

TEORIJSKE OSNOVE I PROŠIRENJE OBLASTI PRIMENE STRUKTURNE ANALIZE DNEVNIH HIDROLOŠKIH SERIJA

Dr Zoran M. RADIĆ* i mr Vladislava MIHAILOVIĆ**

*Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

**Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu

Marta 2006. godine u 92. godini plodonosnog života preminuo je osnivač predmeta i prvi profesor Hidrologije na Građevinskom Fakultetu Univerziteta u Beogradu *Profesor dr Vujica Jevđević*. Temelje koje je fundirao prof. Vujica Jevđević i na kojima je *Profesor Slavoljub Jovanović* izgradio u svetu prepoznatljivu i priznatu *Beogradsku hidrološku školu* zahtevaju da se, u skladu sa istinom da **bez kontinuiteta nema ni prosperiteta**, trudimo da naučna misao i doprinosi ovih velikana svetske nauke i srpske inženjerske pedagogije večno žive. To će biti moguće ako ih što češće pominjemo i *citiramo, primenjujemo njihove metode i proširujemo oblasti primene tehnika koje su oni uveli u praksu*. Sledeći tu ideju u okviru ovog i nekoliko narednih bojeva "Vodoprivrede" prikazaću referate koje sam pripremio sa svojim diplomcima, studentima poslediplomskih studija i saradnicima na aktuelnim naučnim projektima zadnjih godina.

Dr Zoran M Radić, sadašnji nastavnik Hidrologije na Građevinskom fakultetu u Beogradu

REZIME

U raspoloživoj literaturi postoji samo jedna knjiga koja se bavi strukturnim analizama kontinualnih vremenskih serija dnevnih vrednosti hidrometeoroloških podataka. To je knjiga prof. Vujice Jevđevića: "*Structure of Daily Hydrologic Series*" (*Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, U.S.A., 1984*). Tom knjigom prof. Jevđević je zaokružio stvaralački opus vezan za *stohastičke analize* koje su decenijama predstavljale glavni domen njegovih interesovanja, istraživanja i predavanja koje je držao na svim kontinentima. U navedenoj knjizi on je metodu dekompozicije hidroloških serija, koja mu je donela svetsku slavu, bezbroj međunarodnih nagrada i priznanja, i po kojoj će njegovo ime ostati trajno zapamćeno, po prvi put nazvao TIPS metodom (skraćenica od prvih slova engleskih reči: *Tendency-Intermitency-Periodicity-Stochasticity*).

Oblast primene TIPS metode (na kojoj je najviše radio prof. V. Jevđević) je simulacija (predviđanje mogućih stanja) realizacija vremenskih serija. Interesantno je napomenuti da je jedna od prvih primena TIPS metode (sredinom šezdesetih godina XX veka) bila simulacija smene ledenih i toplijih perioda godina na planeti Zemlji, što predstavlja kopču sa istraživanjima Milutina

Milankovića – jednog od članova Komisije za odbranu doktorata V. Jevđevića u Srpskoj Akademiji Nauka i Umetnosti.

Knjiga "Struktura dnevnih hidroloških serija" /Jevđević V., 1984/ detaljno se bavi analizom strukturnih karakteristika dnevnih serija padavina i proticaja, kao i kraćim, teorijskim razmatranjima mogućnosti za primenu nekoliko teorijskih funkcija raspodela u modeliranju probabilističkih karakteristika dnevnih serija.

U okviru ovog članka prikazano više proširenja metode strukturnih analiza dnevnih hidroloških serija:

- (1) Umesto na originalne podatke (osmotrene vrednosti dnevnih proticaja) *TIPS metoda je primenjena na modeliranje 6 statističkih funkcija*: minimuma, maksimuma, srednjih vrednosti, standardne devijacije, koeficijenta asimetrije i koeficijenta spljoštenosti
- (2) Pokazano je kako se metoda strukturne analize statističkih funkcija dnevnih proticaja može koristiti kao *model za klasifikaciju hidroloških režima*
- (3) Pokazano je kako se metoda strukturne analize statističkih funkcija dnevnih proticaja može koristiti pri određivanju 365 statističkih distribucija dnevnih

proticaja i na bazi toga proizvesti tzv. “uglačani sintetički hidrogrami”

- (4) Pokazano je kako se uglačani sintetički hidrogrami mogu koristiti u Operativnoj hidrologiji za kontinualno praćenje stanja vlažnosti sliva i ranu detekciju sušnih perioda i plavnog potencijala
- (5) Ukazano je na mogućnosti daljeg proširenja primene metode strukturne analize dnevnih proticaja (analizu poplava i suša)

Metoda strukturne analize i neke od mogućnosti primena su demonstrirane na podacima sa 21 sliva iz međunarodne base podataka WMO (MED-HYCOS) i 15 reprezentativnih slivova sa prostora Srbije.

Ključne reči: hidrologija, stohastička hidrologija, TIPS metoda, hidrološki režim, sintetički hidrogram, praćenje stanja proticaja i vlažnosti sliva

1. UVOD U TEORIJSKE OSNOVE TIPS METODE

Hidrološke serije su ili stacionarne stohastičke serije ili, češće, kombinacija stohastičke i jedne ili više determinističkih komponenti [8]. Po Jevđeviću, četiri osnovne karakteristike vremenskih serija hidroloških i meteoroloških veličina su: *trend*, *prekidnost*, *periodičnost* i *stohastičnost*. Polazeći od toga TIPS metoda se svodi na dekompoziciju složene vremenske serije na njene determinističke i stohastičke komponente. Utvrđivanja modela za svaku od komponenti složene vremenske serije vrši se postupno i nezavisno, a bazira se na strogoj proceduri u okviru koje se najpre utvrđuje da li neka komponenta postoji, i ako postoji koji je struktura (tip modela) najadekvatnija, a kada se model komponente odredi, statističkim putem se utvrđuje koliko je ta komponenta statistički značajna u okviru kompletnog modela. Kompletan (finalni) model dobija se slaganjem (sabiranjem) modela za sve determinističke komponente i modela potpuno slučajne komponente. Procedura kreće od utvrđivanja postojanja i modela za komponentu trenda, a završava kontrolom osobina čisto stohastičke komponente (koja mora da ima osobine “belog šuma”). Ovako komponovani model može se koristiti kao simulacioni (za generisanje novih serija određenih dužina) ili kao prognostički (za predviđanje budućih stanja na bazi dosadašnjih realizacija).

Principijelno posmatrano TIPS metoda se može primeniti na bilo koju kontinualnu vremensku seriju, (hidrološku ili bilo koju drugu), a u okviru istog tipa podataka (npr. proticaja) bez odzira na vremenski korak

diskretizacije kontinualne serije. Hidrološke analize i simulacije vremenskih serija obično se rade sa godišnjim, mesečnim ili dnevnim korakom diskretizacije.

Obilna literatura i iskustvo postoji u primeni strukturne analize na vremenske serije godišnjih i mesečnih serija padavina i proticaja. One npr. pokazuju da komponenta trenda najčešće postoji kod godišnjih serija padavina i na nekim profilima gde se meri proticaj; da periodičnost češće postoji kod serija godišnjih proticaja nego kod serija godišnjih padavina; da se sezonske (unutargodišnje periodičnosti) javljaju i kod padavina i kod proticaja i td. [4]. Kada se radi sa dnevnim korakom diskretizacije (po datumima unutar kalendarskih ili hidroloških godina) iskustava nema. Ono što se izvesno zna je da su serije dnevnih padavina prekidne, a da (suprotno od toga) dnevne serije proticaja sa slivova iz umerenog klimata imaju prekide (diskontinuitet) samo na malim vodotocima, dok je ta pojava u klimatima sa izraženom sušnom i vlažnom sezonom rasprostranjenija. Prekidnost kod godišnjih serija padavina praktično ne postoji (prema da su na nekim lokacijama u žarkom klimatu i takvi slučajevi zabeleženi). Kod godišnjih serija proticaja, nivoa ili zapremina oticaja mogu se javiti diskontinuiteti (pozitivni ili negativni skokovi) koji su rezultat drastičnih promena hidrološkog režima izazvanih *prirodnim putem* (npr. masovnim požarima) ili *veštački*; kao rezultat *ljudskih aktivnosti* (promene namene površina ili hidrotehnički radovi kao što je izgradnja velikih akumulacija, prevođenje voda iz jednog sliva u drugi i td). Aktivnosti kojima se menja prirodni režim proticaja mogu biti trenutne, postupne ili kontinualne. Uticaj postupnih i kontinualnih promena (kao što je razvoj urbanizacije npr.) ponekad je teško utvrditi. Primer postojanja postupnih promena izazvanih velikom akumulacijom (promene režima rada u okviru HEPS “Đerdap“) može se naći u radu [3].

Kao rezultat klimatskih karakteristika (postojanje godišnjih doba ili sezona sa jasno izraženim temperaturnim i padavinskim režimima) izvesno je da moraju postojati unutargodišnje periodičnosti. Zbog toga skoro sve hidrološke vremenske serije sa dnevnim i mesečnim korakom diskretizacije imaju determinističke komponente koje se mogu predstaviti *periodičnim funkcijama*, sa osnovnom frekvencijom 1/12 za mesečne i 1/365 za dnevne vrednosti, ali su te periodične komponente uvek kombinovane sa stohastičkim komponentama. Jedan od pristupa u tretiranju periodičnosti pri analizi hidroloških serija koje predstavljaju kompleksni periodično – stohastički

proces (primenjen u ovom radu), je razlaganje serije na periodične parametre i stohastički proces.

Principijelno posmatrano TIPS metoda se može primeniti na bilo koji vremenski korak diskretizacije vremenskih serija, ali je do skoro primena na dnevne vrednosti bila otežana hardverskim ograničenjima i brzinom procesuiranja tako velike količine podataka. Sa porastom mogućnosti savremenih računara ta barijera danas ne postoji.

Izvestan problem koji je stajao na putu masovnijeg korišćenja TIPS metode predstavljali su i zahtevi za posedovanjem specijalizovanog softvera za analizu vremenskih serija (čije cene su i dalje previsoke), a posebno činjenica da se u analizi periodičnosti zahteva prelaz iz domena vremena u domen frekvencija (Fourier-ove analize). Kao što će se u nastavku rada pokazati, uz izradu nekoliko makroa, sve analize čak i sa velikim brojem serija kojima se manipuliše kada se radi o dnevnim podacima, (N godina puta 365 dana), moguće je uraditi u okviru svima dostupnog programskog paketa Microsoft Excel.

2. OPŠTA ESTIMACIONA PROCEDURA

Opšta estimaciona procedura koja se koristi pri strukturalnoj analizi i primeni stohastičkih metoda sa dnevnim podacima o hidrološkim serijama može se podeliti u dve faze:

- I. Osnovne analize i estimacija
- II. Dodatne analize i primene

Osnovne analize sastoje se od tri koraka:

- Formiranje baze istorijskih podataka
- Filtriranje, testiranje i organizacija podataka
- Analiza i modeliranje vremenske serije (u konkretnom slučaju periodične komponente vremenskih funkcija statistika).

Dodatne analize zavise od svrhe primene rezultata stohastičke analize. Ciljevi analize mogu biti različiti, npr.:

- Analize, poređenje i klasifikacije hidroloških režima
- Praćenje stanja vlažnosti sliva (sa ciljem blagovremene najave mogućih poplava ili rane detekcije nastanka suša)
- Analize poplava (periodi i sezone pojave; učestalosti i verovatnoće pojave tokom godine; verovatnoće pojave raznih karakteritika poplavnih epizoda kao što su: trajanje, zapremine, srednji i maksimalni intenziteti itd.)

- Analize suša (sa svim elementima navedenim za poplave)
- Razvoj monitoring sistema za praćenje poplava i/ili suša
- Simulacione analize i prognoze.

U okviru ovog rada demonstriraće se prva dva aspekta primene strukturalne analize dnevnih proticaja.

Uspostavljanje estimacione procedure ima veliki praktični značaj jer dozvoljava da se proračuni automatizuju i isti tip analize (relativno brzo) primeni na velikom broju profila. To je pokazano u nastavku, gde su strukturalne analize dnevnih proticaja uradjene na 35 profila iz 5 država. Pri tome su izdvojene vremenske serije na svim profilima iz istog referentnog perioda (za razliku od analiza urađenih u okviru literature [1] gde težište bilo na što dužim serijam). Usvajanje fiksnog perioda omogućava *regionalne analize* i poređenje rezultata.

3. OSNOVNE ANALIZE I ESTIMACIJE

Izbor i filtriranje podataka

Na raspolaganju su bili podaci o dnevnim vrednostima proticaja iz baze podataka Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije (RHMZS) i iz baze podataka međunarodnog projekta MED-HYCOS [10] koja sadrži podatke iz deset zemalja sa područja Mediterana.

Za potrebe ovog rada usvojen je referentni period od 30 godina. Da bi se rezultati strukturalne analize proticaja mogli porediti sa meteorološkim podacima usvojen je period 1961-1990. godine (preporučeno od strane WMO). Posle analize raspoloživih podataka iz oba izvora, izdvojeno je petnaest stanica sa područja Srbije (Sl. 1) iz baze podataka RHMZS i pet stanica iz baze MED-HYCOS: dve iz Francuske i po jedna iz Italije, Slovenije i Crne Gore (Sl. 2). S jedne strane, cilj je bio da bude obuhvaćen što veći broj (reprezentativnih) stanica, naročito sa prostora Srbije, tako da teritorijalna pokrivenost bude što bolja. S druge strane, fiksiranje referentnog perioda predstavlja ograničenje. Na nekim profilima je napravljen kompromis tako što je referentni period pomešten, zbog nedostatka podataka (nedostajali su podaci za cele godine). U tim slučajevima su iz perioda pre 1961. ili posle 1990. dodati podaci o proticajima za jednu ili više godina, da bi svuda bio poštovan barem princip da je dužina referentnog perioda

30 godina. Smatralo se da to neće značajnije uticati na krajnje rezultate.

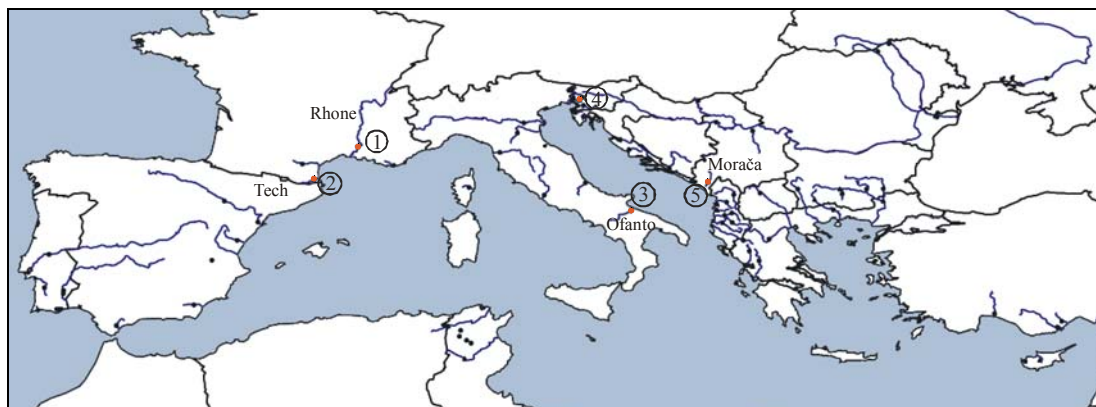
U Tabelama 1 i 2 su prikazane osnovne karakteristike mernih profila i slivova, raspoložive dužine serija dnevnih proticaja, podaci o odabranim referentnim

periodima, kao i osnovni statistički pokazatelji za sve odabrane profile.

Imajući u vidu rezultate do kojih je došao Prof.V.Jevđević analizirajući dnevne proticaje na vodotocima iz oblasti umerenog klimata, svi podaci su složeni po hidrološkim godinama.



Slika 1. Odabrane stanice sa područja Srbije i Crne Gore
Selected gauging stations from the Serbian national database



Slika 2. Odabrane stanice sa područja severnog Mediterana (iz baze podataka MED-HYCOS)
Selected gauging stations from the Northern Mediterranean area (MED-HYCOS database)

Tabela 1. Karakteristike profila, referentni period i osnovni statistički podaci za stanica sa područja Srbije
Adopted referent period and basic statistical data for 15 selected stations from Serbia

BROJ NA Sl. (1)	IME STANICE	REKA	POVRŠIN A SLIVA (km ²)	RASPOLOŽIVI PODACI	PREKIDI	ODABRANI REFERENTNI PERIOD (30 god.)	SREDNJA VREDNOST (m ³ /s)	STAND. DEVIJACIJA (m ³ /s)	KOEF. VARIJACIJE
1	BEZDAN	DUNAV	210250	1950-2000.	-	1961-1990.	2307,2	883,1	0,38
2	BOGOJEVO	DUNAV	251593	1950-2000.	cele 1996 i 1997.	1961-1990.	2871,1	1001,5	0,35
3	SREMSKA MITROVICA	SAVA	87996	1950-2000.	nepotpuna 1993.	1961-1990.	1536,6	732,1	0,49
4	SENTA	TISA	141715	1950-2000.	nepotpune 1979. i 1990	1960-1989.	836,4	510,5	0,65
5	LJUBIČEVSKI MOST	V. MORAVA	37320	1950-2003.	-	1961-1990.	236,9	164,7	0,69
6	MOJSINJE	J. MORAVA	15390	1959-2000.	-	1961-1990.	96,6	78,5	0,81
7	GRDELICA	J. MORAVA	3782	1960-2000.	-	1961-1990.	26,0	23,4	0,90
8	DOLJEVAC	TOPLICA	2083	1962-2000.	cele 1984. i 1998.	1963-1993.	9,5	9,8	0,98
9	NIŠ	NIŠAVA	3870	1960-2000.	cele 1988. i 1989.	1961-1992.	30,1	23,6	0,80
10	JASIKA	Z. MORAVA	14721	1959-2000.	nepotpune 1993. i 1994	1961-1990.	107,9	79,8	0,74
11	LOPATNICA LAKAT	IBAR	7818	1960-2000.	-	1961-1990.	55,6	43,6	0,77
12	ARILJE	MORAVICA	830	1961-2000.	-	1961-1990.	11,0	10,1	0,91
13	PRJEPOLJE	LIM	3160	1962-2000.	nepotpuna 1993.	1963-1992.	77,5	48,4	0,65
14	BAJINA BAŠTA	DRINA	14797	1958-2000.	cela 1975.	1961-1991.	350,6	203,3	0,59
15	SLOVAC	KOLUBARA	995	1958-2000.	-	1961-1990.	9,5	11,2	1,10

Tabela 2. Karakteristike profila, referentni period i osnovni statistički podaci za stanica sa područja Mediterana
Adopted referent period and basic statistical data for 5 selected stations from the Northern Mediterranean area

BROJ NA Sl. (2)	IME STANICE	REKA	POVRŠIN A SLIVA (km ²)	RASPOLOŽIVI PODACI	PREKIDI	ODABRANI REFERENTNI PERIOD. (30 godina)	SREDNJA VREDNOST (m ³ /s)	STAND. DEVIJACIJA (m ³ /s)	KOEF. VARIJACIJE
1	BEAUCAIRE	RHONE	95590	1920-1999.	-	1961-1990.	1700,5	846,2	0,50
2	SAIN PAUL SUR TECH	TECH	473	1967-1999.	-	1968-1997.	8,1	11,7	1,22
3	S. SAMUELE DI CAFIERO	OFANTO	2716	1930-1994.	16.10.1943-1.1.1946. 3.6.1988-1.11.1988	1961-1991.	11,8	15,8	1,33
4	MIREN	VIPAVALA	593	1961-1998.	31.3.1997-1.1.1998.	1962-1991.	17,9	23,5	1,28
5	PODGORICA	MORAČA	2628	1948-1990.	-	1961-1990.	161,7	129,9	0,80

(*) U periodu 1965-1993 opaženo je presušivanje vodotoka (u periodu Juli-Avgust)
Zero-flows recorded in the summer period (July - August), between 1965 and 1993.

Testiranje i organizacija podataka

Pre analize periodičnosti i modeliranja periodičnih funkcija statističkih parametara prvo je proveravano da li serije opaženih proticaja zadovoljavaju statističke testove *homogenosti i slučajnosti*. Na svim odabranim profilima su za serije srednjih godišnjih vrednosti urađeni testovi *Mann & Whitney* (test homogenosti i stacionarnosti – postojanje skokova) i *Wald & Wolfowitz* (test nezavisnosti i stacionarnost – trenda). Testovi su pokazali da se, sa usvojenim pragom značajnosti $\alpha = 5\%$, može prihvatiti hipoteza da nema trenda i skokova u godišnjim serijama srednjih vrednosti. Testovi za druge parametre serija nisu rađeni, već je usvojena hipoteza da ako nema značajnog trenda i skokova u serijama srednjih vrednosti, ni parametri višeg reda neće pokazivati te osobine.

Posle filtriranja i testiranja serija dnevnih proticaja, potrebno je podatke pripremiti za proračun. Neka je data serija opaženih dnevnih proticaja: $x_{p,\tau}$, gde je $p = 1, 2, \dots, N$ – broj godina za koje ima podataka, a $\tau = 1, 2, \dots, 365$ – broj dana u godini. Za izračunavanje parametara serije $x_{p,\tau}$ treba prvo ulazne podatke urediti u matricu dimenzija $365 \times N$, u kojoj su vrste datumi tokom godine, a kolone godine. Za sve serije na odabranim hidrološkim profilima podaci su organizovani u hidrološke godine, sa početkom od 1. oktobra. Pokazalo se da tako usvojena hidrološka godina uglavnom odgovara hidrološkim režimima reka sa područja Srbije, a da je (za 5 izdvojenih reka) na slivovima severnog Mediterana početak hidrološke godine ranije, (između 1. jula i 1. septembra).

Za svaki datum u godini je izračunata po jedna vrednost svakog od statističkih parametara tako da su dobijene serije od po 365 članova: serija minimalnih vrednosti dnevnih proticaja, n_τ , serija maksimalnih vrednosti dnevnih proticaja, l_τ , serija srednjih vrednosti dnevnih proticaja, m_τ , serija standardnih devijacija dnevnih proticaja, s_τ , serija koeficijenata asimetrije dnevnih proticaja, g_τ , i serija koeficijenata spljoštenosti dnevnih proticaja, k_τ .

Analiza i modeliranje periodičnosti

Opširnija razmatranja problema periodičnosti hidroloških serija mogu se naći u knjizi Prof. Jevđevića *Stochastic Processes in Hydrology* [8], a o periodičnosti u serijama dnevnih proticaja u knjizi *Structure of Daily Hydrologic Series*, [9], tako da će ovde biti navedene samo osnovna metodologija i jednačine.

Periodična funkcija nekog parametra može se aproksimirati Furijeovim redom prema:

$$\hat{u}_\tau = \bar{v}_\tau + \sum_{j=1}^h \left(A_j \cos \frac{2\pi j \tau}{\omega} + B_j \sin \frac{2\pi j \tau}{\omega} \right), \quad (1)$$

gde su:

\bar{v}_τ - srednja vrednost parametra,

h - broj značajnih harmonika,

A_j i B_j - Furijeovi koeficijenti,

$f_j = \frac{j}{\omega}$ - frekvencija j -tog harmonika,

ω - osnovni period.

Furijeovi koeficijenti se računaju prema:

$$A_j = \frac{2}{\omega} \sum_{\tau=1}^{\omega} (v_\tau - \bar{v}_\tau) \cos \frac{2\pi j \tau}{\omega}, \quad (2)$$

$$B_j = \frac{2}{\omega} \sum_{\tau=1}^{\omega} (v_\tau - \bar{v}_\tau) \sin \frac{2\pi j \tau}{\omega}. \quad (3)$$

Amplituda j -tog harmonika može se odrediti preko Furijeovih koeficijenata:

$$C_j^2 = A_j^2 + B_j^2. \quad (4)$$

Osnovno pitanje koje se mora rešiti je *izbor broja značajnih harmonika u Furijeovom redu* kojim se aproksimira periodična komponenta (od ukupnog broja harmonika koji je jednak $\omega/2$ ako je ω paran broj i $(\omega-1)/2$ ako je neparan; u ovom slučaju je ukupan broj harmonika 182).

Za poređenje periodičnosti više različitih parametara pogodan je *relativni kumulativni periodogram* (RCP), koji predstavlja procenat varijanse koju objašnjava prvih h harmonika u odnosu na ukupnu varijansu nekog parametra (Jevđević V., 1984):

$$C_h = f(h) = \frac{100 \sum_{j=1}^h \frac{C_j^2}{2}}{\sum_{j=1}^{182} \frac{C_j^2}{2}} (\%), \quad h = 1, 2, \dots, 182 \quad (5)$$

Na Sl. 3 prikazani su dijagrami RCP, određeni prema jednačini (5), za šest statističkih parametara serije dnevnih proticaja za reku V. Moravu, profil Lj. Most, sa odabranim brojem harmonika.

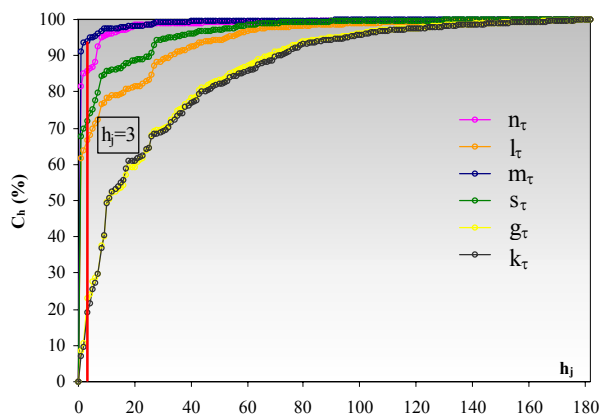
Na dijagramima koji predstavljaju relativni kumulativni periodogram uglavnom se može uočiti brzi rast do neke tačke, a zatim spori rast do tačke RCP=100% za $h=182$. Ta prelomna tačka može se shvatiti kao granica između prvog dela, sa leve strane, koji predstavlja zbir periodične i stohastičke komponente serije i dela (sa desne strane), koji predstavlja samo stohastičku

komponentu. Drugim rečima, položaj prelomne tačke na dijagramu određuje broj značajnih harmonika koji treba uzeti pri proračunu periodične funkcije nekog parametra serije. Međutim, vidljivo je da je za momente višeg reda teško tačno odrediti prelomnu tačku na relativnom kumulativnom periodogramu. Za koeficijente asimetrije i spljoštenosti su i mnogo manje ordinate na dijagramu. To znači i da recimo prva tri harmonika objašnjavaju, kao u ovom primeru, mnogo manji procenat varijanse (manje od 20%) nego što je to slučaj sa srednjom vrednošću (97%) ili standardnom devijacijom (75%). Što je veći red statističkog momenta veća je i greška pri izračunavanju njegove veličine iz uzorka, a dijagrami RCP su „niži” i prelomne tačke na njima teško uočljive.

Na primeru reke V. Morave, st. Lj. Most (sl. 4) prikazan je uticaj broja značajnih harmonika na izgled periodične funkcije. Na slici je prikazana serija srednje vrednosti, m_τ , i periodične funkcije, $\hat{\mu}_\tau$, računane sa jedan, dva, tri, četiri i pet značajnih harmonika. Debljom, crvenom linijom je izdvojena periodična funkcija računata sa usvojenih 3 harmonika.

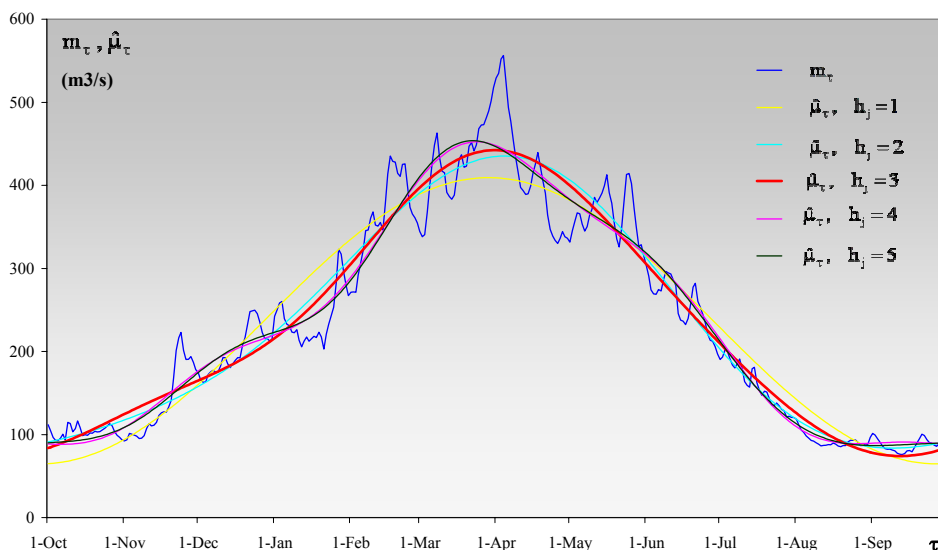
S obzirom na sve navedeno, kao i na to da je položaj prelomne tačke na dijagramima RCP sve manje jasan što je veći red parametra, pri određivanju broja značajnih harmonika za periodične funkcije pošlo se od pretpostavke da je srednja vrednost parametar koji je

najtačnije procenjen (izračunat), tako da je prvo određeno koji su značajni harmonici za seriju srednjih dnevnih vrednosti, m_τ , a zatim su isti harmonici uzeti za proračun periodičnih funkcija ostalih parametara.



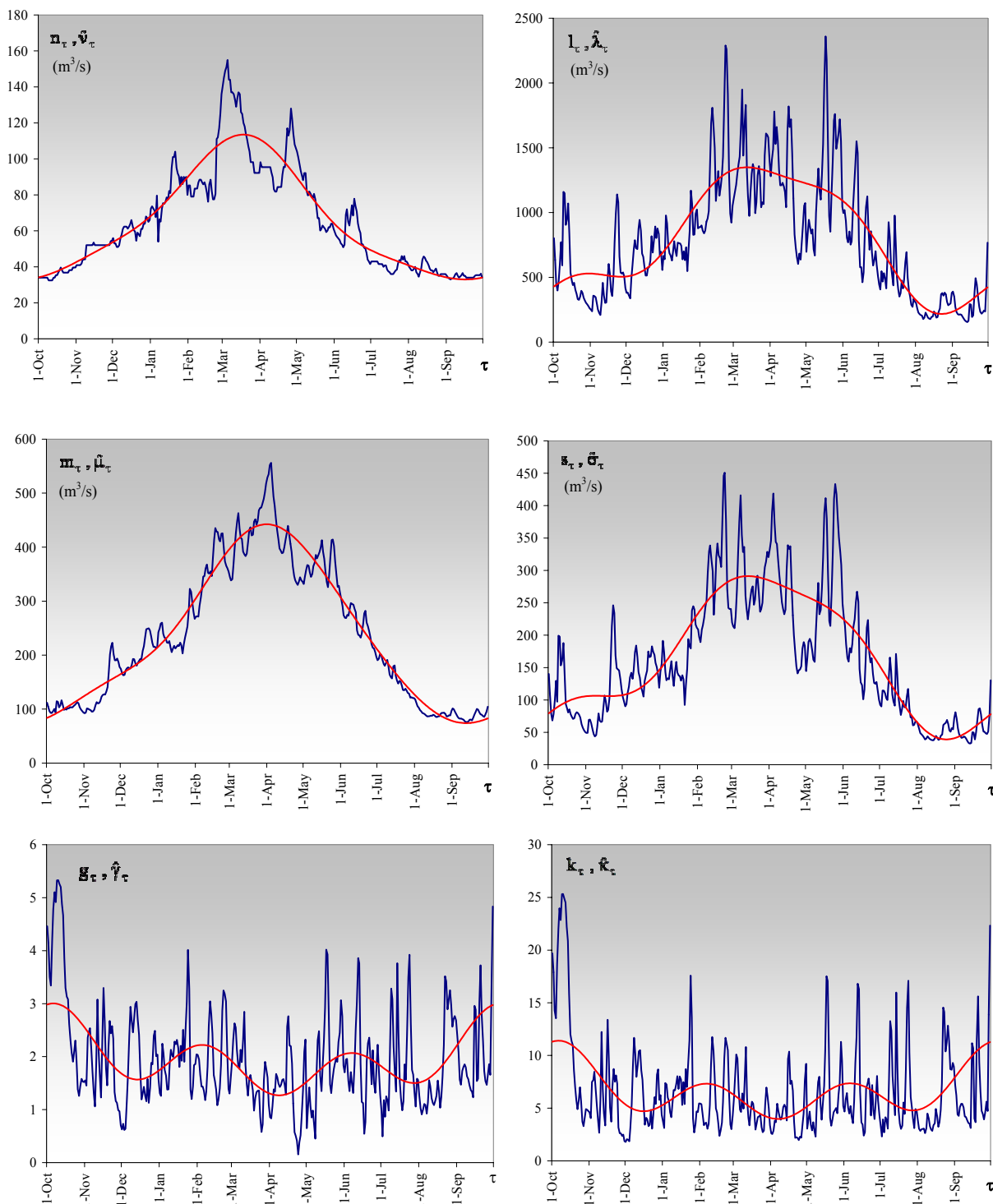
Slika 3. Relativni kumulativni periodogram za serije minimuma, n_τ , maksimuma, l_τ , srednje vrednosti, m_τ , standardne devijacije, s_τ , koef. asimetrije, g_τ , i koef. spoljoštenosti, k_τ . (R. Velika Morava, st. Ljubičevski Most, period 1961-1990.)

Relative cumulative periodogram in six parameters of the daily flows: minimum, n_τ , maximum, l_τ , mean, m_τ , standard deviation, s_τ , skewness, g_τ , and kurtosis, k_τ . (R. V. Morava, st. "Ljubičevski Most", period 1961-1990.)



Slika 4. Serija srednje vrednosti dnevnih proticajaja i njene periodične funkcije računane sa različitim brojem značajnih harmonika. (R. Velika Morava, st. Ljubičevski Most, period 1961-1990.)

Series of 365 estimated values of the mean, m_τ , and periodic functions $\hat{\mu}_\tau$ estimated with various number of harmonics (R. Velika Morava, st. "Ljubičevski Most", period 1961-1990.)



Slika 5. Periodičnost šest osnovnih parametara serije dnevnih proticaja, sa periodičnim funkcijama računatim sa tri harmonika. (R. Velika Morava, st. Ljubičevski Most, period 1961-1990.)
 Periodicity in six basic parameters of the daily flow series; periodic component was estimated with three significant harmonics (R. Velika Morava, st. "Ljubičevski Most", period 1961-1990.)

Posle uporedne analize dijagrama RCP za sve profile, zaključeno je da se može uzeti da je broj značajnih harmonika za serije srednjih vrednosti 3, tako da su *periodične funkcije i za sve ostale parametre na svim slivovima računane sa po tri harmonika*. Na Sl. 5 prikazane su serije računatih parametara, n_τ , l_τ , m_τ , s_τ , g_τ , i k_τ , kao i odgovarajuće periodične funkcije \hat{v}_τ , $\hat{\lambda}_\tau$, $\hat{\mu}_\tau$, $\hat{\sigma}_\tau$, $\hat{\gamma}_\tau$ i $\hat{\kappa}_\tau$, računane sa po tri harmonika, za primer Velike Morave (st. Ljubičevski Most).

Posle analize dijagrama kakvi su oni prikazani na Sl 3 i Sl. 5 za sve odabrane profile, došlo se do nekoliko zaključaka o serijama osnovnih šest statističkih parametara dnevnih serija proticaja i njihovim periodičnim funkcijama na posmatranim profilima:

- ☒ Svih šest parametara pokazuju periodičnost.
- ☒ Periodične funkcije za serije minimuma, \hat{v}_τ , maksimuma, $\hat{\lambda}_\tau$, za srednju vrednost, $\hat{\mu}_\tau$, i standardnu devijaciju, $\hat{\sigma}_\tau$, su u fazi (osim na Dunavu, na profilima Bezdan i Bogojevo). Periodične funkcije za koeficijente asimetrije i spoljoštenosti, $\hat{\gamma}_\tau$ i $\hat{\kappa}_\tau$, takođe su u fazi, ali nisu u fazi sa funkcijama za ostala četiri parametra.
- ☒ U letnjem, sušnom periodu, manja je uzoračka varijacija kod serija n_τ , l_τ , m_τ i s_τ , ali ne i kod serija g_τ , i k_τ .
- ☒ Veličina sliva takođe utiče na uzoračku varijaciju svih statističkih parametara. Za stanice Bezdan i Bogojevo na Dunavu, Sremska Mitrovica na Savi, i Senta na Tisi, koje imaju najveće slivove, varijacija je za sve parametre najmanja. Za Ljubičevski Most na Velikoj Moravi, Boker na Roni i Podgoricu na Morači, varijacija je veća, a za ostale stanice još veća. Akumulacija vode u velikim rečni basenima znatno utiče na „uglašavanje” grafika za sve statističke parametre i na manje varijacije oko njihovih periodičnih funkcija. Iz istog razloga su i relativni kumulativni periodogrami niži za stanice sa malim, u odnosu na stanice sa većim pripadajućim slivovima.
- ☒ Serije dnevnih proticaja imaju značajnu pozitivnu asimetriju. Računati koeficijenti asimetrije, g_τ , pozitivni su za sve reke tokom cele godine, uz male izuzetke (stanice Prijepolje, Mojsinje i Bajina Bašta po nekoliko dana i Senta 15 dana u aprilu). Periodične funkcije koef. asimetrije su pozitivne tokom čitave godine za sve posmatrane stanice. Koeficijenti spljoštenosti, k_τ , imaju velike vrednosti. I jedni i drugi imaju najmanje vrednosti za najveće slivove.

4. DODATNE ANALIZE I PRIMENE

Prethodno je ukazano na različite oblasti primene strukturalne analize dnevnih hidroloških serija. U nastavku će se ilustrovati dve od njih. Prva se odnosi na unapređenje metoda za analizu, klasifikaciju i poredjenje hidroloških režima na regionalnom planu, a druga na unapređenje operativnih metoda za praćenje stanja vlažnosti sliva, ranu detekciju pojave suša ili mogućnosti pojave poplava. Pored toga zadnje navedena tehnika se može primeniti i pri upravljanju vodama na nivou sliva (npr. za blagovremenu primenu potrebnih melioracionih mera; odvodnjavanja ili navodnjavanja; za preraspodelu voda unutar sliva na prioritetne potrošače u slučaju nagoveštaja suša; blagovremene pripreme u slučaju mogućnosti pojave poplava i sl.).

4.1. Analize hidroloških režima

Studije hidrološkog režima na nacionalnom i regionalnom planu dobijaju na aktuelnosti posebno u okolnostima sve većeg potreba za vodom i nakon opšteg prihvatanja vodoprivrednih postulata: da je *vodoprivredna jedinica sliv* i da se *kvantitetima i kvalitetom voda mora upravljati integralno*. Aktuelne metode za analizu i klasifikaciju hidroloških režima, (na čijem razvoju se dosta radilo i u okviru UNESCO-IHP projekta FRIEND-), uglavnom se (još uvek) baziraju na serijama mesečnih vrednosti proticaja [8]. Očigledno je da se time svesno zanemaruje određena količina informacija. Osnovni razlog za takvo stanje leži u činjenici da postoje čvrste korelacijone veze bliskih vrednosti dnevnih proticaja, ali da su njihove zakonitosti različite u kišnim i beskišnim periodima pa ih je teško modelirati. U nastavku će se pokazati kako se primenom TIPS metode na vremenske funkcije statistika mogu dobiti kontinualne ("uglašane") funkcije parametara na osnovu kojih se mogu preciznije uočiti karakteristike hidrološkog režima u nekom profilu, i kako se primenom iste tehnike i podataka vezanih za referentni period mogu izdvajati *regioni sa homogenim režimima*. Zbog ograničenog obima članka detaljnije je prikazano samo korišćenje vremenskih funkcija srednjih vrednosti, pa s toga napominjemo da se detaljnije klasifikacije režima mogu dobiti ukoliko se analizu uključe i funkcije za ostale statističke parametre, (pre svega funkcije minimuma i maksimuma).

U zavisnosti od potreba, pri analizi režima mogu se pratiti i upoređivati periodične funkcije srednje vrednosti, minimuma, maksimuma, ili sve tri funkcije

uporedo. Periodične funkcije su računane sa po tri značajna harmonika, a radi poredjenja su prikazane u bezdimenzionalnom obliku, preko odnosa $\hat{\mu}_\tau / \hat{\mu}_{\tau,SR}$, $\hat{v}_\tau / \hat{v}_{\tau,SR}$ i $\hat{\lambda}_\tau / \hat{\lambda}_{\tau,SR}$, gde su $\hat{\mu}_{\tau,SR}$, $\hat{v}_{\tau,SR}$, $\hat{\lambda}_{\tau,SR}$ - srednje vrednosti periodičnih funkcija srednje vrednosti, minimuma i maksimuma.

Hidrološki režimi vodotoka u Srbiji

Kada se bezdimenzionalne vremenske funkcije srednje vrednosti za svih 15 profila sa teritorije Srbije prikažu na jednom dijagramu (Sl. 6), jasno se izdvaja četiri osnovnih tipova režima. Na Sl. 7 prikazani su reprezentivi tih osnovnih tipova režima

Prvom tipu pripadaju reke sa teritorije centralne Srbije, koje imaju kontinentalne režime: Velika, Južna i Zapadna Morava, Toplica, Nišava, Moravica, Ibar, Kolubara i Beli Timok. Kao reprezentivnog tipa režima, na Sl. 7 nalazi se Velika Morava (v. st. Ljubičevski Most), a funkcije $\hat{\mu}_\tau / \hat{\mu}_{\tau,SR}$ za sve profile na tim rekama prikazane su na Sl. 8. Kod tog tipa hidrološkog režima funkcije $\hat{\mu}_\tau / \hat{\mu}_{\tau,SR}$ imaju izražen zvonast oblik (za sve reke tog tipa nalazi se u opsegu od 1,75 do 2,2), sa maksimumom u prolećnom periodu, sredina marta - sredina aprila.

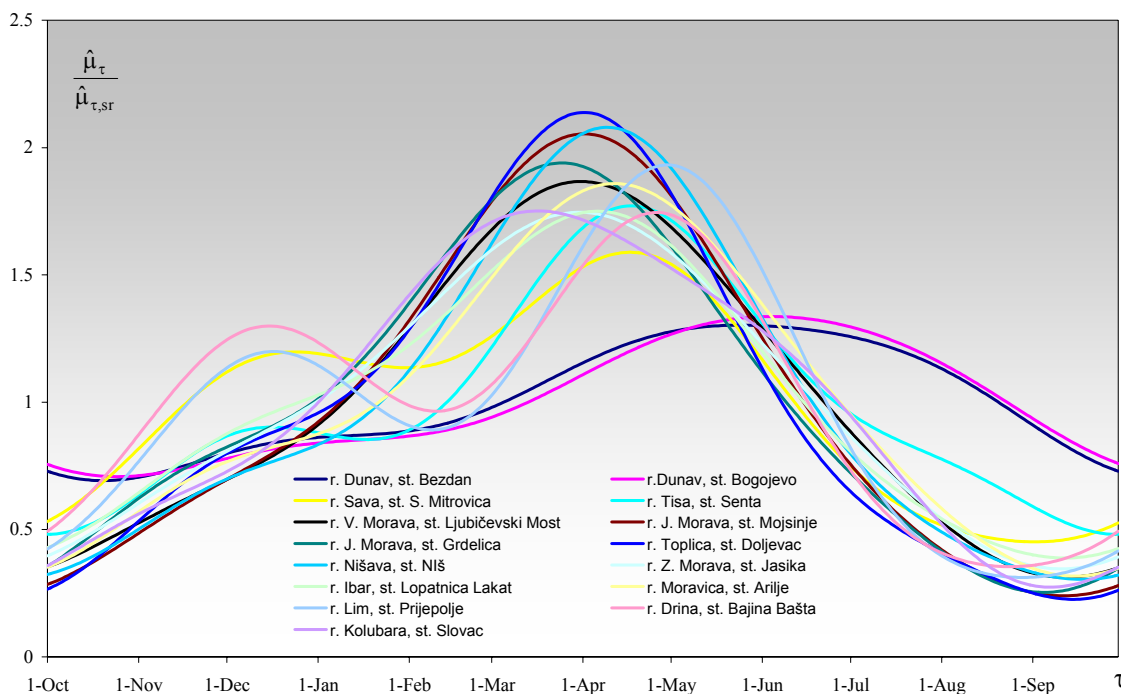
Drugi tip režima imaju Lim (st. Prijepolje), Drina (st. Bajina Bašta) i Sava (st. Sremska Mitrovica). Kao reprezentivnog tipa režima, na Sl. 7 nalazi se Drina. Za ove reke karakteristična su dva pika funkcije $\hat{\mu}_\tau / \hat{\mu}_{\tau,SR}$: prvi, niži, u decembru i drugi, viši, krajem aprila.

Treći tip režima ima Dunav (st. Bogojevo i Bezdan), kod koga funkcija $\hat{\mu}_\tau / \hat{\mu}_{\tau,SR}$ nema tako izražen maksimum (za v. st. Bezdan nalazi se u opsegu od 0,7 do 1,25), a najveće vrednosti ima u maju i junu.

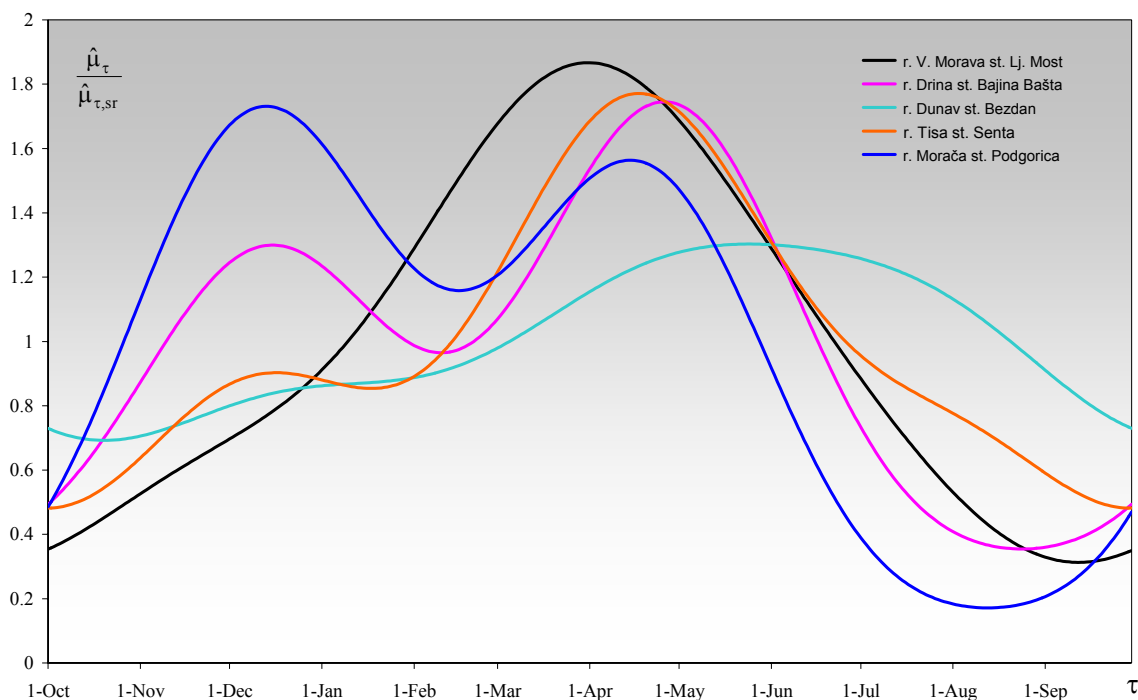
Četvrti tip režima ima reka Tisa (st. Senta).

Uz tipične predstavnike 4 režima u Srbiji na Sl. 7 prikazana je i funkcija za reku Moraču (st. Podgorica) da bi se istakla razlika sa režimom Mediteranskih reka. Ova reka ima preovlađujući maritivni režim, sa dva pika, od kojih se prvi i viši javlja u decembru, a drugi u aprilu. Posebno je interesantno poređenje Morače i Drine, gde se uočava ista forma (sa dva pika), ali sa drastičnim razlikama u vremenima pojave absolutnih maksimuma.

Oblik funkcija $\hat{\mu}_\tau / \hat{\mu}_{\tau,SR}$ prikazanih na Sl. 8. ukazuje da bi za reke sa teritorije centralne Srbije možda trebalo usvojiti hidrološku godinu koja počinje od 1. septembra.



Slika 6. Hidrološki režim 15 odabranih reka sa teritorije Srbije, prema bezdimenzionalnim vremenskim funkcijama periodične srednje vrednosti
Hydrological regimes in the Serbia expressed by dimensionless periodic time functions of daily mean



Slika 7. Osnovni tipovi hidroloških režima reka sa teritorije Srbije. (Radi uočavanja razlika sa režimom mediteranskih slivova pridodata je i bezdimenzionalnim vremenskim funkcijama periodične srednje vrednosti za reku Moraču) Four basic types of hydrological regimes in the Serbia and one from Montenegro, expressed by dimensionless periodic time functions of daily mean

Hidrološki režimi na prostoru Severnog Mediterana

Reke sa sliva Mediterana imaju hidrološke režime koji se potpuno razlikuju od režima reka sa teritorije Srbije, ali se i njihovi režimi međusobno znatno razlikuju. Na Sl. 9 prikazane su funkcije $\hat{\mu}_\tau / \hat{\mu}_{\tau,SR}$ za ove reke.

Za reku Ronu (Francuska, st. Boker) funkcija $\hat{\mu}_\tau / \hat{\mu}_{\tau,SR}$ nema izražen maksimum, sa blagom promenom od oktobra do juna. U tom periodu ima vrednosti od 0,75 do 1,25.

Reka Teš (Francuska, st. Sen Pol), ima potpuno drukčiji režim, sa dva pika funkcije $\hat{\mu}_\tau / \hat{\mu}_{\tau,SR}$: nižim, početkom decembra i višim, krajem maja.

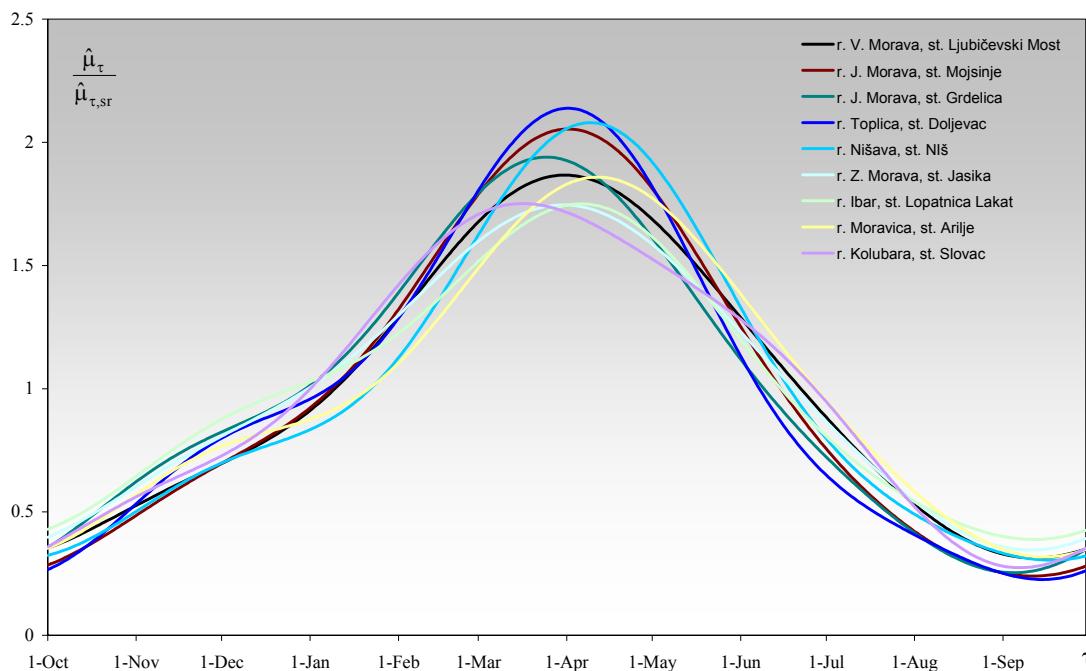
Reka Ofanto (Italija, st. San Manuele Di Kafiero) ima izraziti maritivni režim, sa maksimalnim vrednostima funkcije $\hat{\mu}_\tau / \hat{\mu}_{\tau,SR}$ u periodu januar - mart i minimalnim u letnjim mesecima (jul - septembar).

Reka Vipava (Slovenija, v. st. Miren) ima sličan režim kao Morača, ima takođe dva pika funkcije $\hat{\mu}_\tau / \hat{\mu}_{\tau,SR}$, s tim što se viši javlja u novembru, a niži sredinom aprila.

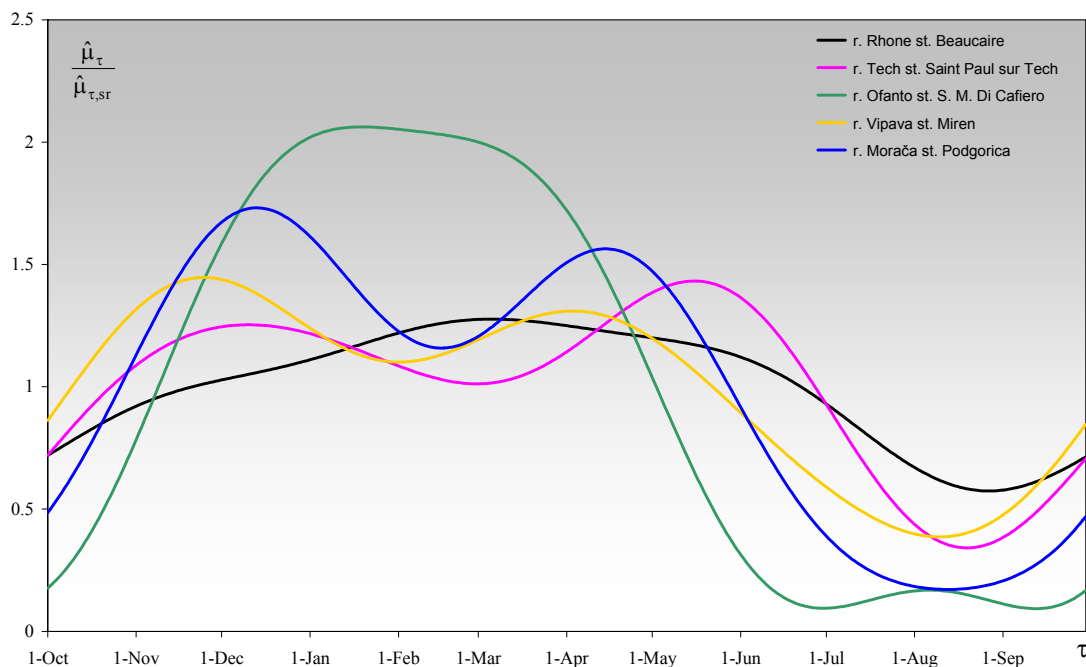
Bezdimenzionalne funkcija minimuma i maksimuma

Na Sl. 10 do 12 prikazani su hidrološki režimi odabranih reka prema bezdimenzionalnim vremenskim funkcijama periodičnih minimuma, a na Sl. 13 do 15 prema bezdimenzionalnim vremenskim funkcijama periodičnih maksimuma. Prikazani rezultati obuhvataju sve profile sa prostora Srbije. Profil Podgorica na reci Morači pridodat je radi uočavanja razlika sa mediteranskim režimima.

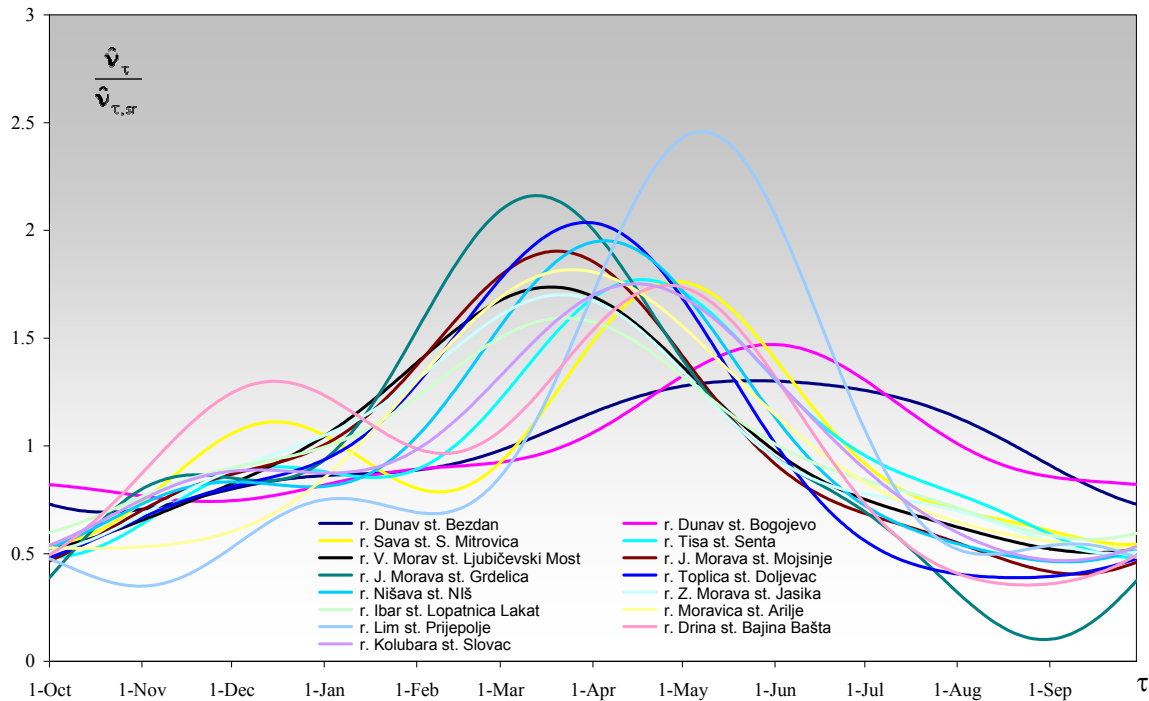
Reke sa područja centralne Srbije (Sl. 12) pokazuju sličnost u režimima minimuma, mada manje nego kad se posmatraju funkcije srednje vrednosti. Takođe, funkcije koje prikazuju tok minimuma pokazuju sličnost, i po obliku i po opsegu, sa funkcijama koje prikazuju tok srednjih vrednosti. To važi manje-više na svim profilima. Funkcije koje prikazuju tok maksimuma za reke centralne Srbije (Sl.15) pokazuju manje sličnosti i međusobno i sa funkcijama srednje vrednosti.



Slika 8. Hidrološki režim reka sa teritorije centralne Srbije prema bezdimenzionalnim vremenskim funkcijama periodične srednje vrednosti
 River regime in Central Serbia (type one) expressed by dimensionless periodic time functions of daily mean

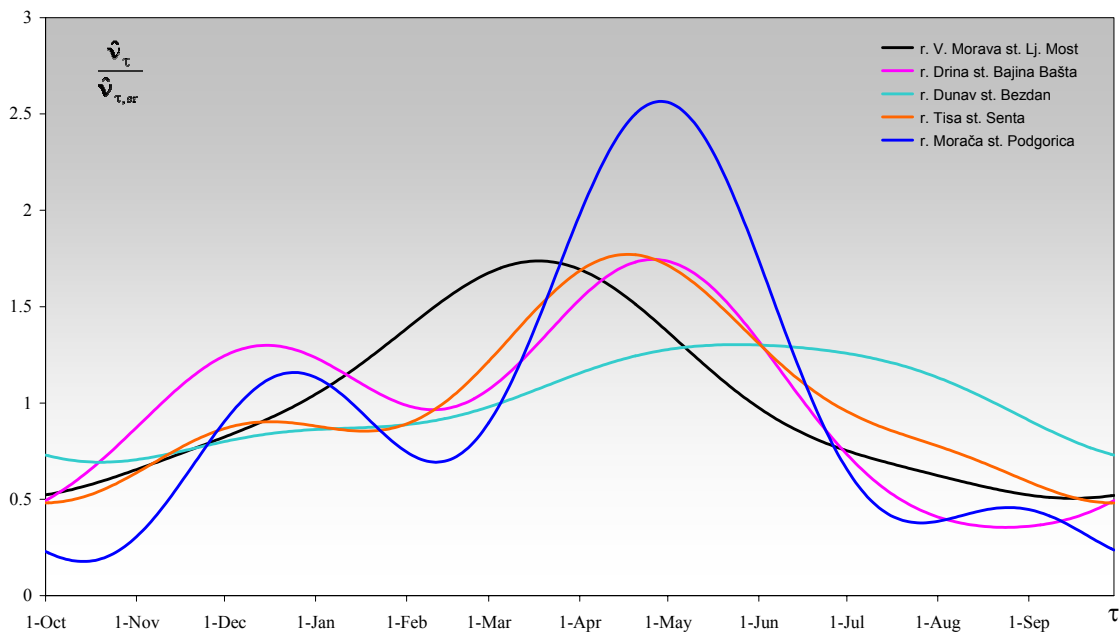


Slika 9. Hidrološki režimi 5 odabranih reka severnog Mediterana, prema bezdimenzionalnim vremenskim funkcijama periodične srednje vrednosti
 Hydrological regimes in Northern Mediterranean, expressed by dimensionless periodic time functions of daily mean



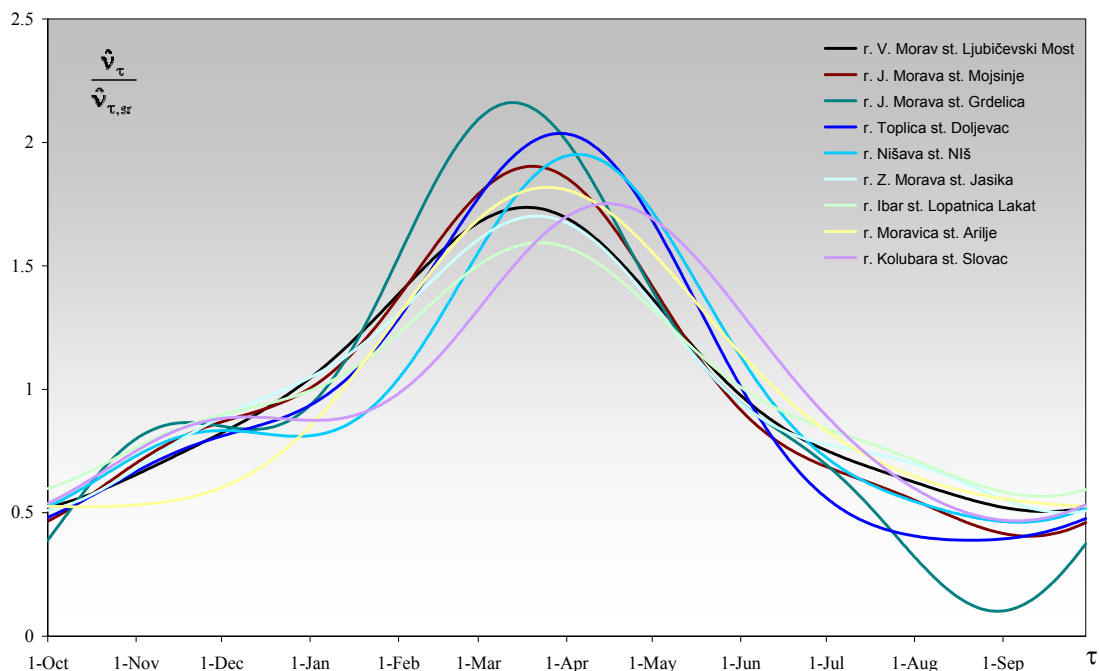
Slika 10. Hidroloških režimi 15 odabranih reka sa teritorije Srbije, prema bezdimenzionalnim vremenskim funkcijama periodičnog minimuma

Hydrological regimes in the Serbia expressed by dimensionless periodic time functions of daily minimum

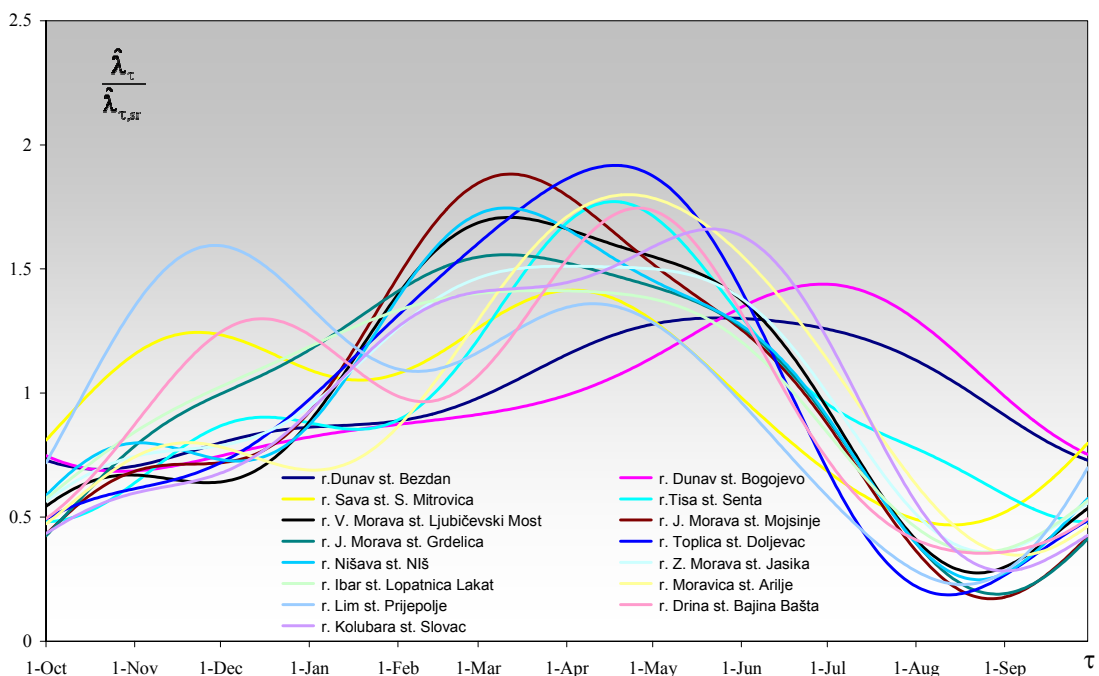


Slika 11. Osnovni tipovi hidroloških režima reka sa teritorije SCG, prema bezdimenzionalnim vremenskim funkcijama periodičnog minimuma

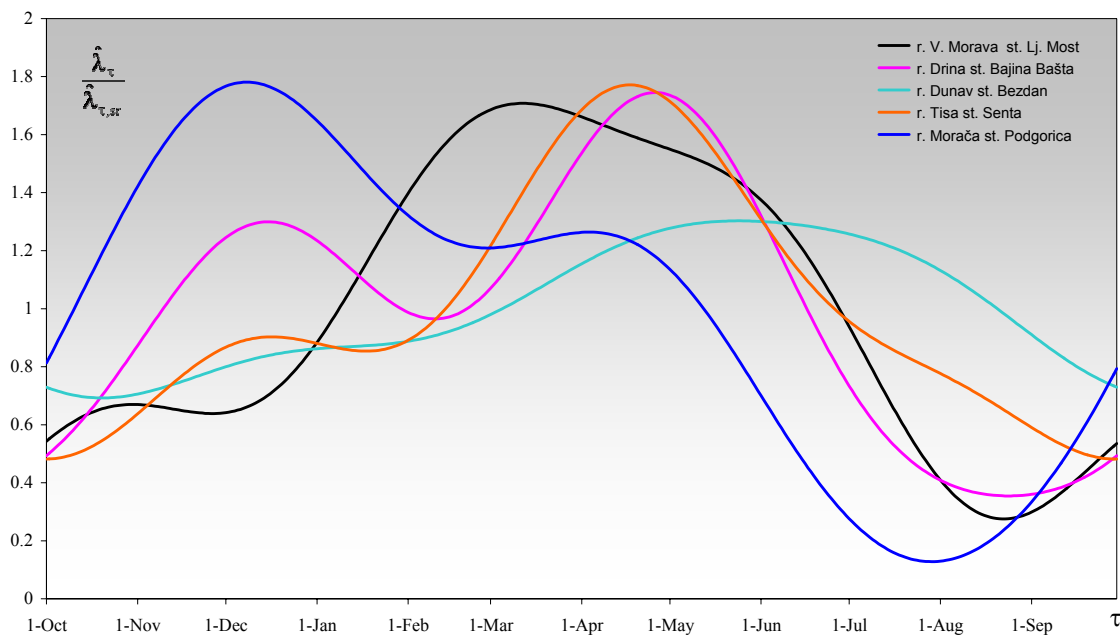
Basic types of hydrological regimes in the Serbia and one from Montenegro, expressed by dimensionless periodic time functions of daily minimum



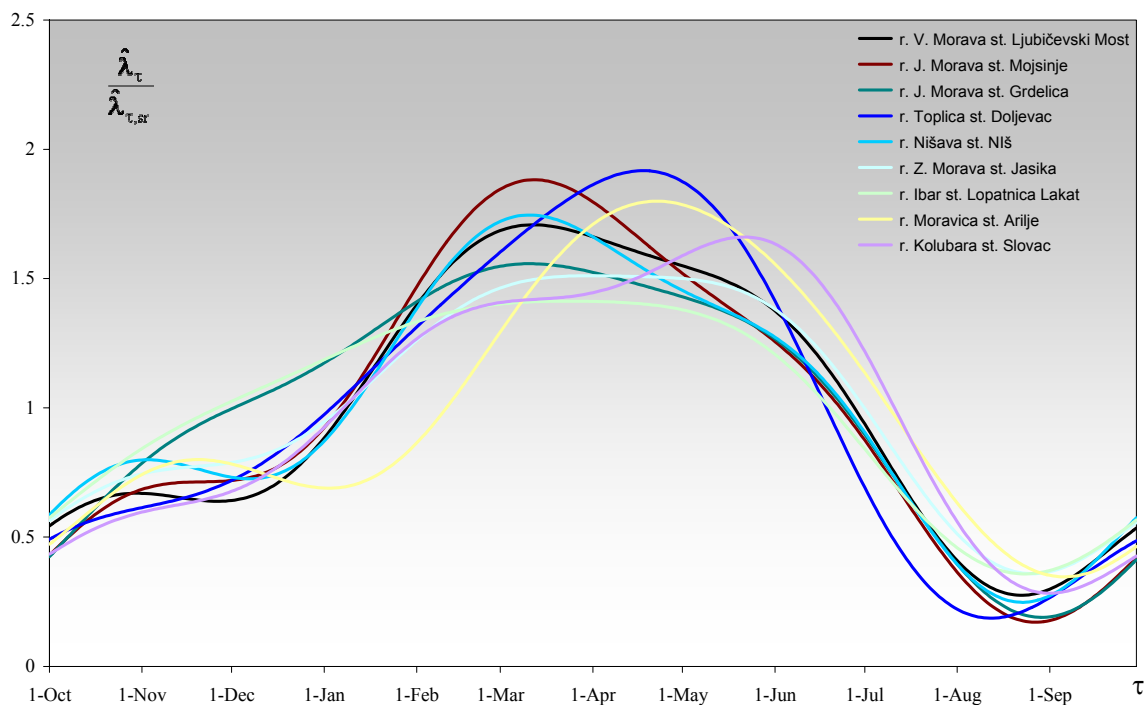
Slika 12. Hidrološki režim reka sa teritorije centralne Srbije prema bezdimenzionalnim vremenskim funkcijama periodičnog minimuma
 Hydrological regime in the central Serbia, expressed by dimensionless periodic time functions of daily minimum



Slika 13. Hidroloških režim 15 odabranih reka sa teritorije Srbije, prema bezdimenzionalnim vremenskim funkcijama periodičnog maksimuma
 Hydrological regimes in the Serbia expressed by dimensionless periodic time functions of daily maximum



Slika 14. Osnovni tipovi hidroloških režima reka sa teritorije Srbije, prema bezdimenzionalnim vremenskim funkcijama periodičnog maksimuma (reka Morača je pridodata radi poređenja)
Basic types of hydrological regimes in the Serbia and one from Montenegro, expressed by dimensionless periodic time functions of daily maximum



Slika 15. Hidrološki režim reka sa teritorije centralne Srbije prema bezdimenzionalnim vremenskim funkcijama periodičnog maksimuma
Hydrological regimes in Central Serbia expressed by dimensionless periodic time functions of daily maximum

Uporedni pregledi funkcija režima srednjih, malih i velikih voda

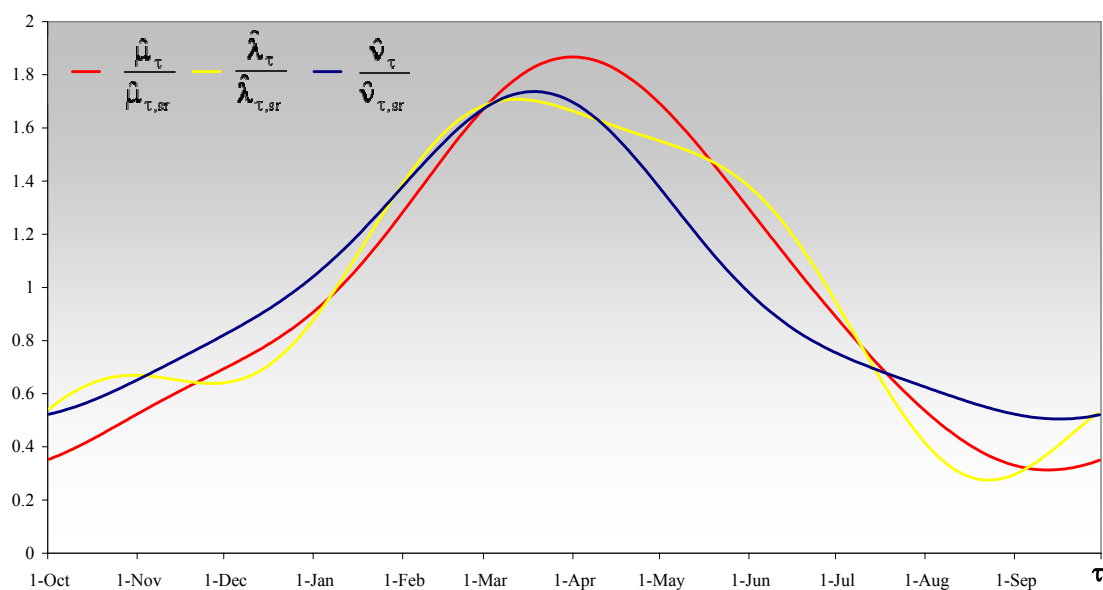
Za međusobno poređenje bezdimenzionalnih funkcija srednje vrednosti, minimuma i maksimuma za isti profil, one su nanete na jedan dijagram. Prikazani su samo tipični predstavnici kontinentalnog i maritimnog klimata.

Uporedni prikaz toka bezdimenzionalnih vremenskih funkcija periodičnih minimuma, maksimuma i srednje vrednosti za reke V. Morava (st. Lj. Most) i Morača (st. Podgorica) prikazani su na slikama 16 i 17. Sve funkcije sa profila na Velikoj Moravi pokazuju sličan oblik, kao i opseg bezdimenzionalnih funkcija. Kod reke Morače funkcije se značajno razlikuju. Funkcija koja prikazuje minimume ima visok pik u proleće, u periodu april - maj (oko 2,5), što bi se moglo tumačiti ili kao posledica drugačijeg režima padavina i topljenja snega, ili pak (verovatnije) kao rezultat visokog stepena karstifikacije ovog sliva.

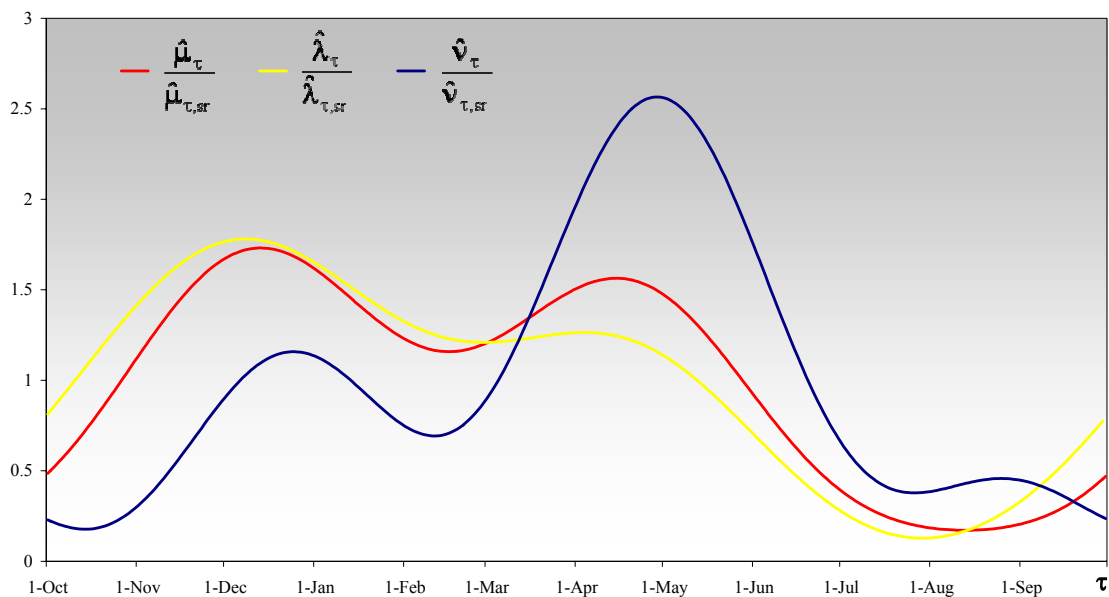
Na osnovu prethodno prikazanih rezultata mogu se formulisati vrlo značajni zaključci:

- Da se primenom TIPS metode na strukturalnu analizu srednjih, minimalnih i maksimalnih dnevnih proticaja mogu odrediti glatke funkcije
- Primenom vremenskih funkcija statistika srednjih dnevnih, minimalnih i maksimalnih proticaja preciznost u prikazu elemenata na osnovu kojih se određuje režim srednjih, malih i velikih voda značajno se može povećati
- Ako se vremenske funkcije odrede sa podacima iz jedinstvenog (referentnog) perioda, na bazi njih se uspešnije mogu spovesti regionalne analize hidroloških režima.

Važno je napomenuti da je ovde (na primeru klasifikacije hidroloških režima) demonstrirana samo jedna od mogućih primena periodičnih funkcija minimuma i maksimuma. TIPS metodom određene (glatke funkcije) direktno i precizno ukazuju na vremenski raspored malovodnih i poplavnih perioda. U tom svetlu ovi rezultati mogu biti od značajne pomoći donosiocima upravljačkih odluka i kada se radi o zaštiti kvaliteta voda i kada se radi o zaštiti od poplava.



Slika 16. Uporedni prikaz bezdimenzionalnih vremenskih funkcija periodične srednje vrednosti, maksimuma i minimuma. (R. Velika Morava, st. Ljubičevski Most, period 1961-1990.)
Comparative review of dimensionless time functions of daily mean, maximum and minimum
(R. Velika Morava, st. "Ljubičevski Most", period 1961-1990.)



Slika 17. Uporedni prikaz bezdimenzionalnih vremenskih funkcija periodične srednje vrednosti, maksimuma i minimuma. (R. Morača, st. Podgorica, period 1961-1990.)

Comparative review of dimensionless time functions of daily mean, maximum and minimum (R. Morača, st. "Podgorica", period 1961-1990.)

4.2. Praćenje stanja oticaja sa sliva

Druga od mogućnosti za primenu periodičnih funkcija osnovnih statističkih parametara serije dnevnih parametara koja će se demonstrirati u ovom radu je za kontinualano praćenje stanja u slivu.

Osnovna pretpostavka je da isti geofizički procesi koji izazivaju periodičnost u serijama dnevnih proticaja taj uticaj pronose i na parametre tih serija, pa i na sve parametre marginalnih funkcija raspodele (Jeđević V., 1984). Polazeći od toga, *na osnovu ustanovljenih funkcija promene statističkih parametara tokom godine može se doći i do marginalnih funkcija raspodele u godišnjem ciklusu*. Za dnevni vremenski korak postoji 365 marginalnih funkcija raspodele koje se menjaju tokom godine zato što se i njihovi parametri periodično menjaju tokom godišnjeg ciklusa.

U okviru knjige: *Structure of Daily Hydrologic Series* Prof. Jeđević se ukazao da takva mogućnost postoji, ali su se njegove analize ograničile na teorijska razmatranja suženog broja teorijskih raspodela bez konkretnih primena. Zbog toga rezultati koji slede predstavljaju novitet u svetskim razmenama, i na teorijskom ali i na praktičnom planu.

Istina, mogu se naći autori koji su pokušavali da odrede marginalne funkcije raspodele proticaja po datumima unutar kalendarske godine, a tzv. "*sintetički nivogrami*" (vremenske funkcije kvantila nivoa za svaki datum unutar kalendarske godine) određeni empirijskim putem predstavljaju standardni alat kojime se koriste praktičari koji se bave zaštitom od poplava. Međutim, parcijalna primena marginalnih raspodela na svaki datum nezavisno produkuje kvantile koji se drastično razlikuju u dva susedna datuma, pa su praktičari prinuđeni da primene "veštačko uglašavanje". To uglašavanje se obavlja subjektivno (vizuelnom inspekcijom tačaka). Razlog dobijanja linija testerastog oblika su sa jedne strane podaci (jer je raspon opaženih ekstrema u susednim datumima često drastičan), dok sa druge strane način primene statističkog aparata (nezavisna primena teorijskih funkcija u dva susedna dana) ne uzima u obzir vaznu osobinu dnevnih proticaja, a to je nužnost postojanja visokog stepena korelacije susednih vrednosti proticaja.

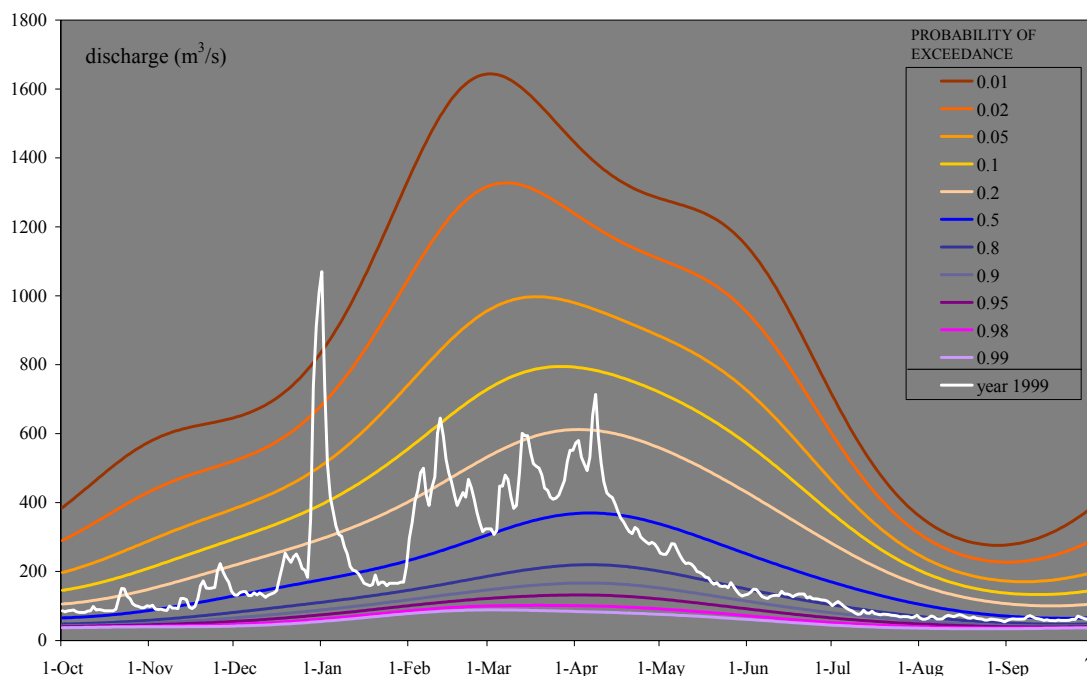
Dodatna pretpostavka od koje se ovde polazi se TIPS metodom određene periodične funkcije parametara (i po definiciji glatke) mogu iskoristiti kao elemenat koji u sebi integriše uticaj autokorelisanosti proticaja, čime će se automatski proizvoditi marginalne raspodele čiji su kvantili povezani u glatke vremenske funkcije.

Metoda je demonstrirana na primeru reke Velike Morave, (st. Ljubičevski Most), dok se rezultati primene na ostalim profilima iz Srbije i Severnog Mediterana i šire diskusije mogu naći u magistarskom radu Mihajlović V., 2003 [1].

Pri izboru tipa za marginalne raspodele izabran je najjednostavniji pristup – da se usvoji jedna raspodela, ali sa parametrima koji se periodično menjaju tokom godine. Na osnovu analize opsega varijacija vrednosti koeficijenta asimetrije, koeficijenta varijacije i spljoštenosti usvojena je raspodela log-Pirson tip 3. S obzirom da je to logaritamska raspodela, originalna serija dnevnih proticaja $x_{p,t}$ je transformisana u seriju $y_{p,t} = \log x_{p,t}$. Za seriju $y_{p,t}$ izračunati su nizovi od po 365

srednjih vrednosti, $m_\tau(y_{p,\tau})$, standardnih devijacija, $s_\tau(y_{p,\tau})$, koeficijenta asimetrije, $g_\tau(y_{p,\tau})$, a zatim nacrtani relativni kumulativni periodogrami i određene periodične funkcije za svaki od parametara, sa po tri značajna harmonika. Periodični parametri raspodele LP3 ocenjeni su indirektnom metodom momenata, a verovatnoće su računane preko faktora frekvencije.

Na Sl. 18 prikazan je dijagram marginalnih funkcija raspodele za r. Velika Morava, st. Ljubičevski Most (za referentni period 1961-90.). Dijagram čine glatke linije koje predstavljaju proticaje određene verovatnoće pojave prema teorijskoj Log-Pirson 3 raspodeli. Na taj dijagram su, kao primer, naneti podaci o izmerenim dnevnim vrednostima proticaja na tom profilu u 1999. god.



Slika 18. Dijagram marginalnih funkcija raspodele za svaki datum u godini na koji je nanet hidrogram za godinu 1999. (R. Velika Morava, st. Ljubičevski Most, period 1961-1990.)

Time functions of probability of exceedance, derived on the base of marginal distributions for each date in the year (derived for the referent period 1961-1990), and observed hydrograph for hydrological year 1998-99 (R. Velika Morava, st. "Ljubičevski Most")

Očigledno je da operativno korišćenje ovih dijagrama može imati višestruku primenu:

- Jedna od primena ovakvih dijagrama bi bila da se kontinualnim ucrtavanjem i praćenjem zabeleženih proticaja u tekućoj godini *prati tendencija proticaja*
- Na osnovu praćenja oticaja i njegove pozicije u odnosu na linije kvantila direktno se može zaključiti kakvo je *stanje vlažnosti u slivu*. Npr., ukoliko su vrednosti stalno iznad proseka (ili znatno viši) jasno je da u slučaju većih padavina ili

otapanja snega (zavisno od sezone), onda se blagovremeno može upozoriti na *moćnost pojave poplava*. Suprotno, ukoliko su opažene vremenske serije proticaja stalno ispod proseka (što direktno ukazuje na *početak suše*) moraju se preduzeti mere preraspodele voda unutar sliva (štednja i preraspodela na prioritetne potrošače), kao i pojačane mere *kontrole kvaliteta vode* (jer se pri istoj količini upuštanja zagađujućih materija koncentracije povećavaju ukoliko su proticaji vode manji).

Pored navedenih primena, kriva koja predstavlja teorijski proticaj određene verovatnoće pojave može predstavljati promenljiv dnevni prag u statističkoj analizi poplava ili suša. Detalji o zadnjem tipu primene rezultata marginalnih raspodela određenih TIPS metodom mogu se naći u radu [6]. Detaljniji prikaz primene TIPS metode pri analizi poplava i suša zahteva više prostora i mora se obraditi u okviru posebnih članaka.

5. ZAKLJUČCI

U raspoloživoj literaturi postoji samo jedna knjiga koja se bavi strukturnim analizama kontinualnih vremenskih serija dnevnih vrednosti hidrometeoroloških podataka. To je knjiga prof. Vujice Jevđevića: "Structure of Daily Hydrologic Series". U okviru članka prikazane su teorijske osnove TIPS metode i uvedeno je *više proširenja metode strukturnih analiza dnevnih hidroloških serija*:

- Umesto na originalne podatke (osmotrene vrednosti dnevnih proticaja) *TIPS metoda je primenjena na modeliranje 6 statističkih funkcija*: minimuma, maksimuma, srednjih vrednosti, standardne devijacije, koeficijenta asimetrije i koeficijenta spljoštenosti
- Pokazano je kako se metoda strukturne analize statističkih funkcija dnevnih proticaja može koristiti kao *model za klasifikaciju hidroloških režima*
- Pokazano je kako se metoda strukturne analize statističkih funkcija dnevnih proticaja može koristiti pri određivanju 365 statističkih distribucija dnevnih proticaja i na bazi toga proizvesti tzv. "*uglašani sintetički hidrogrami*"
- Pokazano je kako se uglašani sintetički hidrogrami mogu koristiti u Operativnoj hidrologiji za kontinualno *praćenje stanja vlažnosti sliva* i ranu detekciju sušnih perioda i plavnog potencijala
- Ukazano je na mogućnosti daljeg proširenja primene metode strukturne analize dnevnih proticaja (analizu poplava i suša)

Metoda strukturne analize i neke od mogućnosti primena su demonstrirane na podacima sa 21 sliva iz međunarodne baze podataka WMO (MED-HYCOS) i 15 reprezentativnih slivova sa prostora Srbije. Detaljni zaključci dobijenih analizom ovih podataka, vezano za konkretne podatke formulisani su unutar pojedinih odeljaka.

6. ZAVRŠNE NAPOMENE

Ovaj rad posvećen je negovanju uspomena na život i delo nedavno preminulog Profesora Vujice Jevđevića, osnivača i prvog profesora Hidrologije na Građevinskom fakultetu u Beogradu. Prikazani rezultati

nedvosmisleno ukazuju na visoke domete koje je Prof. Vujica Jevđević ostvario na polju *Stohastičke Hidrologije*. Pokazano je da njegova metoda TIPS ne samo da je aktuelna, već da, (primenjena na dnevne vrednosti, i uz mogućnosti koje pružaju savremeni računari), predstavlja osnovu za dalja istraživanja, otvarajući izvanredne mogućnosti za unapređenje hidrološke i vodoprivredne prakse.

Rezultati prikazani u okviru ovog članka predstavljaju deo rezultata ostvarenih u okviru naučnog projekta NPV-21A: "*Hidrološka osnovavodoprivrednog razvoja Srbije i međunarodne saradnje u oblasti voda*", koji je deo Nacionalnog Programa za Vode. Ovim putem zahvaljujemo se Ministarstvu nauke i zaštite životne sredine i JVP "Srbijavode" na finansijskoj podršci, a RHMZS iz Beograda i Institutu za istraživanja i razvoj iz Monpeljea (IRD, Montpellier, France) na podacima sa prostora Srbije i Mediterana (baza Projekta WMO: MED-HYCOS). Istraživanja su takođe deo međunarodnih projekata FRIEND (UNESCO-IHP VI) i Stability Pact for South Easter Europe DAAD projekta "Impovement of Science and Research in Serbia and Montenegro in the Fiend of Water Management" koji se realizuje u saradnji sa TUHH (Hamburg-Harburg, Germany).

LITERATURA

- [1] Mihailović V., 2003: Analize dnevnih proticaja za potrebe detekcije poplava i suša, Magistrski rad odbranjen na Građevinskom Fakultetu Univerziteta u Beogradu, Srbija, SCG
- [2] Mihailović V. and Radić M.Z., 2006: Structure of Daily Hydrologic Series in Serbia and Northern Mediterranean, BALWOISE 2006 Conference, Ohrid, Republic of Macedonia
- [3] Muškatirović J. and Radić M.Z., 1994: Analysis and long-range forecasting of water stages in the Danube river and navigable tributaries, Proc. XVII Conference of the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, (Editor M.Hegeđus), Hungarian National Committee for IHP/UNESO &OHP/WMO, Budapest
- [4] Radić M.Z. i sar., 1995-1998: Razvoj Globalnog Modela Hidrološkog Bilansa, Građevinski Fakultet Univerziteta u Beogradu, Srbija, SRYU
- [5] Radić M.Z. and Mihailović V. 2004: Strukturna analiza dnevnih proticaja na prostoru Srbije I Severnog Mediterana, Publikacija "VODA I KATASTROFE – quo vadis SCG -" posvećene Svetskom Danu Voda 2004 godine (Editor Z.M.Radić), JDH, Beograd, Srbija, SCG

- [6] Radić M.Z. and Mihailović V. 2006: Development of Drought Monitoring System for Serbia, BALWOISE 2006 Conference, Ohrid, Republic of Macedonia
- [7] Stanescu V.A. and Ungureanu V., 1997: European regimes: diversity and features, FRIEND Third report 1994-1997, UNESCO- Paris, Cemagref – Lyon, France
- [8] Yevjevich V. 1972: Stochastic Processes in Hydrology, Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, U.S.A.
- [9] Yevjevich V. 1984: Structure of Daily Hydrologic Series, Water Resources Publications, Littleton, Colorado, U.S.A.
- [10] WMO and WB, 1995-2000: MED-HYCOS (Mediterranean Hydrological Cycle Observing System), IRD, Montpellier, France

TEORY AND NEW APPLICATIONS OF STRUCTURE ANALYSES OF DAILY HYDROLOGIC SERIES

by

Zoran M. RADIĆ PhDCE* and Vladislava MIHAILOVIĆ MSCE**

* Faculty of Civil Engineering University of Belgrade

** Faculty of Forestry University of Belgrade

Summary

Structure of daily hydrologic series, based on TIPS methodology (Yevjevich, 1984), is extended and new possibilities for stochastic analyses and applications are presented.

First, estimation of smoothed time functions of statistics (mean, minimum, maximum, etc.) for each date in a hydrological year are derived. Periodic time functions are modeled by applying Fourier series analysis. It is shown that dimensionless time functions for main, minimum and maximum can be used for hydrological regime study and classifications. Method is demonstrated on daily data sets from 20 catchments. Data from Serbia and MED-HYCOS data-base are used. Hydrological regime differences between Mediterranean and continental climatic region are evident. In Serbia, clear distinction on hydrological regime exists between international river basins (Danube, Sava and Tisa river) and catchments at the central part of the country. Clear evidence of regime differences on separate international river basin exists too. For the regional regime studies it is recommended that the same referent period of data can be adopted. That is important specially for the catchments with the largest flows variations (for example station "S.M. Di Cafiero", River Ofanto, Italy).

Second, by applying smoothed time functions for statistics presentation, marginal distributions for each

date can be derived. Concerning statistic function variations along hydrological year, it is assumed that unique (LP3) distribution can be applied. Marginal distributions, (derived on cited way), produce smoothed daily functions of probabilities of exceedance. Latest functions can be applied for catchment state behavior analyses (catchment moisture state behavior monitoring), for the purpose of droughts or floods analyses and flood and drought management. Some of cited applications are subject for the future work.

By developing macro-programs in the EXCEL environment we make tools for easy derivation of periodic functions, automatic derivation of 365 marginal distributions and daily functions of probabilities of exceedance along hydrological year. In that way, complicated procedure for extended TIPS method application becomes available. So, we hope result presented in this paper will stimulate hydrologist to use TIPS method introduced by Prof. V. Yevjevich and more sophisticated stochastic models and to extract more informations from available daily data sets of observed discharges.

Key words: Hydrology, Stochastic Hydrology, TIPS methodology, Hydrological regime, Monitoring of the catchment state behavior

Redigovano 30.08.2006.