

Analiza varijabilnosti protoka – primjer rijeke Gornje Dobre, Republika Hrvatska

Lucija Plantak

Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, mr. sc., lucija.plantak@gfv.unizg.hr

Bojan Đurin

Sveučilište Sjever, prof. dr. sc., bdjurin@unin.hr

Sobir Kodirov

Taškentski institut inženjera za navodnjavanje i poljoprivrednu mehanizaciju, Taškent, mr. sc., s.kodirov@tiiame.uz

Henrique da Silva Pizzo

Sveučilište Estácio Juiz de Fora, Građevinski fakultet, dr. sc., henriquepizzo.estacio@gmail.com

Sažetak: Promjene protoka rijeke ovise o promjenama u okolišu, koje mogu biti prirodnog ili antropogenog porijekla. Mjerenje protoka je važna aktivnost u okviru hidrologije, koja daje vrijedne informacije o uvjetima u rijekama. Važno je odgovarajuće razumijevanje uvjeta protoka i predviđanje mogućih budućih situacija i problema koji se mogu pojaviti. Vremenski nizovi srednjih dnevnih veličina protoka analizirati će se na rijeci Gornjoj Dobri u Republici Hrvatskoj. RAPS metoda (*eng. Rescaled Adjusted Partial Sums*) i korelacijska analiza primijeniti će se na vremenski niz dobiven na dvije mjerne postaje s limnigrafom, Turkovići i Luke. Korištenjem ovih metoda dobit će se uvid u mogućnosti predviđanja protoka na analiziranom području, kao i u drugim regijama u Republici Hrvatskoj i svijetu. Predstavljena metodologija može se koristiti u okviru zaštite od poplava, utvrđivanja hidroenergetskog potencijala rijeka, navodnjavanja i mnoge druge svrhe.

Ključne riječi: protok, RAPS, hidrološki vremenski nizovi, mjerna postaja, predviđanje

Variability analysis of the river flow – case study of river Gornja Dobra, Croatia

Abstract: The variability of river flow depends on environmental changes that are due to either natural or human causes. Measuring river flow is an essential activity in the domain of hydrology that gives valuable information on river conditions. An appropriate understanding of the conditions of the water courses and a good anticipation of all possible situations and problems that may arise are essential. The average daily river flow time series will be analyzed on the case study of river Gornja Dobra in Croatia. Rescaled Adjusted Partial Sums (RAPS) analysis with correlation analysis will be applied to the time series provided by two available limnigraph measurement stations, Turkovići and Luke. The examples will give insight into the ability to forecast river flows in the analyzed case study and other regions in Croatia and the world. The presented methodology could be used for flood protection, determining the hydro-energy potential of the rivers, irrigation, and many other purposes.

Keywords: river flow, RAPS, hydrological time series, measurement station, forecast

Plantak, L., Đurin, B., Kodirov, S., Pizzo, H.

Analiza varijabilnosti protoka – primjer rijeke Gornje Dobre, Republika Hrvatska

1. UVOD

Rijeka Dobra je jedna od najvećih ponornica u Europi. Može se podijeliti na tri svojstvena dijela toka: Gornja Dobra od izvora do grada Ogulina, drugi dio od Đulinog ponora kroz krške kanale i špilje do sela Gojak i treći dio koji se ulijeva u rijeku Kupu. Đulin ponor je prirodni odvodni sustav za velike vode Gornje Dobre i njezinih pritoka [1]. Ova krška rijeka poprima različite oblike, tj. pokazuje veliku promjenjivost hidrografskog, hidrološkog i hidrogeološkog režima. Također teče dijelom kao površinska, a dijelom kao podzemna rijeka, pokazujući hidrološke interakcije kroz mnoge krške oblike. Rijeku Dobru karakteriziraju brza i velika kolebanja razine podzemnih voda, koja izravno utječu na hidrološki i hidrogeološki režim otvorenih vodotoka i onih koji teku podzemnim kršem. Gubici vode s površine u krško podzemlje u pravilu se događaju pri malim vodama, dok su tijekom velikih voda procesi uglavnom obrnuti. Dakle, ovisno o hidrogeološkoj situaciji, rijeka Dobra istovremeno gubi dio voda u krško podzemlje, ali se i prihranjuje vodama iz krških vodonosnika. Proces gubitaka voda u krško podzemlje i dotoka iz njega duž Dobre su opaženi ali još nisu dovoljno proučeni i objašnjeni [2].

Velike vode na Gornjoj Dobri predstavljaju opasnost od poplava u gradu Ogulinu, stoga je predviđanje tog opasnog događaja važno kako bi se spriječile katastrofe. Također, problem je i antropogeni utjecaj koji se javlja izgradnjom brana i akumulacija, pretjeranim crpljenjem podzemnih voda, te izgradnjom hidroelektrane, koji su analizirani u [2] kako bi se pokazale promjene hidrološkog režima izazvane djelovanjem čovjeka, u ovom slučaju radom HE Gojak. [3] su utvrdili da rijeka Gornja Dobra ima potencijal za izgradnju malih hidroelektrana, osobito kinetičkih.

2. RAPS METODA I KORELACIJSKA ANALIZA

Korelacijska analiza se bavi istraživanjem i kvantificiranjem povezanosti kombiniranjem i kvantificiranjem veza između promatranih pojava, odnosno varijabli. RAPS metoda se može koristiti u svim područjima istraživanja, ali se uglavnom koristi za analizu riječnog toka s hidrološkog gledišta [3]. Ova metoda ima dosta široku primjenu, osobito u hidrologiji [4].

Ta metoda se temelji na vizualnom određivanju vrijednosti analiziranih parametara, pri čemu se opaža pojavljivanje trendova, grupiranje podataka, kolebanja i slične pojave tijekom vremena. Koristeći prosječnu vrijednost i standardne devijacije promatranih vremenskih vrijednosti, RAPS se može izračunati pomoću jednadžbe (1).

$$RAPS_k = \sum_{t=1}^k \frac{Y_t - \bar{Y}}{S_y} \quad (1)$$

Gdje je Y_t vrijednost analiziranog člana (parametra) razmatranog vremenskog niza, \bar{Y} prosječna vrijednost razmatranog vremenskog niza, S_y standardna devijacija razmatranog vremenskog niza, a $t = 1, 2, \dots, k$, gdje je k broj članova razmatranog vremenskog niza, brojač tijekom zbrajanja [5].

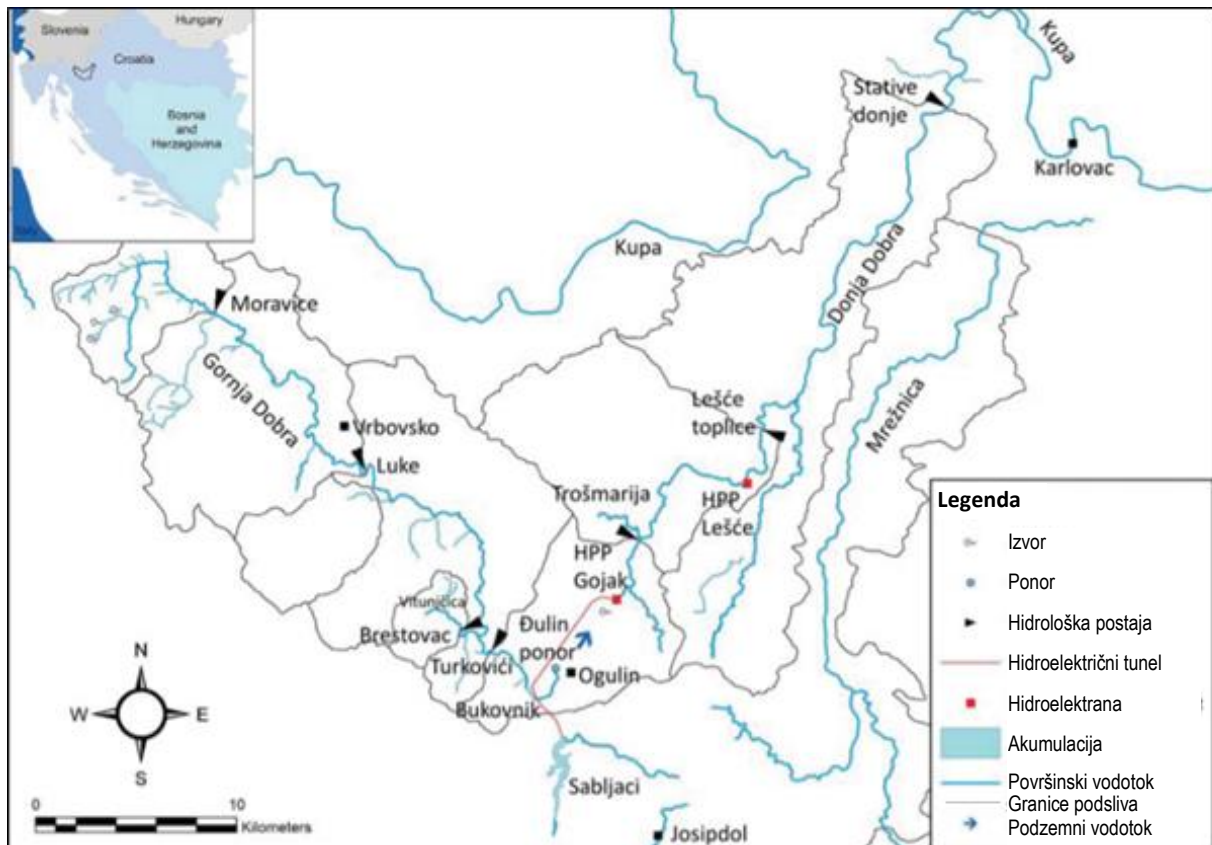
Koeficijent korelacije opisuje korelaciju varijabli koja predstavlja smjer i snagu korelacije varijabli u linearnom odnosu. Vrijednosti koeficijenta korelacije izražene su od -1 do +1, gdje -1 označava potpunu negativnu korelaciju između dviju varijabli, +1 pozitivnu korelaciju između dviju varijabli, a 0 označava nepostojanje korelacije između promatranih varijabli [6].

Plantak, L., Đurin, B., Kodirov, S., Pizzo, H.

Analiza varijabilnosti protoka – primjer rijeke Gornje Dobre, Republika Hrvatska

3. REZULTATI ANALIZE

Analiza varijabilnosti protoka rijeke bit će dana RAPS analizom podataka s mjernih postaja Luke i Turkovići, koje su prikazane uz položaj rijeke Gornje Dobre na slici 1. Podaci s navedenih postaja dani su za ispitivano razdoblje od 20 godina, od početka 2000. do kraja 2019. godine [7].



Slika 1. Rijeka Gornja Dobra s lokacijom mjernih postaja Luke i Turkovići, prilagođeno iz [1]

Izgled rijeke Gornje Dobre na mjernim postajama Luke i Turkovići prikazan je na slikama 2. i 3. Na slikama 4. i 5. prikazan je prosječni dnevni protok s postaje Turkovići.

Plantak, L., Đurin, B., Kodirov, S., Pizzo, H.

Analiza varijabilnosti protoka – primjer rijeke Gornje Dobre, Republika Hrvatska



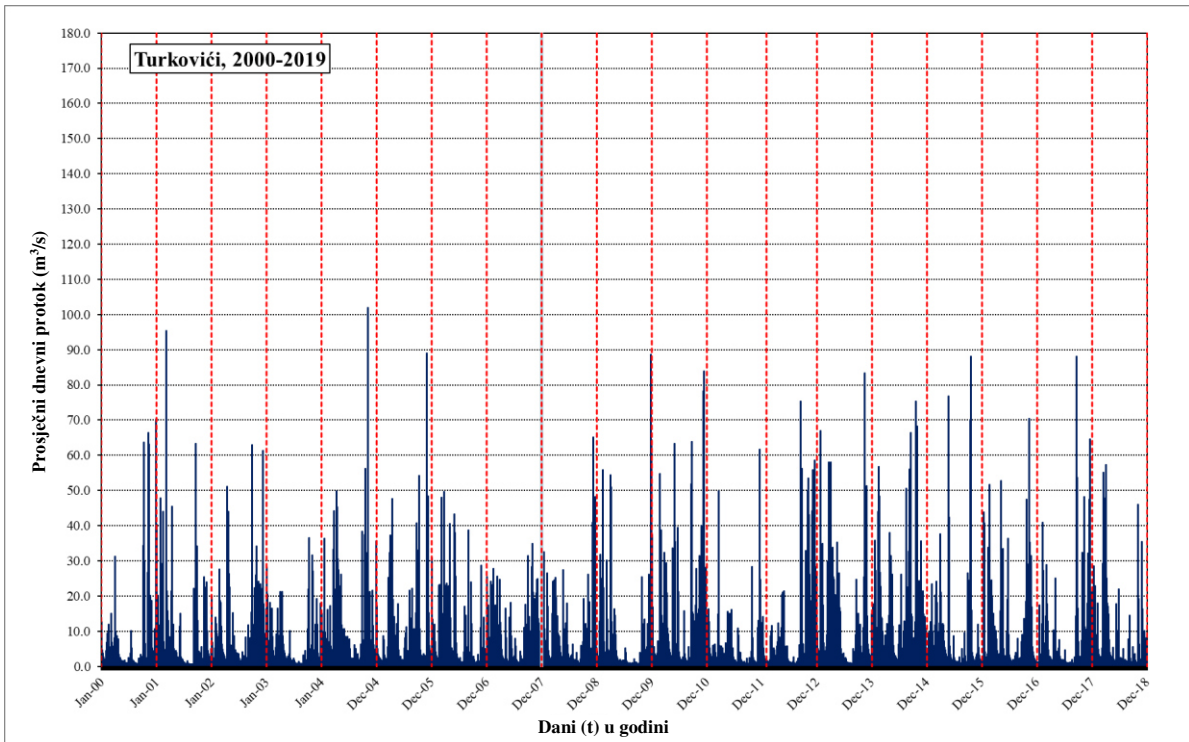
Slika 2. Rijeka Gornja Dobra na mjernoj postaji Luke



Slika 3. Rijeka Gornja Dobra na mjernoj postaji Turkovići

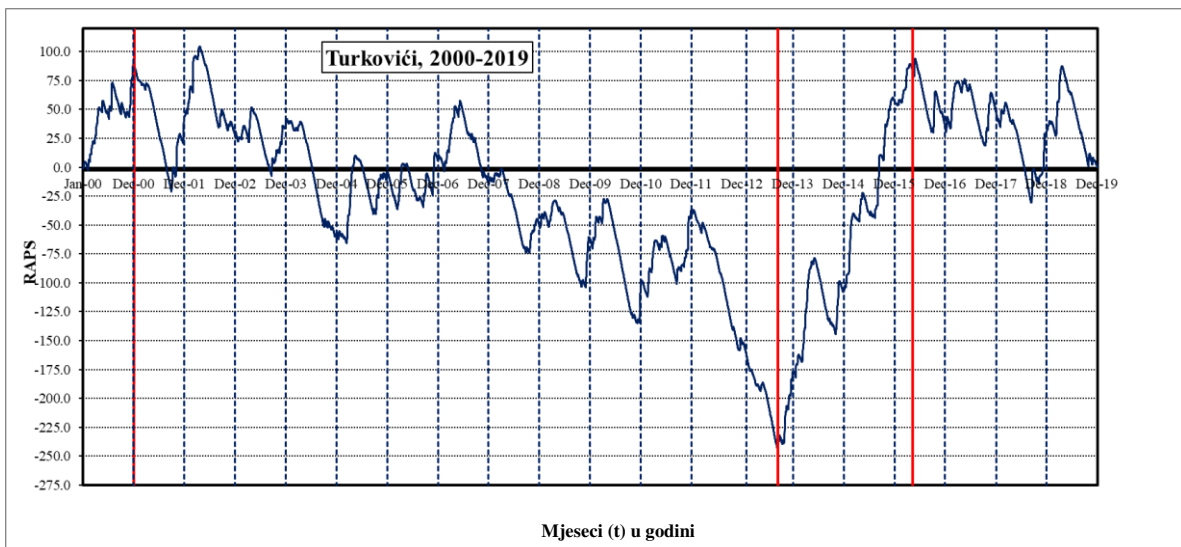
Plantak, L., Đurin, B., Kodirov, S., Pizzo, H.

Analiza varijabilnosti protoka – primjer rijeke Gornje Dobre, Republika Hrvatska



Slika 4. Hidrogram s mjerne postaje Turkovići

Primijenjena je RAPS metoda, prikazana na slici 5. na zadanim podacima prosječnih dnevnih protoka.



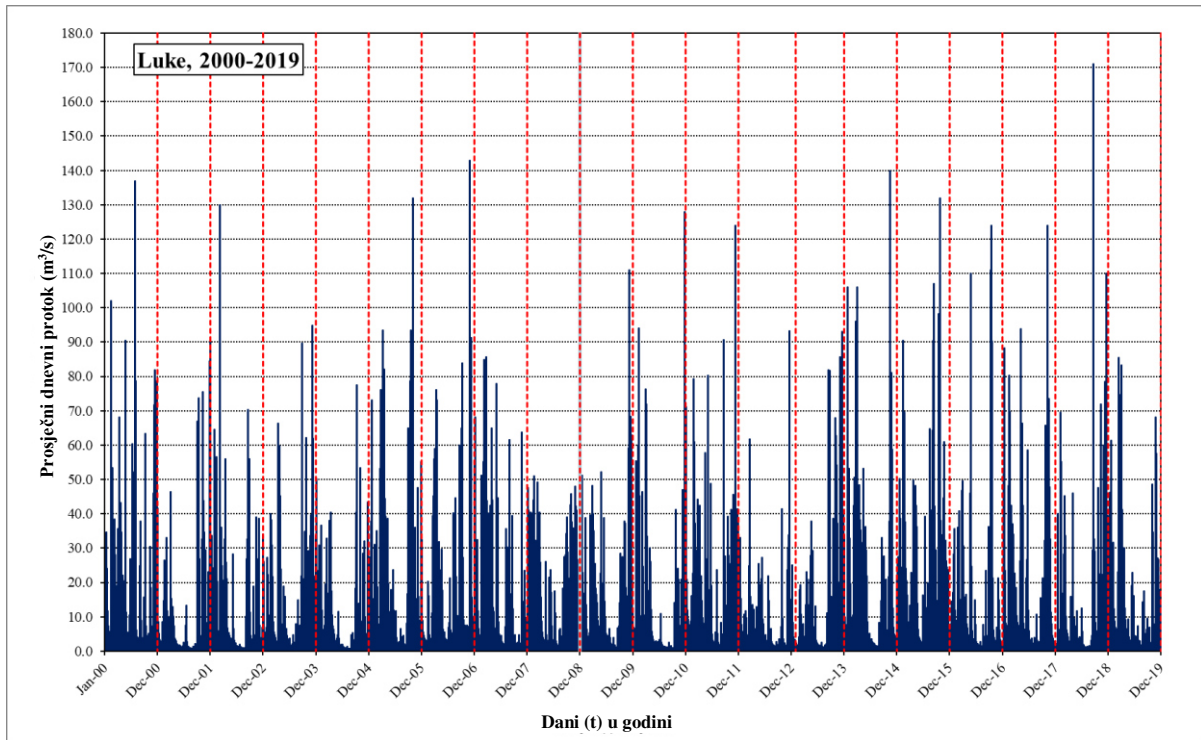
Slika 5. RAPS analiza za prosječne dnevne protoke za mjernu postaju Turkovići

Analiza RAPS dijagrama za rijeku Gornju Dobru na postaji Turkovići pokazuje četiri podrazdoblja. Prvo podrazdoblje je počelo početkom 2000. godine. Drugo podrazdoblje je od kraja 2000. do kraja 2013. godine, dok je treće počelo krajem 2013. i trajalo je do kraja 2015. godine. Četvrto razdoblje počinje početkom 2016. godine i nastavlja se dalje. Može se

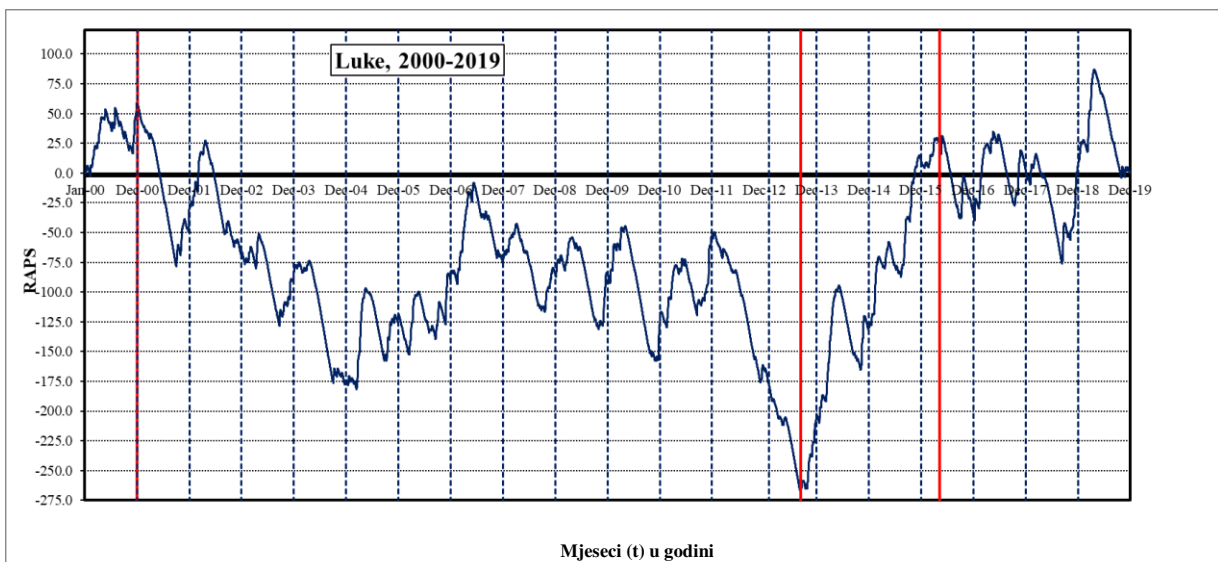
Plantak, L., Đurin, B., Kodirov, S., Pizzo, H.

Analiza varijabilnosti protoka – primjer rijeke Gornje Dobre, Republika Hrvatska

primijetiti da u drugom podrazdoblju postoje razdoblja "malih protoka", dok se u trećem podrazdoblju pojavljuju godine "velikih protoka". Na slikama 6. i 7. prikazan je prosječni dnevni protok na postaji Luke i RAPS na istim prikupljenim podacima.



Slika 6. Hidrogram s mjerne postaje Luke



Slika 7. RAPS analiza za prosječne dnevne protoke za mjernu postaju Luke

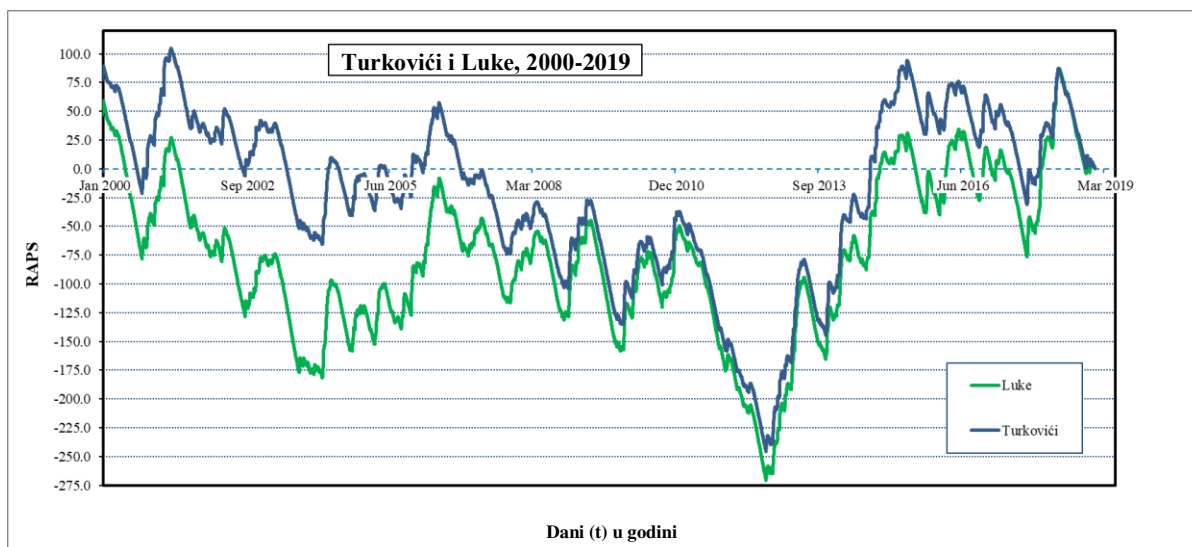
Postaja Luke daje podatke koji pri analizi RAPS metodom pokazuju četiri podrazdoblja. Kao i na postaji Turkovići, podrazdoblja počinju u prvome dijelu 2000. godine, drugo od početka 2001. godine i traje do kraja 2013. godine, dok treće dolazi poslije i traje do početka 2016. godine.

Plantak, L., Đurin, B., Kodirov, S., Pizzo, H.

Analiza varijabilnosti protoka – primjer rijeke Gornje Dobre, Republika Hrvatska

Četvrti podniz počinje početkom 2016. godine i nastavlja se dalje. Kao i na postaji Turkovići, RAPS analiza daje uvid u razdoblja „malih protoka“ u drugom i trećem podrazdoblju s godinama „velikih protoka“.

Iz RAPS analize na slici 8. može se vidjeti djelomično preklapanje RAPS uzoraka.



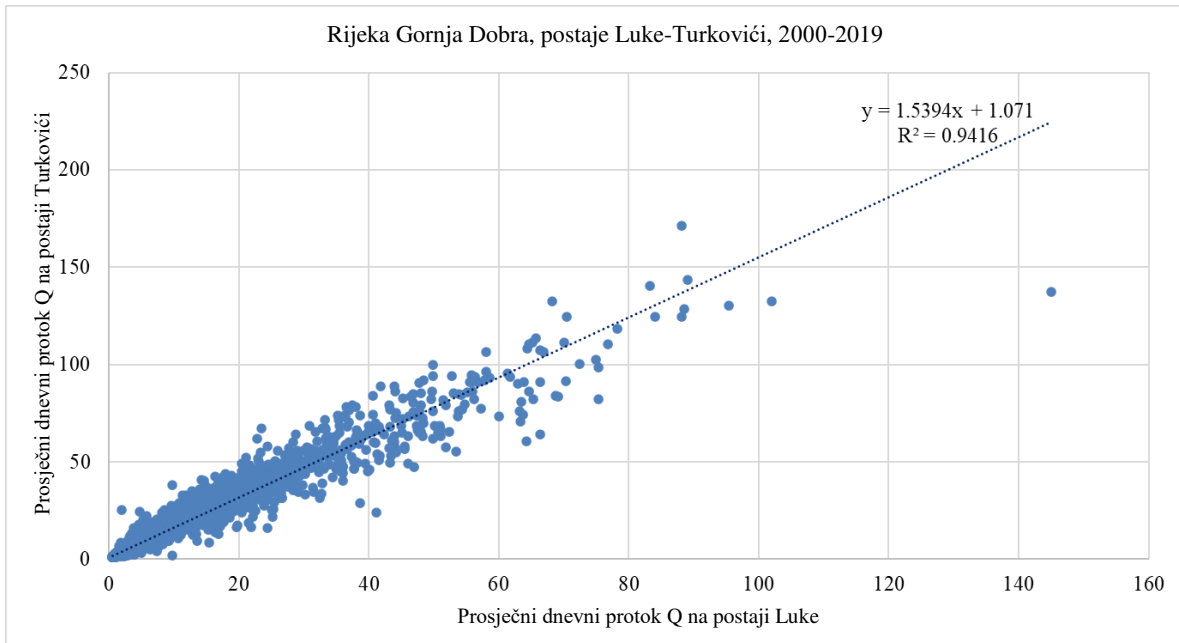
Slika 8. Usporedba RAPS analize za prosječne dnevne protoke za obje mjerne postaje Luke i Turkovići

Jedan od razloga zajedničkog razdoblja do početka 2010. godine mogao bi se objasniti činjenicom da između ove dvije postaje nema značajnijih pritoka. Također, kroz sva analizirana razdoblja vidljivo je preklapanje oblika RAPS dijagrama. RAPS analiza je vrlo korisna za otkrivanje podrazdoblja u kojima utjecaj imaju antropogene ili prirodne pojave. Izgradnja hidroelektrana Lešće (42,29 MW) i Gojak (56 MW) [8] promijenila je hidrogeološke uvjete, posebice jer su izgrađene u krškom području koje je obično vrlo teško za analizu. HE Lešće koristi akumulacijsko jezero, dok HE Gojak za dovod vode koristi hidrotehnički tunel. Zbog analize iz rada u [9,10] literature, vrlo je težak i složen zadatak kvantificirati stvarni utjecaj obje HE. Značajnu ulogu u ovom pitanju imaju i klimatske promjene.

Međutim, potrebna je daljnja analiza kako bi se definirao mogući odnos između prosječnih dnevnih protoka na mjernim postajama Luke i Turkovići. Prema tome, promjena protoka na uzvodnoj postaji Luke bi mogla utjecati na promjenu protoka na nizvodnoj postaji Turkovići. To je važno, posebno kada vodeni val dolazi s mjerne postaje Turkovići. Na slici 9. prikazan je korelacijski odnos protoka rijeke između postaja Luke i Turkovići.

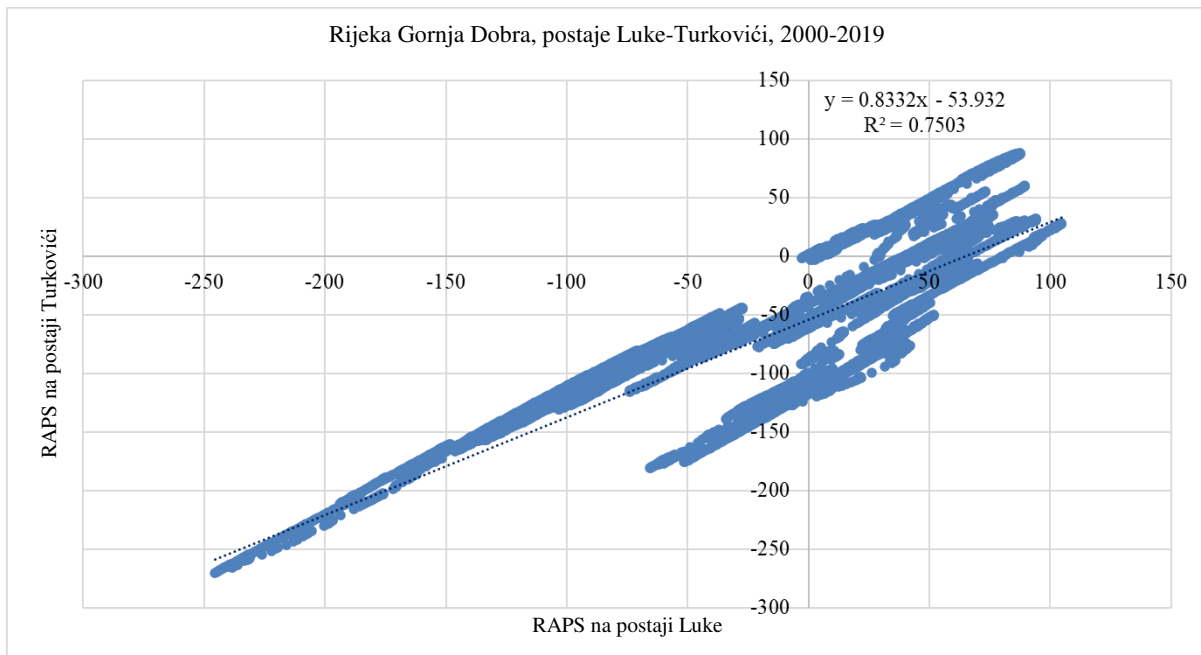
Plantak, L., Đurin, B., Kodirov, S., Pizzo, H.

Analiza varijabilnosti protoka – primjer rijeke Gornje Dobre, Republika Hrvatska



Slika 9. Korelacija prosječnih dnevnih protoka rijeke na postajama Luke i Turkovići

Može se vidjeti kako između ovih mjernih postaja postoji značajna, vrlo visoka pozitivna korelacija. Zbog prethodne rasprave, potrebno je zaključiti da će se primijeniti korelacija, ali ovaj put između RAPS vrijednosti, slika 10. Takva analiza je dana za analizu protoka u aluvijском mediju [11] i za promjene razine morske vode [12]. Istodobno se primjenjuje za analizu protoka u krškom mediju.



Slika 10. Korelacija RAPS podataka na postajama Luke i Turkovići

Plantak, L., Đurin, B., Kodirov, S., Pizzo, H.

Analiza varijabilnosti protoka – primjer rijeke Gornje Dobre, Republika Hrvatska

Općenito, koeficijenti korelacije na oba dijagrama pokazuju pozitivan odnos između dviju varijabli: prikupljenih podataka prosječnih dnevnih protoka rijeke i njihovih RAPS vrijednosti na postajama Luke i Turkovići. Visoku pozitivnu vrijednost pokazuje i RAPS koeficijent korelacije.

4. ZAKLJUČAK

Iako prikazano istraživanje objašnjava izmjerene protoke rijeke Gornje Dobre, odnos je samo djelomično opisan. U radu je istaknuta hidrološka složenost analiziranog područja. Daljnje analize trebale bi uključiti analizu oborina i analizu hidrogeoloških uvjeta sliva obje rijeke, Gornje i Donje Dobre. Rezultati RAPS analize provedene u ovom istraživanju koriste RAPS kao odličan alat za predviđanje protoka rijeke, što je potkrijepljeno visokim vrijednostima R^2 u korelacijskoj analizi. Takva analiza odlično je polazište za donošenje čvrstih zaključaka o utjecaju globalnih klimatskih promjena ili periodičnih prirodnih fluktuacija površinskog otjecanja. Stoga proučavanje slučajeva rijeka zahtijeva dublju i dugoročniju analizu u budućnosti.

LITERATURA

1. Pavlič, K., Jakobović, D.: High flows from Gornja Dobra basin, The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin, 2018, 3, 45-52. <https://doi.org/10.17794/rgn.2018.3.5>.
2. Bonacci, O., Andrić, I.: Hydrological Analysis of the Karst River Dobra, Hrvatske vode, 2010, 72, 127-138.
3. Kos, Ž., Đurin, B., Dogančić, D., Kranjčić, N.: Hydro-energy suitability of rivers regarding their hydrological and hydrogeological characteristics, Water, 2021, 13. <https://doi.org/10.3390/w13131777>.
4. Đurin, B., Kranjčić, N., Kanga, S., Singh, S. K., Sakač, N., Pham, Q. B., Hunt, J., Dogančić, D., Di Nunno, F.: Application of Rescaled Adjusted Partial Sums (RAPS) method in hydrology – an overview, Advances in Civil and Architectural Engineering, 2022, 25, 58-72. <https://doi.org/10.13167/2022.25.6>.
5. Alemaw, B. F., Chaoka T. R.: Trends in the flow regime of the Southern African rivers as visualized from Rescaled Adjusted Partial Sums (RAPS), African Journal of Science and Technology, 2004, 1, 70-79. <https://doi.org/10.4314/ajst.v3i1.15288>.
6. Maity, R.: Statistical methods in hydrology and hydroclimatology, Springer Singapore, Singapore, 2018. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-8779-0>.
7. Hrvatski hidrometeorološki zavod. Službeni podaci o protoku rijeka na mjernim postajama Turkovići i Luke, 2019.
8. HEP Proizvodnja d.o.o. Službeni podaci o HE Gojak i Lešće. Pristupljeno: 12.7.2022. god. Dostupno na: <https://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektre-1528/pp-he-zapad/1720>
9. Bonacci, O.: Air temperature and precipitation analyses on a small Mediterranean island: the case of the remote island of Lastovo (Adriatic Sea, Croatia), Acta hydrotechnica, 2019, 57, 135-150. <https://doi.org/10.15292/acta.hydro.2019.10>.
10. Bonacci, O., Trninić, D., Roje-Bonacci, T.: Analysis of the water temperature regime of the Danube and its tributaries in Croatia, Hydrological processes, 2008, 7, 1014-1021. <https://doi.org/10.1002/hyp.6975>.
11. Đurin, B.; Plantak, L.; Bonacci, O.; Di Nunno, F.: A unique approach to hydrological behavior along the Bednja River (Croatia) watercourse, Water, 2023, 3, 589. <https://doi.org/10.3390/w15030589>.
12. Markovinović, D., Kranjčić, N., Đurin, B., Oršulić, O. B.: Identifying the dynamics of the sea-level fluctuations in Croatia using the RAPS method, Symmetry, 2021, 2. <https://doi.org/10.3390/sym13020289>.