blagi rast ljeti. Trend godišnjih srednjaka protoka za jesen u blagom je padu na postajama Podsused žičara i Rugvica, a na postaji Zagreb stagnira. Režimi protoka Save kod Zagreba starijeg trinaestogodišnjeg niza jednaki su. U mlađem razdoblju modulni koeficijent ožujka znatno raste, a studenoga znatno pada što je posljedica ogromnog rasta srednjaka ožujka i stagnacije srednjaka u studenom na stanicama Podsused žičara i Zagreb te pada na postaji Rugvica. Na postaji Podsused žičara prvi maksimum seli s travnja na ožujak kao i na postaji Zagreb gdje se ožujak izjednačio s drugim maksimumom u studenom. Zbog rasta prosinca, drugi maksimum na stanici Rugvica seli iz studenog u prosinac. Prvi se minimum postaja u kolovozu povisio zbog rasta srednjaka te blažih ljeta i povećanja padalina. Drugi minimum seli iz veljače (1,16) u siječanj (0,96) jer je veljača bilježila najveću promjenu među mjesecima u novijem razdoblju. Najveća promjena vrijednosti između dva susjedna mjeseca više nije rujan-listopad zbog rasta rujna, a pada listopada nego prosinac-siječanj. Modulni koeficijent na stanicama Podsused žičara i Zagreb porastao je od veljače do lipnja (zbog jakog rasta protoka u veljači i ožujku te malog rasta do lipnja) te u kolovozu i rujnu (također rastu), a na stanici Rugvica u veljači i ožujku (veliki rast), od svibnja do rujna (mali rast) te u prosincu. Razlike između maksimalnog i minimalnog modulnog koeficijenta u novije vrijeme se smanjuju zbog rasta protoka u mjesecima gdje je bio manji (veljača i ožujak), a pada u mjesecima koji su inače iznadprosječni (listopad, studeni i prosinac).

LITERATURA I IZVORI

Bonacci, O., Oskoruš, D., 2014: Analiza nekih hidroloških vidova evakuacije velikih voda na području Grada Zagreba, *Hrvatske vode* 22 (87), 31-38

Čanjevac, I., 2012: *Promjene i tipologija režima protoka rijeka u Hrvatskoj*, doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb

Državni hidrometeorološki zavod RH (Sektor za hidrologiju), n.d., http://hidro.dhz.hr/ (14.8.2018.)

Orešić, D., Čanjevac, I., Madžar, I., 2007: Protočni režimi na Savi kod Rugvice, Jasenovca i Županje u XX. stoljeću, *Zbornik radova Četvrtog kongresa geografa Bosne i Hercegovine*, Sarajevo, 166-178

Riđanović, J., 1989: *Hidrogeografija*, Školska knjiga, Zagreb

Šegota, T., Filipčić, A., 2007: Suvremene promjene klime i smanjenje protoka Save u Zagrebu, *Geoadria* 12 (1), 47-58

Šošić, I., 2009: *Statistika*, udžbenik za srednje škole sa zbirkom zadataka, Školska knjiga, Zagreb

Trninić, D., Bošnjak, T., 2009: Karakteristični protoci Save kod Zagreba, *Hrvatske vode* 17 (69/70), 257-268