

## ANALIZA MALIH VODA NA SLIVU SAVE DO ZAGREBA U PERIODU: 1926.-2020.

dr.sc.Dušan TRNINIĆ<sup>1</sup>, znanstveni savjetnik  
<sup>1</sup> umirovljen iz Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb  
trninicmdusko@hotmail.com  
Tomislava BOŠNJAK<sup>2</sup>, ing.građ.  
<sup>2</sup> Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb  
bosnjak@cirus.dhz.hr

### REZIME

U radu se analiziraju male vode Save do Zagreba u periodu: 1926.-2020. (N = 95 godina), s detaljnom obradom na profilu Sava : Zagreb. Iako donji ekstremi, kao što su hidrološke suše i male vode, nisu tako spektakularne kao gornji ekstremi – velike i poplavne vode, ipak im treba pokloniti dostojnu pažnju. Statistička analiza malih voda temelji se na najmanjim izmjerenim protocima, prikazom pragova malih voda različitih trajnosti i povratnih perioda Save kod Zagreba, kao i dva reperna protoka ispod kojih su definirani maksimalni godišnji volumeni izoliranih valova. Pregled morfoloških i psamoloških karakteristika upozorava na sve veće promjene, s naglaskom na sve izražajnije produbljivanja dna korita. Na kraju se navode zaključci i preporuke, kako u sadašnjosti, tako i procjena promjena za bližu i daljnju budućnost.

**Ključne reči:** male vode, Sava, manjak voda, volumen, nanos, klimatske promjene, smanjivanje šteta

### 1. UVOD

Sve veće potrebe za vodom, koja je kao ključna sirovina, prostorno i vremenski vrlo nejednoliko raspoređena, sve više postaje faktor ograničavanja gospodarskog i društvenog razvoja, pa prema tome i faktor politike.

Problemima i analizama hidroloških suša i malih voda najviše su se bavili slijedeći autori: Bonacci (1986.), Bonacci i Trninić (1986., 1988., 1989.), Güttler i sur. (2011.), Kratofil (2000.), Trninić 1984., 1986., 1990., 1993a., 1993b., 1998., 2005., Trninić i Slamar (1994.),

Trninić i Bošnjak (2009., 2011.), te u studijama: ARSO (2009., 2013.), DHMZ (2021.), UN (1972.), World Bank (2003.). Knjige, čije su se ključne postavke najviše koristile u ovome radu su: Prohaska (2003. 2017.), Šiklomanov (1979.), Talaksen i Lanen (2004.), Vladimirov (1976.), Babić Mladenović (2018.), Zelenhasić (1985.) i Zelenhasić i sur. (1986.).

### 2. OPĆENITO O MALIM VODAMA

Zadnjih godina sve se više govori o sušama, hidrološkim sušama i malim vodama. Općenito gledano postoji više definicija suša, jer taj pojam postoji u nekoliko znanstvenih disciplina (iako su razne definicije suše ipak na neki način povezane). Tako se, na primjer, u području hidrologije površinskih voda, pod sušama ili hidrološkim sušama mogu podrazumjevati male vode na rijekama i izrazito niske razine u akumulacijama koje traju dugo. U meteorologiji se pod sušama podrazumjevaju periodi u kojima su ukupne oborine znatno ispod prosječnih (normalnih) vrijednosti. U poljoprivredi se pod sušama razumjevaju periodi u kojima je vlažnost zemljišta znatno ispod prosječne i nedovoljne su za razvoj poljoprivrednih kultura. Iako je glavni uzrok suša manjak oborina, povijest suša je dosta različita. Ona uključuje niske vodostaje i male protoke u otvorenim vodotocima, niske razine podzemne vode, male volumene vode u akumulacijama i retencijama i dugi periodi manjka vlažnosti zemljišta. Često je u upotrebi i izraz "hidrološka suša", koja se odnosi na dulje periode u kojima su protoci u vodotocima znatno ispod prosječnih. Osim toga, pojam suše je različit u pojedinim dijelovima našeg planeta, koji imaju različite tipove klime. Tako je na otoku Baliju (Indonezija) svaki

period od 6 dana ili duže bez oborina naziva sušom, dok u nekim područjima Libije treba proći najmanje dvije godine bez oborina pa da se govori o suši.

Neki stručnjaci pod hidrološkom sušom ili malovodnim periodom, kod otvorenih vodotoka, podrazumjevaju periode u toku kojih su prirodni protoci manji od onih koji su potrebni za određene korisnike voda. Najveći broj hidrologa definira hidrološku sušu kao manjak vode (u vodotoku) ispod nekog repnog protoka, uzimajući u obzir i trajanje suše –  $\Delta t$  i manjak vode –  $D$ . Kada govorimo o karakterističnim pragovima male vode moramo reći da se danas u modernoj hidrologiji sve više koristi mjerodavni protok koji je definiran kao protok tijekom 30 uzastopnih dana (bilo koji niz unutar kalendarske godine), čije su vjerojatnosti 80 i 95 %.

Male vode ovise o mnogim faktorima, kao što su prirodni: klimatski (oborine, temperatura zraka, vode i tla, isparavanje, sumarno isparavanje, vlažnost i vjetar), hidrogeološki (geologija sliva, hidrogeološki režim, podzemne vode), morfološki (reljef jezera, močvare, vegetacijski pokrov), morfometrijski (površina, visina i nagib sliva, orijentacija sliva, gustoća rječne mreže, dubina ureza riječnog korita) i antropološki (urbanizacija, navodnjavanje i odvodnja, hidrotehnički radovi, vodoopskrba i odvodnja gradova i naselja, prebacivanje voda, hidro, termo i nuklearne elektrane, riječni i kanalski promet, pročišćavanje gradskih i industrijskih voda, promjene u korištenju zemljišta i dr.). Utjecaj djelovanja čovjeka na režim malih voda mijenja se kako po naravi, tako i po intenzitetu a podudara se s razinom socijalnog, gospodarskog i tehničkog razvoja, klimatskim uvjetima i promjenama, te o hidrološkom režimu rijeka. Ponekad je vrlo teško ocijeniti takav antropološki utjecaj zato što u slivu djeluju razni faktori u isto vrijeme a neki od njih kompenziraju druge.

### 3. STATISTIČKA ANALIZA MALIH VODA

Kod svih statističkih analiza ključni su kvalitetni podaci o vodomjerenjima, u ovom slučaju o vodomjerenjima malih voda. U tabeli 1. prikazano je dvadeset najmanjih izmjerenih malih voda na Savi kod Zagreba u periodu: 1946.-2020. Iz tih podataka je vidljivo da su, između ostalih, izmjerene najznačajnije male vode iz poznatih malovodnih perioda u vrlo sušnim i sušnim godinama:

2003., 1947., 1992., i 1993. Na temelju tih vodomjerenja pouzdano su definirane krivulje protoka, u osjetljivim, donjim djelovima krivulja.

Tabela 1. Dvadeset najmanjih izmjerenih malih voda na Savi kod Zagreb u periodu 1946.-2020.

No.	Mjereno Q [m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]	Datum mjerenja	No.	Mjereno Q [m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]	Datum mjerenja
1	2	3	4	5	6
1.	41,8	14.08.2003.	11.	61,7	10.09.1992.
2.	53,4	21.08.1992.	12.	64,0	16.09.1992.
3	53,8	29.07.2003.	13.	64,1	21.09.1946.
4.	54,9	17.07.2003.	14.	64,9	30.08.2000.
5.	55,9	17.09.1947.	15.	65,1	21.08.2000.
6.	57,3	29.08.2017.	16.	67,3	15.02.1989.
7.	58,0	8.08.1963.	17.	69,9	7.02.1989.
8.	60,0	23.10.1974.	18.	70,6	7.07.2000.
9.	61,2	16.09.2000.	19.	72,8	14.10.1985.
10	61,6	21.09.1992.	20.	72,9	9.04.1975.

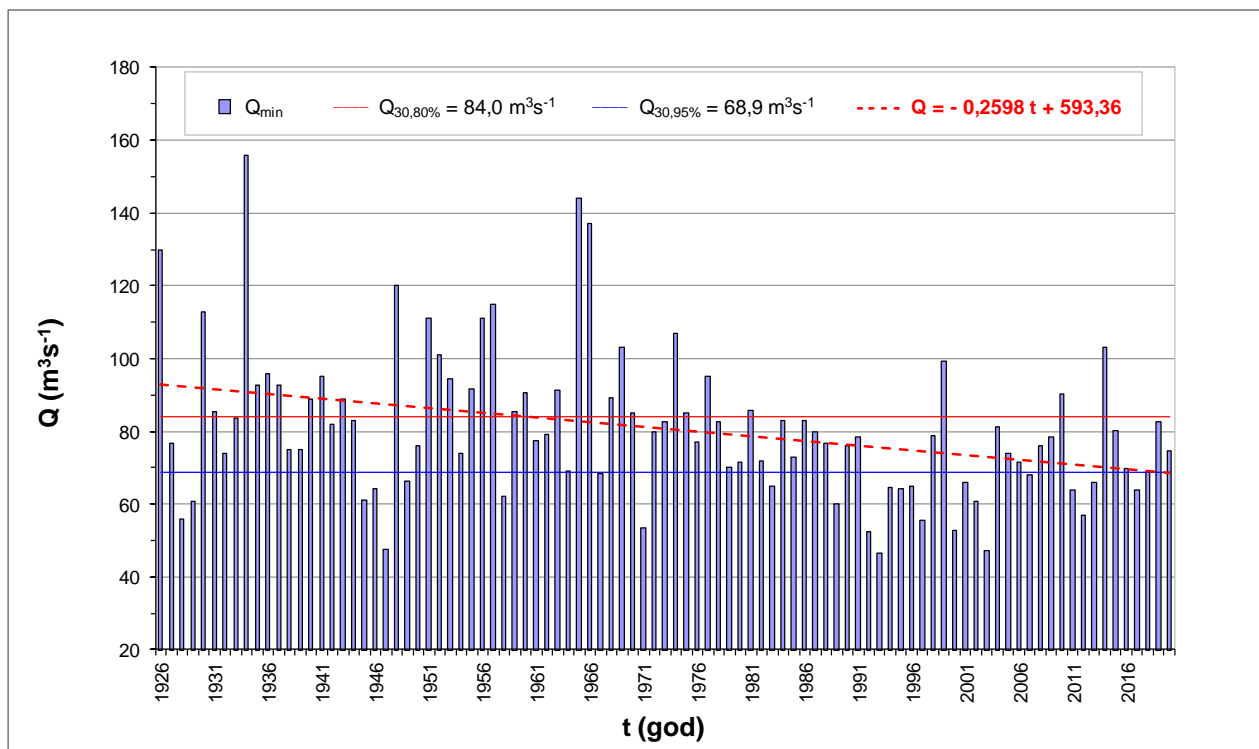
Izvor: DHMZ (2021): Arhiva i Banka hidroloških podataka, Državni hidrometeorološki zavod

#### 3.1 Analiza trenda minimalnih godišnjih protoka

Na slici 1. prikazan je linearni trend minimalnih godišnjih protoka Save kod Zagreba u periodu: 1926.-2020. (N=95 g.), jednadžba trenda, iz koje se vidi da u vremenskoj seriji minimalnih godišnjih protoka postoji trend smanjivanja od 0,28 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> na godinu. Na slici 1. uctane su i linije  $Q_{30,80\%} = 84,0 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  – minimalni srednji 30-dnevni protok 80 % vjerojatnosti i  $Q_{30,95\%} = 68,9 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  – minimalni srednji 30-dnevni protok 95% vjerojatnosti.

#### 3.2 Funkcije raspodjele vjerojatnosti minimalnih godišnjih protoka

U ovom radu, kod svim analiza ispitivale su se prilagodbe pet teoretskih funkcija raspodjele: log-normalna, Galton, Pearson 3, log-Pearson 3 i Gumbel. Konačan izbor funkcije raspodjele odabran je na temelju rezultata testiranja teoretske i empirijske funkcije raspodjele, testom Kolmogorov – Smirnov. U većini slučajeva pokazalo se da najbolju prilagodbu ima raspodjela log-Pearson 3.



Slika 1. Trend minimalnih godišnjih protoka Save kod Zagreba u periodu: 1926.-2020. (N = 95.g.), s ucrtanim linijama  $Q_{30,80\%} = 84,0 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  – minimalni srednji 30-dnevni protok 80% vjerojatnosti i  $Q_{30,95\%} = 68,9 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  - minimalni srednji 30-dnevni protok 95% vjerojatnosti.

Izvor: DHMZ (2021): Arhiva i Banka hidroloških podataka

Tabela 2. Raspodjele vjerojatnosti minimalnih godišnjih protoka na slivu Save do profila Zagreb

Država	Vodotok	Profil hidrološke stanice	Protok – $Q_{min}$ [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ]						Period obrade
			Povratni period – PP [godina]						
			5	10	20	50	100	1000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RS	Sava	Radovljica	8,29	7,05	6,15	5,28	4,76	3,55	1910-2010
		Šentjakob	23,6	21,7	20,3	18,8	17,9	15,7	1957-2010
	Ljubljanica	Moste	5,19	4,45	3,95	3,46	3,19	2,55	1924-2010
	Sava	Litija I	39,1	34,6	31,1	27,4	25,0	19,1	1895-2010
	Savinja	V. Širje	7,81	6,75	5,89	4,90	4,41	3,02	1955-1990 1993-2010
	Krka	Podbočje	6,93	5,90	5,14	4,37	3,92	2,85	1926-2010
	Sava	Čatež I	65,0	59,0	54,3	49,4	46,3	38,5	1926-2009
	Sutla	Rakovec	0,559	0,507	0,442	0,380	0,343	0,259	1926-1941 1946-2010
Sava	Jesenice/D	63,1	58,2	54,2	49,6	46,5	37,9	1975-1995	
RH	Krapina	Kupljenovo	0,578	0,423	0,320	0,228	0,179	0,086	1964-2012
	Sava	Podsused/Ž	62,9	57,2	52,4	47,5	44,7	36,8	1949-2012
		Zagreb	64,2	58,4	54,0	49,7	47,2	40,9	1926-2015

Izvor: SLO – ARSO, Agencija Republike Slovenije za okolje (2013.), HR – DHMZ, (2015.)

#### 4. KARAKTERISTIČNI REPERNI PROTOCI

##### 4.1 Definiranje repernih protoka

Nastavno se navode neki od pragova malih voda, s naznačenim vrijednostima ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ) Save kod Zagreba u periodu: 1926.-2015.:

$\bar{Q}_{\min} = 81,2$  – srednji minimalni godišnji protok;

$Q_{95\%} = 86,8$  – trajnost protoka 95%;

$Q_{30, 80\%} = 84,0$  – minimalni srednji 30-dnevni protok 80% vjerojatnosti;

$Q_{30,95\%} = 68,9$  – minimalni srednji 30-dnevni protok 95% vjerojatnosti;

$Q_{\min} = 46,5$  – apsolutni minimalni protok;

$Q_{PP=100} = 47,2$  – 100-godišnja mala voda;

$Q_{PP=1000} = 40,9$  – 1000-godišnja mala voda.

Za repere protoke  $Q_r$  odabrane su:

$Q_{30, 80\%} = 84,0$  – minimalni srednji 30-dnevni protok 80% vjerojatnosti i

$Q_{30,95\%} = 68,9$  – minimalni srednji 30-dnevni protok 95% vjerojatnosti, koje se često koriste u hidrološkoj praksi.

##### 4.2 Maksimalni godišnji manjkovi voda

Ako se kao mjerilo hidrološke suše uzmu maksimalni godišnji manjkovi - volumeni voda ispod dva gore navedena reperna protoka dobiju se interesantni podaci koji su prikazani u tabeli 3. za reporni protok  $Q_{30,95\%} = 68,9 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Iz podataka ove tabele može se vidjeti da je na prvom mjestu poznata hidrološka suša iz 2003.godine, kada je najveći manjak voda iznosio  $34,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  i trajao je 28 dana od 3.VIII. do 30.VIII 2003. Nakon 2003. slijede 1947., 1993., 1992., 2000 i ostale malovodne godine.

U tabelama 3. i 4., u stupcu 8. hidrološki su definirane sušne ili kišne godine u kojima su se pojavile male vode. Sušne ili kišne godine definirane su na slijedeći način: ukupno godišnje otjecanje Save kod Zagreba, u periodu: 1926.-2020. prikazano je u modulnim koeficijentima "K", koje daje slijedeći kriterije za definiranje sušne ili kišne godine:

Trajnosti	0 – 10 %	K = 1,70 –1,34	vrlo kišna g.
	10 – 35 %	K = 1,34 -1,06	kišna godina
	35 – 65 %	K = 1,06-0,90	normalna g.
	65 – 90 %	K = 0,90-0,76	sušna godina
	90-100 %	K = 0,76-0,56	vrlo sušna g.

U tabeli 4. prikazan je pregled maksimalnih godišnjih manjkova – volumena izoliranih valova ispod repernog protoka  $Q_{30, 80\%} = 84,0$  – minimalni srednji 30-dnevni protok 80% vjerojatnosti. Iz podataka ove tabele može se vidjeti da je na prvom mjestu poznata hidrološka suša iz 2003.godine, kada je najveći manjak-volumen voda iznosio  $114,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  i trajao je 54 dana od 9.VII. do 31.VIII 2003. Nakon 2003., slijede 1947., 1992., 1993., 1971. i ostale malovodne godine.

Na slici 2. je fotografija malih voda na Savi kod Zagreba – Jankomirski most (snimljeno 7.X 2011.,  $Q = 70,3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , snimila: T. Bošnjak).



Slika 2. Fotografija malih voda na Savi kod Zagreba – Jankomirski most (snimljeno 7.X 2011.,  $Q = 70,3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , snimila: T. Bošnjak)

Grafički interpretacija veličina manjkova voda ispod dva analizirana reperna protoka prikazana je na slici 3.

##### 4.3 Vrijeme pojave male vode

Prema analiziranim podacima, male vode na Savi kod Zagreba, u periodu 1926.-2020.godine., najčešće se javljaju u jesen (IX, X, XI) i ljeto (VI, VII, VIII), vrlo rijetko se javljaju u zimi (XII, I, II), a nisu zabilježene u proljeće (III, IV, V). Ove činjenice su izuzetno značajne za sve korisnike voda, koji svakim danom trebaju sve više i više voda.

Tabela 3. Pregled maksimalnih godišnjih manjkova-volumena voda izoliranih valova ispod reперnog protoka  $Q_{rep}=68,9\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$  na Savi kod Zagreba u periodu: 1926.-2020.

Br.	Maksimalni godišnji volumeni izoliranih valova ispod reперnog protoka $Q_{rep}=68,9\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$						
	Godina	$Q_{min}$		Volumen			
		Datum	$\text{m}^3\text{ s}^{-1}$	Razdoblje	Volumen $10^6\text{ m}^3$	Trajanje dana	Sušna ili kišna godina
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	2003.	13.VIII.	50,0	3.VIII-30.VIII.	34,5	28	Vrlo sušna
2.	1947.	23.X.	47,5	3.X.-31.X..	33,0	20	Sušna
3.	1993.	23.VIII.	48,7	12.08.--26.08.	17,4	15	Sušna
4.	1992.	31.VIII.	54,9	10.VIII.-2.IX.	16,6	24	Sušna
5.	2000.	31.VIII.	54,0	19.VIII.-2.IX.	13,9	15	Sušna
6.	1971.	8.XI.	53,5	25.X.-9.XI.	12,6	16	Sušna
7.	1997.	31.X.	57,8	25.X.-6.XI.	9,67	13	Sušna
8.	1989.	21.II.	60,0	10.II.-23.II.	6,70	14	Sušna
9.	1945.	22.X.	61,0	18.X.-26.X.	4,60	9	Vrlo sušna
10.	2012.	16.VIII.	62,8	6.VIII-7.VIII.	3,10	11	Sušna
11.	1928.	14.IX.	56,0	11.IX.-15.IX.	3,00	5	Normalna
12.	1946.	19.X.	64,2	13.X.-22.X.	2,68	10	Vrlo sušna
13.	1929.	7.II.	60,9	3.II.-8.II.	2,60	6	Sušna
14.	2011.	17.IX.	64,9	16.IX.-19.IX.	1,09	4	Vrlo sušna

Izvor: DHMZ (2021): Arhiva i Banka hidroloških podataka

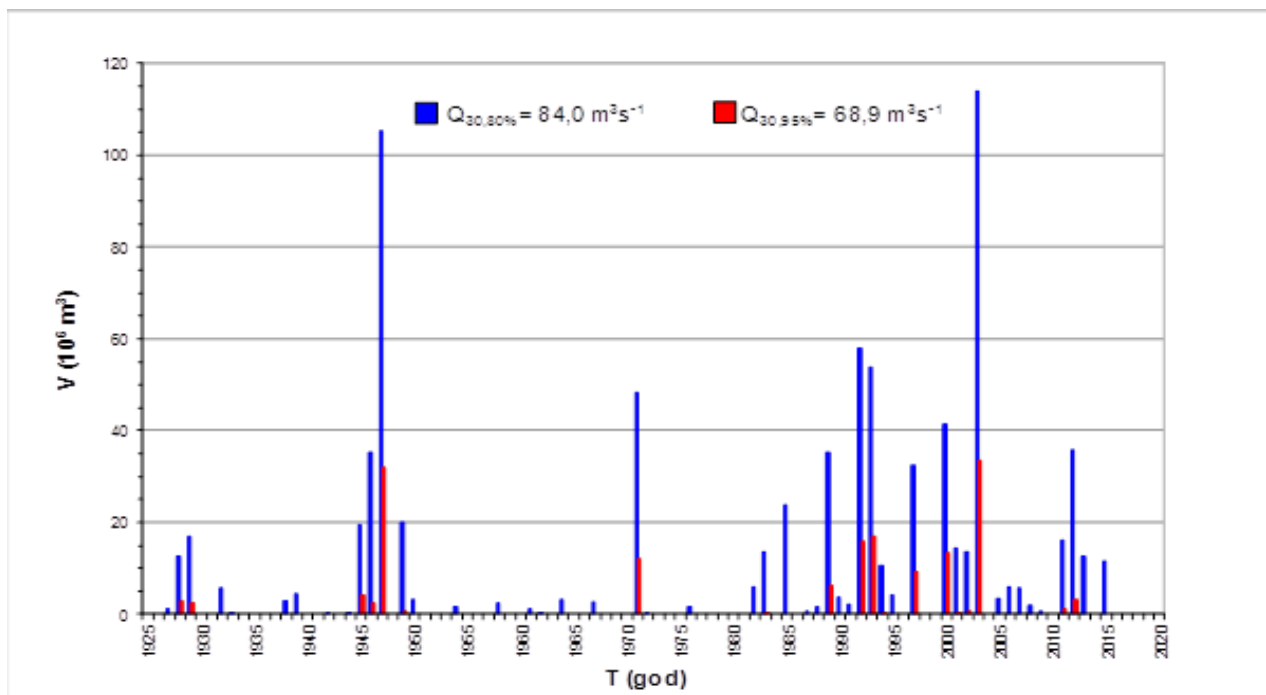
Tabela 4. Pregled maksimalnih godišnjih manjkova-volumena voda izoliranih valova ispod reперnog protoka  $Q_{rep}=84,0\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$  na Savi kod Zagreba u periodu: 1926.-2020.

Br.	Maksimalni godišnji volumeni izoliranih valova ispod reперnog protoka $Q_{rep}=84,0\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$						
	Godina	$Q_{min}$		Volumen			
		Datum	$\text{m}^3\text{ s}^{-1}$	Razdoblje	Volumen $10^6\text{ m}^3$	Trajanje dana	Sušna ili kišna godina
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	2003.	13.VIII.	50,0	9.VII-31.VIII.	114,4	54	Vrlo sušna
2.	1947.	23.X.	47,5	30.IX.-22.XI..	105,9	54	Sušna
3.	1992.	21.VIII.	48,7	16.VII -2.IX.	58,2	39	Sušna
4.	1993.	23.VIII.	48,7	30.VII – 26.VIII	54,2	28	Sušna
5.	1971.	11.X	56,2	7.IX – 15.X.	48,5	39	Sušna
6.	2000.	31.VIII.	56,2	12.VIII – 3.IX.	41,6	23	Sušna
7.	2012.	23.VIII.	56,9	1.VIII – 26.VIII.	35,7	25	Sušna
8.	1989.	21.II.	60,0	31.I.-24.II.	35,5	25	Sušna
9.	1946.	19.VI	64,2	24.IX.-22.X.	35,5	29	Vrlo sušna
10.	1997.	31.X	57,8	18.X.- 6.XI.	32,8	20	Sušna
11.	1985.	29.X	73,0	30.IX.-1.XI.	24,1	33	Normalna
12.	1949.	27.X.	66,2	11.X.-29.X.	20,3	19	Vrlo sušna
13.	1945.	22.X	61,0	14.X – 26.X.	19,7	13	Sušna
14.	1929.	13.IX.	66,0	2.IX.-21.X.	17,1	20	Vrlo sušna

Izvor: DHMZ (2021): Arhiva i Banka hidroloških podataka

Grafička interpretacija veličine manjkova - volumena voda ispod dva reperna protoka:  $Q_{rep} = 68.9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  i  $Q_{rep} = 84,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  na Savi kod Zagreba prikazani su na slici 3. Iz podatak tabele 3. i 4., te slike 3. se vidi, da su

za prag od  $Q_{rep} = 68.9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , najveći manjkovi – volumeni bili 2003., 1947. i 1993. dok su za prag  $Q_{rep} = 84,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , najveći manjkovi bili u 2003., 1947., i 1992. godini.



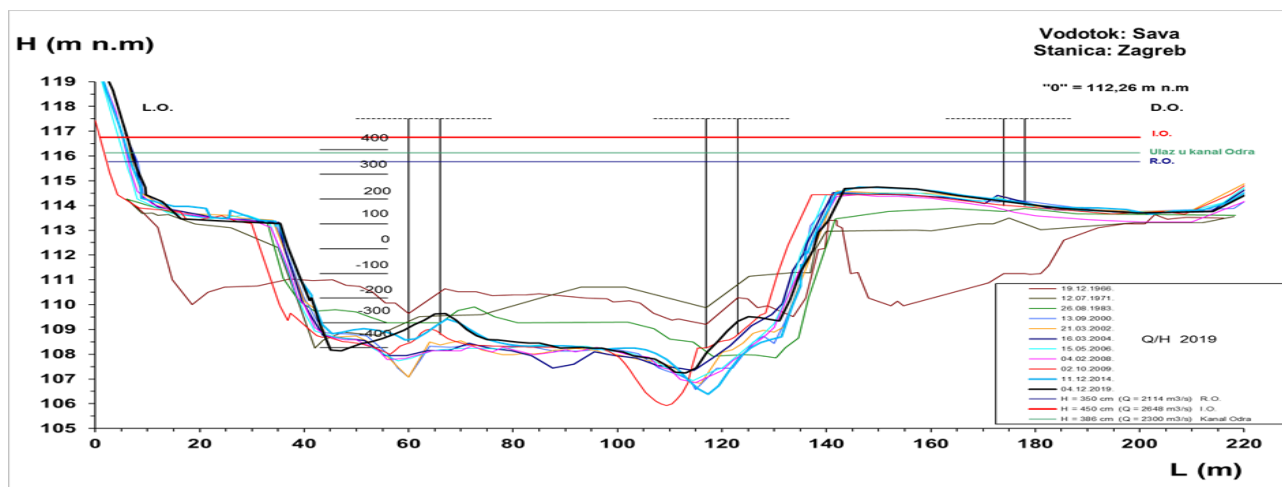
Slika 3. Manjkovi-volumeni voda ispod repernih protoka  $Q_{rep} = 68.9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  i  $Q_{rep} = 84,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  na Savi kod Zagreba u periodu: 1926. – 2020.

Izvor: DHMZ (2021): Arhiva i Banka hidroloških podataka

## 5. MORFOLOŠKE PROMJENE

Promjenjivost protočnih profila osnovna je značajka analiziranih hidroloških stanica na rijeci Savi. Vremenska raspodjela velikih voda i odnošenje (taloženje) vučenog nanosa, kombinirano s utjecajem čovjeka, mogu se smatrati dominantnim uzrokom. Tokom 2000. godine, geodetski su snimljeni svi profili hidroloških stanica na rijeci Savi u Hrvatskoj. Ovi snimci su pokazali produbljivanje korita na skoro svim stanicama, a time indirektno i na cijelom toku. Kao uzrok intenzivne devijacije riječnog korita

možemo navesti i dugogodišnje radove na regulaciji Save koja je od širokog i i plitkog profila svedena na usko i duboko korito, a u kombinaciji s presjecanjem meandara stvoren je koncentriran tok s velikim padovima i brzinama. Na slici 4. prikazani su poprečni profili Save kod Zagreba snimljeni: 1966., 1971., 1983., 2000., 2002., 2004., 2006., 2008., 2009., 2014. i 2019. godine. Iz ovih podataka se vidi da na ovom profilu imamo produbljivanje dna korita od oko 1,5 do 2,0 metra.



Slika 4. Poprečni profili Save kod Zagreba snimljeni: 1966., 1971., 1983., 2000., 2002., 2004., 2006., 2008., 2009., 2014. i 2019. godine.

## 6. ANALIZA REŽIMA NANOSA

Intenzivne atmosferske oborine uzrokuju u riječnim slivovima dva paralelna procesa: površinsko otjecanje ispiranje tla, uslijed čega dolazi do nastanka velikih voda i eroziona produkcije nanosa. Produkti ovih procesa dopijevaju u hidrografsku mrežu, kroz koju nastavljaju kretanje u vidu dvofaznog fluida: tekućem – voda i krutom – nanos. Pod režimom nanosa podrazumijevamo stanje količine i kakvoće nanosa u vodotoku, prostoru i vremenu na koje utječu ljudske djelatnosti i/ili prirodne promjene. Skoro na svim profilima hidroloških stanica na Savi u Hrvatskoj evidentno je produbljivanje dna korita.

Neka istraživanja su pokazala da je smanjen donos nanosa u Savu što se objašnjava značajnim protuerozionim radovima u slivu, kao i izgradnjom hidroelektrana na Savi u Sloveniji, na gornjoj Savi izgrađene su tri hidroelektrane, na srednjoj Savi se planira izgradnja deset hidroelektrana, a na donjoj Savi izgrađeno ih je šest: HE Vrhovo, HE Boštanj, HE Blanca, HE Krško, HE Brežice i HE Mokrice u završnoj fazi izgradnje. Tu treba spomenuti i NE Krško s pragom, kao TE-TO s pragom u Zagrebu. Na teritoriji Hrvatske na 21 hidrološke stanice (od toga su 10 u slivu Save) mjeri se i obrađuju samo podaci o suspendiranom nanosu.

Nažalost, zbog tehnički zahtjevnih i opasnih mjerenja i pomanjkanja financijskih sredstava, trenutno se nigdje ne mjeri vučeni nanos. Poznati su samo rezultati o mjerenju i obradi vučenog nanosa na Savi kod

Podsuseda (5 km uzvodno od Zagreb) u periodu: 1975.-1986. godina, na analiziranom dijelu sliva Save.

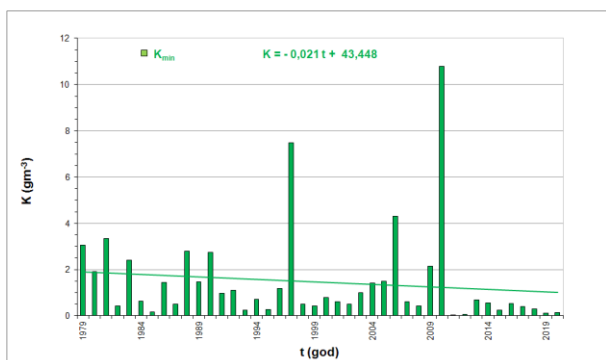
Na slici 5. prikazana je fotografija malih voda na Savi kod Zagreba, koja je snimljena 28.VIII, vrlo sušne 2003.godine ( $H = -305$  cm,  $Q = 64,0$  m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, snimila: T. Bošnjak).

Na slikama 6. i 7., iz pretpostavljenog linearnog trenda se vidi smanjivanje minimalnih i maksimalnih godišnjih koncentracija suspendiranog nanosa na Savi kod Podsuseda u periodu: 1979.-2020. godina.

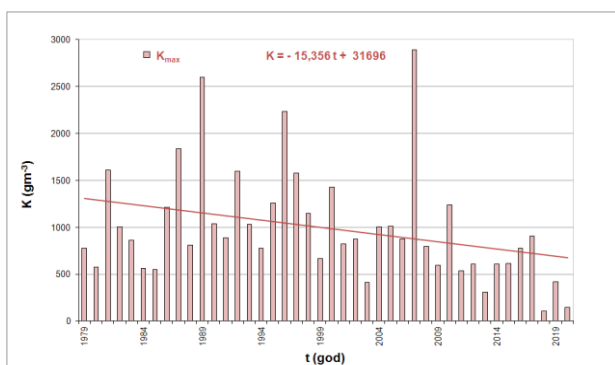
Istraživanja režima nanosa, kao bitnog faktora, dosta su zanemarena i traže hitnu akciju. U tom smislu je Savska komisija izradila Protokol o upravljanju nanosom, uz Okvirni sporazum o slivu rijeke Save, čime je dodatno potvrđena potreba za učinkovitom suradnjom između država, za promicanjem rješenja u vezi s održivim upravljanjem nanosom (SSM).



Slika 5. Fotografija malih voda na Savi kod Zagreba



Slika 6. Minimalne godišnje koncentracije suspendiranog nanosa na Savi kod Podsuseda u periodu: 1979. - 2020.



Slika 7. Maksimalne godišnje koncentracije suspendiranog nanosa na Savi kod Podsuseda u periodu: 1979. - 2020.

Kako bi se odgovorilo na te potrebe, pokrenut je projekt *Razvoj praktičnih smjernica za održivo upravljanje nanosom, koristeći sliv rijeke Save kao ogledni primjer*, na temelju inicijative Ureda UNESCO-a u Veneciji, a u suradnji s Međunarodnom UNESCO-ovom inicijativom za nanos (ISI), Europskom mrežom za nanos (SedNet) te Savskom komisijom (ISRBC). Pri tome se nastojalo razviti i potvrditi praktične smjernice o tome kako ostvariti plan za održivo upravljanje nanosom na razini riječnog sliva, koristeći sliv rijeke Save kao ogledni primjer. Projekt *Procjena bilance nanosa za rijeku Savu (BALSES)* provela je temeljna radna skupina koja je analizirala bilans nanosa za glavni tok rijeke Save, uzimajući u obzir unos iz ključnih pritoka, kako bi se na taj način pripremila osnova za održivo prekogranično upravljanje nanosom i vodama.

## 7. KLIMATSKE PROMJENE I MALE VODE

Klimatske promjene imat će sve snažnije, negativne učinke barem kroz sljedećih pet desetljeća, što zahtjeva potrebu za ulaganjem, ne samo u ublažavanje, već i u prilagodbu na posljedice klimatskih promjena. Važno je ojačati kapacitet zemalja za bolja rana upozorenja na prirodne katastrofe, a tu spadaju i hidrološke suše, kao i male vode. Klimatske promjene povećavaju rizik od prirodnih katastrofa povezanih s vremenom, što predstavlja prepreku održivom razvoju.

Iako svi mislimo da se klimatske promjene tiču nekoga drugoga, znanstvenici upozoravaju da nitko neće biti pošteđen utjecaja globalnog zatopljenja i klimatskih promjenama.

Rezultati pet klimatskih modela, prikazani kao skup srednjih vrijednosti za meteorološke stanice: Ljubljana i Zagreb za dva vremenska praga: 2011.-2040. i 2041.-2070., pokazali su da u bližoj i daljnjoj budućnosti treba računati na porast temperature zraka. Ista ova analiza za godišnje količine oborina pokazala je da treba računati s manjim porastom.

U tablici 5. prikazane su moguće promjene u srednjim sezonskim (zima, proljeće, ljeto i jesen) i godišnjem otjecanju – skup osrednjenih vrijednosti iz pet regionalnih klimatskih modela: RACMO, REMO; CLM, HadRM3Qo i RegCM3, za dva vremenska razdoblja: 2011.-2040. i 2041.-2070., za sliv rijeke Save do Zagreba (World Bank, 2015.). Rezultati iz navedenih modela pokazali su relativno velike razlike, najčešće zbog raličitih rezolucija. Rezultati iz modela za Savu kod Zagreba, u bliskoj budućnosti (2011.-2040.) pokazali su najveće povećanje srednjeg sezonskog 6,7 % koje se može očekivati u zimi, a smanjenje od -5,3 % u proljeće. U daljnjoj budućnosti (2041.-2070.) treba računati s znatnim povećanjem od 20,1 % u zimi, a sa znatnim smanjivanjem od -15,2 % u ljeto. Na godišnjoj skali, u bliskoj budućnosti treba računati s neznatnim smanjivanjem od -1,2 %, dok se u daljnjoj budućnosti može očekivati, također neznatno smanjivanje od -0,7 %. Interesantni podaci se mogu vidjeti u tablici 5. gdje se za profile hidroloških stanica i za profil Save poslije ušća Savinje, u gornjem toku sliva Save, uzvodno od Zagreba, vide moguće promjene u srednjim sezonskim i godišnjem otjecanju – skup osrednjenih vrijednosti iz pet regionalnih modela, u bliskoj i daljnjoj budućnosti.



Tablica 5. Promjene u srednjim sezonskim i godišnjem otjecanju–skup osrednjenih vrijednosti iz pet regionalnih klimatskih modela, za lokacije profila hidroloških stanica na slivu rijeke Save do Zagreba

Br.	VODOTOK STANICA/ LOKACIJA	2011-2040					2041-2070				
		XII I, II	III IV, V	VI VII, VIII	IX X,XI	GOD	XII I, II	III IV, V	VI VII, VIII	IX X,XI	GOD
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Sava-Šent Jakob	0.7%	-1.9%	-0.1%	-0.7%	-0.6%	24.4%	-1.6%	10.2%	0.0%	1.8%
2	Ljubljanka-Moste	7.5%	-3.9%	-0.6%	-6.7%	-1.3%	41.9%	3.5%	13.5%	-0.6%	7.3%
3	Sava-Litija	3.7%	-4.1%	-0.5%	-5.4%	-2.0%	30.3%	-0.5%	-9.2%	-0.9%	3.7%
4	Savinja-Laško	5.3%	-8.4%	-5.8%	1.0%	-2.5%	10.9%	-2.0%	-9.4%	8.4%	1.1%
5	Sava poslije ušća Savinje*	4.0%	-3.8%	-2.3%	-4.3%	-2.0%	27.1%	-0.5%	-8.7%	1.1%	3.6%
6	Krka-Podbočje	15.5%	-2.3%	0.2%	0.7%	2.5%	17.7%	-6.7%	24.3%	8.1%	-2.7%
7	Sava-Čatež	5.6%	-4.4%	-2.2%	-2.5%	-1.3%	23.6%	-2.3%	13.1%	0.8%	1.0%
8	Sava-Zagreb	6.7%	-5.3%	-2.5%	-2.0%	-1.2%	20.1%	-2.7%	15.2%	4.5%	0.7%

Izvor: World bank, 2015.

Tablica 6. Promjena minimalnih srednjih mjesečnih protoka 80% i 95% vjerojatnosti, promjena protoka 65% i 95% trajnosti, kao i promjena broja dana u godini s protocima ispod 95% trajnosti za Savu kod Čateža i Zagreba u bliskoj i daljnjoj budućnosti

Br.	OPIS INDIKATORA	HIDROLOŠKA STANICA	2011.-2040.	2041.-2070.
1	2	3	4	5
1	Promjene minimalnih srednjih mjesečnih protoka 80 % vjerojatnosti	Čatež (SLO)	2%	-2%
		Zagreb (HR)	1%	-1,5%
2	Promjene minimalnih srednjih mjesečnih protoka 95 % vjerojatnosti	Čatež (SLO)	1,5%	2%
		Zagreb (HR)	1%	3%
3	Promjene protoka 65 % trajnosti	Čatež (SLO)	0%	2%
		Zagreb (HR)	-1%	1%
4	Promjene protoka 95 % trajnosti	Čatež (SLO)	1,5%	-3%
		Zagreb (HR)	1%	-1%
5	Promjene u broju dana u godini s protocima ispod 95% trajnosti	Čatež (SLO)	0 dana	6 dana
		Zagreb (HR)	3 dana	4 dana

Izvor: World bank, 2015.

Kod analize klimatskih modela u slivu rijeke Save (World bank, 2015.), korišten je hidrološki model HEC-HMS. Budući klimatski scenariji su preuzeti iz pet klimatskih modela GCM/RCM, korištenjem strogog A1B scenarija (IPPC), koji su obilježeni kao klimatski modeli CM1 do CM5, a svaki klimatski model je koristio srednje dnevne protoke, koji su simulirani za tri 30-godišnja perioda:

-1961.-1990. (bazični, usporedni ili prošli klimatski scenario),

-2011.-2040. (klimatski scenario za blisku budućnost);

-2041.-2070. (klimatski scenario za daljnju budućnost).

Karakteristike budućih malih voda u gornjem dijelu sliva Save bazirane su na rezultatima hidroloških simulacija za buduće klimatske scenarije, a kao indikatori su korišteni:

- minimalni srednji mjesečni protok vjerojatnosti 80% i 95% i
- protoci 65% i 95% trajnosti s prosječne krivulje trajnosti.

Rezultati ovih simulacija prikazani su u tablici 6. Prema tim rezultatima, ne vide se značajne promjene malih voda, kako u bliskoj, tako i u daljnjoj budućnosti.

## 8. MJERE ZA SMANJIVANJE ŠTETA OD HIDROLOŠKIH SUŠA

Jedna od mogućih mjera za smanjivanje šteta od hidroloških suša je i oplemenjivanje ili povećavanje malih voda. U studiji UN (1972.) se za lokaciju Save kod Zagreba, predlagalo povećavanje protoka iz višenamjenskih akumulacija koje bi se trebale izgraditi na slijedećim lokacijama i sa slijedećim volumenima: (1) Planica –  $V = 270 \times 10^6 \text{ m}^3$ , (2) Radovljica –  $V = 77 \times 10^6 \text{ m}^3$ , (3) Soteska –  $V = 70 \times 10^6 \text{ m}^3$ , (4) Igla – Lučica –  $V = 35 \times 10^6 \text{ m}^3$ , (5) Lučica –  $V = 233 \times 10^6 \text{ m}^3$ , (6) Damalj –  $V = 145 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Napominjem da je čitava "filozofija" razrađena u vrijeme jedinstvenog tretiranja sliva Save u bivšoj Jugoslaviji i da bi se prve četiri višenamjenske akumulacije trebale graditi na teritoriju Republike Slovenije. Postavlja se pitanje: koliko mi danas možemo računati s ovakvom koncepcijom oplemenjivanja malih voda? Ilustracije radi, interesantan je podatak za srednji tok Save, dakle nizvodno od Zagreba, gdje se prema preporukama iz studije UN (1972.), akumulacije Lonjsko i Mokro polje sistema Srednje Posavlje osim za obranu od poplava mogu koristiti i za oplemenjivanje malih voda. U razdoblju VII – IX mjesec, kada su ove akumulacije gotovo van pogona za obranu od poplava, moguće je bar  $600 \text{ hm}^3$  od ukupnih  $1132 \text{ hm}^3$  koristiti kao retenciju za oplemenjivanje malih voda Save, odnosno održavanje minimalne dozvoljene protoke ( $Q_{MDP}$ ) za razne korisnike.

Futurističko rješenja za smanjivanjem šteta od hidroloških suša je i oplemenjivanje ili povećavanje malih voda, kako površinskih tako i podzemnih voda, je i ideja o prebacivanju voda iz sliva u sliv. Prema rezultatima analize (Trninić, D., 1992.) vidljivo je da bi najpovoljnije prebacivanje bilo iz Drava u Savu i obrnuto. Drava ima kišno-ledenjački režim i njena je vodnost najveća u kasno proljeće i ljeto, kada Sava, ima najmanju vodnost. Pred futurističku ideju, kakva je i ova ideja o prebacivanju voda iz sliva u sliv, uvijek se postavljaju mnogobrojna pitanja, ali ipak ovu ideju ne treba sasvim eliminirati. Također treba analizirati potrebe mnogobrojnih korisnika voda u širem području grada Zagreba, naročito za vrijeme razdoblja hidroloških suša, kao i cijenu realizacije ove ideje.



Slika 8. Male vode Save kod Zagreba – Jankomirski most (snimila T.Bošnjak, 7.X 2011.)

## 9. ZAKLJUČCI I PREPORUKE

Problematika malih voda je vrlo složena i ovisi od mnogih faktora, kao što su prirodni: klimatološki, hidrogeološki, morfološki, psamološki, kao i antropološki.

U radu se analizirani dio sliva Save od izvora do profila hidrološke stanice Zagreb, tretira kao jedinstvena hidrološka cjelina, bez obzira na administrativne granice. S obzirom da se svi najvažniji meteorološki i hidrološki procesi generiraju u tom dijelu sliva razumljivo je da su se u skoro svim analizama koristili svi dostupni meteorološki i hidrološki podaci.

Analize malih voda služe kao temeljna podloga za razne korisnike voda, kao što su: energetika, poljoprivreda, opskrba naselja i industrije vodom, riječni i kanalski promet, prostorno planiranje, zaštita voda, turizam, specijalne potrebe i slično.

Rezultati ovoga rada su pokazali da treba nastaviti s monitoringom: meteoroloških, hidroloških, morfoloških, psamoloških i drugih veličina, uz uvažavanje antropoloških utjecaja i klimatskih varijabilnosti i promjena. Isto tako treba nastaviti s razvojem općih i regionalnih klimatskih modela koji nam daju procjenu onoga što će se dešavati u bliskoj i daljnjoj budućnosti.

Iako svi mislimo da se klimatske promjene tiču nekoga drugoga, znanstvenici upozoravaju da nitko neće biti pošteđen klimatskih varijacija i promjena i da treba sve intenzivnije razmišljati o mjerama i adaptaciji na antropološke faktore, te klimatske varijabilnosti i promjene.

Potreba za školovanjem specijaliziranih kadrova, na svim razinama u hidrologiji, meteorologiji, klimatologiji, geologiji, kao i u svim drugim znanostima, koje na bilo koji način imaju dodira sa vodom, postaje jedan od ključnih problema.

Samo sveobuhvatnim pristupom moći će se odgovoriti sve većim potrebama za vodom, koja kao ključna sirovina, koja je prostorno i vremenski vrlo nejednoliko raspoređena, sve više postaje faktor ograničavanja gospodarskog i društvenog razvoja.

Priroda ima svoje zakonitosti, čovjek je „zadužen“ za antropogene utjecaje, a sve intenzivnije klimatske promjene čine ovu problematiku još zahtjevnijom.

Voda za život.

Znanje za vodu.

#### LITERATURA

- [1] Bonacci, O. (1996.): Promjene hidrološkog režima Save u okolici Zagreba. *Zagrebačka vodoprivreda*, 5, 17, 35-40.
- [2] Bonacci., Trninić, D., (1986.): Analiza uzroka i prognoza promjena vodostaja Save i nivoa podzemnih voda u okolici Zagreba. *Vodoprivreda*, 18, 2-3, 95-101.
- [3] Bonacci., Trninić, D., (1988.): Changes in the forecast Conditions on the river Sava near Zagreb. *XIV Conference of the Danube Countries on Hydrological Forecasts*, 53-62.
- [4] Kratofil, L. (2000): Promjene vodnog režima Save uzrokovane ljudskom djelatnošću. *Savjetovanje: Hidrologija i vodni resursi Save u novim uvjetima*, 335-352.
- [5] Prohaska, S. (2003.): *Hidrologija – I deo*, Rudarsko - geološki fakultet, Institut za vodoprivredu „J. Černi“ RHMZ Srbije, Beograd, 428 st.
- [6] Prohaska S. (2017.): *Hidrologija III deo*, Institut za vodoprivredu „J.Černi“ RHMZ Srbije, Beograd, 196 st.
- [7] Šiklomanov, L. A. (1979.): *Antropogenie izmenenia vodnosti rek*, Gidrometeoizdat, Leningrad.
- [8] Talaksen, L. M., Van Lanen, H. A. J. (2004.): *Hydrological Drought – Processes and estimation methods for streamflow and groundwater*, Elsevier, 579 pp.
- [9] Trninić, D. (1984.): Prilog hidrološkoj analizi malih voda. *Građevinar XXXVI*, 10, 397-404.
- [10] Trninić, D. (1986.): Analiza izdašnosti malih voda u slivu rijeke Save. *Drugi kongres o vodama Jugoslavije*, Ljubljana, SSVIZ, 10, 397-404.
- [11] Trninić, D. (1993.): Male vode na Savi kod Zagreba. *Hrvatske vode*, I, 3, 195-199.
- [12] UN (1972): *Studija regulacije i uređenja Save u Jugoslaviji*. Konačni izvještaj. Polytechna - Hydro projekt, Carlo Lott& C., Praha – Roma.
- [13] Vladimirov, A. M. (1976.): *Stok rek v malovodniy period*. Gidrometeoizdat, Leningrad, 294.
- [14] Višenamjenski hidrotehnički sustav uređenja, korištenja rijeke Save i zaobalja od granice sa Slovenijom do Siska. *Vodoprivredni projektni biro d.d.*, Zagreb.
- [15] World Bank (2015.): *Water and Climate Adaptation. Plan for the Sava River Basin – Final Report*
- [16] Zelenhasić, E. (1985.): *Analiza malih rečnih voda*. Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 107 st.
- [17] Zelenhasić, E., Salvai, A., Srđević, A., Pantić, M. *Stochastic analysis of low river streamflows*, College of Agriculture. Novi Sad. 173 pp.

THE SAVA RIVER BASIN LOW WATERS ANALYSIS FOR  
THE PERIOD: 1926 – 2020

by

Dušan TRNINIĆ, PhD, Scientific Advisor  
Retired from Meteorological and Hydrological Service, Zagreb  
trnincmdusko@hotmail.com

Tomislava BOŠNJAK, CE  
Meteorological and Hydrological Service, Zagreb  
bosnjak@cirus.dhz.hr

Summary

The paper analyzes the low waters of the Sava River to the City of Zagreb in the period: 1926-2020. (N= 95 years), with detailed processing on the Sava profile: Zagreb. Although the lower extremes, such as hydrological droughts and low waters, are not as spectacular as the upper extremes – high and flood waters, they still need to be given due attention. Statistical analysis of waters is based on the lowest measured, showing the thresholds of low waters of different durations and return periods of the Sava near Zagreb, as well as two reference flows below which the

maksimum annual volumes of isolated waves are defined.

A review of morfological and psamological characteristics warns of increasing changes, with an emphasis on increasingly pronounced deepening of the riverbed. Finally, conclusions and recommendations are given, both for the present and an assessment of changes for the near and distant future.

Keywords: low waters, Sava, water scarcity, volume, sediment, climate change, damage reduction