

Prihvatljivost gama raspodele za proračun indeksa suše u slivu Južne Morave

Vladislava Mihailović¹
Borislava Blagojević²

APSTRAKT: Proračun pokazatelja suše SPI (Standardized Precipitation Index) i SRI (Standardized Runoff Index) se sastoji iz više koraka, a najvažniji je određivanje teorijske raspodele koja se najbolje prilagođava mesečnim sumama padavina, odnosno protoka. U svetu je najčešće u upotrebi Gama raspodela, koja je vremenom prihvaćena kao deo metodologije proračuna pokazatelja, tako da se danas retko proverava da li ova raspodela zaista najbolje odgovara osmotrenim podacima. Cilj ovog rada je da istražimo mogućnost primene i nekih drugih dvoparametarskih i troparametarskih raspodela na 13 hidroloških stanica na prostoru sliva Južne Morave. Prihvatljivost raspodela ispitujeemo za različite vremenske skale agregacije ulaznih podataka (1, 2, 3, 6, 12 i 24 meseca). Kao preliminarni kriterijum za određivanje mogućih raspodela koristimo dijagrame L-momenata, a odabrane raspodele zatim rangiramo na osnovu mere AWOD (Averaged Weighted Orthogonal Distance).

Ključne reči: meteorološka suša, hidrološka suša, SPI, SRI, raspodele verovatnoća, AWOD, Južna Morava

Gamma distribution suitability for drought indices assesment in the Južna Morava basin

ABSTRACT: The drought indexes SPI (Standardized Precipitation Index) and SRI (Standardized Runoff Index) calculation comprises several steps, the most important being theoretical probability distribution choice, according to the monthly precipitation and runoff sums, respectively. The Gamma distribution is the most frequently applied worldwide, and it has become a part of the indices calculation methodology. Nowadays, it is rarely checked if it is the best observed data fit. Our research aim is to assess suitability of some other two and three parameter distributions at 13 hydrological stations in the Južna Morava river basin. We investigate the distribution fit for several time scale aggregation (1, 2, 3, 6, 12 and 24 months). As a preliminary criterion for the distribution fit, we use L-moment diagrams, and than rank the distributions according to the Averaged Weighted Orthogonal Distance (AWOD).

Keywords: meteorological drought, hydrological drought, SPI, SRI, probability distribution, AWOD, Južna Morava

¹ Dr Vladislava Mihailović, Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu, ul. Kneza Višeslava 1, 11000 Beograd, vladislava.mihailovic@sfb.bg.ac.rs

² Dr Borislava Blagojević, docent, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, ul. A. Medvedeva 14, 18000 Niš

1 Uvod

Za otkrivanje i analizu meteorološke suše, u svetskoj i domaćoj praksi je prihvaćen pokazatelj SPI (*Standardized Precipitation Index*) [9]. Razlog za brzo prihvatanje i intenzivnu upotrebu ovog indeksa leži u njegovoj svestranosti i jednostavnosti primene- za proračun se kao ulazni podaci koriste samo mesečne sume padavina. Svestranost indeksa SPI ogleda se u uvidu u intenzitete suša različitih trajanja (kratkoročne, sezonske ili višegodišnje), što se postiže izračunavanjem za više vremenskih skala agregacije [11]. U praksi se najčešće koriste vremenske skale 1, 3, 12 do 36 meseci. U želji da se i hidrološka suša ocenjuje na isti način, jedan od predloženih pokazatelja je i SRI (*Standardized Runoff Index*) [13], kod koga su ulazni podaci srednji mesečni protoci. Procedure za proračun oba pokazatelja su praktično iste.

Ključna faza procedure proračuna je izbor teorijske raspodele koja se najbolje prilagođava mesečnim nizovima. Osnovni izvor neizvesnosti u proračunu SPI proističe upravo odatle [4]. Proračun se sprovodi na mesečnim nizovima u višegodišnjem periodu, tj. za svaki kalendarski mesec se generiše po jedan niz i za njega se određuje raspodela verovatnoća i njeni parametri. Imajući u vidu unutargodišnju varijaciju mesečnih nizova, moguća su dva pristupa: (a) usvaja se ista raspodela za sve kalendarske mesece i za sve vremenske skale, sa parametrima koji variraju tokom godine; (b) raspodela se menja tokom godine, prema rezultatima testova. Ako se uzme u obzir da se SPI računa za 12 meseci i za više vremenskih skala, jasno je da se radi o obimnim proračunima. Zbog toga se u praksi najčešće promenjuje prvi pristup, tako što se (bez provere) usvaja gama raspodela. Najčešće predlagana alternativa gama raspodeli je Pirson 3, na osnovu istraživanja mogućnosti primene i drugih raspodela ([2], [5], [15]). Ju i saradnici [17] su ispitivali veći broj dvo i troparametarskih raspodela za područje Japana i zaključili da su najbolje rezultate pokazale raspodele Pirson 3 i log-Pirson 3, a da alternativa možda može biti troparametarska log-normalna raspodela.

Proticaji, zbog uticaja brojnih dodatnih faktora, pokazuju veću prostornu varijabilnost, u odnosu na klimatske faktore koji se koriste za izračunavanje pokazatelja suša. Samim tim postoji i velika raznolikost u izboru raspodela koje se najbolje prilagođavaju mesečnim nizovima proticaja [16]. Osim toga, proticaji pokazuju uvek veći koeficijent asimetrije od padavina, tako da se autori uglavnom okreću troparametarskim raspodelama, prvenstveno opštoj raspodeli ekstremnih vrednosti, opštoj logističkoj i log-normalnoj ([7], [8], [16]). Takođe je bitno i da rezultati istraživanja pokazuju da je teško usvojiti jedinstvenu raspodelu za sve stanice, zbog velike varijacije statističkih osobina mesečnih nizova [16].

U ovom radu prikazujemo početne rezultate istraživanja primene različitih dvoparametarskih i troparametarskih raspodela u našim klimatskim uslovima – na prostoru sliva Južne Morave. Od dvoparametarskih raspodela, razmatramo: Pareto (GPA2), log normalnu (LN2), gama (GAM2) i Vejbul (W2), a od troparametarskih: opštu logističku (GLOG), opštu raspodelu ekstremnih vrednosti (GEV), Pirson3 (P3), log-Pirson 3 (LP3), Pareto (GPA), Vejbul (W3) i log-normalnu (LN3). Prihvatljivost raspodela ispitujemo za različite vremenske skale sumiranja ulaznih podataka (1, 2, 3, 6, 12 i 24 meseca) u skladu sa skalama koje primenjuje Republički Hidrometeorološki Zavod Srbije (RHMZS) i rezultatima prethodnih istraživanja [3]. Kao preliminarni kriterijum za određivanje mogućih raspodela koristimo dijagrame L-momenata.

17. Savetovanje SDHI i SDH - Vršac, Srbija 2015. Conference SDHI & SDH - Vršac, Serbia 2015.

Ovo istraživanje je deo opširnije studije, čiji je cilj da se uspostavi veza između hidroloških i meteoroloških pokazatelja suše [3], da bi se na osnovu operativnih podataka RHMZS o prognoziranim vrednostim SPI [18], dobijale vrednosti SRI i bliže određivale karakteristike hidrološke suše na našem području.

2 Metodologija

2.1 Standardizovan pokazatelj padavina (SPI)

SPI je meteorološki pokazatelj [9], koji kvantifikuje stanje vlažnosti na određenoj lokaciji ili površini. Kao ulazni podaci koriste se jedino mesečne sume padavina. Neka je $X_{i,j}$ niz mesečnih padavina, zabeležen tokom N godina ($i=1,2,\dots,N$, a $j=1,2,\dots,12$). Numerička vrednost pokazatelja SPI za godinu i , kalendarski mesec j i za vremensku skalu agregacije k , računa se u nekoliko faza [12]: (1) formira se niz kumulativnih padavina po mesecima, $Y_{i,j}^{(k)}$, za određenu vremensku skalu, tako što se padavine u datom mesecu sabiraju sa padavinama iz prethodnih $k-1$ meseci; (2) za svaki mesečni niz (januara, februara, itd.) određuje se „najbolja” teorijska raspodela; (3) izračunavaju se vrednosti funkcije raspodele za svaki podatak iz mesečnih nizova; (4) raspodela se zatim transformiše u standardnu normalnu raspodelu (po principu jednakih verovatnoća) i tako se dobijaju vrednosti SPI za dati mesec. Vrednosti SPI su zapravo vrednosti standardizovane normalne promenljive, tako da SPI ima srednju vrednost nula i standardnu devijaciju jedan.

2.2 Standardizovan pokazatelj oticaja (SRI)

Pokazatelj hidrološke suše, SRI se proračunava po istom principu kao SPI. Ulazna promenljiva su mesečni proticaji ili drugi pokazatelji izdašnosti sliva na izučavanom profilu, a računa se za iste vremenske skale kao i SPI. Ovaj indeks uključuje hidrološke aspekte suša i može predstavljati korisnu dopunu u izučavanju suše, paralelno sa SPI [13].

2.3 Dijagrami L-momenata

Za identifikaciju odgovarajuće raspodele (ili nekoliko kandidata) ovde su korišćeni dijagrami bezdimenzionalnih L -momenata [6], koji prikazuju vezu između LC_v (koef. L -varijacije) i LC_s (L -koef. asimetrije) za dvoparametarske, odnosno LCK (L -koef. spljoštenosti) i LCs za troparametarske raspodele. Osim vizuelne inspekcije dijagrama, kao mera saglasnosti uzoračkih i teorijskih vrednosti, može se uzeti i rastojanje (odnosno srednje rastojanje) između tačaka dobijenih iz uzorka i odgovarajućih tačaka sa krive za teorijsku raspodelu. Ovde je računata srednja vrednost rastojanja, ponderisana za svaku stanicu prema dužini raspoloživog niza [8]. Autori su ovu meru nazvali AWOD (*Averaged Weighted Orthogonal Distance*).

2.4 Podaci

Tabela 1 prikazuje osnovne podatke o stanicama odabranim za analizu. U skladu sa metodologijom opsežnije studije pokazatelja suše [3], mesečne padavine su po metodi

Tisenovih poligona transformisane u prostorne padavine na slivovima hidroloških stanica. Mesečni proticaji su transformisani u sloj oticaja [14].

Tabela 1. Izučavano područje: hidrološke stanice sa područja sliva Južne Morave.

Table 1. Study area: hydrologic stations in the Južna Morava river basin.

R. br.	Hidrološka Stanica (HS)	Reka	Sliv	Površ. sliva (km ²)	PROTICAJI		PADAVINE	
					Period	Broj godina	Period	Broj godina
1	Mojsinje	J. Morava	V. Morava	15390	1961-2014	53	1961-2008	48
2	Korvingrad	J. Morava	V. Morava	9396	1961-2014	53	1961-2008	48
3	Grdelica	J. Morava	V. Morava	3782	1961-2014	53	1961-2009	49
4	Tupalovce	Kozarska	J. Morava	98,1	1961-2014	53	1961-2009	49
5	Svođe	Vlasina	J. Morava	350	1961-2014	53	1961-2009	49
6	Pečenjevce	Jablanica	J. Morava	891	1961-2014	53	1961-2008	48
7	Niš	Nišava	J. Morava	3870	1961-2014	53	1961-2009	49
8	Bela Palanka	Nišava	J. Morava	3087	1961-2014	53	1961-2009	49
9	Pirot	Nišava	J. Morava	1745	1961-2014	53	1961-2009	49
10	Trnski Odorovci	Jerma	Nišava	557	1961-2014	53	1961-2014	54
11	Strazimirovce	Jerma	Nišava	95	1961-2014	53	1961-2009	49
12	Dimitrovgrad	Nišava	J. Morava	482	1961-2014	53	1961-2009	49
13	Doljevac	Toplica	J. Morava	2052	1961-2014	53	1961-2008	48

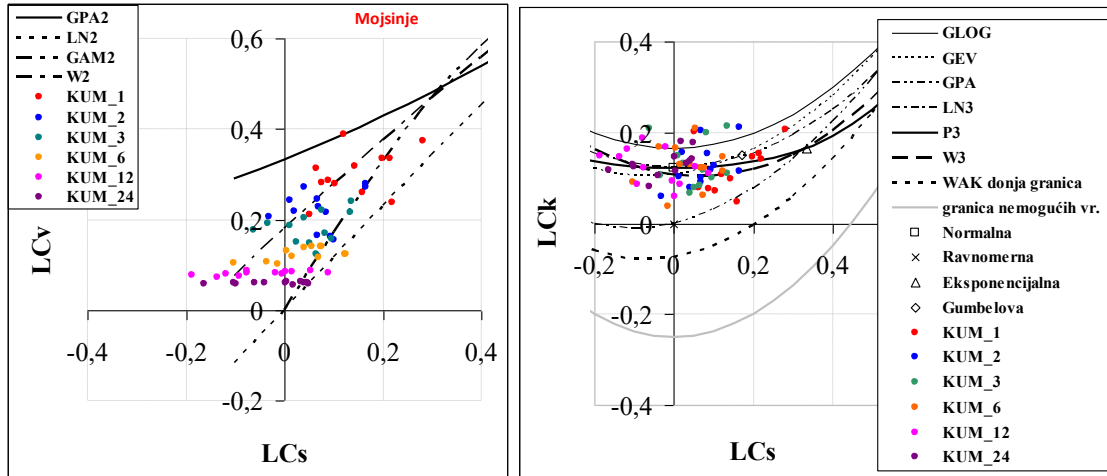
3 Rezultati i diskusija

Rezultati istraživanja su prikazani dijagramima $LCv-LCs$ i $Lck-LCs$, koji se koriste za izbor između dvoparametarskih, odnosno, troparametarskih raspodela. Dijagrami su dati i za padavine i za proticaje. Na dijagrame su nanete tačke-vrednosti za sve razmatrane vremenske skale – periode agregacije, a odgovarajuće oznake u legendi su prema dužini perioda sumiranja (KUM_1 jednomesečne sume, KUM_2 su dvomesečne, itd.). Za svaku izučavanu vremensku skalu ima po 12 tačaka, za 12 kalendarskih meseci. Oznake za raspodele na dijagramima i u daljem tekstu su date u Uvodu.

Na slikama 1 i 2 su za sve periode agregacije, na dijagrame L -momenata naneti empirijski nizovi mesečnih LCs i LCv (odnosno Lck), za HS Mojsinje (Slika 1 – padavine, Slika 2- proticaji). Na slikama se uočava da je LCs za padavine vidno manji nego za proticaje. Kako se produžava period agregacije, tako se i LCs smanjuje, tako da kod padavina odlazi i značajnije u negativne vrednosti. Za duže periode agregacije, LCv (pa i Lck) mogu se smatrati konstantnim tokom godine.

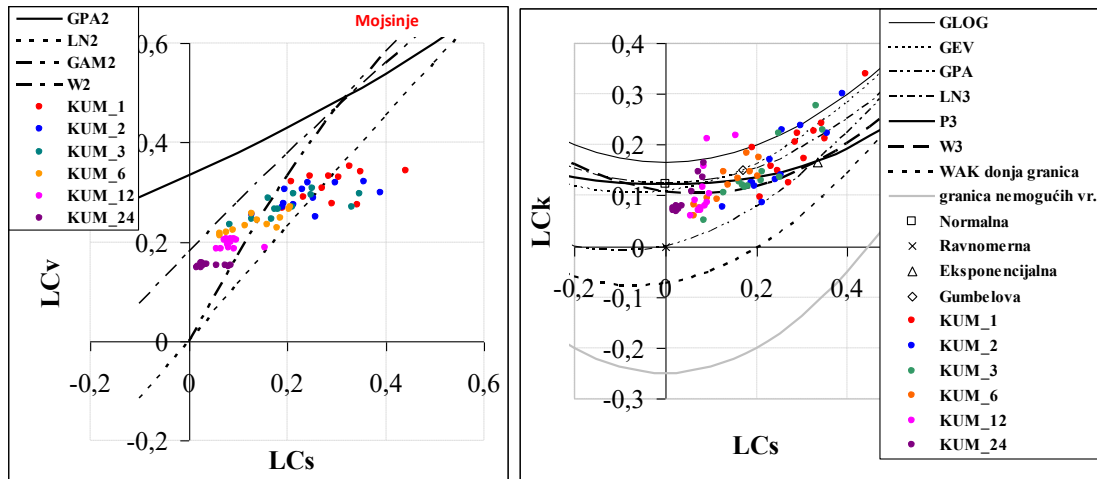
Slike 3, 4, 5 i 6 ilustruju način izbora najbolje raspodele, koji se odvija po mesecima, za svaku vremensku skalu. Zbog uštede u prostoru, prikazani su dijagrami L -momenata samo za jednomesečne sume padavina (Slike 3 i 4) i proticaja (Slike 5 i 6). Na dijagrame su, osim tačaka koje predstavljaju empirijske L -momente za svaku stanicu, nanete i prosečne vrednosti za sve stanice (plavi krstići). Slika 3 prikazuje dijagrame $LCv-LCs$ po mesecima, za padavine. Tačke se uglavnom nalaze između teorijskih linija za GPA2 i LN2 raspodele, tako da u obzir očigledno dolaze raspodele GAM2 i W2, osim u julu i oktobru (GPA2). Kod troparametarskih raspodela situacija nije očigledna, zbog velike varijabilnosti Lck tokom godišnjeg ciklusa,

tako da se izbor ne može obaviti vizuelno. Sa slike 5 se vidi da je od dvoparametarskih raspodela, LN2 prvi izbor za proticaje za jednomesečne nizove. Dijagrami L -momenata za troparametarske raspodele (Slika 6), kao i kod padavina, nisu od veće koristi. LCK varira u još većem opsegu nego kod padavina, tako da očigledno u dalje razmatranje treba uvrstiti veći broj troparametarskih raspodela.



Slika 1. HS Mojsinje: Dijagrami LCv - LCs (levo) i LCK - LCs (desno), padavine, sve vremenske skale.

Figure 1. HS Mojsinje: Diagrams LCv - LCs (left) and LCK - LCs (right), precipitation, all aggregation scales.

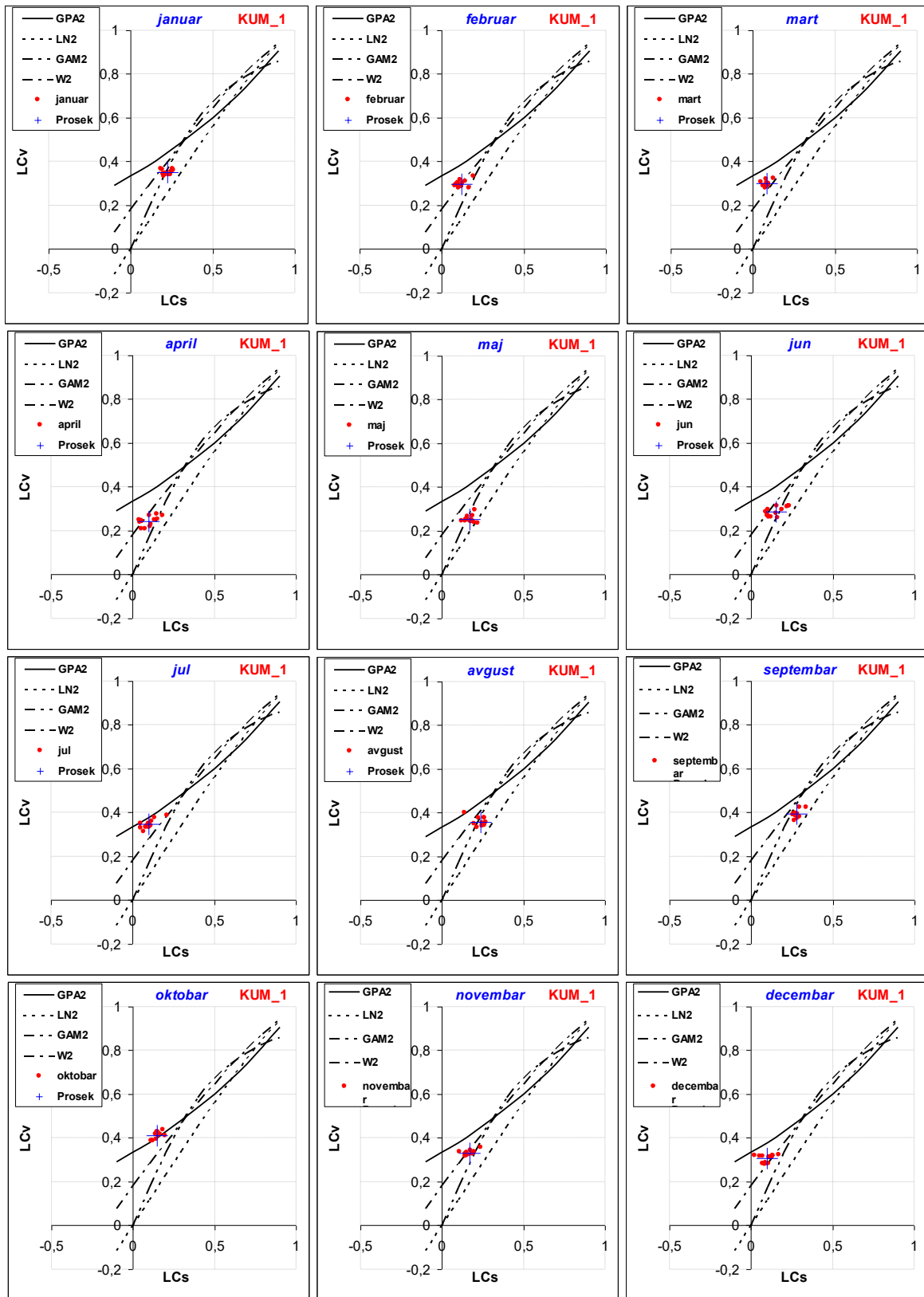


Slika 2. HS Mojsinje: Dijagrami LCv - LCs (levo) i LCK - LCs (desno), proticaji, sve vremenske skale.

Figure 2. HS Mojsinje: Diagrams LCv - LCs (left) and LCK - LCs (right), runoff, all aggregation scales.

17. Savetovanje SDHI i SDH - Vršac, Srbija 2015.

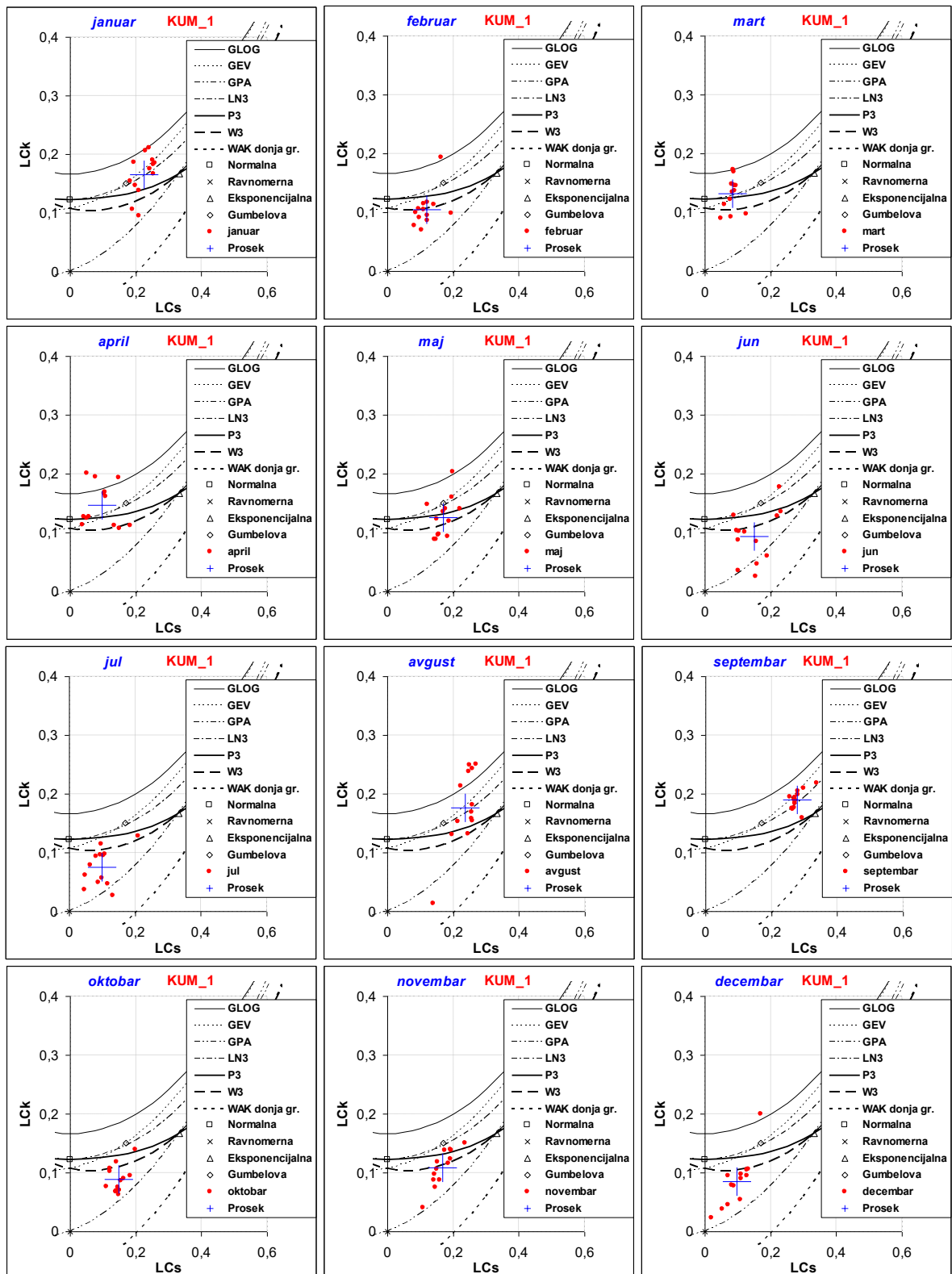
Conference SDHI & SDH - Vršac, Serbia 2015.



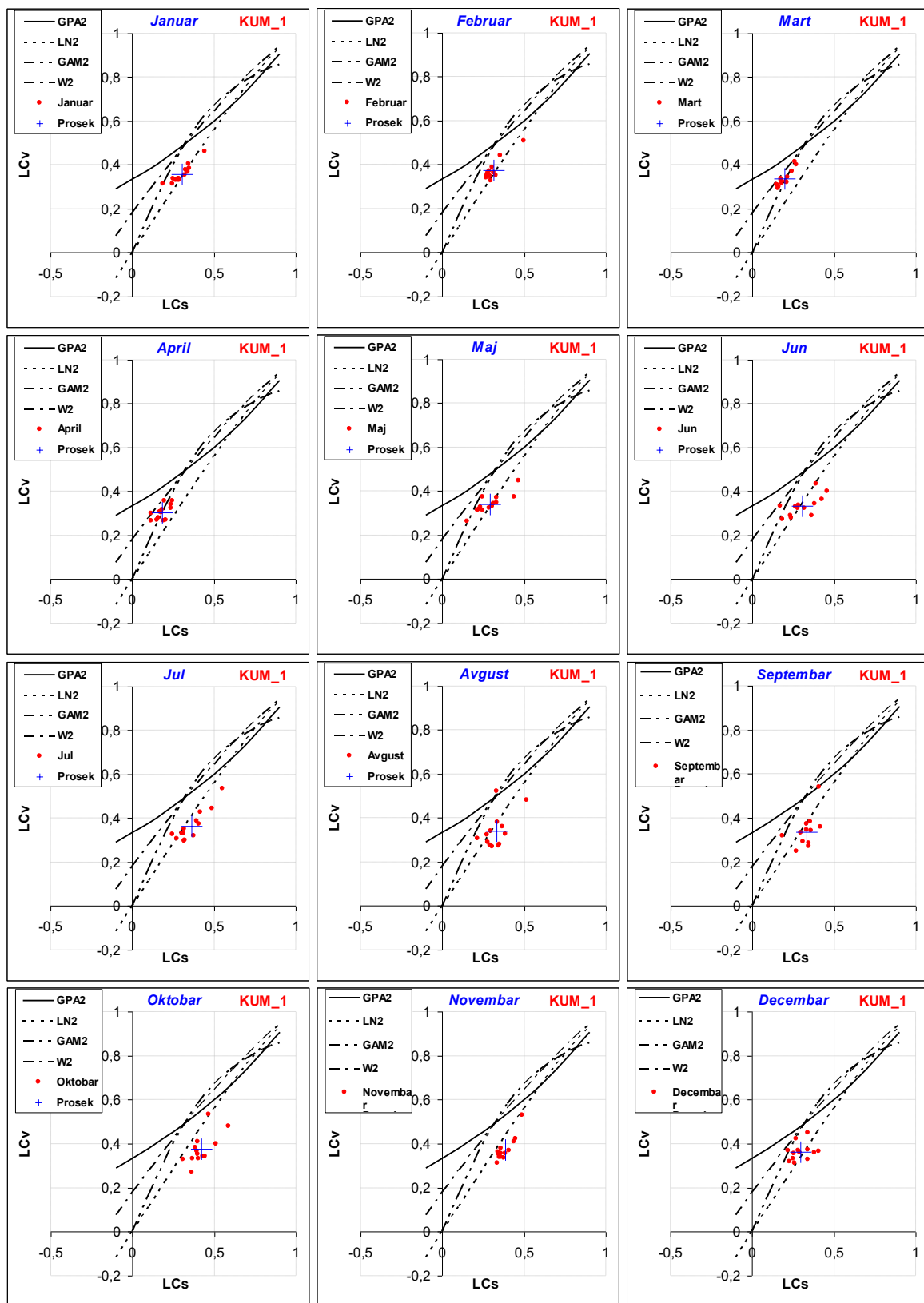
Slika 3. Dijagrami $LCv-LCs$ za padavine, vremenska skala 1 mesec, za sve stanice.
 Figure 3. Diagrams $LCv-LCs$, one month precipitation scales, all HS.

17. Savetovanje SDHI i SDH - Vršac, Srbija 2015.

Conference SDHI & SDH - Vršac, Serbia 2015.



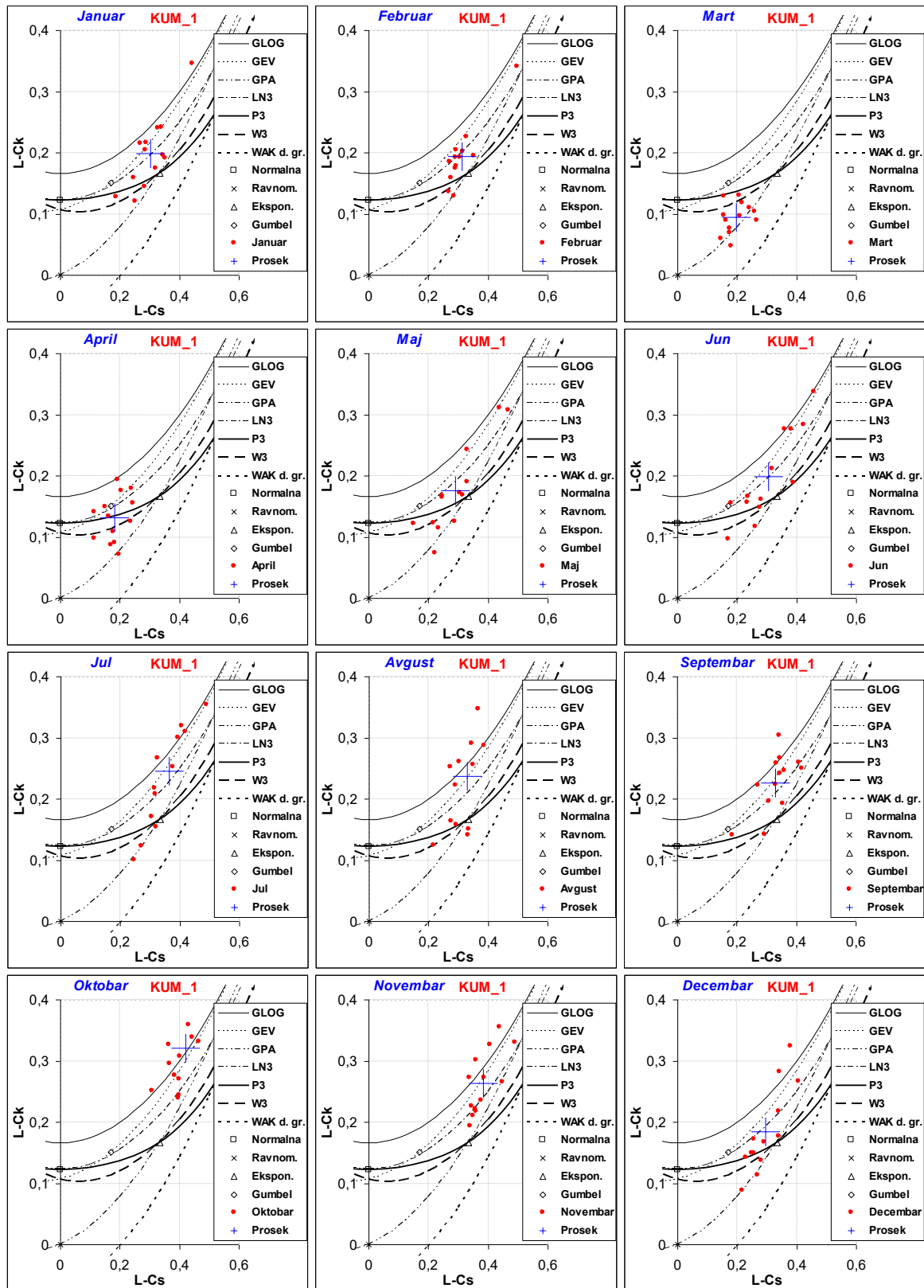
Slika 4. Dijagrami $LCK-LCs$ za padavine, vremenska skala 1 mesec, za sve stanice.
 Figure 4. Diagrams $LCK-LCs$, one month precipitation aggregation scales, all HS.



Slika 5. Dijagrami $LCv-LCs$ za proticaje, vremenska skala 1 mesec, za sve stanice.
 Figure 5. Diagrams $LCv-LCs$ for one month discharge aggregation scales, all HS, month wise.

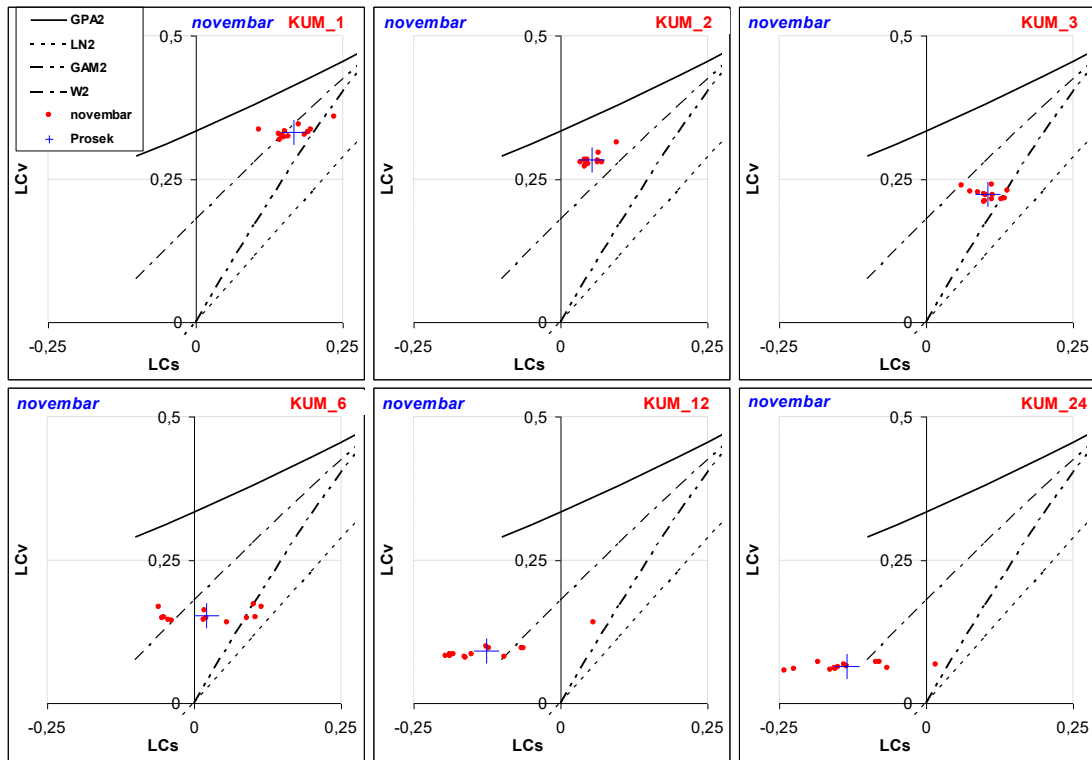
17. Savetovanje SDHI i SDH - Vršac, Srbija 2015.

Conference SDHI & SDH - Vršac, Serbia 2015.

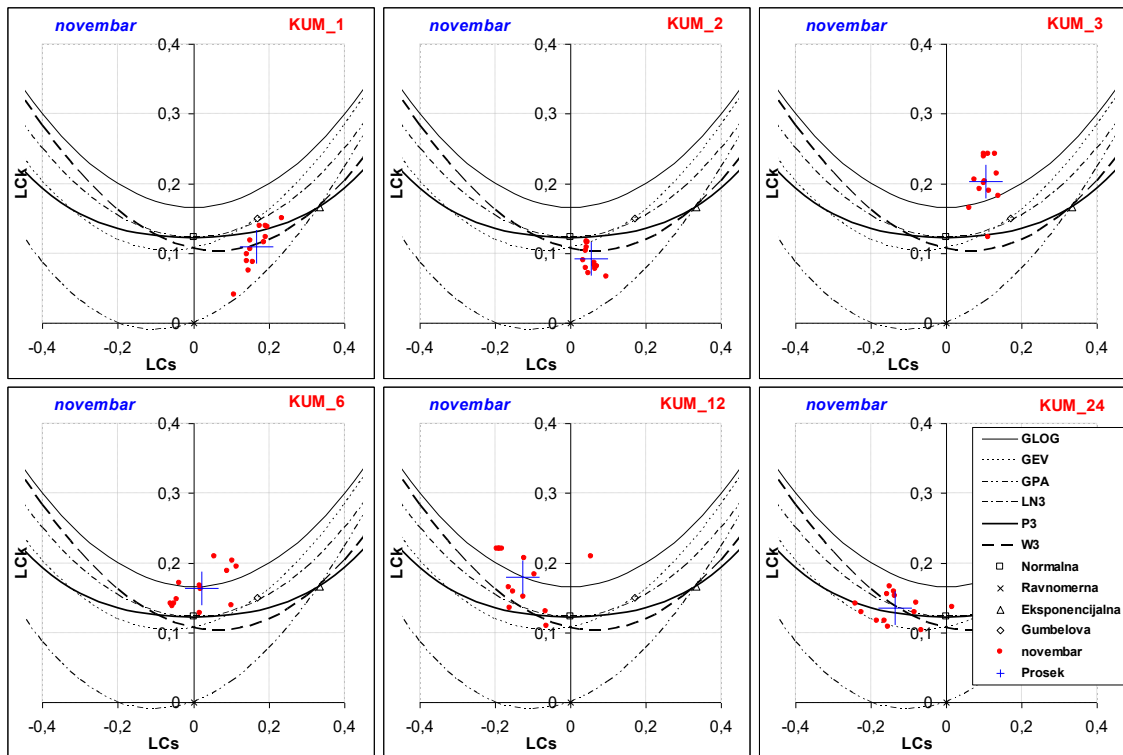


Slika 6. Dijagrami L_{Ck} - L_{Cs} za proticaje, vremenska skala 1 mesec, za sve stanice.
 Figure 6. Diagrams L_{Ck} - L_{Cs} for one month discharge aggregation scales, all HS.

17. Savetovanje SDHI i SDH - Vršac, Srbija 2015. Conference SDHI & SDH - Vršac, Serbia 2015.

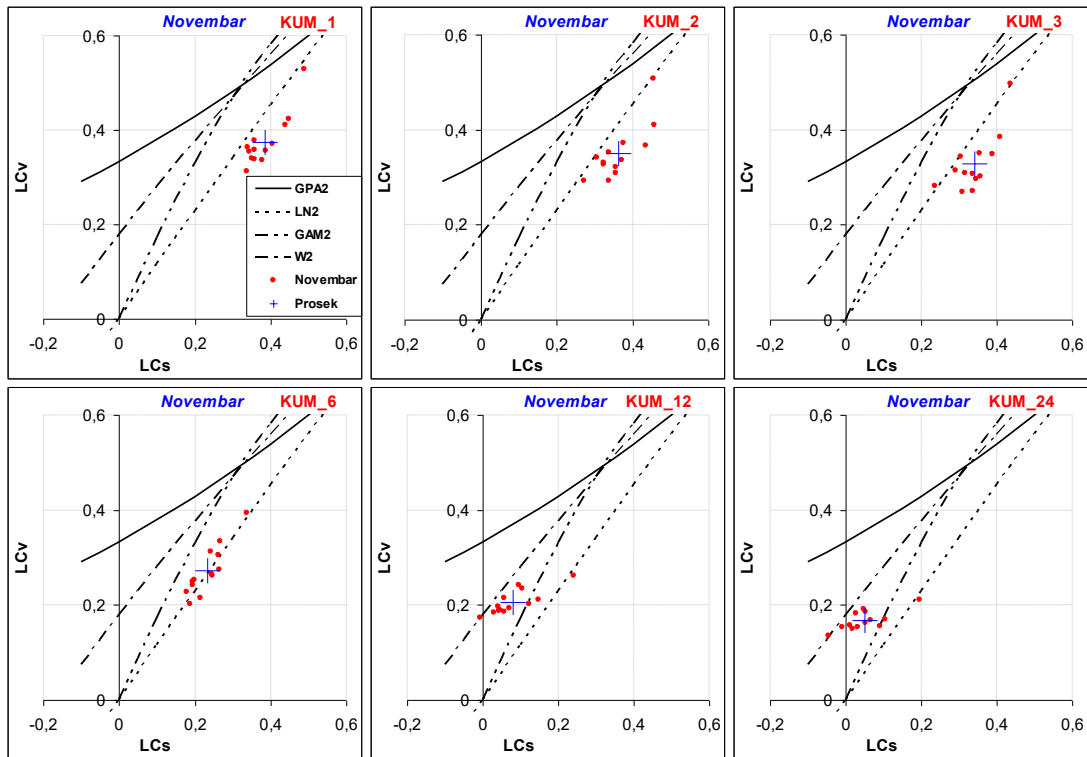


Slika 7. Dijagrami $LCv-LCs$ za novembar, za padavine, za sve periode agregacije.
Figure 7. Month of November: $LCv-LCs$ diagrams for precipitation, all aggregation scales.

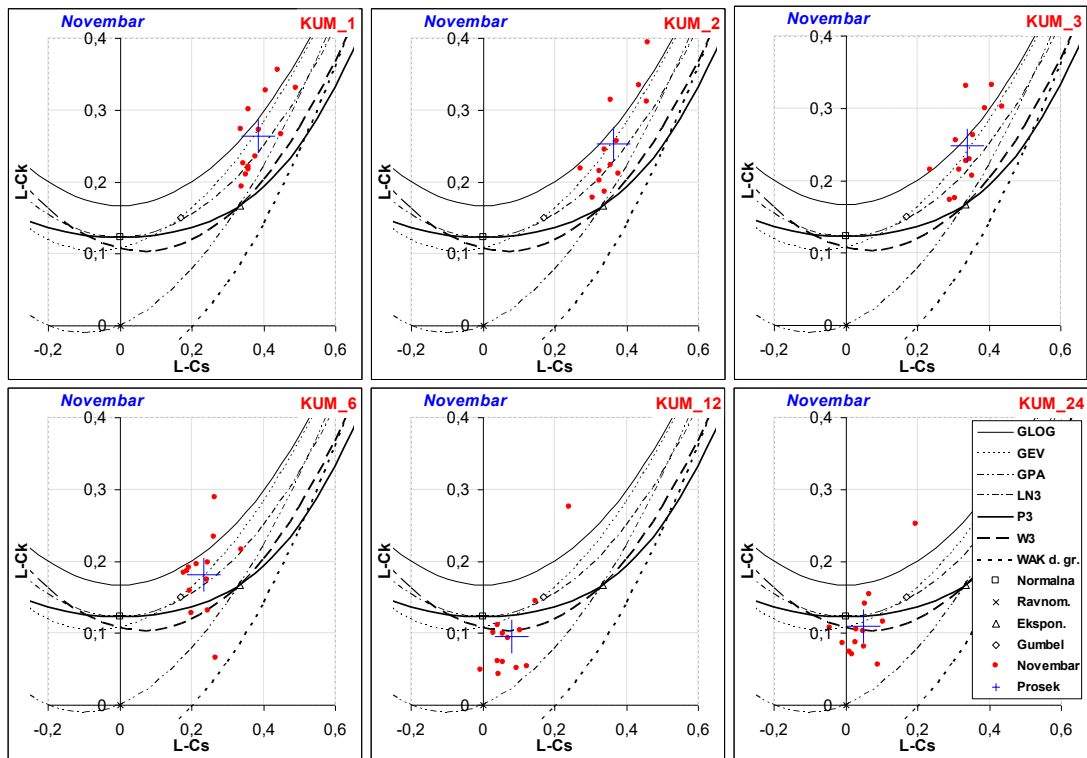


Slika 8. Dijagrami $LCK-LCs$ za novembar za padavine, za sve periode agregacije.
Figure 8. Month of November: $LCK-LCs$ diagrams for precipitation, all aggregation scales.

17. Savetovanje SDHI i SDH - Vršac, Srbija 2015. Conference SDHI & SDH - Vršac, Serbia 2015.



Slika 9. Dijagrami $LCv-LCs$ za novembar za proticaje, za sve periode agregacije.
Figure 9. Month of November: $LCv-LCs$ diagrams for runoff, all aggregation scales.



Slika 10. Dijagrami $L-Ck-LCs$ za mesec novembar za proticaje, za sve periode agregacije.
Figure 10. Month of November: $L-Ck-LCs$ diagrams for runoff, all aggregation scales.

17. Savetovanje SDHI i SDH - Vršac, Srbija 2015. Conference SDHI & SDH - Vršac, Serbia 2015.

Tabela 2. Rangovi raspodela po kalendarskim mesecima na stanicama u slivu Južne Morave.
Periodi sumiranja protoka i padavina: 1, 2 i 3 meseca.

Table 2. Theoretical distribution ranks for calendar months in the Južna Morava river basin.
Runoff and precipitation aggregation periods: 1, 2, and 3 months.

Period sumiranja (mes)	Mesec	Protoci								Padavine							
		Rang dvoparametarskih raspodela			Rang troparametarskih raspodela				Rang dvoparametarskih raspodela			Rang troparametarskih raspodela					
		1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4		
1	Jan	LN2	GAM	W2	GEV	LN3	GLG	LP3	GAM	W2	GPA2	GEV	LN3	P3	LP3		
	Feb	LN2	GAM	W2	LN3	LP3	GEV	GPA3	W2	GPA2	GAM	W3	LP3	P3	GEV		
	Mar	GAM	W2	GPA2	GPA3	W3	P3	LP3	W2	GPA2	GAM	LN3	P3	GEV	W3		
	Apr	GAM	W2	LN2	LP3	P3	LN3	W3	W2	GAM	GPA2	LN3	P3	GEV	GLG		
	Maj	LN2	GAM	W2	LN3	LP3	GEV	GPA3	GAM	LN2	W2	P3	W3	LN3	GEV		
	Jun	LN2	W2	GAM	LN3	GEV	W3	P3	W2	GAM	GPA2	LP3	W3	P3	GPA3		
	Jul	LN2	GPA2	W2	GEV	GLG	LN3	GPA3	GPA2	W2	GAM	W3	LP3	GPA3	P3		
	Avg	LN2	W2	GAM	GEV	GLG	LP3	LN3	GAM	W2	LN2	LN3	GEV	GLG	P3		
	Sep	LN2	W2	GPA2	LN3	GEV	LP3	GLG	GAM	W2	LN2	LN3	GEV	P3	LP3		
	Okt	LN2	GPA2	W2	GLG	GEV	LP3	LN3	GPA2	W2	GAM	W3	GPA3	P3	LN3		
	Nov	LN2	GPA2	W2	GEV	GLG	LN3	LP3	W2	GAM	GPA2	LP3	W3	P3	LN3		
	Dec	LN2	GAM	W2	LP3	GPA3	W3	P3	W2	GPA2	GAM	W3	GEV	P3	LN3		
2	Jan	LN2	GAM	W2	LN3	GEV	LP3	P3	GAM	W2	LN2	GLG	LP3	GEV	LN3		
	Feb	LN2	GAM	W2	GEV	LN3	LP3	GLG	W2	GAM	GPA2	W3	LP3	P3	GEV		
	Mar	W2	GAM	LN2	LP3	W3	LN3	P3	W2	GPA2	GAM	GEV	P3	W3	LN3		
	Apr	GAM	W2	LN2	P3	W3	LN3	LP3	GAM	LN2	W2	GLG	LN3	LP3	GEV		
	Maj	W2	GAM	GPA2	LP3	W3	GEV	P3	W2	GAM	LN2	LP3	W3	GEV	P3		
	Jun	LN2	GAM	W2	LP3	LN3	P3	W3	GAM	W2	LN2	W3	GEV	P3	LN3		
	Jul	LN2	GAM	W2	LN3	W3	P3	GEV	W2	GAM	GPA2	GLG	LN3	P3	GEV		
	Avg	LN2	GAM	W2	GPA3	LP3	W3	LN3	W2	GPA2	GAM	W3	GEV	P3	LN3		
	Sep	LN2	GAM	W2	GLG	GEV	LP3	LN3	GAM	W2	LN2	P3	W3	GEV	LN3		
	Okt	LN2	GPA2	W2	GEV	GLG	LP3	LN3	GAM	W2	LN2	GLG	GEV	LN3	P3		
	Nov	LN2	GPA2	W2	GEV	GLG	LN3	LP3	W2	GPA2	GAM	LP3	W3	GEV	P3		
	Dec	LN2	GAM	W2	LN3	P3	W3	GEV	W2	GPA2	GAM	LP3	GPA3	W3	GEV		
3	Jan	LN2	GAM	W2	GEV	LN3	P3	W3	LN2	GAM	W2	GLG	LN3	LP3	GEV		
	Feb	LN2	GAM	W2	GEV	LN3	LP3	GLG	W2	GAM	LN2	GLG	LP3	LN3	P3		
	Mar	W2	GAM	GPA2	LP3	GEV	W3	LN3	W2	GPA2	GAM	W3	LP3	GEV	P3		
	Apr	GAM	W2	LN2	W3	P3	LN3	LP3	LN2	GAM	W2	LN3	GEV	LP3	P3		
	Maj	W2	GAM	GPA2	W3	LP3	GEV	LN3	GAM	W2	LN2	GEV	W3	LP3	LN3		
	Jun	W2	GAM	GPA2	LP3	W3	GEV	P3	W2	GAM	LN2	W3	GEV	LP3	P3		
	Jul	LN2	GAM	W2	P3	LP3	LN3	W3	W2	GAM	LN2	GEV	LP3	P3	LN3		
	Avg	LN2	GAM	W2	LN3	P3	W3	LP3	W2	GPA2	GAM	LP3	W3	GEV	P3		
	Sep	LN2	GAM	W2	LP3	LN3	GEV	W3	W2	GPA2	GAM	W3	GEV	LP3	P3		
	Okt	LN2	W2	GAM	GEV	GLG	LP3	LN3	W2	GAM	LN2	GEV	LN3	P3	LP3		
	Nov	LN2	GPA2	W2	GEV	GLG	LN3	LP3	GAM	W2	LN2	GLG	LN3	GEV	P3		
	Dec	LN2	GAM	W2	GEV	LN3	W3	P3	W2	GPA2	LN2	GLG	LN3	P3	W3		

17. Savetovanje SDHI i SDH - Vršac, Srbija 2015.

Conference SDHI & SDH - Vršac, Serbia 2015.

Tabela 3. Rangovi raspodela po kalendarskim mesecima na stanicama u slivu Južne Morave.
Periodi sumiranja protoka i padavina: 6, 12 i 24 meseca.

Table 3. Theoretical distribution ranks for calendar months in the Južna Morava river basin.
Runoff and precipitation aggregation periods: 6, 12, and 24 months.

Period sumiranja (mes)	Mesec	Protoci (Q)								Padavine (P)							
		Rang dvoparametarskih raspodela			Rang troparametarskih raspodela				Rang dvoparametarskih raspodela			Rang troparametarskih raspodela					
		1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4		
6	Jan	LN2	GAM	W2	GEV	LN3	P3	W3	GAM	LN2	W2	W3	LP3	GEV	P3		
	Feb	LN2	GAM	W2	GEV	LN3	LP3	GLG	LN2	GAM	W2	W3	P3	GPA3	LP3		
	Mar	GAM	W2	LN2	LP3	GEV	LN3	W3	W2	GAM	LN2	GLG	LN3	P3	GEV		
	Apr	GAM	W2	LN2	LP3	W3	GEV	P3	LN2	GAM	W2	LN3	GEV	P3	LP3		
	Maj	W2	GAM	LN2	LP3	W3	GEV	LN3	GAM	LN2	W2	LP3	GEV	P3	LN3		
	Jun	W2	GAM	GPA2	LP3	GEV	W3	LN3	GAM	W2	LN2	W3	GEV	LP3	GPA3		
	Jul	W2	GAM	LN2	LP3	GEV	W3	LN3	W2	LN2	GAM	GEV	LP3	W3	P3		
	Avg	W2	GAM	GPA2	LP3	GEV	W3	LN3	W2	LN2	GAM	LN3	P3	GLG	W3		
	Sep	W2	GAM	LN2	LP3	GEV	W3	LN3	W2	GAM	LN2	LN3	P3	LP3	W3		
	Okt	LN2	GAM	W2	LP3	P3	LN3	GEV	W2	LN2	GAM	GEV	LP3	P3	W3		
	Nov	LN2	GAM	W2	GEV	LN3	LP3	GLG	W2	GAM	LN2	GLG	LN3	P3	GEV		
	Dec	LN2	GAM	W2	LN3	GEV	P3	LP3	W2	LN2	GAM	W3	P3	LN3	GEV		
12	Jan	GAM	W2	LN2	GEV	LN3	LP3	P3	W2	LN2	GAM	P3	LN3	W3	GEV		
	Feb	GAM	LN2	W2	GLG	GEV	LN3	LP3	W2	LN2	GAM	GLG	LN3	P3	W3		
	Mar	GAM	LN2	W2	GLG	LN3	GEV	LP3	W2	LN2	GAM	GLG	LN3	P3	W3		
	Apr	GAM	W2	LN2	LP3	GEV	LN3	W3	LN2	W2	GAM	W3	GEV	LP3	LN3		
	Maj	GAM	W2	LN2	LP3	GEV	W3	LN3	LN2	GAM	W2	GEV	LP3	LN3	P3		
	Jun	GAM	W2	LN2	LP3	GEV	W3	LN3	LN2	GAM	W2	GEV	W3	LP3	LN3		
	Jul	W2	GAM	LN2	LP3	W3	GEV	LN3	W2	LN2	GAM	GEV	W3	LP3	P3		
	Avg	W2	GAM	LN2	LP3	W3	GEV	LN3	LN2	GAM	W2	GEV	W3	LN3	P3		
	Sep	W2	GAM	LN2	LP3	W3	GEV	LN3	W2	LN2	GAM	GEV	LP3	P3	W3		
	Okt	W2	GAM	LN2	LP3	W3	GEV	LN3	W2	LN2	GAM	LP3	P3	LN3	W3		
	Nov	W2	GAM	LN2	LP3	GEV	W3	LN3	W2	GPA2	LN2	GLG	W3	LN3	P3		
	Dec	W2	GAM	LN2	GEV	LP3	W3	LN3	W2	LN2	GPA2	LN3	P3	GLG	W3		
24	Jan	W2	GAM	LN2	GEV	LN3	LP3	P3	W2	LN2	GAM	GEV	W3	LP3	P3		
	Feb	GAM	LN2	W2	GEV	LN3	P3	LP3	W2	LN2	GAM	GEV	W3	LP3	P3		
	Mar	GAM	W2	LN2	GLG	LN3	GEV	P3	W2	LN2	GAM	LN3	P3	LP3	W3		
	Apr	GAM	LN2	W2	GLG	LN3	GEV	P3	LN2	GAM	W2	LP3	LN3	P3	GEV		
	Maj	GAM	W2	LN2	GEV	LP3	LN3	P3	LN2	GAM	W2	LN3	LP3	P3	GEV		
	Jun	W2	GAM	LN2	GEV	LP3	LN3	P3	LN2	GAM	W2	W3	LP3	P3	GEV		
	Jul	W2	GAM	LN2	GEV	LP3	LN3	W3	LN2	W2	GAM	P3	LN3	LP3	W3		
	Avg	W2	GAM	LN2	GEV	LP3	LN3	W3	LN2	GAM	W2	GLG	P3	LN3	LP3		
	Sep	W2	GAM	LN2	GEV	LP3	LN3	W3	LN2	GAM	W2	GLG	LN3	P3	LP3		
	Okt	W2	GAM	LN2	GEV	LP3	LN3	W3	W2	LN2	GAM	P3	LP3	LN3	GEV		
	Nov	W2	GAM	LN2	GEV	LP3	LN3	W3	W2	GPA2	LN2	P3	LP3	LN3	GEV		
	Dec	W2	GAM	LN2	GEV	LN3	LP3	P3	W2	LN2	GPA2	P3	LN3	W3	LP3		

Za ilustraciju promene statističkih pokazatelja empirijskih raspodela za jedan mesec, za sve stanice, a za različite vremenske skale, na Slikama 7 i 8 prikazani su dijagrami L -momenata za padavine za mesec novembar. Odgovarajući prikaz za proticaje nalazi se na slikama 9 i 10. Kod padavina je koeficijent varijacije približno isti za sve stanice, za vremenske skale od tri meseca i više, što nije slučaj kod proticaja. Problem u modeliranju raspodela, i kod padavina i kod proticaja, može predstavljati to što koeficijenti asimetrije prelaze u negativne vrednosti.

Konačno, sumarni rezultati rangiranja slaganja ispitivanih teorijskih raspodela sa osmotrenim podacima na izučavanom slivu, prikazani su u tabelama 2 i 3. Familija gama raspodela je istaknuta drugom bojom i za padavine i za proticaje, u odnosu na sve druge ispitivane raspodele. Za dvoparametarske raspodele, rezultati su prikazani do trećeg, a za troparametarske, do četvrtog mesta. Posebno su rangirane dvoparametarske raspodele, a posebno troparametarske. Kod padavina je očigledno da od dvoparametarskih raspodela, osim GAM2, treba računati i na W2, naročito za kraće vremenske skale. Za duže skale, dolazi u obzir i LN2. Kod proticaja se od dvoparametarskih raspodela izdvaja LN2, a sledi je GAM2. Kao što je već rečeno, kod troparametarskih raspodela se ne može uočiti pravilnost u izdvajanju/ponavljanju najboljih raspodela. Čini se, da u obzir treba uzeti još raspodela i u daljoj analizi dodatnim testovima ispitati njihovu prihvatljivost.

4 Zaključak

Preliminarni rezultati pogodnosti gama raspodele u odnosu na set drugih ispitivanih raspodela, pokazuju da je potrebno proširiti istraživanje i daljom analizom utvrditi redosled prihvatljivosti teorijskih raspodela. Tek posle dublje analize pogodnosti pojedinih raspodela, ne samo sa stanovišta rezultata tetsova saglasnosti, već i posmatrajući i sposobnost raspodele da aproksimira dati fizički proces, mogu se izvući neki opštiji zaključci.

Problem u modeliranju raspodela, i kod padavina i kod proticaja, može predstavljati i prelazak koeficijenata asimetrije u negativne vrednosti. Uopšte, ovde se ispituje veliki broj nizova (broj meseci \times broj vremenskih skala \times broj stanica), i mogući su brojni problemi u proračunu funkcija raspodela ([16], [10]). Troparametarske raspodele su svakako fleksibilnije nego dvoparametarske. Međutim, postoji opasnost da se pojave negativne vrednosti kvantila, u slučaju da njihova donja granica pada u negativne vrednosti. Slično, može se desiti da postoji i gornja granica i da je ona suviše nisko u odnosu na zabeležene najviše podatke. Za bolje rangiranje raspodela u pogledu saglasnosti sa empirijskim nizovima, potrebno je uključiti dodatne testove. Rezultati istraživanja upućuju i na eventualnu mogućnost promene proračunskog, prostornog i vremenskog pristupa problemu: posmatranje uzoraka prema skalama agregacije podataka, veličini slivova i prema sezonama, koje bi obuhvatile godišnja doba, periode vegetacije i slično.

U nastavku šireg istraživanja, pratićemo i razliku u jačini hidrološke suše prema SRI, na osnovu modela koji koristi SPI kao ulazne podatke, za profile gde je sa teorijskog stanovišta od Gama raspodele prihvatljivija druga raspodela. Svrha ovog razmatranja je minimiziranje mogućnosti donošenja pogrešnih odluka u aktiviranju mera zaštite voda i vodnih resursa na osnovu produkata hidroiinformacionog sistema za ranu najavu suša.

Izjava

Rezultati istraživanja prikazani u radu su finansirani u okviru projekata Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije TR37003 „Hidroinformacioni sistem za ranu najavu suša“.

Literatura

1. Angelidis P., Maris F., Kotsovinos N., Hrisanthou V. (2012), *Computation of Drought Index SPI with Alternative Distribution Functions*, Water Resour. Manage. (2012) 26:2453-2473, DOI 10.1007/s11269-012-0026-0.
2. Blain G.C. (2012), *Revisiting the probabilistic definition of drought: strengths, limitations and an agrometeorological adaptation*, Bragantia, Campinas, v. 71, n. 1, p.132-141.
3. 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.
4. Cancelliere A., Bonaccorso B. (2009) *Uncertainty analysis of the Standardized Precipitation Index in the presence of trend*, http://hydrologydays.colostate.edu/Papers_2009/Cancelliere_paper.pdf
5. Guttman N. B.(1999) *Accepting the standardized precipitation index: A calculation algorithm*, J. Am. Water Resour. Assoc. 1999, 35, 311-322.
6. Hosking J.R.M. (1990), *Analysis and Estimation of distributions Using Linear Combinations of Order Statistics*. Journal of the Royal Statistical Societ, Series B (Methodological), 52, (1): 105–124.
7. Lorenzo-Lacruz J., Mor'an-Tejeda E., Vicente-Serrano S.M., López-Moreno J. I. (2013), *Streamflow droughts in the Iberian Peninsula between 1945 and 2005: spatial and temporal patterns*, Hydrol. Earth Syst. Sci., 17, 119–134, 2013www.hydrol-earth-syst-sci.net/17/119/2013/doi:10.5194/hess-17-119-2013
8. Kroll C.N., Vogel R.M. (2002), *Probability Distribution of Low Streamflow Series in the United States*, Journal of Hydrologic Engineering, Vol. 7, No. 2, March 1, 2002. ASCE, p.137-146
9. McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J. (1993), *The relationship of drought frequency and duration to time scales*, In: 8th Conference on Applied Climatology, 17–22 January, Anaheim, California, pp. 179–184.
10. Mihailovic V. (2012), *Složena analiza hidroloških vremenskih serija u cilju modeliranja ekstremnih događaja*, doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet.
11. Mishra, A.K., Singh, V.P. (2010), *A review of drought concepts*, J. Hydr. 391 , 202–216.
12. Paulo A. A., Pereira L. S., Matias P. G. (2003), *Analysis of local and regional droughts in southern Portugal using the theory of runs and the standardized precipitation index*, in G. Rossi, A. Cancelliere, L. S. Pereira, T. Oweis, M. Shatanawi, and A. Zairi (eds.), Tools for Drought Mitigation in Mediterranean Regions, Kluwer, pp. 55–78.

17. Savetovanje SDHI i SDH - Vršac, Srbija 2015. Conference SDHI & SDH - Vršac, Serbia 2015.

13. Shukla, S., Wood A. W. (2008), *Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought*, Geophys. Res. Lett., 35L02405, doi:10.1029/2007GL032487.
14. Texas A&M Research Foundation (2007) *Drought Monitoring Index for Texas*, Final Technical Report submitted by the Texas A&M Research Foundation (RF- 468511) to the Texas Water Development Board on behalf of the project investigators (June 30, 2007).
15. Vicente-Serrano, S.M. (2006) *Differences in Spatial Patterns of Drought on Different Time Scales: An Analysis of the Iberian Peninsula*, Water Resources Management, 20, 37-60.
16. Vicente-Serrano, S., López-Moreno, J., Beguería, S., Lorenzo-Lacruz, J., Azorin-Molina, C., and Morán-Tejeda, E. (2012) *Accurate Computation of a Streamflow Drought Index*, J. Hydrol. Eng., 17(2), 318–332.
17. Yue S., Hashino M.(2007), *Probability distribution of annual, seasonal and monthly precipitation in Japan*, Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques, 52(5) October 2007, p.863-877
18. RHMZS http://www.hidmet.gov.rs/ciril/meteorologija/uslovi_vlaznosti.php