

**ANALÝZA ZMIEN CHARAKTERISTÍK
MAXIMÁLNYCH POVODNÍ DUNAJA V STANICI BRATISLAVA**

Pavla Pekárová, Dana Halmová, Veronika Bačová Mitková

Predložený príspevok je zameraný na vyhodnotenie zmien maximálnych ročných prietokov a zmien im prislúchajúcim prietokových vln. Zmeny boli analyzované v stanici Dunaj: Bratislava s dlhým radom pozorovania (1876 – 2013). Pre ďalšie analýzy bolo dané obdobie rozdelené na dve podobdobia v trvaní 1876 – 1945 a 1946 – 2013. Autori spracovali povodňové vlny v dĺžke trvania 5, 11, 15 a 21 dní pre každý maximálny ročný prietok Q_{max} pozorovaného obdobia. Následne vyhodnotili trendy objemov povodňových vln v dĺžke trvania 5, 11, 15 a 21 dní za celé obdobie 1876 – 2013. Z výsledkov je zrejmé, že objemy nepreukazujú významný rastúci ani klesajúci trend. Autori analyzovali medián (50-ty percentil) 138-ych prietokových vln priradených k maximálnym ročným prietokom Q_{max} s dobou trvania 21 dní, pre dve časové obdobia 1876 – 1945 a 1946 – 2013. Vrchol prietokových vln (ako aj rýchlosť rastu či poklesu vlny) sú vyššie v druhom sledovanom období v prípade 10-teho (obdobie zvýšených prietokov) a 50-teho percentilu (malé povodne), avšak objem vlny je rovnaký v oboch hodnotených obdobiach. V prípade analýzy 99-teho percentilu (veľké povodne) nie sú pozorované žiadne zmeny.

KEÚČOVÉ SLOVÁ: maximálny ročný prietok, dlhodobé trendy, trvanie a objem povodne, Dunaj

ANALYSIS OF CHANGES OF MAXIMUM FLOOD CHARACTERISTICS ON THE DANUBE RIVER IN BRATISLAVA STATION. This paper is focused on evaluation of annual maximum discharges and relevant flood waves. In this paper the gauge station Danube: Bratislava with the long series of observations (1876–2013) was selected. For further analysis, the given period was divided into two sub-periods lasting 1876–1945 and 1946–2013. We processed the flood waves of 5, 11, 15 and 21 days duration for each maximum annual discharge Q_{max} . We evaluated the trend in volumes of flood waves, lasting 5, 11, 15 and 21 days for the whole period 1876–2013. The results show no significant, neither increasing nor decreasing, trend in flood wave volumes. We analysed the hydrographs of the median (50th percentile) of the 138 Q_{max} waves with duration of 21 days in two different periods 1876–1945, and 1946–2013. Flood wave magnitudes (as well as rise- and fall- rate) are higher in the recent period in the case 10th (high flow pulses) and 50th percentiles (small floods), but volume of the waves is the same in both periods. In the case of the 99th percentiles (large floods), there are no changes.

KEY WORDS: annual maximum discharge, flood wave duration and volume

Úvod

Kolísanie v radoch hydrologických veličín ako sú odtok, zrážky a teplota vzduchu sú veľmi dôležité pre štúdium klimatickej zmeny. Trendy, resp. iné zmeny vlastností pozorovaných časových radov v hydrológii (ako napríklad radov teploty vzduchu, množstva vody) a radov odvodených údajov, (akými sú napr. údaje o územnom výpare, o zásobách vody v povodí a pod.) môžu byť dôležitými indikátormi, či k predpokladanej zmene

dochádza. Zo štúdií, ktoré sa na Slovensku zaoberajú analýzou časových radov jasne prevládajú štúdie, ktoré sa venujú hydrologickému radu našej najväčšej rieky, Dunaju, vo vodomernej stanici Bratislava. Pribeh odtoku vôd z povodňou postihnutého územia môžeme charakterizovať pomocou prietokovej vlny, ktorá sa prejavuje prechodným zväčšením, kulmináciou a následným poklesom prietoku. Pojem prietoková vlna sa používa súhrne pre všetky vlny na toku bez ohľadu na pôvod vzniku (či už sa jedná o prírodné alebo antro-

pogénne). Je charakterizovaná kulmináčnym prietokom, trvaním a zodpovedajúcim objemom vody, ktorý pretečie daným profilom od začiatku do konca prietokovej vlny (v m³). Trvanie povodne je dané časovým úsekom medzi počiatkom a ukončením povodne. Smerom po toku sa trvanie často zväčšuje, pretože povodeň sa splošťuje (obzvlášť pri prechode inundačnou úrovňou). Špeciálnym prípadom prietokovej vlny je vlna povodňová (s rýchlym nárastom a poklesom prietoku).

V súčasnosti sa v literatúre stretávame s informáciami o častejšom výskyte katastrofických povodní a o tom, že suchá sú v dôsledku klimatickej zmeny čoraz dlhšie. Potvrdiť, alebo vyvrátiť tieto informácie je možné len dôkladným štatistickým spracovaním dlhých radov meraných priemerných denných prietokov. V známej literatúre takéto porovnanie pre vodomerné stanice na rieke Dunaj nám zatiaľ nie je známe. Na Slovensku sa viacerí autori (Bačová a kol., 2015; Blaškovičová a kol., 2013; Pekárová a kol., 2011, 2014; Pramuk, 2016; Pramuk a kol., 2016) zamerali na zhodnotenie trendových zmien v radoch priemerných ročných a maximálnych ročných prietokov Dunaja v stanici Bratislava. Autori vyhodnotili priemerné ročné a mesačné prietoky, minimálne ročné a mesačné prietoky a maximálne ročné a mesačné prietoky. Zostrojili tiež rady $Q_{\max}/Q_{\min}$ (pomery najväčšieho a najmenšieho priemerného denného prietoku) pre jednotlivé roky a mesiace a hodnotili ich vývoj ako vývoj extremality. V prípade minimálnych prietokov v šiestich staniciach na Dunaji. Poárová a kol. (2013) identifikovali trendy minimálnych ročných a mesačných prietokov vybraných slovenských tokov. Je však potrebné určiť začiatok a koniec všetkých prietokových vln za rok, určiť ich trvanie, stanoviť ich

veľkosť. Vzhľadom na predlžovanie časových radov hydrologických a meteorologických údajov a ich lepšiu dostupnosť je možné pracovať s čoraz väčším množstvom kompletných radov priemerných denných prietokov. Preto cieľom tohto príspevku je štatistická analýza maximálnych ročných prietokov $Q_{\max}$ rieky Dunaj v stanici Bratislava za obdobie rokov 1876 – 2013.

Opis povodia

Rieka Dunaj vzniká sútokom Brege a Brigachu v Čiernom lese (Nemecko), preteká južným Nemeckom, Rakúskom, Slovenskom, Maďarskom, Srbskom, potom tvorí po mnoho desiatok kilometrov rumunsko-bulharskú hranicu a ústí delťou do Čierneho mora na hraniciach medzi Rumunskom a Ukrajinou. Priama vzdialenosť od prameňa Dunaja v Čiernom lese po ústie do Čierneho mora je 1 630 km (Brilly, 2010). Ide o povodie, ktoré prechádza najväčším počtom krajín vo svete, s celkovým počtom trinásť štátov. Povodie rieky Dunaj pokrýva územie o veľkosti 801 463 km² (10% Európskeho kontinentu), čo z neho robí po povodí Volgy druhé najväčšie povodie v Európe. Slovenská časť povodia Dunaja je situovaná od riečneho kilometra 1708,2 po 1880,2 rkm. Rieka vytvára štátnu hranicu medzi Rakúskom a Slovenskom v dĺžke okolo 7,5 km, 22,5 km toku tečie na Slovensku a zvyšok o dĺžke 142 km tvorí štátnu hranicu s Maďarskom. Medzi Viedňou a Podunajskou nížinou Dunaj tečie v ohraničenom kanáli s relatívne vysokým sklonom dna koryta. Podrobný opis povodia môžeme nájsť vo viacerých príspevkoch (Pekárová a kol., 2008; Bačová Mitková a kol., 2015) a z tohoto dôvodu v predložení príspevku uvádzame mapu povodia iba pre ilustráciu (obr. 1).



Obr. 1. Mapa povodia rieky Dunaj.
Fig. 1. Map of the Danube River basin.

Použité údaje

V tejto štúdii sme pri štatistickej analýze použili rad maximálnych ročných prietokov Dunaja v stanici Bratislava za obdobie 1876 – 2013. Na obr. 2 je znázornený priebeh a dlhodobý trend maximálnych ročných prietokov Dunaja v stanici Bratislava za obdobie rokov 1876 – 2013. Daný rad maximálnych ročných prietokov 1876 – 2013 sme následne rozdelili na dve podobdobia: 1877 – 1945 a 1946 – 2013.

Metódy

Na analýzu zmien hydrologických charakteristík bola využitá metóda IHA (Indicators of Hydrologic Alterations), ktorá ponúka rýchly výpočet štatistických charakteristík charakterizujúcich extrémne fázy odtoku. Pramuk (2016) analyzoval dlhodobé trendy vývoja vybraných charakteristík povodňových udalostí na Dunaji v dvadsiatich staniách (vrátane stanice Bratislava). Prietokové udalosti s maximálnym priemerným denným prietokom v Bratislave medzi $5320 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a $8239 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ boli klasifikované ako malé povodne a udalosti s prietokom vyšším ako $8239 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ boli klasifikované ako veľké povodne. Priemerná dĺžka trvania malých povodní je 37,8 dní a veľkých povodní 52 dní za rok. Výsledky analýzy sú zobrazené na obr. 3. Chýbajúce body na obr. 3 indikujú neprítomnosť danej prietokovej udalosti (malá alebo veľká povodeň) v danom roku.

Vrcholy malých povodní sa v stanici Dunaj: Bratislava významne nemenia, trvanie malých povodní klesá a ich priemerný počet za rok má rastúcu tendenciu. Rýchlosť rastu resp. poklesu prietokovej vlny znamená priemer alebo medián všetkých pozitívnych resp. negatívnych rozdielov medzi za sebou idúcimi dennými hodnotami prietokov. Rýchlosť rastu a poklesu povodňových vln malých povodní rastie. V prípade veľkých povodní je vývoj vybraných prietokových charakteristík rozdielny. Vybrané charakteristiky (maximálny prietok, počet a trvanie povodňovej udalosti, rýchlosť rastu povod-

ňovej vlny) nevykazujú štatisticky významné zmeny za pozorované obdobie, iba rýchlosť poklesu veľkých povodní má výrazne stúpajúcu tendenciu.

Po vyššie spomenutej analýze vybraných prietokových charakteristík sme sa rozhodli analyzovať povodňové vlny v dĺžke trvania 5, 11, 15 a 21 dní pre každý maximálny ročný prietok Q_{max} pozorovaného obdobia a vyhodnotiť trend objemov povodňových vln. V tomto prípade sme objem 5 dennej vlny počítali z priemerných denných prietokov z dvoch dní pred vrcholom a z dvoch dní po vrchole vlny.

Mann-Kendallov test trendu

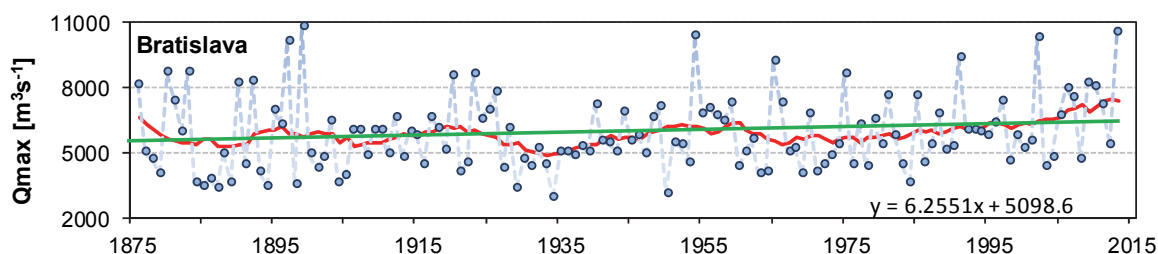
Pri analýze významnosti dlhodobých trendov bol použitý Mann-Kendallov test významnosti trendu. Mann-Kendallov test trendu (Mann, 1945; Kendall, 1975) je často používaným testom na určovanie trendov časových radov údajov. Tento test patrí do skupiny neparametrických testov. To znamená, že nie je závislý na tom, aké rozdelenie má testovaný rad. Toto je jeho výhodou v porovnaní s parametrickými testami ako je napr. test pomocou regresného koeficientu. Mann-Kendallov test trendu je preto široko používaný pre testovanie trendov v prírodných časových radoch, ktorých rozdelenie sa výrazne odchyľuje od normálneho rozdelenia (ako sú napr. atmosférické zrážky, prietoky a časové rady ukazovateľov kvality vody).

Pri výpočte bol použitý Excelovský súbor MAKESENS, ver 1.0 (2002). Testovacia štatistika S je určená vzťahom (Yue a kol., 2012):

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_k) \quad (1)$$

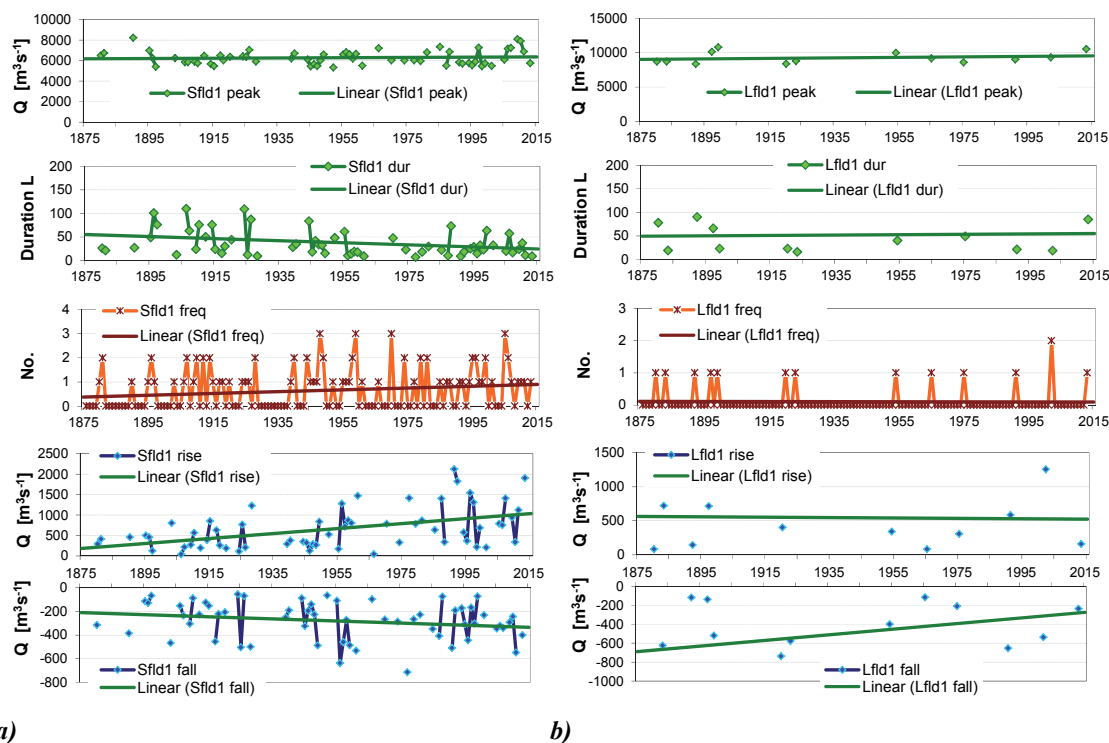
kde hodnoty x_j predstavujú postupné hodnoty dát a n je dĺžka časového radu a:

$$\text{sign}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1, & \text{ak } x_j - x_k > 0 \\ 0, & \text{ak } x_j - x_k = 0 \\ -1, & \text{ak } x_j - x_k < 0. \end{cases} \quad (2).$$



Obr. 2. Dlhodobý trend maximálnych ročných prietokov Q_{max} v stanici Dunaj: Bratislava (zelená čiara: dlhodobý trend; červená čiara: X ročné kľzavé priemery maximálnych ročných prietokov).

Fig. 2. The long-term trend of maximum annual discharges Q_{max} in the Danube: Bratislava station (Green line: long-term trend; Red line: X year moving average of the maximum annual discharges).



Obr. 3. Priebeh (body) a lineárny trend (zelená čiara) vybraných prietokových charakteristik (maximálny prietok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], trvanie povodňovej udalosti [deň] a počet, rýchlosť rastu a poklesu povodňovej vlny [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]) pre kategóriu malých a veľkých povodní: vľavo (a) Sfld1 – malé povodne; vpravo (b) Lfld1 – veľké povodne; stanica Dunaj: Bratislava, časové obdobie 1876 – 2013.

Fig. 3. Time course (points) and linear trend (green line) of the selected discharge characteristics (peak discharges [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], number and duration of events [day], and rise and fall rates of the waves [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]) for small and large flood categories: left side (a) Sfld1 – small floods; right side (b) Lfld1 – large floods; for Danube: Bratislava water gauge, 1876–2013 period.

Pri časových radoch ≥ 8 nadobúda štatistika S približne normálne rozdelenie (Gocic a kol., 2013). Jej variácia sa počíta pomocou vzťahu:

$$\text{VAR}(s) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \quad (1)$$

kde g je počet viazaných skupín (skupina dát s rovnakou hodnotou), t_p je počet čísel s rovnakou hodnotou v skupine $p = 1 \dots g$.

Štandardizovaná štatistika Z je počítaná pomocou vzťahu:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{pre } S > 0 \\ 0 & \text{pre } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{pre } S < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Ak sa štandardizovaná Mann-Kendallová štatistika Z rovná nule, dáta sú distribuované normálnym rozdelením so strednou hodnotou nula a rozptylom určeným nulovou hypotézou (neexistuje trend). Pozitívne hodnoty Z naznačujú narastajúci trend, negatívne hodnoty Z určujú klesajúci trend.

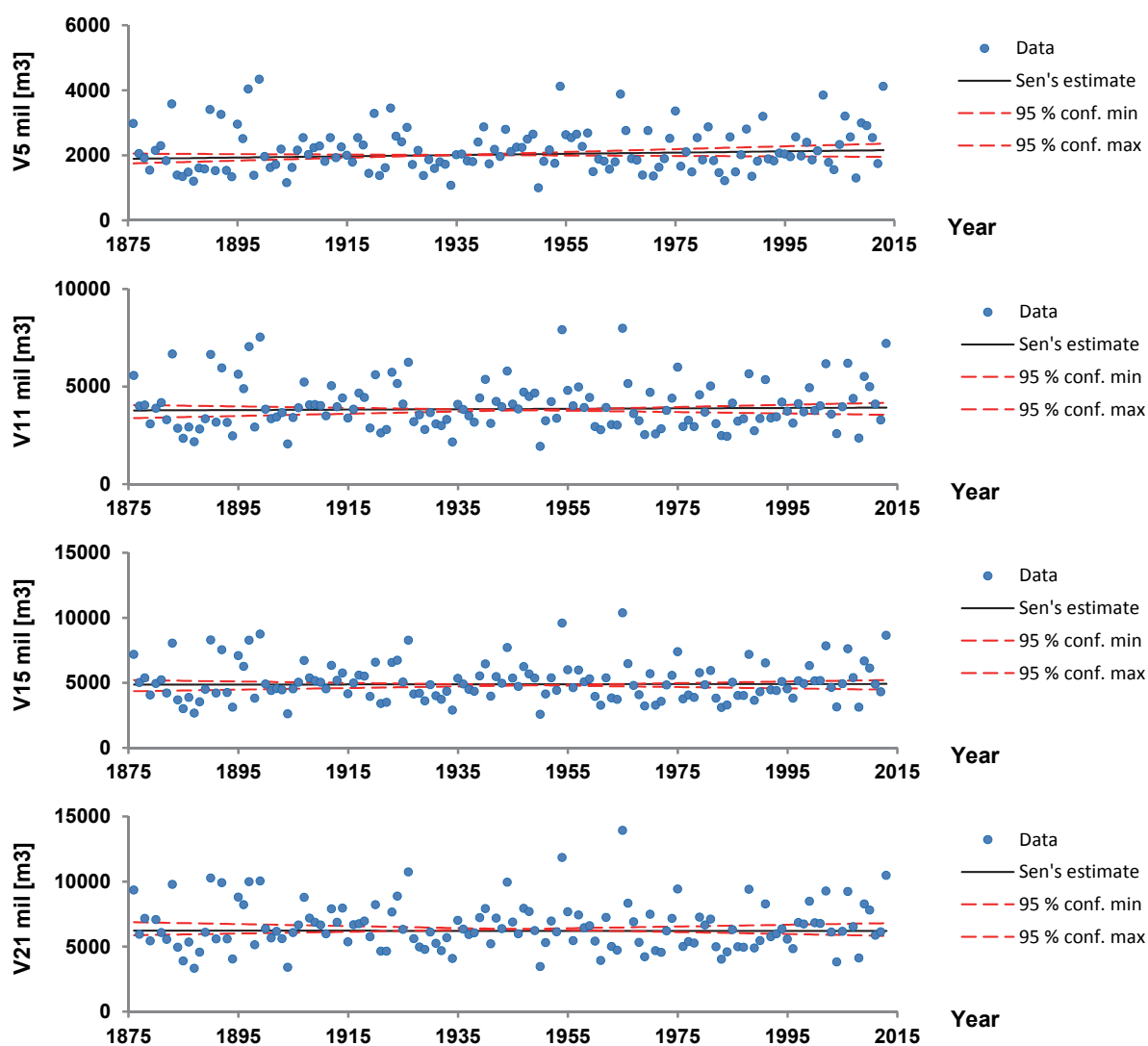
Výsledky

Boli spracované súbory objemov povodňových vln v dĺžke trvania 5, 11, 15 a 21 dní pre každý maximálny ročný prietok $Q_{\max}$ pozorovaného obdobia. Následne sme vyhodnotili trendy objemov povodňových vln v dĺžke trvania 5, 11, 15 a 21 dní za celé obdobie 1876 – 2013 (obr. 4).

Z výsledkov v tabuľke 1 a zobrazených na obr. 4 je zrejmé, že objemy nepreukazujú štatisticky významný rastúci ani klesajúci trend. Trend objemov povodňových vln v dĺžke trvania 5 až 15 dní je štatisticky nevýznamne rastúci a trend objemov povodňových vln v dĺžke trvania 21 dní je nevýznamne klesajúci.

Tabuľka 1. Výsledky Mann-Kendallovho testu trendu
Table 1. Summary table of the Mann-Kendall trend test

Time series	Mann-Kendall trend		Sen's slope estimate					
	Test Z	Signific.	A	Amin99	Amax99	B	Bmin99	Bmax99
V5 mil [m3]	1.42		1.916	-1.634	5.179	1895	2120	1684
V11 mil [m3]	0.48		1.070	-5.147	7.349	3778	4168	3257
V15 mil [m3]	0.11		0.389	-7.099	8.156	4866	5293	4203
V21 mil [m3]	-0.05		-0.203	-10.018	9.052	6224	7015	5639



Obr. 4. Odhad lineárneho trendu objemov povodňových vln v dĺžke trvania 5, 11, 15 a 21 dní za celé obdobie 1876 – 2013, stanica Dunaj: Bratislava.

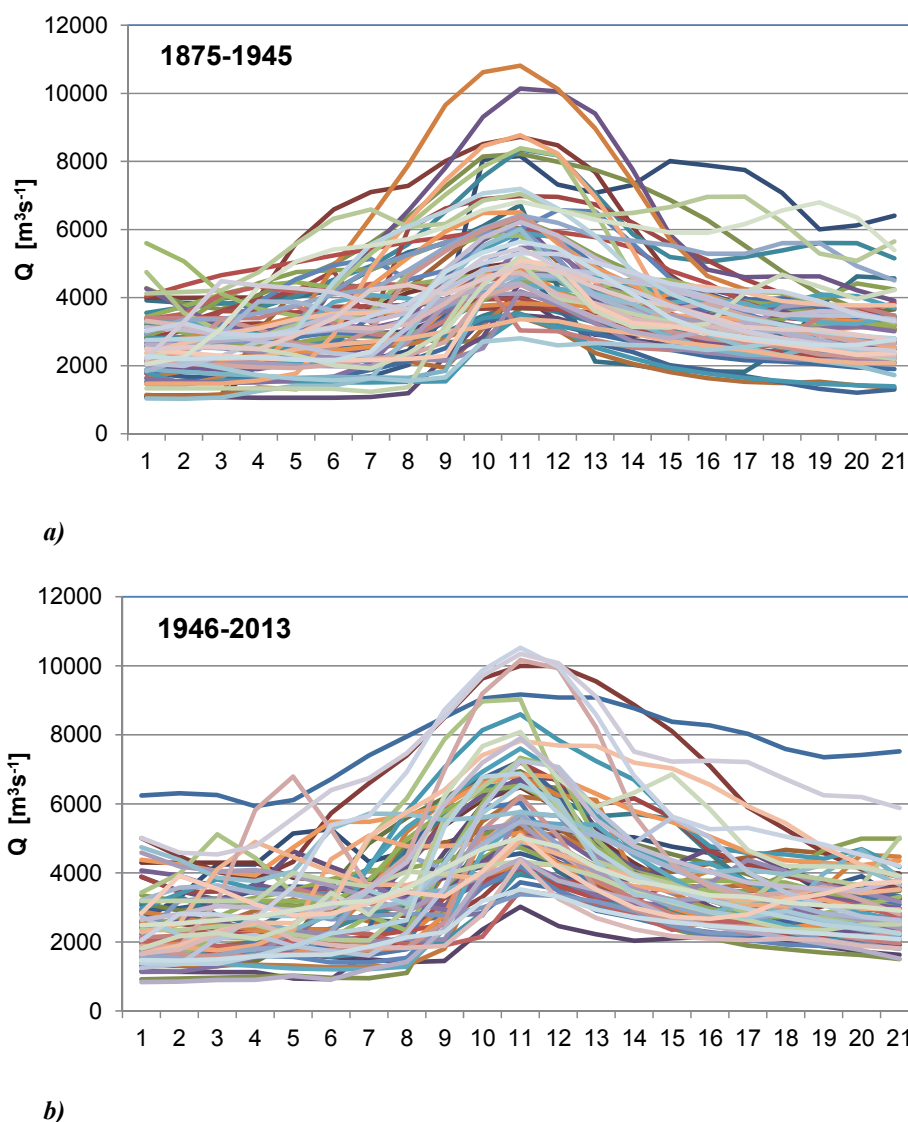
Fig. 4. Estimation of the linear trend of the volumes of flood waves lasting 5, 11, 15 and 21 days for the whole period 1876–2013, Danube: Bratislava gauging station.

Podrobnejšej analýze boli podrobené povodňové vlny s dobou trvania 21 dní (obr. 5a,b).

Zmeny extremality prietokových vln s dobou trvania 21 dní sú znázornené na obr. 6 a 7.

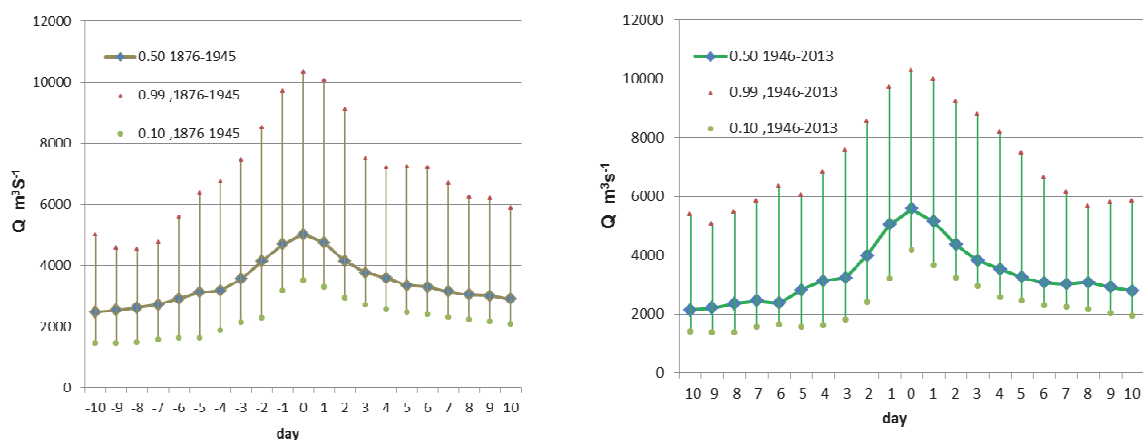
Bol analyzovaný medián (50-ty percentil) 138-ych prietokových vln priradených k maximálnym ročným prietokom Q_{max} s dobou trvania 21 dní pre dve časové obdobia 1876 – 1945 a 1946 – 2013. Následne bol vyhodnotený aj 10-ty a 99-ty percentil týchto prietokových vln. Vrcholy prietokových vln (ako aj rýchlosť

rastu či poklesu vlny) sú vyššie v druhom sledovanom období (1946 – 2013) v prípade 10-teho (veľmi malé povodne, ku ktorým dochádza pri náhlých zvýšených úhrnoch zrážok (búrkach) alebo počas rýchleho topenia sa snehu, čo má za následok nárast vodnej hladiny nad úroveň priemerného prietoku) a 50-teho percentilu (malé povodne), avšak objem vlny je rovnaký v oboch hodnotených obdobiach. V prípade analýzy 99-teho percentilu (veľké povodne) nie sú pozorované žiadne zmeny.



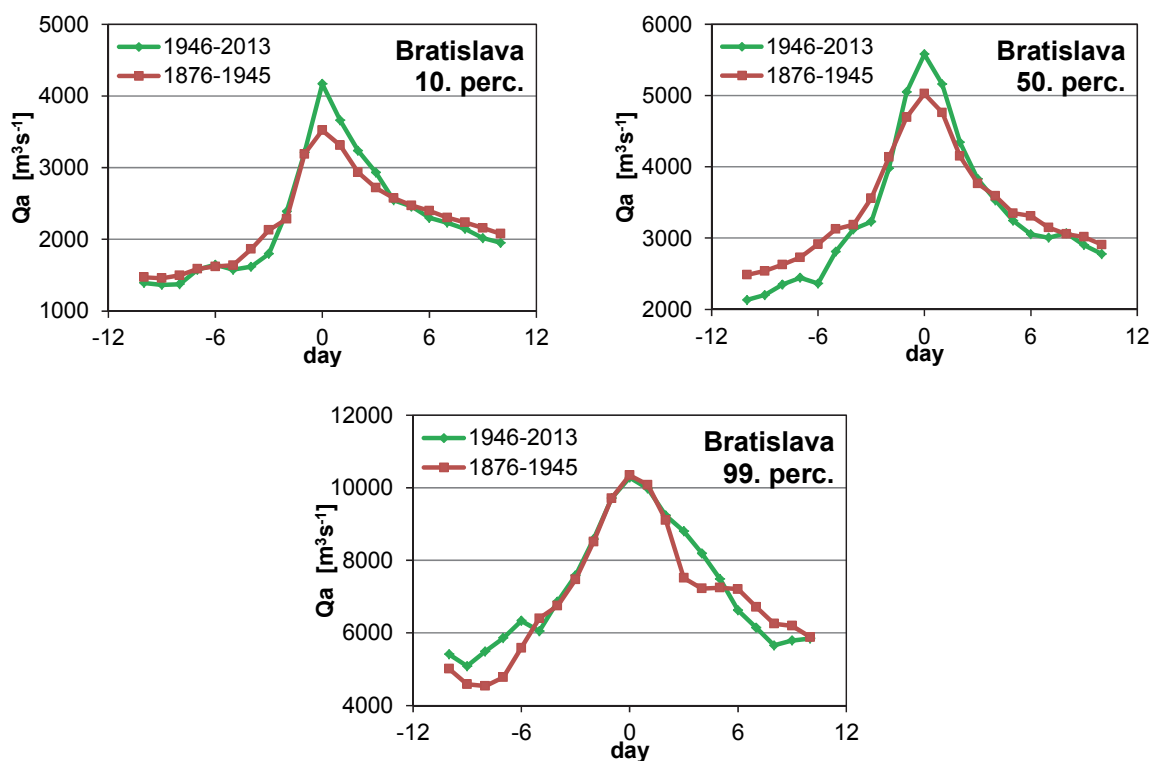
Obr. 5. Priebehy 138-ych Q_{max} prietokových vln s dobou trvania 21 dní, dve časové obdobia 1876 – 1945 (a) a 1946 – 2013 (b), stanica Dunaj: Bratislava.

Fig. 5. Hydrographs of the 138 Q_{max} waves with duration of 21 days in two different periods 1876–1945 (a), and 1946–2013 (b), Danube: Bratislava station.



Obr. 6. Priebeh 10-, 50- a 99-teho percentilu maximálnych ročných vln v trvaní 21 dní za dve obdobia: 1876 – 1945 a 1946 – 2013, stanica Dunaj: Bratislava (os x: poradie dňa „0“ znamená deň vrcholu povodňovej vlny).

Fig. 6. Hydrographs of the 10th percentiles, medians, and 99th percentiles of the Q_{max} flood waves of the 21 days duration, periods 1876–1945 and 1946–2013, Danube: Bratislava station (x-axis: the "0" means the day of the peak of the flood wave).



Obr. 7. Porovnanie 10-, 50- a 99-teho percentilu maximálnych ročných prietokových vln s dobou trvania 21 dní za dve časové obdobia 1876 – 1945 a 1946 – 2013, stanica Dunaj: Bratislava.

Fig. 7. Comparison of the lower deciles, medians, and 99th percentiles of the Q_{max} flood waves of 21 days duration for two periods: 1876–1945 and 1946–2013, Danube: Bratislava station.

Záver

Rieka Dunaj, ako aj celé povodie má pre celý región veľký význam, či už z pohľadu plavebného, energetického, alebo z pohľadu zásobovania obyvateľstva vodou. Preto je dôležité neustále vyhodnocovať zmeny charakteristík režimu prietokov tejto rieky. Povodie rieky Dunaj – hlavný tok ako aj prítoky – sú často skúmané s ohľadom na extrémne povodne (Pekárová et al., 2008; Blöschl et al., 2012, 2013; Brilly, 2010; Bačová Mitková et al., 2015; Parajka et al., 2009). Skúmanie histórie výskytu povodňových udalostí, doby trvania povodní, ich štatistického významu a závažnosti následkov, poskytuje širšie pochopenie charakteristík povodní v tomto regióne a pravdepodobnosť opakovania povodňových udalostí. Tento typ informácií je prospešný pri vývoji ochranných a zmierňujúcich opatrení v prípade povodňovej udalosti. Monitorovanie Dunaja má dlhú tradíciu, ktorá nám dáva možnosť porovnať rôzne extrémny (povodne, rovnako ako nízke prietoky) v rôznych časových obdobiach.

V predloženom príspevku sme štatisticky zhodnotili zmeny v prietokovom režime Dunaja v stanici Bratislava. Predložený príspevok je zameraný na vyhodnotenie zmien maximálnych ročných prietokov a zmien im prislúchajúcim prietokových vln. Na analýzu zmien bola použitá databáza maximálnych ročných prietokov, spracovaná v rámci medzinárodného projektu (Project No. 9 IHP UNESCO – Flood regime of rivers in the Danube River basin). Zmeny boli analyzované v stanici Dunaj: Bratislava s dlhým radom pozorovania (1876 – 2013). Pre ďalšie analýzy bolo dané obdobie rozdelené na dve podobdobia v trvaní 1876 – 1945 a 1946 – 2013. Spracované boli povodňové vlny v dĺžke trvania 5, 11, 15 a 21 dní pre každý maximálny ročný prietok Q_{max} pozorovaného obdobia. Následne boli vyhodnotené trendy objemov povodňových vln v dĺžke trvania 5, 11, 15 a 21 dní za celé obdobie 1876 – 2013. Z výsledkov je zrejmé, že objemy povodní v Bratislave nepreukazujú štatisticky významný rastúci trend, v prípade objemov vln za 21 dní dochádza skôr k nevýznamnému poklesu. Prietokové vlny s dobou trvania 21 dní boli analyzované podrobnejšie. Analyzovali sme medián (50-ty percentil) 138-ich prietokových vln priradených k maximálnym ročným prietokom Q_{max} s dobou trvania 21 dní pre dve časové obdobia 1876 – 1945 a 1946 – 2013. Vrcholy prietokových vln (ako aj rýchlosť rastu či poklesu vlny) sú vyššie v druhom sledovanom období v prípade 10-teho a 50-teho percentilu, avšak objem vln je rovnaký v oboch hodnotených obdobiach. V prípade analýzy 99-teho percentilu nie sú pozorované žiadne štatisticky významné zmeny. Z výsledkov je zrejmé, že v prípade veľkých povodní nedochádza ku zmenám objemov povodňových vln v trvaní 21 dní.

Podakovanie

Táto práca bola podporovaná projektom VEGA

2/0009/15 a realizáciou projektu ITMS 26240120004 Centrum excelentnosti integrovanej protipovodňovej ochrany územia, na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja. Údaje použité v práci sú z projektu MVTs „Flood regime of rivers in the Danube River basin“.

Literatúra

- Báčová Mitková, V., Halmová, D., Pekárová, P., Miklánek, P. (2015): Analysis of the Danube Water Stage Changes at Bratislava. In International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015: Conference Proceedings, vol. 1. Hydrology and Water Resources, 41 – 48. ISBN 978-619-7105-36-0. ISSN 1314 – 2704.
- Blöschl, G., Merz, R., Parajka, J., Salinas, J., Viglione, A. (2012): Floods in Austria. In: Kundzewicz, Z.W. (Ed.): Changes in Flood Risk in Europe, Chapter 8. IAHS Press, Wallingford, UK, pp. 169 – 177.
- Blöschl, G., Nester, T., Komma, J., Parajka, J., Perdigao, R.A.P. (2013): The June 2013 flood in the Upper Danube Basin, and comparisons with the 2002, 1954 and 1899 floods. Hydrology and Earth System Sciences, 17, 12, 5197 – 5212.
- Brilly, M. (2010): Hydrological Processes of the Danube River Basin, Springer, 328 pp.
- Blaškovičová, L., Danáčová, Z., Lovásová, E., Šimor, V., Škoda, P. (2013): Vývoj vybraných hydrologických charakteristík na Dunaji v Bratislave. SHMÚ, 15 str.
- Kendall, M.G. (1975): Rank Correlation Methods. London: Griffin.
- MAKESENS 1.0 (2002): Mann-Kendall Test and Sen's Slope Estimates for the Trend of Annual Data, Version 1.0. Finnish Meteorological Institute.
- Mann, H. B. (1945): Non-parametric test against trend, Econometrica, 13, 245 – 259, 1945.
- Parajka, J., Kohnová, S., Merz, R., Szolgay, J., Hlavčová, K., Blöschl, G. (2009): Comparative analysis of the seasonality of hydrological characteristics in Slovakia and Austria. Hydrological Sciences Journal, 54:3, 456 – 473.
- Pekárová, P., Onderka, M., Pekár, J., Miklánek, P., Halmová, D., Škoda, P., Bačová Mitková, V. (2008): Hydrologic scenarios for the Danube River at Bratislava. Key Publishing, Ostrava, 160 pp. <http://www.ih.savba.sk/danubeflood>.
- Pekárová, P., Miklánek, P., Balogh, E. (2011): Analýza Režimu Povodní Rieky Dunaj V Období 1876 – 2005, 19th International Poster Day Transport of Water, Chemicals and Energy in the Soil-Plant-Atmosphere System Bratislava.
- Pekárová, P., Miklánek, P., Melo, M., Halmová, D., Pekár, J., Bačová Mitková, V. (2014): Flood marks along the Danube River between Passau and Bratislava, Published by VEDA publishers and the Slovak Committee for Hydrology - National Committee for the International Hydrological Programme of UNESCO (SVH - NC IHP UNESCO), 104 pp.
- Poórová J., Blaškovičová, L., Škoda, P., Šimor, V. (2013): Trendy minimálnych ročných a mesačných prietokov na slovenských tokoch. Zborník abstraktov. Odborný

- seminár Sucho a jak mu čelit, Praha, máj 2013.
- Pramuk, B. (2016): Identifikácia zmien hydrologického režimu riek v povodí Dunaja, Dizertačná práca, Stavebná fakulta STU a Ústav hydrológie SAV Bratislava, 182 str.
- Pramuk, B., Pekárová, P., Škoda, P., Halmová, D., Bačová Mitková, V. (2016): Identifikácia zmien režimu denných prietokov slovenských riek. Acta Hydrologica Slovaca, 17, 1, 65 – 77.
- Yue, S., Kundzewicz, Z.W., Wang, L. (2012): Detection of Changes. Changes in Flood Risk in Europe, Chap. 2, 11 – 26, IAHS Special Publication 10.

ANALYSIS OF CHANGES OF MAXIMUM FLOOD CHARACTERISTICS ON THE DANUBE RIVER IN BRATISLAVA STATION

This paper is focused on evaluation of time series of the annual maximum discharges and relevant flood waves volumes. The database of annual maximum discharges of the Danube River (Project No. 9 IHP UNESCO – Flood regime of rivers in the Danube river basin) was used for the analysis. In this paper was selected model station Danube: Bratislava with long series of observations (18760–2013). For further analysis, given period was divided into two sub-period: 1876–1945 and 1946–2013. We processed the series of the flood waves of 5, 11, 15, and 21 days duration for each maximum annual discharge Q_{max} . We tested the trend of the volumes series of flood waves, lasting 5, 11, 15 and 21 days for the whole period 1876–2013. The results show no significant, neither increasing nor decreasing, trend in flood wave volumes. We analysed the hydrographs of the median (50th percentile) of the 138 Q_{max} waves with duration of 21 days in two different periods 1876–

1945, and 1946–2013. Flood wave magnitudes (as well as rise- and fall- rate) are higher in the recent period in the case 10th and 50th percentiles, but volume of the waves is the same in both periods. In the case of the 99th percentiles (big floods), there are no changes. The Danube River basin – the main stream as well as its tributaries – is often examined in respect of extreme flooding. Investigation of the history of flood event frequency, severity, importance, and duration for a region provides a greater understanding of the region's flood event characteristics and the probability of the event recurrence.

This type of information is beneficial in the development of protection and mitigation strategies and preparedness plans. Flow monitoring of the Danube River has a long tradition, which gives us the opportunity to compare different extremes (floods as well as low flows) at different times.

RNDr. Pavla Pekárová, DrSc.
Ing. Dana Halmová, PhD.
Ing. Veronika Bačová Mitková, PhD.
Ústav hydrológie SAV
Dúbravská cesta č. 9
841 04 Bratislava
E-mail: halmova@uh.savba.sk