

POVIJESNE POPLAVE DUŽ RIJEKE DUNAV OD 1012. GODINE DO DANAS

prof. dr. Stevan Prohaska,
dipl. ing. građ.

Institut za vodoprivredu
"Jaroslav Černi"
Jaroslava Černog 80,
11000 Beograd, Srbija
stevan.prohaska@jcerni.rs

dr. sc. Pavla Pekarova
Institute of Hydrology,
Slovak Academy of Sciences,
Dubravskas cesta 9,
841 04 Bratislava, Slovakia

Aleksandra Ilić, dipl. ing. građ.
Građevinsko-arhitektonski fakultet
Aleksandra Medvedeva 14,
18000 Niš, Srbija

Milena Jelovac
Institut za vodoprivredu
"Jaroslav Černi"
Jaroslava Černog 80,
11000 Beograd, Srbija

U radu su kronološki prikazane sve značajnije poplave koje su se događale duž Dunava od srednjeg vijeka do danas. Prikaz započinje prvom evidentiranom poplavom iz 1012. godine i završava 2013. godinom. Imajući u vidu različite izvore podataka koji su korišteni, za opis poplava u prošlosti pri izradi ovoga prikaza obuhvaćeno je povijesno razdoblje dulje od 1100 godina podijeljeno na tri karakteristična razdoblja: razdoblje 1012.-1500. (stari vijek), kada su poplave ocijenjene na temelju materijala iz povijesne arhive korištenjem originalnih rukopisa, isječaka iz novina, pisanih kronika, formalnih pisama, karata i fotografija; razdoblje 1501.-1820., kada su poplave procijenjene hidrauličkom rekonstrukcijom tragova (oznaka) zabilježenih maksimalnih razina vode na starim zgradama, vjerskim objektima i sl. te razdoblje od 1821. do danas, kada su poplave sagledane na temelju službenih podataka opažanja i mjerenja državnih hidrometeoroloških službi u podunavskim zemljama. Iz evidentiranog niza značajnih poplava duž Dunava izdvojene su one koje su, prema vrijednostima temeljnih parametara hidrograma velikih voda, maksimalnoj ordinati hidrograma – Q_{max} (m^3/s) i zapremini poplavnog vala W ($10^6 m^3$), iznad vjerojatnosti premašivanja:

$$P\{Q_{max} \geq q_{max,p}\} \cap \{W_{max} \geq w_{max,p}\} = 1.0\%$$

Ove se poplave nazivaju povijesnim poplavama. U radu su prikazana odgovarajuća povratna razdoblja $T(Q_{max} \cap W_{max})$ svih registriranih povijesnih poplava duž Dunava, od izvora do brane HE Đerdap, za razmatrano višegodišnje razdoblje, od 1012. godine do danas.

Ključne riječi: povijesna poplava, poplavni val, hidrogram velikih voda, maksimalna ordinata, zapremina vala, vjerojatnosti premašivanja, povratno razdoblje.

1. UVODNE NAPOMENE

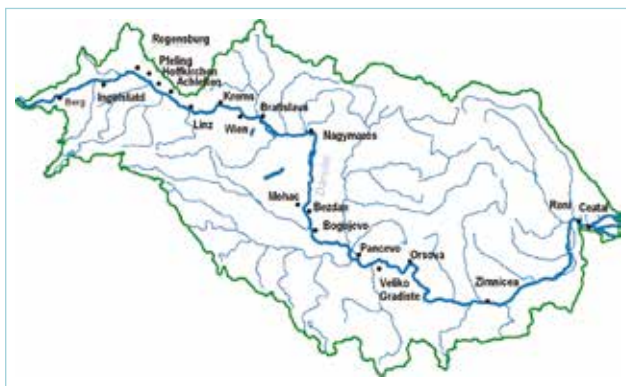
Poplave na Dunavu događale su se tijekom cijele njegove povijesti i događat će se i dalje. Poplave pripadaju ekstremnim prirodnim fenomenima koji se vrlo često pojavljuju i u slivu Dunava. Prva saznanja o zabilježenim poplavama potječu iz 1012. godine.

Cilj ovoga rada je da široj stručnoj javnosti našeg podneblja približi rezultate istraživanja pojave povijesnih poplava, od srednjeg vijeka do danas, koje su detaljno analizirane u projektu *Poplavni režim rijeka u slivu Dunava* (engl. *Flood regime of the rivers in the Danube River basin*) kojeg preko regionalne suradnje podunavskih zemalja, a u okviru Međunarodnog hidrološkog programa IHP UNESCO, izrađuje Slovački nacionalni komitet za IHP UNESCO u Institutu za hidrologiju Slovačke akademije znanosti. Koordinator projekta je dr. Pavla Pekarova iz Instituta za hidrologiju u Bratislavi, Slovačka. U realizaciji projekta sudjeluju predstavnici sljedećih nacionalnih komiteta podunavskih zemalja: Njemačke, Austrije, Češke, Slovačke, Mađarske, Srbije i Slovenije. Projekt sadrži deset poglavlja s različitim rukovoditeljima iz zemalja učesnika na projektu. Predstavnik Srbije je prof. dr. Stevan Prohaska i rukovodi dva poglavlja: Poglavlje 8 – Koincidencija velikih voda Dunava i njegovih glavnih pritoka te Poglavlje 9 – Teorijski hidrogrami velikih voda duž toka rijeke Dunav.

Rukovoditelji poglavlja, osim izrade svog dijela, sudjeluju kao članovi Upravnog odbora (engl. Steering Committee) u kreiranju, kontroli i prihvaćanju cijelog projekta. Predstavnici zemalja učesnica osiguravaju potrebne hidrološke i meteorološke podatke za sva poglavlja.

2. RASPOLOŽIVI HIDROLOŠKI, METEOROLOŠKI I DRUGI PODATCI O POVIJESNIM POPLAVAMA

Podatci o pojavama povijesnih poplava u slivu Dunava postoje u različitim povijesnim arhivima i dokumentima počevši od 1012. godine. Na [slici 1](#) prikazan je sliv rijeke Dunav i profili hidroloških postaja od izvorišta do ušća.



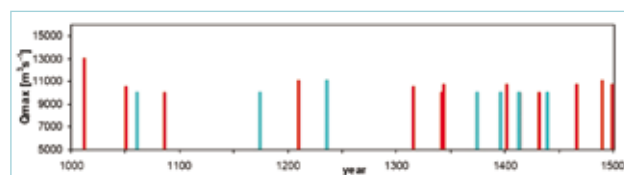
Slika 1: Sliv rijeke Dunav od izvorišta do ušća s ucrtanim položajem hidroloških postaja i gradova koji su pogođeni povijesnim poplavama

Proučavanjem ovih arhiva bavili su se mnogi znanstvenici u podunavskim zemljama i ostavljali raznorazne pisane tragove i izvješća (Kresser, 1957.; Horvathova, 2003.; Rohr, 2005., 2007.; Brazdil i Kundzewisz, 2006.; Kiss and Laszlovszky, 2013.; Munzar et al., 2000.; Kiss, 2011.; Pišut, 2011.; Brazdil et al., 2010.; Brazdil et al., 2012.; te Pekarova et al., 2013.). Mnoge od ovih informacija, koje su prezentirane u navedenim radovima, odnose se na gornji dio toka rijeke Dunav. To su uglavnom bili originalni zapisi registriranih poplava, novinska izvješća, pisane kronike, službena pisma, knjige, karte zona plavljenja i fotografije. Originalni zapisi (rukopisi) uglavnom sadrže kratak opis poplavnog događaja, obično je navedno vrijeme pojave poplave i dostignuti nivo rijeke. Lokacije koje se najčešće spominju u Gornjem toku Dunava su Passau, Linz, Mauthausen, Grain, Ybbs, Melk, Krems i Hainburg na Dunavu. Ovi povijesni zapisi mogu se naći sve do 1501. godine.

Prema Kresseru (1957.) i Horvatoj (2003.) najstarija evidentirana poplava na Dunavu je iz 1012. godine. Druge po redu poplave događale su se periodično, a prema dokumentima i povijesnim analizama pojavljivale su se sljedećih godina: 1210., 1344., 1402., 1466., 1490., 1499., 1501., 1526., 1572., 1594., 1598., 1670., 1682., 1721., 1787., 1809., 1876., 1897., 1899., 1954., 1965., 2002. Prema Kresseru, (1957.) najveća dosadašnja poplava na Dunavu se zbila 1501. godine, kada su maksimalni protoci procijenjeni na 12.000 m³/s u Linzu te 14.000 m³/s u Stein Kremisu.

3. POPLAVE NA DUNAVU U SREDNJEM VIJEKU – OD 1012. DO 1500. GODINE

Srednjovjekovne poplave na Dunavu, na potezu austrijsko-slovačko-mađarske granice najpodrobnije je opisala Kiss (2011.) u svojoj doktorskoj disertaciji. Kao najveće poplave posebno je obilježila ljetne poplave iz: 1012., 1235., 1316., 1402., 1414., 1432. i 1490. ([slika 2](#)).



Slika 2: Poplave na gornjem Dunavu od 1000. do 1500. godine (prema Kiss, 2011.) – crveno: ljetne poplave; tirkizno: zimske poplave

Općenito, može se reći da je 15. stoljeće poznato po pojavi značajnih poplava na Dunavu.

Povijest dunavskih poplava kod Bratislave detaljno je analizirana i opisana u radu Horvatoj (2003.) na temelju raspoloživog arhivskog materijala. Mnoge

poplave u 15. stoljeću u Bratislavi, koje su posljedica ledenih pojava (gomilanje leda, ledene barijere) izazvale su značajne štete na mostovima. Mnoge ledene sante su oštetile zgrade u centru grada. Tako je npr. Sigismund od Luksenburga, mađarsko-češko-rumunjski kralj, 1426. godine naredio sanaciju nasipa porušenih tijekom prethodnih poplava. Godine 1430. Sigismund je naredio izgradnju mosta preko Dunava u Bratislavi i pri tom su korišteni zagati i pontoni. Registrirane štete na ovom mostu su bile dokaz pojave visokih poplava u prvoj polovici 15. stoljeća. Postoje pisani tragovi da je poplava potopila jedan ponton 20. ožujka 1439. godine, tri polja mosta su potopljena 30. srpnja 1440. godine, a cijeli je most u potpunosti bio potopljen na Uskrs 1443. godine.

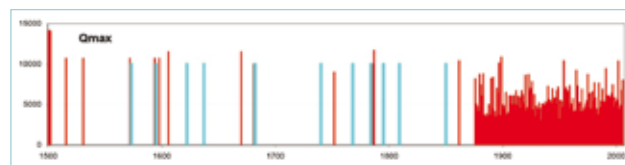
Mađarski kralj Mathias Corvinus je naredio izgradnju drugog mosta preko Dunava kod Bratislave 1472. godine. Njegova konstrukcija je bila slična prethodnom mostu. Početkom rujna 1478. godine poplava je oštetila tri polja na mostu, a na Novu godinu 1482. godine i na proljeće 1485. istom su mostu nanijete štete od ledene sante. Krajem lipnja 1485. godine most je oštetila nova poplava, da bi ga poplava 1. rujna iste godine potpuno srušila. Prema informacijama iz kronika mnogi su bili primorani preseliti u Bavarsku nakon poplave iz kolovoza 1485. godine. U 1486. godini most u Bratislavi je bio oštećen od ledenih santi pa je kralj Mathias Corvinus primorao grad Bratislavu na njegovu rekonstrukciju. Poplave u Bratislavi zabilježene su također 1490. i 1499. godine.

4. POPLAVE NA DUNAVU U RAZDOBLJU 1501.-1820. GODINE

U razdoblju nakon 1500. godine postoji mnoštvo zabilježenih tragova velikih voda na povijesnim zgradama u Njemačkoj i Austriji. To su zgrade u gradovima smještenim neposredno uz Dunav, npr. Vilshofen, Passau, Linz, Mauthausen, Ybbs, Melk, Emmersdorf te gradovima na Dunavu kao što su Durnstein, Spitz, Stein-Krems, Hainburg i Budimpešta. Ovi tragovi su bili temelj za rekonstrukciju nivoa vode Dunava, što je omogućilo sagledavanje značajnosti pojedinih poplava i njihovu međusobnu usporedbu i rangiranje. Treba reći da se ovim podacima treba oprezno baratati, imajući u vidu da se morfologija Dunava mijenjala tijekom stoljeća koja su prolazila. Također su i mnoge povijesne zgrade u međuvremenu rekonstruirane pa korektni prijenos zabilježenih tragova velikih voda na njima može biti diskutabilan. Zbog toga su pri opisu ovih poplava korišteni i drugi arhivski materijali.

Najveća poplava koja je relativno pouzdano markirana (obilježena) na više povijesnih zgrada duž Dunava na sektoru između Passaua i Bratislave dogodila se 1501. godine (Kresser, 1957. te Rohr, 2005.). Kao što je već navedeno, ocijenjeni vrh poplavnog vala je bio 12.000 m³/s u Linzu, 14.000 m³/s u Beču. U ovom vremenskom razdoblju zabilježeni su maksimalni protoci kod Ybbsa koji premašuju 11.000 m³/s i to kao

ljetni valovi u lipnju 1682. i listopadu 1787., kao i „kišni“ val 3. veljače 1862. godine. Na slici 3 su prikazani svi rekonstruirani vrhovi poplavnih valova registriranih na Dunavu u razdoblju od 1501. do 1876. godine na sektoru od Kinstocka do Bratislave. Crvenom bojom su označeni ljetni, a tirkiznom zimski poplavni valovi. Od 1876. godine na isti su crtež ucrtani registrirani maksimalni godišnji protoci Dunava kod Bratislave iz baze hidrometeorološke službe Slovačke.

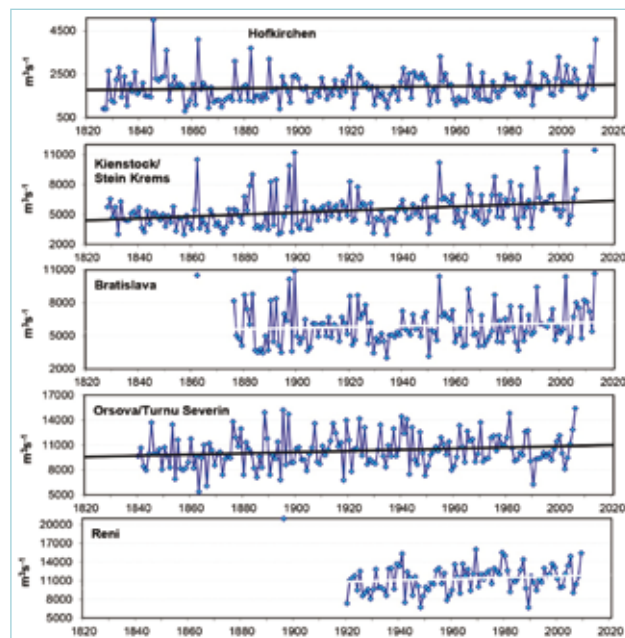


Slika 3: Poplave na Dunavu u razdoblju 1501.-1876. godine na sektoru Kienstock-Bratislava

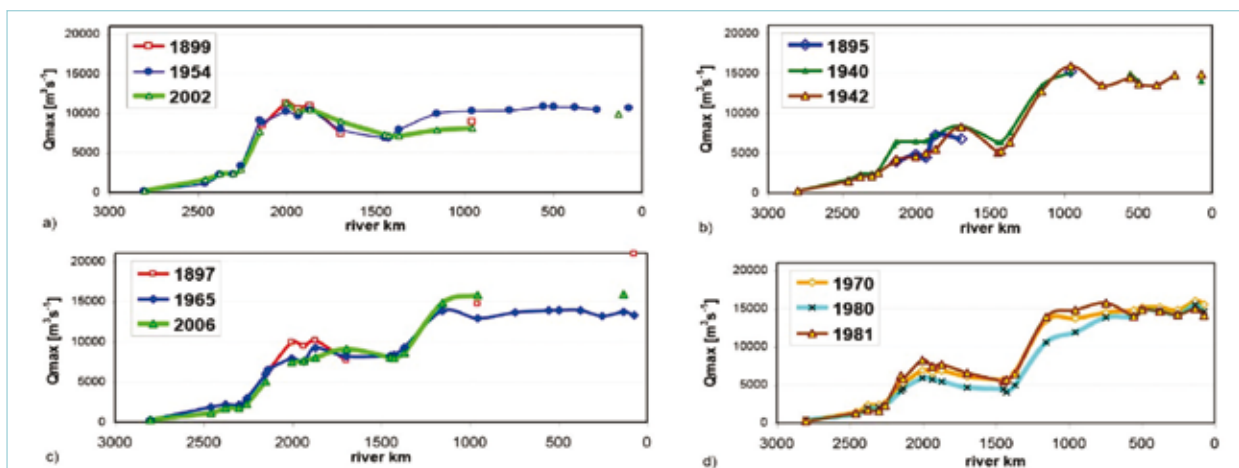
5. POPLAVE NA DUNAVU U RAZDOBLJU 1821.-2013. GODINE

U posljednjih petnaest godina nekoliko se značajnih poplava dogodilo u slivu Dunava: na gornjem Dunavu u lipnju 2013. godine te u kolovozu 2002. godine, a na centralnom i donjem Dunavu u razdoblju od ožujka do travnja 2006. godine.

Najveći maksimalni godišnji protoci na gornjem Dunavu zabilježeni su u Krems/Kienstocku i iznosili su 11.900 m³/s u 2013. godini, drugi po veličini je bio 11.306 m³/s u 2002. godini, a treći je bio 11.200 m³/s zabilježen 1899. godine. U Bratislavi je maksimalni godišnji protok zabilježen 1899. godine. Na delti Dunava, prema Bondaru i Paninu (2001.) maksimalni godišnji protok je ocijenjen na 20.940 m³/s za vrijeme poplave u srpnju 1897. godine.



Slika 4: Prikaz nizova maksimalnih godišnjih protoka na nekoliko odabranih hidroloških postaja duž Dunava



Slika 5: Uzdužni prikazi nekoliko ekstremnih poplava duž Dunava

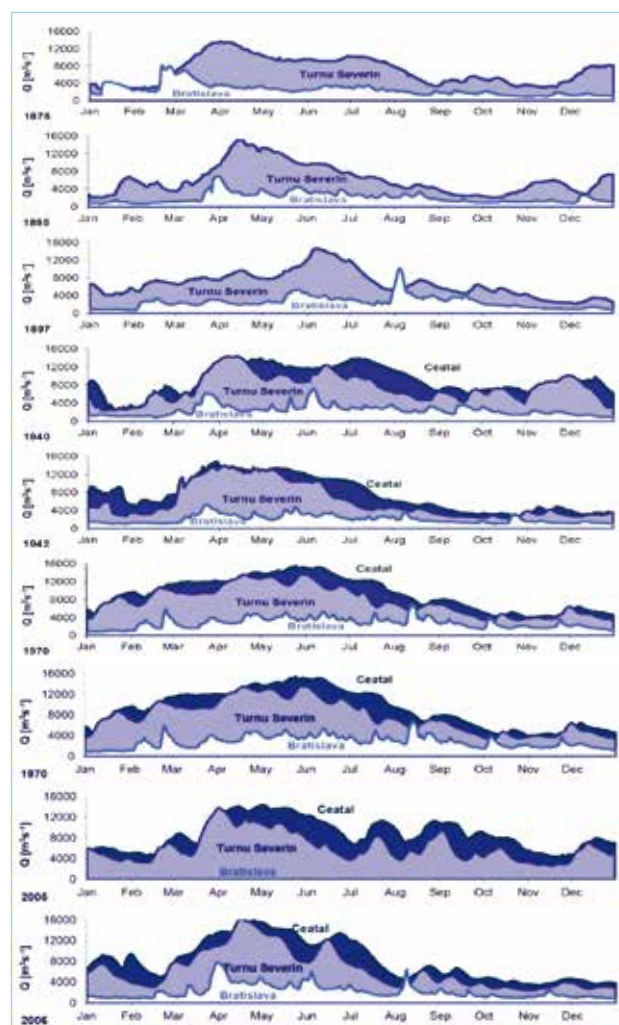
Za ocjenu višegodišnjeg trenda u nizovima maksimalnog godišnjeg protoka u razdoblju opažanja 1821.–2013. godine, na slici 4 su dani kronološki prikazi ovih nizova na odabranim hidrološkim postajama na Dunavu. Kao što se na slici vidi, razdoblje 1840.–1899. je bilo pod utjecajem nekoliko katastrofalnih poplava na gornjem Dunavu. Nasuprot tome, razdoblje 1901.–1953. je bilo relativno mirno i bez rizika od pojave poplava. Razdoblje nakon 1953. je nestabilno. U srednjem dijelu toka rijeke Dunav kod Oršave/Turn Severina linija linearnog trenda je konstantana. U donjem toku Dunava ne postoji niti jedna postaja sa značajnim trendom u nizu maksimalnih godišnjih protoka.

Katastrofalne poplave na gornjem Dunavu (od izvora do hidrološke postaje Bratislava), zatim na centralnom i donjem Dunavu (nizvodno od hidrološke postaje Oršava) poplavni valovi se nisu pojavljivali istovremeno. U Hofkirchenu su najveće poplave zabilježene sljedećih godina: 1845., 1862., 1882., 1954., 1999. i 2013. Između Passaua i Bratislave najveće su se poplave dogodile u godinama: 1830., 1862., 1897., 1899., 1954., 2002. i 2013. Slična situacija je bila i na srednjem toku Dunava: 1838., 1893., 1897., 1938., 1940., 1941., 1954., 1956., i 2006. Prema Bondaru i Paninu (2001.) najveće poplave na donjem toku Dunava su se dogodile: 1845., 1853., 1888., 1895., 1897., 1907., 1914., 1919., 1924., 1932., 1940., 1941., 1944., 1947., 1954., 1955., 1956., 1958., 1962., 1965., 1970., 1975., 1980., 1981. i 1988. Neke od ovih poplava su izazvane pojavom leda i ledenih barijera u zimsko-proljetnim razdobljima. Godine 1897., 1965. i 2006. poplave su se pojavile na skoro cijelom slivu Dunava, što se može vidjeti na grafovima uzdužnih prikaza nekoliko ekstremnih poplava duž Dunava (slika 5).

Na temelju grafova može se zaključiti da najveće probleme sa poplavama ima sektor Dunava nizvodno od Turn Severina/Oršave pa sve do delte, gdje su, u skoro pa svim navedenim slučajevima, maksimalni godišnji protoci zamalo konstantni.

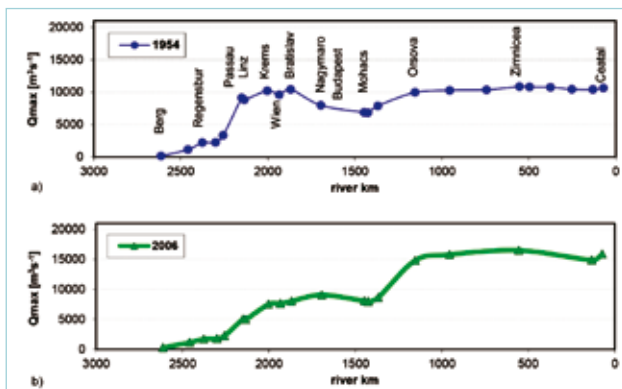
Za sagledavanje doprinosa pojedinih dijelova sliva u formiranju velikih voda Dunava na slici 6 je dan prikaz hidrograma dnevnih protoka na hidrološkim postajama: Bratislava, Turn Severin/Oršava i Ceatal Izmail, i to za

nekoliko karakterističnih kalendarskih godina, u kojima su se na pojedinim dijelovima sliva događale poplave. Evidentno je da je u svim prikazanim kalendarskim godinama najveći doprinos u formiranju velikih voda Dunava dao srednji Dunav, od Bratislave do Oršave.



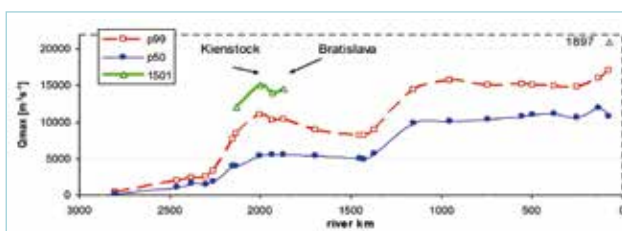
Slika 6: Hidrograme dnevnih protoka rijeke Dunav na tri hidrološke postaje: Bratislava, Turn Severin/Oršava i Ceatal Izmail za nekoliko karakterističnih godina

Sa stajališta obrane od poplava duž Dunava vrlo su zanimljive poplave iz 1954. i 2006. godine. Uzdužni prikaz ovih poplava dan je na slici 7. Kao što se na slici vidi, 1954. godine maksimalni godišnji protok na Dunavu, oko 10.000 m³/s, prostirao se od Linza pa sve do ušća u Crno more, dakle u duljini od oko 2.100 km. Godine 2006. velike vode su zahvatile uglavnom donji Dunav, nizvodo od ušća rijeke Save, kada su dosegnuti maksimalni godišnji protoci veći od 15.000 m³/s. Prema tome, duljina obrane od poplava u 2006. godini je bila za oko 1.000 km kraća u odnosu na duljinu obrane od poplava za vrijeme pojave poplave iz 1954. godine.



Slika 7: Uzdužni prikaz dvije karakteristične ekstremne poplave duž Dunava

Na slici 8 je dan uzdužni prikaz teorijskih vrijednosti maksimalnih godišnjih protoka 50 % vjerojatnosti pojave (medijane) i gornje granice 99 % intervala povjerenja duž toka Dunava. Na dijagramu su također unijete empirijske (rekonstruirane) točke za do sad najveće registrirane poplave iz 1501. i 1897. godine. Kako se na slici vidi, poplave iz 1501. i 1897. znatno premašuju gornju granicu 99 % intervala povjerenja, što ih nesumnjivo svrstava u kategoriju katastrofalnih poplava koje nisu premašene u posljednjih 1000 godina u slivu Dunava.

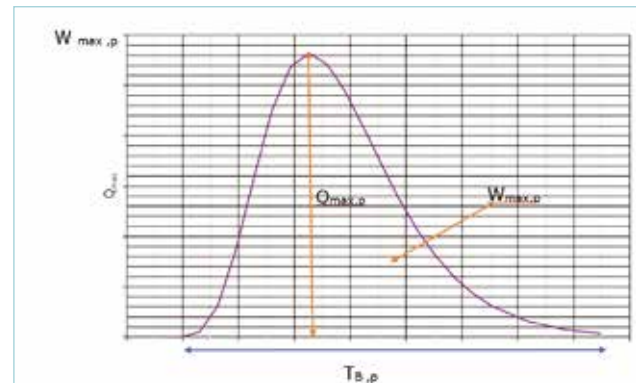


Slika 8: Uzdužni prikaz teorijskih vrijednosti maksimalnih godišnjih protoka 50 %-tne vjerojatnosti pojave i gornje granice 99 %-tnog intervala povjerenja duž toka Dunava, s prikazom najekstremnijih povijesnih poplava iz 1501. i 1897. godine

6. OCJENA STATISTIČKE ZNAČAJNOSTI POPLAVA NA DUNAVU U RAZDOBLJU 1821.-2013. GODINE

U hidrološkom smislu poplava se najčešće definira u vidu hidrograma poplavnog vala koji u suštini predstavlja

zavisnost protoka rijeke u funkciji vremena (slika 9). Temeljne karakteristike poplavnog vala su maksimalna ordinata hidrograma – Q_{max} (m³/s), zapremina poplavnog vala – W (10⁶ m³) i trajanje baze poplavnog vala – T_b (h).



Slika 9: Oblik hidrograma poplavnog vala

U prirodnim se uvjetima poplavni valovi na rijekama pojavljuju periodično u raznim kombinacijama temeljnih parametara (maksimalne ordinate i zapremine vala). Po pravilu vjerojatnosti pojave tih parametara, iako u osnovi slučajne veličine, ne koincidiraju. Zato je neophodno da se, pri definiranju njihovih vjerojatnosti, te veličine razmatraju u spregnutom vidu, kao dvodimenzionalne slučajne varijable (X , Y), gdje je X maksimalna ordinata hidrograma, a Y zapremina poplavnog vala (Prohaska i Ilić, 2017.). U tom slučaju vjerojatnosti dvodimenzionalne slučajne varijable (X , Y) neophodno je definirati vjerojatnost na način:

$$P \{X \geq x\} \cap \{Y \geq y\} = p \quad (1)$$

Ova vjerojatnost predstavlja dvodimenzionalni zakon raspodjele, odnosno vjerojatnost koincidencije slučajnih varijabli X i Y .

Za definiranje ove vjerojatnosti koriste se tzv. teorijske dvodimenzionalne slučajne varijable (X , Y), a u konkretnom slučaju korišten je model PROIL (Ilić i Prohaska, 2017.).

Temeljne karakteristike poplava koje su predmet ocjene statističke značajnosti su maksimalna ordinata hidrograma, Q_{max} i zapremina poplavnog vala, W . Na temelju višegodišnjeg niza registriranih (empirijskih) podataka maksimalnih godišnjih protoka i maksimalnih godišnjih zapremina vala, a na temelju sinkronih podataka (istih godina), formirani su dvodimenzionalni nizovi ($Q_{max,j}$; $W_{max,j}$), gdje je $j=1,2,3, \dots, N$, a N ukupni broj podataka (godina).

Na korelacijsko polje ($Q_{max} - W_{max}$) nanose se sve empirijske točke dvodimenzionalnih slučajnih varijabli

$(Q_{max,i}, W_{max,i})$ i primjenom modela PROIL definiraju se:

- Funkcije gustoća (linije istih dvodimenzionalnih vjerojatnosti pojave): $F(Q_{max}, W_{max})=p$, za vjerojatnosti $p = 0,1; 1,0; 5,0$ i 50 %.
- Funkcije raspodjele (linije premašivanja dvodimenzionalnih vjerojatnosti): $P\{(Q_{max} \geq q_{max,p}) \cap (W_{max} \geq w_{max,p})\} = P$ za vjerojatnosti premašivanja $P = 0,1; 1,0; 2,0$ i $5,0$ %.

Empirijske točke $(Q_{max,i}, W_{max,i})$, koje su na korelacijskom polju iznad linije vjerojatnosti premašivanja $P\{(Q_{max} \geq q_{max,p}) \cap (W_{max} \geq w_{max,p})\} = 1.0$ %, proglašavaju se **povijesnim točkama**, a poplava kojoj pripadaju je **povijesna poplava**.

Za sve profile vodomjernih postaja duž toka rijeke Dunav definirane su koincidencije temeljnih parametara hidrograma: maksimalne ordinate, Q_{max} i maksimalne zapremine poplavnog vala, W_{max} . Rezultati ovih proračuna prikazani su grafički, primjera radi samo za dva profila hidroloških postaja (slika 10): Achleiten (Njemačka) i Bezdan (Srbija). Na istim su grafovima posebno označene najznačajnije poplave u razdoblju opažanja za koje su određena odgovarajuća povratna razdoblja označenih poplava.

Kao što je vidljivo na slici 10, povratno razdoblje najznačajnijih registriranih poplava u razdoblju od početka rada postaje do 2013. godine iznose:

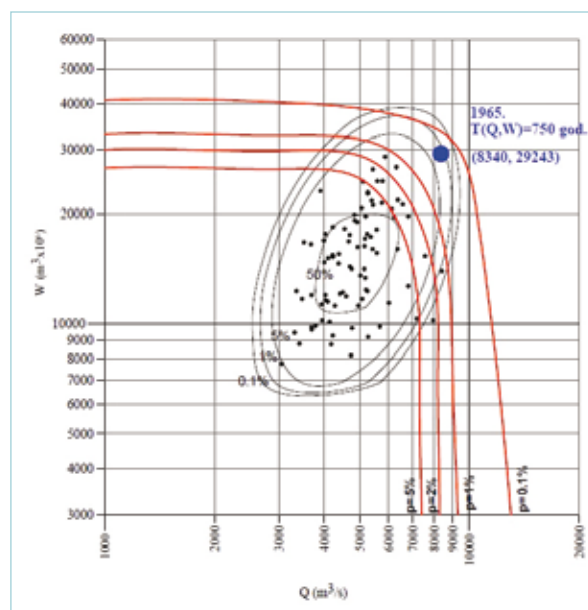
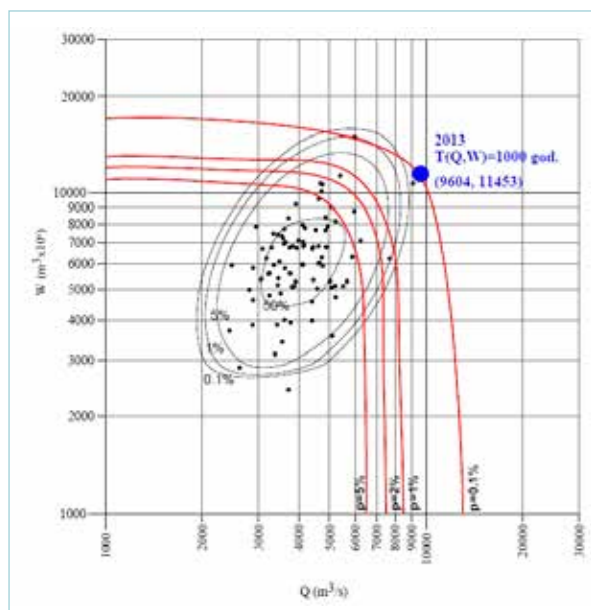
- za hidrološku postaju Achleiten: za poplavu iz 2013. godine, s koordinatama $Q_{max}=9604$ m³/s i $W=11453$ 10⁶/m³, povratno razdoblje iznosi $T(Q_{max};W) = 1000$ godina;
- za hidrološku postaju Bezdan: za poplavu iz 1965. godine, s koordinatama $Q_{max}=8340$ m³/s i

$W=292453$ 10⁶/m³, povratno razdoblje iznosi $T(Q_{max};W) = 750$ godina.

Za sve ostale razmatrane hidrološke postaje, kao i za Achleiten i Bezdan, definarna su povratna razdoblja poplava koja premašuju vjerojatnost $P\{(Q_{max} \geq q_{max,p}) \cap (W_{max} \geq w_{max,p})\} \geq 1.0$ %, odnosno za sve povijesne poplave u razmatranom višegodišnjem razdoblju. Rezultati ovih proračuna prikazani su u tablici 1.

Na temelju danog prikaza može se zaključiti da se na sektoru Dunava od postaje Berg do postaje Oršava povijesna poplava iz 1965. godine pojavljivala na najviše profila hidroloških postaja i to ukupno šest, nakon čega slijedi poplava iz 2013. godine za četiri pojave, te poplave iz 1954., 1988. i 2006. po dva puta. Najučestalije povijesne poplave registrirane su u profilu hidrološke postaje Bratislava, ukupno četiri puta, zatim na postajama Achleiten i Wien po tri puta, pa na postajama Ingolstadt i Regensburg po dva puta. Na ostalim razmatranim hidrološkim postajama Berg, Hofkirchen, Bezdan, Bogojevo, Pančevo i Oršava povijesne poplave su se pojavile samo jednom u razmatranom višegodišnjem razdoblju.

Prema statističkoj značajnosti najznačajnija povijesna poplava zabilježena je na postaji Achleiten 2013. godine s povratnim razdobljem od 1000 godina. Slijedi poplava iz 1965. godine kada je kod postaje Bezdan registrirana poplava povratnog razdoblja od 750 godina i još na četiri profila postaja (Ingolstadt, Achleiten, Wien i Bratislava) s povratnim razdobljem od 500 godina. Treće po značajnosti su povijesne poplave iz 1954. (Achleiten) i 1999. (Ingolstadt) sa povratnim razdobljem 500 godina. Na četvrtom



Slika 10: Koincidencija temeljnih parametara hidrograma velikih voda Dunava: a) hidrološka postaja Achleiten s ocjenom povratnog razdoblja najveće registrirane poplave iz 2013. godine, b) hidrološka postaja Bezdan s ocjenom povratnog razdoblja najveće registrirane poplave iz 1965. godine

Tablica 1: Prikaz povratnih razdoblja registriranih povijesnih poplava duž Dunava na sektoru od hidrološke postaje Berg do hidrološke postaje Oršava

Br.	Hidrološka postaja	Broj poplavnih valova na postaji	$P\{(Q_{max} \geq q_{max,p}) \cap (W_{max} \geq w_{max,p})\} = P < p=1\%$		T (godina)	Razdoblje obrade
			Povijesna poplava			
			godina	p		
1.	Berg	1	1988	0,33	300	1930.-2007.
2.	Ingolstadt	1	1965	0,20	500	1924.-2013.
		2	1999	0,20	500	
3.	Regensburg	1	1988	0,25	400	1924.-2013.
		2	2013	1,00	100	
4.	Hofkirchen	1	2013	0,65	150	1901.-2013.
5.	Achleiten	1	2013	0,10	1000	1901.-2013.
		2	1965	0,20	500	
		3	1954	0,20	500	
6.	Wien	1	1965	0,20	500	1828.-2006.
		2	1975	0,25	400	
		3	1954	0,33	300	
7.	Bratislava	1	1965	0,20	500	1876.-2015.
		2	1899	0,33	300	
		3	2013	0,40	250	
		4	1876	0,90	110	
8.	Bezdan	1	1965	0,25	750	1931.-2016.
9.	Bogojevo	1	1965	0,80	125	1931.-2016.
10.	Pančevo	1	2006	1,00	100	1931.-2016.
11.	Oršava	1	2006	1,00	100	1840.-2016.

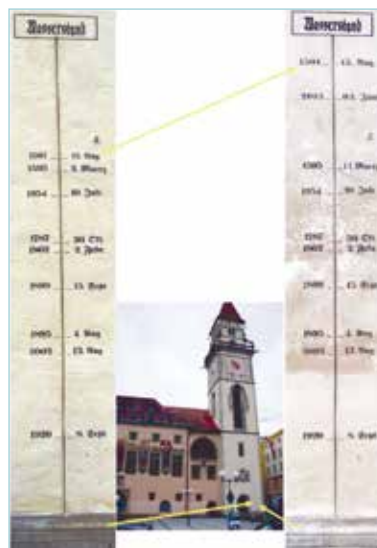
mjestu po značajnosti su povijesne poplave iz 1975. (Wien) i 1988. (Regenzburg) s povratnim razdobljem od 400 godina, a na petom mjestu su povijesne poplave iz 1899. (Bratislava) i 1988. (Berg) s povratnim razdobljem od 300 godina itd. Najmanje povijesne poplave su bile duž Dunava nizvodno od ušća rijeke Drave, gdje su ostvarena znatno niža povratna razdoblja i to na postaji Bogojevo 1965. godine s povratnim razdobljem od 125 godina te na profilima hidroloških postaja Pančevo i Oršava 2006. godine s povratnim razdobljem od 100 godina.

7. PRIKAZ POSTOJEĆIH OZNAKA TRAGOVA VELIKIH VODA DUŽ DUNAVA

Tragovi velikih voda na Dunavu počeli su se bilježiti od do sada najveće registrirane povijesne poplave 1501. godine pa sve do početka organiziranog mjerenja i opažanja hidroloških pojava od strane nadležnih državnih službi podunavskih zemalja. Na mnogim stambenim zgradama, crkvama i drugim stalnim objektima u priobalnim gradovima Njemačke, Austrije i Slovačke vidljive su oznake uglavnom svih dosadašnjih povijesnih poplava (slika 11).



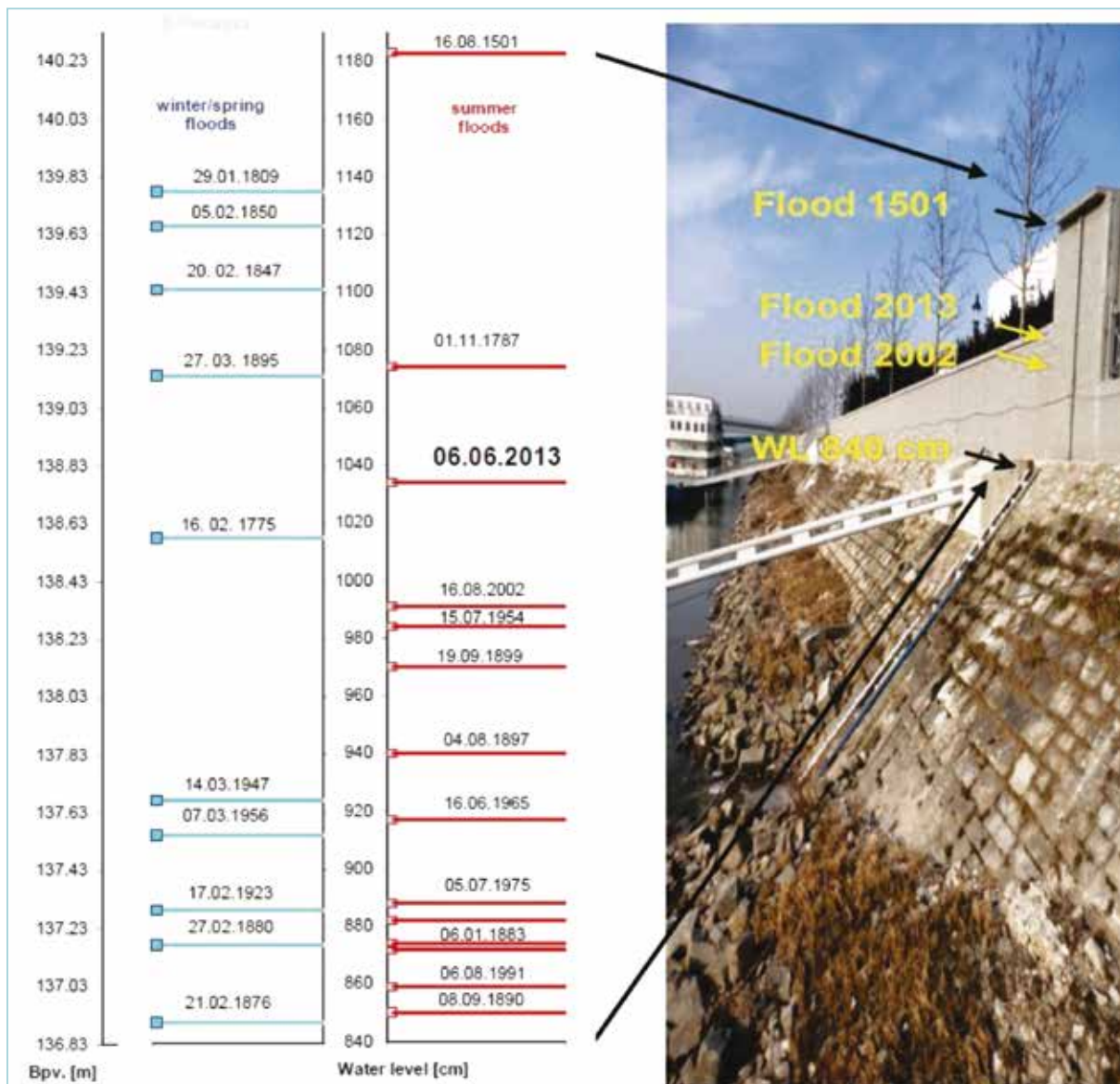
a)



b)



c)



Slika 11: Oznake poplava u gradovima duž Dunava: a) Schönbühel; b) Passau; c) Melk; d) Emmersdorf; e) Spitz; f) zimska poplava 1928./29. godine u Bratislavi; g) Bratislava

8. ZAKLJUČAK

Katastrofalne poplave duž Dunava su periodična pojava koja se gotovo redovno događala tijekom stoljeća, što nam potvrđuju i najstariji zapisi pronađeni u povijesnim arhivima mnogih podunavskih zemalja. Prva evidentirana poplava na Dunavu datira još iz 1012. godine od kada postoje zabilježeni tragovi mnogih povijesnih poplava iz tog razdoblja. U starom vijeku, točnije u razdoblju od 1012. godine do 1500. godine, podatci o povijesnim poplavama su uglavnom preuzimani iz povijesnih arhiva korištenjem originalnih rukopisa, isječaka iz novina, pisanih kronika, formalnih pisama, karata i fotografija. U razdoblju od 1501. godine pa sve do početka organiziranja sustavnih opažanja i mjerenja hidroloških pojava, poplave su hidraulički rekonstruirane na temelju zabilježenih tragova velikih voda na starim zgradama i vjerskim objektima duž Dunava. Od trenutka uspostavljanja hidroloških opažanja pa sve do danas povijesne poplave su ocjenjivane na temelju realnih podataka.

Najveća do sada registrirana povijesna poplava zabilježena je 1501. godine, što se može vidjeti na priloženim slikama postojećih oznaka (tragova velikih voda) na mnogim starim objektima duž Dunava. U novijem razdoblju, kada se raspolagalo realnim

podacima hidroloških opažanja i mjerenja pojavilo se nekoliko značajnijih povijesnih poplava. Najznačajnija od njih je poplava iz 2013. godine kada je kod hidrološke postaje Achleiten dostigla 1000 godišnje povratno razdoblje, a kod Bratislave 250 godišnje. Po značajnosti slijedi poplava iz 1965. godine, koja se prostirala duž Dunava od km 2.458,3 (postaja Ingolstadt) do km 1.367,4 (postaja Bogojevo) i imala je povratna razdoblja od 750 godina (postaja Bezdan), 500 godina (postaje Ingolstadt, Achleiten, Wien i Bratislava) te 125 godina (postaja Bogojevo).

Poseban značaj u ovom radu predstavljaju priložene fotografije oznaka (zabilježenih tragova povijesnih poplava) na starim zgradama i vjerskim objektima duž Dunava, od izvora do Bratislave.

ZAHVALA

Predstavljeno istraživanje je financirano u okviru znanstvenog projekta *Ocena uticaja klimatskih promena na vodne resurse Srbije* (TR-37005) za razdoblje 2011.-2019., Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije. Autori se zahvaljuju Ministarstvu na pruženoj financijskoj pomoći i podršci. ■

LITERATURA

- Brazdil, R. et al. (2010.): European floods during the winter 1783/1784. Scenarios of an extreme event during the "Little Ice Age". *Theoretical and Applied Climatology*, 100(1), 163-189.
- Brazdil, R. et al. (2012.): Historical floods in Europe in the past millennium. In Kundzewicz, Z. W. (ed). *Changes in flood risk in Europe*. IAHS Special Publication 10, IAHS Press. Wallingford, 121-166.
- Brazdil, R.; Kundzewicz, Z.W. (2006.): Historical hydrology – Editorial. In. *Hydrological Sciences Journal*, 51.5. 733-738.
- Bondar, C.; Panin, N. (2001.): The Danube delta hydrologic DataBase modeling. In: *Proc. Intern. Workshop on "Modern and Ancient Environments and Processes" in Jugur*, Romania.
- Horvathova, B. (2003.): *Povoden to nie je ib vel'ka voda* (Floods is not only the high water) WEBA, Bratislava, 232 p.
- Ilić, A.; Prohaska, S.; Pokorni, B. (2017.): *Different approaches to design flood assessment at the Danube and the Drava confluence*, Electronic book with full papers from XXVII Conference on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Plamen Ninov i Elena Bojilova, Bulgarian National Committee for the International Hydrological Programme of UNESCO, Golden Sands, Bulgaria, 201-214
- Kresser, W. (1957.): *Die Hochwasser der Donau* (Floods of the Danube) Springer Verlag, Wien, 95 pp.
- Kiss, A. (2011.): *Floods and long-term water-level changes in medieval Hungary*. Doctoral dissertation. Central European University Budapest, Hungary, 323 pp.
- Kiss, A.; Laszlovszky, J. (2013.): 14th-16th century Danube floods and long-term water level changes in archaeological and sedimentary evidence in western and central Carpathian Basin. An overview with documentary comparison. *J. Environ. Geogr.* 6, 1-11.
- Munzar, J. et al. (2000.): Historical floods in Central Europe and their documentation by means of floodmarks and other epigraphical monuments. *Morav. Geograph. Rep.* 14, 3, 26-44.
- Pekarova, P. et al. (2013.): Historical flood marks and flood frequency analysis of the Danube River at Bratislava, Slovakia, *J. Hydrol. Hydromech.* 61, 4, 326-333.
- Pišut, P. (2011.): The 1787 flood of the River Danube in Bratislava. *Geographical Journal*, 63, 87-109 (in Slovak).
- Prohaska, S.; Ilić, A. (2017.): Sveobuhvatni pristup određivanju hidrograma velikih voda rijeke Drave mjerodavnih za projektiranje u hidrotehnici, *Časopis za vodno gospodarstvo, Josip Marušić, Hrvatske vode - Zavod za vodno gospodarstvo, Zagreb*, 159-168
- Rohr, C. (2005.): The Danube floods and their human response and perception (14th to 17th C), *History of Meteorology*, 2, 71-86.
- Rohr, C. (2007.): *Extreme nature events in Eastern Alps*, Bohlau-Verlag GmbH, 640 pp (in German).

Historical floods along the Danube River from 1012 to the present

Abstract. The paper provides a chronological overview of all significant floods that have occurred along the Danube River from the Middle Ages to the present time. The overview begins with the first recorded flood in 1012 and ends with 2013. Considering different data sources that were used, for the description of floods in the past we used a historical period longer than 1100, divided into three characteristic periods: the 1012–1500 period (**Antiquity**), for which floods were assessed based on materials from the historical archives, such as original manuscripts, newspaper excerpts, written chronicles, formal letters, maps and photographs; the 1501–1820 period, for which floods were assessed based on the hydraulic reconstruction of traces (marks) of recorded maximum water levels on old buildings, religious buildings, etc.; and the period from 1821 to the present, for which floods were assessed based on official data and measurements of state hydrometeorological services in the Danube countries. From the recorded series of significant floods along the Danube, we have separated those that are, according to the values of the basic parameters of flood hydrographs – maximum hydrograph ordinate – Q_{max} (m³/s) and flood wave volume W (10⁶ m³), above the exceedance probability:

$$P\{Q_{max} \geq q_{max,p}\} \cap (W_{max} \geq w_{max,p}) = 1.0\%$$

These floods are called **historical floods**. The paper presents the relevant return periods $T(Q_{max} \cap W_{max})$ for all recorded historical floods along the Danube, from its source to the dam of the HPP Đerdap, for which the multi-annual period from 1012 to the present was considered.

Key words: historical floods, flood wave, flood hydrograph, maximum ordinate, wave volume, exceedance probability, return period

Historische Hochwasserereignisse entlang des Flusses Donau von 1012 bis heute

Zusammenfassung. Im Artikel werden alle wichtigen Hochwasserereignisse chronologisch dargestellt, die entlang des Flusses Donau im Zeitraum vom Mittelalter bis heute aufgetreten sind. Die Darstellung beginnt mit dem ersten evidenzierten Hochwasser im Jahr 1012 und endet mit dem Jahr 2013. Aufgrund der unterschiedlichen Datenquellen ist dieser Zeitraum, der länger als 1100 Jahre ist, in drei charakteristische Unterzeiträume unterteilt: Unterzeitraum 1012–1500 oder Mittelalter, in dem die Hochwasserereignisse auf Grund von Materialien aus dem historischen Archiv, d.h. Originalmanuskripten, Zeitungsausschnitten, schriftlichen Chroniken, offiziellen Briefen, Karten und Photographien beschrieben wurden; Unterzeitraum 1501–1820, in dem die Hochwasserereignisse durch die Rekonstruktion von Spuren im Sinne von gekennzeichneten Hochwasserhöhen in alten Gebäuden, Kirchen oder ähnlichen Bauten eingeschätzt wurden, und Unterzeitraum 1821–heute, in dem die Hochwasserereignisse auf Grund von offiziellen Daten zu Beobachtungen und Messungen von nationalen hydrometeorologischen Diensten in den Donauländern erfasst wurden. Aus den evidenzierten wichtigen Hochwasserereignissen entlang der Donau wurden die Hochwasserereignisse gewählt, die nach den Werten der Grundparameter der Hochwasserhydrogramme (maximale Ordinate Q_{max} (m³/s) und Volumen der Überschwemmungswelle W (10⁶ m³)) über die Überschreitungswahrscheinlichkeit sind:

$$P\{Q_{max} \geq q_{max,p}\} \cap (W_{max} \geq w_{max,p}) = 1.0\%$$

Solche Hochwasserereignisse werden historische Hochwässer genannt. Im Beitrag werden entsprechende Wiederholungsperioden $T(Q_{max} \cap W_{max})$ aller evidenzierten historischen Hochwässer entlang der Donau, von der Quelle bis zum Wasserkraftwerk Eisernes Tor 1 (Đerdap), in diesem langjährigen Zeitraum von 1012 bis heute dargestellt.

Schlüsselwörter: historische Hochwasser, Überschwemmungswelle, Hochwasserhydrogramm, maximale Ordinate, Volumen der Überschwemmungswelle, Überschreitungswahrscheinlichkeiten, Wiederholungsperiode