

NOV PRISTUP U DEFINISANJU TEORIJSKIH HIDROGRAMA VELIKIH VODA NA HIDROLOŠKI IZUČENIM PROFILIMA –TEMA I DILEMA*

Prof. dr Stevan PROHASKA¹⁾, Aleksandra ILIĆ²⁾

¹⁾ Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“

²⁾ Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

REZIME

U ovom radu prikazan je nov pristup u definisanju teorijskih hidrograma velikih voda na oficijelnim hidrološkim stanicama. U osnovi rad se oslanja na primenu metode „graničnog intenziteta oticaja“ (GIO) za proračun teorijskih hidrograma velikih voda različitih verovatnoća pojave, kao i teorije dvodimenzionalnog definisanja funkcija raspodele (koincidencije) različitih parametara hidrograma velikih voda. U konkretnom slučaju, tretirana su dva osnovna parametra hidrograma velikih voda – ordinate maksimalnih godišnjih protoka i maksimalne zapremine hidrograma velikih voda u istoj kalendarskoj godini. Tariranje parametara metode GIO vrši se u uslovima izjednačavanja teorijskih vrednosti maksimalnih godišnjih protoka i maksimalnih godišnjih zapremina istih verovatnoća pojave, koji se dobijaju primenom metode GIO, odnosno standardne procedure prilagođavanja navedenih vremenskih serija teorijskim funkcijama raspodele koje se najčešće koriste u hidrološkoj praksi.

Za definisanje verovatnoće istovremene pojave navedenih parametara hidrograma velikih voda (maksimalne ordinate protoka i maksimalne zapremine hidrograma velikih voda) korišćena je procedura ko incidencije dve slučajno promenljive, razrađena u literaturi (Prohaska et al., 1999).

Definisane ko incidencije verovatnoće prevazilaženja dva razmatrana parametra hidrograma velikih voda služe za odabir konstelacija na koje se tariraju parametri metode GIO. U konkretnom slučaju, preporuka je da se odaberu sledeće konstelacije, a za odabranu verovatnoću prevazilaženja:

- Maksimalni godišnji protok – maksimalna zapremina poplavnog talasa,

- Maksimalni godišnji protok – odgovarajuća zapremina za usvojenu verovatnoću prevazilaženja,
- Odgovarajući maksimalni godišnji protok za usvojenu verovatnoću prevazilaženja – maksimalna zapremina poplavnog talasa,
- Najverovatnija kombinacija maksimalnog godišnjeg protoka i maksimalne zapremine poplavnog talasa za odabranu verovatnoću prevazilaženja.

Koju od navedenih konstelacija odabrati za merodavnu predstavlja večnu „dilemu“, što će biti detaljno obrazloženo u radu.

Rad je ilustrovan praktičnim primerom definisanja teorijskih hidrograma velikih voda različitih verovatnoća pojave na reci Vrbas u profilu hidrološke stanice Banja Luka.

Ključne reči: teorijski hidrogram, verovatnoća pojave, metoda „graničnog intenziteta oticaja“, hidrološki izučeni profili, maksimalni protok, zapremina talasa

1. UVODNE NAPOMENE

Definisanje teorijskih hidrograma velikih voda različitih verovatnoća pojave na profilima hidroloških stanica, gde postoje podaci dugogodišnjih serija osmatranja, predstavlja jedan veoma važan zadatak praktične hidrologije. U dosadašnjoj hidrološkoj praksi u našoj zemlji, a i šire, primenjuju se različiti pristupi, bez jasnog stava šta je u praksi najcelishodnije primenjivati. U osnovi, svi polaze od toga da se maksimalna ordinata hidrograma definiše na bazi raspoložive serije maksimalnih godišnjih protoka primenom različitih teorijskih funkcija raspodele verovatnoća. Za drugi, takođe veoma značajan parametar hidrograma velikih voda, a to je zapremina poplavnog talasa, koriste se razne procedure, često izvedene na bazi sračunatih

* Ovaj članak je bio objavljen u broju 279-281, ali je imao tehničku neispravnost, zbog čega ga ponovo objavljujemo, uz izvinjenje autorima.

vremena porasta hidrograma, vremena inercijalnog „zadržavanja“ padavina u slivu, vremena koncentracije i sl. Za proračun ovih vremenskih parametara koriste se uglavnom empirijske jednačine (zavisnosti) iz literature, često neproverene za naše uslove klimatskih i fizičko-geografskih karakteristika sliva.

Imajući sve ovo u vidu, autori ovoga rada su razradili jedan sasvim nov pristup u definisanju teorijskih hidrograma velikih voda na hidrološkim stanicama, kod koga se svi parametri metoda tariraju na osmotrenim podacima, u konkretnom slučaju na vremenskim serijama maksimalnih godišnjih protoka, zatim maksimalnih zapremina poplavnih talasa, kao i na karakteristikama osmotrenih oblika poplavnih talasa. U osnovi za proračun teorijskih hidrograma velikih voda koristi se metoda „graničnog intenziteta oticaja“ (GIO). Tariranje parametara metode GIO vrši se u uslovima izjednačavanja teorijskih vrednosti maksimalnih godišnjih protoka i maksimalnih godišnjih zapremina istih verovatnoća pojave, koji se dobijaju primenom metode GIO, odnosno standardne procedure prilagođavanja navedenih vremenskih serija teorijskim funkcijama raspodele koje se najčešće koriste u hidrološkoj praksi. Za odabir najpovoljnijih kombinacija (konstelacija) osnovnih parametara hidrograma – maksimalne ordinate i zapremina poplavnog talasa, koriste se karakteristične tačke na izolaciji odabrane verovatnoće prevazilaženja navedene na unapred definisanoj dvodimenzionalnoj raspodeli verovatnoće, odnosno koincidencija osnovnih parametara hidrograma velikih voda.

U tekstu koji sledi dat je kratak prikaz primenjenih metoda za proračun hidrograma velikih voda, kao i za proračun koincidencije parametara hidrograma. Praktični primer primene predloženog novog pristupa dat je za slučaj definisanja teorijskih hidrograma velikih voda reke Vrbas u profilu oficijelne hidrološke stanice Banja Luka.

2. OSNOVNE POSTAVKE METODE „GRANIČNOG INTENZITETA OTICAJA“

Prema teoriji graničnog intenziteta oticaja maksimalni protok verovatnoće pojave p ($Q_{\max,p}$) se računa po formuli:

$$Q_{\max,p} = 16,67 \cdot \bar{i}_{\max,p}(\tau) \cdot \varphi \cdot F \quad (1)$$

gde je:

$\bar{i}_{\max,p}(\tau)$ – maksimalni srednji intenzitet kiše za računsko trajanje kiše τ ,

φ – zbirni koeficijent oticaja,

F – površina sliva.

Vreme koncentracije određuje se na osnovu poznate serije maksimalnih godišnjih protoka $Q_{\max,p}$ po formuli:

$$\tau_p = \frac{16,67 \cdot K \cdot L}{a \cdot I_{ur}^{1/3} \cdot Q_{\max,p}^{1/4}} \quad (2)$$

gde je:

τ_p – vreme koncentracije,

K – odnos vremena retardacije i porasta hidrograma,

a – koeficijent koji zavisi od hrapavosti rečnog korita i srednje uravnatog pada,

L – dužina glavnog toka u km,

l – srednji uravnati pad toka u promilima.

$Q_{\max,p}$ – maksimalni protok verovatnoće pojave p u m^3/s .

Za proračun maksimalnog srednjeg intenziteta kiše $\bar{i}_{\max,p}(\tau)$ koriste se podaci o maksimalnim dnevnim padavinama i osnovna svojstva redukcionih krivih kiša jakog intenziteta u vidu:

$$\bar{i}_{\max,p}(\tau) = \frac{\psi_p(\tau)}{\tau} \cdot H_{\max,dn,p} = \overline{\psi_p(\tau)} \cdot H_{\max,dn,p} \quad (3)$$

gde je:

τ – ukupno vreme trajanja kiše u minutima,

$\psi_p(\tau)$ – ordinata redukcione krive maksimalne visine

kiše verovatnoće pojave p , za trajanje kiše τ , koja se računa na sledeći način:

$$\psi_p(\tau) = \frac{H(\tau)_p}{H_{\max,dn,p}} \quad (4)$$

gde su:

$H(\tau)_p$ – računski visina kiše za trajanje kiše verovatnoće pojave p ,

$H_{\max,dn,p}$ – računski vrednost maksimalne dnevne sume padavina verovatnoće pojave p ,

$\overline{\psi_p(\tau)}$ – ordinata redukcione krive kiše maksimalnog srednjeg intenziteta kiše za trajanje kiše τ .

Nakon sređivanja, formula za proračun maksimalnog protoka verovatnoće pojave p , glasi:

$$Q_{\max,p} = 16,67 \cdot \overline{\psi_p(\tau)} \cdot \varphi \cdot H_{\max,dn,p} \cdot F \quad (5)$$

a maksimalni modul protoka:

$$Q_{\max,p} = 16.67 \cdot \bar{\psi}_p(\tau) \cdot \varphi \cdot H_{\max,dn,p} \quad (6)$$

Oblik hidrograma velikih voda zavisi od odnosa maksimalne ordinate hidrograma $Q_{\max,p}$ i odgovarajuće zapremine poplavnog talasa W_p . Maksimalne ordinate hidrograma za različite verovatnoće pojave p računaju se po uprošćenju proceduri, kao što je objašnjeno u nastavku.

Proračun teorijskih vrednosti maksimalnog godišnjeg protoka $Q_{\max,p}$ po metodi „graničnog intenziteta oticaja” vrši se po formuli:

$$Q_{\max,p} = \frac{(\varphi H)_p \cdot F}{100} \cdot S(E) \quad (7)$$

gde je:

$(\varphi H)_p$ – uslovni sloj oticaja,

$S(E)$ – pomoćni modul maksimalne izdašnosti za pomoćno vreme doticaja E ,

$$E = \frac{16.67 \cdot K \cdot L}{a \cdot I_{ur}^{1/3} \cdot F_p^{1/4}} \quad (8)$$

$$F_p = \frac{(\varphi H)_p \cdot F}{100} \quad (9)$$

Za sračunato E se, na osnovu poznate zavisnosti $S(E)$ na profilu merodavne pluviografske stanice, određuje vrednost $S(E)$ za konkretan profil i τ , prema sledećoj jednačini:

$$\tau = \frac{E}{\sqrt[4]{S(E)}} \quad (10)$$

Proračun zapremine poplavnog talasa vrši se primenom sledeće jednačine:

$$W_p = 1000 \cdot h_p \cdot F \quad (11)$$

gde je:

h_p – sloj oticaja (mm),

$$h_p = (\varphi H)_p \cdot \psi_p(\tau) \quad (12)$$

Ordinate hidrograma velikih voda $Q_{p,i}$ ($i=1,2,3,\dots,T_B$, T_B – baza hidrograma) računaju se po Gudručevom zakonu raspodele:

$$Q_{p,i} = Q_{\max,p} \cdot 10^{-a \frac{1-X_i}{X_i}} \quad (13)$$

$$T_p = \beta_p \cdot \frac{0.278 \cdot \lambda^* \cdot h_p}{Q_{\max,p}} \quad (14)$$

gde je:

$$X_i = \frac{t_i}{T_p} \text{ – relativna apscisa hidrograma,}$$

T_p – uslovno trajanje porasta hidrograma,

$Q_{\max,p}$ – maksimalni moduo oticaja ($m^3/s/km^2$),

$$Q_{\max,p} = \frac{Q_{\max,p}}{F},$$

a – parametar koji zavisi od koeficijenta nesimetričnosti hidrograma K_S , odnosno od koeficijenta oblika hidrograma λ^* ,

$$K_S = \frac{1}{1+K},$$

$$\lambda^* = \frac{Q_{\max,p} \cdot T_p}{W_{por}}$$

β_p – koeficijent koji se tarira

W_{por} – zapremina hidrograma u fazi porasta.

Međusobne zavisnosti arametara a , λ^* i K_S mogu se naći u literaturi (Prohaska, Ristić, 2002).

3. KRATAK PRIKAZ TEORIJE DVODIMENZIONALNIH FUNKCIJA RASPODELE (KOINCIDENCIJE) OSNOVNIH PARAMETARA HIDROGRAMA VELIKIH VODA

Teorija se bazira na praktičnoj primeni dvodimenzionalne normalne funkcije raspodele dve slučajno promenljive X i Y . U osnovi, dvodimenzionalna normalna raspodela je raspodela sa gustinom verovatnoće koja se definiše na sledeći način (Prohaska, Marjanović, Čabrić, 1978):

$$f(x,y) = \frac{1}{2\pi \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y \cdot \sqrt{1-\rho^2}} \cdot e^{-\frac{1}{2(1-\rho^2)} \left[\frac{(x-\mu_x)^2}{\sigma_x^2} - \frac{2\rho(x-\mu_x)(y-\mu_y)}{\sigma_x \sigma_y} + \frac{(y-\mu_y)^2}{\sigma_y^2} \right]} \quad (15)$$

gde su:

x i y – istovremene realizacije slučajnih promenljivih X i Y , respektivno,

μ_x i μ_y – matematička očekivanja X i Y ,

σ_x i σ_y – standardne devijacije X i Y,
 ρ – koeficijent korelacije X i Y.

Da bi se odredila gustina raspodele, $f(x, y)$, prvi korak je određivanje marginalnih verovatnoća $f(x, \cdot)$ i $f(\cdot, y)$ kao:

$$f(x, \cdot) = \int_{y=-\infty}^{y=\infty} f(x, y) dy \quad (16)$$

$$f(\cdot, y) = \int_{x=-\infty}^{x=\infty} f(x, y) dx \quad (17)$$

Njihove kumulativne verovatnoće su onda:

$$F(x, \cdot) = \int_{t=-\infty}^{t=x} f(t, \cdot) dt \quad (18)$$

i

$$F(\cdot, y) = \int_{t=-\infty}^{t=y} f(\cdot, t) dt \quad (19)$$

Kumulativna raspodela verovatnoće, $F(x, y)$ se definiše:

$$F(x, y) = P[X \leq x \cap Y \leq y] = \int_{t=-\infty}^{t=x} \int_{z=-\infty}^{z=y} f(t, z) dt dz \quad (20)$$

Sledeći korak je određivanje verovatnoće prevazilaženja $\Phi(x, y)$ u dvodimenzionalnom prostoru verovatnoća (Prohaska, Marjanović, Čabrić, 1978):

$$\begin{aligned} \Phi(x, y) &= \int_{t=x}^{t=\infty} \int_{z=y}^{z=\infty} f(t, z) dt dz = P[X > x \cap Y > y] = 1 - P[X < x \cup Y < y] = \\ &= 1 - F(x, \cdot) - F(\cdot, y) + F(x, y) \end{aligned} \quad (21)$$

Primena dvodimenzionalne raspodele verovatnoća pri statističkoj analizi različitih parametara hidrograma velikih voda zahteva uprošćenja da bi opisana procedura proračuna bila primenljiva.

Osnovno uprošćenje se odnosi na pretpostavku da se svaka od razmatranih karakteristika hidrograma pokorava normalnom (log-normalnom) zakonu

raspodele, što ne mora biti slučaj. Detaljnija teorijska osnova definisanja dvodimenzionalne funkcije raspodele sa primenom grafo-analitičke procedure (Abramowitz i Stegun, 1972) u rešavanju iste može se naći u literaturi (Prohaska et al., 1999).

4. PRAKTIČNA PRIMENA NOVOG PRISTUPA ZA PRORAČUN TEORIJSKIH HIDROGRAMA VELIKIH VODA NA RECI VRBAS U PROFILU H.S. „BANJA LUKA“

S ciljem ilustracije praktične primene novog pristupa za proračun teorijskih hidrograma velikih voda na hidrološki izučeni profilima (hidrološkim stanicama) odabran je profil hidrološke stanice Banja Luka na reci Vrbas. U konkretnom slučaju korišćene su vremenske serije maksimalnih godišnjih protoka i maksimalnih godišnjih zapremina, kao i registrovani oblici istorijskih poplavnih talasa. Na osnovu podataka navedenih vremenskih serija, primenom klasične procedure prilagođavanja teorijskih funkcija raspodele verovatnoća, sračunate su teorijske vrednosti slučajnih promenljivih za različite verovatnoće pojave. Pri tome su korišćeni sledeći zakoni raspodele: Pirson III, Log Pirson III, Gumbel, Ln Normalna 3 i Ln Normalna 2. Kvalitet prilagođavanja je testiran pomoću χ^2 testa, testa Kolmogorov-Smirnov i $n\omega^2$.

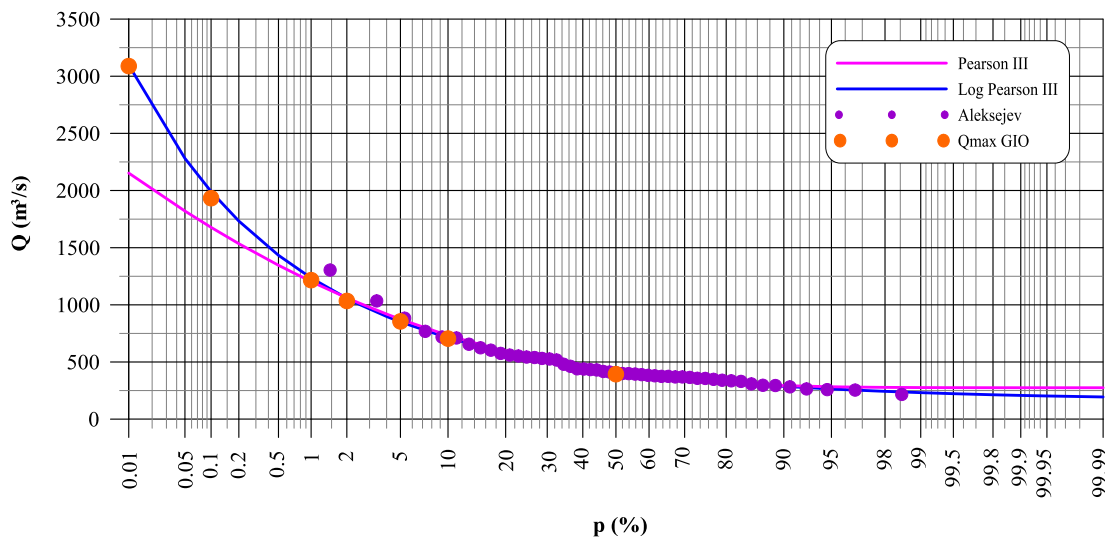
Za definisanje koincidencije razmatranih osnovnih parametara hidrograma velikih voda, odnosno definisanje dvodimenzionalnog zakona raspodele dve slučajno promenljive – maksimalnog godišnjeg protoka i maksimalne godišnje zapremine poplavnog talasa korišćena je procedura prikazana u poglavlju 3 ovoga rada.

4.1 Prikaz rezultata proračuna verovatnoće osnovnih parametara hidrograma velikih voda

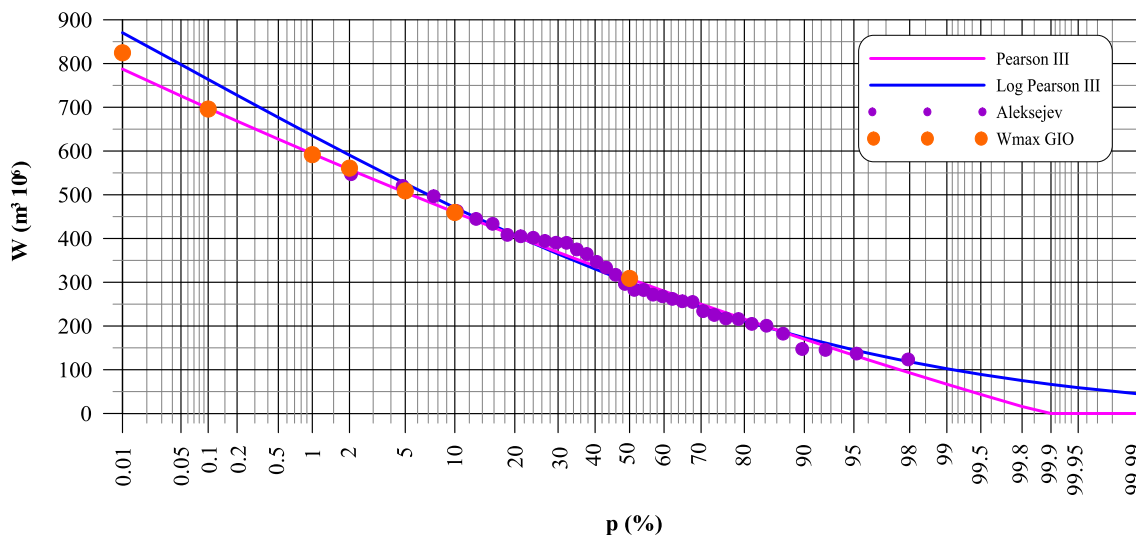
Kao što je već rečeno, za proračun teorijskih vrednosti verovatnoće maksimalnih godišnjih protoka, kao i maksimalnih godišnjih zapremina poplavnih talasa Vrbasa u profilu h.s. Banja Luka korišćene su navedene teorijske raspodele. Rezultati testiranja prilagođavanja teorijskih i empirijskih raspodela su pokazali da se za vremensku seriju maksimalnih godišnjih protoka najbolje slaganje dobija za Log Pirson III funkciju raspodele, a za seriju maksimalnih zapremina poplavnih talasa za Pirson III zakon raspodele. Rezultati ovih proračuna su prikazani numerički u tabeli 1, kao i grafički na slikama 1 i 2.

Tabela 1. Prikaz teorijskih vrednosti maksimalnih godišnjih protoka i maksimalnih zapremina poplavnih talasa reke Vrbas u profilu h.s. Banja Luka po Log Pirson III zakonu raspodele

promenljiva	Verovatnoća pojave p (%)						
	0,01	0,1	1,0	2,0	5,0	10,0	50,0
$Q_{max,p}(m^3/s)$	3098	1991	1235	1057	850	711	419
$W_{max,p}(10^6 m^3)$	787,3	697,8	593,8	557,9	505,3	460,0	308,1



Slika1. Teorijske vrednosti maksimalnih godišnjih protoka reke Vrbas u profilu hidrološke stanice Banja Luka po Log Pirson III i Pirson III funkciji raspodele i metodi „graničnog intenziteta oticaja“



Slika 2. Teorijske vrednosti maksimalnih godišnjih zapremina reke Vrbas u profilu hidrološke stanice Banja Luka po Log Pirson III i Pirson III funkciji raspodele i metodi „graničnog intenziteta oticaja“

4.2 Prikaz i interpretacija rezultata proračuna dvodimenzionalne verovatnoće (koincidencije) osnovnih parametara hidrograma velikih voda

Proračun dvodimenzionalnih verovatnoća (koincidencije) osnovnih parametara hidrograma velikih voda reke Vrbas u profilu h.s. Banja Luka rađen je sa sinhronim podacima istih vremenskih serija koje su korišćene u poglavlju 4.1. U osnovi, definisane su linije prevazilaženja dvodimenzionalnih verovatnoća:

$$P \{ (Q_{\max} \geq q_{\max, P}) \cap (W_{\max} \geq w_{\max, P}) \} = P \quad (22)$$

za verovatnoće prevazilaženja $P = 0,1, 1, 2$ i 5% .

Kvantitativni pokazatelji čvrstine korelacione zavisnosti u iznosu od:

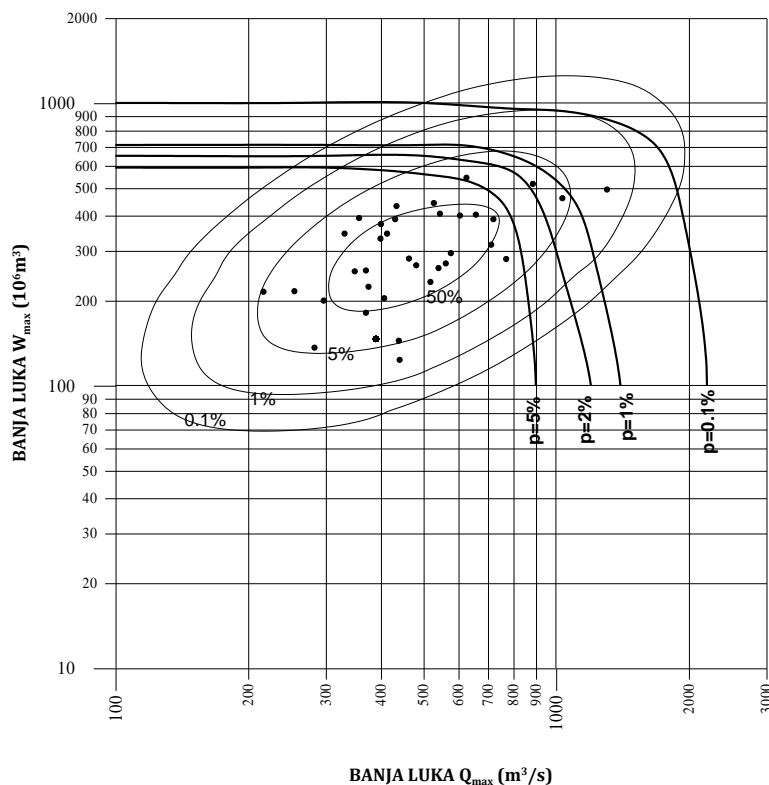
- Koeficijent linearne korelacije $R = 0,565$,
- Standardna greška ocene koeficijenta korelacije $\sigma_R = 0,114$,

ukazuju da je uspostavljena dvodimenzionalna korelaciona zavisnost, odnosno koincidencija osnovnih parametara hidrograma velikih voda statistički značajna, zato što je zadovoljena nejednakost (Yevjevich, 1972):

$$|R| \geq 3\sigma_R \quad (23)$$

Grafička predstava rezultata proračuna dvodimenzionalne funkcije raspodele osnovnih parametara hidrograma velikih voda prikazana je na slici 3.

Na osnovu prikazanog grafika na slici 3 može se zaključiti da za određenu verovatnoću prevazilaženja $P \{ (Q_{\max} \geq q_{\max, P}) \cap (W_{\max} \geq w_{\max, P}) \} = P$ postoji veoma širok dijapazon mogućnosti izbora korespondentnih vrednosti razmatranih parametara hidrograma poplavnog talasa.



Slika 3. Dvodimenzionalna raspodela (koincidencija) osnovnih parametara hidrograma (maksimalne ordinate – Q_{\max} i maksimalne zapremine talasa – W_{\max}) reke Vrbas u profilu hidrološke stanice Banja Luka

4.3 Ilustracija proračuna teorijskih hidrograma velikih voda po metodi „graničnog intenziteta oticaja“

Za potrebe ilustracije primene metode „graničnog intenziteta oticaja“ pretpostavljeno je da postoji veoma čvrsta funkcionalna veza ($R=1.0$) između osnovnih parametara hidrograma velikih voda reke Vrbas u profilu h.s. Banja Luka. To praktično znači da maksimalni godišnji protok određene verovatnoće pojave uvek koincidira sa maksimalnom godišnjom zapreminom iste verovatnoće pojave, što u osnovi, imajući u vidu rezultate iz poglavlja 4.2, ne odgovara stvarnosti. Međutim, ova konstelacija parametara hidrograma ima smisla, jer ona u suštini predstavlja „maksimalno moguću“ kombinaciju, koja u konkretnom slučaju ima verovatnoću prevazilaženja $P \{(Q_{\max} \geq q_{\max,P}) \cap (W_{\max} \geq W_{\max,P})\} > P$.

Proračun teorijskih hidrograma velikih voda po metodi „graničnog intenziteta oticaja“ (GIO) rađen je za „maksimalno moguću“ konstelaciju osnovnih parametara hidrograma velikih voda – kombinacija: maksimalni godišnji protok i maksimalna zapremina poplavnog talasa. Za ove pretpostavke, parametri metode GIO tariraju se na sračunate funkcije raspodele maksimalnih godišnjih protoka (slika 1) i maksimalnih zapremina poplavnih talasa (slika 2). Rezultati proračuna osnovnih elemenata hidrograma velikih voda reke Vrbas u profilu h.s. Banja Luka, po metodi GIO prikazani su numerički u tabeli 2. U tabeli su, takođe, prikazani i istarirani parametri metode GIO.

S ciljem verifikacije metode GIO na istim crtežima (slike 1 i 2) nanete su sračunate teorijske vrednosti maksimalnih godišnjih protoka i maksimalnih zapremina poplavnih talasa po metodi GIO. Kao što se vidi na slikama, postignuto je veoma dobro slaganje između vrednosti sračunatih primenom klasične

statističko-probabilističke analize i vrednosti dobijenih po metodi GIO.

4.4 PRORAČUN TEORIJSKIH HIDROGRAMA VELIKIH VODA PO METODI „GRANIČNOG INTENZITETA OTICAJA“ ZA RAZLIČITE KONSTELACIJE OSNOVNIH PARAMETARA HIDROGRAMA VELIKIH VODA

Imajući u vidu činjenicu da definisana dvodimenzionalna funkcija raspodele osnovnih parametara hidrograma velikih voda Vrbasa u profilu h.s. Banja Luka ukazuje da za određenu verovatnoću prevazilaženja $P \{(Q_{\max} \geq q_{\max,P}) \cap (W_{\max} \geq W_{\max,P})\} > P$ postoji veoma širok dijapazon mogućih kombinacija konstelacija maksimalnih godišnjih protoka i maksimalnih zapremina poplavnih talasa, neophodno je pronaći postupak za definisanje najoptimalnijih kombinacija.

Zbog toga autori ovoga rada predlažu da je za određenu verovatnoću prevazilaženja najcelishodnije raditi sa sledećim konstelacijama parametara istih marginalnih verovatnoća:

- Maksimalni godišnji protok – maksimalna zapremina poplavnog talasa istih marginalnih verovatnoća – $P(Q_{\max,P}, W_{\max,P})$,
- Maksimalni godišnji protok iste marginalne verovatnoće – odgovarajuća zapremina poplavnog talasa za usvojenu verovatnoću prevazilaženja – $P(Q_{\max,P}, W_{\text{cor},P})$,
- Odgovarajući maksimalni godišnji protok za usvojenu verovatnoću prevazilaženja – maksimalna zapremina poplavnog talasa iste marginalne verovatnoće – $P(Q_{\text{cor},P}, W_{\max,P})$,
- Najverovatnija kombinacija (Mod) maksimalnog godišnjeg protoka i maksimalne zapremine poplavnog talasa za odabranu verovatnoću prevazilaženja – $P(Q_{\text{Mod},P}, W_{\text{Mod},P})$.

Tabela 2. Pregled elemenata teorijskih hidrograma velikih voda reke Vrbas u profilu hidrološke stanice Banja Luka po metodi „graničnog intenziteta oticaja“

elementi teorijskih hidrograma velikih voda								
p(%)	$(\phi H)_p$	F_p	E(min)	S(E)	Q_p (m ³ /s)	q (m ³ /s/km ²)	h_p (mm)	W_p (10 ⁶ m ³)
0,01	59,0	2 582	1380	1,196	3089	0,706	188,4	824,55
0,1	40,4	1767	1516	1,093	1933	0,442	159,0	695,92
1,0	27,0	1182	1677	1,029	1216	0,278	135,2	591,69
2,0	23,5	1028	1737	1,005	1034	0,236	128,2	560,86
5,0	20,0	875	1808	0,977	854	0,195	116,3	508,91
10,0	17,0	743	1883	0,947	704	0,161	105,0	459,54
50,0	10,5	459	2124	0,855	393	0,090	70,6	308,78

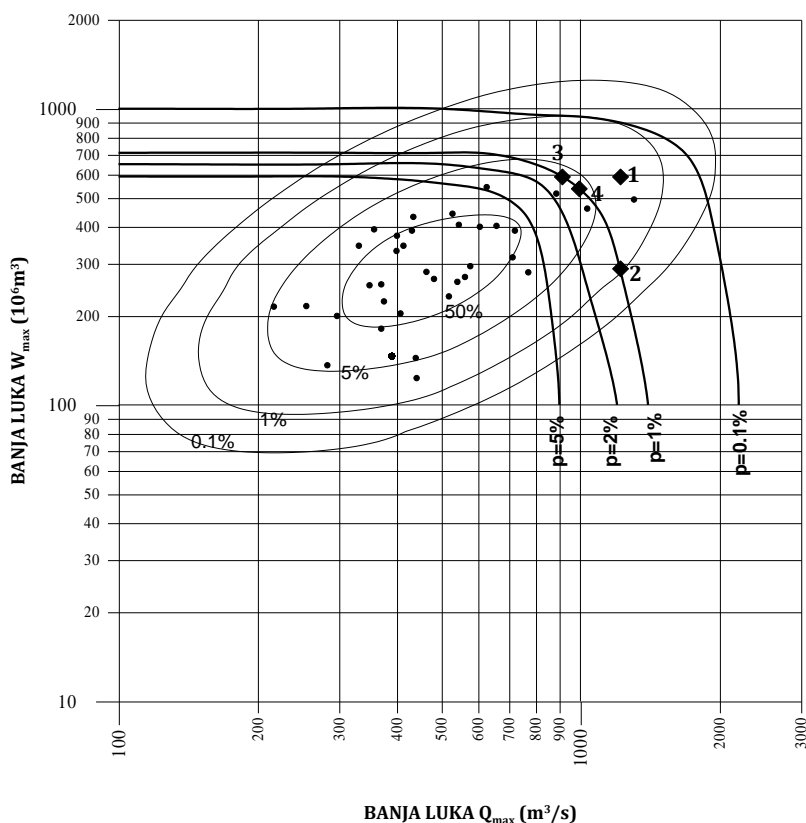
Za slučaj reke Vrbas u profilu h.s. Banja Luka konkretne vrednosti parametara hidrograma velikih voda, gde su za marginalne vrednosti preuzeti rezultati iz metode GIO, a korespondentne vrednosti sa dijagrama na slici 3, prikazane su u tabeli 3.

S ciljem boljeg vizuelnog prikaza odabranih konstelacija promenljivih (osnovnih parametara

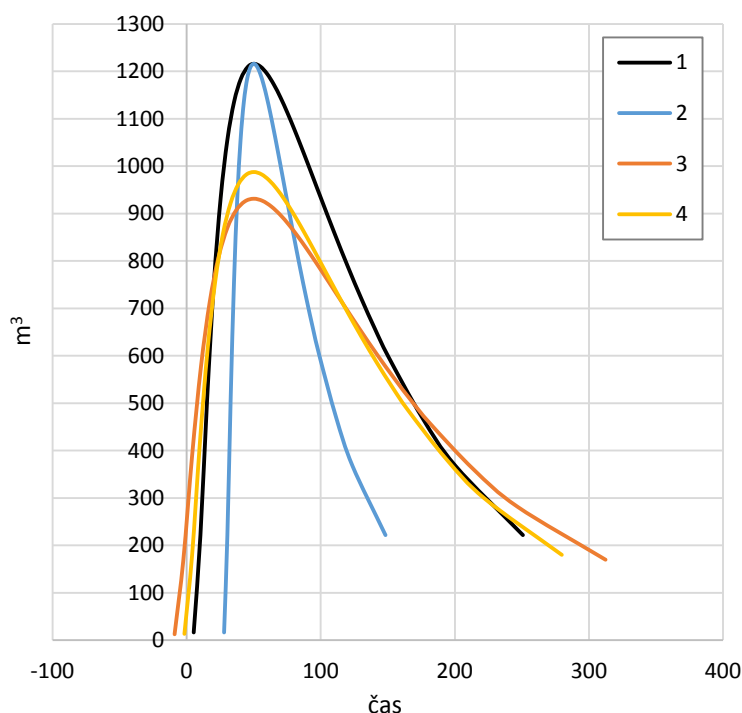
hidrograma velikih voda – maksimalne ordinate i zapremine poplavnih talasa), a za verovatnoću prevazilaženja $P \{(Q_{\max} \geq q_{\max,p}) \cap (W_{\max} \geq w_{\max,p})\} = 1,0\%$, na slici 4 prikazana je definisana dvodimenzionalna funkcija koincidencije sa naznačenim rednim brojem tačaka usvojenih konstelacija promenljivih.

Tabela 3. Prikaz usvojenih konstelacija osnovnih parametara hidrograma velikih voda reke Vrbas u profilu h.s. Banja Luka za različite verovatnoće prevazilaženja njihovih koincidencija

RB	Konstelacija promenljivih	Verovatnoća prevazilaženja – $P \{(Q_{\max} \geq q_{\max,p}) \cap (W_{\max} \geq w_{\max,p})\} = P$							
		0,1 %		1,0 %		2,0 %		5,0 %	
		Q_{\max} (m^3/s)	W_{\max} ($10^6 m^3$)	Q_{\max} (m^3/s)	W_{\max} ($10^6 m^3$)	Q_{\max} (m^3/s)	W_{\max} ($10^6 m^3$)	Q_{\max} (m^3/s)	W_{\max} ($10^6 m^3$)
1	max,p – max,p	1933	696	1216	592	1034	561	855	509
2	max,p – cor,p	1933	410	1216	290	1034	250	855	200
3	cor,p – max,p	1700	696	910	592	800	561	510	509
4	Mod,p – Mod,p	1500	810	990	540	890	490	780	430



Slika 4. Dvodimenzionalna raspodela (koincidencija) osnovnih parametara hidrograma (maksimalne ordinate – Q_{\max} i maksimalne zapremine talasa – W_{\max}) reke Vrbas u profilu hidrološke stanice Banja Luka sa naznačenim usvojenim konstelacijama za verovatnoću prevazilaženja njihovih koincidencija 1%



Slika 5. Stogodišnji hidrogrami velikih voda reke Vrbas u profilu hidrološke stanice Banja Luka za usvojene kombinacije osnovnih parametara hidrograma (maksimlane ordinate $-Q_{max}$ i maksimalne zapremine talasa $-W_{max}$)

Proračuni teorijskih hidrograma velikih voda reke Vrbas u profilu h.s. Banja Luka, po metodi GIO, izvršeni su za sve četiri konstelacije promenljivih i odabrane verovatnoće prevazilaženja (tabela 3). Grafički rezultat prikazan je na slici 5 samo za verovatnoću prevazilaženja $P=1\%$.

Kao što se vidi na slici 5 dobijena su četiri različita hidrograma, od kojih, svaki za sebe sa različitog stanovišta, predstavlja **stogodišnji hidrogram velike vode reke Vrbas u profilu hidrološke stanice Banja Luka**.

5. TEME I DILEME

Osnovna ideja autora ovoga rada jeste da predlože jedan sasvim **novi pristup u definisanju teorijskih hidrograma velikih voda na hidrološki izučanim profilima**, kakvi su profili oficijelnih hidroloških stanica sa dugogodišnjim nizovima osmatranja vodostaja i merenjima protoka. To je svakako veoma aktuelna TEMA, koja permanentno traje i trajaće sve dok srpski hidrolozi ne smognu snage da konačno utvrde odgovarajuće standarde za ovu vrstu hidroloških obrada i analiza. Ovim predlogom autori ovog rada žele

samo da podstaknu i pospeše jednu takvu inicijativu za dobrobit svih korisnika hidroloških proračuna.

Teorijski hidrogrami velikih voda različitih verovatnoća pojave su jedan od najbitnijih hidroloških elemenata kada su u pitanju sledeće vodoprivredne aktivnosti:

- Odbrana i zaštita od poplava,
- Dimenzionisanje akumulacija i retenzija u funkciji odbrane od poplava,
- Dimenzionisanje nasipa, mostova i propusta,
- Ocena rizika i upravljanje rizikom od poplava.

Sa aspekta navedenih aktivnosti nisu svi parametri hidrograma velikih voda od istog značaja, odnosno težine. Najfrekventniju praktičnu upotrebu ima maksimalna ordinata hidrograma (špic, pik talasa) i ona igra dominantnu ulogu u skoro svim navedenim vodoprivrednim aktivnostima. Zapremina poplavnog talasa je veoma bitna za potrebe optimalnog dimenzionisanja, kako brana i retenzija, tako i za uspešno sprovođenje odbrane od poplava, analize prostiranja poplave u prostoru, a s tim u vezi i ocenu rizika od poplava i upravljanje rizikom. Trajanje poplavnih talasa je značajno za optimalno

dimenzionisanje nasipa i uspešnu odbranu od poplava itd.

Šta su DILEME?

Prvo, osnovni parametri hidrograma velikih voda su ponaosob slučajne veličine koje se pokoravaju nekom jednodimenzionalnom, dvodimenzionalnom ili višedimenzionalnom zakonu raspodele. Sprovedene dvodimenzionalne analize verovatnoće u ovom radu samo potvrđuju svu širinu mogućnosti raznoraznih kombinacija parametara hidrograma pri definisanju teorijskog hidrograma određene verovatnoće pojave. Autori ovoga rada ukazuju da su za određenu verovatnoću prevazilaženja $P\{(Q_{\max} \geq q_{\max,p}) \cap (W_{\max} \geq w_{\max,p})\} = P$ karakteristične četiri tačke, čije koordinate (koje u suštini predstavljaju maksimalnu ordinatu hidrograma i zapreminu poplavnog talasa) definišu teorijski hidrogram iste verovatnoće pojave $P \cong p$.

Drugo, praktična vrednost teorijskih hidrograma velikih voda, određenih na osnovu koordinata četiri navede karakteristične tačke, za istu verovatnoću prevazilaženja:

$$P\{(Q_{\max} \geq q_{\max,p}) \cap (W_{\max} \geq w_{\max,p})\} = P \cong p,$$

ogleda se u sledećem:

1. Teorijski hidrogram, sastavljen iz marginalnih verovatnoća – $P(Q_{\max,p}, W_{\max,p})$, predstavlja maksimalni „mogući“ hidrogram, po oba parametra (maksimalne ordinate hidrograma i maksimalne zapremine hidrograma), i on u suštini prevazilazi verovatnoću p , tj. $p > P$. Da je to tako potvrđuje i položaj karakteristične tačke 1 na slici 5, koja može da predstavlja stogodišnji teorijski hidrogram ($p=1,0\%$), gde je evidentno da njen stvarni položaj odgovara liniji prevazilaženja verovatnoće

$$P\{(Q_{\max} \geq q_{\max,p}) \cap (W_{\max} \geq w_{\max,p})\} = P < p=1,0\%.$$

odnosno njena stvarna verovatnoća prevazilaženja (slika 5) je:

$$P\{(Q_{\max} \geq q_{\max,p}) \cap (W_{\max} \geq w_{\max,p})\} = P = 0,5\% < p=1,0\%.$$

2. Stogodišnji teorijski hidrogram sastavljen iz odgovarajućih marginalnih verovatnoća – $P(Q_{\max,p}, W_{\text{cor},p})$, jeste stogodišnji ($p=1,0\%$) samo po parametru maksimalne ordinate hidrograma, pa se može praktično koristiti samo za dimenzionisanje prelivnih organa, kota krune nasipa, mostovskih otvora, propusta i sl. Ne može biti korišćen za dimenzionisanje akumulacionih i retenzionih prostora, jer je verovatnoća pojave drugog

parametra hidrograma – zapremine poplavnog talasa manja od stogodišnje, tj. $p < 1,0\%$.

3. S druge strane, stogodišnji teorijski hidrogram sastavljen iz marginalnih verovatnoća $P(Q_{\text{cor},p}, W_{\max,p})$, jeste stogodišnji ($p=1,0\%$) samo po parametru maksimalne zapremine hidrograma i može biti korišćen za dimenzionisanje akumulacionih i retenzionih prostora, ali ne može se koristiti za dimenzionisanje prelivnih organa, kota krune nasipa, mostovskih otvora, propusta i sl, jer je verovatnoća pojave drugog parametra hidrograma – maksimalne ordinate hidrograma manja od stogodišnje, tj. $p < 1,0\%$.

4. Teorijski hidrogram sastavljen iz marginalnih verovatnoća – $P(Q_{\text{Mod},p}, W_{\text{Mod},p})$ jeste „najverovatniji“ hidrogram čija se verovatnoća prevazilaženja P i verovatnoća pojave p poklapaju (identične su), tj.

$$P\{(Q_{\max} \geq q_{\max,p}) \cap (W_{\max} \geq w_{\max,p})\} = P = p.$$

Autori ovoga rada predlažu da se ovaj „najverovatniji“ hidrogram za bilo koju verovatnoću ($P=p$) **koristi kao kontrolni u svim gore navedenim slučajevima dimenzionisanja hidrotehničkih objekata.**

ZAHVALNOST

Predstavljeni rezultati i analize su predmet istraživanja naučnog projekta „Ocena uticaja klimatskih promena na vodne resurse Srbije“ (TR-37005) za period 2011–2016. godine Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije. Autori se zahvaljuju ministarstvu na pruženoj finansijskoj pomoći i podršci.

LITERATURA

- [1] Abramowitz M., Stegun A. I., 1972: Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs and Mathematical Tables, Dover Publications, INC., New York.
- [2] Prohaska S., Marjanović N., Čabrić M., 1978: Dvoparametarsko definiranje velikih voda, Vode Vojvodine, Novi Sad.
- [3] Prohaska S., Petković T., 1989: Metode za proračun velikih voda, Deo I, Proračun velikih voda na hidrološki izučanim profilima, Građevinski calendar 89, Beograd.
- [4] Prohaska S et al., 1999: Concidence of Flood Flow of the Danube River and its Tributary, The Danube and its Basin – A Hydrological Monograph, Follow-up volime IV, Regional Cooperation of the Danube Countries in the Frame of the International Hydrological Programme of UNESCO, Bratislava.

- [5] Prohaska S., Ristić V., 2002: Hidrologija kroz teoriju i praksu, Drugo prošireno izdanje, Rudarsko-geološki fakultet, Institut „Jaroslav Černi“, Beograd.
- [6] Prohaska S., 2003: Hidrologija I Deo, Hidrometeorologija, hidrometrija i vodni režim, Rudarsko-geološki fakultet, Institut „Jaroslav Černi“, Republički hidrometeorološki zavod Srbije, Beograd.
- [7] Prohaska S., 2006: Hidrologija II Deo, Hidrološko prognoziranje, modelovanje i praktična primena, Institut „Jaroslav Černi“, Rudarsko-geološki fakultet, Republički hidrometeorološki zavod Srbije, Beograd.
- [8] Yevjevich, V., 1972: Probability and Statistics in Hydrology, Water Resources Publications, Fort Collins, Colo. U.S.A.

A NEW APPROACH TO THEORETICAL FLOOD HYDROGRAPH DEFINITION AT HYDROLOGICAL STATIONS – ISSUES AND DILEMMAS

by

Prof. Stevan PROHASKA PhD¹⁾, Aleksandra ILIĆ²⁾

¹⁾ Institute for Water Resources "Jaroslav Černi"

²⁾ Faculty of Civil Engineering and Architecture, Nis

Summary

The paper presents a new approach to theoretical flood hydrographs definition at the official hydrological stations. The theory is based on the practical application of the "maximum runoff intensity" (GIO) method for flood hydrographs determination of different probability of occurrence, as well as the theory of two-dimensional distribution function (coincidence) for various parameters of hydrographs. For this analyses two main parameters of flood hydrographs were considered – maximum annual discharge and maximum volume in the same calendar year. The parameters of GIO method were calibrated in terms of equalizing theoretical values of maximum annual discharge and maximum annual volume of the same probability of occurrence, which are obtained by applying the GIO method and values that showed best fit to time series according to theoretical distribution functions that are commonly used in hydrologic practice.

To define the probability of simultaneous occurrence of considered parameters (maximum annual discharge and maximum annual volume), the coincidence of two random variables method was applied, described in (Prohaska, et al., 1999). Defined exceedance probability of coincidences of two discussed flood hydrograph parameters are used to select the combinations which

serve for the GIO method parameters calibration. It is recommended to choose the following in this study:

- Maximum annual discharge – maximum flood wave volume,
- Maximum annual discharge – corresponding flood wave volume for selected exceedance probability,
- Corresponding maximum annual discharge for selected exceedance probability – maximum flood wave volume,
- The most likely combination of maximum annual discharge and maximum flood wave volume for the selected exceedance probability.

Which of the proposed combinations should be chosen represents the eternal "dilemma" and will be explained in detail in the paper.

The paper is illustrated with practical example of theoretical flood hydrographs definition of different probability of occurrence on the Vrbas River at the profile of the hydrological station Banja Luka.

Keywords: theoretical hydrograph, probability of occurrence, "maximum runoff intensity" method, hydrological stations, maximum discharge, flood wave volume

Redigovano 30.10.2017.