

OSNOVA ZA IZBOR MERODAVNIH TEORIJSKIH HIDROGRAMA DUŽ TOKA REKE DUNAV NA TERITORIJI REPUBLIKE SRBIJE

Prof. dr Stevan PROHASKA
Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd
Aleksandra ILIĆ
Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu
Milena JELOVAC, Ognjen PROHASKA
Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd

REZIME

Osnovna ideja autora ovoga rada je definisanje osnove za izbor merodavnih teorijskih hidrograma neophodnih za dimenzionisanje raznoraznih objekata i sistema za zaštitu od poplava duž toka reke Dunav na teritoriji Republike Srbije. Pri tome se upotpunosti koriste rezultati proračuna prezentirani u radovima istih autora, koji su objavljeni u ovom broju časopisa „Vodoprivreda” i to: teorijskih hidrograma velikih voda različitih verovatnoća pojave [6] i proračuna koincidencije osnovnih parametara hidrograma velikih voda: maksimalne ordinate hidrograma i zapremine poplavnih talasa [7]. Definisani su kriterijumi za formiranje konstelacija osnovnih parametara hidrograma velikih voda, kojima se definišu karakteristični (merodavni) teorijski hidrogrami u zavisnosti od vrste i namene hidrotehničkog objekta.

Rad je ilustrovan konkretnim rezultatima na ključnim hidrološkim stanicama duž Dunava i glavnim pritokama na teritoriji Republike Srbije, kao i graničnim hidrološkim stanicama susednih zemalja.

Ključne reči: merodavni teorijski hidrogram, maksimalni protok, zapremina poplavnog talasa, koincidencija parametara hidrograma.

1. UVODNE NAPOMENE

Definisanje merodavnih teorijskih hidrograma velikih voda različitih verovatnoća pojave je jedan od najbitnijih hidroloških zadataka 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.

U osnovi teorijski hidrogram definišu tri osnovna parametra: maksimalna ordinata hidrograma, zapremina poplavnog talasa i trajanje poplavnog talasa [1], [9]. 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 ocenom rizika od poplava i upravljanjem njenim rizikom. Trajanje poplavnih talasa je značajno za optimalno dimenzionisanje nasipa i uspešnu odbranu od poplava itd.

Pri razradi ove procedure autori su pošli od pretpostavke da su osnovni parametri hidrograma velikih voda 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 na to da su za određenu verovatnoću prevazilaženja [1], [2], [3], [8]:

$$P \{Q_{max} \geq q_{max,p}\} \cap (W_{max} \geq w_{max,p}) = P \quad (1)$$

gde su:

Q_{max} – maksimalna ordinata hidrograma,

$q_{max,p}$ – maksimalni protok verovatnoće pojave p ,

W_{max} – maksimalna zapremina hidrograma,

$w_{max,p}$ – maksimalna zapremina talasa verovatnoće pojave p ,

P – verovatnoća prevazilaženja.

karakteristične četiri tačke, čije koordinate (koje u suštini predstavljaju maksimalnu ordinatu hidrograma i zapreminu poplavnog talasa) definišu karakteristične teorijske hidrograme istih verovatnoća pojave $P \cong p$, opredeljeni različitim namenama [4], [5]. U tekstu koji sledi data su detaljna obrazloženja praktičnog korišćenja navedenih karakterističnih teorijskih hidrograma.

2. IZBOR HIDROLOŠKIH STANICA ZA DEFINISANJE MERODAVNIH TEORIJSKIH HIDROGRAMA VELIKIH VODA DUŽ TOKA DUNAVA

Pregled izabranih hidroloških stanica sa prikazom osnovnih podataka o položaju, veličini sliva i dužinama perioda osmatranja za koje su prikupljeni neophodni hidrološki podaci prikazan je u tabeli 1.

Tabela 1. Pregled izabranih hidroloških stanica sa prikazom osnovnih podataka o položaju i dužinama perioda osmatranja duž toka reke Dunav

Br	Hidrološka stanica	Reka	Površina sliva (km ²)	Period osmatranja	Država
1	Bezdan	Dunav	210250	1931-2016	SR
2	Bogojevo	Dunav	251593	1931-2016	SR
3	Slankamen	Dunav	411961	1931-2017	SR
4	Pančevo	Dunav	525009	1931-2016	SR
5	Oršava	Dunav	576232	1840-2016	RU
6	Donji Miholjac	Drava	37142	1931-2014	HR
7	Senta	Tisa	141715	1931-2016	SR
8	Sremska Mitrovica	Sava	87996	1931-2016	SR

Br	Hidrološka stanica	Reka	Površina sliva (km ²)	Period osmatranja	Država
9	Draževac	Kolubara	3588	1951-2015	SR
10	Ljubičevski most	Velika Morava	37320	1948-2015	SR

3. REZULTATI PRORAČUNA MERODAVNIH TEORIJSKIH HIDROGRAMA VELIKIH VODA NA RAZMATRANIM PROFILIMA HIDROLOŠKIH STANICA

U tekstu koji sledi daje se prikaz rezultata karakterističnih merodavnih hidrograma velikih voda na razmatranim profilima hidroloških stanica duž Dunava i njegovih glavnih pritoka. Osnova za njihovo određivanje su definisane dvodimenzionalne funkcije raspodela osnovnih parametara hidrograma velikih voda koje ukazuju na to 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 proticaja i maksimalnih zapremina poplavnih talasa. To praktično znači da postoji veliki broj kombinacija (konstelacija) osnovnih parametara hidrograma velikih voda koji odgovaraju istoj verovatnoći prevazilaženja P . Zato je neophodno da se pronađe postupak koji će, sa gledišta korisnika rezultata, definisati najoptimalnije kombinacije.

U vezi sa ovim autori ovoga rada predlažu da je za korisnike iz oblasti zaštite od poplava, a za unapred definisanu verovatnoću prevazilaženja P , najcelishodnije raditi sa sledećim konstelacijama parametara istih marginalnih verovatnoća [5]

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

Kao što se vidi na slikama 2/1-10 dobijena su po četiri različita hidrograma, od kojih hidrogrami 2, 3 i 4, svaki za sebe sa različitog stanovišta, predstavlja **stogodišnji hidrogram velike vode**. Teorijski hidrogram, sastavljen iz marginalnih verovatnoća – $P(Q_{max,P}, W_{max,P})$, koji predstavlja „maksimalni mogući“ hidrogram, jeste „kvazi stogodišnji“ hidrogram, po oba parametra (maksimalne ordinate hidrograma i maksimalne zapremine poplavnih talasa)

U konkretnom slučaju vrednosti parametara hidrograma velikih voda se preuzimaju iz rezultata

primene metode GIO [9] za „maksimalno moguću“ konstelaciju [6], a korespondentne vrednosti ostalih navedenih konstelacija za istu verovatnoću prevazilaženja P sa dijagrama dvodimenzionalnih funkcija raspodele, definisanih i prikazanih na slikama 1/1-10 u literaturi [7]. Numeričke vrednosti usvojenih konstelacija parametara hidrograma velikih voda, za sve četiri karakteristične tačke, na svim razmatranim profilima hidroloških stanica duž toka Dunava date su u tabelama 2/1-10.

Tabela 2/1. Prikaz usvojenih konstelacija osnovnih parametara hidrograma velikih voda reke Dunav u profilu h.s. Bezdan za različite verovatnoće prevazilaženja njihovih koincidencija P

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	$Q_{max,P} - W_{max,P}$	10490	36292	8656	30007	8072	27939	7265	25006
2	$Q_{max,P} - W_{cor,P}$	10490	20000	8656	15000	8072	13000	7265	11000
3	$Q_{cor,P} - W_{max,P}$	7000	36292	6000	30007	5400	27939	5000	25006
4	$Q_{Mod,P} - W_{Mod,P}$	8900	30000	7250	25000	6600	23000	6100	20500

Tabela 2/2. Prikaz usvojenih konstelacija osnovnih parametara hidrograma velikih voda reke Dunav u profilu h.s. Bogojevo za različite verovatnoće prevazilaženja njihovih koincidencija P

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	$Q_{max,P} - W_{max,P}$	11137	39899	9358	33741	8785	31674	7985	28701
2	$Q_{max,P} - W_{cor,P}$	11137	25000	9358	21000	8785	19000	7985	16000
3	$Q_{cor,P} - W_{max,P}$	9000	39899	7600	33741	7000	31674	6100	28701
4	$Q_{Mod,P} - W_{Mod,P}$	10000	35000	8500	29500	7900	28000	7100	24000

Tabela 2/3. Prikaz usvojenih konstelacija osnovnih parametara hidrograma velikih voda reke Dunav u profilu h.s. Slankamen za različite verovatnoće prevazilaženja njihovih koincidencija P

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	$Q_{max,P} - W_{max,P}$	13265	62860	11036	54261	10362	51261	9453	46830
2	$Q_{max,P} - W_{cor,P}$	13265	50000	11036	42000	10362	39000	9453	37000
3	$Q_{cor,P} - W_{max,P}$	11000	62860	9700	54261	9000	51261	8000	46830
4	$Q_{Mod,P} - W_{Mod,P}$	12000	58000	10300	50000	9500	47000	8500	44000

Tabela 2/4. Prikaz usvojenih konstelacija osnovnih parametara hidrograma velikih voda reke Dunav u profilu h.s. Pančevo za različite verovatnoće prevazilaženja njihovih koincidencija P

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	$Q_{max,P} - W_{max,P}$	17353	93806	15035	82287	14289	77901	13243	71151
2	$Q_{max,P} - W_{cor,P}$	17353	70000	15035	58000	14289	51000	13243	46000
3	$Q_{cor,P} - W_{max,P}$	16300	93806	14300	82287	13500	77901	12100	71151
4	$Q_{Mod,P} - W_{Mod,P}$	16500	9000	14500	75000	13600	70000	12500	62000

Tabela 2/5. Prikaz usvojenih konstelacija osnovnih parametara hidrograma velikih voda reke Drunav u profilu h.s. Oršava za različite verovatnoće prevazilaženja njihovih koincidencija P

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	$Q_{max,P} - W_{max,P}$	17715	95336	15606	84570	14907	80637	13908	74649
2	$Q_{max,P} - W_{cor,P}$	17715	78000	15606	70000	14907	62000	13908	55000
3	$Q_{cor,P} - W_{max,P}$	16500	95336	15000	84570	13900	80637	12000	74649
4	$Q_{Mod,P} - W_{Mod,P}$	17000	89000	15200	80000	14100	73000	12700	68000

Tabela 2/6. Prikaz usvojenih konstelacija osnovnih parametara hidrograma velikih voda reke Drave u profilu h.s. Donji Miholjac za različite verovatnoće prevazilaženja njihovih koincidencija P

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	$Q_{max,P} - W_{max,P}$	3242	5929	2534	5149	2329	4855	2060	4408
2	$Q_{max,P} - W_{cor,P}$	3242	5000	2534	2600	2329	2100	2060	1600
3	$Q_{cor,P} - W_{max,P}$	3000	5929	2150	5149	1800	4855	1600	4408
4	$Q_{Mod,P} - W_{Mod,P}$	2700	7500	2100	5200	1950	4700	1800	4000

Tabela 2/7. Prikaz usvojenih konstelacija osnovnih parametara hidrograma velikih voda reke Tise u profilu h.s. Senta za različite verovatnoće prevazilaženja njihovih koincidencija P

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	$Q_{max,P} - W_{max,P}$	4589	24600	3799	19699	3543	18080	3185	15779
2	$Q_{max,P} - W_{cor,P}$	4589	24000	3799	18000	3543	15000	3185	12000
3	$Q_{cor,P} - W_{max,P}$	4550	24600	3750	19699	3400	18080	2950	15779
4	$Q_{Mod,P} - W_{Mod,P}$	4570	24550	3760	18500	3450	18000	3000	5000

Tabela 2/8. Prikaz usvojenih konstelacija osnovnih parametara hidrograma velikih voda reke Save u profilu h.s. Sremska Mitrovica za različite verovatnoće prevazilaženja njihovih koincidencija P

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	$Q_{max,P} - W_{max,P}$	7806	24194	6569	21655	6189	20727	5671	19383
2	$Q_{max,P} - W_{cor,P}$	7806	16500	6569	13000	6189	11000	5671	8500
3	$Q_{cor,P} - W_{max,P}$	6900	24194	5950	21655	5250	20727	4800	19383
4	$Q_{Mod,P} - W_{Mod,P}$	7100	22000	6050	19400	5700	18000	5200	17500

Tabela 2/9.1. Prikaz usvojenih konstelacija osnovnih parametara hidrograma velikih voda reke Kolubare u profilu h.s. Draževac za različite verovatnoće prevazilaženja njihovih koincidencija P (u uslovima potapanja površinskog kopa „Tamnava – Zapadno polje” i Obrenovca u maju 2014. god.)

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	$Q_{max,P} - W_{max,P}$	1543	704	1028	446	878	380	682	300
2	$Q_{max,P} - W_{cor,P}$	1543	330	1028	210	878	170	682	130
3	$Q_{cor,P} - W_{max,P}$	490	704	310	446	270	380	230	300
4	$Q_{Mod,P} - W_{Mod,P}$	1150	500	780	350	650	300	510	240

Tabela 2/9.2. Prikaz usvojenih konstelacija osnovnih parametara hidrograma velikih voda reke Kolubare u profilu h.s. Draževac za različite verovatnoće prevazilaženja njihovih koincidencija P (u uslovima potpune zaštite od potapanja površinskog kopa „Tamnava – Zapadno polje” i Obrenovca u maju 2014. god.)

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	$Q_{max,P} - W_{max,P}$	2250	723	1231	490	1001	420	740	329
2	$Q_{max,P} - W_{cor,P}$	2250	490	1231	240	1001	190	740	150
3	$Q_{cor,P} - W_{max,P}$	1000	723	400	490	300	420	210	329
4	$Q_{Mod,P} - W_{Mod,P}$	1530	630	840	380	680	320	540	270

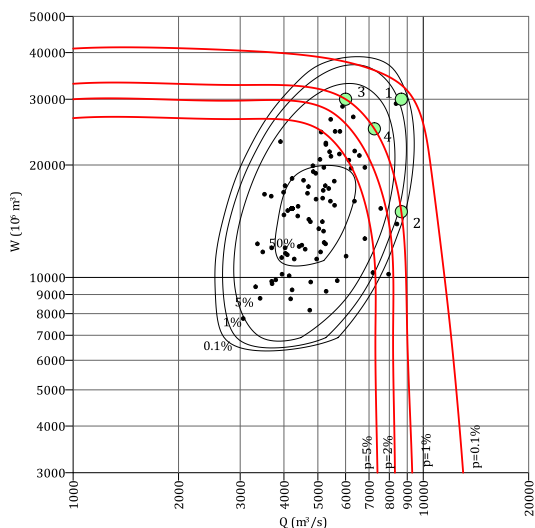
Tabela 2/10. Prikaz usvojenih konstelacija osnovnih parametara hidrograma velikih voda reke V. Morave u profilu h.s. Ljubičevski most za različite verovatnoće prevazilaženja njihovih koincidencija P

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	$Q_{max,P} - W_{max,P}$	3316	3991	2594	3322	2357	3050	2112	2707
2	$Q_{max,P} - W_{cor,P}$	3316	3980	2594	3200	2357	2750	2112	2000
3	$Q_{cor,P} - W_{max,P}$	3290	3991	2500	3322	2300	3050	1800	2707
4	$Q_{Mod,P} - W_{Mod,P}$	3300	3985	2550	3300	2300	2900	1950	2500

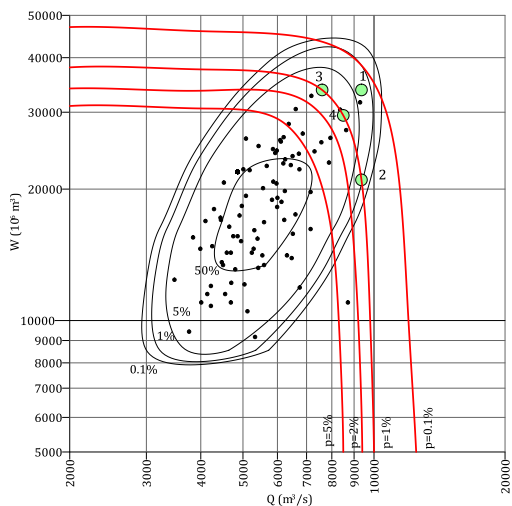
Odabrane konstelacije promenljivih (osnovnih parametara hidrograma velikih voda – maksimalne

ordinate i zapremine poplavnih talasa), a za usvojenu verovatnoću prevazilaženja

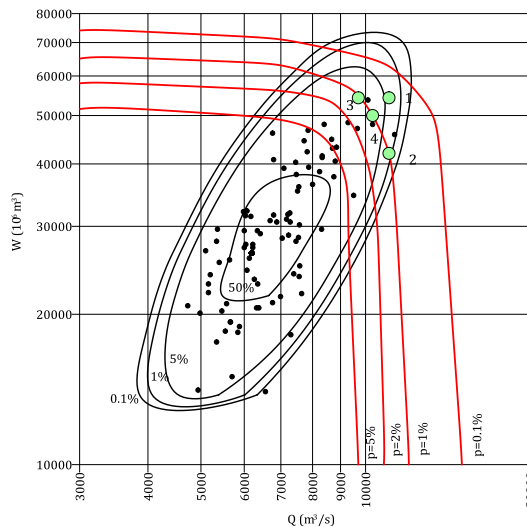
$P \{ (Q_{max} \geq q_{max,p}) \cap (W_{max} \geq w_{max,p}) \} = 1.0\%$, prikazane su na slikama 1/1-11, zajedno sa definisanim dvodimenzionalnim funkcijama koincidencije. Sve odabrane konstelacije naznačene su rednim brojem tačaka, kao što je prikazano u tabelama 2/1-10 i na slikama 1/1-10.



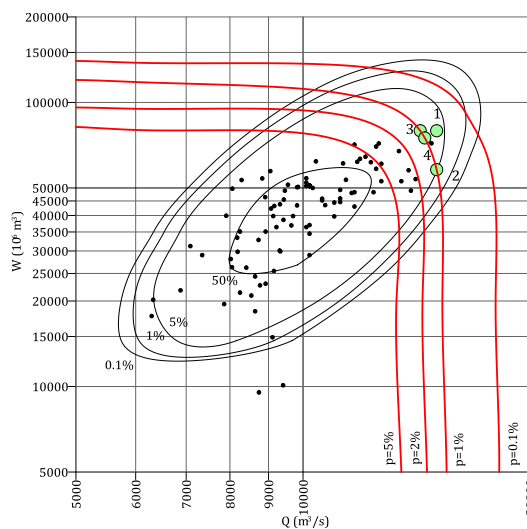
Slika 1/1. Dvovimenzionalna raspodela (koincidencija) osnovnih parametara hidrograma Q_{max} i W_{max} reke Dunav u profilu h. s. Bezdani sa naznačenim usvojenim konstelacijama za verovatnoću prevazilaženja njihovih koincidencija 1%



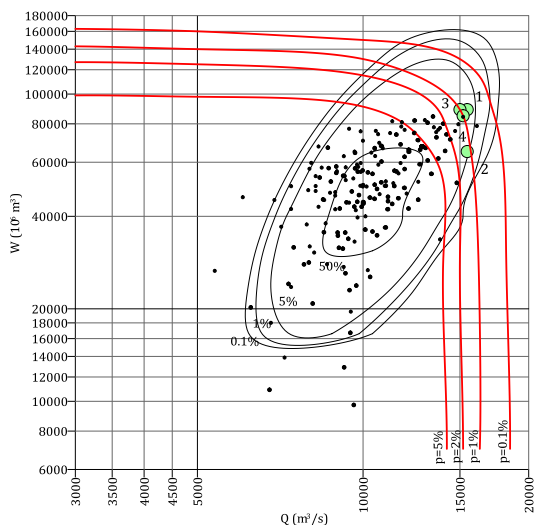
Slika 1/2. Dvovimenzionalna raspodela (koincidencija) osnovnih parametara hidrograma Q_{max} i W_{max} reke Dunav u profilu h. s. Bogojevo sa naznačenim usvojenim konstelacijama za verovatnoću prevazilaženja njihovih koincidencija 1%



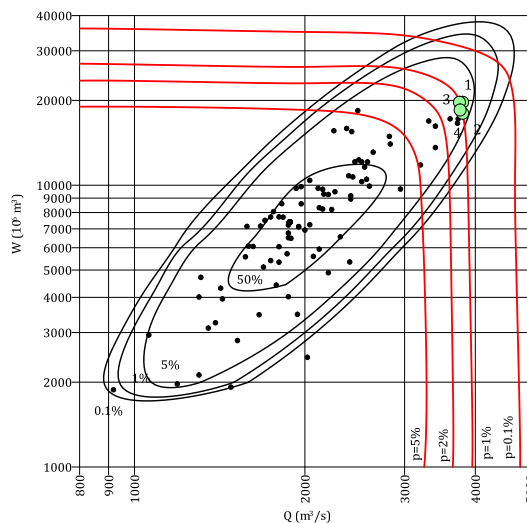
Slika 1/3. Dvovimenzionalna raspodela (koincidencija) osnovnih parametara hidrograma Q_{max} i W_{max} reke Dunav u profilu h. s. Slankamen sa naznačenim usvojenim konstelacijama za verovatnoću prevazilaženja njihovih koincidencija 1%



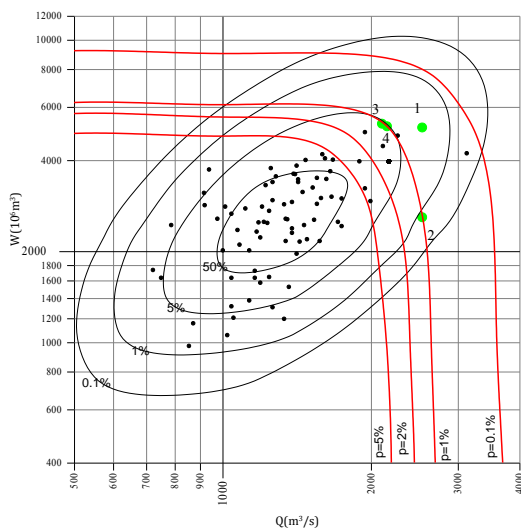
Slika 1/4. Dvovimenzionalna raspodela (koincidencija) osnovnih parametara hidrograma Q_{max} i W_{max} reke Dunav u profilu h. s. Pančevo sa naznačenim usvojenim konstelacijama za verovatnoću prevazilaženja njihovih koincidencija 1%



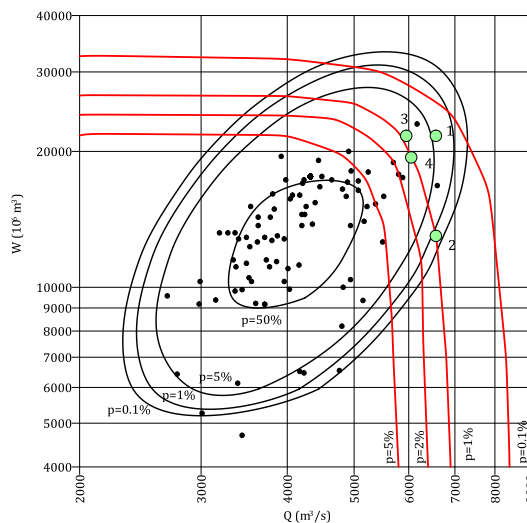
Slika 1/5. Dvovimenzionalna raspodela (koincidencija) osnovnih parametara hidrograma Q_{max} i W_{max} reke Dunav u profilu h. s. Oršava sa naznačenim usvojenim konstelacijama za verovatnoću prevazilaženja njihovih ko incidencija 1%



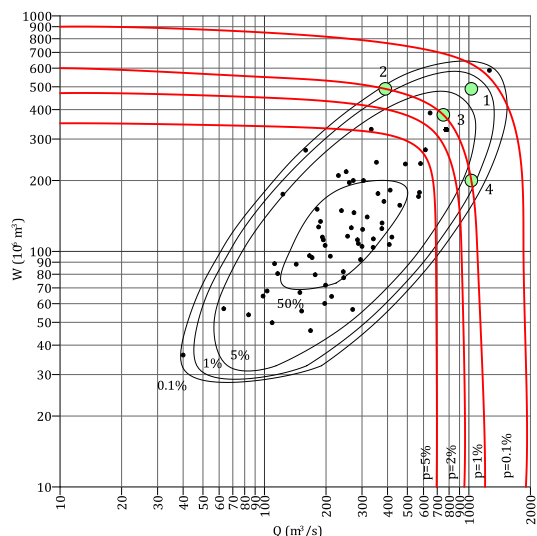
Slika 1/7. Dvovimenzionalna raspodela (koincidencija) osnovnih parametara hidrograma Q_{max} i W_{max} reke Tise u profilu h. s. Senta sa naznačenim usvojenim konstelacijama za verovatnoću prevazilaženja njihovih ko incidencija 1%



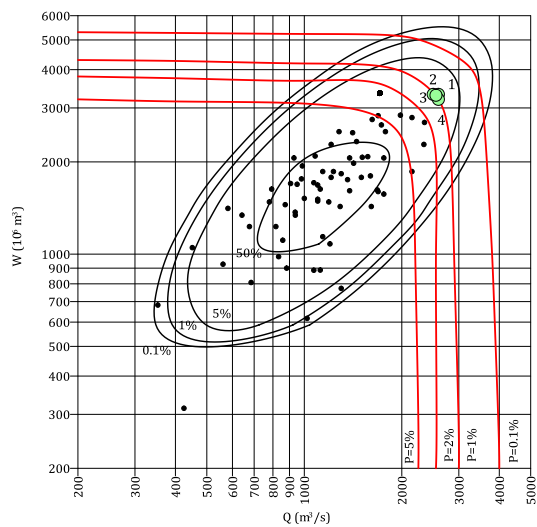
Slika 1/6. Dvovimenzionalna raspodela (koincidencija) osnovnih parametara hidrograma Q_{max} i W_{max} reke Drave u profilu h. s. Donji Miholjac sa naznačenim usvojenim konstelacijama za verovatnoću prevazilaženja njihovih ko incidencija 1%



Slika 1/8. Dvovimenzionalna raspodela (koincidencija) osnovnih parametara hidrograma Q_{max} i W_{max} reke Save u profilu h. s. Sremska Mitrovica sa naznačenim usvojenim konstelacijama za verovatnoću prevazilaženja njihovih ko incidencija 1%

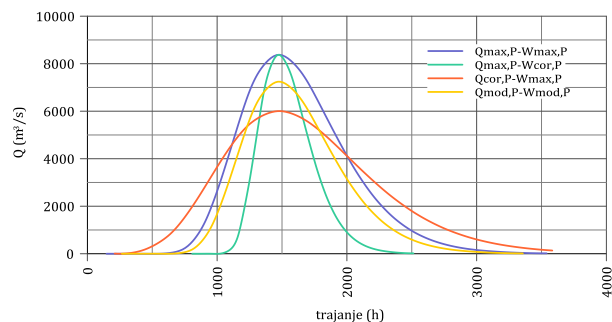


Slika 1/9. Dvodimenzionalna raspodela (koincidencija) osnovnih parametara hidrograma Q_{max} i W_{max} reke Kolubare u profilu h. s. Draževac sa naznačenim usvojenim konstelacijama za verovatnoću prevazilaženja njihovih ko incidencija 1%

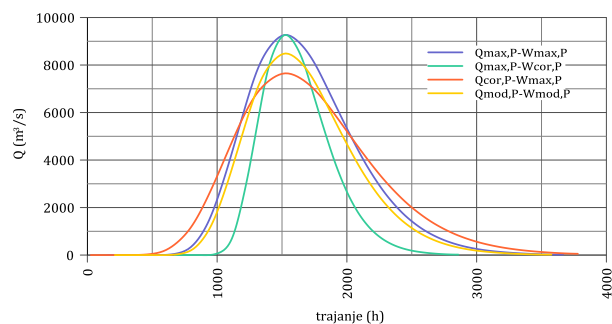


Slika 1/10. Dvodimenzionalna raspodela (koincidencija) osnovnih parametara hidrograma Q_{max} i W_{max} reke Velike Morave u profilu h. s. Ljubičevski most sa naznačenim usvojenim konstelacijama za verovatnoću prevazilaženja njihovih ko incidencija 1%

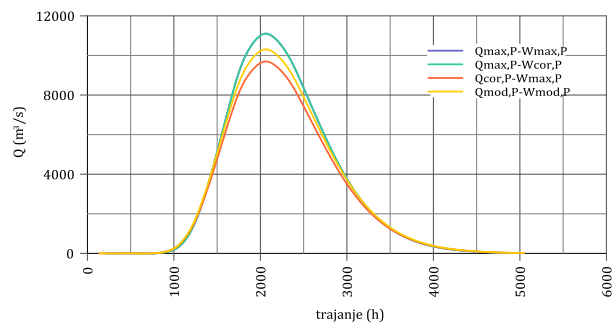
Za sve četiri odabrane konstelacije promenljivih sa verovatnoćom prevazilaženja $P=1.0\%$ sračunati su teorijski hidrogrami velikih voda reke Dunav u svim razmatranim profilima, po metodi GIO, a rezultati proračuna prikazani su grafički na slikama 2/1-10.



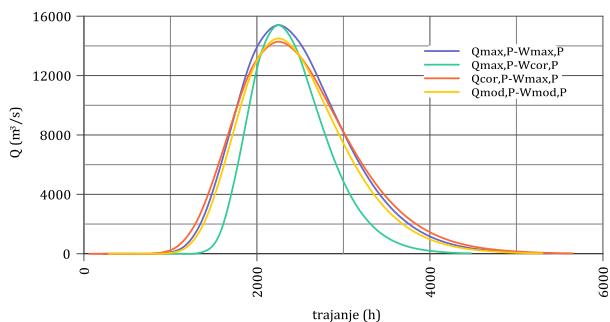
Slika 2/1. Stogodišnji hidrogrami velikih voda reke Dunav u profilu h. s. Beždan za usvojene kombinacije konstelacija osnovnih parametara hidrograma Q_{max} i W_{max}



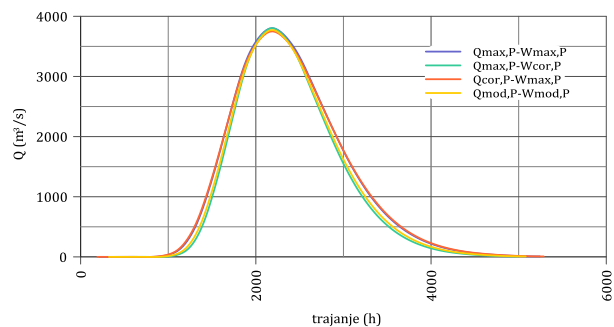
Slika 2/2. Stogodišnji hidrogrami velikih voda reke Dunav u profilu h. s. Bogojevo za usvojene kombinacije konstelacija osnovnih parametara hidrograma Q_{max} i W_{max}



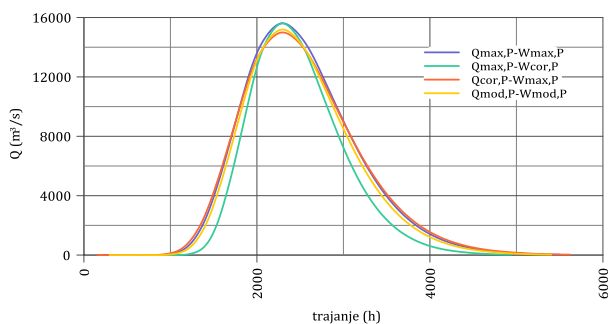
Slika 2/3. Stogodišnji hidrogrami velikih voda reke Dunav u profilu h. s. Slankamen za usvojene kombinacije konstelacija osnovnih parametara hidrograma Q_{max} i W_{max}



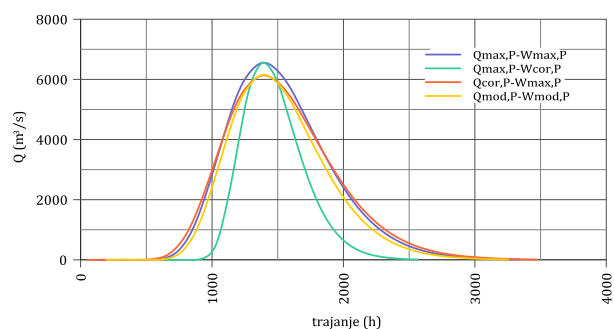
Slika 2/4. Stogodišnji hidrogrami velikih voda reke Dunav u profilu h. s. Pančevo za usvojene kombinacije konstelacija osnovnih parametara hidrograma Q_{max} i W_{max}



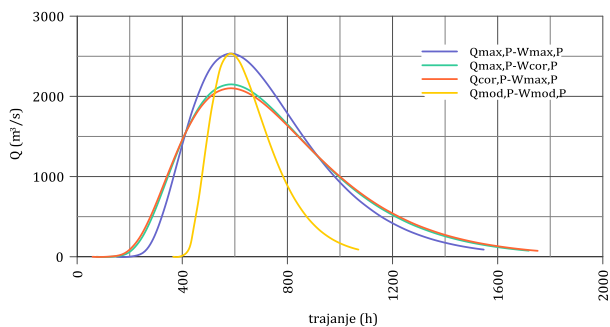
Slika 2/7. Stogodišnji hidrogrami velikih voda reke Tise u profilu h. s. Senta za usvojene kombinacije konstelacija osnovnih parametara hidrograma Q_{max} i W_{max}



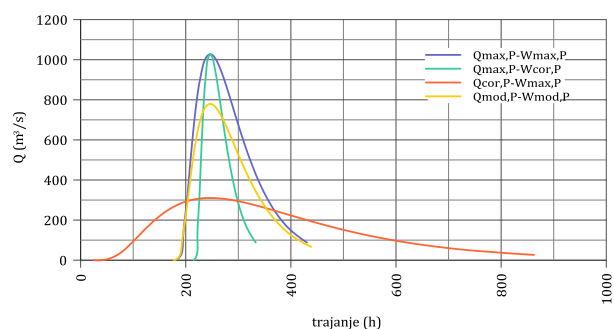
Slika 2/5. Stogodišnji hidrogrami velikih voda reke Dunav u profilu h. s. Oršava za usvojene kombinacije konstelacija osnovnih parametara hidrograma Q_{max} i W_{max}



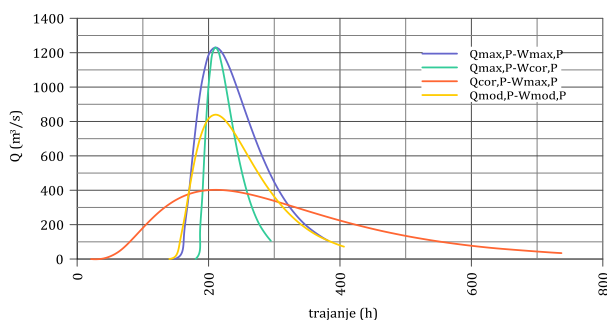
Slika 2/8. Stogodišnji hidrogrami velikih voda reke Save u profilu h. s. Sremska Mitrovica za usvojene kombinacije konstelacija osnovnih parametara hidrograma Q_{max} i W_{max}



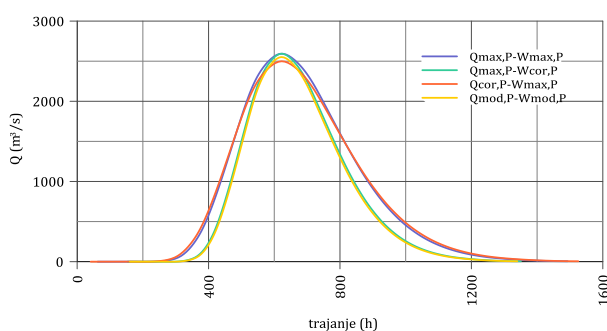
Slika 2/6. Stogodišnji hidrogrami velikih voda reke Drave u profilu h. s. Donji Miholjac za usvojene kombinacije konstelacija osnovnih parametara hidrograma Q_{max} i W_{max}



Slika 2/9.1. Stogodišnji hidrogrami velikih voda reke Kolubare u profilu h. s. Draževac za usvojene kombinacije konstelacija osnovnih parametara hidrograma Q_{max} i W_{max} – sa potapanjem



Slika 2/9.2. Stogodišnji hidrogrami velikih voda reke Kolubare u profilu h. s. Draževac za usvojene kombinacije konstelacija osnovnih parametara hidrograma Q_{max} i W_{max} – bez potapanja



Slika 2/10. Stogodišnji hidrogrami velikih voda reke Velike Morave u profilu h. s. Ljubičevski most za usvojene kombinacije konstelacija osnovnih parametara hidrograma Q_{max} i W_{max}

4. ZAKLJUČAK

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

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 ocenom rizika od poplava i upravljanjem njenim rizikom. Trajanje poplavnih talasa je značajno za optimalno dimenzionisanje nasipa i uspešnu odbranu od poplava itd.

Pri razradi ove procedure autori su pošli od pretpostavke da su osnovni parametri hidrograma velikih voda 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 na to 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 kooordinate (koje u suštini predstavljaju maksimalnu ordinatu hidrograma i zapreminu poplavnog talasa) definišu teorijski hidrogram iste verovatnoće pojave $P \cong p$.

Praktična vrednost teorijskih hidrograma velikih voda, određenih na osnovu koordinata navedene četiri 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 potvrđuju i položaji karakteristične tačke 1 na slikama 1/1-10, koja može da predstavlja stogodišnji teorijski hidrogram ($p=1.0\%$), ali 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 (vidi slike 1/1-10) odgovara tristogodišnjem povratnom periodu.

2. Stogodišnji teorijski hidrogram sastavljeniz odgovarajućih marginalnih verovatnoća – $P(Q_{max,P}, W_{cor,P})$, 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 sastavljeniz marginalnih verovatnoća $P(Q_{cor,P}, W_{max,P})$, jeste stogodišnji ($p=1.0\%$) samo po parametru maksimalne zapremine hidrograma i može biti korišćen za dimenzionisanje akumulacionih i retenzionih prostora, ali se ne može 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 sastavljeniz marginalnih verovatnoća – $P(Q_{Mod,P}, W_{Mod,P})$ 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 2011–2019. godine Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije. Autori se zahvaljuju ministarstvu na pruženju finansijskoj pomoći i podršci.

LITERATURA

- [1] Prohaska S et al.: 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, 1999.
- [2] Prohaska S.: Hidrologija II Deo, Hidrološko prognoziranje, modelovanje i praktična primena, Institut „Jaroslav Černi“, Rudarsko-geološki fakultet, Republički hidrometeorološki zavod Srbije, Beograd, 2006.
- [3] Prohaska S., Ilić A.: Coincidence of Flood Flow of the Danube River and Its Tributaries, (In: Mitja Brilly (Ed.): Hydrological Processes of the Danube River Basin - Perspectives from the Danubian Countries), Publisher: Springer, ISBN 978-90-481-3422-9, Book Chapter 6, pp. 175-226. DOI: 10.1007/978-90-481-3423-6_6, 2010.
- [4] Prohaska S., Ilić A.: Nov pristup u definisanju teorijskih hidrograma velikih voda na hidrološki izučenim profilima - teme i dileme, časopis Vodoprivreda, broj 288-290, ISSN 0350-0519, Izdavač: Srpsko društvo za odvodnjavanje i navodnjavanje, vol. 49, no. 4-6/2017, Beograd, str. 363-373, 2017.
- [5] Prohaska S., Ilić A.: Sveobuhvatni pristup određivanju hidrograma velikih voda rijeke Drave mjerodavnih za projektiranje u hidrotehnici, Hrvatske vode, Vol.25, Br. 102, str. 159-168, ISSN 1330-1144, 2017.
- [6] Prohaska S., Ilić A., Jelovac M., Prohaska O.: Teorijsko i hidrogrami velikih voda na hidrološkim stanicama duž toka reke Dunav na teritoriji Republike Srbije, Časopis Vodoprivreda – tekući broj, Beograd, 2019a.
- [7] Prohaska S., Ilić A., Jelovac M., Prohaska O.: Ocena statističke značajnosti istorijskih poplava duž toka reke Dunav na teritoriji Republike Srbije, Časopis Vodoprivreda – tekući broj, Beograd, 2019b.
- [8] Prohaska S., Marjanović N., Čabrić M.: Dvoparametarsko definiranje velikih voda, Vode Vojvodine, Novi Sad, 1978.
- [9] Prohaska S., Petković T.: Metode za proračun velikih voda, Deo I, Proračun velikih voda na hidrološki izučenim profilima, Gračevinski calendar 89, Beograd, 1989.

THE BASIS FOR DESIGN FLOOD HYDROGRAPH SELECTION AT THE DANUBE RIVER IN SERBIA

by

Prof. dr Stevan PROHASKA

Institute for the development of water resources „Jaroslav Černi“, Belgrade
Aleksandra ILIĆ

Faculty of Civil Engineering and Architecture, University of Niš

Milena JELOVAC, Ognjen PROHASKA

Institute for the development of water resources „Jaroslav Černi“, Belgrade

Summary

The basic idea of the authors of this paper is to define the basis for the selection of relevant theoretical hydrographs necessary for the design of various structures and systems for flood protection along the Danube River on the territory of the Republic of Serbia. For that purpose, results presented in the works of the same authors, published in this issue of the journal “Vodoprivreda”, are completely used: theoretical flood hydrographs with different probabilities of occurrence [6] and results of the coincidence of flood wave hydrograph basic parameters: hydrograph maximum ordinate and flood wave volumes [7]. Criteria for the selection of

constellations of basic hydrograph parameters have been formed so they define characteristic (relevant) theoretical hydrographs depending on the type and purpose of the hydrotechnical structure.

The work is illustrated by concrete results at hydrological stations along the Danube and its major tributaries on the territory of the Republic of Serbia, as well as at the bordering hydrological stations of neighboring countries.

Key words: design theoretical hydrograph, maximum flow, flood wave volume, coincidence of hydrograph parameters.

Redigovano 3.11.2019.