

РАТКО РИСТИЋ¹
БОРИС РАДИЋ
НЕВЕНА ВАСИЉЕВИЋ

КАРАКТЕРИСТИКЕ ВЕЛИКИХ ВОДА НА БУЈИЧНИМ СЛИВОВИМА У СРБИЈИ

Извод: Бујичне поплаве у Србији представљају најчешћу појаву из арсенала тзв. "природних ризика" (суше; снежне лавине; клизишта и одрони; појава града; шумски пожари; олујни ветар; земљотреси). Карактеристике великих вода проучене су на основу обраде података са 128 контролних профила, распоређених на свим значајним речним системима у Србији, јужно од Саве и Дунава: анализирана је учесталост појаве максималног протицаја Q_{\max} преко одређеног прага Q_{\maxsr} , који је дефинисан као просечна велика вода Q_{\maxsr} . Уочен је примарни максимум фреквенција, у периоду мај-јуни, као и секундарни максимум, у периоду фебруар-прва половина марта. Апсолутно максимални протицаји Q_{\maxa} прате периоде са најизраженијим фреквенцијама, мада има и значајних одступања. Изведено је неколико релација које указују на постојање зависности између просечне велике воде Q_{\maxsr} , површине слива A , средњег годишњег протицаја Q_{sr} и апсолутно максималног протицаја Q_{\maxa} [$Q_{\maxsr}=f(A)$; $Q_{\maxsr}=f(Q_{sr})$; $Q_{\maxsr}=f(A, Q_{sr})$; $Q_{\maxa}=f(Q_{\maxsr})$]. Специфични протицаји максималне ординате јединичног хидрограма одређени су на основу обраде јединичних хидрограма са 93 хидролошке станице. Представљени су историјски догађаји појаве бујичних поплава таласа, реконструисани на основу методе "хидрауличких трагова великих вода".

Кључне речи: просечна велика вода, учесталост, апсолутно максимални протицај, специфичан протицај максималне ординате јединичног хидрограма, реконструисан протицај.

Увод

Бујичне поплаве у Србији представљају најчешћу појаву из арсенала тзв. "природних ризика" (суше; снежне лавине; клизишта и одрони; појава града; пожари на већим шумским комплексима; олујни ветар; земљотреси). Вероватноћа појаве, интензитет и распрострањеност, чине их сталном претњом са последицама у еколошкој, економској и социјалној сфери. Клима, специфичан рељеф, разноликост биљног и земљишног покривача и социјално-економски услови, учинили су да је појава бујичних поплава једна од резултујућих форми постојећих ерозионих процеса. Карактеристичне су поплаве на сливовима главних притока Колубаре, из јуна 1996. године; Велике Мораве, из јула 1999. године; Колубаре и Дрине јуна 2001. године; притока Јужне Мораве, у новембру 2007.; притока Западне Мораве, Дрине и Лима, у новембру 2009. године.

Нагла појава велике воде у речном кориту, са високом концентрацијом чврсте фазе, назива се бујичном поплавом (Ристић, Р., 2000.). У екстремним случајевима долази до изливања двофазног флуида из корита, уз испољавање изузетног рушилачког дејства. Двофазни флуид садржи чврсте фракције различитих гранулација

¹ др Ратко Ристић, Универзитет у Београду – Шумарски факултет, Кнеза Вишеслава 1, Београд
Борис Радић, Универзитет у Београду – Шумарски факултет, Кнеза Вишеслава 1, Београд
мр Невена Васиљевић, Универзитет у Београду – Шумарски факултет, Кнеза Вишеслава 1, Београд

(од честица глине до громада пречника 5.0 m, масе преко 200 t), које заузимају и до 60% укупне запремине (Јевтић, Љ., 1978.). Бујични слив је хидрографска целина која обухвата корита главног тока и притока, као и њима гравитирајуће површине, на којима су присутни ерозиони процеси на одређеном стадијуму развоја. Атрибут "бујични" припада сваком сливу на коме се јављају нагли надоласци великих вода које су оптерећене високим садржајем наноса, без обзира на величину или категорију водотока. Бујични поплазни таласи су једна од екстремних форми у којој се испољавају процеси развијене ерозије.

Проучавање карактеристика великих вода на бујичним сливовима, поред теоријске, има и практичну вредност. Анализа унутар-годишње расподеле максималних протицаја, везује се за периоде који се означавају као *критични* (делови године са израженом фреквенцијом максималних протицаја преко одређеног прага; месеци карактеристични по појави апсолутних максимума), што има значај за различите службе: ЈВП "Србијаводе"; Сектор за хидрологију РХМЗС (Републички Хидрометеоролошки Завод Србије)-Одељење прогнозе вода; општинске комуналне службе (проблематика водоснабдевања; ефикасан рад система за евакуацију отпадних вода); Републичка Дирекција за воде-служба за одбрану од поплава (Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде); пољопривреда (одводњавање и наводњавање); енергетика (проблем биланса резерви у акумулацијама); службе које прате квалитет површинских вода (регионални Заводи за заштиту здравља; Сектор за контролу животне средине РХМЗС-Одељење квалитета вода).

Материјал и метод рада

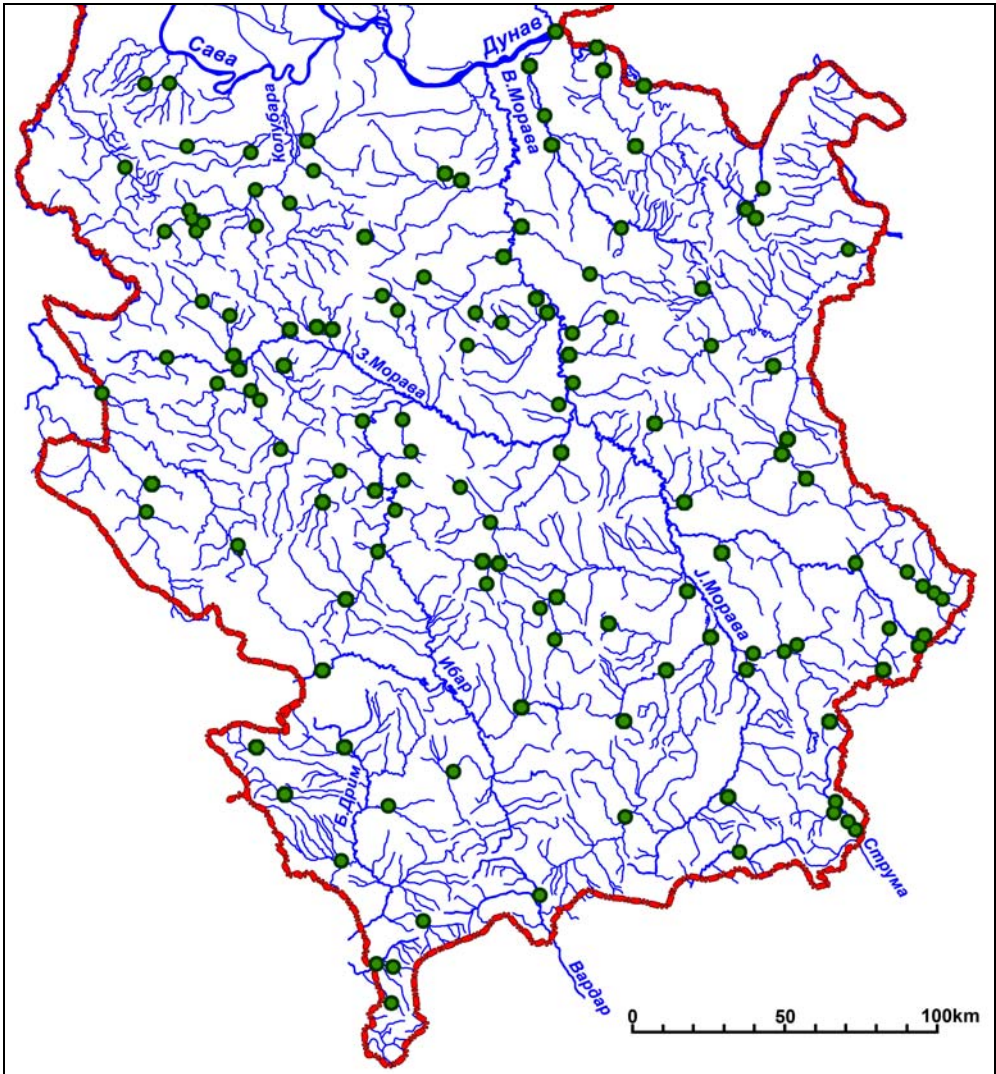
Карактеристике великих вода на бујичним сливовима у Србији проучене су на основу обраде података са 128 контролних профила (опремљених лимниграфом), распоређених на свим значајним речним системима у Србији. Контролни профили су у осматрачкој мрежи РХМЗС. Истражно подручје обухвата територију Србије јужно од Саве и Дунава (66873 km²), на сливовима: Велике Мораве; Јужне Мораве; Западне Мораве; Ибра; Колубаре; Дрине; Белог Дрима; Вардара; Струме; директних десних притока Саве и Дунава (слика 1). У анализи режима појаве великих вода коришћене су 102 хидролошке станице, док су јединични хидрограми издвојени на 93 станице.

Дијапазон величина обрађених сливних подручја износи $A=52-1268 \text{ km}^2$. Регистровани максимални протицаји су последица интензивног површинског отицаја, који настаје на три начина:

- појавом јаких киша краћег трајања, или дужих киша слабијег интензитета;
- отапањем снега;
- коинциденцијом појаве киша и отапања снега.

Бујичне поплаве на територији Србије настају као последица сва три поменути начина, али је могуће уочити доминантан начин на појединим сливовима. У овом раду је детерминисана учесталост појаве максималног протицаја Q_{\max} , преко неког утврђеног нивоа (прага), у појединим месецима, за читав низ година осматрања (закључно са 2007.). Анализирана је учесталост максималног протицаја Q_{\max} , који премашује просечну велику воду $Q_{\max sr}$, дефинисану као просек годишњих максималних протицаја $Q_{\max i}$, за читав низ година осматрања N :

$$Q_{\max sr} = \frac{\sum_{i=1}^N Q_{\max i}}{N}$$



Слика 1-Истражно подручје: територија Србије јужно од Саве и Дунава

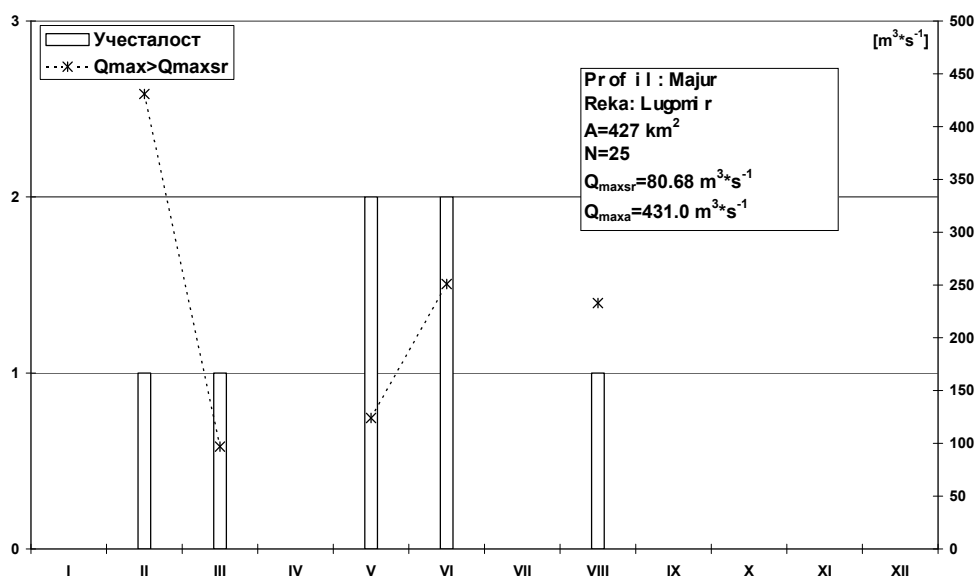
Усвојен референтни протицај, односно просечна велика вода $Q_{\max sr}$, одређена је на основу обраде низа од најмање 25 година осматрања ($N \geq 25$), што је критеријум за примену опште теорије екстрема GEV (General Extreme Value, која обухвата: Gumbel расподелу и тропараметарску расподелу) и Pearson III расподеле (IWEM, 1987.).

Оваква анализа доводи до сазнања да је појава максималних протицаја на бујичним сливовима сезонског карактера, односно, да је учесталост далеко израженија у појединим деловима године (Ристић, Р., 2000.). Може се десити да је највећа учесталост бујичних поплава, на датом сливу, последица летњих, олујних киша, а да су апсолутни максимуми производ топлих, пролећних киша које доводе до отапања снега. Специфични протицаји максималне ординате јединичног хидрограма одређени су на основу обраде јединичних хидрограма са 93 хидролошке станице, са свих важнијих речних система јужно од Саве и Дунава. У раду су приказани

историјски случајеви појаве максималног протицаја, који је реконструисан применом методе “хидрауличких трагова великих вода”.

Резултати истраживања

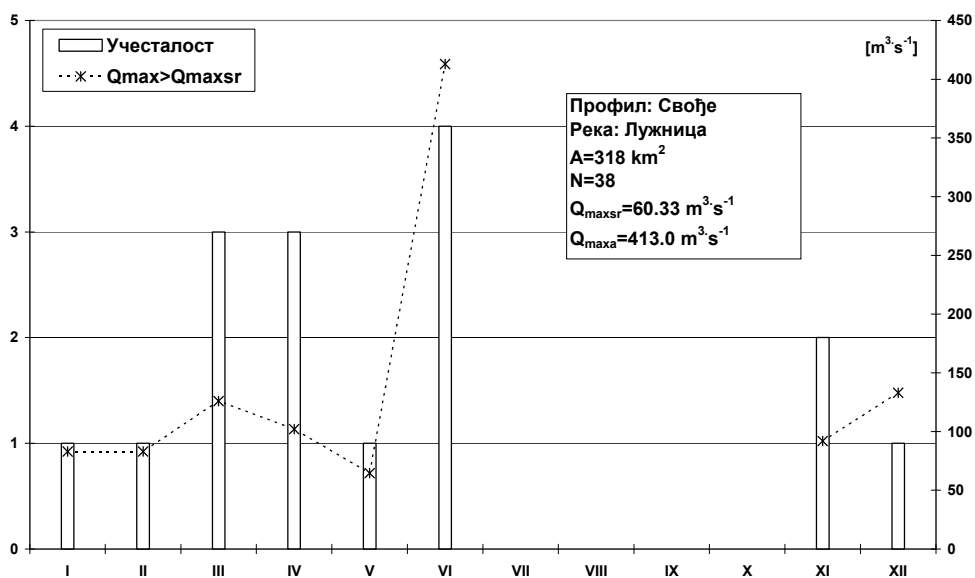
На сливу Велике Мораве, учесталост $Q_{\max} > Q_{\max sr}$ је најизраженија у пролећном периоду (мај-почетак јуна), а следи зимски период (прва половина марта). Месечни максимуми протицаја углавном следе периоде са највећом фреквенцијом ($Q_{\max} > Q_{\max sr}$), мада има примера да се апсолутни максимум $Q_{\max a}$ јави у месецу са малом учесталошћу (Орашје-Каленићка река; Мајур-Лугомир, слика 2). Апсолутни максимални протицај $Q_{\max a}$ се јавља у јуну и мају на по три профила, а у фебруару на два.



Слика 2-Учесталост $Q_{\max} > Q_{\max sr}$ (Мајур-Лугомир)

На сливу Јужне Мораве, учесталост $Q_{\max} > Q_{\max sr}$ је најизраженија на крају пролећа (прва половина јуна), а следи почетак лета (последња декада јуна-почетак јула). Месечни максимуми протицаја углавном следе периоде са највећом фреквенцијом (Свође-Лужница, слика 3), мада у сливу Топлице долази до значајног одступања на три профила (Мерћез-Луковска река; Куршумлија-Бањска; Доња Селова-Топлица), као и у сливу Пусте реке (Пуковац-Пуста). Апсолутни максимални протицај $Q_{\max a}$ се јавља у јуну и јулу на по осам профила, у фебруару на четири, у новембру на три, априлу и мају на по два, и у јануару на једном.

На сливу Западне Мораве, учесталост $Q_{\max} > Q_{\max sr}$ је најизраженија у пролећном периоду (мај-средина јуна), а следи јесењи (новембар). Месечни максимуми протицаја углавном следе периоде са највећом фреквенцијом, изузев профила Брђани-Дичина. Апсолутни максимални протицај $Q_{\max a}$ се јавља у мају на осам профила, у новембру на три, и у августу на једном.

Слика 3-Учесталост $Q_{\max} > Q_{\maxsr}$ (Свође-Лужница)

На сливу Ибра, учесталост $Q_{\max} > Q_{\maxsr}$ је најизраженија у пролећном периоду (мај-средина јуна), а следи зимски (февруар). Месечни максимуми протицаја следе периоде са највећом фреквенцијом на већини профила, док на некима долази до значајног одступања. Тако на Студеници апсолутни максимуми (мај месец) следе највеће фреквенције (Мланча-Студеница; Ушће-Студеница), док се на Рашкој апсолутни максимуми Q_{\maxa} јављају у мају (Нови Пазар-Рашка) и новембру (Рашка-Рашка), за разлику од фреквенција које достижу максимум у февруару. Апсолутни максимални протицај Q_{\maxa} се јавља у новембру на пет профила, у мају на четири, у јуну и јулу на по једном профили.

На сливу Колубаре, учесталост $Q_{\max} > Q_{\maxsr}$ је најизраженија током пролећног периода (мај-средина јуна), а следи зимски (февруар-средина марта). Месечни максимуми протицаја углавном следе периоде са највећом фреквенцијом. Апсолутни максимални протицај Q_{\maxa} се јавља у мају на четири профила, у јуну на три, у јулу и февруару на по једном профили.

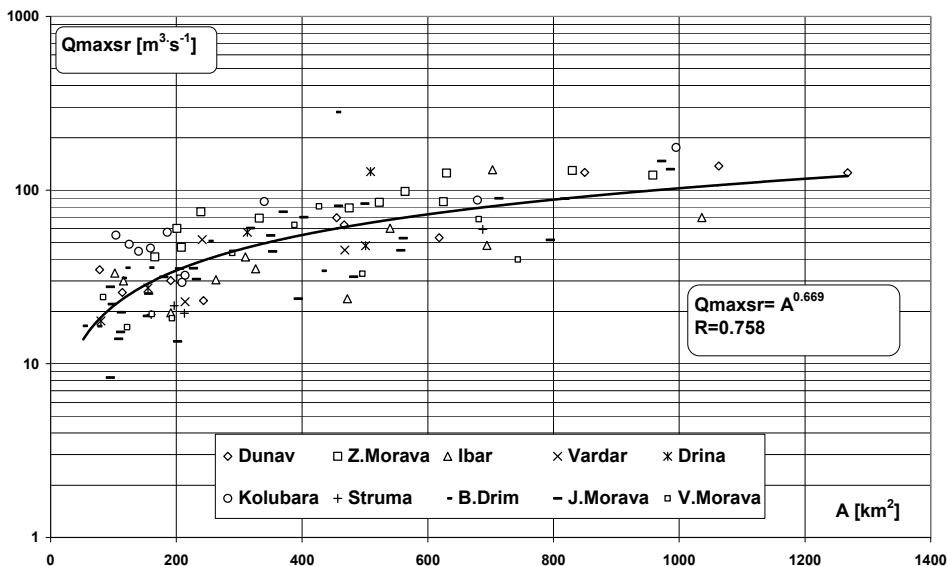
На сливу Дрине, учесталост $Q_{\max} > Q_{\maxsr}$ је најизраженија током јесење-зимског периода (новембар; децембар; февруар) а следи пролећни (април-прва половина јуна). Месечни максимуми протицаја углавном следе периоде са највећом фреквенцијом, сем знатнијег одступања на профили Вардиште-Црни Рзав. Апсолутни максимални протицај Q_{\maxa} се јавља у новембру на два профила, а у априлу, мају и јулу на по једном профили.

На сливу Дунава, учесталост $Q_{\max} > Q_{\maxsr}$ је најизраженија крајем зиме и почетком пролећа (март-април). Месечни максимуми протицаја углавном следе периоде са највећом фреквенцијом. Апсолутни максимални протицај Q_{\maxa} се јавља у јуну на четири профила, у марту на три, а у февруару, априлу, мају, јулу и августу на по једном профили.

На сливу Белог Дрима, учесталост $Q_{\max} > Q_{\maxsr}$ је најизраженија током пролећног периода (мај месец). Месечни максимуми протицаја углавном следе периоде са највећом фреквенцијом, сем у два случаја (Крушево-Рестеличка река; Млике-Бродска). Апсолутни максимални протицај Q_{\maxa} се јавља у новембру на седам профила, а у октобру на једном.

На сливу Вардара, учесталост $Q_{\max} > Q_{\max sr}$ је најизраженија током пролећа (мај-средина јуна), а следи зимски период (јануар-фебруар). Месечни максимуми протицаја углавном следе периоде са највећом фреквенцијом, сем знатнијег одступања на профилу Брод-Лепенац. Апсолутни максимални протицај $Q_{\max a}$ се јавља током маја, јуна и новембра, на по једном профилу.

На сливу Струме, учесталост $Q_{\max} > Q_{\max sr}$ је најизраженија током пролећа (април; прва половина јуна). Месечни максимуми протицаја углавном следе периоде са највећом фреквенцијом, сем профила Босилеград-Божичка река. Апсолутни максимални протицај $Q_{\max a}$ се јавља у јуну на три профила, а у септембру на једном.



Слика 4-Зависност $Q_{\max sr} = f(A)$

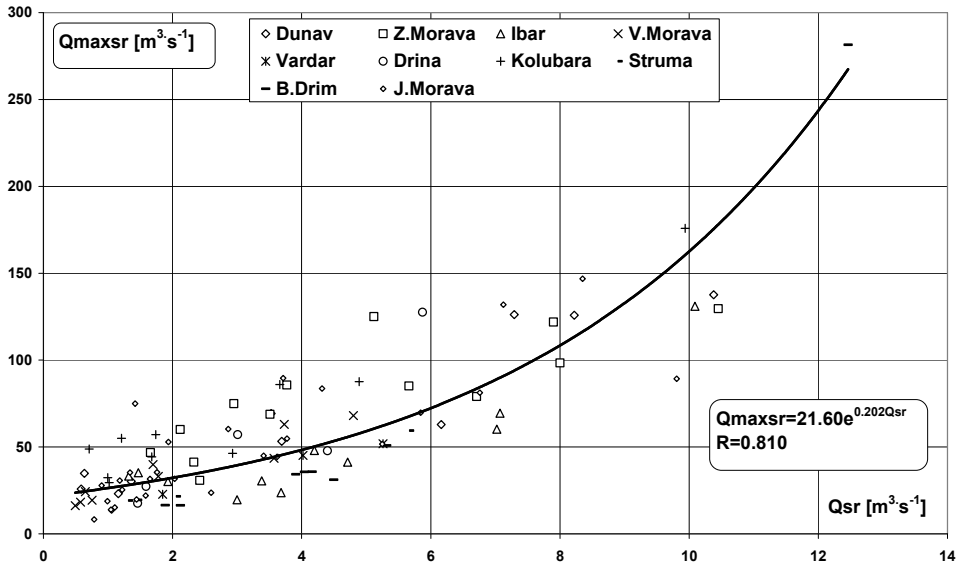
Дијаграми на којима је представљена учесталост максималног протицаја, према изнетом критеријуму ($Q_{\max} > Q_{\max sr}$), по појединим месецима, веома су илустративни у погледу годишње расподеле максималног протицаја и његове апсолутне вредности.

На сваком дијаграму, поред ознаке профила и речног тока, унет је податак о површини слива A , броју година осматрања N , просечној великој води $Q_{\max sr}$ и апсолутно максималном протицају $Q_{\max a}$ (слике 2 и 3).

На просечну велику воду $Q_{\max sr}$ значајно утиче површина слива A , као једна од доминантних физичко-географских карактеристика, што је представљено степеном везом:

$$Q_{\max sr} = A^{0.669}$$

Дијаграм (слика 4) показује релативно хомогено поље тачака, сем екстремног максимума на профилу Ђаковица-Ереник (слив Белог Дрима).

Слика 5-Зависност $Q_{\max sr}=f(Q_{sr})$

На просечну велику воду $Q_{\max sr}$ значајно утиче просечан годишњи протицај Q_{sr} , што је представљено експоненцијалном везом:

$$Q_{\max sr} = 21.60 \cdot e^{0.202Q_{sr}}$$

Дијаграм (слика 5) показује релативно хомогено поље тачака, сем високих вредности на профилима Ужичка Пожега-Скрапеж (слив Западне Мораве) и Вардиште-Црни Рзав (слив Дрине), и мале вредности на профилима Станичење-Темска (слив Јужне Мораве).

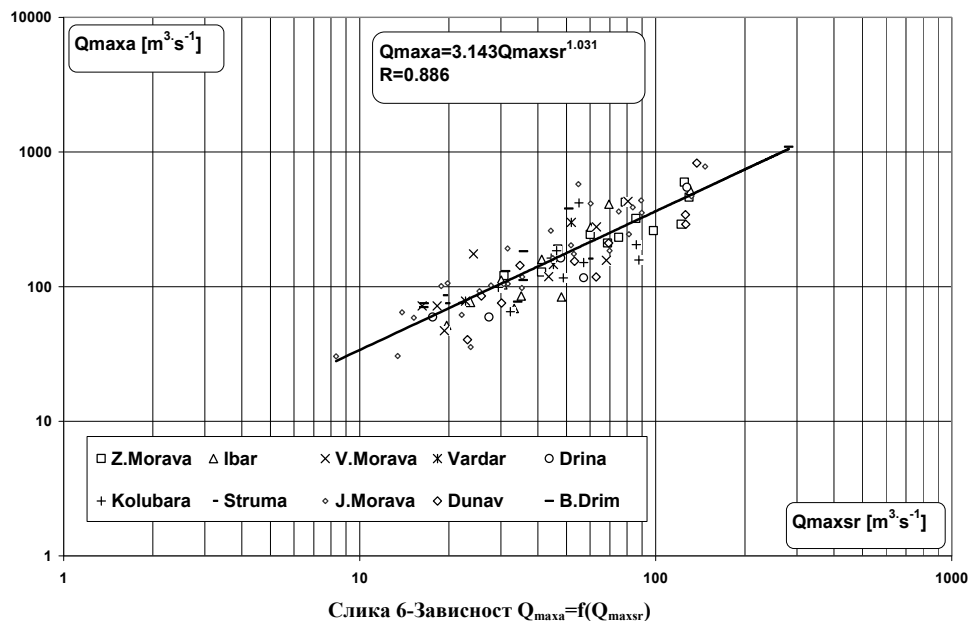
Изведена је и релација која показује утицај површине слива и средњег протицаја на просечну велику воду (са коефицијентом вишеструке корелације $R=0.824$).

$$Q_{\max sr} = 4.461 \cdot A^{0.331} \cdot Q_{sr}^{0.429}$$

Однос апсолутно максималног протицаја $Q_{\max a}$, измереног на појединим профилима, и просечне велике воде $Q_{\max sr}$, представљен је степеном везом:

$$Q_{\max a} = 3.143 \cdot Q_{\max sr}^{1.031}$$

Дијаграм (слика 6) показује релативно хомогено поље тачака, сем високе вредности на профилима Свође-Власина (слив Јужне Мораве).



Специфичан протицај максималне ординате јединичног хидрограма

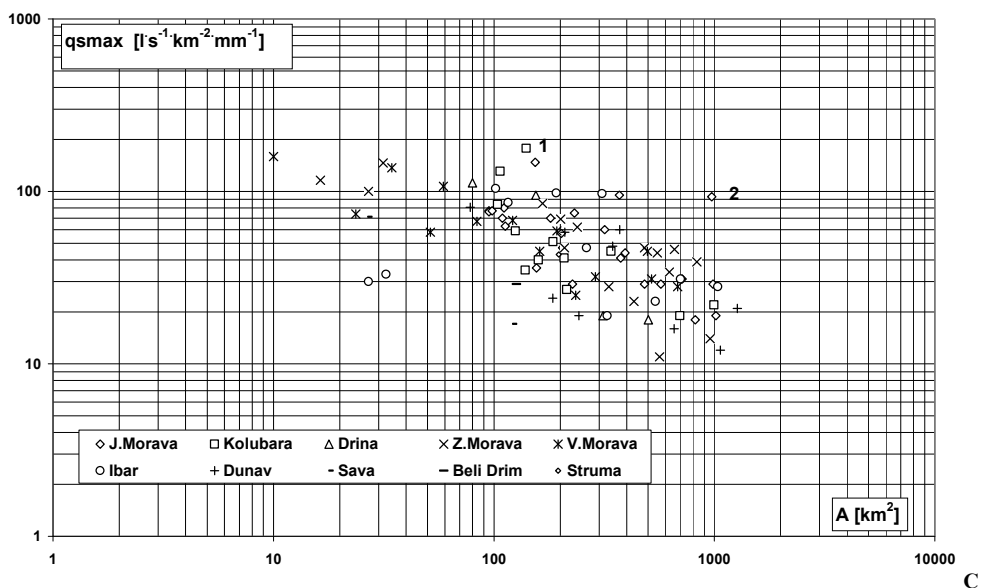
Специфични протицаји максималне ординате јединичног хидрограма ($q_{s\max}$) одређени су на основу обраде јединичних хидрограма са 93 хидролошке станице, са свих важнијих речних система јужно од Саве и Дунава:

$$q_{s\max} = \frac{q_{\max}}{A}$$

q_{\max} ($l\ s^{-1}\ mm^{-1}$) – максимална ордината јединичног хидрограма

A (km^2) – површина слива

Карактеристичне су вредности на профилу Седларе-Јабланица (величина слива $A=140\ km^2$), где је регистрован $q_{s\max}=178\ l\ s^{-1}\ km^{-2}\ mm^{-1}$, као и профилу Власотинце-Власина ($A=972\ km^2$) где је регистрован $q_{s\max}=93.0\ l\ s^{-1}\ km^{-2}\ mm^{-1}$. Међутим, на дијаграму (слика 7) се може уочити да су на сливовима површине $A < 100\ km^2$ забележене релативно мале вредности специфичног протицаја максималне ординате јединичног хидрограма. То је последица недовољног броја профила, као и кратких низова година осматрања, тако да довољан број екстремних епизода није ни регистрован. У циљу стварања објективније слике о карактеристикама великих вода на малим, неизученим сливовима, неопходно је успоставити репрезентативну мерну мрежу.



Слика 7-Специфични протицаји максималне ординате јединичног хидрограма (1-Седларе-Јабланица; 2-Власотинце-Власина)

Историјски примери појаве бујичних поплава

У табели 1. представљени су примери појаве бујичних поплава (са основним карактеристикама) које су реконструисане на основу методе “хидрауличких трагова великих вода“, док су на дијаграму (слика 8) нанете максималне вредности специфичног отицаја. Оно што је заједничко изложеним случајевима јесте: велики нагиби речног корита, $I_a=5.74-13.45\%$; значајни делови сливова под голетима, деградираним шумама или пољопривредним земљиштима; плитка, скелетна земљишта, малог инфилтрационо-регенционог капацитета; угроженост ерозијом; узрок појаве великих вода биле су јаке кише кратког трајања (90-180 минута), са интензитетима $I=0.75-1.17 \text{ mm min}^{-1}$ ($750-1170 \text{ m}^3 \text{ km}^{-2}$). Последица је била нагла појава бујичних поплава таласа, значајно учешће чврсте фазе, изражена деструктивност.

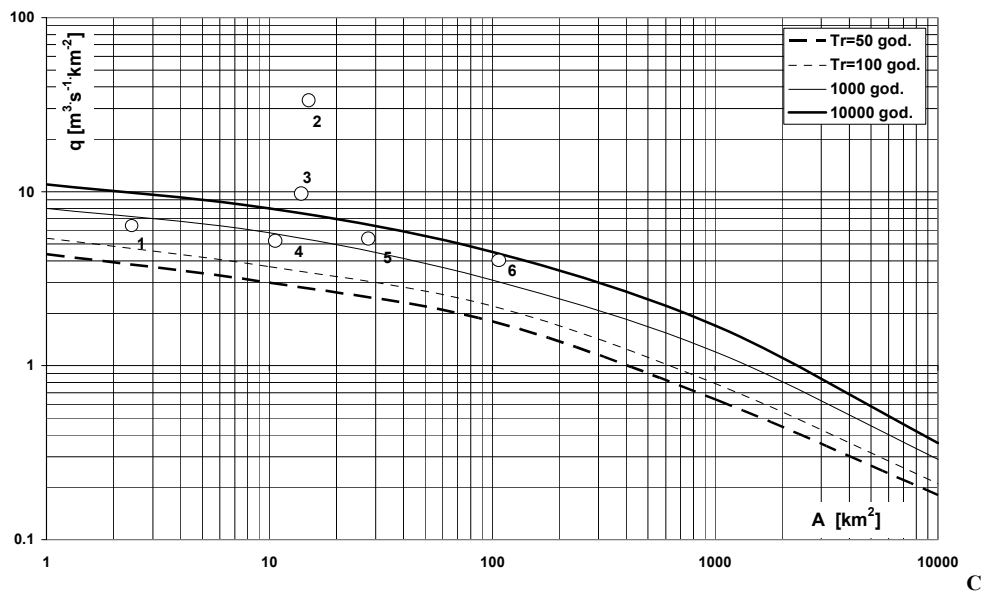
Табела 1: Основне карактеристике реконструисаних бујичних поплава

Водоток	Профил	Датум појаве	Површина слива [km ²]	Q_{\max} [m ³ s ⁻¹]	$q_{\max sp}$ [m ³ s ⁻¹ km ⁻²]	Трајање/ интензитет
Рибница	Паштрић	13.06.1996.	104	418.08	4.02	180min; 0.75mm min. ⁻¹
Манастирица	Брежђе	13.06.1996.	29.5	154.9	5.25	180min; 0.75mm min. ⁻¹
Сејаничка река	Грделица	02.07.1983.	12.51	62.75	5.02	90min; 1.01mm min. ⁻¹
Лештарска долина	Владичин Хан	25.07.1982.	2.64	16.16	6.12	90min; 1.17mm min. ⁻¹
Калиманска река	Владичин Хан	Лето 1929	16.04	149.0	9.3	/
Тимјаничка река	Неготино	1995	17.80	220.0	12.36	165min; 1.06mm min. ⁻¹

Највећи специфичан протицај $q_{sp}=4.02 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$, регистрован у осматрачкој мрежи Републичког Хидрометеоролошког Завода Србије (РХМЗС, 1997.), јавио се 13.06.1996. године на реци Рибници (профил Паштрић опремљен лимниграфом).

Истог дана, на реци Манастирици (подслив Рибнице) јавио се катастрофалан протицај, који је готово уништио центар села Брежђе, после олујне непогоде са 135 mm падавина. Протицај је реконструисан применом методе "хидрауличких трагова великих вода" (Ristić, R., et al, 1997.), а касније проверен применом хидролошко-хидрауличког модела HEC-RAS.

На Сејаничкој реци јавила се велика вода која је прелила из градске регулације (пројектоване на $Q_{\max(1\%)}=53.0 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$) и поплавила центар места Грделица (Kostadinov, S., et al, 1992.), после олујне непогоде са 91 mm падавина.



Слика 8-Специфични максимални отицаји за екстремне бујичне поплаве
(1-Љештарска долина; 2-Тимјаничка река; 3-Калиманска река;
4-Сејаничка река; 5-Манастирица; 6-Рибница)

На водотоку Љештарска долина (повремени ток, код Владичиног Хана, слив Јужне Мораве, експериментални слив Шумарског факултета опремљен лимниграфом), забележен је специфичан протицај $q_{sp}=6.12 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$, после олујне непогоде са 105 mm падавина (Костадинов, С., 1988).

На Калиманској реци (у центру Владичиног Хана улива се у Јужну Мораву) дошло је до изливања двофазног флуида из регулисаног корита и уништења центра града, 1929 године (ВО Ерозија, 1970.), са специфичним протицајем $q_{sp}=9.3 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$.

На Тимјаничкој реци у Македонији, у центру града Неготино, дошло је до изливања двофазног флуида из градске регулације (двогубо корито трапезне форме), са специфичним протицајем $q_{sp}=12.36 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$, после олујне непогоде са 175 mm падавина. (Blinkov, I., et al, 2002.). Пример бујичне поплаве на Тимјаничкој реци наведен је као екстремни догађај за регион, и одговарајућа поредбена вредност за догађаје који су забележени у Србији.

Дискусија о резултатима истраживања

Анализа учесталости максималног протицаја Q_{\max} , преко усвојеног прага (који је означен као просечна велика вода Q_{\maxsr}), показала је да су критични периоди крај пролећа (мај-прва половина јуна) и крај зиме (фебруар-прва половина марта). Период мај-прва половина јуна означен је као примарни максимум на већини сливних подручја (Велика Морава; Јужна Морава; Западна Морава; Ибар; Колубара; Бели Дрим; Вардар; Струма). Високе вредности протицаја у овом периоду су последица интензивних киша, чије је трајање, углавном, неколико сати (дневни и месечни максимуми падавина, на већини кишомерних станица у Србији, везани су за период мај-јуни). Период фебруар-прва половина марта означен је као секундарни максимум.

У овом делу године чести су продори топлих ваздушних маса, што доводи до наглог раста температуре ваздуха и отапања снега, нарочито на јужним и западним експозицијама.

Апсолутно максималне вредности протицаја Q_{\maxa} на већини профила се јављају у периодима изражених учесталости. Међутим, на неким профилима апсолутно максималан протицај Q_{\maxa} се јавља у периоду изражено мале учесталости, што је последица специфичних климатско-хидролошких услова: нагли раст температуре ваздуха током зиме што доводи до отапања снежних маса, а често коинцидира са кишама слабог интензитета, дужег трајања; појава снежних падавина крајем зиме, после чега следи нагли раст температуре ваздуха и брзо отапање; појава неколико узастопних кишних епизода током летњег периода, услед чега долази до засићења или значајне редукције инфилтрационо-ретенционог капацитета земљишта.

Релације које дефинишу однос између просечне велике воде Q_{\maxsr} , површине слива A , средњег годишњег протицаја Q_{sr} и апсолутно максималног протицаја Q_{\maxa} [$Q_{\maxsr}=f(A)$; $Q_{\maxsr}=f(Q_{sr})$; $Q_{\maxsr}=f(A, Q_{sr})$; $Q_{\maxa}=f(Q_{\maxsr})$] потврђују очекивани ниво зависности између поменутих величина.

Зависности су добијене на основу обраде података из осматрачке мреже Републичког Хидрометеоролошког Завода Србије. Проширење осматрачке мреже, раст броја година осматрања, побољшање квалитета мерне технике и одржавања, водиће увећању базе података, и модификацији односа разматраних величина.

Бујичне поплаве, као најчешћа појава из арсенала “природних ризика“ на територији Србије, захтевају озбиљан приступ који се може реализовати кроз следеће активности:

- идентификација зона ризика (читави сливови или поједине деонице корита);
- мониторинг (ниво воде у речном кориту; количина падавина), прогноза и систем упозорења;
- краткорочне мере заштите;
- дугорочне мере заштите;
- начин коришћења земљишта и управљање ризиком;
- едукација јавности и информисање.

Краткорочне мере заштите односе се на све поступке који се могу извести релативно брзо: административна забрана градње у плавној зони; чишћење регулација; забрана сече шума на нагибима. Дугорочне мере заштите се односе на: израду акумулација и ретензија за прихват поплавених вода; измештање стамбених и инфраструктурних објеката из угрожених зона (Ristić, R. et al., 2006.); противерозионо уређење сливова; регулационе радове у коритима бујичних токова. Промена начина коришћења земљишта, у циљу смањења ерозионе продукције и побољшања инфилтрационо-ретенционих својстава земљишта (пошумљавање, затрављивање, противерозиона агротехника), представља одлучујући корак којим се ризик од појаве

брзог површинског отицаја своди на минимум (Ristić, R. et al., 2001.). Дефинисане зоне ризика и уочена сезоналност у појави великих вода отварају могућност формирања система раног упозорења у реалном времену (Ristić, R. et al., 2000.), чиме се значајно смањују потенцијалне штете и ризик за локално становништво.

Специфичност услова формирања максималног отицаја на брдско-планинским сливовима (велики нагиби терена у сливу и речном кориту, могућност брзе концентрације вода, покретање великих количина ерозионог материјала) захтева обазривост приликом прорачуна максималног протицаја одређене вероватноће појаве, као основног улазног податка за димензионисање подужних и попречних објеката у бујичном кориту. Отежавајућу околност представља и непостојање контролног модела за процену тачности ових прорачуна. Једини контролни модел у нашој пракси је фамилија кривих анvelope специфичних отицаја великих вода на рекама Србије, без Војводине, за сливове величине 10-100.000 km² (Јанковић, Д.; Малошевић, Д., 1989.). Потпуно је недефинисан интервал за сливове величине $A < 10 \text{ km}^2$, јер нема сталних мерних профила у осматрачкој мрежи РХМЗС. Анvelope специфичних отицаја великих вода (приказане на дијаграму слике 8), за интервал површина $A = 1-10 \text{ km}^2$, добијене су методом графичке интерполације што се не може сматрати поузданим поступком. Интервал максималних вредности протицаја, за сливове величине $A < 10 \text{ km}^2$, могуће је дефинисати на основу реконструкције историјских бујичних поплава применом методе “хидрауличких трагова великих вода”.

Закључци

- ❑ Бујичне поплаве представљају најчешћу појаву из арсенала „природних ризика“ на територији Србије. Њихова учесталост и интензитет, последице су доминантних климатских услова и локалних физичко-географских карактеристика сливова. Негативни аспекти људског рада, чији је резултат повећање ерозионе продукције, значајно увећавају деструктивност бујичних поплава;
- ❑ Режим појаве великих вода показује да су критични периоди, у смислу појаве максималног протицаја Q_{\max} преко одређеног прага $Q_{\max st}$, на већини сливних подручја (Велика Морава; Јужна Морава; Западна Морава; Ибар; Колубара; Бели Дрим; Вардар; Струма) везани за крај пролећног периода (мај-средина јуна), што одговара месечним и дневним максимумима на већини кишомерних станица у Србији. Секундарни максимуми фреквенција везани су за крај зиме (фебруар-прва половина марта), а јављају се као последица киша, или у комбинацији са отапањем снега. Појава апсолутних максимума протицаја $Q_{\max a}$ одговара периодима изражених фреквенција, мада се јављају и атипични примери, односно, појава апсолутно максималног протицаја у периоду наглашено мале учесталости;
- ❑ У складу са уоченим особинама великих вода на бујичним сливовима (нагла појава, деструктивност, кратко време трајања, сезоналност) потребно је детерминисати зоне високог ризика и формирати систем за рано упозорење;
- ❑ Поред непроцењивог значаја података из сталне осматрачке мреже РХМЗС, неопходно је ажурирати податке који се односе на анализу бујичних поплавних таласа, са катастрофалним последицама, посебно на мањим, неизученим сливовима. Реконструкција бујичних поплава на основу методе “хидрауличких трагова великих вода”, отвара могућност формирања драгоцене базе података.

Табела 2: Списак мерних станица

	Профил	Река	A [km ²]
слив Колубаре			
1	Зеоке	Пештан	125.4
2	Коцељево	Тамнава	208
3	Уб	Уб	214
4	Боговађа	Љиг	697
5	Словац	Колубара	995
6	Ваљево	Колубара	340
7	Дегурић	Градац	159
8	Јунковац	Турија	139
9	Бело Поље	Обница	185.6
10	Седларе	Јабланица	140
11	Паштрић	Рибница	104
12	Стуборовни	Јабланица	106.7
слив Дрине			
13	Завлака	Јадар	313
14	Чедово	Вапа	501
15	Бистрица	Бистрица	80
16	Пријепоље	Милешевка	155
17	Црни Рзав	Вардиште	509
слив Западне Мораве			
18	Прелјина	Чемерница	624
19	Шенгољ	Ђетиња	550
20	Ужичка Пожега	Скрапеж	660
21	Бивоље	Расина	958
22	Туачки Напер	Гружа	318
23	Ариље	Велики Рзав	564
24	Ариље	Моравица	832
25	Стапари	Ђетиња	332
26	Роге	Велики Рзав	432
27	Гуча	Бјелица	239
28	Пријевор	Каменица	201
29	Брђани	Дичина	209
30	Ивањица	Моравица	482
31	Борач	Борачка	31.5
32	Косјерић	Скрапеж	166
33	Станишинци	Загржа	16.3
34	Брус	Расина	
35	Каленић	Градња	
слив Белог Дрима			
36	Мируша	Мируша	126.5
37	Крушево	Рестеличка	52
38	Млике	Бродска	75.3

39	Дечане	Дечанска Бистрица	114
40	Дреље	Пећка Бистрица	120
41	Призрен	Призренска Бистрица	158
42	Орђуша	Плавска	252
43	Берково	Источка	432
44	Ђаковица	Ереник	455
слив Велике Мораве			
45	Смедеревска Паланка	Јасеница	496
46	Смедеревска Паланка	Кубршница	
47	Свилајнац	Ресава	681
48	Баточина	Лепеница	518
49	Ђуприја	Раваница	161
50	Параћин	Црница	289
51	Јагодина	Белица	193
52	Горња Коморница	Осаница	34.4
53	Грбице	Угљешница	59.1
54	Орашје	Каленићка	121.6
55	Дулене	Дуленка	23.6
56	Ђићевац	Јовановачка	235
57	Каленић	Градња	27
58	Доња Шаторња	Јасеница	83.6
59	Вавило	Раваница	10
60	Манасија	Ресава	
61	Белица	Белица	51.5
слив Јужне Мораве			
62	Доње Кормијане	Јужна Морава	1017
63	Пуковац	Пуста	571
64	Жучковац	Моравица	394
65	Мртвине	Габерска	232
66	Радикине Баре	Кутинска	205
67	Лебане	Јабланица	713
68	Станичење	Темска	818
69	Димитровград	Нишава	482
70	Власотинце	Власина	972
71	Свође	Лужница	318
72	Свође	Власина	350
73	Горња Топоница	Топоничка	202
74	Брајићевци	Височица	227
75	Висока	Косаница	370
76	Пепељевац	Топлица	986
77	Куршумлија	Бањска	154
78	Доња Селова	Топлица	376
79	Стразимировци	Јерма	95
80	Трнски Одоровци	Јерма	557

81	Суково	Јерма	795
82	Изатовац	Височица	156
83	Косовска Витина	Биначка Морава	111.2
84	Сијеринска Бања	Јабланица	95
85	Лесковац	Ветерница	500
86	Горњи Брестовац	Пуста	109.3
87	Тупаловце	Козарска	98.1
88	Магово	Топлица	180.5
89	Мерћез	Луковска	112.6
90	Височка Ражана	Височица	403
91	Паклештица	Височица	458
92	Врањска Бања	Бањска	108.3
слив Дунава			
93	Кула	Витовница	243
94	Рашанац	Млава	1063
95	Горњак	Млава	656
96	Црнајка	Црнајка	78
97	Кучево	Пек	849.5
98	Црнајка	Црнајка	78
99	Тополница	Поречка	455
100	Књажевац	Бели Тимок	1268
101	Грлиште	Грлишка	185
102	Штрбац	Трговишки Тимок	372
103	Злот	Злотска	210
104	Мокрања	Сикољска	114
105	Боговина	Црни Тимок	467
106	Ргоште	Сврљишки Тимок	618
слив Саве			
107	Поцерски Метковић	Думача	26.8
108	Вукошић	Добрава	121.5
слив Струме			
109	Рибарци	Бранковачка	160
110	Босилеград	Љубатска	196.6
111	Босилеград	Божичка	213
112	Рибарци	Драговиштица	687.5
слив Вардара			
113	Качаник	Неродимка	214
114	Брод	Лепенац	241
115	Барбаце	Пчиња	468
слив Ибра			
116	Девићи	Студеница	191.4
117	Богуговац	Лопатница	115.8
118	Биљановац	Јошаница	263
119	Рашка	Рашка	1036

120	Гвоздац	Гвоздачка	32.4
121	Каменица	Сокоља	27
122	Рибница	Рибница	102
123	Батраге	Ибар	703
124	Мланча	Студеница	310
125	Ушће	Студеница	540
126	Лужане	Лаб	694
127	Дреница	Дреница	326.3
128	Нови Пазар	Рашка	472

Литература

- Blinkov, I., Trendafilov, A., Conevski, T. (2002). Timjanička reka flood wave analysis at Negotino, *21st Conference of the Danubian countries on a Hydrological Forecasting and Hydrological Bases on Water Management*, Bucurest.
- Institution of Water and Environmental Management (1987). *River Engineering-Part I, Design Principles*, Lavenham Press, Suffolk, England.
- Јевтић, Љ. (1988). Хидрологија бујичних токова, Шумарски факултет, Београд.
- Јанковић, Д.; Малошевић, Д. (1989). Анвелопе максималних специфичних отицаја на рекама Србије (без Војводине), *Водoprивреда*, 1-2, Београд.
- Kostadinov, S., Zlatić, S. (1992). Factors of erosion process and effects of erosion control works in the torrential watershed Sejanička reka, *Symposium: Environmental regeneration in headwaters*, Proceedings, 231-236, Prague.
- Костадинов, С. (1988): Хидролошке карактеристике једног бујичног поплавног таласа, *Гласник Шумарског факултета*, 70, 37-49, Београд.
- *** (1954-2007). *Хидролошки годишњак-површинске воде*. Београд: Републички Хидрометеоролошки Завод.
- Ristić, R., Djeković, V., Nikić, Z., Barbaroša, Z. (1997). Reconstruction of torrential flood on the river Manastirica, *3rd ICFWST '97*, Proceedings, 236-242, Belgrade.
- Ристић, Р. (2000). Режим појаве и карактеристике великих вода на бујичним сливовима у Србији, Шумарски факултет, Београд, докторска дисертација
- Ristić, R., Kostadinov, S., Malošević, D., Spalević, V. (2001). Erosion aspect in estimation of hydrologic soil group and determination of runoff curve number, *Земљиште и биљка*, Vol. 50, No. 3, 165-174, Београд.
- Ristić, R., Marković, A., Malošević, D., Đeković, V. (2000). Torrential floods-permanent threat on ecosystem stability, *75th Anniversary of Forestry faculty*, Proceedings, 369-376, Sofia.
- Ristić, R.; Gavrilović, Z.; Stefanović, M.; Malušević, I.; Milovanović, I. (2006): *Effects of urbanization on appearance of floods*, BALWOIS, Topic: Droughts and Floods, Ohrid, Macedonia.
- ВО Ерозија (1970): Пројектна документација за Калиманску реку, Владичин Хан.

RATKO RISTIĆ
BORIS RADIĆ
NEVENA VASILJEVIĆ

CHARACTERISTICS OF MAXIMAL DISCHARGES ON TOORENTIAL WATERSHEDS IN SERBIA

Abstract: Torrential floods are the most frequent phenomenon in the arsenal of “natural risks“, in Serbia (droughts, avalanches, landslides, rockslides, hail, forest fires, storm wind and earthquakes). Regime of occurrence of floods was studied on the basis of investigations carried out on 128 control profiles, on all important river systems in Serbia, south from Sava and Danube. Frequency of event of maximal discharge Q_{max} , over determined threshold, defined as average maximal discharge Q_{maxsr} , was analyzed. The primary maximum of frequencies was noticed in the period May-June, and the secondary maximum of frequencies in the period February-March. The absolute maximal discharges Q_{maxa} registered on certain profiles follow the periods with the most expressed frequencies, but there are also significant exceptions. A few equations have been derived, which point out close relations between average maximal discharge Q_{maxsr} , magnitude of the catchment area A , average annual discharge Q_{sr} and the absolute maximal discharge Q_{maxa} [$Q_{maxsr}=f(A)$; $Q_{maxsr}=f(Q_{sr})$; $Q_{maxsr}=f(A, Q_{sr})$; $Q_{maxa}=f(Q_{maxsr})$]. Historical cases of maximal discharges, reconstructed on the basis of „hydraulics flood traces“ are presented.

Key words: mean maximal discharge, frequency, absolute maximal discharge, specific discharge of maximal ordinate of unit hydrograph, reconstructed discharge.

Introduction

Torrential floods are the most frequent phenomenon in the arsenal of “natural risks” (droughts, avalanches, landslides, rockslides, hail, forest fires, storm wind and earthquakes), in Serbia. Frequency of event, intensity and diffusion, in the whole territory, make them as permanent threat with consequences in ecology, economic and social sphere. Climate, specific characteristics of relief, distinctions of soil and vegetation cover, social-economic conditions have done that the occurrence of torrential flood waves is one of the resulting forms of existing erosion processes. Characteristic are torrential floods on the watersheds of main tributaries of: Kolubara, June 1996.; Velika Morava, July 1999.; Kolubara and Drina, June 2001.; Južna Morava, November 2007.; Zapadna Morava, Drina and Lim, November 2009.

Torrential flood represents sudden appearance of maximal discharge in river bed with high concentration of hard phase (Ristić, R.; 2000.). In extreme cases, two-phase fluid flows out from the torrent bed, with enormous destructive energy. Two-phase fluid could content fractions (60% of total volume) of different granulations: from particles of clay to rocks, with diameter of 5.0m, mass over 200 tons (Jevtić, Lj., 1978.). **Torrential watershed** is hydrographic entity with river beds of main stream and tributaries, and gravitating surfaces with erosion processes on certain level of intensity. Attribute “**torrential**” belongs to any watershed with sudden appearance of maximal discharge with high concentration of hard phase, regardless on magnitude and category of stream. **Torrential flood waves** are one of the extreme forms of excessive erosion.

Studying of characteristics of maximal discharges on torrential watersheds has theoretical and practical value. Analysis of internal-yearly distribution of maximal discharge helps to notice **critical** parts of the year (periods with expressive frequency of maximal discharge Q_{max} ; months characteristic by appearance of absolute maximum Q_{maxa}). It is very important for different services: State Owned Company “Serbiawaters”; Department for Hydrology, service for flood forecast-RHMOS (Republic Hydrometeorological Office of Serbia); municipal authorities (flood protection; water supply; evacuation of waste water); Republic Directory for Waters-Department for flood defense (Ministry of Agriculture,

Forestry and Water resources management); agriculture (irrigation and drainage); energetic (balance of water in reservoirs for Hydropower Plants); services for control of water quality (Regional Institutes for Health Protection; RHMO-Department for Environment Protection Control, service for water control quality).

Materials and methods

Characteristics of maximal discharge on torrential watersheds were studied by datum processing, from 128 control profiles (equipped by automatic water-level recorders), located at all important river system in Serbia. Observing system was under supervision of RHMO.

Study area comprises territory of Serbia southern from Sava and Danube (66873 km²), on the watersheds of: Velika Morava; Južna Morava; Zapadna Morava; Ibar; Kolubara; Drina; Beli Drim; Vardar; Struma and direct right tributaries of Sava and Danube (figure 1). Range of magnitudes of investigated watersheds amounts from A=52 km² to A=1268 km². Regime of occurrence of maximal discharges was analyzed by datum processing from 102 control profiles and unit hydrographs were derived from 93 control profiles. Registered maximal discharges were consequence of fast, surface runoff generated in next ways:

- ✓ appearance of intensive rain, short duration; less intensive, long duration rain;
- ✓ snow melting;
- ✓ coincidence of rain and snow melting.

Figure 1. Study area: territory of Serbia southern from Sava and Danube

Torrential floods in Serbia could be caused on all mentioned ways, but it is possible to notice dominant way on certain watersheds. Frequency of maximal discharge Q_{\max} (for individual months), over referential threshold (average maximal discharge $Q_{\max sr}$), for all years of observations (closed with 2007.) was analyzed in this paper. Average maximal discharge $Q_{\max sr}$ was determined as mean value, for recorded maximal discharges $Q_{\max i}$, for all years of observations N:

$$Q_{\max sr} = \frac{\sum_{i=1}^N Q_{\max i}}{N}$$

$Q_{\max i}$ - yearly maximal discharge (m³·s⁻¹)

Average maximal discharge $Q_{\max sr}$, for each control profile, was determined on the basis of processing datum of 25 years of observation, at least $N \geq 25$. Accepted criteria is prerequisite, for usage GEV (General theory of extremes, which includes: Gumbel distribution and three parameters distribution) and Pearson III distributions (IWEM, 1987.). According to this analysis, appearance of maximal discharges on torrential watersheds had seasonal character, in other words, frequency was more expressed in certain parts of the year. Absolute maximal discharge $Q_{\max a}$ could be caused by worm, spring rains which influence on snow melting, but the most expressive frequency was consequence of summer stormy rains.

Specific discharges of maximal ordinate of unit hydrograph were determined on the basis of processing datum from 93 control profiles. Historical cases of maximal discharges, reconstructed on the basis of „hydraulics flood traces” are presented.

Results of investigation

Frequencies of maximal discharges $Q_{\max} > Q_{\maxsr}$, on Velika Morava watershed, were the most expressed in spring months (May-the beginning of June) and at the end of winter (first half of March). Monthly maximums of discharge follow periods with the most expressed frequencies, but sometimes absolute maximum of discharge Q_{\maxa} occurs in month with low frequency (profile Orašje on Kalenić river; profile Majur on Lugomir river). Absolute maximums of discharge Q_{\maxa} were recorded in May and June at three control profiles, in February at two profiles.

Frequencies of maximal discharges $Q_{\max} > Q_{\maxsr}$, on Južna Morava watershed, were the most expressed at the end of spring (first half of June) and at the beginning of summer (last decade of June-the beginning of July). Monthly maximums of discharge follow periods with the most expressed frequencies (profile Svodje on Lužnica river), but there are significant exceptions on Toplica (profile Merčez on Lukovska river; profile Kuršumlija on Banjska river; profile Donja Selova on Toplica river) and Pusta river (profile Pukovac on Pusta river) sub watersheds. Absolute maximums of discharge Q_{\maxa} were recorded in June and July at eight control profiles, in February at four, in November at three, April and May at two, in January at one profile.

Frequencies of maximal discharges $Q_{\max} > Q_{\maxsr}$, on Zapadna Morava watershed, were the most expressed at spring period (May-the middle of June) and in the autumn (November). Monthly maximums of discharge follow periods with the most expressed frequencies, except profile Brdjani on river Dičina. Absolute maximums of discharge Q_{\maxa} were recorded in May at eight control profiles, in November at three, in August at one profile.

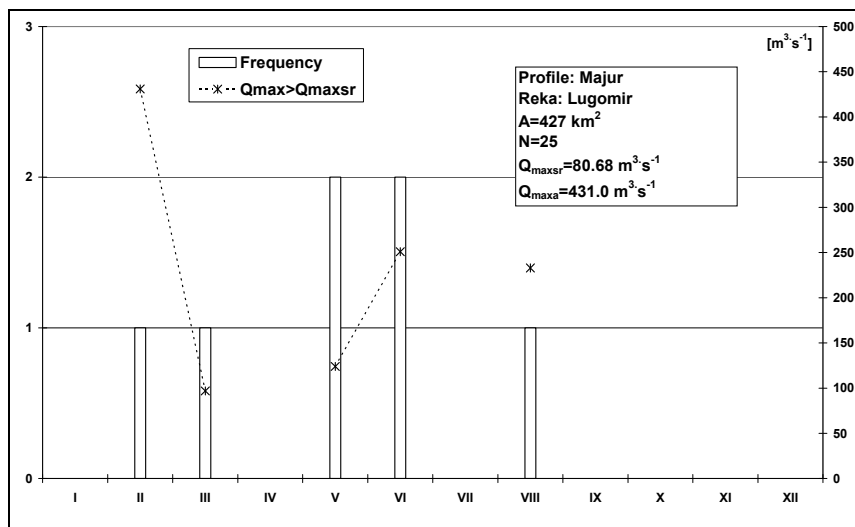


Figure 2. Frequency of $Q_{\max} > Q_{\maxsr}$ (Majur-Lugomir)

Frequencies of maximal discharges $Q_{\max} > Q_{\maxsr}$, on Ibar watershed, were the most expressed in spring period (May-the middle of June) and in winter period (February). Monthly maximums of discharge follow periods with the most expressed frequencies but

there are significant deviations at some profiles. Absolute maximums on Studenica river (May) follow the periods with the most expressed frequencies (profiles Mlanča and Ušće), but on the river Raška watershed absolute maximums Q_{maxa} appear in May (profile Novi Pazar) and November (profile Raška), and frequencies are the most expressed in February. Absolute maximal discharges Q_{maxa} were recorded in November at five profiles, in May at four, in June and July at one profile.

Frequencies of maximal discharges $Q_{max} > Q_{maxsr}$, on Kolubara watershed, were the most expressed during spring period (May-the middle of June) and in winter period (February-the middle of March). Monthly maximums of discharge follow periods with the most expressed frequencies. Absolute maximal discharges Q_{maxa} were recorded in May at four profiles, in June at three profiles, in July and February at one profile.

Frequencies of maximal discharges $Q_{max} > Q_{maxsr}$, on Drina watershed, were the most expressed during autumn-winter period (November, December, February) and in spring (April-first half of June). Monthly maximums of discharge follow periods with the most expressed frequencies except significant deviation at profile Vardište on Crni Rzav river.

Absolute maximal discharges Q_{maxa} were recorded in November at two profiles, in April, May and July at one profile.

Frequencies of maximal discharges $Q_{max} > Q_{maxsr}$, on Dunav watershed (sub watersheds of Timok river and direct, right tributaries) were the most expressed at the end of winter and the beginning of spring (March-April). Monthly maximums of discharge follow periods with the most expressed frequencies. Absolute maximal discharges Q_{maxa} were recorded in June at four profiles, in March at three profiles, in February, April, May, July and August at one profile.

Frequencies of maximal discharges $Q_{max} > Q_{maxsr}$, on Beli Drim watershed, were the most expressed during spring (May). Monthly maximums of discharge follow periods with the most expressed frequencies, except two cases (profile Kruševo on Restelička river; profile Mlike at Brodska river). Absolute maximal discharges Q_{maxa} were recorded in November at seven profiles and in October at one profile.

Frequencies of maximal discharges $Q_{max} > Q_{maxsr}$, on Vardar watershed, were the most expressed during spring (May-the middle of June) and winter (January-February). Monthly maximums of discharge follow periods with the most expressed frequencies, except significant deviation at profile Brod on Lepenica river. Absolute maximal discharges Q_{maxa} were recorded during May, June and November at one profile.

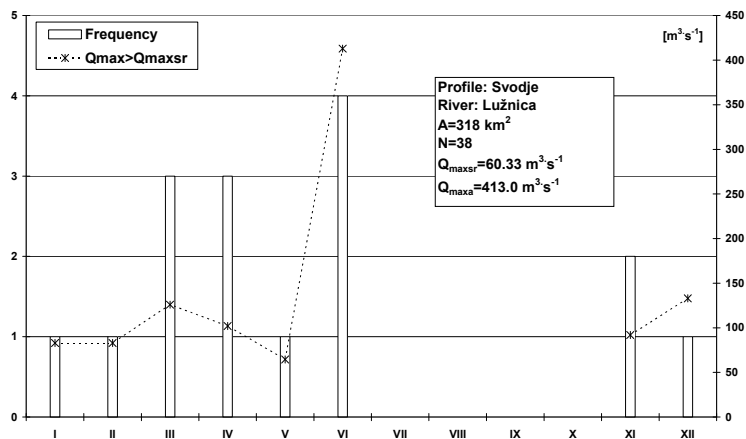


Figure 3. Frequency of $Q_{max} > Q_{maxsr}$ (Svodje-Lužnica)

Frequencies of maximal discharges $Q_{\max} > Q_{\max sr}$, on Struma watershed were the most expressed during spring period (April-first half of June). Monthly maximums of discharge follow periods with the most expressed frequencies, except deviation at profile Bosilegrad on Božička river. Absolute maximal discharges $Q_{\max a}$ were recorded in June at three profiles and in September at one profile.

Diagrams which represent frequency of maximal discharge Q_{\max} over determined threshold $Q_{\max sr}$ ($Q_{\max} > Q_{\max sr}$) are very illustrative for yearly distribution of maximal discharge, and its extreme values. Each diagram contains: names of the profile and river; magnitude of watershed A; number of years of observation N; average maximal discharge $Q_{\max sr}$; absolute maximal discharge $Q_{\max a}$ (figures 2, 3).

Dominant physical-geographic (magnitude, A) and hydrological characteristics (mean annual discharge, Q_{sr}) of the watersheds are in close relation to average maximal discharge $Q_{\max sr}$ (figures 4 and 5).

$$Q_{\max sr} = A^{0.669}$$

$$Q_{\max sr} = 21.60 \cdot e^{0.202 Q_{sr}}$$

Diagram (figure 4) represents relative homogeneous field of points, except extreme maximum on profile Djakovica at Erenik river (sub watershed of Beli Drim river).

Diagram (figure 5) represents relative homogeneous field of points, except high values at profiles Užička Požega on Skrapež river (sub watershed of Zapadna Morava river), Vardište on Crni Rzav river (sub watershed of Drina river), and low value at profile Staničenje on river Temska (sub watershed of Južna Morava river).

Relation which includes influence of A and Q_{sr} , simultaneously, has been derived (coefficient of multiple correlations $R=0.824$):

$$Q_{\max sr} = 4.461 \cdot A^{0.331} \cdot Q_{sr}^{0.429}$$

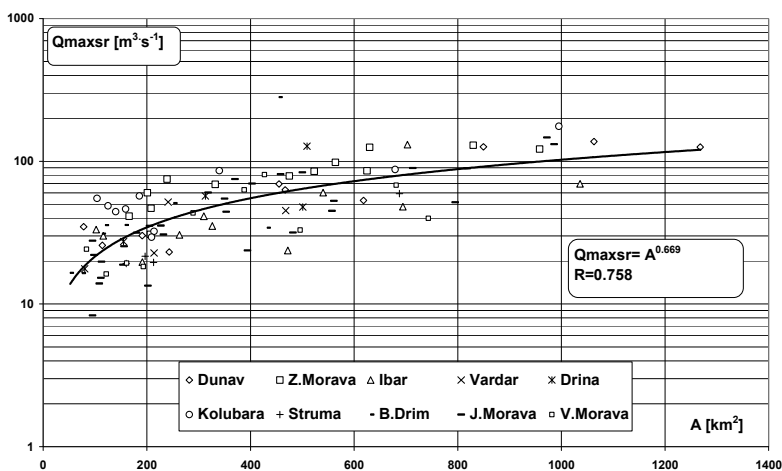


Figure 4. Relation $Q_{\max sr} = f(A)$

Relation between absolute maximal discharge $Q_{\max a}$ and average maximal discharge $Q_{\max sr}$ is represented by power function (figure 6):

$$Q_{\max a} = 3.143 \cdot Q_{\max sr}^{1.031}$$

Diagram (figure 6) represents relative homogeneous field of points, except extreme value at profile Svodje on Vlasina river (sub watershed of Južna Morava river).

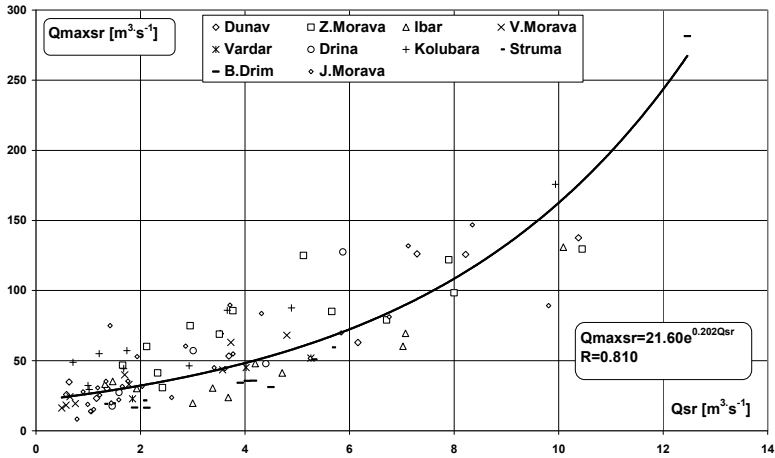


Figure 5. Relation $Q_{\max sr} = f(Q_{sr})$

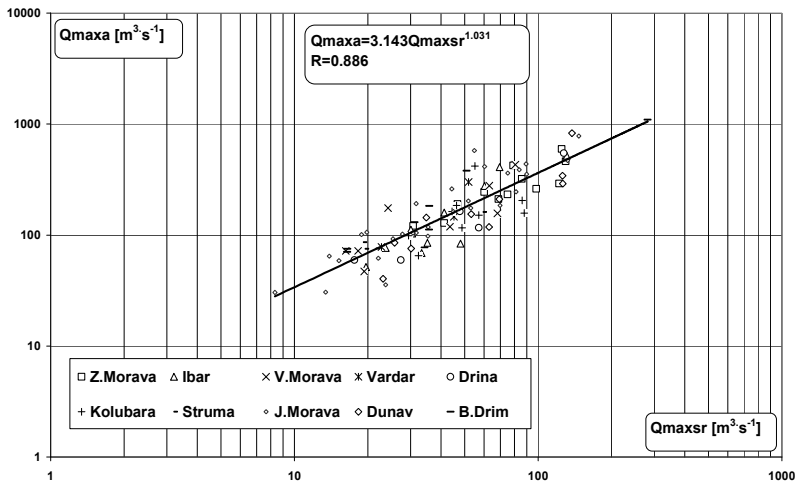


Figure 6. Relation $Q_{\max a} = f(Q_{\max sr})$

Specific discharge of maximal ordinate of unit hydrograph

Specific discharges of maximal ordinates of unit hydrographs ($q_{s\max}$) were determined on the basis of processing of unit hydrographs from 93 control profiles.

$$q_{s\max} = \frac{q_{\max}}{A}$$

q_{\max} ($\text{l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$) – maximal ordinate of unit hydrograph

A (km^2) – magnitude of watershed

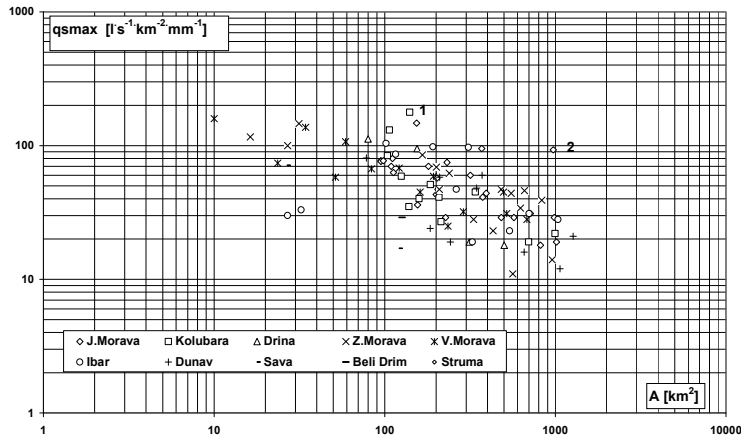


Figure 7. Specific discharges of maximal ordinate of unit hidrograph (1-Sedlare-Jablanica; 2-Vlasotince-Vlasina)

Characteristic maximal values were recorded at profiles Sedlare ($A=140 \text{ km}^2$) on river Jablanica (sub watershed of Kolubara river), with $q_{s\max}=178 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{mm}^{-1}$, and Vlasotince ($A=972 \text{ km}^2$) on river Vlasina (sub watershed of Južna Morava river) with $q_{s\max}=93.0 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{mm}^{-1}$. Diagram (figure 7) represents that very low values of $q_{s\max}$ were recorded on watersheds $A < 100 \text{ km}^2$. Sufficient number of extreme events was not recorded as a consequence of lack of control profiles and short periods of observation. It means that is necessary to establish representative measuring system at small watersheds $A < 100 \text{ km}^2$.

Historical cases of torrential floods appearance

Some interesting cases of historic torrential floods are presented in table 1, with main characteristics. Specific maximal discharges are presented on diagram (figure 8). Common characteristics of presented cases are: steepness of river beds, with absolute slope $I_a=5.74-13.45\%$; huge parts of the watersheds under bare lands, degraded forests and agricultural land; shallow, skeletal soil with small infiltration-retention capacity; excessive erosion processes; short duration of rain events, 90-180 minutes, with intensities from $I=0.75-1.17 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ($750-1170 \text{ m}^3\cdot\text{km}^{-2}$). Consequence was the sudden appearance of torrential floods, high content of hard phase and strong destructivity.

The highest value of specific maximal discharge $q_{sp\max}=4.02 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ (in monitoring system RHMOS, 1997.), was registered 13th June 1996. godine on river Ribnica (profile Paštrić, $A=104 \text{ km}^2$, total discharge $Q_{\max}=418.08 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$). Same day, on river Manastirica (sub watershed of Ribnica river, $A=29.5 \text{ km}^2$) occurred catastrophic maximal discharge $Q_{\max}=154.9 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, with specific maximal discharge $q_{sp\max}=5.25 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$, which almost destroyed center of village Brežde. Discharge was reconstructed by method „hydraulics flood traces” (Ristić, R., et al, 1997.), later checked with hydraulics-hydrological model HEC-RAS. Stormy rain, duration of 180 minutes, with total precipitation of 135 mm, caused torrential flood.

Table 1. Main characteristics of reconstructed torrential floods

Water course	Profile	Date of appearance	Magnitude A [km ²]	Q _{max} [m ³ s ⁻¹]	q _{maxsp} [m ³ s ⁻¹ km ⁻²]	Duration/intensity
Ribnica	Paštrić	13.06.1996.	104	418.08	4.02	180min; 0.75mmmin. ⁻¹
Manastirica	Brežde	13.06.1996.	29.5	154.9	5.25	180min; 0.75mmmin. ⁻¹
Sejanička reka	Grdelica	02.07.1983.	12.51	62.75	5.02	90min; 1.01mmmin. ⁻¹
Leštarska dolina	Vladičin Han	25.07.1982.	2.64	16.16	6.12	90min; 1.17mmmin. ⁻¹
Kalimanska reka	Vladičin Han	Leto 1929	16.04	149.0	9.3	/
Timjanička reka	Negotino	1995	17.80	220.0	12.36	165min; 1.06mmmin. ⁻¹

Maximal discharge $Q_{\max}=62.75 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ($q_{\text{spmax}}=5.02 \text{ m}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$) was registered on Sejanička river (profile Grdelica, $A=12.51 \text{ km}^2$; sub watershed of Južna Morava river), 2nd of July, 1983. Water out flowed from river regulation (designed for $Q_{\max(1\%)}=53.0 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) and flooded center of Grdelica city (Kostadinov, S., et al, 1992.), after stormy rain with 91 mm of total precipitation.

Maximal discharge $Q_{\max}=16.16 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ($q_{\text{spmax}}=6.12 \text{ m}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$) appeared on Lještarska dolina stream (temporary flow, in proximity of Vladičin Han city, $A=2.64 \text{ km}^2$, sub watershed of Južna Morava river; experimental watershed of Forestry Faculty, Belgrade University), 25th of July, 1982. (Kostadinov, S., 1988.), after stormy rain with 105 mm of total precipitation.

Maximal discharge $Q_{\max}=149.0 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ($q_{\text{spmax}}=9.3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$) appeared on Kalimanska river (in the centre of Vladičin Han city inflows in Južna Morava river, $A=16.04 \text{ km}^2$). Two phase fluid out flowed from regulated river bed and flooded the centre of city, in the summer 1929., after stormy rain (Water Resources Management Company "Erosion", 1970.),

Maximal discharge $Q_{\max}=220.0 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ($q_{\text{spmax}}=q_{\text{sp}}=12.36 \text{ m}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$) appeared on Timjanička river (city of Negotino, in neighbouring Macedonia, $A=17.80 \text{ km}^2$), in the summer 1995. (Blinkov, I., et al, 2002.), after stormy rain with 175 mm of total precipitation. Two phase fluid out flowed from regulated river bed and flooded the centre of city.

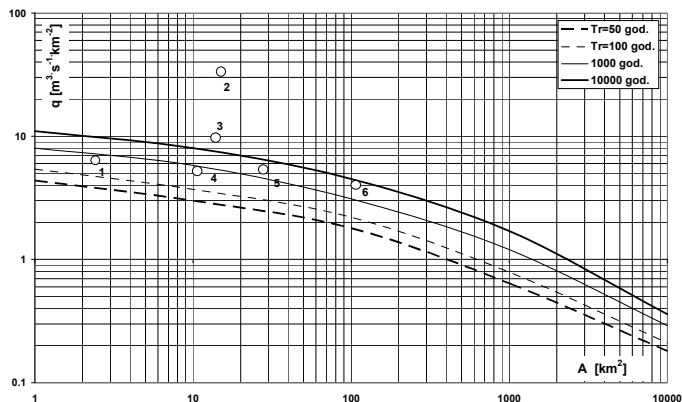


Figure 8. Specific maximal discharges for extreme torrential floods (1-Lještarska dolina; 2-Timjanička reka; 3-Kalimanska reka; 4-Sejanička reka; 5-Manastirica; 6-Ribnica)

Discussion

Analysis of frequency of maximal discharges, over referential threshold (which was defined as average maximal discharge $Q_{\max sr}$), points out that *critical* periods are the end of spring (May-first half of June) and the end of winter (February-first half of March). Period May-first half of June was signed as primary maximum on most of the watersheds (Velika Morava; Južna Morava; Zapadna Morava; Ibar; Kolubara; Beli Drim; Vardar; Struma). High water levels in this period were the products of intensive rains, with duration of a few hours.

Daily and monthly maximums of precipitation were recorded in the period May-June, at almost all rain-gauge stations in Serbia. Period February-first half of March was signed as secondary maximum. Penetrations of warm-air masses which caused precipitations were often in this part of year. Also, sudden rises of air-temperature, with snow-melting were characteristic on south and west expositions.

Absolute maximal values of discharge $Q_{\max a}$ were recorded in periods of expressive frequency, on most of the profiles. But, values of $Q_{\max a}$ were recorded in periods of expressive low frequencies at some profiles, as a consequence of specific climate and hydrological conditions: sudden rise of air temperature during winter period caused snow melting, and often coincided with long duration, low intensity rain; appearance of snow precipitation at the end of winter which follows sudden rise of air temperature and fast melting; appearance a few sequentially rain events during summer cause reduction of infiltration and retention capacity of soil.

Equations which define relations between average maximal discharge $Q_{\max sr}$, magnitude of the catchment area A , mean annual discharge Q_{sr} and absolute maximal discharge $Q_{\max a}$ [$Q_{\max sr}=f(A)$; $Q_{\max sr}=f(Q_{sr})$; $Q_{\max sr}=f(A, Q_{sr})$; $Q_{\max a}=f(Q_{\max sr})$], confirm expected level of dependence between mentioned parameters. Relations has been derived by processing datum from observing system RHMOS. Extending of observing system, especially on small watersheds ($A < 100 \text{ km}^2$), longer periods of observation, improvement and better equipment, lead to increasing of datum base and modifications of related values.

Torrential floods, as the most frequent phenomenon in the arsenal of "natural risks", in Serbia, need serious treatment, through next activities:

- identification of risk (flood) zones (whole watersheds or certain river sections);
- monitoring in real time (water level in river bed; amount of precipitation), forecast and warning system;
- short term protection;
- long term protection;
- land use;
- risk management;
- public education and media.

Short term protection comprises all measures that can be realized relative fast (from one month to one year): administrative ban for building in flood zone; maintaining of regulated and natural river beds; ban on clear cutting of forest on extremely steep slopes.

Long term protection comprises: forming of reservoirs and retentions for reception of flood waves; dislocation of residential and infrastructure objects from risk zones; erosion control management of watersheds; river training works in torrent beds. Risk of fast surface runoff could be significantly decreased by land use changes, in order to reduce erosive material production and meliorate soil infiltration and retention capacity: afforestation, melioration of meadows and pastures, contour farming and terracing. Defined risk zones and noticed seasonality of torrential flood waves help forming of warning system in real time (Ristić, R. et al., 2000.) in order to decrease damages and protect local dwellers.

Specific conditions for maximal discharge forming, on hilly-mountain watersheds (steep slopes of terrain and river bed, fast concentration of runoff, transport of huge quantities of sediment) need carefully attitude for maximal discharge calculation, as a basic data for designing protection structures in torrential beds. Hydrologic practice in Serbia uses control model (for calculated values of maximal discharge) known as “curves of specific maximal discharges” for watersheds $A=10-100.000 \text{ km}^2$ (Janković, D.; Malošević, D., 1989.). But interval for watersheds $A<10 \text{ km}^2$ was not defined, because of lack of control profiles in RHMOS observing system. Curves of specific maximal discharges (figure 8), for interval $A=1-10 \text{ km}^2$, were created by graphic interpolation, what is not reliable method. It is much better to define $A=1-10 \text{ km}^2$ by data collecting for reconstructed torrential floods by method „hydrolics flod traces“.

Conclusions

- Torrential floods are the most frequent phenomenon in the arsenal of “natural risks” (droughts, avalanches, landslides, rockslides, hail, forest fires, storm wind and earthquakes), in Serbia. Frequency of event, intensity and diffusion, in the whole territory, are consequences of dominant climate conditions and specific characteristics of local terrain. Negative aspects of human activities significantly increase destructivity of torrential floods;
- Analysis of frequency of maximal discharges defined *critical* periods: the end of spring (May-first half of June) and the end of winter (February-first half of March). Period May-first half of June was signed as primary maximum on most of the watersheds (Velika Morava; Južna Morava; Zapadna Morava; Ibar; Kolubara; Beli Drim; Vardar; Struma), what corresponds to monthly and daily maximums of precipitation on the most of rain gauges. Period February-first half of March was signed as secondary maximum, as a consequence of warm air masses penetrations which cause precipitations, often in this part of year. Also, sudden rises of air-temperature, with snow-melting were characteristic on south and west expositions. Appearance of rain and snow-melting were often coincidental, which caused forming of intensive surface runoff and appearance of torrential flood waves. Absolute maximal discharges $Q_{\max a}$ correspond to periods of most expressive frequencies of discharge, with a few deviations;
- It is important to define high risk zones and establish system for early warning with regard to characteristics of torrential flood waves: sudden appearance, destructivity, short duration, seasonality;
- Datum derived from reconstruction of torrential flood waves represents precious source for estimating possible natural incidents.

Table 2: List of control profiles

	Profile	River	A [km ²]
Kolubara watershed			
1	Zeoke	Peštan	125.4
2	Koceljevo	Tamnava	208
3	Ub	Ub	214
4	Bogovađa	Ljig	697
5	Slovac	Kolubara	995
6	Valjevo	Kolubara	340
7	Degurić	Gradac	159
8	Junkovac	Turija	139

9	Belo Polje	Obnica	185.6
10	Sedlare	Jablanica	140
11	Paštrić	Ribnica	104
12	Stuborovni	Jablanica	106.7
Drina watershed			
13	Zavlaka	Jadar	313
14	Čedovo	Vapa	501
15	Bistrica	Bistrica	80
16	Prijepolje	Mileševka	155
17	Crni Rzav	Vardište	509
Zapadna Morava watershed			
18	Preljina	Čemernica	624
19	Šengolj	Đetinja	550
20	Užička Požega	Skrpež	660
21	Bivolje	Rasina	958
22	Tucački Naper	Gruža	318
23	Arilje	Veliki Rzav	564
24	Arilje	Moravica	832
25	Stapari	Đetinja	332
26	Roge	Veliki Rzav	432
27	Guča	Bjelica	239
28	Prijedor	Kamenica	201
29	Brđani	Dičina	209
30	Ivanjica	Moravica	482
31	Borač	Boračka	31.5
32	Kosjerić	Skrpež	166
33	Stanišinci	Zagrža	16.3
34	Brus	Rasina	
35	Kalenić	Gradnja	
Beli Drim watershed			
36	Miruša	Miruša	126.5
37	Kruševo	Restelička	52
38	Mlike	Brodka	75.3
39	Dečane	Dečanska Bistrica	114
40	Drelje	Pečka Bistrica	120
41	Prizren	Prizrenska Bistrica	158
42	Orčuša	Plavska	252
43	Berkovo	Istočka	432
44	Đakovica	Erenik	455
Velika Morava watershed			
45	Smederevska Palanka	Jasenica	496
46	Smederevska Palanka	Kubršnica	
47	Svilajnac	Resava	681
48	Batočina	Lepenica	518

49	Ćuprija	Ravanica	161
50	Paraćin	Crnica	289
51	Jagodina	Belica	193
52	Gornja Komornica	Osanica	34.4
53	Grbice	Uglješnica	59.1
54	Orašje	Kalenička	121.6
55	Dulene	Dulenska	23.6
56	Čičevac	Jovanovačka	235
57	Kalenić	Gradnja	27
58	Donja Šatornja	Jasenica	83.6
59	Vavilo	Ravanica	10
60	Manasija	Resava	
61	Belica	Belica	51.5
Južna Morava watershed			
62	Donje Kormijane	Južna Morava	1017
63	Pukovac	Pusta	571
64	Žučkovac	Moravica	394
65	Mrtvine	Gaberska	232
66	Radikine Bare	Kutinska	205
67	Lebane	Jablanica	713
68	Staničenje	Temska	818
69	Dimitrovgrad	Nišava	482
70	Vlasotince	Vlasina	972
71	Svođe	Lužnica	318
72	Svođe	Vlasina	350
73	Gornja Toponica	Toponička	202
74	Brajićevci	Visočica	227
75	Visoka	Kosanica	370
76	Pepeljevac	Toplica	986
77	Kuršumlija	Banjska	154
78	Donja Selova	Toplica	376
79	Strazimirovci	Jerma	95
80	Trnski Odorovci	Jerma	557
81	Sukovo	Jerma	795
82	Izatovac	Visočica	156
83	Kosovska Vitina	Binačka Morava	111.2
84	Sijerinska Banja	Jablanica	95
85	Leskovac	Veternica	500
86	Gornji Brestovac	Pusta	109.3
87	Tupalovce	Kozarska	98.1
88	Magovo	Toplica	180.5
89	Merčez	Lukovska	112.6
90	Visočka Ražana	Visočica	403
91	Pakleštica	Visočica	458

92	Vranjska Banja	Banjska	108.3
Dunav watershed			
93	Kula	Vitovnica	243
94	Rašanac	Mlava	1063
95	Gornjak	Mlava	656
96	Crnajka	Crnajka	78
97	Kučevo	Pek	849.5
98	Crnajka	Crnajka	78
99	Topolnica	Porečka	455
100	Knjaževac	Beli Timok	1268
101	Grišće	Griška	185
102	Štrbac	Trgoviški Timok	372
103	Zlot	Zlotska	210
104	Mokranja	Sokoljska	114
105	Bogovina	Crni Timok	467
106	Rgošte	Svrljiški Timok	618
Sava watershed			
107	Pocerski Metković	Dumača	26.8
108	Vukošić	Dobrava	121.5
Struma watershed			
109	Ribarci	Brankovačka	160
110	Bosilegrad	Ljubatska	196.6
111	Bosilegrad	Božička	213
112	Ribarci	Dragovištica	687.5
Vardar watershed			
113	Kačanik	Nerodimka	214
114	Brod	Lepenac	241
115	Barbace	Pčinja	468
Ibar watershed			
116	Devići	Studenica	191.4
117	Bogutovac	Lopatnica	115.8
118	Biljanovac	Jošanica	263
119	Raška	Raška	1036
120	Gvozdac	Gvozdačka	32.4
121	Kamenica	Sokolja	27
122	Ribnica	Ribnica	102
123	Batrage	Ibar	703
124	Mlanča	Studenica	310
125	Ušće	Studenica	540
126	Lužane	Lab	694
127	Drenica	Drenica	326.3
128	Novi Pazar	Raška	472

References

See References on page 176

