

8. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA CROATIAN WATER CONFERENCE

S MEĐUNARODNIM SUDJELOVANJEM / WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION



HRVATSKE VODE U PROIZVODNJI HRANE I ENERGIJE CROATIAN WATERS IN FOOD AND ENERGY PRODUCTION

ZBORNİK RADOVA / PROCEEDINGS

POREČ, 23. - 25. studeni/November 2023.

8. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
S MEĐUNARODNIM SUDJELOVANJEM

**HRVATSKE VODE
U PROIZVODNJI
HRANE I ENERGIJE**

*8th CROATIAN WATER CONFERENCE
WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION*

**CROATIAN WATERS
IN FOOD AND ENERGY
PRODUCTION**

**ZBORNİK RADOVA
*PROCEEDINGS***

POREČ

23. - 25. STUDENI (NOVEMBER) 2023.

Izdavač:

HRVATSKE VODE
Zagreb, Ulica grada Vukovara 220

Uredništvo

doc. dr. sc. Danko Biondić
doc. dr. sc. Danko Holjević
Marija Vizner, dipl.ing.

Likovno rješenje ovitka

MIODIO d.o.o. Rijeka

Grafička priprema

DIO d.o.o. Rijeka

ISBN: 978-953-7672-29-4

CIP zapis dostupan u računalnome katalogu
Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu
pod brojem 001205173

Autori su u potpunosti odgovorni za sve što je iznijeto u njihovim radovima. Izdavač, uredništvo Zbornika radova, te članovi Znanstveno - stručnog i Organizacijskog odbora 8. hrvatske konferencije o vodama u svezi s time ne snose nikakvu odgovornost.

8. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
8th CROATIAN WATER CONFERENCE

**HRVATSKE VODE U PROIZVODNJI
HRANE I ENERGIJE**

*CROATIAN WATERS IN
FOOD AND ENERGY PRODUCTION*

**ZBORNİK RADOVA
*PROCEEDINGS***

UREDNIŠTVO
EDITORS

DANKO BIONDIĆ
DANKO HOLJEVIĆ
MARIJA VIZNER

POREČ, 2023.

R 1.07.	Julija Prpić, Damir Tomas, Stjepan Kamber UTJECAJ KLIMATSKIH PROMJENA U OBALNOM PODRUČJU I SUZBIJANJE POSLJEDICA - TALIJANSKO - HRVATSKA SURADNJA (INTERREG)	179
R 1.08.	Ivana Sušanĳ Čule, Goran Volf, Nevenka Ožanić, Barbara Karleuša REZULTATI HIDROLOŠKIH MJERENJA I STANJE KVALITETE VODA MALIH VODNIH RESURSA	187
R 1.09.	Vedran Ivezić KORIŠTENJE DALJINSKIH MJERENJA ZA ODREĐIVANJE HIDROLOŠKIH VELIČINA	197
R 1.10.	Anna Maria Mihel, Nino Krvavica, Jonatan Lerga, Dijana Oskoruš PRIMJENA UMJETNE INTELIGENCIJE U PROCJENI HIDROLOŠKIH PARAMETARA PRIOBALNIH RIJEKA	205
R 1.11.	Dora Varjačić, Dijana Oskoruš, Karlo Leskovar IZRADA HIDROLOŠKOG MODELA RIJEKE BEDNJE BAZIRANOG NA POVRATNOJ NEURONSKOJ MREŽI	213
R 1.12.	Tea Kos, Dijana Oskoruš, Karlo Leskovar IZRAČUN PRONOSA NANOSA U RIJECI DRAVI	225
R 1.13.	Dijana Oskoruš, Sanĳa Kapelĳ, Anita Ptiček Siročić, Saša Zavrtnik, Danko Biondić MODERNIZACIJA MONITORINGA PRONOSA SUSPENDIRANOG NANOSA NA PRIMJERU HIDROLOŠKE POSTAJE SAVA - SLAVONSKI BROAD	235
R 1.14.	Stevan Prohaska, Vladislava Bartoš Divac, Ognjen Prohaska, Aleksandra Ilić STOHAŠTIČKE KARAKTERISTIKE OSNOVNIH PARAMETARA REŽIMA VODA REKE SAVE U PROFILU HS ŽUPANĳA	245
R 1.15.	Karlo Leskovar, Jelena Loborec, Dijana Oskoruš, Ranko Biondić ANALIZA TRENDOVA OBORINA I PROMJENA BILJNOG POKROVA NA SLIVU RIJEKE KUPE	253
R 1.16.	Karlo Leskovar, Dijana Oskoruš, Lucija Plantak, Hrvoje Meaški PRIMJENA POVRATNE NEURONSKE MREŽE U PREDVIĐANJU OTJECANĳA UZROKOVANOG OTAPANJEM SNIJEGA NA SLIVU RIJEKE KUPE	267
R 1.17.	Igor Ružić, Maja Radišić, Duĳe Kalajžić, Andriĳana Brozinčević, Nikola Markić, Kazimir Miculinić, Andrea Tadić, Josip Rubinić ISTRAŽIVANĳA LOMA SEDRENE BARIJERE NA MILINOM JEZERU U NP PLITVIČKA JEZERA	279
R 1.18.	Goran Volf, Petar Žutunić, Mariĳa Gligora Udovič, Antonija Kulaš, Perica Mustafić MODELIRANĳE FITOPLANKTONA AKUMULACIJE BUTONIGA	289

UVOD

Osma hrvatska konferencija o vodama održana je od 23. do 25. studenog 2023. godine u Poreču pod motom **HRVATSKE VODE U PROIZVODNJI HRANE I ENERGIJE**. Na konferenciji se kroz četiri tradicionalne znanstveno - stručne teme:

- 1. Stanje voda i o vodi ovisnih ekosustava, hidrološki ekstremi i njihove posljedice, trendovi - oborine, kopnene površinske vode, podzemne vode, prijelazne vode i priobalno more,**
- 2. Sustavi uređenja i korištenja voda i zemljišta - stanje i razvojni projekti,**
- 3. Sustavi javne vodoopskrbe, odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda - stanje i razvojni projekti,**
- 4. Vodna politika, obrazovanje, vodnogospodarsko planiranje, međunarodna suradnja i sudjelovanje javnosti,**

sveobuhvatno i interdisciplinarno raspravljalo o stanju voda i upravljanju vodama u Hrvatskoj, a rasprave su rezultirale korisnim smjernicama za budućnost.

Složena geopolitička situacija u svijetu u posljednje vrijeme uzrok je brojnim poremećajima na tržištima hrane i energije, pa je zato za Hrvatsku kao i za sve druge države od iznimne važnosti imati učinkovitu vlastitu proizvodnju tih dobara, ali i kvalitetno upravljanje vodama kao nužan preduvjet.

Prošle 2022. godine nas je zadesilo dugotrajno sušno razdoblje. Vodoopskrbni izvori u čitavoj državi bili su smanjene izdašnosti, mnogi manji vodotoci su presušili, a na nekim velikim rijekama zabilježeni su povijesni minimumi. Na nekim područjima bile su blaže redukcije potrošnje vode, ali bez prestanka vodoopskrbe stanovništva i turista usred turističke sezone, čime su potvrđeni rezultati višedesetljetnih intenzivnih ulaganja u razvoj vodoopskrbe, naročito u iznalaženje novih izvorišta vode za piće i alternativnih mogućnosti vodoopskrbe nekih područja koja su ranjiva od suše. Ponovno se pokazalo da nas statistički podaci po kojima je Hrvatska po stanovniku bogata vodom ne smiju zavaravati, jer primjerice stanovnicima i turistima na nekim jadranskim otocima apsolutno ništa ne znači što panonskim dijelovima Hrvatske teku velike rijeke i što su u podzemljima nekih gradova kao primjerice Zagreba i Varaždina veliki aluvijalni vodonosnici koji obiluju podzemnom vodom. Prošlogodišnja iskustva ukazuju da treba nastaviti s intenzivnim ulaganjima u javnu vodoopskrbu naročito u Istri, ali i na drugim područjima koja pogađa suša. Također treba intenzivirati realizaciju projekata smanjenja gubitaka vode iz vodoopkrbnih mreža čime će se postići značajne uštede pitke vode.

Ove 2023. godine su nas zadesile intenzivne kiše i posljedično velike vode i poplave. Na mnogim područjima širom Hrvatske i u susjednim zemljama zabilježeni su povijesni meteorološki i hidrološki maksimumi. Službe koje sudjeluju u operativnoj obrani od poplava dobro su reagirale. Usprkos teškim situacijama širom države, nigdje nije bilo ljudskih žrtava, a poplavne štete bile su minimalne. Sustavno unapjeđivanje postojećih sustava obrane od poplava sukladno novozabilježenim hidrološkim maksimumima i njihova dogradnja tamo gdje ih nema i nadalje mora biti prioritarna zadaća vodnoga gospodarstva. Sve intenzivniji meteorološki i hidrološki ekstremi koji se ciklički izmjenjuju nalažu sustavno unapjeđivanje upravljanja vodnim režimima uz poštivanje najviših standarda

zaštite okoliša i prirode propisanih vlastitim zakonodavstvom u koje su transponirani zahtjevi europske pravne stečevine.

U 2020. godini su nas zadesili katastrofalni potresi u Zagrebu i na Banovini. Vodne građevine su na mnogim mjestima bile teško oštećene. Njihova sanacija je trajala sve do ove godine, pri čemu su naši inženjeri stekli brojna nova iskustva.

Vlada Republike Hrvatske je 28. lipnja 2023. godine donijela Odluku o donošenju Plana upravljanja vodnim područjima do 2027. (Narodne novine, broj 84/23), temeljnog planskog dokumenta upravljanja vodama tijekom sljedećih nekoliko godina. Dokument se sastoji od dvije komponente upravljanja vodnim područjima: upravljanje stanjem voda i upravljanje rizicima od poplava. Upravljanje stanjem voda sadrži novelirani pregled stanja voda, pregled sustava praćenja stanja voda, te program mjera za upravljanje stanjem voda na vodnim područjima u planskom razdoblju 2022. - 2027. godine, koje su usmjerene na dostizanje ciljeva zaštite voda. Upravljanje rizicima od poplava sadrži zaključke Prethodne procjene rizika od poplava, prikaz karata opasnosti od poplava i karata rizika od poplava, ciljeve za upravljanje rizicima od poplava te program mjera za ostvarenje tih ciljeva, uključujući preventivne mjere, zaštitu, pripravnost, prognoziranje poplava i sustave za obavještanje i upozoravanje, sa ciljem smanjenja mogućih štetnih posljedica poplava na ljudsko zdravlje i sigurnost, na vrijedna dobra i imovinu, te na vodni i kopneni okoliš.

Posljednjih desetak godina, a naročito u posljednje vrijeme, razvojni projekti su intenzivirani, kako bi se što prije dosegli ciljevi upravljanja vodama i kako bi se u što većoj mjeri iskoristila bespovratna financijska sredstva raspoloživa u europskim fondovima. Ukupne vrijednosti godišnjih realizacija Planova upravljanja vodama Hrvatskih voda su se u razdoblju od 2013. do 2019. godine kretale u rasponu od oko 310 do oko 446 milijuna eura, da bi nakon toga uslijedio značajan uzlazni trend. Godine 2020. realizacija je iznosila oko 487 milijuna eura, godine 2021. oko 688 milijuna eura, godine 2022. oko 752 milijuna eura, da bi Planom upravljanja vodama za 2023. godina bila predviđena ukupna realizacija od oko 959 milijuna eura. Razlog tom trendu je intenzivno korištenje raspoloživih sredstava iz različitih EU fondova.

Navedeni izazovi su okviri u kojima danas djeluje hrvatsko vodno gospodarstvo i o svemu tome bilo je riječi na konferenciji. U okviru konferencije bili su organizirani i okrugli stolovi o prilagodabama klimatskim promjenama i o geotermalnim vodama.

Osim znanstvenika i stručnjaka iz Hrvatske, na osmoj hrvatskoj konferenciji o vodama sudjelovali su i inozemni znanstvenici i stručnjaci, koji su iznosili iskustva iz svojih zemalja u upravljanju vodama. Radovi objavljeni u Zborniku radova pisani su na službenim jezicima konferencije, hrvatskom i engleskom jeziku. Nekoliko radova pisanih na bosanskom i srpskom jeziku objavljeno je u izvornicima i nisu prevedeni na hrvatski jezik.

Organizatori konferencije

Hrvatska komora inženjera građevinarstva, Hrvatski savez građevinskih inženjera, Hrvatsko društvo za odvodnju i navodnjavanje, Hrvatsko društvo za zaštitu voda, Hrvatsko geografsko društvo, Hrvatsko geološko društvo, Hrvatsko geomorfološko društvo, Hrvatsko geotehničko društvo, Hrvatsko hidrološko društvo, Hrvatsko ihtiološko društvo, Hrvatsko tloznanstveno društvo, Hrvatska udruga za sanitarno inženjerstvo, Udruga za očuvanje hrvatskih voda i mora - Slap



8. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE U PROIZVODNJI HRANE I ENERGIJE

POREČ 23. - 25. STUDENI 2023.

REFERATI PO POZIVU

Urednik:

Danko Biondić



R 1.14.

STOHAŠTIČKE KARAKTERISTIKE OSNOVNIH PARAMETARA REŽIMA VODA REKE SAVE U PROFILU HS ŽUPANJA

**Stevan Prohaska, Vladislava Bartoš Divac,
Ognjen Prohaska, Aleksanda Ilić**

SAŽETAK: U dosadašnjoj praksi sve metode hidroloških proračuna polazile su od činjenica da je hidrološki niz sastavljen iz serije nezavisnih članova (slučajnih događaja). Metode proračuna bazirale su se na primeni različitih empirijskih formula, ili su proizašle kao rezultat primene teorije statistike, odnosno verovatnoće. Daljim istraživanjem došlo se do zaključka da, uglavnom, između članova hidrološke serije postoji korelaciona zavisnost, odnosno da su članovi serije, u Markovljevom smislu, hronološki uslovno vezani, odnosno hidrološke serije su stohastički procesi. Sa ovim u vezi, dalja istraživanja su pokazala da analiza unutrašnje stohastičke strukture hidrološke serije predstavlja važan faktor pri definisanju zakonomernosti razvoja procesa, što u savremenom svetu predstavlja osnovu za donošenje bilo kakvih odluka opšteg vodoprivrednog značaja.

U ovom radu prikazane su osnovne stohastičke karakteristike režima voda reke Save u profilu hidrološke stanice (HS) Županja, počev od analize homogenosti i nezavisnosti, zatim unutargodišnje raspodele protoka, kao i pojave trenda i cikličnosti. Osnovni cilj analize je da se definiše dužina merodavnog perioda za ocenu vodnosti sliva reke Save u navedenom profilu.

KLJUČNE REČI: Srednji godišnji protok, Homogenost, Nezavisnost, Trend, Cikličnost, Unutargodišnja raspodela

STOCHASTIC CHARACTERISTICS OF THE MAIN SAVA WATER REGIME PARAMETERS AT THE PROFILE OF THE HS ŽUPANJA

ABSTRACT: In current practice, all hydrological calculation methods start out from the fact that a hydrological sequence consists of a series of independent members (random events). The calculation methods are based on the application of different empiric formulas, or they resulted from the application of the theory of statistics, i.e. probability. Further research lead to the conclusion that there is mostly a correlational dependence among the members of a hydrological series, i.e. that the members of a series, in Markov's sense, are conditionally bound chronologically, i.e. hydrological series are stochastic processes.

Further research showed that the analysis of internal stochastic structure of a hydrological series is an important factor in the definition of the regularity of process development, which, in the contemporary world, forms the basis of making any decisions of general water management importance.

The paper presents the main stochastic characteristic of the Sava water regime at the profile of the hydrological station (HS) Županja, starting from the analysis of homogeneity and independence, intra-annual distributions of discharge, emergence of a trend and cyclicity. The main purpose of the analysis is to define the length of the period for assessing the Sava water regime at the stated profile.

KEYWORDS: Mean annual discharge, Homogeneity, Independence, Trend, Cyclicity, Intra-annual distribution

1. UVOD

U novije vreme savremena hidrološka praksa zahteva relativno pouzdanije poznavanje unutrašnje strukture razvoja hidroloških procesa u vremenu. Tu se pre svega misli na razotkrivanje zakonitosti smenjivanja kišnih i sušnih perioda/godina čije poznavanje je od kapitalne vrednosti za izradu strategije dugoročnog vodoprivrednog razvoja, posebno u oblasti korišćenja voda (izgradnja akumulacija), poljoprivrede, hidroenergetika i drugo.

Najnovije najavljene očekivane promene klime ovakvu vrstu analiza samo pospešuju. Nagle promene pojedinih klimatskih parametara imaju za posledicu promenu karaktera osnovnih stohastičkih karakteristika tokom višegodišnjeg vremenskog perioda. Tu se pre svega misli na pojavu izraženijeg trenda u srednjoj vrednosti stohastičke vremenske serije ili promenu parametara periodične (ciklične) komponente serije, kao što su perioda cikličnosti, amplituda ili fazno pomeranje.

Svrha proračuna svih ovih karakteristika je da se identifikuje homogenost i nezavisnost u razmatranim veoma dugim vremenskim serijama i time se razotkrije (ne)postojanje prirodnih i antropogenih trendova, kao i eventualnih trendova izazvanih klimatskim promenama. Korelaciona i spektralna analiza, kao i periodogram analiza sa rezultatima analize primene Furijeovih transformacija, treba da ukaže na postojanje prirodne cikličnosti u razmatranim serijama proticaja, da identifikuje eventualno narušavanje istih, sa ocenom mogućih uzročnika.

U ovom radu predmet istraživanja je analiza stohastičke strukture serije srednje godišnjih protoka reke Save u profilu hidrološke stanice Županja. Zbog ograničenosti prostora obuhvaćene su same analize homogenosti, nezavisnosti, unutargodišnja raspodela protoka kao i analiza trenda i cikličnosti.

2. METODOLOGIJA PRORAČUNA STOHAŠTIČKIH KARAKTERISTIKA SERIJA SREDNJIH GODIŠNJIH PROTOKA

2.1 Homogenost, nezavisnost i unutargodišnja raspodele protoka

Za ocenu homogenosti, dokumentacija [1], uglavnom se testiraju statistički parametri na bazi uzorka slučajne promenljive X , i to: srednja vrednost serije \bar{X} , koja je najznačajnija

karakteristika, i disperzija S_X^2 , koja ukazuje na varijaciju slučajno promenljive X tokom perioda. Testovima se ispituje da li navedeni statistički parametri, ocenjeni na bazi dva uzorka obima n_1 i n_2 , pripadaju istoj populaciji.

Za testiranje srednje vrednosti, za prag značajnosti α , koriste se normalizovan Z-test i Studentov T-test, dok se za testiranje varijanse koriste Fišerov F-test.

Postavljaju se nulte hipoteze: $H_0: \mu_{X_1} = \mu_{X_2} = \mu_X$ za srednju vrednost i $H_0: \sigma_{X_1}^2 = \sigma_{X_2}^2 = \sigma_X^2$ za varijansu. Suština testiranja sastoji se u ispitivanju da li srednje vrednosti dva uzorka \bar{X}_1 i \bar{X}_2 obima n_1 i n_2 pripadaju istoj populaciji, odnosno testira se nulta hipoteza: $H_0: \bar{X}_1 \cong \bar{X}_2$.

Zavisno of broja uzoraka koriste se Normalizovan Ztest ako je $n_1, n_2 > 30$ ili Studentov T-test, ako je $n_1, n_2 < 30$.

Normalizovan Z-test polazi od pretpostavke da je slučajno promenljiva X normalno raspoređena i da su članovi serije međusobno nezavisni. Kriterijum testa je statistika $Z = \frac{X_1 - X_2}{\sigma_{X_1 - X_2}}$, gde je $\sigma_{X_1 - X_2}$

$$= \sqrt{\frac{\sigma_{X_1}^2}{n_1} - \frac{\sigma_{X_2}^2}{n_2}}$$

koja ima $N(0,1)$ raspodelu, pa se nulta hipoteza prihvata ako je: $Z_{\alpha/2} < Z < Z_{1-\alpha/2}$

Studentov T-test pretpostavlja da se slučajno promenljiva X pokorava normalnom zakonu raspodele i da su varijanse dva uzorka jednake, tj. nulta hipoteza je: $H_0: \sigma_{X_1} = \sigma_{X_2} = \sigma_x$

Kriterijum za proveru nulte hipoteze je statistika: $t = \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2 \cdot (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}} \cdot \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{n_1 \cdot \sigma_{X_1}^2 + n_2 \cdot \sigma_{X_2}^2}}$ koja ima

Studentovu raspodelu $S_0(t)$ sa $v = n_1 + n_2 - 2$ stepeni slobode. Nulta hipoteza se prihvata ako je: $t_{\alpha/2} \leq t \leq t_{1-\alpha/2}$, gde je t_α - kritična vrednost Studentove raspodele za rizik α , σ_x - srednje kvadratno odstupanje slučajne promenljive X.

Za testiranje homogenosti disperzije slučajne serije X, korišćen je Fišerov test. Uslov za primenu ovog testa je da su elementi populacije (članovi serije) nezavisni, da su dva uzorka (podserije) normalno raspoređena i da parametri populacije nisu poznati. Nulta hipoteza je:

$H_0: \sigma_{X_1} \cong \sigma_{X_2}$ Kriterijum za jednakost dveju disperzija je statistika $F = \frac{\sigma_{X_1}}{\sigma_{X_2}}$ ($\sigma_{X_1} \geq \sigma_{X_2}$)

koja ima Fišerovu raspodelu sa $v_1 = n_1 - 1$ i $v_2 = n_2 - 1$ stepeni slobode. Nulta hipoteza se prihvata ako je: $F < F_{1-\alpha}(v_1, v_2)$, gde je F_α - kritična vrednost po Fišerovoj raspodeli za koeficijent rizika α .

Pri analizi hidrometeoroloških vremenskih serija primenom teorije matematičke statistike, neophodan je uslov da članovi serije budu međusobno nezavisni, tj. da predstavljaju slučajne veličine. Za ocenu nezavisnosti (zavisnosti) članova vremenske serije korišćen je test uzastopnih razlika, tzv. Nejmanov test. Uslov za prihvatanje nulte hipoteze H_0 : vremenska serija X je sastavljena od niza

nezavisnih članova X_i jeste da je statistika $U = \frac{\frac{d^2}{2} - 1}{\sigma_X^2}$ približno normalno raspoređana po

$N(0,1)$ raspodeli, gde je $d^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} (X_{i+1} - X_i)^2$. Region prihvatanja nulte hipoteze za

koeficijent rizika α je $U_{\alpha/2} < U < U_{1-\alpha/2}$

Sva testiranja homogenosti (srednjih višegodišnjih vrednosti i disperzija) i nezavisnosti članova vremenskih serija izvršena su za vrednost koeficijenta rizika $\alpha = 0,5$ (tj. $\alpha = 5\%$), odnosno na nivou poverenja $1 - \alpha = 0,95$ (odnosno $1 - \alpha = 95\%$). Pri testiranju homogenosti vremenske serije su podeljene na dve podserije približno istih dužina ($n_1 \cong n_2$), ako nema drugih opravdanih razloga (primena metode dvostrukih sumarnih linija).

2.2 Linearni trend i spektralna analiza

U analizi unutrašnje strukture vremenskih serija, trend u srednjoj vrednosti predstavlja bitnu osobinu hidroloških serija. Pri analizi trenda u hidrološkoj praksi je uobičajeno da je prethodno u serijama srednjih godišnjih protoka izvršena identifikacija linearnog trenda. Jednačina linearnog trenda glasi $T_t = a + b t$, gde je T_t - vrednost trenda u vremenskom trenutku t , a a i b - parametri koji se dobijaju metodom najmanjih kvadrata.

Ocena statističke značajnosti identifikovanih trendova vrši se pomoću testa sa uključivanjem modifikacije. Iskustvo je pokazalo da se prilikom identifikacije trenda mora voditi računa o dužini niza i apsolutnim vrednostima serije, tako su ovim testom modifikovani osnovni nizovi slučajno promenljive Q . Ovo se postiže uvođenjem nove promenljive: $Q^*(i) = 1 + \frac{(Q_i - Q_{min}) \cdot N}{Q_{max} - Q_{min}}$ gde je $Q^*(i)$ vrednost modifikovane promenljive Q_i u i -tom trenutku, Q_{min} minimalna vrednost slučajne promenljive Q , Q_{max} maksimalna vrednost slučajne promenljive Q , N ukupan broj podataka slučajne promenljive Q . Sa ovako definisanom promenljivom $Q^*(i)$ računa se linearni trend sa koeficijentom pravca

(nagibom) β . Ako se pokaže da je identifikovani nagib trenda veći od $|\beta| > 1,96 \sqrt{\frac{12}{N^3}}$, zaključuje se da je trend značajan na pragu poverenja od 5 %.

2.3 Analiza cikličnosti serije srednjih godišnjig protoka

Analiza cikličnosti serije srednjih godišnjih protoka Save vrši se primenom integralne krive modulnih odstupanja.

2.4 Unutargodišnja raspodela protoka

Unutargodišnja raspodela srednjih mesečnih protoka ukazuje na prosečni raspored protoka unutar godine i omogućava ocenu vodnosti perioda tokom godine.

3. REZULTATI TESTIRANJA

3.1. Homogenost i nezavisnost

Testiranje serije srednjih godišnjih protoka reke Save na HS Županja izvršeno je na osnovu podataka Državog hidrometeorološkog zavoda Republike Hrvatske za period 1946. - 2018.

Za potrebe analize homogenosti serija je podeljena na dva dela iste dužne. Osnovni statistički parametri ukupne serije, kao i novih serija (I i II) - srednja vrednost Q_{sr} , standardna devijacija σ koeficijenti varijacije C_v i koeficijent asimetrije C_s prikazani su u tabeli. 1.

Tabela 1. Statistički parametri serija srednjih godišnjih protoka Save za različite periode

Statistički parametar	Ukupna niz	Serija I	Serija II	
	1946-2018	1946-1981.	1982-2018.	
srednje vrednost Q_{sr}	1114,5	1171.5	1059.0	
standardna devijacija σ	229,7	204,4	241,9	
koeficijenti varijacije C_v	0,206	0,175	0,228	
koeficijenti asimetrije C_s	0,450	0,073	0,078	

Vidi da serija II ima manju srednju vrednost oko 10 %, a disperzija je povećana za preko 18 %, što se odrazilo na povećanje koeficijenta varijacije za oko 30 %, dok se koeficijent asimetrije smanjio za manje od 10 %. To samo ukazuje na moguću stohastički karakter serije srednjih godišnjih protoka reke Sava na profilu HS Županja.

Testiranjem homogenosti serije srednjih godišnjih protoka dobijeni su sledeće vrednosti $Z = 2,17$, što je van granica prihvatanja nulte hipoteze - $1,96 < Z < 1,96$ i $t = 2,278$, što je, takođe, van granica prihvatanja nulte hipoteze - $2,00 < t < 2,0$. Oba testa ukazuju da je razmatrana serija srednjih godišnjih protoka nehomogena.

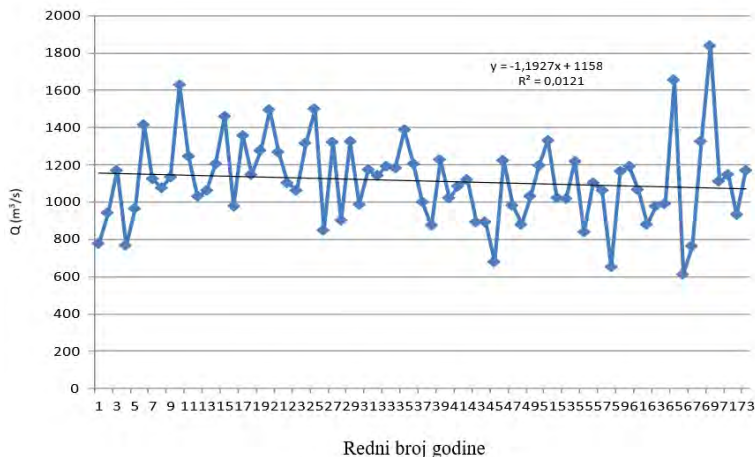
Testiranjem homogenosti disperzije dobijeno je $F = 1,032$, što je u granici prihvatanja nulte hipoteza $F < F_{1-\alpha/2} = 1,765$, čime je pokazano da je disperzije razmatrane vremenske serije homogena.

Testiranjem nezavisnosti članova serije dobijeno je $d^2 = 1.035.027,74$, standardna devijacija osnovnog niza $\sigma_x = 229,7 \text{ m}^3/\text{s}$, ukupna dužina niza $N = 72$ godine, $U = 75,7$, što znatno izlazi iz intervala - $1,96 < U < 1,96$.

Prema tome sledi nadvosmislen zaključak da je razmatrana serije srednjih godišnjih protoka reke Save na profilu HS Županja sastavljena od statistički zavisnih članova niza, tj. da u suštini predstavlja stohastički proces.

3.2 Linearni trend

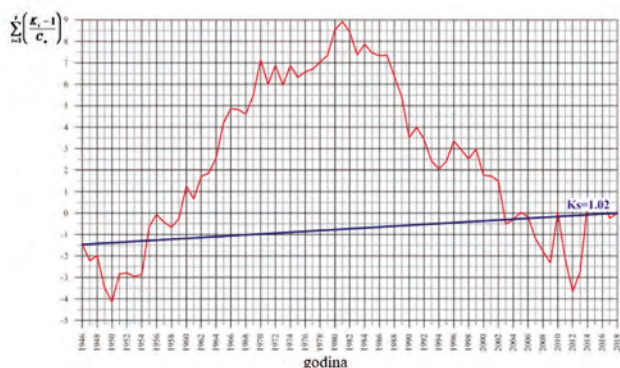
Sračunata jednačina linearnog trenda razmatrane vremenske serije $Q_{sr} = -1,193 \cdot t + 11.458,6$, sa koeficijentom korelacije $R = 0,021$ ukazuje da je trend negativan, a koeficijent korelacije statistički beznačajan. Test Kandell - Stuarta, gde je $\beta = |-1.193| > 1.96 \sqrt{\frac{12}{72^3}} = 0,011$ ukazuje da je, na nivou poverenja od 5 %, linearni trend serije srednjih godišnjih protoka statistički značajan.



Slika 1. Linearni trend serije srednjih godišnjih protoka reka Save na HS Županja

3.3. Cikličnost

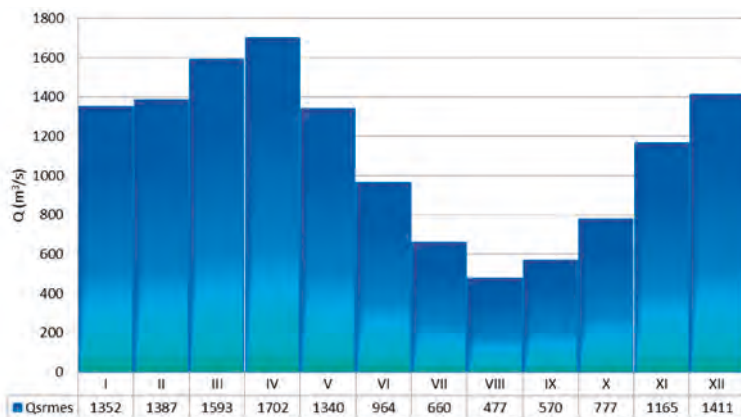
Analiza cikličnosti serije srednjih godišnjih protoka Save na HS Županja izvršena je primenom integralne krive modulnih odstupanja i prikazani na slici 2. Prikazani grafik ukazuje da u razmatranoj seriji postoji predominantna makro cikličnost, sa periodom cikličnosti od 62 godine (1950. - 2012.), unutar koga postoji niz mikro cikličnih oscilacija srednjih godišnjih protoka.



Slika 2. Integralna kriva modulnih odstupanja serije srednjih godišnjih protoka Save na HS Županja

3.4. Unutargodišnja raspodela srednjih mesečnih protoka Save

Karakter unutargodišnje raspodele protoka reke Save na profilu HS Županja vidi se na slici 3, gde je dat grafički i numerički prikaz prosečnih višegodišnjih srednjih mesečnih protoka (m^3/s). Vidi se da vodni period na Savi traje skoro sedam meseci, od novembra do maja, a malovodni period traje kraće, u vremenskom periodu od jula do oktobra.



Slika 3. Unutargodišnja raspodela srednjih mesečnih protoka Save na HS Županja

ZAKLJUČAK

Sprovedene analize osnovnih stohastičkih karakteristika serije srednjih godišnjih protoka Save na profilu HS Županja ukazuju da je razmatrana vremenska serija nehomogena sa gledišta srednjih vrednosti i homogena po pitanju disperzije. Serija je sastavljena od statistički međusobno zavisnih članova niza, odnosno da u suštini predstavlja stohastički proces. U seriji postoji statistički značajan negativan trend. Sa gledišta cikličnosti razmatranog procesa evidentno je da postoji predominantna makro cikličnost, sa periodom cikličnosti od 62 godine (1950. - 2012.), unutar koga postoji niz mikro cikličnih oscilacija srednjih godišnjih protoka. Analizom raspodele protoka unutar godine zaključeno je da vodni period na Savi traje skoro sedam meseci, od novembra do maja, dok je malovodni kraći i traje od jula do oktobra.

LITERATURA

- [1] Prohaska S.: Hidrologija - III deo (2017): *Stohastička hidrologija*, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ i Republički hidrometeorološki zavod, Beograd, 196 + P156

AUTORI

prof. dr. Stevan Prohaska ^a
 dipl. građ. inž., Vladislava Bartoš Divac ^a
 dipl. građ. inž., Ognjen Prohaska, master. građ. inž. ^a
 doc. dr. Aleksandra Ilić, dipl. građ. inž. ^b

^a Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Jaroslava Černog 80, 11000 Beograd, Srbija, stevan.prohaska@jcerni.rs, vladislava.bartos@jcerni.rs, ognjen.prohaska@jcerni.rs

^b Građevinsko - arhitektonski fakultet u Nišu, Srbija, aleksandra.ilic@gaf.ni.ac.rs