

## REŽIM POVODNÍ V POVODÍ RIEKY DUNAJ

*Pavla Pekárová<sup>1</sup>*

### Abstrakt

Ekonomická prosperita každej krajiny je závislá na dostatku vody v jej povodiach. Takmer v každom povodí Európy je prírodný hydrologický cyklus narušený činnosťou človeka. Územie patriace do povodia rieky Dunaj patrí k jedným z najviac povodňami ohrozených území Európy. Najväčšiu rolu na tom zohráva lokalizácia Alpských a Karpatských chrbtov na ceste vlhkých vzduchových mäs prichádzajúcich od Atlantického oceánu. Vzhľadom k tomuto faktu, povodne zo zrážok a z topenia sa snehu na Alpských a Karpatských riekach majú nevyhnutne vysokú frekvenciu, výraznú intenzitu a veľký priestorový záber. Z času na čas prichádzajú nebezpečné povodne s katastrofickými následkami. V uplynulých desiatich rokoch sa vyskytli viaceré ničivé povodne na Dunaji, napr. v auguste 2002 na hornom Dunaji a v marci - apríli 2006 na strednom a dolnom Dunaji.

Cieľom prvej časti príspevku je analýza výskytu historických povodní (od roku 1500) na hornom Dunaji na základe archívnych údajov z horného toku Dunaja. V druhej časti sú identifikované zmeny hydrologického režimu Dunaja v stanici Bratislava za obdobie pozorovaní (1876-2005). Pri analýze boli použité časové rady maximálnych ročných prietokov a priemerných denných prietokov Dunaja z 23 staníc pozdĺž toku Dunaja. Tieto údaje boli zozbierané v rámci projektu UNESCO „Režim povodní v povodí rieky Dunaj“.

**Kľúčové slová:** historická hydrológia, Dunaj, variabilita prietokov,

### 1. Úvod

Na každom kroku sa dnes stretávame s vyhláseniami že „povodne sú vyššie“ a suchá častejšie a dlhšie“. Konštatovania v tomto zmysle bez citácie zdroja sa nachádzajú nielen v novinových a televíznych komentároch, ale aj v diplomových a dokonca aj dizertačných prácach. Ale je tomu skutočne tak? Naozaj sú povodne i suchá extrémnejšie a častejšie?

Nato, aby sme overili túto hypotézu, je potrebné dôkladne štatisticky analyzovať dostatočne dlhé merané rady údajov. Systematické prístrojové hydrologické pozorovania na Slovensku začali vo veľkom až v druhej polovici 20. storočia. Tieto prietokové rady sú príliš krátke a nemožno ich použiť. Aj rady so začiatkom pozorovaní od roku 1921 nemôžeme považovať za postačujúce. Na Slovensku sú len 4 rady ročných prietokov od roku 1901. Podľa [1] a [2] prvé merania vodných stavov začali na Dunaji v Komárne v roku 1805 a v Bratislave v roku 1823. Doteraz je vyhodnotený rad denných prietokov od roku 1876 len pre stanicu Dunaj v Bratislave [3]. Preto je potrebné na jednej strane pokúšať na základe archívnych materiálov doplniť rady denných prietokov a na druhej strane pracovať aj s údajmi z okolitých krajín.

### 2. Údaje a použité metódy

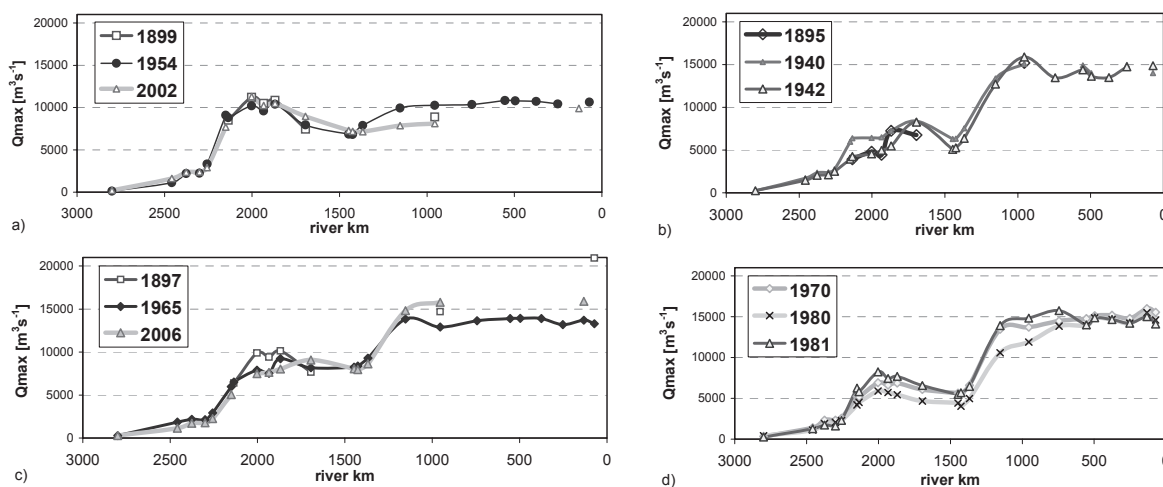
Na Dunaji v rámci Dunajskej spolupráce pod záštitou UNESCO sú riešené spoločné projekty, výsledkom ktorých boli publikované viaceré monografie. V rámci projektu č. 9 Flood regime of rivers in the Danube River basin [4] bola vytvorená databáza priemerných denných a extrémnych prietokov z 23 staníc po dĺžke Dunaja (pozri Obr. 1).



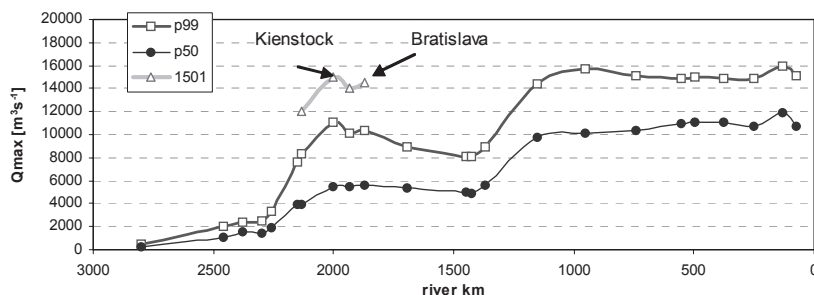
Stanica	riečny km		plocha km <sup>2</sup>
	km	km	
Berg	GE	2800.0	4047
Ingolstadt	GE	2458.3	20001
Regensburg	GE	2376.1	35399
Pfelling	GE	2300.0	37687
Hofkirchen	GE	2256.9	47496
Achleiten	GE	2150.0	76653
Linz	AT	2135.2	79490
Stein/Kienstock	AT	2002.7	96045
Wien-Nussdorf	AT	1934.1	101700
Bratislava/Devin	SK	1868.8	131338
Nagyvaros	HU	1694.6	183534
Mohács	HU	1446.8	209064
Bezdan	SR	1425.5	210250
Bogojevo	SR	1367.4	251593
Pancevo	SR	1153.3	525009
Turnu Sev./Orsova	RO	955.0	576232
Lom	BG	743.3	588860
Zimnicea	RO	554.0	658400
Ruse	BG	495.6	669900
Silistra	BG	375.5	689700
Vadu Oii-Hirsova	RO	252.3	709100
Reni	UKR	132.0	807000
Ceatal Izmail	RO	72.0	807001

Obr. 1: Schéma povodia Dunaja, stanice na Dunaji po dĺžke toku.

Katastrofické povodne na hornom (prameň Dunaja po stanicu Bratislava), strednom a dolnom (od stanice Orsova po ústie) toku Dunaja sa zvyčajne nevyskytujú súčasne. Na hornom toku Dunaja od mesta Passau sa najvyššie povodne za obdobie pozorovaní vyskytli v rokoch: 1862, 1897, 1899, 1954 a 2002 (Obr. 2 a, b). Na dolnom toku to boli povodne v roku 1897, 1940, 1942, 1970, 1980, alebo 1981. V roku 1897, 1965 alebo 2006 bola povodeň na celom povodí Dunaja (Obr. 2 c). Na hornom toku Dunaja najvyšší prietok za obdobie meraní bol dosiahnutý v stanici Stein Krems/Kienstock,  $11\,306\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ , v roku 2002, druhý najvyšší bol  $11\,200\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  v roku 1899. Na dolnom toku Dunaja v ústí uvádzajú Bondar a Panin [8] prietok  $20\,940\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  za povodne v júli 1897. Od Stein Kremsu po prítok Tisy dochádza na Dunaji k transformácii vrcholu povodňovej vlny (pozri Obr. 3, 99. percentil p99). Na Obr. 3 je znázornený i rekonštruovaný prietok za povodne v roku 1501, podľa [1] dosiahol v stanici Krems  $14\,000\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ .



Obr. 2: Priebeh extrémnych povodní po dĺžke Dunaja.



Obr. 3: Percentily maximálnych ročných prietokov Dunaja v jednotlivých staniciach po dĺžke Dunaja za obdobie 1876-2006. p99 – 99. percentil, p50 – 50. percentil a historická povodeň v roku 1501.

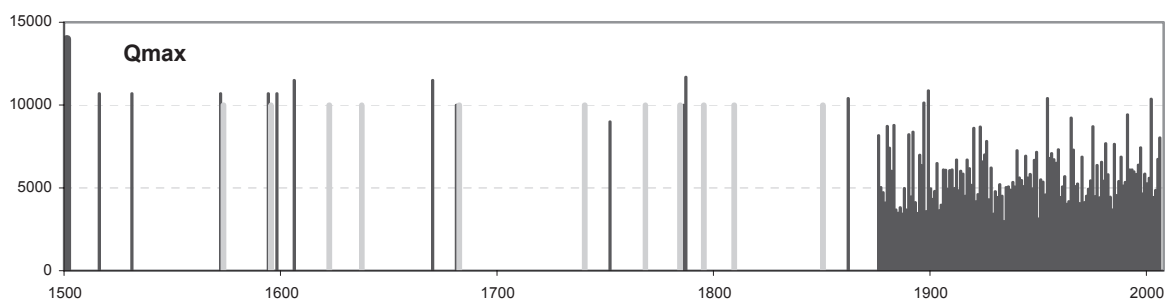
Pri analýze extrémnych prietokov sme vychádzali z meraných radov maximálnych ročných prietokov z rakúskych staníc Stein Krems/Kienstock a Viedeň, zo slovenskej stanice Bratislava a z maďarskej stanice Nagymaros a zo záznamov o historických povodniach. Keďže v zahraničí sú v databázach uložené rady  $Q_{max}$  za kalendárne roky a v slovenskej za hydrologické roky, upravili sme rad  $Q_{max}$  v Bratislave na kalendárne roky. Na podrobnú analýzu zmien variability veľkých, stredných a malých povodní na hornom toku Dunaja sme použili prietokový rad denných prietokov zo slovenskej stanice Bratislava (1876–2006).

Pri analýze údajov sme využili celý rad štandardných štatistických softvérov na analýzu časových radov, vlastné softvéry, ako i hydrologický softvér na identifikáciu zmien v radoch denných údajov IHA (Indicators of Hydrologic Alternations) verziu 7 [5].

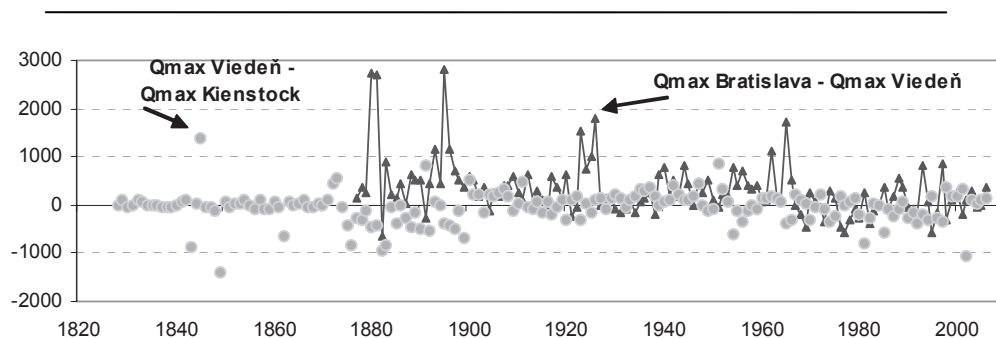
### 3. Výsledky

#### 3.1 Historické povodne na Dunaji v úseku Stein Krems-Bratislava

Na základe prác [1] a [2] a historických zdrojov sme zostavili rad historicky významných povodní na Dunaji nad Bratislavou od roku 1501. V tomto úseku je do roku 1876 známych okolo 10 letných povodní (Obr. 4). Z toho povodne v roku 1501, 1670, 1787 mali prietok vyšší, ako povodeň v roku 1899. Z týchto údajov nevyplýva, žeby sa počet extrémnych povodní na Dunaji za posledných 500 rokov zmenil. Najväčšia povodňová aktivita v sledovanom úseku Dunaja sa vyskytla v poslednom štvrtstoročí 19. storočia (1876-1900).

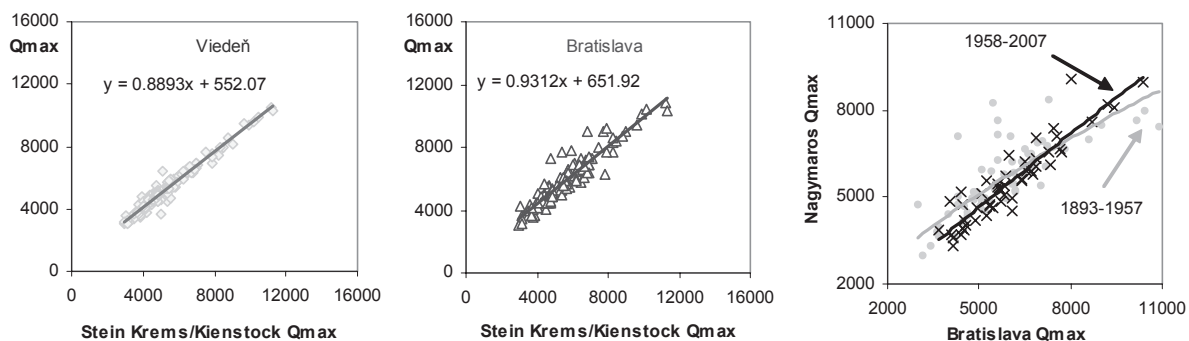


Obr. 4: Historické povodne na Dunaji v úseku Kienstock-Bratislava od roku 1500 do roku 1876 (tmavé stĺpce - letné povodne, svetlé stĺpce - zimné povodne), od roku 1876 merané maximálne ročné prietoky  $Q_{max}$  v stanici Bratislava.



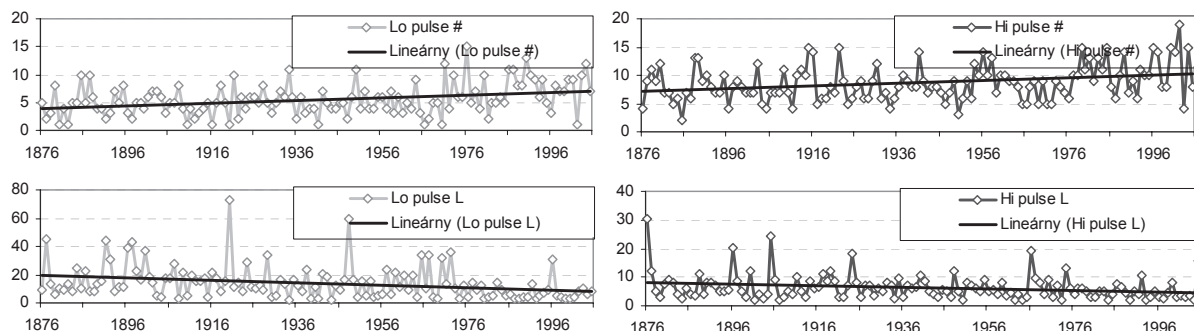
Obr. 5: Rozdiel vrcholových prietokov: Bratislava mínus Viedeň - trojuholníky, Viedeň mínus Kienstock - body.

Ako už bolo spomenuté, na analýzu maximálnych ročných prietokov Dunaja v úseku nad Bratislavou sme použili rady  $Q_{max}$  zo štyroch staníc: Krems (1823-2006), Viedeň (1823-2006), Bratislava (1976-2008) a Nagymaros (1893-2007). Keďže dané rady boli vyhodnocované v rôznych obdobiach v rôznych štátoch, a v priebehu minulého storočia došlo v danom úseku k výrazným zmenám (protipovodňové hrádze, vodné dielo Freudenau a Gabčíkovo) [6], musíme počítať s výraznou variabilitou údajov. Homogénnosť radov  $Q_{max}$  sme porovnali vypočítaním rozdielov v prietokoch medzi jednotlivými stanicami. Na Obr. 5 sú vykreslené rozdiely radov  $Q_{max}$ . Rozdiely medzi Viedňou a Kienstockom nepresahujú  $1500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Prirodzene, vyššie sú rozdiely v extrémnych prietokoch medzi Bratislavou a Viedňou. Najväčšie rozdiely sú v rokoch 1881 a 1882, v roku 1895 a v období rokov 1923-1926. V roku 1895 bol podobný prietok, ako v Bratislave, nameraný aj v stanici Nagymaros, čiže sa pravdepodobne nejedná o chybu vyhodnotenia  $Q_{max}$  v Bratislave. Závislosť medzi jednotlivými radmi  $Q_{max}$  je znázornená na Obr. 6. Medzi radmi Krems-Viedeň a Krems-Bratislava existuje významná závislosť. Medzi stanicou Bratislava a Nagymaros došlo k zmene odtokových pomerov. Závislosť medzi  $Q_{max}$  v Bratislave a Nagymarosi sme vyhodnotili pre dve obdobia (1893-1957 a 1958-2007). Spevňovaním hrádzí v tomto úseku nedochádza za povodní k takej transformácii povodňových vln, ako tomu bolo v minulosti. V rokoch 1899, 1954 i 1965 došlo pretrhnutím hrádzí k zníženiu vrcholových prietokov pod Komárnom. Povodňová vlna v roku 2002 prešla daným úsekom bez problémov, avšak v Nagymarosi boli zaznamenané historicky najvyššie prietoky. Z tejto analýzy vyplýva, že prietokový rad v stanici Nagymaros je výrazne ovplyvnený výstavbou hrádzí a nie je vhodný na analýzu prirodzených zmien povodňového režimu Dunaja. Preto na ďalšie analýzy použijeme rad priemerných denných prietokov zo stanice Bratislava.



Obr. 6: Závislosť medzi radmi  $Q_{max}$ :

a) v Kremsi a Viedni b) v Kremsi a Bratislave c) v Bratislave a Nagymarosi za dve obdobia



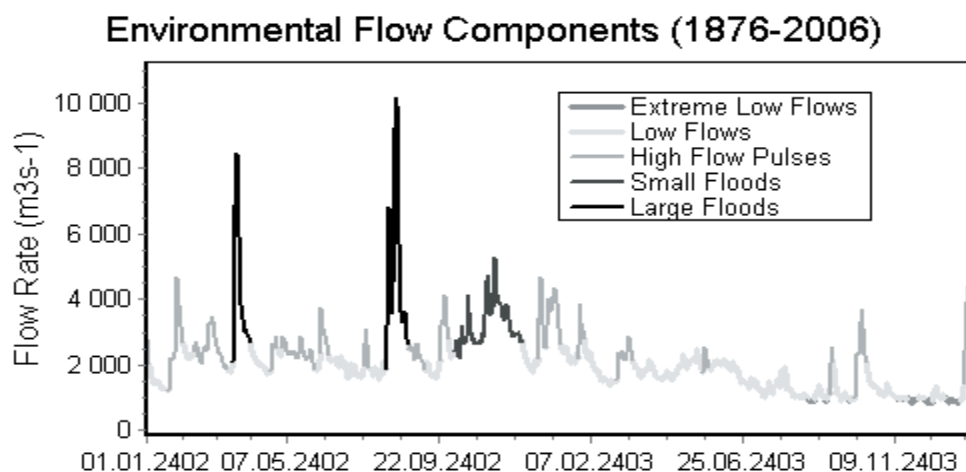
Obr. 7: Priebeh radov zostavených z počtu a trvania súch (Lo pulse) a povodní (Hi pulse) v roku, Dunaj: Bratislava (1876-2005).

### 3.2 Identifikácia zmien v počte, trvaní a dobe výskytu povodní a súch

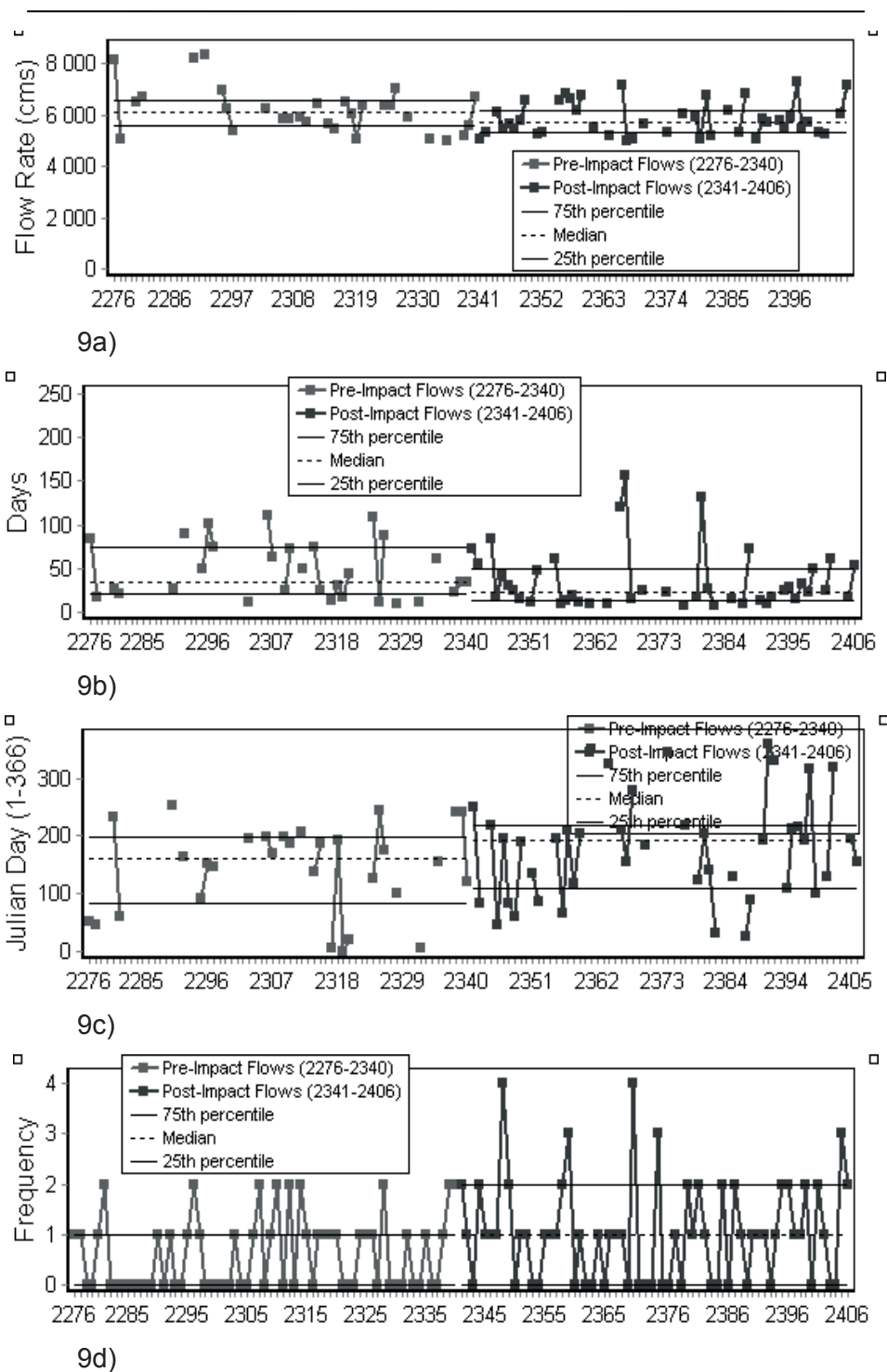
Podrobné zhodnotenie ročných, mesačných a denných prietokových charakteristík Dunaja v stanici Bratislava možno nájsť v prácach [6], [7]. V tejto práci sme sa zamerali na zhodnotenie denných prietokov Dunaja z ekologického hľadiska. Najskôr sme pomocou softvéru IHA zhodnotili počet a trvanie malých a veľkých prietokových vín. Výsledky tejto analýzy sú graficky znázornené na Obr. 7. Zatiaľ čo počet malých (Lo) aj veľkých (Hi) pulzov prietokov v roku rastie, ich trvanie klesá. Môže to byť dôsledok zrýchlenia postupovej doby povodní na hornom Dunaji [6]. Následne sme sa zamerali na podrobnú identifikáciu zmien charakteristík sucha a vysokých prietokov na Dunaji v stanici Bratislava za dve obdobia 130ročného obdobia 1876-1940 a 1941-2005. Program IHA sme rozdelili denné prietoky (na základe dopredu stanovených kritérií hraničných hodnôt) do piatich skupín (Obr. 8):

1. Extrémne nízke prietoky (pod 10. percentilom nízkych prietokov);
2. Nízke prietoky (prietok v bezzrážkovom období);
3. Vyššie prietoky (napr. pokiaľ voda nevystúpi z brehov) ;
4. Malé povodne (2-10ročné povodne);
5. Extrémne povodne.

(Program IHA nevie podobne ako EXCEL pracovať s dátumom pred 1. 1. 1900, preto sme posunuli údaje o 400 rokov, t.j. rok 1876 je zadaný ako rok 2276). Príklad spracovania pre malé povodne je znázornený na Obr. 8. Na Obr. 9 a) je vykreslený rad ročných priemerných prietokov malých povodní [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ], na Obr. 9 b) je rad doby trvania malých povodní [deň], Obr. 9 c) udáva dátum výskytu [366 – 31. december]. Na Obr. 9 d) je frekvencia malých povodní.



Obr. 8: Rozdelenie denných prietokov do 5 skupín, 1. 1. 2002–31. 12. 2003.



Obr. 9: Charakteristiky malých povodní na Dunaji pre dve obdobía 1876-2005 (t.j. 2276-2405).

#### 4. Záver

V prvej časti článku sme na základe archívnych materiálov zhodnotili historické povodne na hornom toku Dunaja. V druhej časti sme za pomoci softvéru IHA identifikovali zmeny počtu a trvania súch a malých a veľkých povodní. Výsledky porovnania počtu a trvania súch a malých, stredných a veľkých povodní za dve obdobia 1876-1940 a 1941-2005 sú zhrnuté v tabuľke 1. V prvom období – v minulosti – boli na Dunaji výraznejšie suchá a aj dlhšie trvali.



Priemerný vrcholový prietok vyšších prietokov i malých povodní sa znížil a aj ich trvanie sa skrátilo.

Tabuľka 1: Porovnanie počtu a trvania súch a malých, stredných a veľkých povodní za dve obdobia I. (1876-1940) a II. (1941-2005), priemerné hodnoty za obdobie, Dunaj: Bratislava

Parameter	Obdobie I.	Obdobie II.	Parameter	Obdobie I.	Obdobie II.
Vrchol extrémnych súch	859	910,7	Vrchol malých povodní	6130	5717
Trvanie extrémnych súch	10	3	Trvanie malých povodní	34,75	23
Výskyt extr. súch (deň)	3	347	Výskyt malých povodní	159,5	191
Vrchol vyšších prietokov	3100	2997	Rýchlosť rastu MP	388,6	564,9
Trvanie vyšších prietokov	10	6,25	Rýchlosť poklesu MP	-199,5	-282,8
Výskyt vyšších prietokov	205	188,5	Vrchol veľkých povodní	8746	9171
Rýchlosť rastu vyšš. pr.	312	398,3	Trvanie veľkých povodní	22,5	40
Rýchlosť poklesu vyšš. pr.	-146,6	-204,7	Výskyt veľkých povodní	137,5	187
			Rýchlosť rastu VP	932	339,7
			Rýchlosť poklesu VP	-599,9	-400,3

Jedine v prípade veľkých povodní (s dobou opakovania nad 10 rokov) došlo k zvýšeniu priemerného vrcholu týchto povodní z 8746 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> na 9171 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Zvýšila sa i priemerná dĺžka trvania veľkých povodní (zásluhu na tom má predovšetkým povodeň z roku 1965).

Z uvedených výpočtov vyplýva, že vyslovená hypotéza, že povodne na Dunaji sú extrémnejšie a suchá trvajú dlhšie sa nepotvrdila. Na hornom Dunaji nedochádza k znižovaniu minimálnych prietokov, ani k predlžovaniu období s nízkymi prietokmi, skôr naopak. Ani v prípade vyšších prietokov a malých povodní nedošlo v hodnotených dvoch obdobiach k nárastu charakteristík. V prípade veľkých povodní (doba opakovania nad 10 rokov) si musíme uvedomiť, že bolo porovnaných šesť povodní z prvého obdobia so 6 povodňami z druhého obdobia. Tu sú výsledky významne ovplyvnené povodňou z roku 1965. V prípade extrémnych povodní s dobou opakovania nad 50 rokov musíme vychádzať z historických povodní, zhodnotených v prvej časti článku.

## Literatúra

- [1] KRESSER, W., 1957. Die Hochwässer der Donau. Springer Verlag, Wien. 95 pp.
- [2] HORVÁTHOVÁ, B., 2003. Povodeň to nie je iba veľká voda. VEDA, Bratislava. 232 s.
- [3] PEKÁROVÁ, P. – ONDERKA, M. – PEKÁR, J. – MIKLÁNEK, P. – HALMOVÁ, D. a kol., 2008. Hydrologic Scenarios for the Danube River at Bratislava. KEY Publishing, Ostrava. 159 pp. ISBN 978-80-87071-51-9.
- [4] Project Flood regime of rivers in the Danube River basin <[www.ih.savba.sk/danubeflood](http://www.ih.savba.sk/danubeflood)>
- [5] THE NATURE CONSERVANCY, 2007. Indicators of Hydrologic Alteration, Version 7, User's Manual.
- [6] SVOBODA, A. – PEKÁROVÁ, P. – MIKLÁNEK, P., 2000. Flood Hydrology of Danube between Devín and Nagymaros. Bratislava: ÚH SAV; SVH, 96 pp. ISBN 80-967808-9-1.
- [7] PEKÁROVÁ, P., 2009. Multiannual runoff variability in the upper Danube region. Doktorská dizertačná práca. IH SAS Bratislava. 151 pp. <<http://147.213.145.2/pekarova>>
- [8] 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.*

## Kontakty na autora

1 Ústav hydrológie SAV, Račianska 75, 831 02 Bratislava, e-mail: [pekarova@uh.savba.sk](mailto:pekarova@uh.savba.sk)