

UPOREDNA ANALIZA METODA ZA DEFINISANJE HIDROLOŠKIH SUŠA

Dr Zoran RADIĆ* i Mr Vladislava MIHAILOVIĆ**

*Građevinski fakultet, Beograd

**Šumarski fakultet, Beograd

PREDGOVOR

Ovaj rad predstavlja nastavak serije radova koji se odnose na negovanje uspomene na *profesora Vujicu Jevdjevića*, osnivača predmeta i prvog profesora Hidrologije na Građevinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu i vodećeg svetskog naučnika u oblasti Stohastička Hidrologija, preminulog januara 2006 godine. U radu se kombinuju dve metode koje je uveo prof. Jevdjević: metoda koraka (engl. *RUN method*) i metoda dekompozicije i sinteze nestacionarnih stohastičkih serija (*TIPS metod*) primenjena na *strukturnu analizu dnevnih proticaja*. Članci i knjige profesora Jevdjevića u kojima promovise RUN metodu još uvek predstavljaju najcitiranije radove u oblasti analize poplava i suša, dok je TIPS metoda ta sa kojom je obezbedio trajno mesto u istoriji razvoja oblasti Stohastičke Hidrologije.

Aktuelnost metoda koje je prvi promovisao prof. Jevdjević potvrđuje i činjenica da ovaj rad predstavlja deo rezultata istraživanja kojima se trenutno bave autori ovog članka u okviru aktuelnog *Nacionalnog Programa Uređenja, Zaštite i Korišćenja Voda Republike Srbije* (Projekat NPV21-A: "*Hidrološka Osnova Vodoprivrednog Razvoja Srbije i Medjunarodne Saradnje u oblasti Voda*"; Tema: "*Razvoj Sistema za Monitoring Suša na prostoru Srbije*"). Metode su proširene sa dva nova aspekta (koja se ne pominju u radovima V. Jevdjevića):

Primena strukturalne analize na dnevne serije baznih proticaja, i

Primena promenljivog praga pri definiciji sušnih perioda.

Ova dva aspekta su novitet i na medjunarodnom planu jer predstavljaju potpuno originalni pristup u definisanju promenljivog praga u odnosu na metode razvijene u okviru vodećeg medjunarodnog projekta UNESCO-IHP (FRIEND) i primenjene za analizu suša u okviru najnovijeg evropskog projekta iz oblasti analize suša (ARIDE). Uz nove metode za definisanje promenljivog

praga novitet u odnosu na projekat ARIDE predstavlja i način primene MA-filtera na opažene podatke.

REZIME

U radu su predstavljene metodološke osnove RUN i TIPS metode uvedene u hidrološku praksu od strane Profesora Vujice Jevdjevića, kao i praktični aspekti primene proširenih verzija ovih metoda pri definisanju suša. Prikazani rezultati su ograničeni na prikaz kvalitativnog i kvantitativnog pređenja 6 metoda za identifikaciju hidroloških suša površinskih voda baziranih na fiksnim i promenljivim pragovima. Metode su testirane na većem broju reprezentativnih hidroloških profila na prostoru Srbije, a u okviru ovog rada su prikazani rezultati koji se odnose na profil "Ljubičevski Most" na reci Velika Morava čime je obuhvaćen režim pojava suša u većem delu centralne Srbije [11].

Osnovu za primenu prikazanih metoda čine dnevne serije proticaja. Na bazi dnevnih podataka iz referentnog perioda se mogu definisati različiti (konstantni ili promenljivi) pragovi presecanja. Za definisane vremenske serije pragova tokom hidrološke godine i opaženih dnevnih proticaja izdvajaju se sušne epizode koje se javljaju unutar jedne kalendarske godine ili se prenose iz godine u godinu. Na taj način moguće je registrovati i višemesečne suše koje se prenose iz godine u godinu kao i višegodišnje suše (ako postoje).

Rad prikazuje najnovije metode iz oblasti aktuelnih istraživanja fenomena hidroloških suša koje se u svetu trenutno koriste, ali i promovise nove i originalne pristupe i metode koji su razvijene u okviru Nacionalnog programa uređenja, zaštite i korišćenja voda u Srbiji (MNŽSRS, 2004-2007.). Pokazano je da upravo neke od ovih metoda pokazuju značajno poboljšanje u odnosu na postojeće metode.

Ključne reči: hidrologija, stohastička hidrologija, hidrološke suše, metoda RUN, metoda TIPS, strukturalna analiza dnevnih proticaja

UVOD

Najnoviji podaci koji su objavljeni u izveštaju *UN World Water Development Report (UNESCO, 2005)* pokazuju:

- Da je broj ljudi koji su pogođeni prirodnim katastrofama poslednje dekade XX veka tokom povećan za 70%, ekonomski gubici za 43%, kao i to da je 90% prirodnih katastrofa registrovanih u tom periodu bilo u vezi sa vodom
- Od 1996. se broj hidrometeoroloških katastrofa (suša i poplava) više nego udvostručio, pri čemu su suše učestvovala sa 11% od svih registrovanih katastrofa, ali one su izazvale 42% smrtnih slučajeva
- Ni jedan deo sveta nije pošteđen od prirodnih katastrofa, što potvrđuju najnovije katastrofe registrovane na prostorima SAD, Nemačke, Velike Britanije, itd.

Suše su izazvane prirodnim klimatskom varijacijama koje se pronose kroz hidrološki ciklus. Meteorološke suše, koje se prve pojavljuju, izazivaju hidrološke pa zatim poljoprivredne suše. Socio-ekonomske posledice suše su povezane sa načinom korišćenja vode i zemljišta, kao i sa stanjem u oblastima upravljanja vodama i zaštite kvaliteta voda.

Literatura koja se odnosi na hidrološke suše je ograničena, a naročito ona koja se odnosi na kvantitativnu analizu suša i na metode za ublažavanje njihovog uticaja. Tome u prilog govori činjenica da na početku XXI veka jedino SAD imaju operativni monitoring-sistem za suše koji funkcioniše od 1999 godine. U Evropi, rezultati koji su dobijeni kroz međunarodne projekte FRIEND, ARIDE, MED-HYCOS itd., predstavljaju solidnu naučnu osnovu za razvoj monitoring sistema u budućnosti. U našoj zemlji začetak sistema za monitoring poljoprivrednih suša postoji u okviru RHMS, (analize se rade za 14 stanica i na bazi toga izdaju agrometeorološke prognoze za 7 poljoprivrednih područja), dok se meteorološke i hidrološke suše registruju i analiziraju *a posteriori*.

Premda se Srbija po vodnom bogatstvu, (mereno po raspoloživim ukupnim količinama sopstvenih i tranzitnih voda po stavniku), može svrstati u grupu najperspektivnijih zemalja Evrope i sveta [9] usled nerazvijenih sistema za navodnjavanje i nepostojanja sistema za prečišćavanje voda, (u oba sektora smo na samom začelju od svih Evropskih zemalja), kao i vrlo malog stepena izravnjanja voda, (mogućnosti da se

pomoću akumulacija utiče na hidrološki režim malih voda u sušnim periodima), svedoci smo pogubnih posledica suša na poljoprivrednu proizvodnju i čestih restrikcija u oblastima snabdevanja vodom stanovništva i industrije čak i u malovodnim periodima koji ne spadaju u kategoriju hidroloških suša.

Polazeći od prethodnih činjenica koje ukazuju na štetne posledice suša, kao i pozitivnih efekata koje bi Srbiji donelo unapredjenje sistema za ublažavanja posledica suša, u okviru projekta (NPV-21A) "*Hidrološka Osnova Vodoprivrednog Razvoja Srbije i Međunarodne Saradnje u oblasti Voda*" pokrenuta je Tema: "*Razvoj Sistema za Monitoring Suša na prostoru Srbije*" koja se realizuje u saradnji Gradjevinskog Fakulteta iz Beograda, Šumarskog fakulteta iz Beograda i eksperata iz Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije. Projekat finansiraju Republičko Ministarstvo za nauku i zaštitu životne sredine i JVP Srbijavode. Rezultati koji slede su deo tog Projekta.

U nastavku su najpre dati skraćeni prikazi metoda RUN i TIPS, a nakon toga primena i proširenje ovih metoda pri analizi hidroloških suša. Važno je napomenuti da se prikazane metode, čije je osnove postavio Profesor Jevdjević, mogu primeniti i na analizu meteoroloških suša i na analizu hidroloških suša podzemnih voda koje prevazilaze okvire ovog rada. Te mogućnosti, kao i širi prikazi različitih tipova i indikatora suša prikazaće se u nekim od budućih radova istih autora.

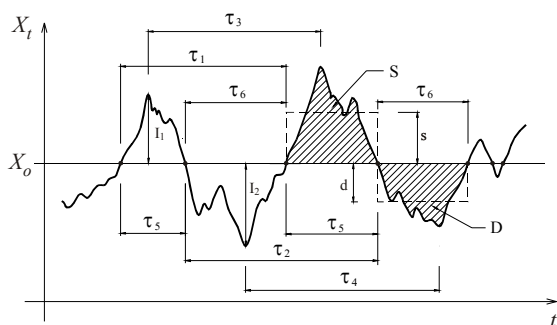
OSNOVNE POSTAVKE METODE KORAKA (RUN METHOD)

Korak (*engl. – run*) se definiše [13] kao serija osmatranja iste vrste kojoj prethodi i iza koje sledi jedno ili više osmatranja različite vrste. Veličine koje se izdvajaju kao koraci se definišu preko parametra (kriterijuma) X_0 koji se naziva *nivo presecanja*.

Parametar X_0 se može usvojiti na različite načine, pa nivo presecanja može biti:

- konstanta
- promenljiva
- deterministička funkcija
- stohastička funkcija
- kombinacija prethodno navedenih funkcija.

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*. Svi mogući koraci koji nastaju presecanjem kontinualne vremenske serije prikazani su na Slici 1.

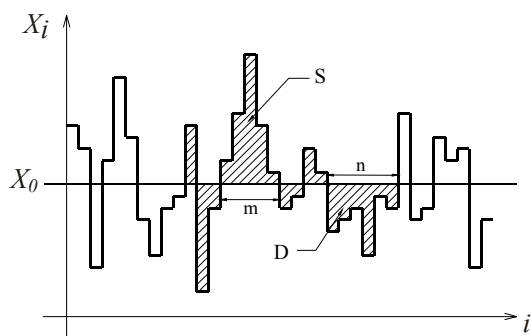


Slika 1. Definisavanje koraka u kontinualnoj hidrološkoj seriji (V.Jevdjević,1972, [13])

U zavisnosti od toga kako je definisan novo presecanja moguće su različite primene metode koraka u hidrološkim i vodoprivrednim analizama. Najšire primene moguće su oblastima analize i planiranju mera štetnih delovanja poplava i suša. Za ilustraciju mogu poslužiti sledeći primeri:

- Neka X_0 određuje nivo potreba za vodom. Ako ovaj nivo nije dostignut nastaje deficit, a ukoliko taj deficit duže traje i propagira se po prostoru nastaje suša
- Ako se poplava neke površine pojavljuje za $X > X_0$ i šteta od poplave je funkcija vremena (τ_5) i zapremine vode (S), tada raspodela dužine pozitivnog koraka (ili sume pozitivnog koraka) određuje karakter plavljenja
- Ukoliko se iste metode bazirane na teoriji koraka primene na većem broju profila ili, što je preporučljivije, na nivou čitavih slivova, moguće je izvršiti regionalizaciju verovatnoće pojave suša ili poplava, preciznije dimenzionisati hidrotehničke objekte i sisteme, simulirati moguća stanja i planirati (analizirati) uticaj pojedinih mera na ublažavanje štetnih posledica poplava ili suša.

Metoda koraka se može primeniti i na *diskretne serije*, na način kako je prikazano na Slici 2. Ukoliko se npr. kao ulazne serije usvoje godišnje ili mesečne serije suma padavina i za nivo presecanja (X_0 na Sl.2) usvoji srednja vrednost ili medijana, onda se metodom koraka mogu analizirati *verovatnoće trajanja vlažnih i sušnih perioda, trajanja ciklusa smene sušnih i vlažnih perioda*, kao i verovatnoće pojave *suficita* i-ili *deficita*. Primeri primene ove vrste analiza mogu se naći u knjigama profesora V.Jevdjevića [13] i S.Jovanovića [4].



Slika 2. Metoda koraka primenjena na diskretne serije - definicija dužine pozitivnog koraka (m), sume poz. i neg. koraka (S i D), dužine negativnog koraka (n) i ukupne dužine koraka ($k=m+n$), [13]

U okviru ovog rada kao ulazni element su korišćene kontinualne vremenske serije opaženih dnevnih vrednosti proticaja, uz primenu konstantnih i promenljivih nivoa presecanja. Neki od primenjenih promenljivih nivoa određeni su primenom stohastičke metode za analizu nestacionanih vremenskih serija (poznatije pod nazivom TIPS metoda prof. Jevdjevića), pa će se u nastavku najpre prikazati metodološka suština ove metode.

Hidrološka suša definiše se kao manjak raspoložive vode u vremenu, po površini ili i jedno i drugo.

Za objektivnu definiciju suša po metodi koraka koriste se sledeće karakteristike (statističke osobine serija i po vremenu i u prostoru):

- početak i kraj suše
- trajanje deficita
- zapremina deficita (ili zapremina vode koja nedostaje)
- prosečan intenzitet suše (količnik deficita i trajanja)
- verovatnoća ponavljanja pojave.

Analogne karakteristike mogu se definisati i za analizu poplava. Jedina razlika je u definiciji i izboru preseka. Tokom realizacije ovog projekta u EXCEL okruženju je razvijen program koji za zadatu funkciju praga (konstantnu ili promenljivu) po izboru vrši automatsko uzorkovanje svih pobrojanih karakteristika poplava i-ili suša, računa statistike i analizu frekvencija.

OSNOVNE POSTAVKE METODE DEKOMPOZICIJE I SINTEZE NESTACIONARNIH HIDROLOŠKIH SERIJA (TIPS METODA)

Polazeći od pretpostavke da je većina hidroloških serija pokazuje karakter nestacionarnosti, odnosno da u sebi sadrži jednu ili više determinističkih komponenti i komponentu stohastičnosti, profesor V. Jevdjević ([13], [14]) je u oblast modeliranja hidroloških vremenskih serija uveo metodu poznatu pod skraćenim nazivom TIPS, koja predstavlja prva slova engleskih reči koje označavaju: *trend* (Tendency), *prekidnost ili skok* (Intermitency), *cikličnost ili periodičnost* (Periodicity) i *stohastičnost* (Stochasticity). Polazeći od navedene pretpostavke, a na bazi osmotrenih podataka moguće je izvršiti dekompoziciju serije na navede komponente, za svaku od njih odrediti matematički model i formirati kompletan model vremenske serije koji se sastoji od zbira (sinteze) parcijalnih modela komponenti i potpuno slučajnog člana koji ima osobine tzv. "belog šuma".

Finalno dobijeni model se može koristiti kao *simulacioni* (za generisanje novih vremenskih serija) ili kao *prognostički* (za predviđanje budućih stanja na bazi dosadašnjih realizacija).

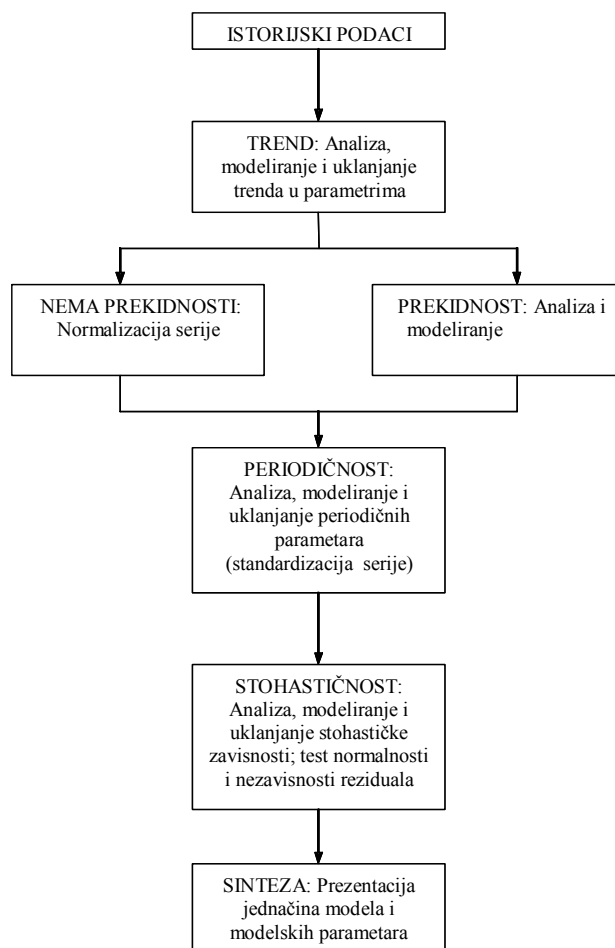
Osnovna shema TIPS metode prikazana je na Slici 3. U praksi se osnovni koraci dopunjavaju testiranjem postojanja (ili ne) i značajnosti pojedinih komponenti, modelima za identifikaciju najadekvatnijeg tipa modela i estimaciju vrednosti parametara modela pojedinih komponenti, kao i analizama značajnosti (procentom objašnjenih varijansi) svake od komponenti u okviru konačnog modela vremenske serije.

Principijelno posmatrano metoda se može primeniti na bilo koji računski korak diskretizacije kontinualnih vremenskih serija. U analizi hidroloških i vodoprivrednih serija koriste se srednje godišnje, mesečne i-dnevnne vrednosti. U zavisnosti od karakteristika konkretne vremenske serije (stepena izraženosti stacionarnosti i-ili nestacionarnosti) i izabranog vremenskog koraka može postojati jedna ili više determinističkih komponenti; model može biti sa ili bez komponente stohastičnosti, ali je postojanje slučajnog člana u modelima meteoroloških i hidroloških serija potpuno izvesno.

Za potrebe definisanja suša koriste se kontinualne serije dnevnih vrednosti, pa se TIPS metoda koristi za *strukturalnu analizu dnevnih proticaja*. Strukturalnoj

analizi dnevnih vrednosti po TIPS metodi Profesor V. Jevdjević je posvetio posebnu knjigu [14].

Novina koja je ovde uneta je ta da se TIPS metoda koristi kao *model za definisanje uglačanih periodičnih funkcija statistika proticaja po datumima unutar hidrološke godine*. Nakon toga (sa vremenskim serijama promena statistika unutar godine) računaju se *marginalne raspodele proticaja za svaki datum*. Detaljni opis ovog načina primene TIPS metode na dnevne serije (ukupnih) proticaja dat je u prethodnom radu istih autora [9]. Isti pristup u okviru ovog rada primenili smo i na *analizu vremenskih serija baznih proticaja*, što (koliko je nama poznato) predstavlja prvi pokušaj te vrste primene TIPS metode.



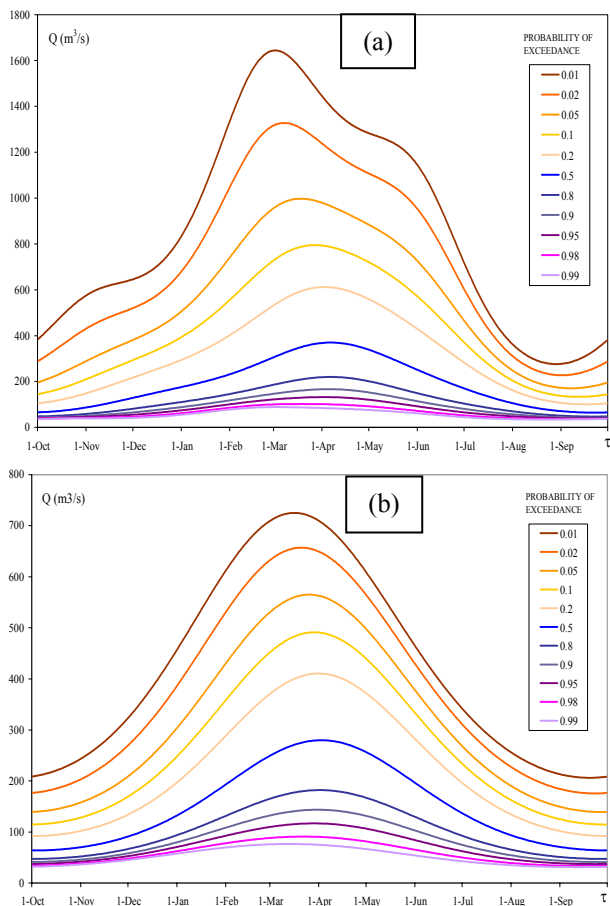
Slika 3. Globalna struktura TIPS metode

Kao rezultat strukturalne analize dobijaju se *uglačane vremenske funkcije kvantila* (videti Sliku 4).

Različiti aspekti primene ovih funkcija opisani su, a neke od njih i demonstrirane u prethodno citiranom radu. Na ovom mestu potrebno je posebno istaći da se vremenske funkcije kvantila određuju na bazi ulaznih podataka iz referentnog perioda. To omogućava:

- Da se vrše regionalne (prostorne) analize
- Da se analize hidroloških suša (površinskih i podzemnih voda) mogu kombinovati sa analizama meteoroloških suša (koje se takodje rade na osnovu vrednosti određenih sa podacima iz referentnog perioda).

U primenama za analize poplava i-ili suša, na bazi TIPS metodom određenih kontinualnih funkcija kvantila definišu se (usvajaju i izdvajaju) *promenljivi nivoi presecanja*. U tekstu koji sledi ovi promenljivi nivoi presecanja nazivaju se *promenljivi pragovi*.



Slika 4. Vremenske funkcije kvantila ukupnih (a) i baznih proticaja (b) na Velikoj Moravi u profilu Ljubičevski Most (podaci iz referentnog perioda 1961-1990. godine)

Za usvojeni prag (konstantni ili promenljivi) na bazi opaženih vrednosti proticaja po metodi koraka (RUN) izdvaju se se karakteristike hidroloških suša. Drugim rečima TIPS metoda služi kao sredstvo sa definisanje koraka u RUN metodi.

HIDROLOŠKE SUŠE POVRŠINSKIH VODA

Hidrološke suše nastaju onda kada nedostatak padavina (meteorološke suše) u dužem vremenskom periodu izazove deficite kod površinskih i podzemnih voda. Ovaj tip suša nastaje sa izvesnom vremenskom distancom (kašnjenjem) u odnosu na meteorološke i poljoprivredne suše (vremenska skala od nekoliko dana do nekoliko meseci), a pogotovo podzemnih voda (kod kojih je kašnjenje reda meseci, čak i godine). U nastavku se ovaj rad odnosi samo na suše kod površinskih voda.

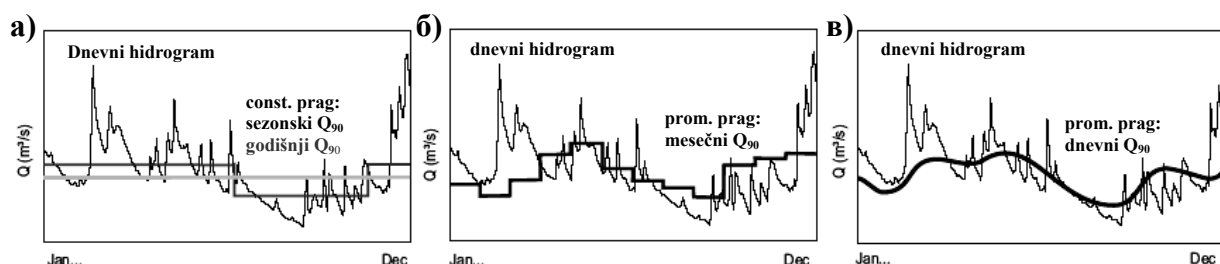
Metoda praga (engl. "threshold level") je efikasna i široko korišćena metoda za identifikovanje sušnih epizoda. Po toj metodi sušne epizode se izdvajaju sa zabeleženog hidrograma u odnosu na usvojeni nivo praga. Periodi tokom kojih je proticaj ispod određenog nivoa praga nazivaju se sušne epizode. Na taj način se za svaku sušnu epizodu može odrediti više karakteristike suše, kao što su: vreme početka i kraja, trajanje, minimalni proticaj i zapremina deficita (često se koristi termin jačina ili totalni deficit), intenzitet suše – odnos između zapremine deficita i trajanja epizode, itd. Vremenske serije ovih pokazatelja se dalje mogu statistički analizirati. Za statističke analize minimalnih proticaja koji se javljaju ispod definisanog, konstantnog praga i broja javljanja ovih vrednosti koristi se metoda pikova (engl. "Partial Duration Series - PDS"). Ukoliko se statističke analize žele proširiti na veći broj karakteristika suša (kao što su zapremina, trajanja deficita, intenzitet suša i druge vremenske karakteristike suša), treba koristiti prednosti *metode koraka* [13].

Izbor praga je vrlo osetljivo pitanje. Odluka zavisi od svrhe proučavanja i podrazumeva odluku o tome na koji način će biti definisan (po kojoj metodi, da li će biti fiksni ili promenljiv i sa kojim vremenskim korakom itd.) i odluku o visini praga. S druge strane, prag može biti definisan unapred (nekim zahtevima korisnika - plovidba, vodosnabdevanje i sl.). Moguće je i koristiti neke od pokazatelja malih voda, npr. procenat od srednjeg proticaja ili proticaj određenog trajanja koji se dobija sa krive trajanja ili dijagrama verovatnoće.

Nivo praga je najvažniji parametar koji ima veliki uticaj na krajnji rezultat. Prag koji je suviše nizak može dovesti do toga da postoji veliki broj godina bez suša ili do toga da postoji mali broj sušnih epizoda za statističku analizu. S druge strane, suviše visok prag će identifikovati suše koje traju više od jedne godine zato

što se više manjih epizoda stapa u jednu višegodišnju sušu.

Druga bitna odluka je da li da prag bude *fiksni* ili *promenljiv* (sezonski, mesečni, dnevni prag), kao što je prikazano na Slici 5.



Slika 5. Prikaz različitih tipova praga: a) konstantan prag, b) promenljiv mesečni prag i c) promenljiv dnevni prag (Izvor: Tallaksen and Van Lanen, 2004.)

ANALIZA METODA ZA DEFINISANJE PRAGA

Svrha ove analize je da se sagledaju razlike između rezultata dobijenih primenom fiksnog i promenljivog praga, pri čemu je promenljiv prag definisan na pet načina.

Za demonstraciju metoda i poređenje rezultata odabrana je stanica Ljubičevski Most na Velikoj Moravi. To je stanica koja pokriva ceo sliv Velike Morave, a zajedno sa slivovima Zapadne i Južne Morave i Ibra, praktično celu centralnu i južnu Srbiju (površina sliva 37 320 km²). U pogledu hidrološkog režima, moglo bi se reći da Velika Morava reprezentuje režim reka sa područja Srbije južno od Save i Dunava (osim Lima i Drine), sa

maksimalnim proticajima koji se javljaju u prolećnom periodu (mart-april) kao posledica topljenja snega, minimalnim u periodu avgust – septembar i hidrološkom godinom 1. oktobar – 30. septembar [7]. Odnos između srednjih dnevnih i srednjeg višegodišnjeg proticaja varira između 0,3 (period avgust – novembar) i 2 (početak aprila).

Metode za definisanje praga

Za definisanje praga su korišćeni dnevni proticaji, za referentni period WMO: 1961-1990. godina. U svim slučajevima je nivo praga izveden kao statistička veličina – proticaj obezbeđenosti 90%, (Q_{90}), ali definisan na različite načine (Tabela 1):

Tabela 1. Pregled metoda za definisanje praga

Tip praga	Proticaj podaci	Opis	Skraćenica	
Promenljiv	Dnevni	Ukupni	Dnevni promenljiv prag izveden iz marginalnih funkcija raspodele (log-Pirson 3) određenih preko ukupnih proticaja	DV-LP3T
		Ukupni	Dnevni promenljiv prag izveden iz dnevnih krivih trajanja za ukupne proticaje	DV-FDCT
		Bazni	Dnevni promenljiv prag izveden iz marginalnih funkcija raspodele (log-Pirson 3) određenih preko baznih proticaja	DV-LP3B
		Bazni	Dnevni promenljiv prag izveden metodom decila određenih preko baznih proticaja i uglačenih metodom pokretnih proseka (MA)	DV-DB
Konstantan	Godišnji	Ukupni	Mesečni promenljiv prag izveden iz mesečnih krivih trajanja za ukupne proticaje	MV-FDC
		Ukupni	Konstantan prag izveden iz krivih trajanja za ceo period i za ukupne proticaje	YF-FDC

A. Promenljiv prag

Ovde je primenjeno i poređeno pet metoda za definiciju promenljivog praga:

- *Dnevni promenljiv prag izveden iz marginalnih funkcija raspodele (log-Pirson 3) određenih preko dnevnih proticaja (ukupnih) (DV-LP3T).* Ovde će biti prikazan samo kratak opis primenjene metode, a cela procedura za izvođenje marginalnih raspodela je data u literaturi [6]. Parametri za 365 marginalnih raspodela LP3 određeni su preko periodičnih funkcija logaritama srednjih vrednosti, standardnih devijacija i koef. asimetrije za svaki datum u toku godine. Zbog toga se i parametri marginalnih funkcija raspodele menjaju periodično tokom godine, pa su i linije koje predstavljaju proticaje određene obezbeđenosti za svaki datum u toku godine - glatke linije. U radu [11] prikazan je dijagram marginalnih funkcija raspodele za svaki datum u toku godine za Veliku Moravu (st. Ljubičevski Most). Sa tog dijagrama je uzet dnevni promenljiv prag, kao vremenska funkcija proticaja teorijske obezbeđenosti 90%.
- *Dnevni promenljiv prag izveden iz dnevnih krivih trajanja (za ukupne proticaje) (DV-FDCT).* Dnevni promenljiv prag na bazi krivih trajanja je formiran od nivoa proticaja empirijske obezbeđenosti 90%, koji su izvedeni iz 365 krivih trajanja, po jedne za svaki datum u toku godine. Zbog malog broja podataka (30 za svaki datum), te krive trajanja su nepouzdanе. U literaturi [12] se predlaže da se krive trajanja računaju preko "pokretnih prozora" širine L ("L-day moving window"), da bi se povećao uzorak i da bi se uglašala linija koja predstavlja prag. Krive trajanja su, za svaki datum, određene iz uzorka pokretnog prozora koji obuhvata i proticaje u prethodnim i sledećim datumima, a usvojena širina prozora je $L = 31$ dan. Empirijske obezbeđenosti su, za svaki datum u godini, određene preko sortiranog niza od 31×30 podataka po standardnom postupku i po Vejbulovoj formuli.
- *Dnevni promenljiv prag izveden iz marginalnih funkcija raspodele (log-Pirson 3) određenih preko dnevnih proticaja (baznih) (DV-LP3B).* Ukupni proticaj (pod uticajem direktnog oticaja koji ima karakter prekidnosti) pokazuje velike varijacije. Kao rezultat toga, ako se koriste dnevni podaci moraju biti primenjene tehnike uglašavanja (kao u metodima DV-LP3T and DV-FDCT). Neke ranije analize [8] su pokazale da je Indeks Baznog Proticaja (BFI) obično veći od 0,6 za slivove u Srbiji. Na primer, za stanicu

„Ljubičevski Most”, BFI iznosi 0,71 u referentnom periodu 1961-90., što znači da je komponenta baznog oticaja značajna. To je razlog za uvođenje novih procedura za definisanje dnevnog promenljivog praga preko baznog proticaja. Hidrogram dnevnih baznih proticaja je izveden iz zabeleženog hidrograma metodom koju je prvi predložio L’vovich M. I. [5], a zatim je primenjena za izvođenje BFI u Britanskom Institutu za hidrologiju (Institute of Hydrology, Wallingford, UK, 1980.) i u projektu FRIEND (Gustard A. and all., 1989). Kada se izvede hidrogram baznih proticaja dalja procedura je ista kao za metod DV-LP3T.

- *Dnevni promenljiv prag izveden metodom decila određenih preko baznih proticaja i uglašanih metodom pokretnih proseka (DV-DB).* Metoda decila je široko korišćena tokom poslednjih decenija u meteorološkim analizama. Ovde je zbog toga korišćena da bi se poredili rezultati dobijeni definisanjem praga preko dnevnih baznih proticaja. Decili dele empirijsku raspodelu na deset delova, od kojih svaki sadrži po 10% podataka. Najniži decil, nivo kojeg prevazilazi 90% podataka, usvojen je za prag. Ova vrednost je izračunata za svaki datum. S obzirom na to da decili predstavljaju empirijsku raspodelu i da su korišćeni podaci samo za 30-godišnji referentni period, dobijene linije imaju nelogične varijacije. Kada se koriste bazni proticaji varijacije su manje nego kad se koriste ukupni proticaji, a uglašana linija praga može se dobiti primenom metode pokretnih proseka male širine (ovde je korišćen MA(11) filter).
- *Mesečni promenljiv prag izveden iz mesečnih krivih trajanja (za ukupne proticaje) (MV-FDC).* Mesečni promenljiv prag je formiran od dvanaest vrednost proticaja empirijske obezbeđenosti 90%, dobijenih preko mesečnih krivih trajanja (za ukupne proticaje).

B. Konstantan prag (YF-FDC)

Konstantan prag je dobijen kao empirijska obezbeđenost 90% sa krive trajanja za ceo period (i za ukupne proticaje).

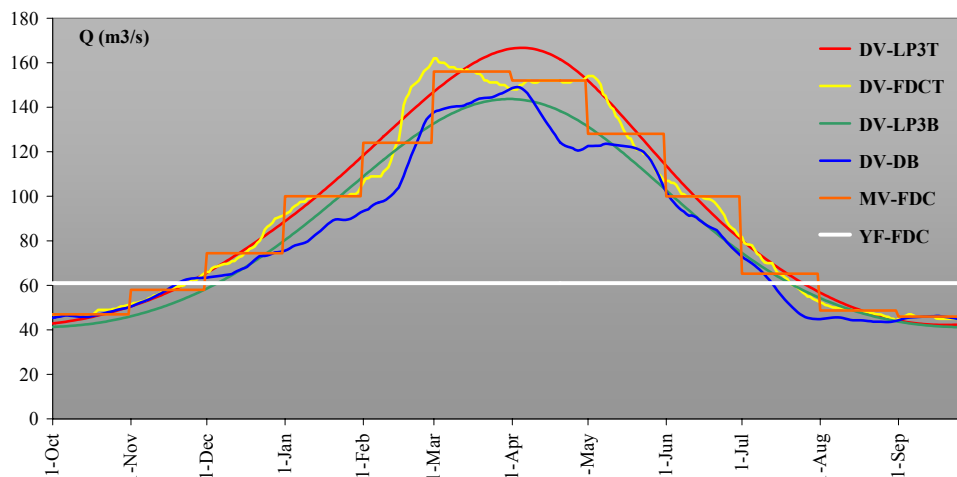
Poređenje pragova

Na Slici 6 prikazano je svih šest pragova: četiri promenljiva dnevna praga, promenljiv mesečni prag i konstantan prag.

Promenljiv dnevni prag izveden iz marginalnih raspodela LP3 (crvena linija) je glatka zvonasta kriva, sa

maksimumom oko 1. aprila. Promenljiv dnevni prag sa dnevnih krivih trajanja za ukupne proticaje određenih preko "pokretnog prozora" (žuta linija) i promenljiv mesečni prag (narandžasta linija) uglavnom prate tu krivu, mada u delu oko 1. aprila i u periodu januar-februar ima značajnijih odstupanja. Mesečni promenljiv prag je približno prosečna vrednost dnevnog praga koji je računat preko pokretnog prozora od 31 dan, što se i

vidi na slici. Prirodno, dva praga koja su određena preko baznih proticaja nalaze se ispod pragova određenih na bazi ukupnih proticaja, jer su svi nivoi pragova definisani preko iste obezbeđenosti. Konstantan prag se u većem delu godine (decembar – jul) nalazi ispod svih promenljivih pragova. Samo je u periodu jul – decembar iznad ostalih pragova.



Slika 6. Poređenje linija praga Q_{90} prema različitim metodama

Uporedna analiza metoda za definisanje praga

Za odabranu stanicu na Velikoj Moravi su dostupni podaci o dnevni proticajima za period 1951-2003. godina. Na taj hidrogram naneti su različito definisani pragovi obezbeđenosti 90% sa Sl. 6 i zatim su identifikovane sušne epizode analizirane i upoređene.

Kao poseban problem kod analize i modeliranja deficita na bazi dnevnih serija pojavljuje se problem zanemarljivih i međusobno zavisnih epizoda. U literaturi se mogu naći različiti načini za prevazilaženje ovog problema. Tallaksen and Van Lanen, 2004. navode načine za ublažavanje ovog problema i razmatraju prednosti i mane svake od metoda. Prema autorima, izdavaju se dve metode: metoda pokretnih sredina (MA) i metoda parcijalnih pikova (sequent peak algorithm - SPA). Prednost metode MA, kojom se uglašava serija originalnih dnevnih proticaja, je u tome što istovremeno smanjuje broj zanemarljivih suša i spaja međusobno zavisne suše. Mana ove metode je u tome što rezultati zavise od širine koraka, a u zavisnosti od širine koraka u seriju sušnih epizoda može biti uneta međuzavisnost.

S obzirom na opis i poređenje metoda za eliminaciju malih i međusobno zavisnih procedura koje su prethodno pomenute, serija originalnih dnevnih proticaja uglašana je po metodi MA sa korakom 11 - MA(11). Na za takvu seriju su opet naneti svi pragovi i izdvojene sušne epizode. Zatim je analiziran uticaj uglašavanja serije dnevnih proticaja na broj zanemarljivih i zavisnih suša.

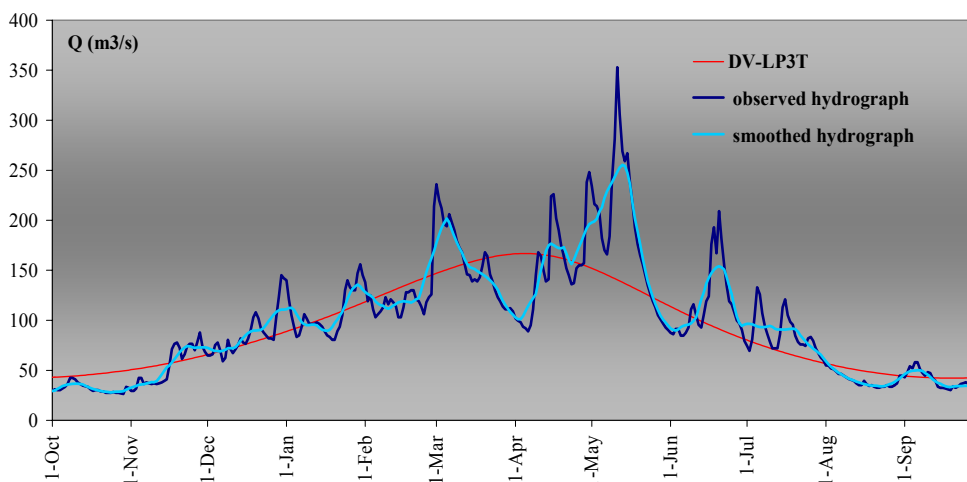
Na slici 7 su, kao ilustracija, prikazani originalni i uglašani dnevni proticaji za period od 1. okt. 1993 do 1. okt. 1994. i prag definisan po metodi DV-LP3T. Vidi se kako je uglašavanjem originalne serije eliminisan veliki broj zanemarljivih (npr. period decembar-januar) i zavisnih (mart-april) suša.

Uticaj uglašavanja originalnih podataka na broj zanemarljivih i zavisnih epizoda, kao i poređenje šest metoda za definiciju praga, prikazani su na sl. 8 do 11.

Na slikama 8 i 9 su, radi preglednosti, prikazane samo apsolutne frekvencije pojavljivanja sušnih epizoda po različitim metodama, u trajanju od jednog do pet dana. Na originalnoj seriji (Sl. 8) najviše epizoda deficita koji

traju samo jedan dan daje metoda DV-LP3B, a najmanje DV-LP3. Međutim, treba imati u vidu da je, iako je nivo praga svuda definisan kao Q_{90} , prag kod metoda DV-LP3B i DV-DB niži od ostalih promenljivih pragova

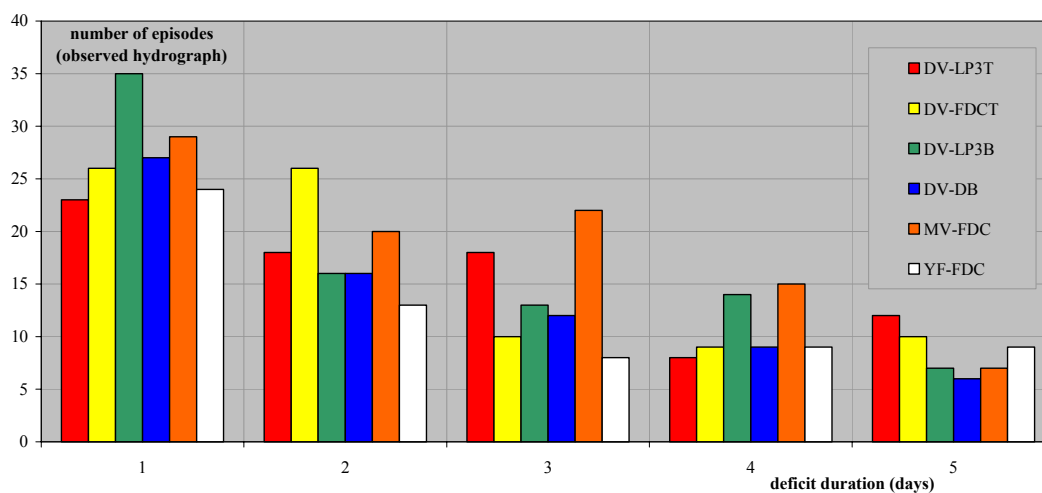
zbog toga što su definisani prema baznim proticajima, a ne prema ukupnim. Time se i može objasniti to što se kod ove dve metode pojavljuje relativno veliki broj epizoda koje traju samo jedan dan.



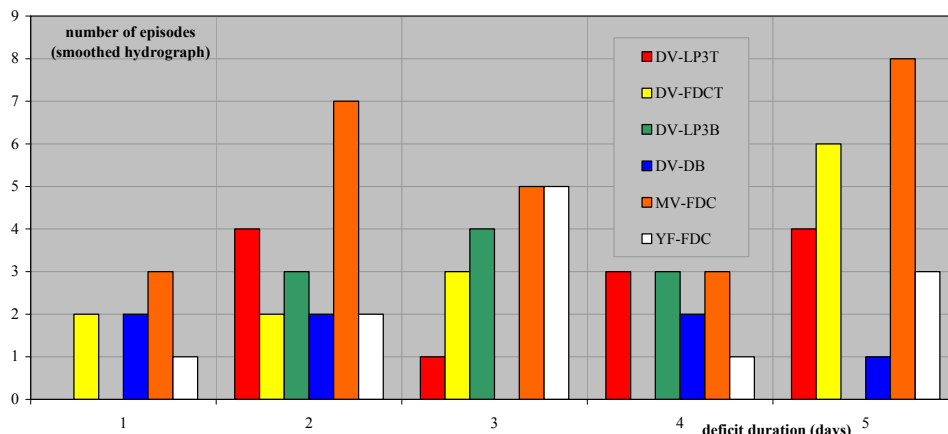
Slika 7. Sušne epizode na originalnom i uglačanom hidrogramu dnevnih proticaja po metodi DV-LP3T

Kada se originalna serija dnevnih proticaja uglača primenom MA(11) filtera, slika se znatno menja (Sl. 9). Iako metoda DV-LP3T i dalje identifikuje mali broj epizoda sa trajanjem od jednog do pet dana, u prvi plan izbijaju metode na bazi praga definisanog preko baznih

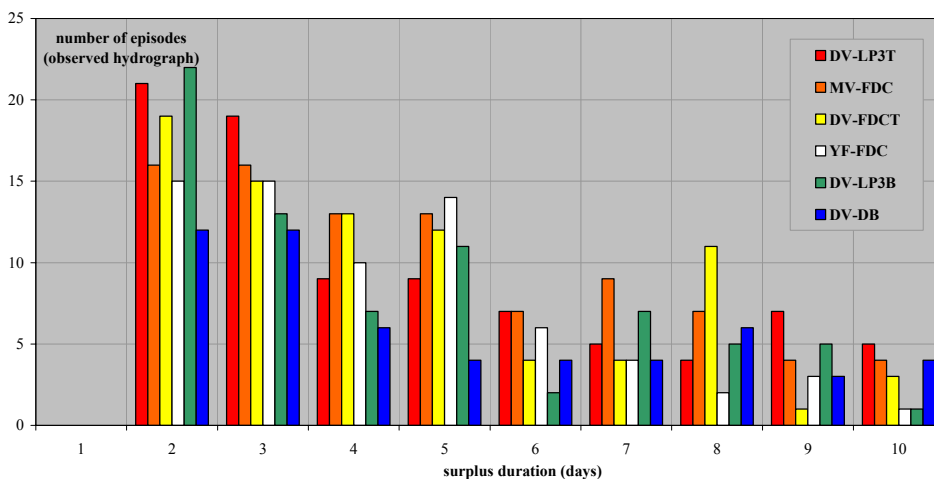
proticaja, DV-LP3B i DV-DB. Metoda DV-DB se izdvaja kao najbolja. Metoda DV-FDCT daje nešto više epizoda nego metoda DV-LP3T. (Ove dve metode daju vrlo sličan nivo praga.)



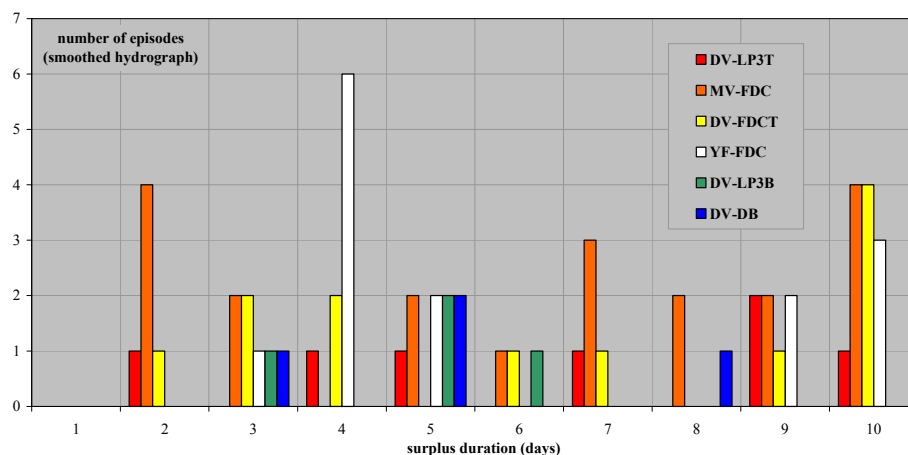
Slika 8. Broj kratkih sušnih epizoda koje izdvajaju različite metode za definisanje praga na opaženom hidrogramu dnevnih proticaja (r. V. Morava, st. Lj. Most, period 1951-2003.)



Slika 9. Broj kratkih sušnih epizoda koje izdvajaju različite metode za definisanje praga na uglačanom hidrogramu dnevnih proticaja (r. V. Morava, st. Lj. Most, period 1951-2003.)



Slika 10. Broj kratkih epizoda suficita koje izdvajaju različite metode za definisanje praga na opaženom hidrogramu dnevnih proticaja (r. V. Morava, st. Lj. Most, period 1951-2003.)



Slika 11. Broj kratkih epizoda suficita koje izdvajaju različite metode za definisanje praga na uglačanom hidrogramu dnevnih proticaja (r. V. Morava, st. Lj. Most, period 1951-2003.)

Uticao ugačavanja originalne serije dnevnih proticaja na broj međusobno zavisnih suša, preko broja dana između dve uzastopne suše (nazvan trajanje suficita - termin "suficit" se inače vezuje za proučavanje poplava, a ovde je upotrebljen u drugom smislu kao broj dana između dve uzastopne sušne epizode), ilustruju Slike 10 i 11. Prikazan je samo broj suficita koji traju od jednog do deset dana. Rezultati su slični prethodnim. Ugačavanje serije je imalo najveći pozitivan uticaj na metode DV-LP3B i DV-DB, a za njma je metoda DV-LP3T.

Slike 8 do 11 pokazuju da je ugačavanje originalne serije dnevnih proticaja značajno smanjilo broj deficita kratkog trajanja, kao i broj kratkih epizoda suficita između dve uzastopne suše. Kad se međusobno porede metode, prednost imaju metode definisane preko promenljivog dnevnog praga. Od dve metode kod kojih je prag definisan preko totalnog proticaja nešto bolja je metoda DV-LP3T, a od metoda koje koriste bazne proticaje – DV-DB.

U Tabeli 2 prikazani su broj, ukupno trajanje, ukupan deficit i intenzitet sušnih epizoda po svakoj od metoda i to za originalnu i ugačanu seriju dnevnih proticaja.

Broj sušnih epizoda je značajno smanjen posle ugačavanja serije: kod nekih metoda približno dvostruko, kod nekih i trostruko. Ukupno trajanje, deficit i intenzitet su smanjeni, ali to smanjenje je po redu veličine mnogo manje.

U Tabelama 3 do 6 sumirane su statistike za trajanje, zapremine i intenzitete deficita i za trajanje epizoda suficita po svim metodama, za originalnu i ugačanu seriju. Ugačavanje serije je uticalo na povećanje maksimalnih trajanja deficita (naročito kod DV-LP3B), trajanja suficita i zapremina deficita; povećane su i vrednosti minimalnih trajanja deficita (kod dve metode) i minimalnih zapremina deficita. Minimalni intenziteti su povećani (osim po metodi konst. praga), a maksimalni smanjeni (osim kod DV-FDC i MV-FDC).

Tabela 2. Broj, ukupno trajanje, ukupan deficit i intenzitet sušnih epizoda prema različitim metodama za definisanje praga, za originalnu i ugačanu seriju dnevnih proticaja (V. Morava, st. Lj. Most, period 1951-2003.)

	metod	broj sušnih epizoda		ukupno trajanje ΣT (days)		ukupan deficit ΣV ($\times 10^6$ m ³)		ukupan intenzitet $\Sigma V/\Sigma T$	
		opažena	MA(11)	opažena	MA(11)	opažena	MA(11)	opažena	MA(11)
promenljiv prag	DV-LP3T	164	70	2063	1767	3300	2736	1,60	1,55
	DV-FDCT	165	69	1959	1729	2931	2391	1,50	1,38
	DV-LP3B	150	51	1495	1292	1927	1596	1,29	1,24
	DV-DB	131	49	1454	1247	1730	1444	1,19	1,16
	MV-FDC	183	92	2014	1803	2940	2502	1,46	1,39
konstantan prag	YF-FDC	133	61	1940	1806	1909	1725	0,98	0,95

Tabela 3. Statistike za trajanje deficita prema različitim metodama za definisanje praga, za originalnu i ugačanu seriju dnevnih proticaja (V. Morava, st. Lj. Most, period 1951-2003.)

	metod	srednja vrednost (dana)		minimum (dana)		maksimum (dana)	
		opažena	MA(11)	opažena	MA(11)	opažena	MA(11)
promenljiv prag	DV-LP3T	12,6	25,2	1	2	165	174
	DV-FDCT	11,9	25,1	1	1	165	174
	DV-LP3B	10,0	25,3	1	2	91	170
	DV-DB	11,0	25,4	1	1	160	174
	MV-FDC	11,0	19,6	1	1	165	176
konstantan prag	YF-FDC	14,6	29,6	1	1	153	151

Tabela 4. Statistike za zapremine deficita prema različitim metodama za definisanje praga, za originalnu i uglačanu seriju dnevnih proticaja (V. Morava, st. Lj. Most, period 1951-2003.)

	metod	srednja vrednost (dana)		minimum (10^6 m^3)		maksimum (10^6 m^3)	
		opažena	MA(11)	opažena	MA(11)	opažena	MA(11)
promenljiv prag	DV-LP3T	20,12	39,08	0,01	0,052	255,75	287,89
	DV-FDCT	17,76	34,65	0,003	0,041	264,48	288,41
	DV-LP3B	12,84	31,29	0,0001	0,030	165,88	228,11
	DV-DB	13,21	29,46	0,01	0,006	205,23	226,30
	MV-FDC	16,07	27,20	0,01	0,023	274,65	309,23
konstantan prag	YF-FDC	14,35	28,28	0,02	0,004	318,94	315,08

Tabela 5. Statistike za intenzitete sušnih epizoda prema različitim metodama za definisanje praga, za originalnu i uglačanu seriju dnevnih proticaja (V. Morava, st. Lj. Most, period 1951-2003.)

	metod	srednja vrednost (dana)		minimum ($10^6 \text{ m}^3/\text{dana}$)		maksimum ($10^6 \text{ m}^3/\text{dana}$)	
		opažena	MA(11)	opažena	MA(11)	v	MA(11)
promenljiv prag	DV-LP3T	0,94	1,11	0,008	0,025	4,98	4,39
	DV-FDCT	0,88	0,97	0,003	0,020	4,28	4,47
	DV-LP3B	0,68	0,93	0,0001	0,014	3,68	3,55
	DV-DB	0,68	0,95	0,009	0,006	3,74	3,61
	MV-FDC	0,88	0,91	0,009	0,023	4,26	4,27
konstantan prag	YF-FDC	0,45	0,54	0,017	0,017	2,17	2,11

Tabela 6. Statistike za trajanje perioda suficita prema različitim metodama za definisanje praga, za originalnu i uglačanu seriju dnevnih proticaja. (V. Morava, st. Lj. Most, period 1951-2003.)

	metod	srednja vrednost (dana)		minimum (dana)		maksimum (dana)	
		opažena	MA(11)	opažena	MA(11)	opažena	MA(11)
promenljiv prag	DV-LP3T	103,8	246,4	2	2	1797	1803
	DV-FDCT	103,7	251,9	2	2	1480	2442
	DV-LP3B	117,1	344,0	2	3	3763	3937
	DV-DB	134,4	359,3	2	3	2410	3941
	MV-FDC	93,63	210,4	2	2	1479	2443
konstantan prag	YF-FDC	133,0	293,4	2	3	1139	1834

Rezultati iz Tabela 2 do 6 i sa Slika 8 do 11 pokazuju zadovoljavajuće efekte uglačavanja originalne serije dnevnih proticaja po metodi MA(11). Zbog toga će dalje biti prikazano samo poređenje metoda prema sušnim epizodama koje izdvajaju na uglačanoj seriji proticaja.

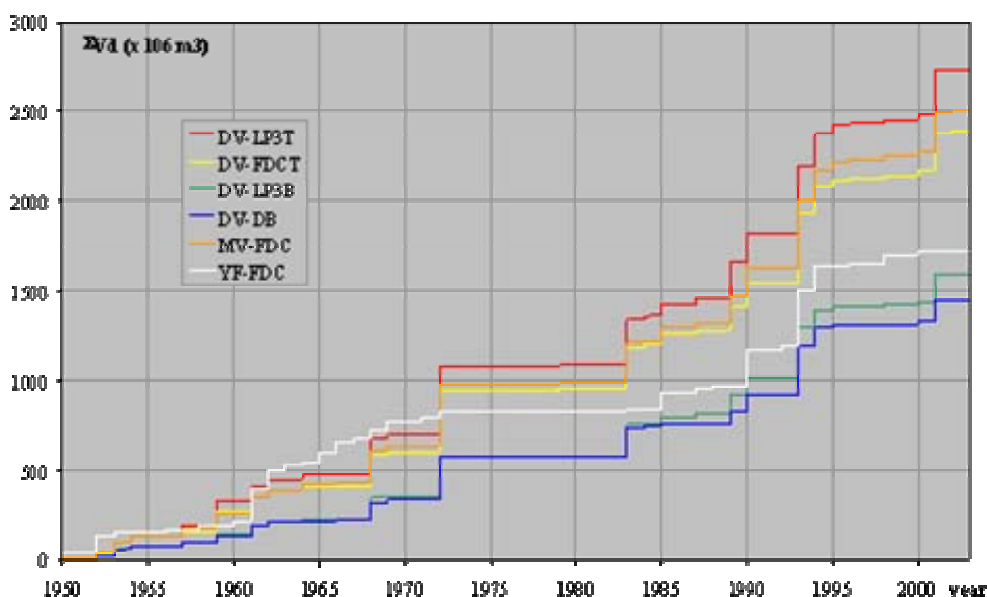
Na osnovu Tabela 2-6 i sa Slika 8-11 zaključeno je da su četiri metode dnevnog pokretnog praga daleko bolje nego metoda mesečnog pokretnog praga i, naravno, konstantnog praga. Od dve metode koje se baziraju na dnevnom promenljivom pragu definisanom preko ukupnog proticaja, metoda DV-LP3T predstavlja nešto

oštriji kriterijum nego metoda DV-FDC. Obe metode i identifikovale skoro isti broj sušnih epizoda, ali metoda DV-LP3T pokazuje duže ukupno trajanje i veći intenzitet. Dve metode koje su bazirane na pragu dobijenom preko baznih proticaja izdvajaju skoro isti broj sušnih epizoda. Najmanji broj sušnih epizoda od svih metoda izdvaja DV-DB (49), a skoro isti broj daje i DV-LP3B (51). Taj broj je približno isti kao broj godina u posmatranom periodu (53 godine).

Slika 12 prikazuje kumulativne zapremine, a Slika 13 kumulativna trajanja deficita za sušne epizode koje je svaki prag izdvojio na seriji uglačanih dnevnih proticaja.

Na slikama 11 i 12 vidi se da svi pragovi, sa malim razlikama, (osim konstantnog praga) na seriji uglačanih dnevnih proticaja izdvajaju iste značajne sušne epizode.

Za definisanje najznačajnijih suša na Velikoj Moravi u periodu 1951-2003. izvršeno je rangiranje sušnih epizoda po tri kriterijuma (trajanje, zapremina i intenzitet deficita) i po svakoj od metoda. Ako se uporede rezultati rangiranja po sva tri kriterijuma i za sve metode sa promenljivim pragom, izdvajaju se sušne epizode iz 1972, 1983 i 1993. godine. Na Slikama 13 do 16 prikazani su serije uglačanih dnevnih proticaja za te godine i dva praga definisana preko baznih proticaja.



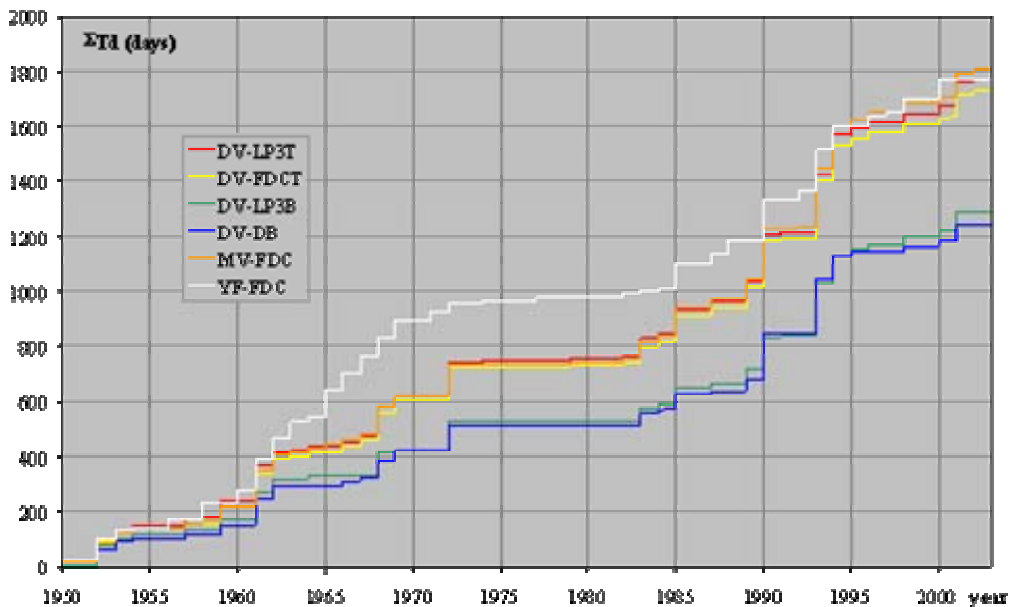
Slika 12. Kumulativne zapremine deficita za sušne epizode koje izdvajaju različite metode za definisanje praga na seriji uglačanih dnevnih proticaja (V. Morava, st. Lj. Most, period 1951-2003.)

Svih pet pokretnih pragova izdvojilo je epizodu iz 1983. (kraj aprila – sredina juna) kao prvu po rangi po kriterijumu intenziteta (Slika 15). Takođe, ta sušna epizoda je i po kriterijumima trajanja i po zapremini deficita među prvih deset.

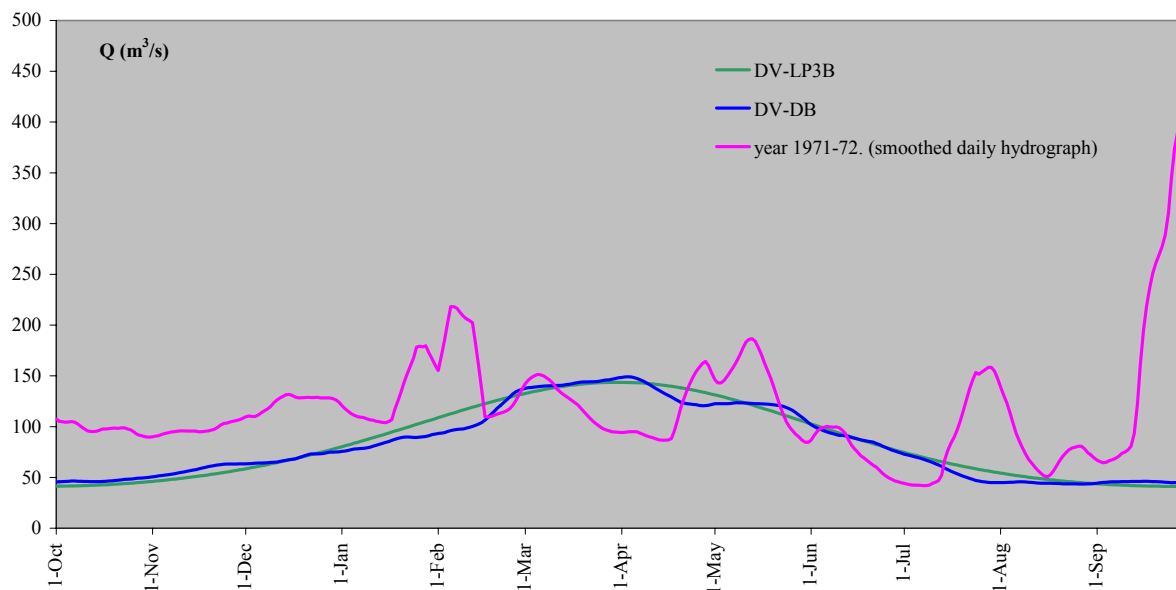
U 1972. godini je identifikovano više uzastopnih sunih epizoda (Slika 14). Prolećna epizoda u periodu mart – april te godine je po intenzitetu druga, ali za njom sledi

epizoda u letnjem periodu (jun – jul) koja je takođe među prvih deset i po intenzitetu i po zapremini deficita.

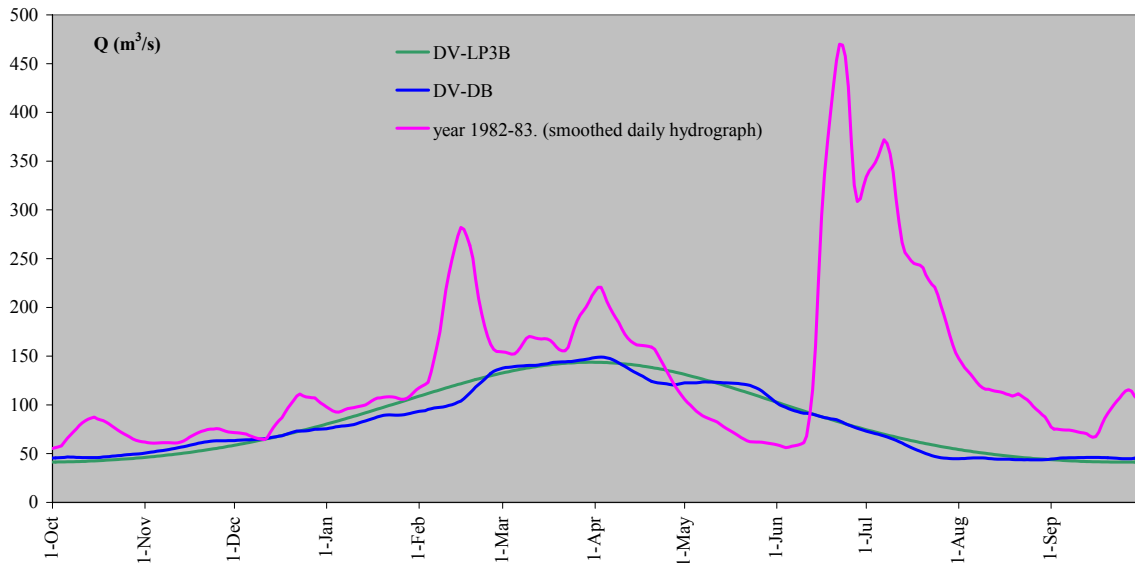
Sve metode sa pokretnim pragom izdvojile su sušnu epizodu iz 1993. godine (Sl. 16 i 17) kao prvu po rangi i po trajanju u po deficitu, mada po intenzitetu ona nije ni u prvih deset. Ta suša počinje od juna i traje sve do sredine novembra 1993. godine. (Po metodi konstantnog praga suša iz te godine je druga po trajanju, ali prva po deficitu i intenzitetu.)



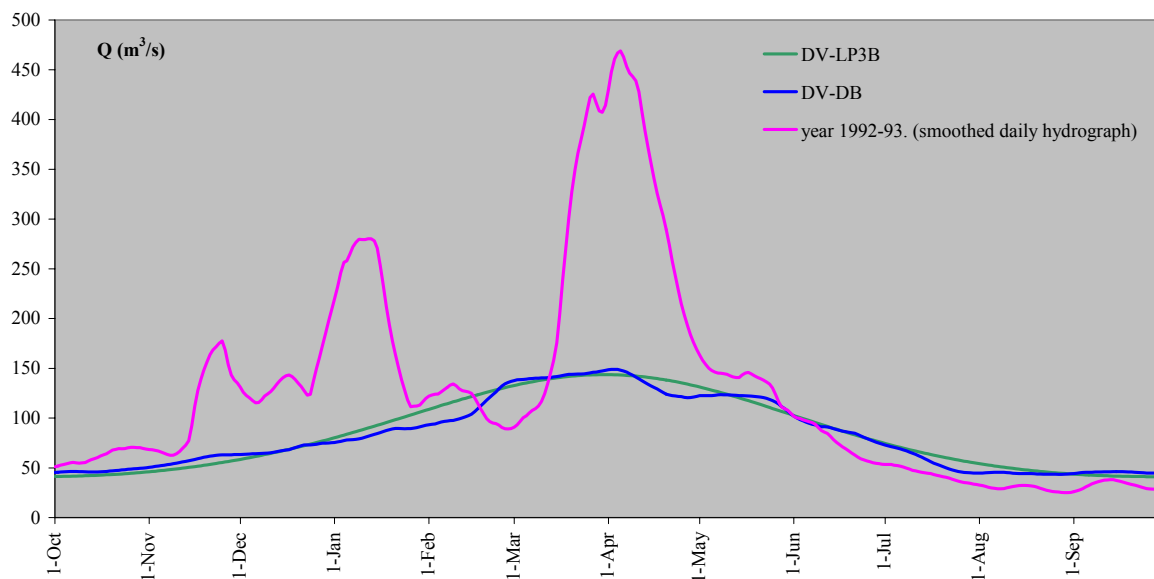
Slika 13. Kumulativna trajanja deficita za sušne epizode koje izdvajaju različite metode za definisanje praga na seriji uglačanih dnevnih proticaja (V. Morava, st. Lj. Most, period 1951-2003.)



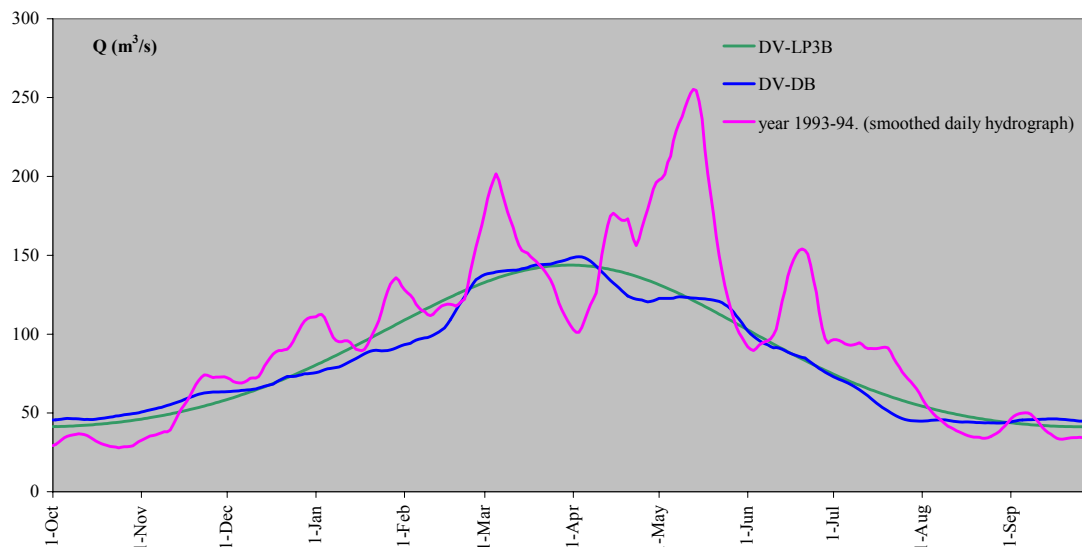
Slika 14. Sušne epizode koje na uglačanom hidrogramu dnevnih proticaja izdvajaju pragovi DV-LP3B i DV-DB (V. Morava, st. Lj. Most, period 1. okt. 1971-1. okt. 1972.)



Slika 15. Sušne epizode koje na ugačanom hidrogramu dnevnih proticaja izdvajaju pragovi DV-LP3B i DV-DB (V. Morava, st. Lj. Most, period 1.okt.1982-1.okt.1983.)



Slika 16. Sušne epizode koje na ugačanom hidrogramu dnevnih proticaja izdvajaju pragovi DV-LP3B i DV-DB (V. Morava, st. Lj. Most, period 1.okt.1992-1.okt.1993.)



Slika 17. Sušne epizode koje na uglačanom hidrogramu dnevnih proticaja izdvajaju pragovi DV-LP3B i DV-DB (V. Morava, st. Lj. Most, period 1.okt.1993-1.okt.1994.)

ZAKLJUČCI

U radu su prikazani neki aspekti razvoja monitoring sistema za suše na teritoriji Srbije. Analize se odnose na hidrološke suše površinskih vode. Prikazani su različiti metodi za izvođenje konstantnog i promenljivog praga i analiziran uticaj izbora metoda na broj epizoda, zapremine, trajanja i intenzitete epizoda deficita. Osim tri poznate metode (tradicionalnih metoda konstantnog praga, kao i mesečnog i dnevno promenljivog praga izvedenih preko krivih trajanja proticaja - koje su korišćene u projektima FRIEND i ARIDE), uvedene su i tri nove metode: (i) Umesto metoda pokretnog prozora (baziranog na empirijskim podacima, korišćenog u projektu ARIDE), uveden je pristup baziran na metodi TIPS za izvođenje dnevnih vremenskih funkcija statistika i definiciju marginalnih funkcija raspodela LP3; (ii) Prikazane su i dve metode koje za definisanje praga koriste dnevne bazne proticaje umesto ukupnih proticaja; (iii) Takođe je testirana i metoda decila, kao najjednostavnija metoda za definisanje dnevno promenljivog praga. Pragovi su definisani sa podacima iz referentnog perioda 1961-1990. i za hidrološku godinu. Broj sušnih epizoda i ostale karakteristike su analizirani na primeru Velike Morave, v. stanica „Ljubičevski Most” i za osmotreni niz dnevnih proticaja u periodu 1950-2003. god. Prikazane su i prednosti primene filtera pokretnih proseka MA(11) na originalne podatke (pre nanošenja praga), u pogledu smanjenja

zanemarljivih i zavisnih epizoda deficita. Novouvedene metode za definiciju praga pokazale su svoje prednosti na odabranom profilu i za usvojeni nivo praga (90% za svih šest metoda).

LITERATURA

- [1] Demuth S. and Stahl K. (Editors), 2001: ARIDE (Assessment of the Regional Impact of Droughts in Europe), Final Report, (EU Project Contract ENV4-CT97-0553), Institute of Hydrology University of Freiburg, Freiburg, Germany
- [2] Gustard A. et al., 1989: Flow Regime from Experimental and Network Data (FRIEND), Volume I Hydrological Studies, UNESCO IHP III, Agricultural University of Wageningen, Netherlands, Albert-Ludwigs University, Freiburg, Germany, Institute of Hydrology, UK, Norwegian National Committee of Hydrology, Norway
- [3] Institute of Hydrology, 1980: Low Flow Studies Report, Wallingford, UK
- [4] Jovanović S., 1989: HIDROLOGIJA, Poglavlje 2 Građevinskog Tehničara III, GK, Beograd
- [5] L'vovich M. I., 1972: Hydrological Budget of Continents and Balance of Global Fresh Water Resources, Sov. Hydrol. No. 4 349-360

- [6] Mihailović V., 2003.: Analiza dnevnih proticaja u cilju najave poplava i suša, magistarski rad, Građevinski fakultet u Beogradu, Beograd, Srbija.
- [7] Mihailović V., Radić Z. M., 2006: Structure of Daily Hydrologic Series in Serbia and Northern Mediterranean, BALWOISE 2006 Conference, Ohrid, F.Y.R. Macedonia
- [8] Radić M. Z., Stišević B. and Petrović J., 1995: Base Flow Index Regional Analyses and Low Flow Analysis and Corrections, UNESCO Documents techniques en hydrologie UNESCO, Paris /GIS AMHY, Lyon/ CEDEX, Madrid, 1995., pp.47–60
- [9] Radić M. Z., 1997: PROCENA VODNIH RESURSA – Ima li vodoljno vode u svetu-, Publikacija posvećena Svetskom Danu Voda 1997., Editor Z. M. Radić, JDH, Beograd, Srbija
- [10] Radić M. Z., Mihailović V., 2005: Preliminarne analize hidroloških suša u centralnoj Srbiji, Publikacija “VODA ZA ŽIVOT – Per aspera ad astra” posvećena Svetskom Danu Voda 2005., Editor Z. M. Radić, JDH, Beograd, Srbija
- [11] Radić M.Z. i Mihailović V., 2006.: Teorijske osnove i proširenje oblasti primene strukturne analize dnevnih hidroloških serija, Vodoprivreda, br. 219-221, 2006, JDON, Beograd
- [12] Tallaksen L. M., Van Lanen H. A. J. (eds.), 2004: Hydrological Drought – Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater, Developments in Water Science 48, Elsevier and FRIEND
- [13] Yevjevich V. 1972: *Stochastic Processes in Hydrology*, Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, U.S.A.
- [14] Yevjevich V. 1984: *Structure of Daily Hydrologic Series*, Water Resources Publications, Littleton, Colorado, U.S.A.

COMPARATIVE ANALYSIS OF HYDROLOGICAL DROUGHT DEFINITION METHODS

by

Zoran RADIĆ Ph.D., Vladislava MIHAILOVIĆ MSCE**

*Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade

**Faculty of Forestry, University of Belgrade

Summary

Basic methodology of RUN and TIPS methods, developed and introduced by prof. V. Yevjevich, are presented in this paper. The application and practical aspects of the expanded versions of those methods to the drought event definition were presented, too. Presented results are limited to the qualitative and quantitative presentation of six methods for hydrological streamflow droughts identification, based on fixed and varying thresholds. Methods have been tested on several representative catchments, but here are presented only results for River Velika Morava, st. Ljubičevski Most. In this way, drought regime for the large part of the central Serbia was included [11].

Methods were applied to the daily flows series. On the basis of daily flows series different (fixed or varying)

crossing levels (thresholds) could be derived. For time series of defined threshold levels and observed series of daily flows, drought episodes of several months or several years could be identified, too.

Newest methods in actual world researches of hydrological drought phenomena are presented in this paper, as well as new and original approaches and methods which were developed through National Water Program for Serbia (2004-2007). It is shown that some of newly introduced methods have significant advantages in comparison to present methods.

Key words: hydrology, drought, droughts definitions, hydrological drought analysis, drought monitoring system development

Redigovano 20.12.2006.