

ELIMINACIJA MALIH I ZAVISNIH EPIZODA PRI IDENTIFIKACIJI DEFICITA DNEVNIH PROTOKA PO METODI KORAKA

Vladislava Mihailović¹
Borislava Blagojević²
Vesna Đukić³

Rezime

U ovom radu je demonstrirana primena promenljivog praga za identifikaciju epizoda deficita po metodi koraka, na tri hidrološka profila u Srbiji. Linija praga je definisana kao dnevno promenljiv prag – vremenska funkcija kvantila za referentni 30-godišnji period (1961-1990. godina). Za eliminisanje zavisnih i malih epizoda, primenjen je filter po metodi pokretnih proseka, kojom se uglašava (izglađuje) ulazni hidrogram, pri čemu je težište na nalaženju optimalne širine filtera. Na osnovu analize uticaja širine filtera na broj i karakteristike epizoda, kao i na broj malih epizoda, odabrana je širina filtera od 13 dana.

Ključne reči:

hidrološka suša, metoda koraka, promenljiv prag, dnevni protoci, metoda pokretnih proseka

¹ dr Vladislava Mihailović, Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu, vladislava.mihailovic@sfb.bg.ac.rs; vmihailovic@beotel.net

² dr Borislava Blagojević, doc. Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, borislava.blagojevic@gaf.ni.ac.rs; b.blagojevic@eunet.rs

³ dr Vesna Đukić, doc. Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu, vesna.djukic@sfb.bg.ac.rs

1. UVOD

U hidrološkoj praksi, objektivna definicija i analiza hidroloških suša vrši se metodom koraka [1], u slučajevima kada je potrebno poznavanje više karakteristika u poređenju sa informacijama koje o suši daju brojni indeksi. Metoda koraka omogućava da se sušne epizode izdvajaju sa zabeleženog hidrograma u odnosu na usvojeni nivo praga. Ukoliko je prag fiksni, periodi tokom kojih je protok ispod određenog nivoa praga nazivaju se sušne epizode, a epizode deficita vode, ukoliko je prag promenljiv tokom godišnjeg ciklusa, kao što je napomenuto u [2]. Za objektivnu statističku analizu hidroloških suša potrebno je raspolagati njihovim kvantitativnim karakteristikama, bilo da se analiziraju sušne epizode ili epizode deficita. Kada se za formiranje vremenske serije kvantitativnih karakteristika koristi metoda parcijalnih serija (eng. *Partial Duration Series*, PDS), da bi analiza bila objektivna, zahtev je da izdvojeni podaci pripadaju regionu ekstrema i da se obezbedi potrebna veličina uzorka za statističku analizu. U tom smislu, smetnju objektivnoj statističkoj analizi, predstavljaju zavisne i male epizode.

U ovom radu je demonstrirana primena promenljivog praga za identifikaciju epizoda deficita na tri hidrološka profila u Srbiji. Pri tome je, za eliminisanje zavisnih i malih epizoda, primenjena metoda pokretnih proseka (eng. *moving average*, MA). Cilj rada je pronalaženje optimalne širine MA filtera, na bazi provere uticaja širine filtera na izdvojene karakteristike epizoda.

2. METODOLOGIJA

Ovaj rad se, u domenu metodologije, oslanja na teorijske postavke metode koraka za primenu promenljivog praga za identifikaciju epizoda deficita, kada se za eliminaciju zavisnih i malih epizoda primenjuje filter po metodi pokretnih proseka [2].

Linija praga je definisana kao dnevno promenljiv prag – vremenska funkcija kvantila sa dijagrama marginalnih raspodela, za referentni 30-godišnji period (1961-1990. godina). U radu su korišćeni izvedeni dijagrami marginalnih raspodela LP3 za 33 hidrološke stanice sa teritorije Srbije [3]. Dijagram marginalnih raspodela definiše režim promene hidroloških ili meteoroloških promenljivih unutar godišnjeg ciklusa i na taj način definiše tipične, „normalne” uslove u svakom periodu godine. Linije donjih i gornjih kvantila marginalnih raspodela

Eliminacija malih i zavisnih epizoda pri identifikaciji deficita dnevnih protoka
po metodi koraka

karakterišu odstupanja od tipičnog režima, tj. predstavljaju kriterijume za meru relativnog odstupanja od prosečnih uslova za dati datum (ili period tokom godine). Nanošenjem praga na zabeleženi hidrogram dnevnih proticaja će se iz zabeležene vremenske serije, po metodi koraka, izdvojiti epizode deficita i definisati njihove najvažnije kvantitativne karakteristike. Za eliminisanje zavisnih i malih epizoda primenjena je metoda pokretnih proseka, zbog toga što je efikasna ne samo u spajanju međusobno zavisnih epizoda, već uspešno eliminiše i male epizode, tako da u nekim slučajevima nije potrebno uvoditi dodatni kriterijum za rešavanje ovog problema [4, 5]. Prag je nanesen na nizove zabeleženih dnevnih vrednosti, kao i na nizove uglačane (izglađene) MA filterom. Cilj je da se nađe optimalna širina MA filtera, zasnovana na proveru uticaja širine filtera na izdvojene karakteristike epizoda.

Za analizu rečnih deficita odabrane su 3 hidrološke stanice, sa različitim površinama slivova (Tabela 1).

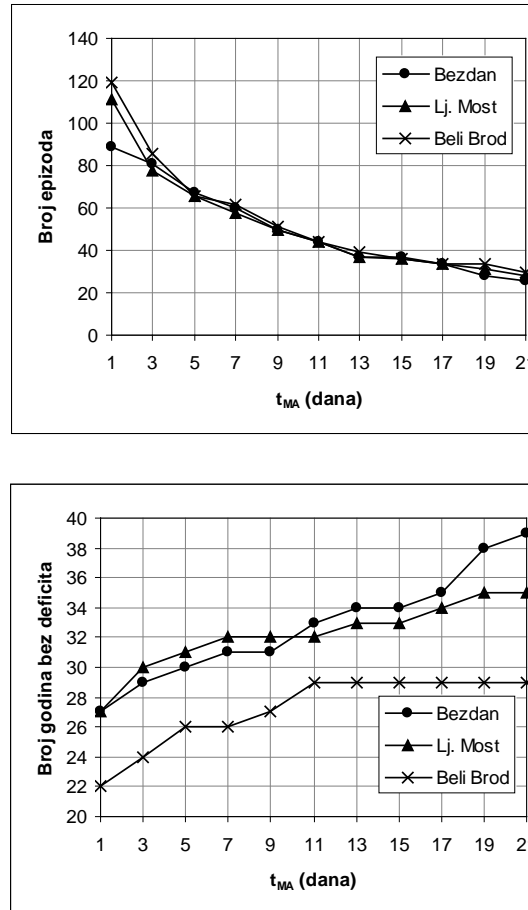
Tabela 1 Raspoloživ period osmatranja za tri hidrološke stanice, prema hidrološkoj godini

Stanica	Reka	Površina sliva (km ²)	Početak	Kraj	Broj hidrol. godina
Bezdan	Dunav	210250	1. okt. 1950.	30. 9. 2006.	56
Ljubičevski Most	V. Morava	37320	1. okt. 1950.	30. 9. 2006.	56
Beli Brod	Kolubara	1869	1. okt. 1959.	30. 9. 2006.	47

3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1. Uticaj širine MA filtera na broj izdvojenih epizoda

Za tri odabrane stanice prvo je analiziran uticaj širine MA filtera (t_{MA}) na broj izdvojenih epizoda i na broj godina tokom kojih nije bila zabeležena nijedna epizoda deficita (Slika 1). (Za originalnu seriju je $t_{MA}=1dan$.) Za sve tri stanice se može uočiti da broj epizoda brzo opada sa porastom širine filtera do granice od oko $t_{MA}=13dana$, a zatim nešto sporije opada sa daljim povećanjem t_{MA} . Suprotno, broj godina bez zabeleženog deficita se povećava sa porastom t_{MA} , s tim što su uočljiva dva preloma: prvi za širinu 5 – 7 dana i drugi za 11 – 13 dana.

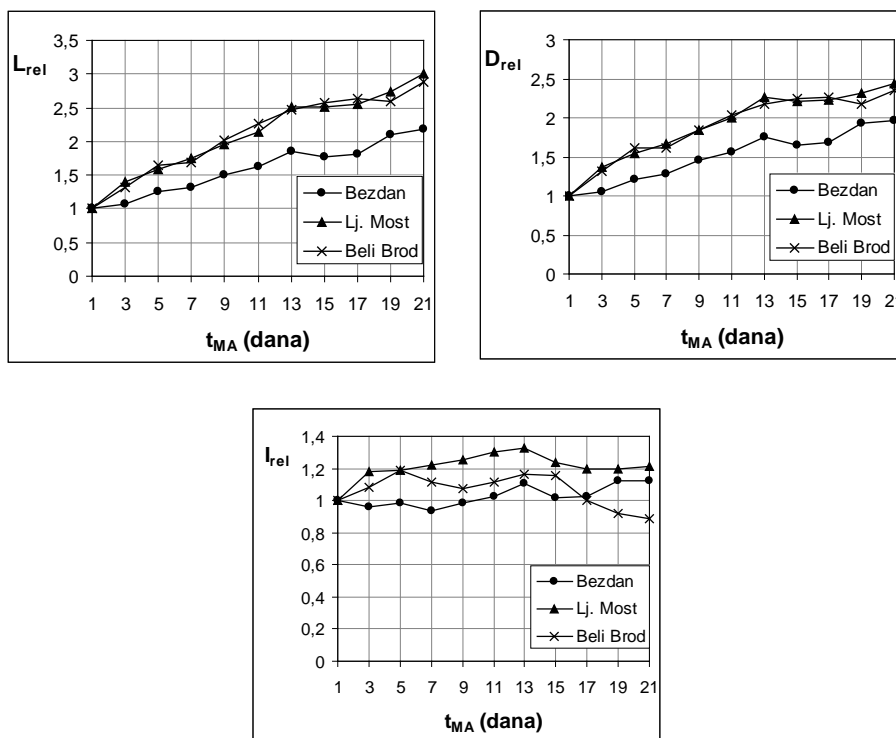


Slika 1. Broj epizoda (gore) i broj godina bez deficita (dole) u zavisnosti od širine MA filtera, za tri odabrana rečna profila.

Slika 2 prikazuje promenu srednjeg relativnog trajanja, srednjeg relativnog akumuliranog deficita i srednjeg relativnog intenziteta, sa povećanjem širine MA filtera. Prva dva dijagrama (slika 2, gore -za trajanje i akumulirani deficit) pokazuju tendenciju stalnog rasta do $t_{MA}=13$ dana za Bezdan i Ljubičevski Most i $t_{MA}=17$ dana za Beli Brod, posle čega se taj rast zaustavlja ili krive čak opadaju. Sa porastom širine filtera ulazna serija se sve više uglašava, spajaju se međusobno zavisne epizode u jednu veću i time se može objasniti nagli porast krivih. Sa daljim povećanjem t_{MA} originalna serija se toliko izmeni da se zabeleži stagnacija ili čak opadanje krivih [4]. Intenzitet (Slika 2, dole) se ne menja toliko sa promenom širine filtera, a za $t_{MA}=13$ dana dostiže

Eliminacija malih i zavisnih epizoda pri identifikaciji deficita dnevnih protoka
po metodi koraka

maksimum kod stanica Bezdán i Lj. Most. Kod stanice Beli Brod prvi maksimum je za $t_{MA}=5$ dana, a za 13 dana je zabeležen sledeći maksimum, posle čega kriva stagnira, pa zatim opada.



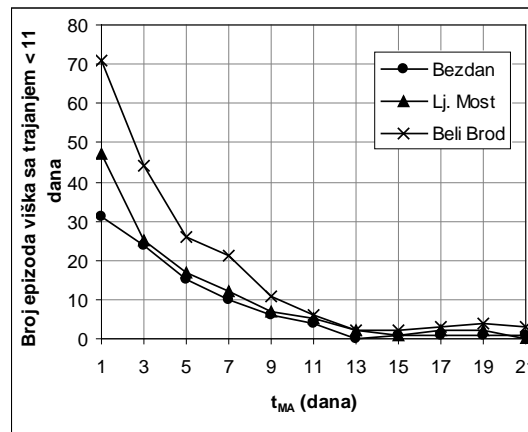
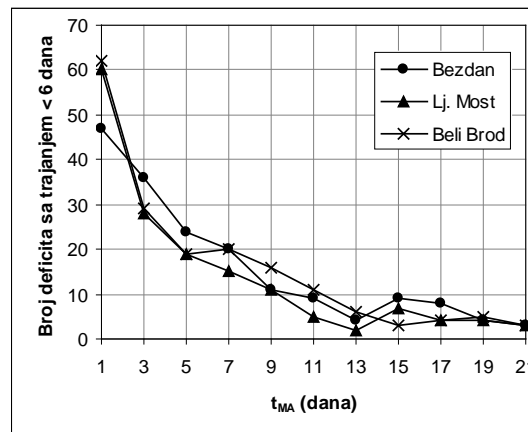
Slika 2. Srednje relativno trajanje (gore-levo), srednji relativni akumulirani deficit (gore-desno) i srednji relativni intenzitet (dole), u zavisnosti od širine MA filtera, za tri odabrana rečna profila.

3.2. Uticaj širine MA filtera na smanjenje broja malih epizoda

Osim na spajanje međusobno zavisnih epizoda, MA metoda utiče i na smanjenje broja malih epizoda. Ovde je ispitan samo uticaj širine filtera na broj deficita sa trajanjem manjim od 6 dana (Slika 3 gore). Zelenhasić i Salvai [7] su usvojili 6 dana kao kriterijum za eliminisanje međuzavisnih epizoda. Zaključak je da postoji generalna tendencija opadanja broja kratkih epizoda sa porastom širine filtera do neke tačke, a zatim se pojavljuje stagnacija ili blagi porast. Za stanice

Bezdan i Ljubičevski Most minimum krivih je za 13 dana, a u slučaju stanice Beli Brod za 15 dana.

S obzirom na to da postoji mogućnost da se uglašavanjem ulazne serije unese nova međuzavisnost između epizoda, ispitan je uticaj širine filtera na broj kratkih epizoda viška između dve susedne epizode deficita (Slika 3, dole). Sa porastom širine filtera ovaj broj se značajno smanjuje (naročito za manje širine filtera), dostiže minimum za $t_{MA}=13$ dana, a zatim se uočava veoma blag porast.



Slika 3. Broj epizoda deficita sa trajanjem < 6 dana (gore) i broj epizoda viška između dve susedne epizode sa trajanjem < 11 dana (dole) u zavisnosti od širine MA filtera, za tri odabrana rečna profila.

3.2. Karakteristike epizoda deficita za usvojenu širinu MA filtera

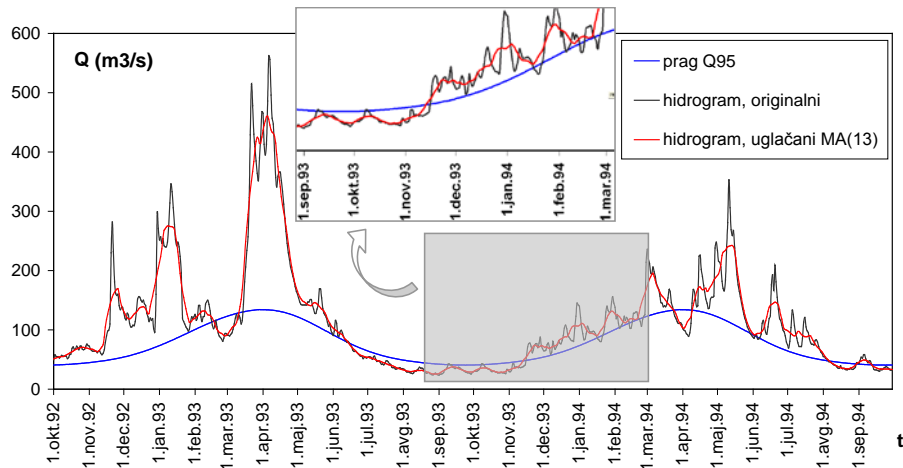
Tabela 2 prikazuje osnovne podatke o izdvojenim epizodama deficita za sve tri stanice, za usvojeno t_{MA} .

Tabela 2 Rekapitulacija osnovnih podataka o izdvojenim epizodama deficita, za usvojeno t_{MA} na tri razmatrane stanice.

Stanica	Broj hidrol. godina	Usvojeno t_{MA} (dana)	Br. epizoda	Br. godina bez epizoda	Br. epizoda sa trajanjem manjim od 6 dana	Br. epizoda viška sa trajanjem manjim od 11dana
Bezdan	56	13	37	34	4	0
Lj. Most	56	13	37	33	2	2
Beli Brod	47	13	39	29	6	2

Slika 4 prikazuje ulazne hidrograme za period 1. oktobar 1992 – 30. septembar 1994. godine (dve hidrološke godine), za stanicu Ljubičevski Most, na Velikoj Moravi. Prikazani su originalni hidrogram i hidrogram koji je dobijen uglašavanjem niza po metodi pokretnih preseka, sa odabranom optimalnom širinom filtera od 13 dana. Na hidrograme je nanesen prag Q_{95} sa dijagrama marginalnih raspodela. Jedan deo dijagrama je uvećan da bi se ilustrovalo kako uglašavanje ulaznog hidrograma utiče na male i međusobno zavisne epizode. U septembru i oktobru 1993. godine, na primer, bilo je dva veoma kratka perioda tokom kojih je hidrogram bio malo iznad linije praga. Jasno je da su periodi deficita pre i posle toga, u stvari, delovi jedne iste duge epizode i da predstavljaju međusobno zavisne događaje. Posle uglašavanja ulaznog hidrograma filterom MA(13), ove epizode su spojene u jednu. Takođe, u februaru 1994. godine, bilo je nekoliko epizoda deficita koje predstavljaju i male i međusobno zavisne događaje, a posle uglašavanja ulaznog hidrograma one su uspešno eliminisane.

Slika 4 prikazuje i najznačajniju epizodu deficita koja je izdvojena na stanici Ljubičevski most. To je epizoda koja je najznačajnija i po trajanju i po zapremini akumuliranog deficita. Epizoda traje 152 dana, od 16. juna 1993. do 13. 11.1993. (Prva sledeća epizoda traje 45 dana.) Akumulirani deficit iznosi $146,54 \times 10^3 \text{ m}^3$ i veći je za oko 33% od deficita koji je drugi po veličini.



Slika 4. Epizode deficita koje su izdvojene na originalnom dnevnom hidrogramu i hidrogramu ugačanom po metodi pokretnih proseka MA(13), nanošenjem promenljivog praga Q_{95} (reka V. Morava, v.s. Ljubičevski Most, period 1. oktobar 1992 – 30. septembar 1994.).

4. ZAKLJUČAK

Za rešavanje problema malih i međusobno zavisnih epizoda u ovom radu je korišćena metoda pokretnih proseka, MA, koja je pokazala zadovoljavajuće rezultate. Poseban cilj ovog rada je određivanje optimalne širine filtera MA. Za analizu su odabrana tri hidrološka profila sa područja Srbije. Na osnovu analize uticaja širine MA filtera na broj i karakteristike epizoda, kao i na broj malih epizoda, odabrana je širina filtera od 13 dana za odabrane hidrološke stanice.

Dalje istraživanje bi trebalo da obuhvati analizu pogodnosti pojedinih modela za probabilističku karakterizaciju epizoda deficita.

Nedavno istraživanje mogućnosti povezivanja indeksa meteorološke i hidrološke suše na teritoriji Srbije, urađeno je za vremenski korak od 1, 2, ..., 12 meseci [8]. Kako su najbolji rezultati dobijeni za povezivanje ovih indeksa u jednostavan model za predviđanje indeksa hidrološke na osnovu indeksa meteorološke suše za 1 mesec zakašnjenja, nameće se analiza veze ova dva indeksa za kraće vremenske korake. Jedna mogućnost je i povezivanje rezultata ovog rada sa odgovarajućim karakteristikama epizoda suša ili deficita dnevnih padavina, po istoj metodologiji, s obzirom na to da su već

izvedeni dijagrami marginalnih raspodela za padavine na 25 reprezentativnih meteoroloških stanica sa područja Srbije [9]. Potencijalni prognostički model bi bio pogodan za uvođenje u hidroinformacioni sistem za najavu suša [10], za koji su pripremljene ontologije [11].

5. IZJAVA

Rezultati istraživanja prikazani u radu su finansirani u okviru projekata Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije TR37003 "Razvoj hidroinformacionog sistema za ranu najavu suša".

6. LITERATURA

- [1] Yevjevich V., 1967: An objective Approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts. Hydrology Paper No. 23, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- [2] Mihailović V., Blagojević B. i Đukić V., 2014: Identifikacija epizoda deficita dnevnih protoka metodom koraka- teorijske postavke. Zbornik radova Građevinsko-arhitektonskog fakulteta u Nišu 29: (recenzija u toku)
- [3] Mihailović, V., 2012: Složena analiza hidroloških vremenskih serija za potrebe modeliranja ekstremnih događaja. Doktorska disertacija. Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet.
- [4] Tallaksen L.M, Madsen H. i Clausen B., 1997: On the definition and modelling of streamflow drought duration and deficit volume, Hydrological Sciences Journal, 42(1): 15–33.
- [5] Fleig A.K, Tallaksen L.M, Hisdal H i Demuth S., 2006: A global evaluation of streamflow drought characteristics. Hydrol. Earth Syst. Sci., 10, pp. 535–552.
- [6] Hisdal H. i Tallaksen L.M, 2000: At site drought definitions. In: (urednici Hisdal H. i Tallaksen L.M) Drought Event Definition, ARIDE Technical Report No.6, Department of Geophysics, University of Oslo, Norway.
- [7] Zelenhasić E. i Salvai A., 1987: A method of Streamflow Drought Analysis, Water Resources Research, 23 (1): 156–168.
- [8] Blagojević, B., Mihailović, V., Gocić, M., Trajković, S., 2013: Streamflow Drought Index modelling through Standard Precipitation Index assisted by service-oriented paradigm. Digital

- Conference Proceedings of the 1st CIGR Inter-Regional Conference on Land and Water Challenges – Bari (Italy), 10-14 September, 2013. Lamaddalena, N., Todorovic, M., Pereira, L.S. (Eds.). ISBN 2-85352-519-8. Conference e-proceedings USB\Full papers\Session 9\ S9-2, 10 p.
- [9] Mihailović V., i Radić Z.M., 2010: Marginalne raspodele kumulativnih dnevnih padavina na prostoru Srbije. *Vodoprivreda* 42(1-3):39-54.
- [10] Milanović M., Gocić M., Trajković S., 2013: Analiza softverskih rešenja za predikciju i ranu najavu suše. *Zbornik radova Građevinsko-arhitektonskog fakulteta*, (28):45-54.
- [11] Gocić M.L., 2009: Ontologije u oblasti hidrologije i hidrološki informacioni sistemi. *Nauka + Praksa* 12(1):31-34.