

## IDENTIFIKACIJA EPIZODA DEFICITA DNEVNIH PROTOKA PO METODI KORAKA- TEORIJSKE POSTAVKE

Vladislava Mihailović<sup>1</sup>  
Borislava Blagojević<sup>2</sup>  
Vesna Đukić<sup>3</sup>

### Rezime

*Metoda koraka je efikasna i široko korišćena metoda za identifikovanje sušnih epizoda, po kojoj se one izdvajaju sa zabeleženog hidrograma u odnosu na usvojeni nivo praga. Periodi tokom kojih je protok ispod određenog nivoa praga nazivaju se sušne epizode, ako je prag fiksni, a epizode deficita vode, za promenljiv prag tokom godišnjeg ciklusa. Za svaku epizodu može se odrediti više kvantitativnih karakteristika, a vremenske serije ovih pokazatelja se dalje mogu statistički analizirati. Kod statističke analize se pojavljuju problemi u modeliranju zbog velikog broja malih, statistički beznačajnih epizoda. Zbog toga važan faktor predstavlja kriterijum za eliminaciju malih, statistički beznačajnih epizoda. U ovom radu su prikazane 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.*

### Ključne reči:

*hidrološka suša, metoda koraka, promenljiv prag, metoda pokretnih proseka.*

---

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

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

<sup>3</sup> dr Vesna Đukić, doc. Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu, [vesna.djukic@sfb.bg.ac.rs](mailto:vesna.djukic@sfb.bg.ac.rs)

## 1. UVOD

Ako se suša posmatra prvenstveno kao manjak raspoložive vode u određenom vremenu (i/ili po prostoru), kao prirodan način za identifikaciju i karakterizaciju sušnih epizoda nameće se koncept po kome se sušne epizode izdvajaju od ostatka vremenske serije u odnosu na neki (usvojeni) referentni nivo – prag. Ako se prag shvati kao nivo potreba za vodom, onda je sušna epizoda određena kao neprekidna sekvenca tokom koje je nivo raspoložive vode ispod nivoa zahteva za vodom. Ovaj koncept proističe iz metode koraka za analizu vremenskih serija, koji je kao metod za objektivnu definiciju i analizu hidroloških suša (lokalno – u jednoj tački i na regionalnom nivou) predložio V. Jevđević [1].

Za podatke koji su grupisani sa vremenskom skalom manjom od godine (mesečni, nedeljni, dnevni...), osim konstantnog praga (tokom cele godine ili tokom sezone), može se usvojiti i prag koji se menja tokom godine – promenljiv prag (sezonski, mesečni, dnevni). Promenljiv prag na mesečnom, odnosno dnevnom nivou će identifikovati epizode tokom cele godine, relativno u odnosu na neki tipičan unutargodišnji režim. S obzirom na to da takav prag identifikuje i epizode koje se ne mogu nazvati pravim sušama (recimo, proticaji koji su manji nego što je to uobičajeno u nekom mesecu, ali nisu i najmanji tokom godišnjeg ciklusa), onda je takve epizode bolje nazvati epizode deficita, nego sušne epizode [2, 3].

Za kvantifikaciju sušnih epizoda ili epizoda deficita, najčešće se koriste sledeće karakteristike: trajanje epizode deficita, akumulirani deficit tokom jedne epizode i prosečan intenzitet epizode deficita, a vreme pojave događaja se često javlja u literaturi kao još jedna važna karakteristika.

Metodologija koja se primenjuje za analizu epizoda izdvojenih iz nestacionarnih serija (najčešće dnevnih), bazirana je na kombinaciji metode koraka za identifikaciju epizoda suša i tradicionalnih metoda koje se primenjuju u teoriji ekstremnih vrednosti – metode godišnjih maksimuma, AMS, ili metode parcijalnih serija (PDS), za izdvajanje ekstrema i probabilističku karakterizaciju suša. Metoda AMS podrazumeva da se iz čitavog niza neke karakteristike suše izdvajaju najveće vrednosti u periodu od jedne godine. Tako se formiraju nizovi npr. najvećih trajanja ili deficita vode, a zatim se određuje teorijska raspodela koja se najbolje prilagođava tim nizovima. Metoda PDS uzima u obzir sve statistički značajne epizode, s tim što su mogući problemi u modeliranju zbog velikog broja malih, statistički beznačajnih epizoda.

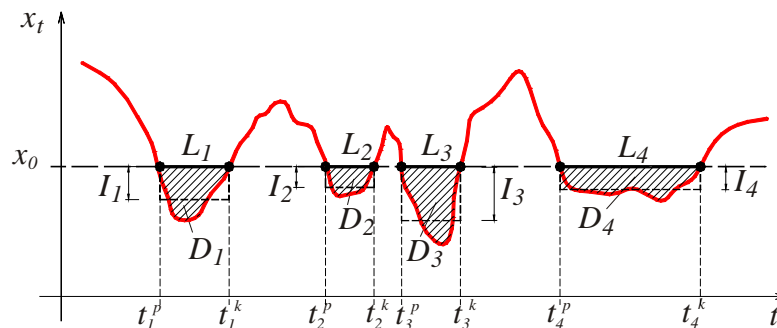
Zbog toga kod primene ove metode važan faktor predstavlja kriterijum za eliminaciju malih, statistički beznačajnih epizoda. Izbor kriterijuma za eliminaciju malih epizoda u metodi PDS, predstavlja kompromis između zahteva da izdvojeni podaci pripadaju regionu ekstrema i potrebne veličine uzorka za statističku analizu.

U literaturi se može naći više načina za spajanje međusobno zavisnih i za eliminaciju malih (statistički beznačajnih) epizoda. U [4] je prikazana komparativna analiza tri metode za eliminisanje međusobno zavisnih epizoda. Osim kriterijuma „međudogađaja” (engl. *inter-event criteria*, IC), oni su primenili i metodu pokretnih proseka (MA) i metodu sledećeg pika (engl. *Sequent Peak Algorithm*, SPA). Ovi autori zaključuju da treba dati prednost metodama MA i SPA koje, svaka za sebe, imaju i prednosti i mana. Obe metode ne samo da spajaju međuzavisne epizode, već i smanjuju broj malih epizoda. U tome je efikasnija metoda MA nego SPA i to je glavna prednost ove metode.

Metoda pokretnih proseka, MA, uglašava seriju pre nanošenja praga, eliminiše male ekscese iznad praga i tako unapred spaja susedne epizode. Parametar koji treba odabrati je širina filtera. Za širinu MA filtera u literaturi je najčešće korišćen period od 10 dana, dok su u npr. Radić i Mihailović [5] usvojili 11 dana. Međutim, ova analiza se odnosi samo na jedan rečni profil, a širina filtera je usvojena na osnovu preporuka iz literature, bez dodatnih analiza. U ovom radu prikazuje se teorijska postavka u postupku određivanja optimalne širine filtera na osnovu objektivnih kriterijuma, zasnovanih na proveru uticaja širine filtera na izdvojene karakteristike epizoda.

## 2. OSNOVNE POSTAVKE METODE KORAKA

Osnovni koncept na kome se zasniva identifikacija sušnih epizoda (ili epizoda deficita) po metodi koraka prikazuje Slika 1. (Radi jednostavnosti prikazan je konstantan prag). Neka je data npr. kontinualna vremenska serija  $x_t$ , koja je presečena na više mesta nivoom presecanja  $x_0$ . Korak se definiše kao serija osmatranja iste vrste kojoj prethodi i iza koje sledi jedno ili više osmatranja različite vrste. Koraci koji se dobijaju za vrednosti  $(x_t - x_0) > 0$  nazivaju se pozitivni koraci, a za  $(x_t - x_0) \leq 0$  negativni koraci. Epizoda suše predstavlja negativan korak, tj. period tokom koga se promenljiva  $x_t$  nalazi ispod odabranog nivoa  $x_0$ .



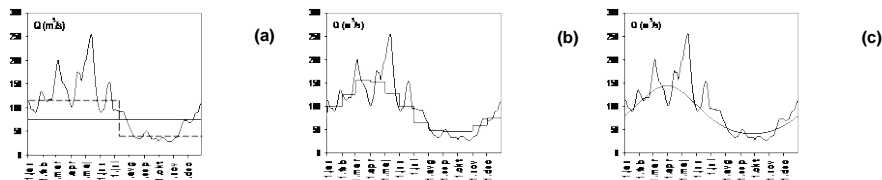
**Slika 1.** Ilustracija koncepta metode koraka za identifikaciju sušnih epizoda, za kontinualnu seriju  $x_t$ .

Ako se sa  $j=1,2,\dots$ , označi redni broj negativnog koraka, tj. redni broj epizode suše, onda se za svaku sušnu epizodu može odrediti više karakteristika (Slika 1). Za objektivnu definiciju suša po metodi koraka najvažnije karakteristike (statističke osobine serija i po vremenu i u prostoru) su trajanje epizode ( $L_j$ ), akumulirani deficit ( $D_j$ ), i prosečan intenzitet ( $I_j = L_j / D_j$ ) [1, 6].

Nivo presecanja ne mora biti konstantan, već se parametar  $x_0$  može usvojiti na različite načine, pa nivo presecanja može biti: konstanta, promenljiva, deterministička funkcija, stohastička funkcija ili kombinacija prethodno navedenih funkcija [1]. Takođe, metoda se može primeniti i na diskretne serije (npr. ako se kao ulazne serije usvoje godišnje ili mesečne serije proticaja ili suma padavina). Za podatke koji su grupisani sa vremenskom skalom manjom od godine (mesečni, nedeljni, dnevni...), osim konstantnog praga (tokom cele godine ili tokom sezone), može se usvojiti i prag koji se menja tokom godine – promenljiv prag (sezonski, mesečni, dnevni), kao što prikazuje Slika 2. U slučaju da postoje dve jasno izražene sezone tokom godine logičan izbor je sezonski prag (Slika 2a), kao alternativa pristupu koji tretira samo jednu sezonu od interesa. Promenljiv prag na mesečnom (Slika 2b), odnosno dnevnom nivou (Slika 2c) će identifikovati epizode tokom cele godine, relativno u odnosu na neki tipičan unutargodišnji režim.

Izbor referentnog nivoa presecanja predstavlja ključnu odluku u celom postupku, pošto od njega zavise sve karakteristike suša. U tekstu koji sledi će se umesto izraza 'nivo presecanja' koristiti termin 'nivo praga', prema terminologiji koja je uobičajena u literaturi koja se bavi analizom ekstrema.

## Identifikacija sušnih epizoda dnevnih protoka po metodi koraka- teorijske postavke



**Slika 2.** Prikaz različitih tipova praga nanetih na vremensku seriju dnevnih proticaja za jednu hidrološku godinu: a) konstantan prag (sezonski i godišnji), b) promenljiv mesečni prag i c) promenljiv dnevni prag (prema [2]).

### 3. IZBOR PRAGA

Odluka o tome da li će prag biti konstantan ili promenljiv zavisi od svrhe istraživanja i stohastičke strukture serije osnovne promenljive. Tako je za godišnje serije hidroloških i meteoroloških veličina logičan izbor konstantan prag, s obzirom da one nisu periodične i da se može usvojiti pretpostavka o stacionarnosti. Dnevne hidrološke serije su nestacionarne, a osnovni uzrok te nestacionarnosti je periodičnost (sezonalnost). Iako neki autori koriste mesečno promenljiv prag koji nanose na mesečne serije, prema raspoloživoj literaturi primena dnevno promenljivog praga je retka. Primeri primene promenljivog praga se svode na vizuelizaciju prostornog rasporeda i širenja hidrološke suše na panevropskom nivou [7] ili za izvođenje i vizuelizaciju veze između zabeleženih deficita dnevnih proticaja i atmosferskih cirkulacija koji im prethode [3]. Za probabilističku karakterizaciju suša na bazi dnevnih serija usvajanje konstantan prag.

U navedenim radovima dnevno promenljiv prag je definisan kao proticaj određene empirijske verovatnoće prevazilaženja, sa krivih trajanja za svaki datum unutar godišnjeg ciklusa. Kriva trajanja je za svaki datum određena preko „pokretnog prozora” određene širine, koji obuhvata i proticaje u prethodnim i sledećim datumima, da bi se povećao uzorak i da bi se uglačala linija koja predstavlja prag.

U ovom radu je ideja da se primeni dnevno promenljiv prag na bazi glatkih linija kvantila sa dijagrama marginalnih raspodela. Marginalne raspodele, tj. dijagram kvantila marginalnih raspodela karakteriše unutargodišnji režim proticaja na nekom profilu. Na osnovu ovih dijagrama mogu se razdvojiti „normalni” od „neuobičajenih” uslova, a usvojena linija praga definiše granicu između njih. Primenom tako definisanog praga izdvajaju se periodi deficita proticaja, kao periodi tokom kojih su proticaji ispod linije praga. S obzirom na to da je prag periodično promenljiv, te epizode će biti raspoređene tokom cele

godine. Registrovanje odstupanja od tipičnog režima može biti od značaja i u periodima koje inače odlikuju velike vode ili mnogo padavina (npr. u oblasti poljoprivrede nije povoljno da se deficit pojavljuje u vegetacionom periodu). Druga prednost primene periodičnog praga sa marginalnih raspodela vezana je za probabilističku analizu karakteristika izdvojenih epizoda. Pretpostavka je da će, za slučaj izražene sezonalnosti (npr. kod dnevnih serija proticaja u našem podneblju), primena periodično promenljivog praga na bazi marginalnih raspodela proizvesti približno ravnomerno raspoređene epizode tokom godišnjeg ciklusa.

U [9] je prikazan postupak za izbor marginalnih raspodela dnevnih proticaja na 33 odabrana profila sa teritorije Srbije. Odluka je doneta na osnovu većeg broja statističkih pokazatelja (procena saglasnosti empirijske i teorijske raspodele), uz dodatne uslove vezane za fizičke karakteristike procesa. Analiziran je veći broj mogućih dvoparametarskih i troparametarskih raspodela, a pokazalo se da je najbolje usvojiti raspodelu log Pirson 3 (LP3) kao model na svim stanicama. Ti rezultati će i ovde biti korišćeni.

Prednosti primene glatke linije dnevno promenljivog praga definisanog preko marginalnih raspodela, u odnosu na prag koji se dobija preko krivih trajanja demonstrirane su u [5]. U radu je prikazana uporedna analiza metoda za definisanje praga, na primeru Velike Morave (stanica Ljubičevski Most). Poređeno je 6 tipova praga: konstantni, promenljiv mesečni (na bazi mesečnih krivih trajanja), dnevno promenljiv izveden iz marginalnih raspodela, dnevno promenljiv na bazi dnevnih krivih trajanja, kao i dva dnevno promenljiva praga izvedena iz serije baznih proticaja. Za prag je u svim slučajevima odabran proticaj verovatnoće prevazilaženja 90%,  $Q_{90}$ . Zaključak je da prag izveden iz marginalnih raspodela daje bolje rezultate nego prag koje se definiše preko krivih trajanja. (Npr. manji je broj kratkih epizoda sa trajanjem 5 dana i manje, manji broj kratkih ekcesa iznad praga, itd. Bolji su i efekti filtera pokretnih proseka MA(11) u pogledu smanjenja zanemarljivih i zavisnih epizoda deficita.)

#### 4. NANOŠENJE PRAGA I IZBOR EPIZODA

Skica koja ilustruje metodu koraka za kontinualne serije (Slika 1) biće i ovde korišćena, iako je na njoj prikazan konstantan prag  $x_0$ .

U razmatranje će biti uključene sledeće karakteristike epizoda deficita (Slika 1): trajanje epizode deficita ( $L_j$ ), akumulirani deficit tokom

jedne epizode ( $D_j$ ) i prosečan intenzitet epizode deficita ( $I_j$ ). Vreme pojave događaja je još jedna važna karakteristika. U ovoj analizi je definisano kao sredina epizode.

Pojava epizoda deficita se posmatra kao niz slučajnih događaja u vremenu, tj. kao slučajan broj slučajnih promenljivih u intervalu vremena  $[0, t]$ , a u praksi je najinteresantniji interval od godinu dana. U ovom radu će godišnji ciklus biti definisan na osnovu hidrološke godine.

Na osnovu sugestija iz literature (npr. [8]), kao i na osnovu nekih preliminarnih analiza, odabrana je visina praga  $Q_{95}$  sa dijagrama kvantila marginalnih raspodela LP3 za dnevne proticaje na ovim profilima. To su glatke linije kvantila koje prikazuje npr. Slika 3 i koje odgovaraju vrednosti funkcije raspodele  $F(x)=P\{X\leq x\}=0.05$ . Da ne bi bilo zabune, treba reći da je u radu usvojena uobičajena notacija kod koje se koristi oznaka koja predstavlja verovatnoću prevazilaženja, tako da  $Q_{95}$  predstavlja proticaj za koji je  $1-F(x)=P\{X>x\}=0.05$ .

Slika 3 prikazuje šta predstavlja dnevno promenljiv prag sa dijagrama vremenskih funkcija kvantila dijagrama marginalnih raspodela. Slika 3, gore, prikazuje dijagram marginalnih raspodela LP3 za Veliku Moravu (stanica Ljubičevski Most). Slika 3, dole, prikazuje nivo promenljivog praga  $Q_{95}$  koji je nanesen na hidrogram zabeleženih proticaja za jednu hidrološku godinu. U decembru i januaru se pojavljuju male i međusobno zavisne epizode.

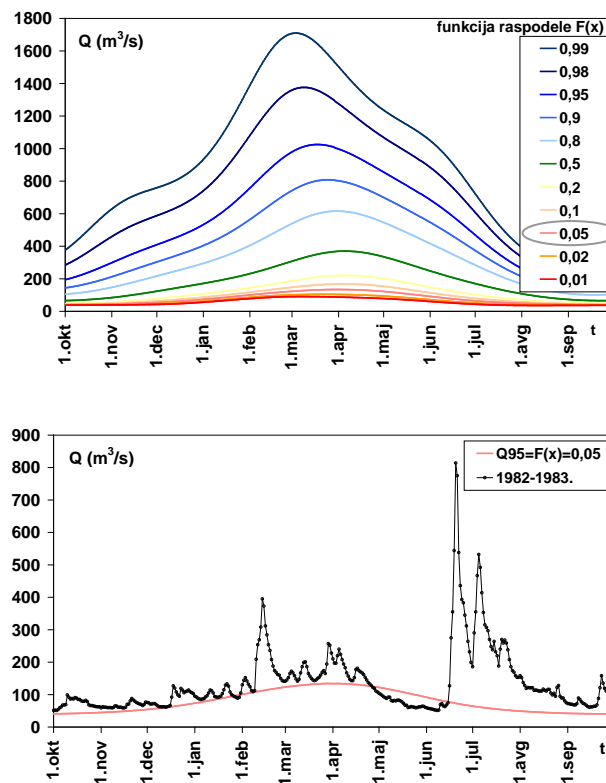
## 5. ODREĐIVANJE OPTIMALNE ŠIRINE FILTERA

Tallaksen i saradnici [4] su u uporednoj analizi metoda za spajanje zavisnih epizoda analizirali, između ostalog, uticaj širine MA filtera na relativno trajanje i relativnu akumuliranu zapreminu deficita, kao i na broj malih epizoda (trajanja kraćeg od 6 dana). Ovde je sprovedena slična analiza. Prvo je potrebno analizirati uticaj širine MA filtera na:

1. broj izdvojenih epizoda i broj godina u kojima nije izdvojena nijedna epizoda;
2. srednje relativno trajanje, srednji relativni akumulirani deficit i srednji relativni intenzitet (kao odnos srednjeg vrednosti tih veličina za svaku širinu filtera i odgovarajućih srednjih vrednosti za originalnu seriju, bez uglačavanja);

3. broj epizoda sa trajanjem manjim od 6 dana i broj epizoda viška između dve sukcesivne epizode deficita sa trajanjem manjim od 11 dana.

Zatim je na osnovu dobijenih pokazatelja potrebno odrediti optimalnu širinu MA filtera, primeniti je na zabeleženi hidrogram dnevnih proticaja i izdvojiti značajne epizode deficita vode.



**Slika 3.** Usvajanje dnevno promenljivog praga sa dijagrama vremenskih funkcija kvantila marginalnih raspodela. Gore: dijagram marginalnih raspodela LP3; dole: usvojeni prag nanesen na hidrogram zabeleženih proticaja za hidrološku godinu 1982-1983. (Reka: Velika Morava, v.s. Ljubičevski Most)



## 6. ZAKLJUČAK

Radi uvida u karakteristike malovodnih perioda na hidrološkim stanicama u Srbiji, Republički hidrometeorološki zavod koristi prosečne vrednosti proticaja trajanja 1, 10, 20 i 30 dana u malovodnom periodu. Primena ovakvih nepromenljivih pragova je razumljiva zbog velikog broja stanica i sagledavanja celovitog režima malih voda. Osim što je hidrološka suša uži pojam od malovodnog perioda i ne nužno njegov deo, za detaljnije analize, projektovanje i operativno korišćenje u praćenju i najavi suša na konkretnoj lokaciji ili u regionu, korišćenje promenljivog praga daje bolji uvid u karakteristike sušnih epizoda. U ovom radu, teorijski je razmotreno i na jednom primeru pokazano korišćenje praga koji predstavlja glatku liniju kvantila sa dijagrama marginalnih raspodela, kao liniju dnevnih promenljivog praga (periodično promenljivog tokom godišnjeg ciklusa). Na taj način se izdvajaju epizode deficita vode relativno u odnosu na režim proticaja tokom godine, tako da će se epizode deficita javljati tokom cele godine, a ne samo u toku najnižih proticaja. Registrovanje odstupanja od tipičnog režima može biti od značaja i u periodima koje inače odlikuju velike vode ili mnogo padavina (npr. u oblasti poljoprivrede nije povoljno da se deficit pojavljuje u vegetacionom periodu). S obzirom na to da je prag periodično promenljiv, izdvojene epizode su približno ravnomerno raspoređene tokom godišnjeg ciklusa.

Karakterizacija suša (ili deficita, ukoliko se koristi promenljiv prag) svodi se na dve osnovne etape: identifikaciju epizoda suša (deficita) i probabilističku analizu njihovih karakteristika (akumuliranih zapremina deficita vode, trajanja deficita vode, intenziteta, itd.). Jedan od pristupa za identifikovanje epizoda objašnjen je u ovom radu. Kao što je poznato iz teorije ekstremnih vrednosti, ako se za izdvajanje ekstrema i probabilističku karakterizaciju suša primenjuje metoda parcijalnih serija, mogući su problemi u modeliranju zbog velikog broja malih, statistički beznačajnih epizoda. Zbog toga kod ove metode važan faktor predstavlja kriterijum za eliminaciju malih, statistički beznačajnih epizoda.

Za rešavanje problema malih i međusobno zavisnih epizoda u ovom radu je predloženo korišćenje metode pokretnih proseka, MA. Opisane su potrebne analize koje dovode do određivanja optimalne širine filtera i kriterijumi za usvajanje optimalne širine filtera MA.

## 7. 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".

## 8. 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] 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.
- [3] Stahl K., 2001: Hydrological Drought – A Study across Europe, Dissertation zur Vergabe des Doktorgrades, der Geowissenschaftlichen Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br.
- [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] Radić Z. M. i Mihailović, V., 2006: Uporedna analiza metoda za definisanje hidroloških suša. Vodoprivreda, 222-224, pp. 3-22.
- [6] Dracup J.A., Lee K.S. i Paulson E.G., 1980a: On the Definition of Droughts, Water Resources Research, 16 (2): 297-302.
- [7] Zaidman M., Rees G. i Gustard A., 2001: Drought Visualisation. U: ARIDE (Assessment of the Regional Impact of Droughts in Europe), Final Report. Demuth S. i Stahl K. (eds.), Institute of Hydrology University of Freiburg, Freiburg, Germany.
- [8] Zelenhasić E. i Salvai A., 1987: A method of Streamflow Drought Analysis, Water Resources Research, 23 (1): 156–168.
- [9] Mihailović, V., 2012: Složena analiza hidroloških vremenskih serija za potrebe modeliranja ekstremnih događaja. Doktorska disertacija. Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet.