



## Analiza trenda vodostaja reka Dunav, Tisa i Sava za period 1979-2019

Senka Ždero<sup>a\*</sup>, Boško Blagojević<sup>a</sup>, Jasna Grabić<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Departman za uređenje voda, Novi Sad, Srbija

\*Autor za kontakt: [senka.zdero@polj.uns.ac.rs](mailto:senka.zdero@polj.uns.ac.rs)

### SAŽETAK

Bogatstvo Vojvodine čine reke i kanali konstruisani sa ciljem održavanja i upravljanja vodnim režimom Pokrajine. Sveobuhvatno razumevanje raspodele vode u vremenu i prostoru neophodno je za dobro upravljanje vodnim resursima, za dimenzionisanje hidrotehničkih objekata, i naročito poljoprivrednih aktivnosti koje direktno zavise od dostupne količine vode za navodnjavanje. Analiza trendova vodostaja za period 1979-2019 izvršena je na osnovu hidroloških podataka o srednjim mesečnim vodostajima sa mernih stanica reke Dunav (Bezdan, Bogojevo i Pančevo), reke Tise (Senta) i reke Save (Sremska Mitrovica i Šabac). Identifikacija trendova izvršena je pomoću statističkog, neparametarskog Mann-Kendall testa, a određivanje veličine trenda izračunato je pomoću Senove ocene nagiba trenda, sa definisanom statističkom značajnošću trendova na nivoima od 95% i 99%. Glavni cilj ovog rada je da se stekne bolje razumevanje prostorne i vremenske varijabilnosti i dinamike vodostaja i potencijalnog uticaja klimatskih promena. Na godišnjem nivou utvrđen je statistički značajan opadajući trend reke Dunav – na mernim stanicama Bezdan i Bogojevo, tokom vegetacionog perioda na mernim stanicama Bezdan, Bogojevo i Sremska Mitrovica, i tokom letnjih meseci na mernom mestu Šabac.

**KLJUČNE REČI:** analiza trenda, vodostaj, Mann-Kendall test, Dunav, Sava, Tisa

### Uvod

Vojvodanska plodna ravnicu pogoduje poljoprivrednim aktivnostima od čega je 75% od ukupne površine Pokrajine pogodno za obrađivanje (Ševarlić, 2012). Klimatske promene predstavljaju ograničavajući faktor kada je u pitanju intenziviranje poljoprivredne proizvodnje i imaju uticaj na promenu dinamike proizvodnje i konverziju tradicionalne proizvodnje u održive sisteme (npr. u organsku proizvodnju) (Lazić et al., 2019). Prema tome, poljoprivredna proizvodnja prilagođena sadašnjim i budućim uslovima pretpostavlja održivost prirodnih resursa. Racionalno i održivo korišćenje vodnih resursa obezbeđuje sigurnost u poljoprivrednoj proizvodnji, dok navodnjavanje doprinosi ostvarivanju visokih i stabilnih prinosa gajenih poljoprivrednih kultura. U Vojvodini se navodnjavanje obradivih površina vrši eksploatacijom podzemnih voda i vodom iz kanalske mreže, dok rečne vode predstavljaju glavni izvor za snabdevanje osnovne kanalske mreže vodom. Promene u vodnom režimu, uslovljene spoljašnjim faktorima (od kojih su najuticajnije klimatske promene i neadekvatno upravljanje otpadnim vodama), ograničavaju dostupnost vodnih resursa u skoro svim regionima sveta (Dyer et al., 2014). U Savić et al., (2013) istaknut je značaj vodnih resursa na teritoriji Vojvodine i utvrđeno je da je njihov potencijal nedovoljno iskorišćen za navodnjavanje poljoprivrednih površina. Ovaj zaključak donet je nakon analize prosečnih godišnjih i mesečnih proticaja reke Dunav, Tisa i Save, a kao rešenje predloženo je projektovanje sistema i definisanje planova upravljanja vodnim resursima kako bi se iskoristio ukupan potencijal vode na održiv način. Kao polazna tačka takvog pristupa mogla bi da bude npr., analiza prostorne i vremenske raspodele vode u slivu posmatrane reke sa razmatranjem istorijskih obrazaca određenih prirodnih pojava (padavina, oticaja, vodostaja, temperature vazduha, itd.) uz odgovarajuće hidrološke zakonitosti.

Jedna od glavnih definicija hidrologije jeste da ona kao nauka izučava pojavu, raspodelu u vremenskoj i prostornoj dimenziji i cirkulaciju vode, zakonitosti prirodnih pojava u vezi sa vodom u prošlosti i izračunavanjem verovatnoće sa kojom bi takva pojava mogla da se desi u budućnosti (Brutsaert, 2005). Vodostaj i proticaj, kao osnovni hidrološki parametri i hidraulički elementi, neophodni su u proučavanju vodnog režima jednog sliva. Vodostaj je definisan kao nivo vode u posmatranom profilu vodotoka, i najčešće se očitava (1) sa postavljenih vodomernih letva ili (2) se kontinualno beleži pomoću limnigrafa. Proticaj se smatra stohastičkim, tj. probabilističkim, jer postoji određena slučajnost u pojavljivanju pojedinih vrednosti i ponašanju procesa koji direktno zavisi od vremena. Indirektno određivanje proticaja vrši se pomoću očitanih vodostaja i „krive proticaja“.

Dugogodišnje promene hidroloških serija izučavaju se u okviru dva metodološka pristupa: putem analize trenda i utvrđivanjem višegodišnje periodičnosti (Stojković et al., 2015). Osnovna razlika navedenih pristupa leži u pretpostavkama koje se vezuju za ove metode. Analiza trenda polazi od

pretpostavke da su promene vodostaja monotone, tj. monotono rastuće ili opadajuće, dok utvrđivanje periodičnosti se vezuje za identifikaciju određenog obrasca (periodične ili ciklične) promene serije podataka. Analiza trenda uglavnom je zasnovana na Mann-Kendall testu (Douglas et al., 2000) koji se koristi za procenu značaja trendova u hidrološkim vremenskim serijama; najčešće su to analize trenda kvaliteta vode, proticaja, vodostaja, temperature vode, itd. (Antonopoulos et al., 2001; Hamed, 2008; Ali et al., 2019; Kamimura and Miyamoto, 2020). U domaćoj literaturi takođe postoje radovi iz ove oblasti u kojima su analizirani varijabilnost vodostaja i proticaja reka u regionu (Milošev and Savić, 2009; Barbalčić and Kuspilić, 2014; Stojković et al., 2015; Pavlić et al., 2017;).

Dosadašnja istraživanja i modeliranja trendova proticaja na području Evrope ukazuju na značajnu varijabilnost trendova, značajne rastuće trendove proticaja tokom zimske i prolećne sezone, odnosno opadajuće trendove registrovane tokom letnjih meseci (Birsan et al., 2005; Stahl et al., 2010); shodno tome, trendovi promene proticaja bi mogli da ukazuju i na promenu trendova u vodostajima.

Analiza trendova vodostaja za period od 40 godina (1979-2019) izvršena je na osnovu hidroloških podataka o srednjim godišnjim vodostajima sa hidroloških stanica reke Dunav (Bezdan, Bogojevo i Pančevo), reke Tise (Senta) i reke Save (Sremska Mitrovica i Šabac). Pored ovoga, za iste lokalitete i isti – 40-godišnji period izvršena je analiza trenda prosečnih mesečnih vodostaja tokom vegetacionog perioda. Konačno, navodnjavanje poljoprivrednih površina u Vojvodini je najpotrebnije i najizraženije tokom letnjih meseci - jula i avgusta. Shodno tome, cilj je bio i da se analizira da li postoji opadajući trend vodostaja i tokom letnjih meseci u periodu od poslednjih 40 godina. Slivovi odabranih reka često su bili istraživani u domaćoj i stranoj literaturi, a fokus u ovom radu predstavljaju merne stanice koje se nalaze u dolini velikih vojvođanskih reka. Generalno, reke Dunav, Tisa i Sava veoma su važne zbog toga što se mnoge obradive poljoprivredne površine nalaze u zonama rečnih obala, zbog nacionalnog i međunarodnog vodnog transporta, kao i očuvanja priobalnog i rečnog biodiverziteta.

## Material i metod rada

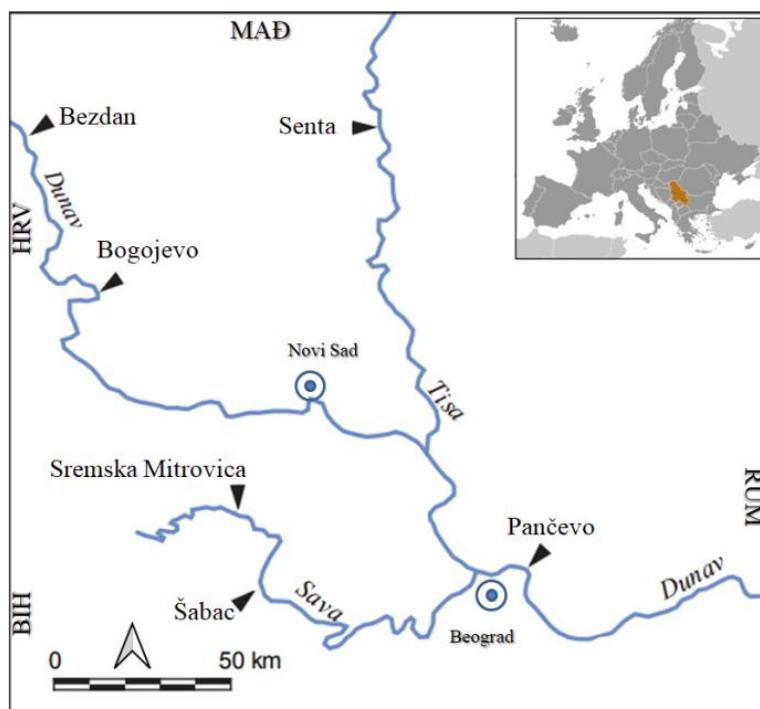
Analiza trenda sprovodi se putem parametarskih i neparametarskih testova (Helsel and Hirsch, 2002; Chen et al., 2007), koji testiraju iste polazne hipoteze, ali se statistički testovi međusobno razlikuju. Parametarski testovi zahtevaju da ulazni podaci imaju normalnu distribuciju i da su međusobno nezavisni (što retko važi za hidrološke podatke vremenskih serija), te se koriste ukoliko postoji vidljiv linearni trend; neparametarski testovi bazirani su na utvrđivanju verovatnoće pojave trenda u vremenskoj seriji. Svojsvo neparametarskih testova je da su uglavnom zasnovani na pretpostavci da je raspon skupa podataka kontinualan, da je za njihovu primenu potreban mali broj polaznih pretpostavki i pogodniji su za podatke koji nemaju normalnu (Gausovu) raspodelu. Kako mnoge hidrološke vremenske serije ne slede normalnu raspodelu, za analizu ovakvih podataka prednost se daje neparametarskim statističkim tehnikama u odnosu na parametarske. Mann-Kendall test često bude odabran za statističku obradu podataka o vodostajima zbog robusnosti testa, odnosno zbog mogućnosti da se test primeni i na grupu podataka sa nedostajućim informacijama što je često limitirajući faktor u statističkim analizama (npr. diskontinualno osmatranje ili gubitak podataka koji se javljaju usled nepravilnog ili nepažljivog registrovanja vrednosti). Ukoliko se utvrdi da postoji statistički značajan trend rasta ili pada, to znači da se promenljiva neprekidno povećava, ili smanjuje tokom vremena, ali i da takav trend ne mora da bude linearan (Myronidis et al., 2018).

## Istraživano područje

Rečnu mrežu Vojvodine čine tri velike reke: Dunav, Tisa i Sava, sa svim svojim pritokama i izgrađenom kanalskom mrežom. Glavne namene rečne i kanalske mreže Vojvodine su vodni transport, snabdevanje industrije, navodnjavanje poljoprivrednih površina, odvodnjavanje suvišnih unutrašnjih voda, ali mogu da služe i kao recipijenti otpadnih voda i za turističke i rekreativne aktivnosti stanovništva. Uopšteno rečeno, rečni režim vojvođanskih reka uslovljen je prirodnim fenomenima u različitim delovima sliva i uticajem uspora nizvodne brane Đerdap (Veljković and Jovičić, 2007). U okviru državne granice Srbije, reke Dunav, Tisa i Sava prolaze kroz nekoliko područja, potpuno različitih u pogledu osnovnih hidromorfoloških i klimatskih odlika.

Reka Dunav prolazi kroz Srbiju dužinom od 588,5 km i čini osnovu hidrosistema Dunav-Tisa-Dunav. Reka Tisa predstavlja najdužu levu pritoku reke Dunav, i zajedno sa njom obrazuje kanalsku mrežu koja ima značajnu ulogu u vodoprivrednim poslovima Vojvodine. Reka Sava je desna pritoka Dunava koja je najveća po zapremini vode i druga po veličini slivnog područja. Za identifikaciju trenda vodostaja odabrane su stanice sa najdužim periodom osmatranja vodostaja na ovoj reci – Sremska Mitrovica i

Šabac. Radi utvrđivanja trenda na reci Dunav odabrane su, takođe, merne stanice sa najdužim periodom osmatranja, a to su Bezdán, Bogojévo i Pančévo; merna stanica Senta je na Tisi sa najdužim periodom osmatranja.



**Slika 1.** Lokacije mernih stanica na Dunavu, Tisi i Savi u Vojvodini

**Figure 1.** The location of measuring stations on the Danube, Tisa, and Sava rivers in Vojvodina

### **Raspoložive vremenske serije**

Predmet analize trenda vodostaja u ovom radu predstavljaju tri merne stanice reke Dunav: Bezdán, Bogojévo i Pančévo, jedna merna stanica reke Tisa (Senta) i dve merne stanice reke Sava (Sremska Mitrovica i Šabac) gde se vodostaji osmatraju i mere pomoću vodomerne letve ili digitalno (osnovni podaci prikazani su u Tabeli 1).

Na internetu su dostupni hidrološki godišnjaci površinskih voda. Na sajtu Republičkog hidrometeorološkog zavoda ([http://www.hidmet.gov.rs/latin/hidrologija/povrsinske\\_godisnjaci.php](http://www.hidmet.gov.rs/latin/hidrologija/povrsinske_godisnjaci.php)) se u elektronskoj formi mogu pronaći podaci o vodostaju, proticaju i temperaturama vode mereni od 1992. godine do danas, koji se redovno publikuju za proteklu godinu. Podaci o vodostajima za period 1979-1992 publikovani su u štampanoj formi. Nedostatak analize trenda vodostaja i proticaja na širem slivnom području odabranih reka su nedostajući podaci za stanice koje su prestale sa radom, imaju duže prekide u radu, ili se osmatranje ne vrši dovoljno dugo za statističku analizu podataka. S obzirom da za merne stanice Bezdán, Senta, Sremska Mitrovica i Šabac postoje relativno popunjeni nizovi podataka, izvršeno je popunjavanje nedostajućih podataka za mernu stanicu Bogojévo. Za dopunjavanje nedostajućih podataka za 2010. godinu i prva dva meseca 2011. godine uzeti su podaci sa merne stanice Bačka Palanka. Ovo merno mesto nalazi se nizvodno 68 km od merne stanice Bogojévo i između dve merne stanice ne postoje pritoke ili ispusti koji bi značajno uticali na razliku u podacima o vodostaju. Na ovaj način formirana je kontinualna vremenska serija i za mernu stanicu Bogojévo.

**Tabela 1**

Osnovni podaci o odabranim mernim stanicama

**Table 1**

Basic information on measuring stations

Vodotok	Stanica	Sliv	Godina osnivanja	Kota "0" [m n.J.m]	Udaljenost od ušća [km]	Način registrovanja vodostaja
Dunav	Bezdan	Crno more	1856	80.64	1425	Digitalno
	Bogojevo	Crno more	1871	77.46	1367	Digitalno
	Pančevo	Crno more	1870	67.33	1154	Letva*
Tisa	Senta	Dunav	1860	72.80	123	Digitalno
Sava	Sremska Mitrovica	Dunav	1878	72.22	139	Digitalno
	Šabac	Dunav	1921	72.61	106	Letva*

\*stanica sa dva termina osmatranja na dnevnom nivou

U razmatranom dugogodišnjem periodu, od 1979. godine do 2019. godine, utvrđeno je postojanje slične vremenske dinamike srednjih godišnjih vodostaja. Na mernim mestima Bezdan i Bogojevo uočeni su maksimalni vodostaji u junu, a minimalni u oktobru na Bezdanu, odnosno u decembru na Bogojevu. Na mernoj stanici Pančevo maksimalni vodostaji beleženi su tokom aprila, a minimalni vodostaji tokom novembra. Na Tisi, maksimalni vodostaji na mernoj stanici Senta mereni su tokom aprila, a minimalni vodostaji tokom novembra. U Sremskoj Mitrovici i Šapcu maksimalni vodostaji beleženi su tokom maja, a minimalni vodostaji reke Sava mereni su u avgustu. Uočene dinamike su (1) visoki vodostaji usled topljenja snega i evropskog monsuna koji je uzrok obilnih padavina na evropskom kontinentu tokom kasnog proleća i ranog leta, i (2) niski vodostaji u periodima između avgusta i decembra. Ova činjenica poslužila je u istraživanju Smederevac-Lalić (2013) kada je utvrđen korak pomeranja perioda evropskog monsuna i ukazano je na mogućnost njegovog slabljenja što može da, pored povišenih temperatura, bude uzrok niskih vodostaja i proticaja evropskih reka tokom letnjih meseci.

U Tabeli 2 izdvojeni su osnovni podaci o vodostajima na odabranim mernim stanicama i u odabranom periodu zabeležene vrednosti minimalnih i maksimalnih vodostaja. Male vrednosti standardne devijacije ukazuju na mala odstupanja vrednosti podataka od srednje vrednosti, dok velike vrednosti ukazuju na značajnu raspršenost podataka što se često javlja kao slučaj u analizi trenda vodostaja. Zakrivljenost teorijski predstavlja meru asimetrije u frekvenciji distribucije podataka oko srednjih vrednosti (Groeneveld and Meeden, 1984); ukoliko su vrednosti zakrivljenosti između 0 i 1 to onda ukazuje da se radi o povećanoj, ali prihvatljivoj asimetriji distribucije (Blanca et al., 2013). Vrednosti zakrivljenosti bliske 0 ukazuju da je takva distribucija podataka normalna, a kada su vrednosti zakrivljenosti veće od 1 to ukazuje na značajnu asimetriju distribucije, odnosno značajno odstupanje od normalne raspodele podataka (što je i uočeno analizom podataka i opravdana je upotreba neparametarskog Mann-Kendall testa). Kada raspodela podataka vremenske serije nema normalnu raspodelu tada se preduzimaju postupci konverzije podataka, ili uklanjanje ekstremnih vrednosti što u ovom radu neće biti izvršeno, jer upravo takve vrednosti ukazuju na netipične pojave i neophodne su za kvantifikovanje trenda. Takođe, bitno je naglasiti da su ekstremne vrednosti podaci koji su nekonzistentni sa većinom podataka iz vremenske serije i da prisustvo takvih podataka može značajno uticati na rezultate analize; shodno tome, neparametarski testovi su pogodni za obradu ovakvih podataka.

**Tabela 2**

Osnovne informacije o vodostajima na odabranim mernim stanicama za period 1979-2019

**Table 2**

Basic data on water levels at selected measuring stations for the period 1979-2019

Vodotok	Stanica	Min vodostaj [cm]	Max vodostaj [cm]	Srednje vrednosti sa standardnim devijacijama [cm]	Zakrivljenost
Dunav	Bezdan	-58	613	203±120	0.49
	Bogojevo	-3	664	244±115	0.54
	Pančevo	101	710	354±80	0.61
Tisa	Senta	168	828	307±102	2.08
Sava	Sremska Mitrovica	-5	680	260±450	0.33
	Šabac	-103	524	136±134	0.36

**Statistička obrada podataka**

Osnova Mann-Kendall (MK) testa jeste da se svaki podatak vremenske serije ( $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$ ) upoređuje sa ostalim (sekvencijalnim) podacima (Mann, 1945; Kendall, 1948). Kendalova statistika ili statistika MK testa ( $S$ ) može se izračunati pomoću jednačine (1). Ukoliko u posmatranoj vremenskoj seriji ne postoji trend, broj pozitivnih i negativnih nagiba će biti približno jednak, a  $S$  blisko nuli. U slučaju da preovladava broj pozitivnih nagiba, odnosno važi da je  $S \gg 0$ , može se očekivati rastući trend i obratno; ako preovladava broj negativnih nagiba ( $S \ll 0$ ) može se očekivati opadajući trend (Libiseller and Grimvall, 2002).

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{i=k+1}^n \text{sign}(x_i - x_k) \tag{1}$$

U odabranoj vremenskoj seriji podataka  $n$  predstavlja veličinu uzorka,  $x_i$  i  $x_k$  su sekvencijalni podaci u vremenskoj seriji, odnosno srednji godišnji vodostaji, srednji vodostaji tokom vegetacionog perioda i srednji mesečni vodostaji u julu i avgustu u vremenskim koracima  $i$  i  $k$  zabeleženi na mernim stanicama Bezdan, Bogojevo, Pančevo, Senta, Sremska Mitrovica i Šabac. Takođe, važi da se svaki podatak  $x_i$  (posmatran u vremenu  $i$ ) uzima kao referentna tačka kada se vrši poređenje sa podacima

$$x_k, \text{ čemu sledi da je } \text{sign}(x_i - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_i - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_i - x_k) = 0. \\ -1 & \text{if } (x_i - x_k) < 0 \end{cases}$$

Kako bi se statistički kvantifikovao značaj trenda za dovoljno dug vremenski period (gde je broj podataka  $n > 25$ ) koristi se kontrolna statistika MK testa  $Z$  koja uvrštava varijansu u formulu za izračunavanje (2) i prilagođava se standardnoj normalnoj distribuciji (Gilbert, 1987):

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \tag{2}$$

Normalizovana statistika MK testa ( $Z_{MK}$ ) označava pravac trenda, a pozitivne i negativne vrednosti ukazuju na postojanje rastućeg, odnosno opadajućeg trenda. Analiza trenda polazi od pretpostavke da su promene vodostaja monotone, tj. monotono rastuće ili opadajuće. Prednost korišćenja MK testa za ovakve analize je u mogućnosti obrade nehomogeno distribuiranih podataka (podaci koji ne moraju da budu u skladu sa nekom od postojećih distribucija) (Önöz and Bayazit, 2003), a iz vremenske serije nije neophodno izdvojiti atipične ili ekstremne vrednosti (*outlier-e*) (Hamed and Rao, 1998). Prvi korak u statističkoj analizi trenda vodostaja je postavka nulte hipoteze ( $H_0$ ) i usvajanje nivoa značajnosti  $\alpha$ . Nulta hipoteza podrazumeva da ne postoji nikakva monotona promena vremenskog niza (ne postoji nikakav trend) što dalje znači da su podaci nezavisni i jednako raspoređeni. Alternativna hipoteza ( $H_A$ ) tada ukazuje da postoji značajan trend u nizu. Ukoliko je izračunata vrednost verovatnoće  $p$  niža od usvojenog nivoa značajnosti  $\alpha$ , po pravilu, nulta hipoteza se odbacuje, i usvaja se alternativna hipoteza kao tačna koja ukazuje na postojanje statistički značajnog trenda promene.

Za MK test karakteristično je ispitivanje dva parametra koja su bitna prilikom identifikacije trendova: (1) nivo značajnosti koji ukazuje na statističku jačinu trenda i (2) procena veličine nagiba koja ukazuje na smer i veličinu trenda. Vrednosti  $Z_{MK}$  imaju normalnu distribuciju; kritična vrednost statistike  $Z_{MK}$  određena na osnovu tabele za standardnu normalnu raspodelu na pragu nivoa značajnosti od 95% i iznosi  $|Z_{(1-0.05/2)}| = |Z_{0.975}| = |1.96|$ , a na pragu nivoa značajnosti od 99% iznosi  $|Z_{0.995}| = |2.576|$ . Nulta hipoteza se odbacuje kada su vrednosti  $Z_{MK}$  iznad usvojenih kritičnih vrednosti, a alternativna hipoteza se usvaja kada važi da je  $Z_{MK} > Z_{1-\alpha}$  i da je  $S$  različito od nule. Informacija o promeni po jedinici vremena (Sen, 1968), Senova ocena nagiba (*engl. Sen's slope SS*), izračunava promenu vodostaja tokom vremena na odabranim mernim hidrološkim stanicama, odnosno procenjuje veličinu trenda. Ovaj metod se koristi u proceni nagiba linearnog trenda, i proizilazi iz jednačine (3):

$$f(t) = Q_t + B \quad (3)$$

gde u funkciji vremena  $t$ , za posmatrani skup podataka,  $Q$  predstavlja nagib, a  $B$  konstantu. Nagib  $Q$  dalje se izračunava pomoću jednačine (4) gde su parovi vremenske serije označeni sa  $x_j$  i  $x_k$  u vremenu  $j$ , odnosno  $k$ :

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad (4)$$

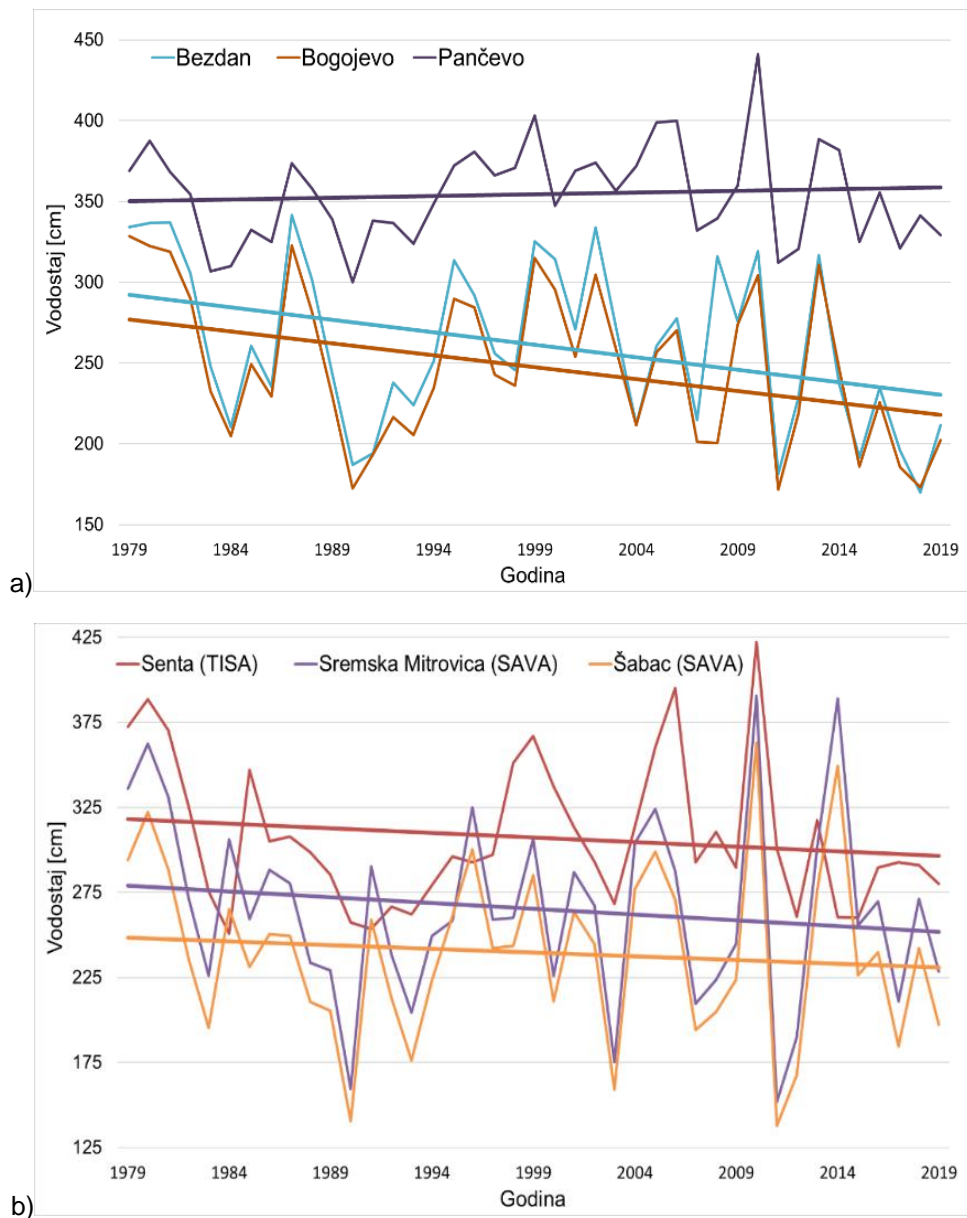
Kada je vrednost izračunatog parametra  $Q$  pozitivna, tada se može identifikovati rastući trend, odnosno za negativnu vrednost parametra  $Q$  opadajući trend u posmatranoj vremenskoj seriji. Kada je vrednost parametra  $Q$  jednaka nuli tada ne postoji trend u promeni (Salmi, 2002).

U procesu identifikacije postojanja trenda promene određenih hidroloških elemenata neophodno je i utvrditi da li postoji autokorelacija među članovima vremenske serije. U slučaju prisustva serijske korelacije postoji tendencija lažnog otkrivanja trenda i kada on nije prisutan, što predstavlja glavni nedostatak MK testa. Tada se pribegava primeni korigovanog MK testa (Hamed and Rao, 1998) u svrhu provere dobijenih rezultata. Rezultati analize vremenskih serija u ovom radu obrađeni su korišćenjem standardne i korigovane MK statistike i izvršeno je uklanjanje efekta sezonske komponente. Za obradu podataka, proučavanje trenda vodostaja i grafički prikaz rezultata korišćeni su statistički paket kompjuterskog programa *R* i softverski paket *Microsoft Excel*.

## Rezultati i diskusija

Analiza vremenskih serija sprovedena je korišćenjem srednjih godišnjih, sezonskih (april – septembar) i podataka za pojedinačne mesece (jul i avgust). Uporedni podaci srednjih godišnjih vodostaja odabranih mernih stanica grafički su prikazani na Slici 2 (a,b) za period od 1979. do 2019. godine. Na grafičkom prikazu vremenskih podataka i postavljenih regresionih prava, moguće je uočiti postojanje opadajućeg trenda, najizraženije na mernim stanicama Bezdan i Bogojevo (Slika 2a). U Tabeli 3 prikazani su rezultati izvršene MK i korigovane MK statistike za prosečne godišnje vodostaje. Opaženo je postojanje

trenda u smislu varijacije srednjih godišnjih vodostaja samo na mernim stanicama Bezdan i Bogojevo sa pragom značajnosti od 99%. Dobijeni rezultati odgovaraju rezultatima prethodnih istraživanja koja pokazuju dugoročni opadajući trend na mernoj stanici Bezdan za period 1920-2011 (Stojanović et al., 2014).



**Slika 2.** Trend prosečnih godišnjih vodostaja na mernim stanicama reka Dunava (a), Tise i Save (b) (1979-2019)

**Figure 2.** Trend of average annual water levels at measuring stations of the Danube (a), Tisa, and Sava (b) rivers (1979-2019)

**Tabela 3**

Analiza trenda prosečnih godišnjih vodostaja (1979-2019)

**Table 3**

Trend analysis of average annual water levels (1979-2019)

	Z <sub>MK</sub>	Trend	Korigovano Z <sub>MK</sub>	SS	Trend
<i>Dunav</i>					
Bezdan	-3.864**	Opadajući ↘	<b>-2.979**</b>	-0.151	<b>Opadajući ↘</b>
Bogojevo	-3.849**	Opadajući ↘	<b>-2.908**</b>	-0.143	<b>Opadajući ↘</b>
Pančevo	-0.257	Nema	-0.018	-0.006	Nema
<i>Tisa</i>					
Senta	-0.718	Nema	-0.542	-0.013	Nema
<i>Sava</i>					
Sremska Mitrovica	-1.796	Nema	-1.909	-0.083	Nema
Šabac	-1.430	Nema	-1.504	-0.062	Nema

\*\*ukazuje na statistički značajan trend na nivou pouzdanosti od 99%

**Tabela 4**

Analiza trenda prosečnih mesečnih vodostaja tokom vegetacionog perioda (1979-2019)

**Table 4**

Trend analysis of average monthly water levels during the vegetation period (1979-2019)

	Z <sub>MK</sub>	Trend	Korigovano Z <sub>MK</sub>	SS	Trend
<i>Dunav</i>					
Bezdan	-3.589**	Opadajući ↘	<b>-2.391*</b>	-0.368	<b>Opadajući ↘</b>
Bogojevo	-3.736**	Opadajući ↘	<b>-2.773**</b>	-0.377	<b>Opadajući ↘</b>
Pančevo	-1.449	Nema	-1.107	-0.079	Nema
<i>Tisa</i>					
Senta	-2.101*	Opadajući ↘	-1.475	-0.103	Nema
<i>Sava</i>					
Sremska Mitrovica	-3.177**	Opadajući ↘	<b>-2.007*</b>	-0.285	<b>Opadajući ↘</b>
Šabac	-2.749**	Opadajući ↘	-1.929	-0.231	Nema

\*ukazuje na statistički značajan trend na nivou pouzdanosti od 95%

\*\*ukazuje na trend statistički značajan na nivou pouzdanosti od 99%

Rezultati prikazani u Tabeli 5 pokazuju opadajući trend vodostaja na mernoj stanici Šabac tokom jula i avgusta od 1979. do 2019. godine sa tendencijom smanjenja od 0.6 cm godišnje. Dobijeni rezultati ukazuju na činjenicu da tokom vegetacione sezone opadajući trend vodostaja vode na bitnim ravničarskim rekama nije zabrinjavajući s obzirom da su tokom proteklih decenija beleženi ekstremni sušni periodi. Statistički značajan opadajući trend posebno je izražen tokom jula i avgusta kod Šapca na Savi.



**Tabela 5**

Analiza trenda prosečnih mesečnih vodostaja tokom jula i avgusta (1979-2019)

**Table 5**

Trend analysis of average monthly water levels during July and August (1979-2019)

	Z <sub>MK</sub>	Trend	Korigovano Z <sub>MK</sub>	SS	Trend
<i>Dunav</i>					
Bezdan	-1.430	Nema	-1.504	-0.062	Nema
Bogojevo	-2.749**	Opadajući ↘	-1.929	-0.231	Nema
Pančevo	-1.449	Nema	-1.107	-0.079	Nema
<i>Tisa</i>					
Senta	0.536	Nema	0.436	0.089	Nema
<i>Sava</i>					
Sremska Mitrovica	-2.250*	Opadajući ↘	-1.686	-0.619	Nema
Šabac	-2.319*	Opadajući ↘	<b>-2.803**</b>	-0.625	<b>Opadajući ↘</b>

\*ukazuje na trend statistički značajan na nivou pouzdanosti od 95%

\*\*ukazuje na trend statistički značajan na nivou pouzdanosti od 99%

Nakon sprovedene analize zabrinjavajuću činjenicu predstavlja lokalni karakter opadajućeg trenda vodostaja tokom godina, posebno tokom vegetacionog perioda na ulaznim mernim stanicama reke Dunav, koje su ujedno i vodozahvati kanalske mreže Vojvodine. Ukoliko bi ovaj trend tokom godina nastavio da se intenzivira, postojala bi mogućnost da dođe do ograničavanja vode koja predstavlja značajan resurs u ravnici i smanjenja dostupne vode za različite namene. Vodostaji u zonama Bezdan i Bogojevo imaju ključne uloge zbog glavnih vodozahvata čija je uloga, između ostalog, vodosnabdevanje kanalske mreže i vodostaji su direktno uslovljeni režimom reke Dunav (Savić and Bezdan, 2009). Postojanje opadajućeg trenda vodostaja i proticaja na reci Savi ukazuje na generalno smanjenje količine vode u rečnom slivu tokom godina (posebno tokom vegetacionog perioda i tokom letnjih, sušnih meseci). Dobijeni rezultati mogu da ukazuju na uzrok ograničenih količina vode u budućnosti za poljoprivredne aktivnosti na potezu Sremska Mitrovica – Šabac. U radu Stojković et al., (2014) istaknuta je mogućnost istovremenog dejstva opadajućeg trenda padavina i rastućeg trenda temperatura vazduha sa opadajućim trendom vodostaja i proticaja u slivu reke Save. Na mernoj stanici reke Tise nije zabeležen statistički značajan trend promene vodostaja tokom godina.

Naučni doprinos ovog rada jeste razumevanje hidroloških efekata pod uticajem klimatskih promena, u smislu uticaja na promene u vodostajima vojvođanskih reka, gde je utvrđeno da tokom letnjih, često sušnih, meseci ne postoji statistički značajan opadajući trend nivoa reka (osim na reci Sava, mernoj stanici Šabac). Opadajući trend vodostaja i proticaja tokom vegetacionog perioda zapažen je na rekama Dunav i Sava, što može da ukazuje na delimične posledice efekata klimatskih promena, npr. izmenjenih obrazaca padavina i snega i pojave ovih događaja sa korakom pomeranja. Takođe, niski vodostaji mogu direktno da utiču na kvalitet vode u smislu da izaziva povećanu koncentraciju određenih parametara i time smanjuje mogućnost za upotrebu.

Poseban značaj za razmatranu problematiku predstavljaju meteorološki, hidrološki, morfološki i antropogeni faktori koji u ovom radu nisu uzeti u obzir. Od navedenih faktora, u sledećoj fazi istraživanja trebalo bi ispitati faktore kao što su (1) upravljanje vodama na posmatranom području, odnosno da li postoji potreba za novim, ili unapređenjem postojećih hidrotehničkih objekata i (2) dugoročni uticaji klimatskih promena i ekstremnih vremenskih uslova. Takođe, u dalju analizu treba uvrstiti i (3) podatke sa više mernih stanica kako bi se utvrdio dinamički karakter vodostaja reka u slivnom području i (4) kategorizaciju mernih stanica po sektorima sa zajedničkim opštim karakteristikama sliva.

## Zaključci

Upotreba statistički razvijenih metoda i postupaka predstavlja mogućnost uočavanja povezanosti između određenih hidroloških i meteoroloških elemenata. Buduće potrebe za vodom za navodnjavanje su pod uticajem faktora koje karakteriše neizvesnost pod uticajem antropogenih i klimatskih promena, npr. promena načina upravljanja vodom, izmena strategije upravljanja vodoprivrednim sistemima, porast temperature, promena intenziteta i obrazaca padavina, itd. Hidrološke promene, bez obzira na uzrok njihove pojave, značajno utiču na opstanak ekosistema, a zatim i na mnoge ekonomsko-socijalne činioce širom slivnog područja. U radu je analiziran trend vodostaja za vremenski period od 40 godina na mernim stanicama Bezdan, Bogojevo, Pančevo, Senta, Sremska Mitrovica i Šabac. Analizom su otkriveni negativni trendovi srednjih godišnjih vodostaja i vodostaja u vegetacionom periodu na mernim stanicama reke Dunav (Bezdan i Bogojevo). Takođe, utvrđen je opadajući trend na mernim stanicama reke Sava, odnosno tokom vegetacionog perioda na mernoj stanici Sremska Mitrovica i tokom sušnih meseci na mernoj stanici Šabac. Na mernoj stanici reke Tisa nije uočen statistički značajan opadajući trend. Dobijeni rezultati mogu da posluže kao osnov za buduća istraživanja o dostupnosti i količinama vode za navodnjavanje analiziranih reka, s obzirom da vode Dunava i Save imaju veliki vodoprivredni značaj u Vojvodini.

## Zahvalnica

Sredstva za realizaciju ovih istraživanja obezbeđena su od strane Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj republike Srbije (ugovor 451-03-9/2021-14/200117).

## Literatura

- Ali, R., Kuriqi, A., Abubaker, S., Kisi, O. 2019. Long-term trends and seasonality detection of the observed flow in Yangtze River using Mann-Kendall and Sen's innovative trend method. *Water*, 11(9), 1855.
- Antonopoulos, V. Z., Papamichail, D. M., Mitsiou, K. A. 2001. Statistical and trend analysis of water quality and quantity data for the Strymon River in Greece.
- Barbalić, D., Kuspilić, N. 2014. Trendovi indikatora hidroloških promjena. *Građevinar*, 66(07), 613-624.
- Birsan, M. V., Molnar, P., Burlando, P., Pfaundler, M. 2005. Streamflow trends in Switzerland. *Journal of hydrology*, 314(1-4), 312-329.
- Blanca, M. J., Arnau, J., López-Montiel, D., Bono, R., Bendayan, R. 2013. Skewness and kurtosis in real data samples. *Methodology*.
- Brutsaert, W. 2005. *Hydrology: an introduction*. Cambridge University Press.
- Chen, H., Guo, S., Xu, C. Y., Singh, V. P. 2007. Historical temporal trends of hydro-climatic variables and runoff response to climate variability and their relevance in water resource management in the Hanjiang basin. *Journal of hydrology*, 344(3-4), 171-184.
- Douglas, E. M., Vogel, R. M., Kroll, C. N. 2000. Trends in floods and low flows in the United States: impact of spatial correlation. *Journal of hydrology*, 240(1-2), 90-105.
- Dyer, F., ElSawah, S., Croke, B., Griffiths, R., Harrison, E., Lucena-Moya, P., Jakeman, A. 2014. The effects of climate change on ecologically-relevant flow regime and water quality attributes. *Stochastic environmental research and risk assessment*, 28(1), 67-82.
- Gilbert, R. O. 1987. *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. John Wiley & Sons.
- Groeneveld, R. A., Meeden, G. 1984. Measuring skewness and kurtosis. *Journal of the Royal Statistical Society: Series D (The Statistician)*, 33(4), 391-399.
- Hamed, K. H. 2008. Trend detection in hydrologic data: the Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis. *Journal of hydrology*, 349(3-4), 350-363.
- Hamed, K. H., Rao, A. R. 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of hydrology*, 204(1-4), 182-196.
- Helsel, D. R., Hirsch, R. M. 2002. *Statistical methods in water resources* (Vol. 323). Reston, VA: US Geological Survey.
- Kamimura, K., Miyamoto, H. 2020. Trend analysis of long-term change in annual mean equilibrium water temperature in Japan by Mann-kendall test. *Journal of JSCE*, 8(1), 154-160.
- Kendall, M. G. 1948. Rank correlation methods.

Lazić, B., Moravčević, Đ., Kostić, S. 2019. Uticaj klimatskih promena i novih tehnologija na povrtarsku proizvodnju u Srbiji i mogućnosti njene adaptacije i održivosti. Zbornik radova naučnog skupa Budućnost poljoprivrede i šumarstva Srbije, Beograd, 1-18.

Libiseller, C., Grimvall, A. 2002. Performance of partial Mann–Kendall tests for trend detection in the presence of covariates. *Environmetrics: The official journal of the International Environmetrics Society*, 13(1), 71-84.

Mann, H. B. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 245-259.

Milošev, Ž., Savić, R. 2009. Importance of the Danube extreme water levels phenomenon in Vojvodina. *Letopis naučnih radova Poljoprivrednog fakulteta*, 33(1), 147-154.

Myronidis, D., Ioannou, K., Fotakis, D., Dörflinger, G. 2018. Streamflow and hydrological drought trend analysis and forecasting in Cyprus. *Water resources management*, 32(5), 1759-1776.

Önöz, B., Bayazit, M. 2003. The power of statistical tests for trend detection. *Turkish journal of engineering and environmental sciences*, 27(4), 247-251.

Pavlič, K., Kovač, Z., Jurlina, T. 2017. Analiza trendova srednjih i maksimalnih protoka u ovisnosti o klimatskim promjenama-Primjer na krškim slivovima Hrvatske. *Geofizika*, 34(1), 157-174.

Salmi, T. 2002. Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates-the Excel template application MAKESENS. *Ilmatieteen laitos*.

Savić, R., Bezdan, A. 2009. Uticaj promena nivoa Dunava na mogućnost zahvatanja vode u OKM HS DTD. Zbornik radova Građevinskog fakulteta Subotica, (18), 61-71.

Savić, R., Pejić, B., Ondrašek, G., Vranešević, M., Bezdan, A. 2013. Iskorišćenost prirodnih resursa Vojvodine za navodnjavanje. *Agrozanje*, 14(1), 133-142.

Sen, P. K. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American statistical association*, 63(324), 1379-1389.

Smederevac-Lalić, M. 2013. Socio-ekonomske i biološke karakteristike privrednog ribolova na Dunavu. Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu.

Stahl, K., Hisdal, H., Hannaford, J., Tallaksen, L., Van Lanen, H., Sauquet, E., ..., Jordar, J. 2010. Streamflow trends in Europe: evidence from a dataset of near-natural catchments.

Stojanović, D., Matović B, Levanić T, Galić Z, Bačkalić T. 2014. Vodostaj Dunava kao factor smanjenja prirasta i vitalnosti stabala mešovite sastojine lužnjaka i cera. *Šumarstvo* 3-4: 153-160.

Stojković, M. S. 2015. Dugoročne promene u stohastičkoj strukturi hidroloških vremenskih serija (Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet).

Stojković, M., Plavšić, J., Proharska, S. 2014. Dugoročne promene godišnjih i sezonskih proticaja: primer reke Save. *Vodoprivreda*, 46(1-6), 39-48.

Ševarlić, M. 2015. Popis poljoprivrede 2012–Poljoprivreda u Republici Srbiji–Poljoprivredno zemljište.

Veljković, N., Jovičić, M. 2007. Analiza kvaliteta Dunava kroz Srbiju metodom Water quality index. Zbornik referata konferencije "Voda 2007" JDZV i Institut "Jaroslav Černi", Beograd.

[http://www.hidmet.gov.rs/latin/hidrologija/povrsinske\\_godisnjaci.php](http://www.hidmet.gov.rs/latin/hidrologija/povrsinske_godisnjaci.php)

## Trend analysis of water levels of the Danube, Tisa, and Sava rivers for the period 1979-2019

Senka Ždero<sup>a\*</sup>, Boško Blagojević<sup>a</sup>, Jasna Grabić<sup>a</sup>

<sup>a</sup> University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Department of Water Management, Novi Sad, Serbia

\*Corresponding author: [senka.zdero@polj.uns.ac.rs](mailto:senka.zdero@polj.uns.ac.rs)

### ABSTRACT

The wealth of Vojvodina consists of rivers and canals constructed with the aim of maintaining and managing the water regime of the Province. A comprehensive understanding of water distribution in time and space is necessary for good management of water resources, for sizing hydro-technical facilities, and especially in agricultural activities that directly depend on the available amount of water for irrigation. The analysis of water level trends for the period 1979-2019 was performed on the basis of hydrological data on average monthly water levels from hydrological stations of the Danube River (Bezdan, Bogojevo and Pančevo), Tisa River (Senta) and Sava River (Sremska Mitrovica and Šabac). Trend identification was performed by statistical, nonparametric Mann-Kendall test, while by using Sen's trend slope, trend size was estimated; statistical significance of trends was defined at the 95% and 99% levels. The aim of this paper is to gain a better understanding of the spatial and temporal variability and dynamics of water level, and the potential impact of climate change. A statistically significant declining trend on an annual basis was found on the Danube river – at the measuring stations Bezdan and Bogojevo, during the vegetation period at Bezdan, Bogojevo and Sremska Mitrovica, and during the summer months at the measuring station Šabac.

**KEY WORDS:** trend analysis, water level, Mann-Kendall test, Danube, Sava, Tisa

PRIMLJEN: 23.03.2021.

PRIHVAĆEN: 08.07. 2021.