

ANALIZA TRENDA PROTOKA NA RIJECI BEDNJI IPTA METODOM

prof. dr. sc. , Bojan Đurin,

Sveučilište Sjever, Odjel za graditeljstvo
Jurja Križanića 31b, Varaždin,
Hrvatska
bojan.durin@unin.hr

doc. dr. sc. Mirna Raič,

Sveučilište u Mostaru
Fakultet građevinarstva, arhitekture
i geodezije
Matice hrvatske b. b., Mostar, Bosna
i Hercegovina

Petra Sušilović, mag. ing. aedif.

Sveučilište u Mostaru
Fakultet građevinarstva, arhitekture
i geodezije
Matice hrvatske b. b., Mostar, Bosna
i Hercegovina

**Magdalena Drožđan,
bacc. ing. aedif.**

Univerza v Mariboru
Fakultet za gradbeništvo, prometno
inženirstvo in arhitekturo
Smetanova ulica, Center 17,
Maribor, Slovenija

Ivana Pintarić, bacc. ing. aedif.

Univerza v Mariboru
Fakultet za gradbeništvo, prometno
inženirstvo in arhitekturo,
Smetanova ulica, Center 17,
Maribor, Slovenija

U većini slučajeva, analiza hidroloških podataka je povezana s definiranjem linearnog trenda i odgovarajućom interpretacijom istoga. Premda takva analiza nije komplicirana, nepouzdanost te uobičajene metode koja se često koristi u hidrologiji, može biti upitna pri malim vrijednostima koeficijenta determinacije R . Netočni zaključci mogu dovesti do loših procjena kod dimenzioniranja hidrotehničkih objekata. Utjecaj klimatskih promjena također doprinosi ovoj situaciji. U radu će se pokazati metodologija pomoću koje će se odrediti homogenost i izotropnost analiziranih podataka, što ima za cilj određivanje razine nepouzdanosti dobivenih linearnih trendova. Za tu svrhu, Innovative Polygon Trend Analysis (IPTA) metoda bit će primijenjena. IPTA metoda bit će primijenjena na primjeru rijeke Bednje u Republici Hrvatskoj. Pri tome će se analizirati niz prosječnih dnevnih protoka u trajanju od dvadeset godina na mjernoj postaji Ludbreg.

Ključne riječi: linearni trend, homogenost, izotropija, IPTA, rijeka Bednja

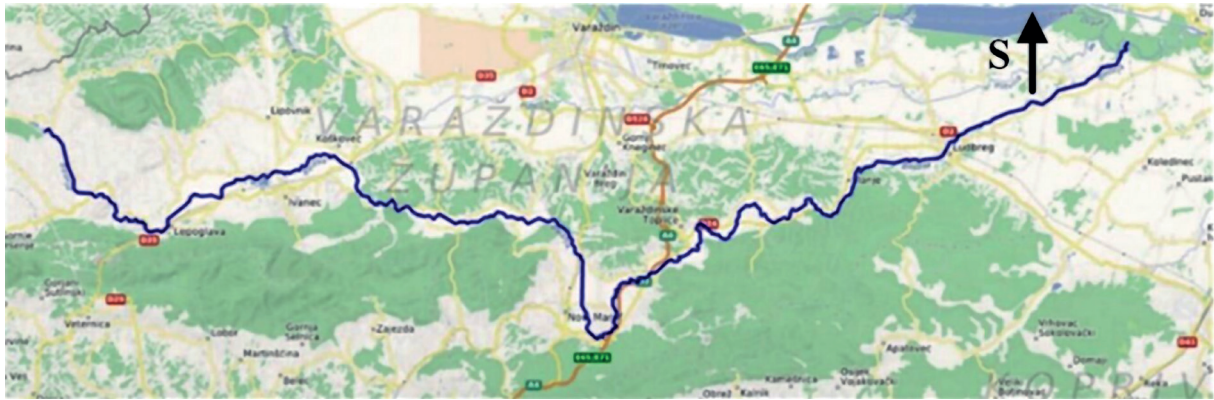
UVOD

Definiranje linearnih trendova vremenskih nizova analiziranih podataka uobičajeni je postupak kod predviđanja vrijednosti. Radi ekstremnih pojava vezanih uz indikatore klimatskih promjena, kao i radi antropogenih utjecaja, pouzdanost vrijednosti koje se predviđaju je upitna. Također, hidrološki parametri većinom su stohastički, tako da bilo kakvo predviđanje pojava ne bi trebalo uzeti kao konačno. Gore navedeno bila je motivacija za istraživanje homogenosti i izotropije podataka analiziranih vremenskih nizova, a sve u cilju dobivanja preliminarnog testa koji bi, u slučaju da definirani linearni trendovi budu dali zadovoljavajuću točnost i pouzdanost, mogli biti korišteni za efektivno

planiranje, projektiranje i upravljanje vodnim resursima. Innovative Polygon Trend Analysis – IPTA metoda bit će primijenjena na primjeru rijeke Bednje koja se nalazi u Republici Hrvatskoj, a bit će analizirana hidrološka postaja Ludbreg. Pri tome će se podaci sortirati u dva niza, prvi od siječnja do lipnja, a drugi od srpnja do prosinca.

1. O RIJECI BEDNJI

Vodotok rijeke Bednje dug je 133 km i cijelom se dužinom nalazi u Republici Hrvatskoj. Rijeka Bednja je desna pritoka rijeke Drave. Širina vodotoka rijeke Bednje je oko 10 – 20 metara, a najveća dubina je oko 3 metra. Vodotok rijeke Bednje prikazan je na [slici 1](#) Bednja se



Slika 1: Vodotok rijeke Bednje (modifikacija iz Google karte 2022.)

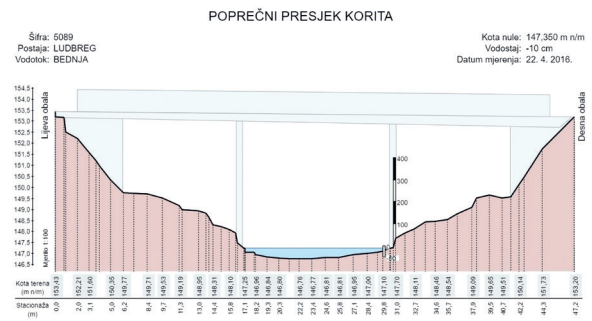
ulijeva u rijeku Dravu kod naselja Mali Bukovec (Petric 2010).

Površina slivnoga područja je 596 km². Slivno područje dijeli se na tri cjeline. Prva je aluvijalna terasa, druga su uzvisine nastale u tercijaru, dok je treća cjelina nastala u paleozoiku (Canjevac i dr. 2015).

Na rijeci Bednji nalazi se pet hidroloških vodomjernih postaja (HP), koje se mogu vidjeti na slici 2. U ovome



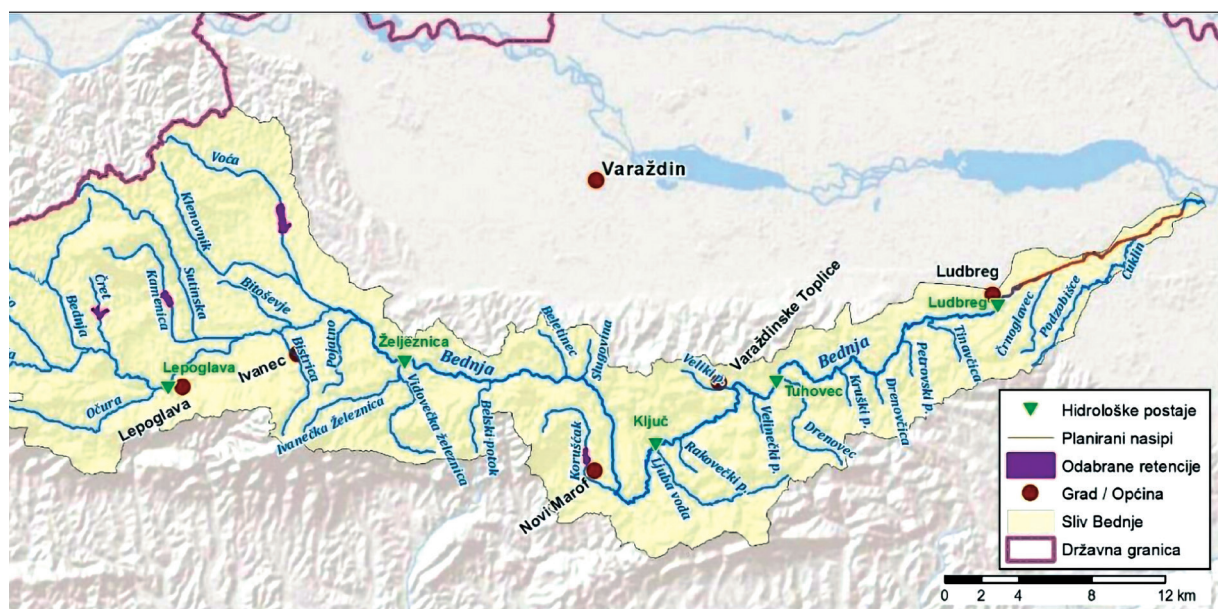
Slika 3: Fotografija lokacije vodomjerne postaje Ludbreg (Kos i dr. 2021)



Slika 4: Poprečni presjek rijeke Bednje – vodomjerna postaja Ludbreg (DHMRZRH 2021)

radu analizirana je vodomjerna postaja Ludbreg radi kontinuiranog vremena promatranja u razdoblju od 1999. do 2019. godine. Slika 2 prikazuje lokaciju vodomjerne postaje Ludbreg, a na slici 3 može se vidjeti fotografija lokacije vodomjerne postaje Ludbreg. Na slici 4 može se vidjeti poprečni presjek korita na analiziranoj lokaciji.

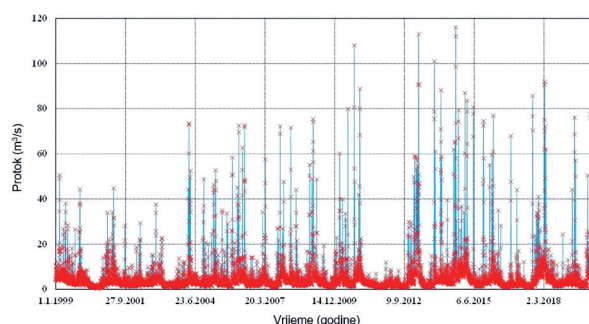
Rijeka Bednja uređena je na većem dijelu vodotoka, budući da je u prošlosti znala poplavljavati okolna područja. Slika 5 prikazuje hidrogram rijeke Bednje za prosječne dnevne protoke za period od 1999. do 2019. godine.



Slika 2: Hidrološka vodomjerna postaja Ludbreg, rijeka Bednja (www.bednja.hr/)

Tablica 1: Ekstremne vrijednosti srednjih dnevnih protoka rijeke Bednje

Hidrološke postaje	Datum i min. protok [m ³ /s]	Datum i max. protok [m ³ /s]
Lepoglava	30.01.1987. (0,004)	04.12.1997. (99,54)
Željeznica	03.02.1998. (0,134)	20.09.2017. (132,1)
Ključ	27.05.1993. (0,267)	05.12.1997. (104,5)
Tuhovec	31.08.1992. (0,312)	06.11.1998. (159,3)
Ludbreg	07.09.1947. (0,003)	15.07.1972. (179,3)



Slika 5: Hidrogram za vodomjernu postaju Ludbreg (od 1999. do 2019.) (DHMZRH 2021)

U tablici 1 prikazane su ekstremne vrijednosti srednjih dnevnih protoka rijeke Bednje tijekom razdoblja rada hidroloških mjernih postaja od 1999. do 2019. godine (DHMZRH 2021), a tablica 2. prikazuje osnovne statističke parametre na promatranim mjernim postajama za razdoblje od 1999. do 2019. godine.

Veći dio godine rijeku Bednju karakteriziraju konstantni mali protoci, dok ovisno o padalinama, odnosno o njezinim pritokama (slika 2) dolazi do pojava vodnih valova, odnosno povećanih protoka.

2. IPTA METODA

IPTA metodom mogu se identificirati vremenski nizovi na malim skalama (dnevni, tjedni, mjesečni itd.) i odrediti tranzicije trendova između sukcesivnih dijelova dva jednaka segmenta originalnog hidrometeorološkog vremenskog niza, što rezultira poligonom trenda (Esit 2023). Ova metoda može reflektirati periodična svojstva hidrometeoroloških varijabli i često se koristi za mjesečne i sezonske nizove u cilju određivanja tranzicije trendova između mjesečnih i sezonskih promjena (Adelodun i dr. 2022; Esit 2023). IPTA metoda uspješno je korištena za analizu povremenih/bujičnih tokova u Pakistanu (Ahmed i dr. 2022). Krajnji rezultat bio je odrediti u kojim se mjesecima u godini pojavljuju rastući ili padajući trendovi, što ima

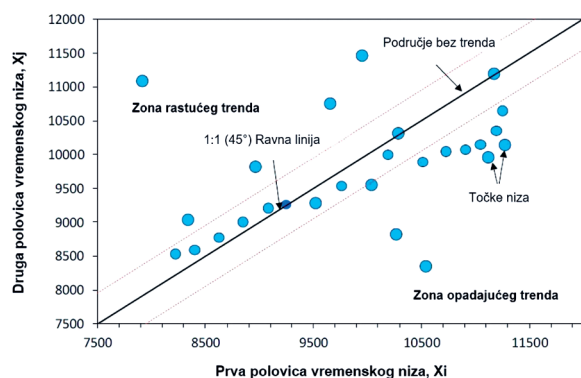
značajnu vrijednost kod planiranja ili postupka odlučivanja kod određenih hidrotehničkih zahvata. Također, u ovom slučaju, dobiveni su dijelovi godine (mjeseci) s rastućim ili padajućim trendom padalina. U radu (Achite i dr. 2021), IPTA metoda primijenjena je za određivanje trenda oborina u Alžiru za vremenski period od 1968. do 2018. godine. Kao i za slučaj rijeke Bednje, u ovom radu analiziralo se trendove srednjih vrijednosti i standardno odstupanje. Utvrđena je nehomogenost i anizotropnost mjesečnih količina oborina, što se ne bi utvrdilo uobičajenim postupkom kao što je definiranje linearnih trendova. Saplić i dr. (2014.) analizirali su mjesečne i godišnje trendove otjecanja bujičnih vodotoka na području zapadnoga mediteranskog područja u Turskoj. Tijekom ljetnih razdoblja, zbog nedostatka oborina, utvrđene su nepravilnosti linearnih trendova, čime se ukazalo na razdoblje u kojem se vodotoci opskrbljuju iz podzemlja. IPTA metoda prikladna je za analize ove vrste kako u vidu samostalne primjene, tako i kombiniranjem s drugim metodama (Ceribasi i dr. 2021). Ovaj pristup ne zahtijeva autokorelaciju niza, odnosno metoda nije osjetljiva na duljinu niza (Waikhom i dr. 2023). Ovi spomenuti primjeri, kao i mnogi drugi, pokazuju široko područje primjene IPTA metode. Jedan takav primjer je i analiza trendova pojavljivanja valova zbog vjetra na obalnom području Crnog mora (Akçay i dr. 2022).

Izraz 1. pokazuje osnovni matricni oblik IPTA metode (Ceribasi i dr. 2021):

$$\begin{bmatrix} X_{1,1} & X_{1,2} & \dots & X_{1,12} \\ X_{2,1} & X_{2,2} & \dots & X_{2,12} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{i,1} & X_{i,2} & \dots & X_{i,12} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{n,1} & X_{n,2} & \dots & X_{n,12} \end{bmatrix}$$

Tablica 2: Pregled statističkih parametara za vodomjerne postaje na rijeci Bednji

	Lepoglava	Željeznica	Ključ	Tuhovec	Ludbreg
Sr. vr.	1,32	3,58	5,33	5,84	6,73
Median	0,52	1,48	2,32	2,54	3,15
Max.	44,70	122,00	89,60	103,00	116,00
Min.	0,05	0,27	0,67	0,82	0,91
Stand. dev.	2,99	7,01	9,71	10,49	11,32



Slika 6: Grafički prikaz IPTA metode (Ali i dr. 2019)

Matrica je podijeljena u dvije polovice, gornju i donju. Gornji nizovi (prva polovica) su definirani s $i=1,2,3,\dots,n/2$. Donji nizovi (druga polovica) definirani su s $i=(n/2)+1, (n/2)+2,\dots,n$, pri čemu je n broj godina.

Pomoću IPTA metode mogu se odrediti trendovi osnovnih vremenskih nizova s jednakim duljinama podnizova. Koriste se jednake duljine podataka u cilju usporedbe raspršenih točaka s jednakim vjerojatnostima. Pri tome se usvoji kako su n_1 i n_2 duljine prve i druge polovice niza podataka. Ako su duljine podnizova podataka jednake ($n_1 = n_2$), tada svaka točka distribucije ima jednaku vrijednost vjerojatnosti između ($1/n_1 = 1/n_2$) i 1 za ukupne vrijednosti frekvencije vjerojatnosti (Alashan 2021). U ovom radu računati su srednje vrijednosti i standardne devijacije za svaki mjesec i podniz.

U nastavku su navedena pravila i smjernice za interpretaciju IPTA dijagrama (Sen i dr. 2019):

Prava linija između dvije uzastopne godine pokazuje promjenu u mjesečnim vrijednostima. Zatvoreni poligon ukazuje na prirodnu ravnotežu mjesečnih vrijednosti za jednu godinu.

- Duljina svake ravne linije predstavlja veličinu

uzastopne godišnje promjene.

- Ako su nagibi svake od ravnih linija dovoljno blizu jedan drugome kako u vertikalnom, tako i u horizontalnom pravcu, ovo ukazuje kako pojedine godišnje vrijednosti neznatno doprinose srednjim vrijednostima.

- Svaka stranica poligona pokazuje pretpostavku kako postoji linearna promjena/trend između uzastopnih godina.

- Ako se nagibi linija razlikuju jedan od drugoga, sve stranice se pojavljuju kao jedan pravac. Povezivanjem točaka vrhova poligona dobije se isprekidana linija koja je veoma slična glavnoj regresijskoj liniji. Ako je poligon veoma uzak, to znači kako je unutarnja promjena vrijednosti prilično homogena, izotropna i jednoliko varijabilna, dok širi poligon ukazuje na heterogenu vremensku varijabilnost.

- Općenito, bilo koji poligon s rastućim oblikom ukazuje kako su dominantni uvjeti skoro u ravnoteži.

Vjerojatnost pojave zamršenih poligona ovisi o dinamici i složenosti hidrometeoroloških pojava i mogu biti izravno proporcionalni (Sen i dr. 2019). Bez obzira što IPTA metoda nije komplicirana za izvršenje spomenutih analiza, ona predstavlja uvid u promjene trendova, koje se ne mogu utvrditi linearnim trendovima (Ahmed i dr. 2022).

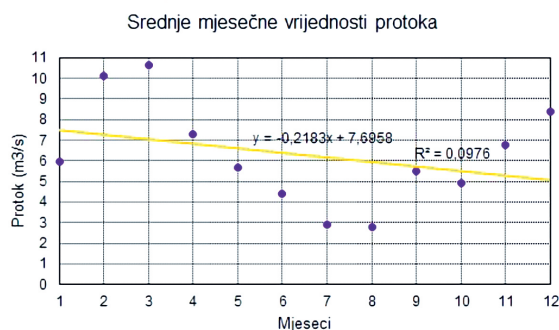
3. REZULTATI I DISKUSIJA

Ulazni podaci su prosječne mjesečne vrijednosti protoka (SQ) za razdoblje od 1999. do 2019. godine. Podaci su dobiveni s vodomjerne postaje Ludbreg na rijeci Bednji (tablica 3). Analiza pouzdanosti linearnih trendova analiziranih podataka provedena je koristeći IPTA metodu u cilju određivanja homogenosti i izotropije trendova.

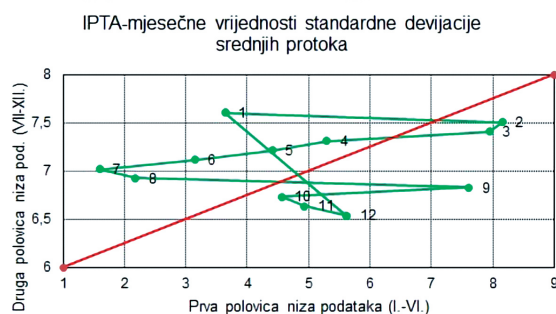
Prvi koraci su određivanje linearnih trendova za prosječne vrijednosti srednjih mjesečnih protoka (slika 7) i određivanje linearnih trendova standardnih devijacija srednjih mjesečnih protoka (slika 9.). Nakon toga, primjenjuje se IPTA metoda.

Tablica 3: Rijeka Bednja, vodomjerna postaja Ludbreg – prosječne mjesečne vrijednosti protoka (SQ) za razdoblje: od 1999. do 2019.

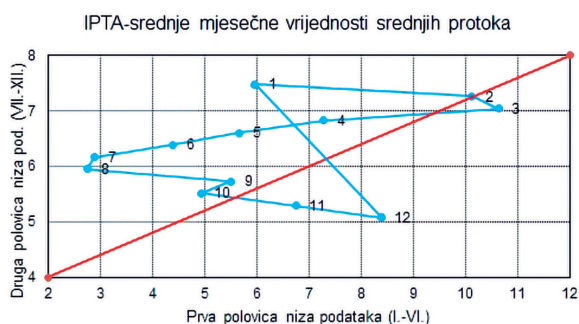
Mjeseci	Prosječna vrijednost	Linearni trend	Standardna devijacija	Linearni trend
Siječanj	5,97	7,48	3,64	7,60
Veljača	10,12	7,26	8,16	7,50
Ožujak	10,64	7,04	7,95	7,41
Travanj	7,28	6,82	5,30	7,31
Svibanj	5,67	6,60	4,41	7,21
Lipanj	4,40	6,39	3,15	7,12
Srpanj	2,89	6,17	1,60	7,02
Kolovoz	2,76	5,95	2,18	6,92
Rujan	5,50	5,73	7,61	6,83
Listopad	4,94	5,51	4,56	6,73
Studeni	6,76	5,29	4,93	6,63
Prosinac	8,40	5,08	5,62	6,54



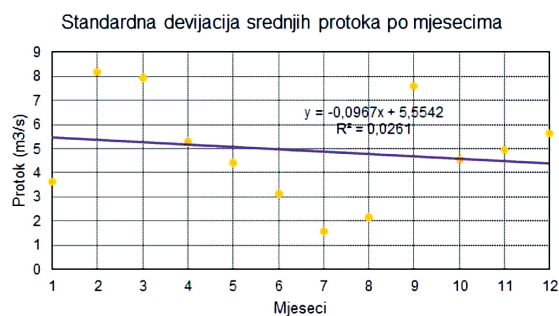
Slika 7: Srednje mjesečne vrijednosti srednjih protoka na vodomjernoj postaji Ludbreg, rijeka Bednja za razdoblje od 1999. do 2019.



Slika 10: IPTA metoda za linearne trendove mjesečnih vrijednosti standardne devijacije srednjih protoka na vodomjernoj postaji Ludbreg, rijeka Bednja za razdoblje od 1999. do 2019.



Slika 8: IPTA metoda za linearne trendove srednjih mjesečnih vrijednosti srednjih protoka na vodomjernoj postaji Ludbreg, rijeka Bednja za razdoblje od 1999. do 2019.



Slika 9: Standardna devijacija srednjih protoka po mjesecima za vodomjernu postaju Ludbreg, rijeka Bednja za razdoblje od 1999. do 2019.

Najmanje prosječne vrijednosti su očekivano u ljetnom razdoblju, dok su najveće prosječne vrijednosti u zimskom periodu, što je povezano s oborinama.

Dobivene jednadžbe trenda (slike 7 i 9) za linearne trendove srednjih vrijednosti mjesečnih protoka, kao i za linearne trendove standardnih devijacija mjesečnih vrijednosti protoka nisu značajne radi zanemarivih vrijednosti koeficijenta determinacije R^2 . IPTA dijagrami (slike 8 i 10) nisu zatvoreni, što ukazuje na pojavu nehomogenosti i anizotropije. Ne postoji prirodna ravnoteža kod analiziranih vrijednosti. Također i različiti kutovi nagiba pravaca dobivenih poligona potvrđuju gore navedeno.

4. ZAKLJUČAK

Urađena analiza pokazuje kako uobičajene analize vremenskih nizova, kao što je jednostavni linearni trend, nisu pouzdane za predviđanje vrijednosti. Razlog za

to je nehomogenost i anizotropija ulaznih protoka, a što je potvrđeno primjenom IPTA metode. Dodatne analize vremenskih nizova kao što su Rescaled Adjusted Partial Sums (RAPS) metoda, Mann-Kendall (M-K) test i mnoge druge poznate metode mogle bi dati bolju sliku analiziranoga problema. Preporuka je u narednim istraživanjima proširiti analize korištenjem i tih metoda u cilju što pouzdanijeg predviđanja pojava u prirodi. ■

LITERATURA

- Achite, M.; Ceribasi, G.; Ceyhunlu, A. I.; Wałęga, A.; Caloiero, T. 2021. The Innovative Polygon Trend Analysis (IPTA) as a Simple Qualitative Method to Detect Changes in Environment — Example Detecting Trends of the Total Monthly Precipitation in Semiarid Area. *Sustainability* 13: 12674. <https://doi.org/10.3390/su132212674>.
- Adelodun, B.; Odey, G.; Cho, H.; Lee, S.; Adeyemi, K. A.; Choi, K. S. 2022. Spatial-temporal variability of climate indices in Chungcheong provinces of Korea: application of graphical innovative methods for trend analysis. *Atmospheric Research* 280: 106420. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106420>.
- Ahmed, N.; Lu, H.; Booij, M. J.; Wang, G.; Marhaento, H.; Bhat, M. S.; Adnan, S. 2022. Innovative polygon trend analysis of monthly precipitation (1952–2015) in the Hindukush-Karakoram-Himalaya river basins of Pakistan. *International Journal of Climatology*. 42(16): 9967–9993. <https://doi.org/10.1002/joc.7875>.
- Ahmed, N.; Wang, G.; Booij, M. J. et al. 2022. Changes in monthly streamflow in the Hindukush–Karakoram–Himalaya Region of Pakistan using innovative polygon trend analysis. *Stoch Environ Res Risk Assess* 36: 811–830. <https://doi.org/10.1007/s00477-021-02067-0>.
- Akçay, F.; Bingölbali, B.; Akpınar, A.; Kankal, M. 2022. Trend detection by innovative polygon trend analysis for winds and waves. *Front. Mar. Sci.* 9:930911. doi:10.3389/fmars.2022.930911.
- Alashan, S. 2021. *Comparison of Sub-Series with Different Lengths Using Şen-Innovative Trend Analysis*. PREPRINT (Version 1) available at Research Squarex, <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-554023/v1>.
- 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: 1855. <https://doi.org/10.3390/w11091855>.
- Canjevac, I.; Orešić, D. 2015. Contemporary Changes of Mean Annual and Seasonal River Discharges in Croatia. *Hrvat. Geogr. Glasnik*. 77/1: 7–27.
- Ceribasi, G.; Ceyhunlu, A. I. 2021. Analysis of total monthly precipitation of Susurluk Basin in Turkey using innovative polygon trend analysis method. *Journal of Water and Climate Change* 12: 1532–1543. <https://doi.org/10.2166/wcc.2020.253>.
- Državni hidrometeorološki zavod Republike Hrvatske (DHMZRH). 2021. Dnevni protoci za HP Ludbreg od 1999. do 2019.
- Esit, M. 2023. Investigation of innovative trend approaches (ITA with significance test and IPTA) comparing to the classical trend method of monthly and annual hydrometeorological variables: a case study of Ankara region, Turkey. *Journal of Water and Climate Change*. 14: 305-329. <https://doi.org/10.2166/wcc.2022.356>.
- Google Maps. Available online: <https://www.google.com/maps/@44.5756781,17.4269796,7.79z> (pristupljeno 20. lipnja 2022.)
- Kos, Ž.; Đurin, B.; Dogančić, D.; Kranjčić, N. 2021. Hydro-Energy Suitability of Rivers Regarding Their Hydrological and Hydrogeological Characteristics. *Water*. 13: 1777. <https://doi.org/10.3390/w13131777>.
- Petric, H. 2010. Some Settlements in the River Bednja River Basin During the Middle Ages and at the Beginning of the Early New Age. *Kaj Casopis Za Književnost Umjet. Kult.* 43: 3.
- Saplıoğlu, K.; Kilit, M.; Yavuz, B. 2014. Trend analysis of streams in the Western Mediterranean Basin of Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*. 23: 313-324.
- Sen, Z.; Sisman, E.; Dabanli, I. 2019. Innovative Polygon Trend Analysis (IPTA) and applications. *J. Hydrol.* 575: 202-210. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.028>.
- Studija utjecaja na okoliš za EU projekt zaštite od poplava na slivu Bednje — Netehnički sažetak. 2018. Dostupno online: www.bednja.hr/media/1598.pdf. (pristupljeno 27. lipnja 2021.)
- Waikhom, S. I.; Yadav, V. K.; Chadee, A. A.; Varma, V. 2023. Variability in trends of streamflow and precipitation in the Narmada River Basin over the past four decades. *Water Supply*. 23: 1495-1518. <https://doi.org/10.2166/ws.2023.064>.

TREND ANALYSIS OF THE BEDNJA RIVER FLOW USING THE IPTA METHOD

Abstract: In most cases, analysing hydrological data is related to the definition of a linear trend and its adequate interpretation. Although not complex, the unreliability of this analysis frequently used in hydrology may pose a problem at low values of the coefficient of determination R . Inaccurate conclusions may lead to poor assessments during the sizing of hydrotechnical facilities. The impact of climate change additionally contributes to this challenge. The paper will present a methodology for determining homogeneity and isotropy of analysed data with the aim of determining the unreliability level of obtained linear trends. To this end, the Innovative Polygon Trend Analysis (IPTA) method will be applied to the Bednja River in the Republic of Croatia by analysing a series of average daily flows in the duration of twenty years at the gauging station Ludbreg.

Key Words: linear trend, homogeneity, isotropy, IPTA, Bednja River

ANALYSE DER DURCHFLUSSTRENDS DES FLUSSES BEDNJA ANHAND DER IPTA-METHODE

Zusammenfassung: Bei der Analyse hydrologischer Daten geht es in den meisten Fällen um die Feststellung eines linearen Trends und eine entsprechende Interpretation des Trends. Obwohl eine solche Analyse nicht kompliziert ist, kann die Zuverlässigkeit dieser in der Hydrologie häufig verwendeten Methode bei kleinen Werten des Bestimmtheitsmaßes R fraglich sein. Falsche Schlussfolgerungen können zu schlechten Schätzungen bei der Dimensionierung hydrotechnischer Anlagen führen. Auch die Auswirkungen des Klimawandels tragen zur Unzuverlässigkeit bei. In diesem Beitrag wird die Methodik zur Bestimmung der Homogenität und Isotropie der analysierten Daten dargestellt, mit dem Ziel, den Grad der Zuverlässigkeit der festgestellten linearen Trends zu bestimmen. Zu diesem Zweck wird die innovative Polygon-Trendanalyse (IPTA) (engl. Innovative Polygon Trend Analysis) angewendet. Diese Methode wird am Beispiel des Flusses Bednja in der Republik Kroatien dargestellt.

Schlüsselwörter: linearer Trend, Homogenität, Isotropie, IPTA, Fluss Bednja

