

ODHAD KULMINAČNÝCH PRIETOKOV Z PRIEMERNÝCH  
DENNÝCH PRIETOKOV

Hana Hlaváčiková, Michaela Bírová, Eva Kopáčiková

Kulminačné prietoky nemusia byť vždy k dispozícii, hoci tieto sú potrebné pre riešenie viacerých vodohospodárskych úloh. Dostupnejšími údajmi môžu byť priemerné denné prietoky. V tejto práci boli získané a analyzované vzťahy medzi kulminačnými prietokmi a priemernými dennými prietokmi pre 26 slovenských vodomerných staníc podľa dvoch metód. Prvou metódou bola metóda jednoduchšej lineárnej regresie (LR), druhou metódou bola tzv. metóda sklonu (Chen) vychádzajúca z analýzy troch za sebou idúcich priemerných denných prietokov a zohľadňujúca tvar hydrogramu. Výsledky ukázali, že metóda LR je porovnateľná s metódou Chena a poskytuje odhad kulminačného prietoku s relatívnou chybou v rozsahu 1,8 – 19,8 % (najmenšia chyba pre veľké povodia). Pre vodomerné stanice boli odvodené hodnoty konverzného faktora LR (pomer kulminačného a maximálneho denného prietoku). Tieto sa pohybovali v hodnotách 1 pre veľké povodia, a v hodnotách 1,3 až 1,6 pre menšie povodia, pre ktoré je typická vyššia variabilita prietokov.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: hydrogram, lineárna regresia, vodomerné stanice, plocha povodia

**ESTIMATION OF INSTANTANEOUS PEAK FLOWS FROM MEAN DAILY FLOWS.** Instantaneous peak flows are needed for several water management tasks. However, they are not always available. More disponible are often mean daily flows. In this work, relationship between instantaneous peak flows and mean daily flows for 26 Slovak water gauging stations was estimated according to two methods. The first method was the simple linear-regression method (LR method), the second one was the so-called slope-based method (Chen method) which is based on an analysis of three consecutive mean daily flows and takes into account the hydrograph shape. Results showed that the LR method is for given water gauging stations comparable to the Chen method. The LR method provides an instantaneous peak flow estimation with a mean relative error in the range of 1.8–19.8% (the smallest error is for large basins). Moreover, for all water gauging stations, the LR conversion factors (instantaneous peak over maximum mean daily flow ratio) were derived. Resulting values varied between 1 for large watersheds, up to 1.3 to 1.6 for smaller watersheds, for which higher flow variability is typical.

KEY WORDS: hydrograph, linear-regression, water gauging stations, basin area

## Úvod

Potreba odhadu kulminačných prietokov ( $Q_{IPF}$ ) z priemerných denných prietokov ( $Q_{MDF}$ ) môže mať viacero dôvodov. Väčšinou je hlavnou príčinou nedostupnosť kulminačných prietokov, k dispozícii sú len priemerné denné prietoky. Napriek tomu kulminačné prietoky sú potrebné pre viaceré vodohospodárske úlohy, pre odvodnenie návrhových parametrov pre vodné stavby a frekvenčné analýzy.

Podľa Chena a kol., (2017) existujú tri základné metódy odhadu  $Q_{IPF}$  z  $Q_{MDF}$ : i/ metóda konverzného faktora zís-

kaného na základe vzťahu medzi maximálnym priemerným denným prietokom ( $Q_{MDF, max}$ ) a korešpondujúcim kulminačným prietokom  $Q_{IPF}$  (tzv. „peak ratio“ vyjadrený ako pomer  $Q_{IPF} / Q_{MDF, max}$ ) pomocou lineárnej regresie, prípadne viacnásobnej lineárnej regresie, ak sú v analýze zahrnuté aj ďalšie charakteristiky povodia (ako napr. plocha povodia, sklon toku, ročný úhrn zrážok a podobne) (Ellis a Gray, 1966; Taguas a kol., 2008), ii/ metódy vychádzajúce zo sekvencie troch po sebe idúcich údajov  $Q_{MDF}$ , pričom stredná hodnota je  $Q_{MDF, max}$  (Sangal, 1983; Fill a Steiner, 2003; Chen a kol., 2017) a iii/ metódy získané na základe hydrologického modelo-

vania, disagregácie prietokov a „machine-learning“ prístupu (použitím black box modelov neurónových sietí) (Ding a kol., 2016; Jimeno-Sáez a kol., 2017).

Posledná metodika je veľmi sľubná a perspektívna metóda, ktorá vyžaduje viac vstupných údajov a potrebu modelového prostredia. Metóda lineárnej regresie je jednoduchá metóda, ktorá vychádza len z jedného  $Q_{MDF}$ , ktorý korešponduje s  $Q_{IPF}$ , na rozdiel od metód analýzy sekvencie  $Q_{MDF}$  (Sangal, 1983; Fill a Steiner, 2003; Chen a kol., 2017), ktoré uvažujú s tromi hodnotami  $Q_{MDF}$  pre jednu prietokovú udalosť. Jednoduché lineárno-regresné vzťahy  $Q_{IPF} / Q_{MDF, max}$  nemusia pre niektoré povodia vyhovovať kvôli odlišným príčinám spôsobujúcim rozdielne druhy povodní (konvektívne zrážky, topenie snehu, ľadochod a pod.).

Metóda sklonu podľa Chena a kol. (2017) patrí do skupiny metód analýzy sekvencie  $Q_{MDF}$  a nadväzuje na metódy Sangala (1983) a Filla a Steinera (2003). Sangalova (1983) metóda s konštantnými koeficientami a s predpokladom trojuholníkového tvaru hydrogramu má podľa Chena a kol. (2017) tendenciu nadhodnocovať  $Q_{IPF}$ , preto Fill a Steiner (2003) zaviedli do výpočtu premenné koeficienty (váhu jednotlivých  $Q_{MDF}$ ), a tým špecifikovali nelineárny vzťah medzi  $Q_{IPF}$  a  $Q_{MDF}$ . Chen a kol., (2017) odvodili vzťah tzv. „metódy sklonu“, pričom tiež uvažujú s dynamickým tvarom hydrogramu bez použitia regresných empirických koeficientov. Ich vzťah navrhli a otestovali na 144 povodiach v štáte Iowa (USA) s veľkosťou od 7 až do 220 000 km<sup>2</sup>. Spolu to bolo asi 3800 povodňových (prietokových) udalostí. Podľa autorov je sklonová metóda porovnateľná s metódou Filla a Steinera (2003) a dáva lepšie výsledky pre povodia s plochou väčšou ako 500 km<sup>2</sup> v porovnaní s menšími povodiami.

Cieľom tejto práce bolo získať a overiť vzťahy pre výpočet  $Q_{IPF}$  na základe  $Q_{MDF}$  podľa metodiky lineárnej regresie a podľa metódy sklonu (podľa Chen a kol., 2017) pre 26 vybraných slovenských vodomerných staníc.

Cieľom bolo tiež porovnať obidve metodiky a odporučiť

(resp. neodporučiť) ich použitie pre vybrané vodomerné stanice.

## Materiál a metódy

Odvodenie QIPF použitím obidvoch metodík bolo robené z celých radov pozorovaní historických údajov. Týmto sa využila dostupnosť pomerne dlhých radov pozorovaní pre odvodenie vzájomných vzťahov medzi  $Q_{MDF}$  a  $Q_{IPF}$  pre každú vodomernú stanicu zvlášť.

K dispozícii boli merané kulminačné prietoky a priemerné denné prietoky, ktoré sa vyhodnotili pre jednotlivé hydrologické roky pre 26 slovenských vodomerných staníc (obr. 1).

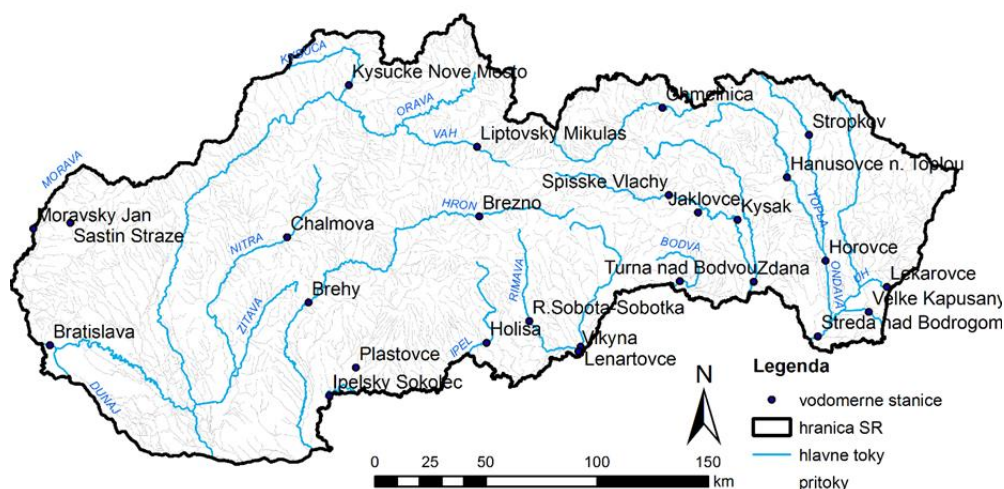
Obidve metodiky odvodenia kulminačných prietokov na základe priemerných denných prietokov vychádzajú z predpokladu, že kulminačný prietok sa vyskytol v ten istý deň ako maximálny denný prietok, t.j. išlo o tú istú hydrologickú udalosť s rovnakými príčinnými vzťahmi. V práci sa uvažovalo s toleranciou jeden deň z dôvodu, že kulminácia sa mohla vyskytnúť pred polnocou alebo po polnoci dňa s maximálnym denným prietokom. Ďalším predpokladom bolo, že hodnoty maximálnych prietokov sú štatisticky nezávislé. Preto z procesu spracovania údajov boli vylúčené kulminácie, ktoré mohli byť vzájomne ovplyvnené, napr. pri prechode hydrologických rokov.

## Metóda lineárnej regresie

Kulminačné prietoky získané metódou lineárnej regresie boli získané na základe odvodenia konverzného faktora  $a$  podľa vzťahu:

$$Q_{IPF} = a * Q_{MDF, max} \quad (1)$$

kde  $Q_{IPF}$  je meraný kulminačný prietok a  $Q_{MDF, max}$  je maximálny priemerný denný prietok v analyzovanom hydrologickom roku.



Obr. 1. Lokalizácia vodomerných staníc v rámci územia Slovenska.

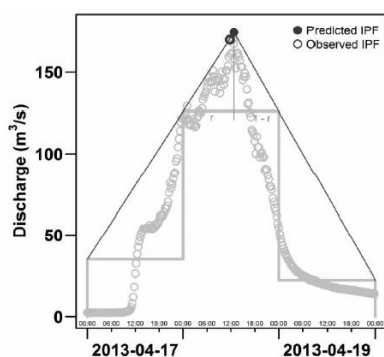
Fig. 1. Water gauging locations in the Slovak territory.

### Metóda Chena

Metóda Chena založená na sekvencii troch za sebou idúcich  $Q_{MDF}$ , autormi nazvaná ako „sklonová metóda“, vychádza zo vzťahu, ktorý odvodili Chen a kol. (2017):

$$Q_{IPF} = Q_{MDF,max} + \frac{(Q_{MDF,max} - Q_{MDF,pre}) * (Q_{MDF,max} - Q_{MDF,suc})}{2 * Q_{MDF,max} - Q_{MDF,pre} - Q_{MDF,suc}} \quad (2)$$

kde  $Q_{MDF,pre}$  je priemerný denný prietok predchádzajúci dňu s maximálnym denným prietokom  $Q_{MDF,max}$ ,  $Q_{MDF,suc}$  je priemerný denný prietok nasledujúceho dňa po výskyte maximálneho denného prietoku.



Obr. 2 Ilustračný obrázok sklonovej metódy (prevzaté z Chen a kol., 2017).

Fig. 2. Illustrative example of the slope-based method (from Chen a kol., 2017).

Podľa obr. 2 je  $Q_{IPF}$  priesečníkom dvoch priamok:

$$Q_{MDF,pre} + k_r(1 + r) = Q_{MDF,suc} + k_f(1 + 1 - r) \quad (3)$$

kde  $k_r$  a  $k_f$  sú sklony rastúcej a klesajúcej vetvy trojuholníka:

$$k_r = \frac{Q_{MDF,max} - Q_{MDF,pre}}{dt} \quad (4)$$

$$k_f = \frac{Q_{MDF,max} - Q_{MDF,suc}}{dt} \quad (5)$$

Pri  $dt = 1$  deň a substitúciou rovníc (4) a (5) do rovnice (3) je možné  $r$  vypočítať nasledovne:

$$r = \frac{Q_{MDF,max} - Q_{MDF,suc}}{2 * Q_{MDF,max} - Q_{MDF,suc} - Q_{MDF,pre}} \quad (6)$$

### Výpočet chyby odhadu $Q_{ipf}$

Vypočítané  $Q_{IPF}$  metodikou lineárnej regresie a metodikou podľa Chena a kol. (2017) boli porovnané s meranými  $Q_{IPF}$  daného historického radu a boli vyjadrené chyby jednotlivých metód ako priemerná relatívna odchýlka (MRE, %) a stredná kvadratická chyba (RMSE,  $m^3 \cdot s^{-1}$ ) podľa nasledovných vzťahov:

$$MRE = 100 * \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Q_{IPF,obs} - Q_{IPF,est}}{Q_{IPF,obs}} \right| \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{IPF,obs} - Q_{IPF,est})^2} \quad (8)$$

kde  $Q_{IPF,obs}$  a  $Q_{IPF,est}$  sú kulminačné prietoky merané a odvodené a  $n$  je počet meraní.

### Výsledky a diskusia

Odhad  $Q_{IPF}$  z  $Q_{MDF}$  metódou jednoduchej lineárnej regresie prekvapivo ukázal porovnateľné výsledky s výsledkami metódy podľa Chena a kol. (2017). Údaje o vodomerných staniciach, ako aj priemerné relatívne chyby odhadu MRE pre obidve metódy sú uvedené v tab. 1, a tiež na obr. 3. Na obr. 3 sú zobrazené okrem MRE aj stredné kvadratické chyby odhadu (RMSE). Vodomerné stanice sú v tabuľke 1 zoradené podľa výsledkov MRE lineárnej regresie vzostupne.

Na menších povodiach je pomer  $Q_{IPF}$  a  $Q_{MDF,max}$  väčší (okolo 1,3 až 1,4) v porovnaní s veľkými povodiami, kde je tento pomer blízky jednej. Vyšší pomer  $Q_{IPF}$  a  $Q_{MDF,max}$  vyjadruje rýchlejší nárast aj pokles prietokov počas prietokovej udalosti (tzv. flashiness), čo dokumentovali aj Taguas a kol. (2008) a Chen a kol. (2017) pre menšie povodia. Ukážka vzťahov lineárnej regresie pre niekoľko vodomerných staníc je na obr. 4. Na obr. 5 je zobrazený vzťah medzi veľkosťou povodia a konverzným faktorom lineárnej regresie. S nárastom plochy povodia klesá hodnota konverzného faktora  $a$ , ktorý sa blíži k 1.

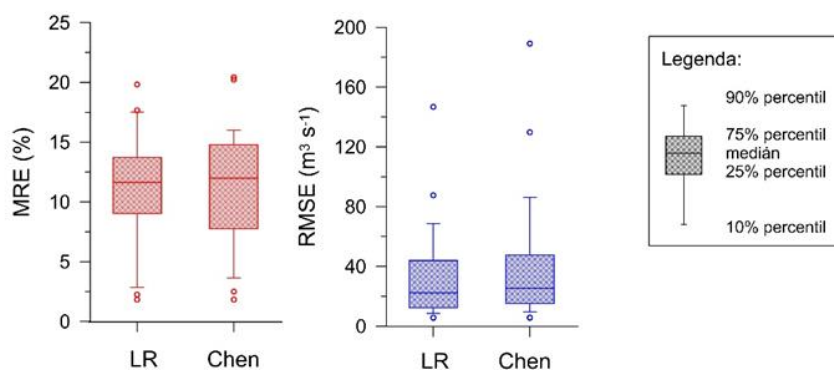
Podľa Taguasa a kol. (2008) ak sa koeficient determinácie  $R^2$ , ktorý vyjadruje tesnosť vzťahu lineárnej regresie (podľa rov. 1), pohybuje v rozsahu 0,75 – 1, je možné lineárnu regresiu považovať za dobrý lineárny fit, v intervale 0,55 – 0,75 ako akceptovateľný lineárny fit, ak je menší ako 0,55 ide o neakceptovateľný lineárny fit. Pre vodomerné stanice Brezno a Stropkov bol identifikovaný o niečo nižší, ale stále akceptovateľný fit lineárnej regresie ( $R^2$  je 0,728 a 0,626). Pre ostatné stanice zodpovedali výsledky lineárnej regresie dobrému fitu, čo predstavuje 92 % analyzovaných vodomerných staníc (z celkového počtu 26 staníc). Najlepší lineárny fit bol nájdený podľa predpokladu pre stanice s najväčšou plochou povodia: Bratislava (Dunaj), Streda nad Bodrogom (Bodrog), Veľké Kapušany (Latorica), Moravský Sv. Ján (Morava) a Ždaňa (Hornád) s plochou povodia 4230  $km^2$  a viac. Ipeľský Sokolec (Ipeľ) s porovnateľnou plochou povodia ako Ždaňa má o niečo nižší koeficient determinácie.

Hodnoty priemernej relatívnej chyby MRE sa pohybovali v rozsahu od 1,83 do 19,83 % pre LR a od 2,49 do 20,23 % pre metódu Chen. Metóda Chen dávala porovnateľné alebo o niečo horšie výsledky v porovnaní s metódou LR. Pre osem staníc dávala metóda Chen lepší výsledok ako metóda LR (tab. 1). Na základe našich analýz ale nebol identifikovaný vzťah medzi veľkosťou povodia a veľkosťou priemernej relatívnej chyby MRE metódy Chen.

**Tabuľka 1.** Údaje o vodomerných staniciach, počet spracovaných hydrologických rokov pre odvodenie  $Q_{IPF}$  z  $Q_{MDF, max}$ , ako aj výsledky lineárnej regresie (koeficient determinácie  $R^2$  a konverzný faktor  $a$ , získaný zo vzťahu podľa rov. (1)) pre 26 vodomerných staníc spolu s výsledkami priemernej relatívnej chyby odhadu MRE pre lineárnu regresiu (LR). MRE je uvedená aj pre metódu podľa Chena a kol. (2017) (Chen). Šedou farbou sú vyznačené MRE (Chen), ktoré sú pre tú istú vodomernú stanicu lepšie ako MRE (LR)

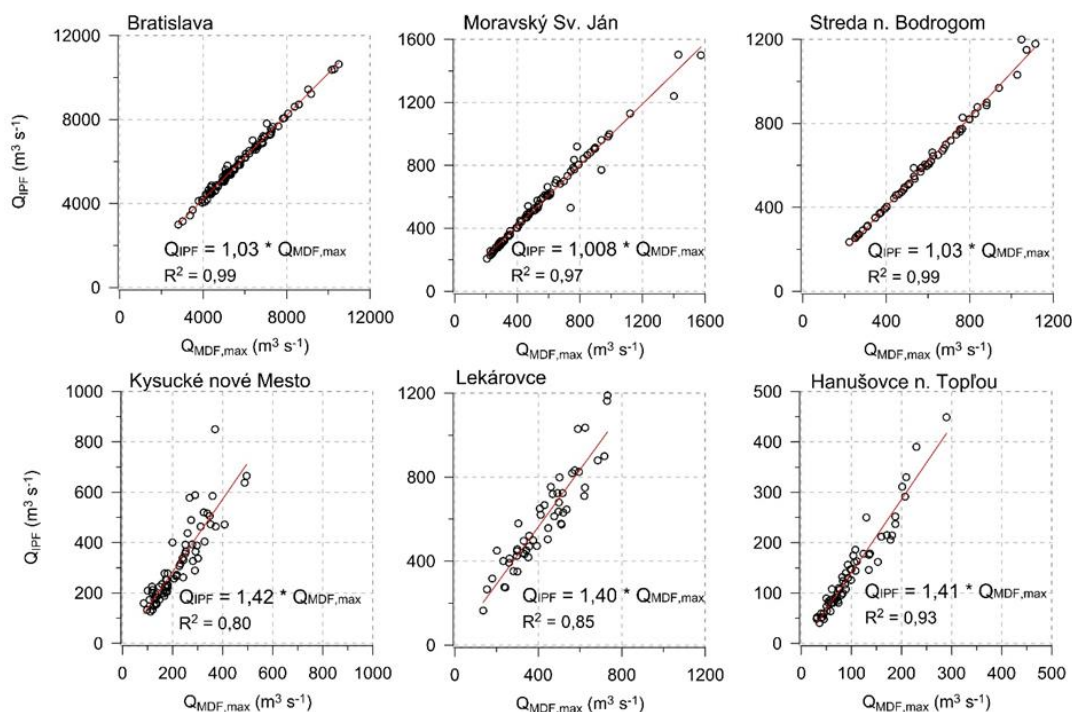
**Table 1.** Information about water gauging stations, number of processed hydrological years for derivation of  $Q_{IPF}$  from  $Q_{MDF, max}$ , as well as linear-regression results ( $R^2$  coefficient of determination and conversion factor  $a$ , obtained from equation (1)) for 26 water gauging stations together with the mean relative error MRE for linear-regression (LR). MRE is shown also for the method of Chen et al. (2017) (Chen). The MRE (Chen), which is better than the MRE (LR) for the same water gauging station, is marked in gray

P. č.	Číslo stanice	Názov stanice	Tok	Povodie	Plocha povodia [km <sup>2</sup> ]	$Q_{100}$ [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	počet spracovaných rokov	$R^2$	konverzný faktor $a$	LR MRE [%]	Chen MRE [%]
1	5140	Bratislava	Dunaj	Dunaj	131331	11000	101	0,987	1,0322	1,83	2,49
2	9670	Streda nad Bodrogom	Bodrog	Bodrog	11474	1400	66	0,991	1,031	2,24	1,82
3	9410	Veľké Kapušany	Latorica	Bodrog	2915	736	67	0,992	1,0481	2,85	3,64
4	5040	Moravský Svätý Ján	Morava	Morava	24129	1600	89	0,974	1,0089	3,52	3,74
5	8930	Ždaňa	Hornád	Hornád	4232	1000	60	0,986	1,1181	5,14	6,09
6	7290	Brehy	Hron	Hron	3821	1100	87	0,934	1,1407	6,74	7,64
7	9650	Horovce	Ondava	Bodrog	2886	830	48 (od r. 1970)	0,943	1,1376	9,02	9,95
8	7820	Lenártovce	Slaná	Slaná	1830	400	86	0,96	1,1202	9,77	10,34
9	8690	Kysak	Hornád	Hornád	2346	730	76	0,9332	1,1593	9,80	9,62
10	8560	Jaklovce	Hnilec	Hornád	606	220	67	0,947	1,169	10,06	10,53
11	5030	Šaštín-Stráže	Myjava	Morava	645	145	49	0,91	1,2187	11,12	12,68
12	5550	Liptovský Mikuláš	Váh	Váh	1107	500	70	0,778	1,2729	11,13	9,86
13	7640	Ipeľský Sokolec	Ipeľ	Ipeľ	4838	670	86	0,9148	1,174	11,43	7,76
14	7900	Vlkyňa	Rimava	Slaná	1377	190	45	0,915	1,2347	11,85	14,15
15	9500	Hanušovce nad Topľou	Topľa	Bodrog	1050	500	87	0,929	1,4137	12,37	15,99
16	9320	Lekárovce	Uh	Bodrog	1989	1600	67	0,848	1,4012	12,69	15,08
17	7440	Holiša	Ipeľ	Ipeľ	686	180	87	0,912	1,2538	13,00	14,45
18	9020	Turňa nad Bodvou	Bodva	Bodva	663	115	52	0,95	1,1251	13,24	12,06
19	6570	Chalmová	Nitra	Nitra	601	175	72	0,843	1,3321	13,42	14,78
20	8320	Chmeľnica	Poprad	Poprad	1262	820	87	0,861	1,4386	13,72	14,00
21	6200	Kysucké N. Mesto	Kysuca	Váh	955	900	87	0,796	1,4217	14,72	15,76
22	7015	Brezno	Hron	Hron	582	230	87	0,728	1,3137	15,01	14,78
23	7580	Plášťovce	Krupinica	Ipeľ	303	140	87	0,861	1,3885	15,21	15,00
24	7865+7864	Rimavská Sobota	Rimava	Slaná	562	165	87	0,788	1,3543	17,52	20,44
25	8430	Špišské Vlachy	Hornád	Hornád	775	400	56	0,899	1,4256	17,66	11,91
26	9600	Stropkov	Ondava	Bodrog	578	600	51	0,626	1,6887	19,83	20,23



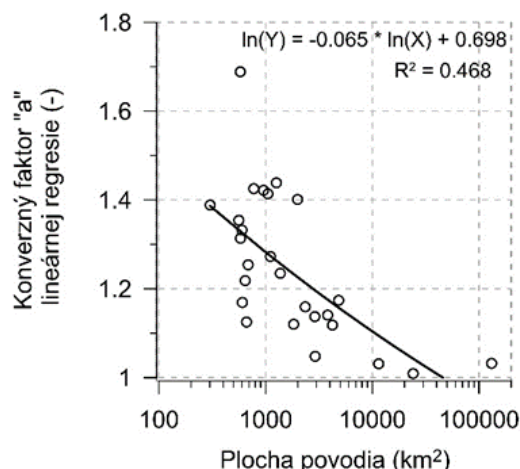
Obr. 3. Priemerná relatívna odchýlka (MRE) a stredná kvadratická chyba (RMSE) pre kulminačné prietoky pozorované ( $Q_{IPF, obs}$ ) a odhadnuté ( $Q_{IPF, est}$ ) metódou lineárnej regresie (LR) a metódou podľa Chena a kol. (2017) (Chen). Spracované pre 26 vodomerých staníc. Krúžky vyjadrujú hodnoty mimo rozsahu 10. až 90. percentilu.

Fig. 3. The mean relative error (MRE) and the root-mean square error (RMSE) for observed instantaneous peak flows ( $Q_{IPF, obs}$ ) and estimated ones ( $Q_{IPF, est}$ ) by the linear regression (LR) method and by the method of Chen et al. (2017) (Chen). Processed for 26 water gauging stations. The rings mark values outside the 10<sup>th</sup> to 90<sup>th</sup> percentile range.



Obr. 4. Ukážka lineárno-regresných vzťahov medzi maximálnym priemerným denným prietokom ( $Q_{MDF, max}$ ) a kulminačným prietokom ( $Q_{IPF}$ ) pre tri stanice s najnižším konverzným faktorom a ( $\sim 1,0$ ) a najvyšším koeficientom determinácie  $R^2$ , a pre tri stanice s vyšším konverzným faktorom ( $\sim 1,4$ ).

Fig. 4. An example of linear-regression relationships between maximum mean daily flows ( $Q_{MDF, max}$ ) and instantaneous peak flows ( $Q_{IPF}$ ) for three stations with the lowest conversion with higher conversion factor ( $\sim 1,4$ ).



Obr. 5. Vzťah medzi veľkosťou povodia a konverzným faktorom  $a$  lineárnej regresie.

Fig. 5. Relationship between basin area and conversion factor  $a$  of linear-regression.

## Záver

Analýzy a porovnania metód odhadu kulminačných prietokov z priemerných denných prietokov priniesli niekoľko záverov:

- Odhad  $Q_{IPF}$  metódou lineárnej regresie (LR) a metódou sekvencie troch za sebou idúcich  $Q_{MDF}$  (Chen a kol., 2017) (Chen) je porovnateľný: priemerná relatívna odchýlka je 10,96% (LR) a 11,34% (Chen), priemerná stredná kvadratická chyba je 33,48  $m^3 \cdot s^{-1}$  (LR) a 40,65  $m^3 \cdot s^{-1}$  (Chen).
- Pre 26 slovenských vodomerných staníc boli odvodené lineárno-regresné vzťahy pre určenie  $Q_{IPF}$  z  $Q_{MDF, max}$ .
- Koeficient determinácie lineárnej regresie bol v rozsahu 0,75 – 1,00 vyhodnotený ako dobrý lineárny fit pre 92 % analyzovaných vodomerných staníc.
- Pre dve stanice (Brezno (Hron) a Stropkov (Ondava)) bol koeficient determinácie 0,728 a 0,626, čo zodpovedá akceptovateľnému lineárnemu fitu.
- Vysoký koeficient determinácie bol zistený pre stanice: Bratislava, Moravský Sv. Ján, Streda nad Bodrogom, Ždaňa.
- Koeficient determinácie je menší pre menšie povodia, ale nie pre všetky (napr. pre stanice Šaštín, Turňa, Jaklovce, hoci ide o menšie povodia s plochou do 1000  $km^2$ , bol koeficient na úrovni staníc s plochou povodia vyššou ako 2000  $km^2$ ).
- $Q_{IPF}$  sa vyskytuje v ten istý deň ako  $Q_{MDF, max}$  v priemere v 67 % údajov spracovaných hydrologických rokov, výskyt s toleranciou do jedného dňa je v 81 % prípadov.

Na záver je možné konštatovať, že pre odvodenie  $Q_{IPF}$  z  $Q_{MDF}$  je možné použiť obidve testované metódy, ktoré

pre vybrané slovenské vodomerné stanice dávajú porovnateľné výsledky.

## Podakovanie

Za poskytnutie a prípravu historických dát, potrebných pre analýzy, ďakujeme kolegom z úseku Hydrologická služba SHMÚ.

## Literatúra

- Chen, B., Krajewski, W. F., Liu, F., Fang, W., Xu, Z. (2017): Estimating instantaneous peak flow from mean daily flow. *Hydrology Research*, 48.6, 1474–1488.
- Ding, J., Wallner, M., Muller, H., Haberlandt, U. (2016): Estimation of instantaneous peak flows from maximum mean daily flows using the HBV hydrological model. *Hydrological Processes*, 30(1), 1431–1448.
- Ellis, W., Gray, M. (1966): Interrelationships between the peak instantaneous and average daily discharges of small prairie streams. *Canadian Agricultural Engineering*, 1–39.
- Fill, H. D., Steiner, A. A. (2003): Estimating instantaneous peak flow from mean daily flow data. *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE 8 (6), 365–369.
- Jimeno-Sáez et al. (2017): Estimation of Instantaneous Peak Flow Using Machine-Learning Models and Empirical Formula in Peninsular Spain. *Water*, 9, 347, doi: 10.3390/w9050347.
- Sangal, B. P. (1983): Practical method of estimating peak flow. *Journal of Hydraulic Engineering*, 109, 549–563.
- Taguas, E. V., Ayuso, J. L., Pena, A., Yuan, Y., Sanchez, M. C., Giraldez, J. V., Pérez, R. (2008): Testing the relationship between instantaneous peak flow and mean daily flow in a Mediterranean Area Southeast Spain. *Catena*, 75, 129–137.



## ESTIMATION OF INSTANTANEOUS PEAK FLOWS FROM MEAN DAILY FLOWS

For water gauging stations, flow data are sometimes only available in form of mean daily flows, instantaneous peak flows can be unknown. However, for many purposes such as derivation of design parameters for water structures or running frequency analysis, they are essential.

Two methods of the instantaneous peak flow estimation were used in this work: 1/ the method of conversion factor based on a relationship between maximum mean daily flow ( $Q_{MDF, max}$ ) and the corresponding instantaneous peak flow  $Q_{IPF}$  (so called peak ratio  $Q_{IPF} / Q_{MDF, max}$ ) by linear-regression and, 2/ the method called „the slope method“ derived by Chen et al. (2017) based on a sequence of three consecutive  $Q_{MDF}$  data, with the middle value being  $Q_{MDF, max}$ , taking into account the hydrograph shape. Simple linear-regression relationship  $Q_{IPF} / Q_{MDF, max}$  may not be suitable for some river basins as different flood triggering mechanisms produce different form of floods (e.g. convective rainfalls, snow melting, ice-jam, etc.).

Estimation of  $Q_{IPF}$  using both methodologies was carried out on a dataset of historical observations. The data of measured instantaneous peaks and calculated mean daily flows for individual hydrological years for 26 Slovak water gauging stations were used.

Both methods for deriving instantaneous peak flows from mean daily flows are based on the assumption that peak flow occurred on the same day as the maximum daily

flow rate, i.e. it was the same hydrological event with the same causal relationship. One day tolerance was considered in this work because of cases where culmination occurred around midnight. Another assumption was that the instantaneous peak flows were statistically independent. Therefore, the instantaneous peak flows which could be mutually influenced, e.g. during transition of hydrological years, were excluded from analysis.

The results showed that  $Q_{IPF}$  estimation from  $Q_{MDF, max}$  by simple linear-regression method is comparable with the method of Chen et al. (2017). The mean relative error (MRE) and the root mean square error (RMSE) were 10.96% and 33.48 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> for the LR method, 11.34% and 40.65 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> for the Chen method, respectively.

The linear-regression coefficient of determination was in the range of 0.75–1.00 considered as a good linear fit. It was reached at 92% of water gauging stations. The largest coefficient of determination was found for stations: Bratislava, Moravský Sv. Ján, Streda nad Bodrogom and Ždaňa with large basin areas. Furthermore, it was found that  $Q_{IPF}$  occurred on the same day as  $Q_{MDF, max}$  on average in 67% of processed data, occurrence with tolerance within one day was in 81% of cases.

Finally, it can be stated, that both methods for  $Q_{IPF}$  estimation can be used for chosen Slovak water gauging stations with comparable results.

Ing. Hana Hlaváčiková, PhD.

Mgr. Michaela Bírová

Ing. Eva Kopáčiková

Slovenský hydrometeorologický ústav

Jeséniova 17

833 15 Bratislava 37

E-mail: hana.hlavacikova@shmu.sk