

UDK: 0 556.532:551.501.7:53.087.4(045)

RAČUNSKE VELIKE VODE TOPLDOLSKE REKE U PROFILU TOPLI DO

Borislava Blagojević¹
Jasna Plavšić²
Olivera Potić³

Rezime

U radu je detaljno prikazana primena metode parcijalnih serija za proračun velikih voda Toplodolske reke u profilu V.S. Topli Do. Računske velike vode ocenjene su još i metodom sintetičkog jediničnog hidrograma - aproksimacija trouglom i teorijom graničnih intenziteta. Korišćeni su podaci osmatranja proticaja na V.S. Topli Do, trajanja 14 godina i osmatranja visine dnevnih padavina. Kao kontrolna stanica usvojena je V.S. Visočka Ržana na reci Visočici. Rezultati ocene velikih voda prikazani su u odnosu na anvelope specifičnih oticaja velikih voda reka Srbije. Proračuni su vršeni u okviru hidrološke studije za profile zahvata planirane male hiroelektrane (MHE) u ataru sela Topli Do.

Ključne reči: *Toplodolska reka, velike vode, metoda parcijalnih serija, hidrološki delimično izučen sliv*

1. UVOD

Predmet hidrološke studije Toplodolske reke [6] bila je analiza i ispitivanje svih relevantnih fizičko-geografskih i hidro-meteoroloških karakteristika, u postupku pribavljanja vodoprivrednih uslova kao i za

¹ Mr dipl.inž.građ, asistent, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Niš.

² Dr dipl.inž.građ, docent, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu.

³ Prof. dr dipl.inž.građ, red. prof., Građevinsko-arhitektonski fakultet, Niš.

izradu tehničke dokumentacije za izgradnju male hidroelektrane (MHE) na Toplodolskoj reci u ataru sela Topli Do.

Planirani predmetni objekat MHE predviđen je na lokalitetu Tošin kamik-Dubrava, u dolini Toplodolske reke, na profilu udaljenom 6 km uzvodno od njenog ušća u reku Visočicu, u ataru sela Topli Dol, opština Pirot.

Za proizvodnju električne energije planirano je korišćenje dela proticaja Toplodolske i Manastirske reke (desna pritoka Toplodolske reke).

Za zahvatanje vode potrebna su dva vodozahvata.

Na Toplodolskoj reci vrši se kontinualno osmatranje vodostaja u profilu V.S. Topli Do, koja se nalazi 800 m nizvodno od mesta jednog od planiranih vodozahvata.



Slika 1. Šire područje sliva Toplodolske reke

2. SLIV TOPLODOLSKE REKE

Toplodolska reka, šire gledano, pripada gornjem Ponišavlju, odnosno slivu Južne Morave. Toplodolska reka je desna pritoka Visočice, centralne reke masiva Stare planine koji pripada Srbiji.

Toplodolska reka nastaje od Štavlјanskih vrela (na visini od preko 1800 m) ispod planinskog vrha Midžor (2170 m) na Staroj planini. U ovom delu, reka se zove Javorska reka i teče na jugoistok, zatim jug, obilazeći deo masiva Stare planine zvanog Dugo bilo, a zatim skreće na zapad i ulazi u mesto Topli Do, gde se sastaje sa Rekitskom rekam i odatle se zove Toplodolska reka.

3. REŽIM VELIKIH VODA

U okviru sagledavanja režima voda, obavljeno je prikupljanje i obrada podataka, kao i analiza informacija za sagledavanje režima: prosečnih, malih i velikih voda na Toplodolskoj reci.

U radu se prikazuje režim velikih voda, određen postupcima koji se koriste za ocenu računskih velikih voda kod delimično izučениh slivova.

Raspoloživi podaci osmatranja proticaja u profilu Topli Do od 1991. do 2004. god. korišćeni su za statističku analizu velikih voda.

Osnovni podaci o V.S. Topli Do su sledeći:

Vodotok: Toplodolska reka

Naziv stanice: Topli Do

Površina sliva: 89.7 km²

Kota "0": Relativna kota

Mesto stanice: 43°20' 22°40'

Početak rada: 13.03.1991.

Trenutni status stanice: Aktivna

Način merenja i osmatranja vodostaja: Limnigraf Seba-Delta, vodomerna letva

Način određivanja proticaja: (pisana) kriva proticaja

Ostalo: Stanica je bila srušena tokom nailaska velikih voda krajem 1995. godine, kada je došlo do promene površine poprečnog preseka u profilu. Stanica je obnovljena. U periodu rada stanice, dolazilo je do prekida rada zbog nailaska poplavnih talasa, mraza i neredovnog navijanja satnog mehanizma. Nedostajući podaci sa limnigrafskih traka dopunjeni su jutarnjim očitavanjima sa vodomerne letve.

U okviru raspoloživog perioda osmatranja, dolazilo je do prekida rada stanice ili podaci nisu bili prihvatljivi (raspoloživi samo vodostaji bez krive proticaja), što je prikazano tabelarno (*Tabela 1* i *Tabela 1*).

Za popunjavanje niza podataka o proticajima korišćeni su podaci sa osmatračke mreže stanica površinskih voda RHMZ Srbije u profilu Visočka Ržana na reci Visočici, odnosno prethodna Hidrološka studija reke Visočice [5].

Tabela 1. Popunjenost niza podataka osmatranja dnevnih proticaja u profilu Topli Do na Toplodolskoj reci (belo- bez podataka za ceo mesec, sivo-potpuni podaci za mesec).

m \ g	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1991												
1992												
1993												
1994												
1995												
1996												
1997												
1998												
1999												
2000												
2001												
2002												
2003												
2004												

Površina sliva Toplodolske reke do VS Topli Do je 89.7 km², dok je površina sliva za profil Visočka Ržana na reci Visočici 406 km². Osim odnosa površina slivova, zadovoljeni su i svi ostali uslovi za korišćenje profila Visočka Ržana na Visočici kao analoga.

Na osnovu simultanog perioda osmatranja proticaja na Toplodolskoj reci i reci Visočici, za stepenu funkciju oblika $Q_{sr}, dn_{TOPLODOLSKAR.} = a \cdot (Q_{sr}, dn_{VISOCICA})^b$ dobijena je najveća vrednost koeficijenta korelacije od svih razmatranih modela, $R = 0.85$, tako da su podaci osmatranja koji nedostaju na Toplodolskoj reci popunjeni prema uspostavljenom odnosu:

$$Q_{TOPLODOLSKAR.} = 0.3518 \cdot (Q_{VISOCICA})^{0.8434}$$

U periodu 1991-1995, postoje podaci o ekstremnim osmotrenim vrednostima proticaja na Toplodolskoj reci, te su iste korišćene prilikom analize režima velikih voda.

Na Toplodolskoj reci, velike vode javljaju se najčešće u aprilu, zatim maju i martu, a zabeležene su i u letnjim mesecima.

Konačno, predmetni sliv spada u **delimično/nedovoljno izučene slivove**, uzimajući u obzir i 14 godina dug period osmatranja. Svi rezultati dobijeni na bazi podataka sa VS Topli Do na Toplodolskoj

reci, kontrolisani su/usaglašeni sa rezultatima analiza i proračuna za VS Visočka Ržana na reci Visočici.

Računske velike vode ocenjene su:

1. Metodom prekoračenja preko praga (metoda parcijalnih serija),
2. Preko Teorije graničnih intenziteta,
3. Metodom sintetičkog jediničnog hidrograma (aproksimacija trouglom).

3.1. Metoda prekoračenja preko praga

Zbog raspoložive dužine osmatranja proticaja u profilu VS Topli Do na Toplodolskoj reci, analiza velikih voda obavljena je metodom prekoračenja (metodom parcijalnih serija). Za prag (baznu vrednost) odabran je proticaj **8.2 m³/s**, koji predstavlja vrednost najmanjeg proticaja iz serije godišnjih maksimalnih proticaja u periodu osmatranja, formiranih od srednjednevnih proticaja. Za sam proračun velikih voda metodom statističke analize parcijalnih serija, niz prekoračenja formiran je na bazi osmotrenih ekstremnih dnevnih proticaja u periodu 1991-1997, u kome su ekstremni proticaji beleženi, dok su prekoračenja za preostale godine perioda osmatranja bazirana na srednjednevnim proticajima.

Ukupan broj prekoračenja je 51, u okviru kojih je 47 osmotrenih vrednosti, a samo 4 računске (dobijene na osnovu korelacije sa VS Visočka Ržana), što znači da je 92% podataka analizirane serije osmotreno. Ovaj podatak je značajan i zbog činjenice da su se velike vode u profilu VS Topli Do javljale i zbog lokalnih nepogoda na užem području, što se nije odrazilo na sliv Visočice u profilu Visočka Ržana. Na hidrogramu dnevnih proticaja, mogu se uočiti takvi događaji npr. u dva navrata u 1997. godini, kada je zabeležen i drugi po rangu najveći osmotreni proticaj u razmatranom profilu Toplodolske reke, od 59.6 m³/s.

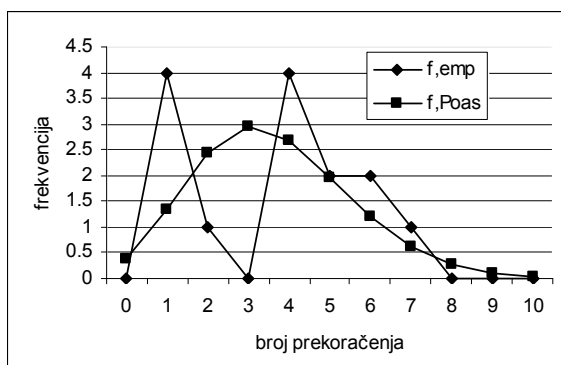
Ocena računskih velikih voda velikih voda metodom prekoračenja iznad praga obavljena je u tri faze [7]:

1. Obrada broja javljanja prekoračenja
2. Obrada visine prekoračenja
3. Formiranje raspodele godišnjih maksimuma - proračun verovatnoće pojave velikih voda.

U periodu od 14 godina osmatranja, identifikovano je 51 prekoračenje odabrane bazne vrednosti. Prosečan broj prekoračenja u godini dana je 3.6, standardna devijacija 2.1, a indeks disperzije iznosi 1.2. Prema tome, za raspodelu broja prekoračenja u godini je odabrana Poasonova raspodela (Slika 2), koja zadovoljava i test saglasnosti teorijske i empirijske raspodele verovatnoća.

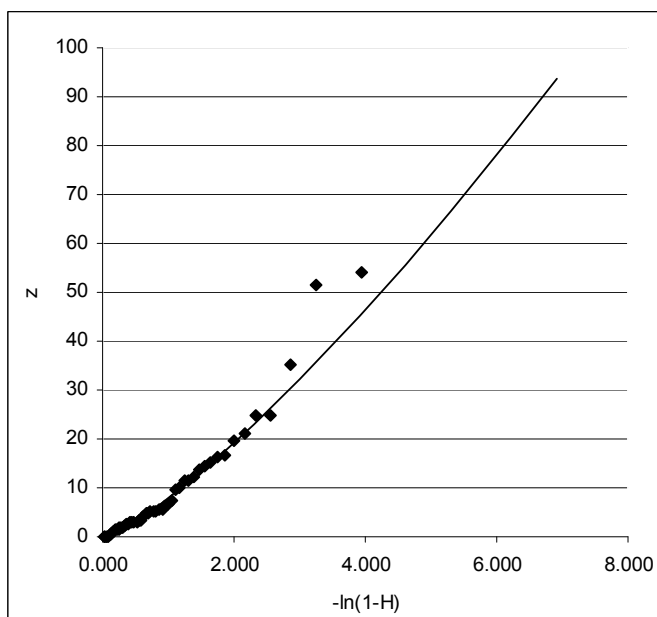
Tabela 2. Podaci o proticajima, broju prekoračenja i godišnjim maksimalnim proticajima na VS Topli Do na Toplodolskoj reci u periodu 1991-2002. Računski podaci obeleženi su sivom bojom.

god.	Proticaji (prekoračenja) iznad praga							broj prekoračenja	godišnji maksimum
91	14.50	11.40	9.80	13.40				4	14.50
92	11.00	8.40	8.80	13.40	12.20			5	13.40
93	10.20							1	10.20
94	18.34							1	18.34
95	8.74	15.76	10.88	62.40	13.03	8.32		6	62.40
96	11.76	23.44	14.80	28.10	11.76	29.50	8.32	7	29.50
97	33.00	19.80	59.60	33.00	10.00	8.32		6	59.60
98	13.60							1	13.60
99	11.30							1	11.30
00	10.00	19.80	24.75	9.02				4	24.75
01	9.85	13.80	22.15	18.10	11.25			5	22.15
02	22.75	25.00	12.95	20.50				4	25.00
03	10.55	9.85	11.25	13.80				4	13.80
04	43.50	9.52						2	43.50



Slika 2. Empirijska i teorijska frekvencija broja prekoračenja u godini za VS Topli Do, Toplodolska reka.

Za teorijsku raspodelu visine prekoračenja (razlike registrovanih proticaja i visine odabranog praga), odabrana je Vejbulova raspodela verovatnoće (Slika 3). Statistike niza prekoračenja su: srednja vrednost 9.16, standardna devijacija 11.7 i koeficijent varijacije 1.28.



Slika 3. Teorijska i empirijska funkcija raspodele visine prekoračenja praga $8.2 \text{ m}^3/\text{s}$ tokom 14 godina osmatranja proticaja na VS Topli Do na Toplodolskoj reci.

Za korišćenu dvoparametarsku Vejbulovu raspodelu visine prekoračenja, dobijene su vrednosti parametara raspodele $a = 0.779$, i $b = 7.929$. Za ocenu parametara primenjena je metoda momenata.

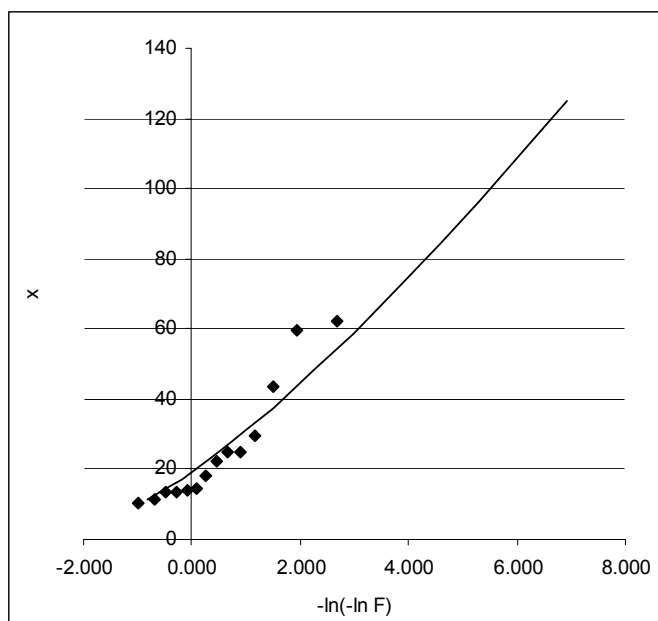
Konačno, raspodela verovatnoće pojave godišnjih maksimuma velikih voda (Slika 4) dobija se kombinacijom Poasonove i Vejbulove raspodele, pri čemu inverzna funkcija raspodele za povratni period T glasi:

$$x(T) = 8.2 + 0.779[-\ln(1 - H)]^{1/7.929},$$

$$\text{gde je } 1 - H = -\frac{\ln F}{3.5} = -\frac{\ln(1 - 1/T)}{3.5}.$$

Tabela 3. Teorijske vrednosti velikih voda na Toplodolskoj reci VS Topli Do dobijene metodom prekoračenja

F	T	Q	q
	[god]	[m ³ /s]	[m ³ /s/ km ²]
0.5	2	23.4	0.247
0.95	20	59.2	0.624
0.98	50	73.9	0.779
0.99	100	85.4	0.901
0.995	200	97.3	1.026
0.998	500	113.5	1.197
0.999	1000	126.1	1.331



Slika 4. Funkcija raspodele maksimalnih godišnjih proticaja Toplodolske reke na VS Topli Do.

3.2. Teorija graničnih intenziteta

Proračun velikih voda V.S. Topli Do, urađen Teorijom graničnih intenziteta [4] prikazan je tabelarno (Tabela 4). Korišćene redukcione krive jakih kiša i konstruisane pomoćne krive dobijene su prema izrazu Jankovića [1].

Tabela 4. Proračun maksimalnih proticaja različite verovatnoće pojave pomoću Teorije graničnih intenziteta.

TGI	p	V.S.
α –koeficijent površinskog oticaja [4]	0.001	0.65
	0.01	0.5
	0.02	0.5
	0.05	0.5
$A_p = \frac{\alpha P_{\max, dn, p}}{100} A$	0.001	52.19
	0.01	33.06
	0.02	30.77
	0.05	27.59
Kt		3
a		0.113
$E_p = \frac{16.67 K_t L_t}{a I^{1/3} A_p^{1/4}}$	0.001	592
	0.01	664
	0.02	676
	0.05	694
$Sp(E_p)$ očitano	0.001	3.10
	0.01	2.81
	0.02	2.76
	0.05	2.69
$Q_{\max, p} = A_p Sp(E_p)$ [m ³ /s]	0.001	162.0
	0.01	93.0
	0.02	85.0
	0.05	74.1

3.3. Sintetički jedinični hidrogram oblika trougla

Za određivanje sintetičkog jediničnog hidrograma su korišćene kiše kraćih trajanja [1] sračunate na osnovu visine maksimalnih dnevnih padavina različitih verovatnoća pojave, čije vrednosti su dobijene statističkom analizom maksimalnih dnevnih padavina na P.S. Topli Do [6]. Karakteristične vrednosti za dobijanje efektivnih padavina metodologijom SCS za pripadajuće slivove u profilima prikazane su tabelarno (Tabela 5Tabela 5).

Proračun maksimalne ordinate sintetičkog hidrograma oticaja oblika trougla, urađen je za različite verovatnoće pojave. Pri tome su korišćeni uobičajeni izrazi i oznake u SCS metodologiji [3].

Tabela 5. Računske vrednosti maksimalnih dnevnih padavina različitih verovatnoća pojave i vrednosti CN za profile.

P_{max} dn	0.10%	89.5
	1%	73.7
	2%	68.6
	5%	61.5
Vlažnost (II)	CN(C)	72.7
	d(C)	95.4
	0.2*d(C)	19.1
Vlažnost (III)	CN(C)	86.6
	d(C)	39.2
	0.2*d(C)	7.8

Računske vrednosti maksimalne ordinate hidrograma oticaja za uslove prosečne (II) i nadprosečne (III) vlažnosti prikazane su tabelarno (Tabela 6Tabela 6).

Tabela 6. Rezultati proračuna maksimalne ordinate hidrograma oticaja različitih verovatnoća pojave u profilima metodom sintetičkog jediničnog hidrograma oblika trougla.

p [%]	SJH (II)	SJH (III)
0.1	41.6	168.8
1	17.2	117.1
2	12.2	101.6
5	0.0	81.2

4. REKAPITULACIJA I KONTROLA REZULTATA PRORAČUNA VELIKIH VODA

U tabeli 7 data je rekapitulacija dobijenih računskih velikih voda za stanicu Topli Do.

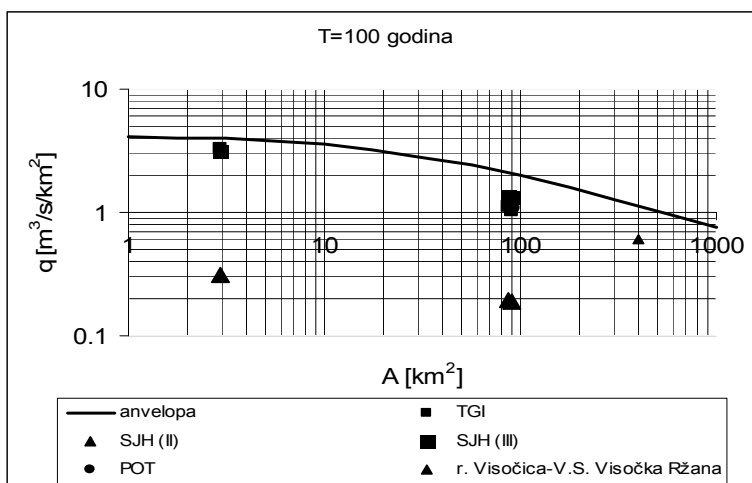
Računske velike vode u profilima vodozahvata 1 i 2 (površine slivova 2.92 i 87.19 km²) određene su preko Teorije graničnih intenziteta i metodom sintetičkog jediničnog hidrograma (aproksimacija trouglom) na izložen način.

Vrednosti specifičnih oticaja računskih velikih voda povratnih perioda 100 i 50 godina za profile zahvata, Toplodolsku reku u profilu

Topli Do i reku Visočicu VS Visočka Ržana prikazane su na Slikama 5 i 6, u odnosu na anvelopu specifičnih oticaja velikih voda za teritoriju Srbije [2].

Tabela 7. Rezultati proračuna maksimalnog proticaja Q_{max} [m^3/s] različitim metodama.

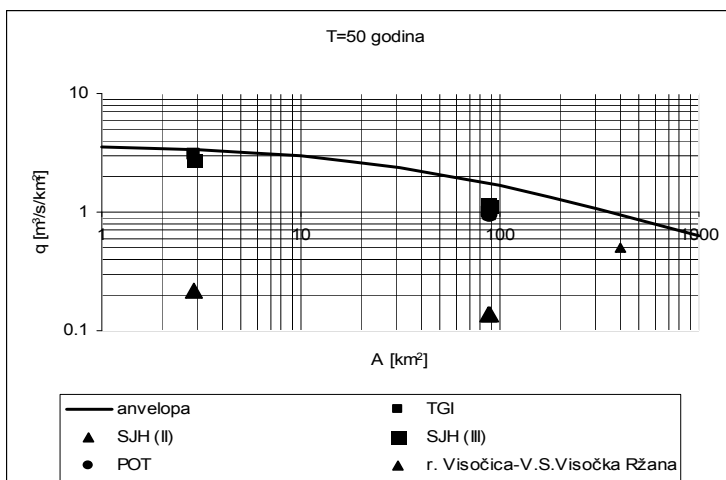
Profil	V.S. Topli DO			
	TGI	SJH (II)	SJH (III)	POT
0.1	162.0	41.6	168.8	126.1
1	93.0	17.2	117.1	97.3
2	85.0	12.2	101.6	85.4
5	74.1	/	81.2	59.2



Slika 5. Vrednost specifičnog oticaja računskih velikih voda povratnog perioda 100 godina za profile zahvata, Toplodolsku reku u profilu Topli Do i reku Visočicu VS Visočka Ržana.

Kao merodavne računске vrednosti računskih velikih voda različitih verovatnoća pojave u profilima vodozahvata, RHMZ Srbije je prihvatio vrednosti dobijene metodom sintetičkog jediničnog hidrograma, za uslove nadprosečne vlažnosti (SCS (III)). Inače, vrednosti dobijene metodom prekoračenja iz osmotrenih podataka u profilu V.S. Topli Do najviše odgovaraju vrednostima dobijenim Teorijom graničnih intenziteta za povratne periode 50 i 100 godina, za

koje su za sve metode najpouzdaniji mnogobrojni faktori i koeficijenti koji se u proračunima usvajaju.



Slika 6. Vrednost specifičnih oticaja računskih velikih voda povratnog perioda 50 godina za profile zahvata, Toplodolsku reku u profilu Topli Do i reku Visočicu VS Visočka Ržana

5. LITERATURA

- [1] Janković Dragan: *Karakteristike jakih kiša za teritoriju Srbije*, Građevinski kalendar 1994, Savez građevinskih inženjera i tehničara, Beograd, p. 248-268.
- [2] Janković Dragan, Malošević Dragan: *Anvelope specifičnog oticaja velikih voda za teritoriju SR Srbije*, Vodoprivreda 21, 1991, 1-2 Jugoslovensko društvo za odvodnjavanje i navodnjavanje, Beograd,
- [3] Jovanović Slavoljub: *Deo 2. Hidrologija*, Tehničar 6, IRO Građevinska knjiga, Beograd, 1989 g. p.11-181
- [4] Petković Tiosav, Prohaska Stevan, *Metode za proračun velikih voda – II deo*, Građevinski kalendar 1990 Savez građevinskih inženjera i tehničara, Beograd, p.183-282
- [5] Potić Olivera, Blagojević Borislava: *Hidrološka studija reke Visočice za potrebe izgradnje MHE u ataru sela Visočka Ržana*, Niš 2007.
- [6] Potić Olivera, Blagojević Borislava: *Hidrološka studija reke Visočice za potrebe izgradnje MHE Topli Do*, Niš 2008.

- [7] Vukmirović, Vojislav : *Analiza verovatnoće pojave hidroloških veličina*, Naučna knjiga i Građevinski fakultet u Beogradu, Beograd, 1991.