STANOVENIE N-ROČNÝCH MAXIMÁLNYCH PRIETOKOV V PROFILOCH BEZ VODOMERNEJ STANICE POMOCOU EMPIRICKÝCH METÓD

Matej Vojtek

Abstract

Calculation of N-year maximum discharges for profiles without direct observations is one of the key problems which is being researched not only in hydrology, but also in geography. In the paper, we deal with the comparison of two empirical methods used for the estimation of 100-year maximum discharge for the Vyčoma stream (Klátova Nová Ves profile). Particularly, we used the regional empirical formula (Dub, 1957) and volume empirical formula (Čerkašin, 1958). Based on the comparison of these two methods, the volume formula gives a higher 100-year maximum discharge by 37.65% as compared to the regional formula. The reasons for different results are also discussed in the paper along with the possible sources of uncertainties for the calculation of design discharges for (ungauged) profiles without direct observations.

Keywords: N-year maximum discharges, regional empirical formula, volume empirical formula, Vyčoma, Klátova Nová Ves

Úvod

Stanovenie návrhových prietokov (N-ročných maximálnych prietokov) patrí k dôležitým úlohám nielen hydrológie, ale aj geografie. Riešenie odhadu N-ročných vôd je jedným z kľúčových problémov v ochrane pred povodňami napr. pri tvorbe povodňových máp (Vojtek, Boltžiar, 2010) a rovnako dôležitú úlohu zohráva aj pre vodohospodárskych účely.

N-ročný maximálny prietok $Q_{\max N}$ vyjadruje kulminačný prietok, ktorý sa v danom profile prekročí priemerne raz za N-rokov (N = napr. 5, 10, 20, 50, 100 alebo 1000 rokov), to znamená, že napr. storočný maximálny prietok (Q_{100}) je prietok, ktorý bude dosiahnutý alebo prekročený v priemere raz za sto rokov (nie však každých sto rokov) (Szolgay, Kohnová, Hlavčová, 2003).

Metódy stanovenia N-ročných maximálnych prietokov môžeme všeobecne rozdeliť na priame a nepriame. V oblasti určovania návrhových prietokov nepriamym spôsobom existuje viacero prístupov a metód, z ktorých každá má svoje výhody a nevýhody.

Cieľom príspevku je preto výpočet 100-ročného maximálneho prietoku na príklade povodia Vyčomy v profile Klátova Nová Ves s použitím dvoch empirických metód (regionálny a objemový vzorec) a ich vzájomná komparácia.

Metódy odhadu N-ročných maximálnych prietokov mimo vodomerných staníc

Podľa Solína (2006) sa odhad N-ročných vôd mimo vodomerných staníc uskutočňuje pomocou dvoch základných skupín metód.

Prvú skupinu tvoria zrážkovo-odtokové metódy. V súlade so Szolgayom, Dzubákom, Hlavčovou (1994) môžeme v rámci nich použiť:

- metódu analógie,
- empirické vzorce: regionálne (oblastné) empirické vzorce, intenzitné empirické vzorce, objemové empirické vzorce,
- metódu SCS (Soil Conservation Service).

Zrážkovo-odtokové metódy vychádzajú z údajov o zrážkach a fyzickogeografických atribútoch povodia. Maximálny prietok je funkciou plochy povodia a koeficientov, ktorých veľkosť závisí od fyzickogeografických atribútov povodia. V našich podmienkach sú zaužívané regionálne empirické vzorce Duba (1954, 1957), kde si výpočet maximálneho prietoku vyžaduje najprv zistiť a vypočítať podkladové morfometrické a morfológické charakteristiky povodia. Od roku 1954 tvorí oblastný vzorec Duba (1954, 1957) základ metodiky určovania návrhových prietokov na SHMÚ v povodiach väčších ako 20 km². Regionálne parametre reprezentujúce regionálne jednotky však boli prehodnotené, rozšírené a sú uvedené v metodologickej príručke stanovenia N-ročných maximálnych prietokov (Makel' a kol., 2003).

Druhú skupinu tvoria štatistické metódy, ktoré sú založené na frekvenčnej analýze ročných maximálnych prietokov. Solín (2005) poukazuje na fakt, že hydrologické pozorovania sa vykonávajú na obmedzenom počte vodných tokov, ktorých pozorovacie rady sú relatívne krátke na vykonanie spoľahlivého odhadu ročných maximálnych prietokov najmä s menšou pravdepodobnosťou výskytu. Z toho dôvodu by sa mal odhad N-ročných maximálnych prietokov uskutočniť regionálnou frekvenčnou analýzou, ktorá je založená na myšlienke, že ak frekvencie výskytu javov určitej veľkosti sú si podobné, tak spoločná analýza dát povodí s rovnakou hydrologickou reakciou, než dát z jedného povodia, je opodstatnenejšia. Tento prístup aplikovali napr. Zrinji, Burn (1994), Cannarozzo, D'Asaro, Ferro (1995), či Hosking, Wallis (1997).

Určenie N-ročných maximálnych prietokov pomocou regionálnej frekvenčnej analýzy si vyžaduje riešenie troch hlavných problémov (Solín, 2006):

- identifikovanie fyzickogeografických regionálnych tried,
- výber regionálnej distribučnej funkcie a odhadu jej parametrov,
- odhad strednej hodnoty ročného maximálneho prietoku pre povodia bez pozorovaní.

Na Slovensku sa odhad N-ročných maximálnych prietokov pomocou regionálnej frekvenčnej analýzy začal uplatňovať iba relatívne nedávno. Prehľad viacerých prístupov regionálnej frekvenčnej analýzy ponúka napr. GREHYS (1996) alebo Solín (2006).

Modelové územie

Za modelové územie sme si zvolili povodie vodného toku Vyčoma, ktoré je lokalizované v povodí rieky Nitry, presnejšie na južnej hranici povodia hornej Nitry. Hraničné geografické súradnice povodia Vyčomy sú 48°35' s. z. š., 48°29' s. z. š. a 18°12' v. z. d., 18°26' v. z. d. Celková plocha povodia je 99,94 km², čo predstavuje 2,2% z celkovej plochy povodia Nitry.

Povodie je súčasťou dvoch geomorfologických celkov – Podunajskej pahorkatiny a Tribeča. Najvyšším bodom je kóta 715 m n. m., ktorá sa nachádza pod Javorovým vrchom (730 m n. m.) v južnej časti povodia. Najnižšie položený je bod s nadmorskou výškou 168 m n. m., nachádzajúci sa v mieste kde sa Vyčoma vlieva do rieky Nitry.

Vodný tok Vyčoma tvorí ľavostranný prítok rieky Nitry. Má dĺžku 25,2 km a je tokom IV. rádu podľa klesajúcej (Gravelius) klasifikácie tokov. Pramení v pohorí Tribeč v nadmorskej výške okolo 515 m n. m. pod vrchom Veľký Vracov (609 m n. m.).

Od prameňa tečie na juhozápad cez dolinu Veľká Chmelina, potom sa stáča na západ a prechádza do Uhrovskej doliny, kde z pravej strany priberá Suchý potok a prechádza do Nitrianskej pahorkatiny, kde sa do Vyčomy vlieva potok Slače. Po ich sútoku tečie smerom na severozápad a priberá pravostranný Hlomniansky potok a pri Ješkovej Vsi pravostranný Klížsky potok a potom taktiež pravostranný Chotenovský potok. Oblúkovito obteká masív Hôrky (275 m n. m.) a v Janovej Vsi sa do nej vlieva zľava najprv Hradský potok a potom v obci Klátova Nová Ves priberá sprava Turčiansky potok. V smere západnom potom preteká ďalej obcou Klátova Nová Ves, pri Sádke sa stáča na juhozápad a pred Baštínom (časť obce Bošany) sa zase stáča na severozápad a na území obce Bošany sa vlieva do Nitry v rkm 99,140.

Vyčoma preteká cez katastrálne územia: Klížske Hradište (obec Veľký Klíž), Klíž (obec Veľký Klíž), Ješkova Ves, Janova Ves (obec Klátova Nová Ves), Turčianky, Klátova Nová Ves, Veľké Bošany (obec Bošany), Baštín (obec Bošany) a Práznovce.

Hodnoty 100-ročného maximálneho prietoku ($Q_{\max 100}$) sme zisťovali pre profil v obci Klátova Nová Ves, kde od sútoku s Turčianskym potokom Vyčoma nepriberá už žiadne významnejšie prítoky (mapa 1).

Dôvodmi pre výber modelového územia boli predovšetkým výskyt viacerých povodňových udalostí v obci Klátova Nová Ves (napr. 14.4., 17.4. a 12.6.1994, 11.6.1995, 22.-23.6.1999, 1.-2.6.2010) a predpoklad výskytu povodňových situácií aj v budúcnosti.

Regionálny vzorec stanovenia maximálnych prietokov podľa Duba (1957)

Podľa Makeľa a kol. (2003) je najrozšírenejšou a prakticky najpoužívanejšou metódou určovania N-ročných maximálnych prietokov ($Q_{\max}$) v profiloch mimo vodomerných staníc s plochou povodia nad 20 km^2 metóda využívajúca exaktne odvodené regionálne závislosti maximálnych špecifických odtokov 100-ročných ($q_{\max 100}$) na ploche povodia.

Ide o regionálne (oblastné) vzorce, ktoré vychádzajú z poznania morfometrických a morfologických pomerov a regionálnych parametrov odvodených na základe regresnej analýzy maximálnych prietokov pre jednotlivé regióny Slovenska (Mosný, 2002).

Výpočet 100-ročného maximálneho prietoku vychádza najprv z určenia morfometrických a morfologických charakteristík ako sú plocha povodia (S_p), plocha lesov (S_l), dĺžka toku resp. údolnice (L_r , L_u) a tvaru povodia (α).

Maximálny prietok (100-ročný) ($Q_{\max 100}$) sme vypočítali ako súčin maximálneho špecifického odtoku storočného ($q_{\max 100}$) a plochy povodia (S_p) podľa vzorca (Dub, 1957):

$$Q_{\max 100} = q_{\max 100} \cdot S_p$$

Maximálny špecifický odtok (100-ročný) ($q_{\max 100}$) sme vypočítali podľa nasledovného vzorca (Dub, 1957):

$$q_{\max 100} = \frac{A_o}{S_p^n} \cdot (1 \pm o_1 \pm o_2)$$

Do vzorca pre výpočet maximálneho špecifického odtoku (100-ročného) vstupujú regionálne parametre A_o a n , ktoré charakterizujú vplyv konkrétnej oblasti na odtokové pomery. Povodie Vyčomy sme priradili do oblasti 4., pričom parameter A_o má hodnotu 4,8 a n má hodnotu 0,415 (Dub, 1957, Mosný, 2002).

Opravu zo zalesnenia (o_1), ktorá vyjadruje vplyv plochy lesov, resp. lesnatosti (S_l) na odtokové pomery, sme vypočítali na základe vzorca (Szolgay, Dzubák, Hlavčová, 1994, Mosný, 2002):

$$o_1 = 0,5 \cdot \left(0,5 - \frac{S_l}{S_p} \right)$$

Oprava z tvaru povodia (o_2) je charakterizovaná koeficientom tvaru povodia α , ktorý sa vypočíta podľa nasledovného vzorca, kde S_p je plocha povodia a L_p je dĺžka povodia:

$$\alpha = \frac{S_p}{L_p^2}$$

Oprava z tvaru povodia môže potom nadobúdať hodnoty (Mosný, 2002):

$o_2 = 0,05-0,1$ pre vejárovité povodia, $\alpha = 1,0$,
 $o_2 = 0,0$ pre mierne pretiahnuté povodia, $\alpha = 1/3$,
 $o_2 = -0,1$ pre silne pretiahnuté povodia, $\alpha = 1/10$.

Výsledné hodnoty maximálneho storočného prietoku ($Q_{\max 100}$), maximálneho storočného špecifického odtoku ($q_{\max 100}$) a parametrov vstupujúcich do jeho výpočtu pre tok Vyčoma a profil Klátova Nová Ves sú uvedené v tab. 1.

Tab. 1: 100-ročný maximálny prietok podľa regionálneho vzorca Duba (1957)

Table 1: 100-year maximum discharge according to regional formula by Dub (1957)

názov toku	A_0	n	S_1 (%)	S_p (km ²)	o_1	α	o_2	$q_{\max 100}$ (m ³ /s. km ²)	Q_{100} (m ³ /s)
Vyčoma (profil Klátova Nová Ves)	4,8	0,415	60,8	82,7	-0,12	0,709	0,07	0,599	60,50

Objemový vzorec stanovenia maximálnych prietokov podľa Čerkašina (1958)

K nepriamym metódam určovania maximálneho (100-ročného) prietoku (Q_{100}) v malých povodia patrí aj objemový vzorec Čerkašina (1958), ktorý má nasledovný tvar (Szolgay, Dzubák, Hlavčová, 1994, Mosný, 2002):

$$Q_{100} = \frac{24,7 \cdot \beta \cdot v_s^{\frac{2}{3}} \cdot S_p}{\psi \cdot L_u^{\frac{2}{3}}}$$

Objemový odtokový koeficient (β) vo vzorci sme určili odčítaním z mapy

izolíní uvedenej napr. v práci Mosného (2002). Priemerná rýchlosť dobiehania vody (v_s) v povodí, ktorá závisí na sklonových pomeroch povodia (i) a jeho lesnatosti (λ) sa dá určiť z grafu uvedenom napr. v práci Szolgaya, Dzubáka, Hlavčovej (1994) alebo Mosného (2002). Do vzorca ďalej vstupuje plocha povodia (S_p), dĺžka údolia (L_u) a koeficient (ψ) korigujúci maximálny prietok vplyvom koeficienta tvaru povodia (α), ktorý sme určili odčítaním z grafu uvedenom napr. v práci Mosného (2002). Parametre objemového vzorca a vypočítaný storočný prietok (Q_{100}) pre tok Vyčoma podľa Čerkašina (1958) a pre porovnanie aj podľa Duba (1957) uvádzame v tab. 2.

Tab. 2: 100-ročný maximálny prietok podľa objemového vzorca Čerkašina (1958) a regionálneho vzorca Duba (1957)

Table 2: 100-year maximum discharge according to volume formula by Čerkašin (1958) and regional formula by Dub (1957)

názov toku	β	i (%)	λ (%)	v_s (m/s)	S_p (km ²)
Vyčoma (profil Klátova Nová Ves)	0,5	2,56	77,3	0,52	82,7
názov toku	α	ψ	L_u (km)	Q_{100} Čerkašin (1958) (m ³ /s)	Q_{100} Dub (1957) (m ³ /s)
Vyčoma (profil Klátova Nová Ves)	0,709	1,15	14,4	97,03	60,50

Záver

V príspevku sme sa zaoberali porovnaním dvoch empirických metód stanovenia 100-ročného maximálneho prietoku na toku Vyčoma v profile Klátova Nová Ves, ktorý je bez priamych pozorovaní.

Regionálny vzorec Duba (1957) uplatnili vo svojich prácach tiež Kohnová, Szolgay (1995), Majerčáková, Škoda (1998) alebo Szolgay, Kohnová, Hlavčová (2003), ktorí však upozorňujú na regionalizačnú neistotu vyplývajúcu z používania priestorových zovšeobecňovaní v prípade absencie priamych pozorovaní ako je napr. výber regionálnej jednotky a zaradenie povodia do nej. Kohnová et al. (2005) porovnávajú viacero regionálnych metód zahŕňajúc regionálny vzorec Duba (1957) na stanovenie storočnej vody v profiloch Myjava-Myjava a Hájovňa Slače-Vyčoma. Výsledky však poukazujú na to, že tradičné regionálne metódy vykazujú o niečo väčšie prietoky ako iné štatistické metódy ako je napr. regionálna frekvenčná analýza alebo DVWK (1999) - nemecký technický štandard pre

určovanie návrhových prietokov.

Podľa Mosného (2002) bol objemový vzorec Čerkašina (1958) aplikovaný na vybrané malé povodia Moravy a Slovenska, pričom sa určili kvalitatívne a kvantitatívne odchýlky od skutočnosti. Vo väčšine prípadov vykazoval tento vzorec väčšie prietoky v rozpätí od 0 do 50% a v ojedinelých prípadoch až 70% skutočnej hodnoty prietoku. V našom prípade vykazuje objemový vzorec Čerkašina (1958) o 37,65% väčší storočný maximálny prietok na toku Vyčoma v profile Klátova Nová Ves ako regionálny vzorec Duba (1957). Jednou z príčin môže byť aj zastaraná mapa izolínii objemových koeficientov odtoku, ktorá bola vypracovaná v 50. rokoch 20. storočia, a preto by ju bolo potrebné aktualizovať (Mosný, 2002).

Z uvedeného je zrejmé, že určenie N-ročných vôd sa nedá považovať za jednoznačný výpočtový postup s jednoznačným výsledkom. Je to úloha, ktorá sa dá riešiť viacerými štatistickými a hydrologickými postupmi. Z hľadiska praktickej použiteľnosti by sa mohli výsledky odhadu rôznymi metódami v princípe považovať za rovnocenné za predpokladu, že boli dodržané podmienky správneho používania jednotlivých metód. Ako dôsledok to znamená, že výslednú N-ročnú veličinu aj tak nakoniec musíme zvoliť zo spektra výsledkov použitých postupov, pričom tie môžu byť aj značne rozdielne. Čoraz viac sa zavádzajú technické normy alebo smernice, ktoré odporúčajú vhodné výpočtové metódy. Tieto potom predstavujú konvencie, ktoré odborná verejnosť považuje za primerané vzhľadom na úroveň vedomostí o sledovanom jave (Szolgay, Kohnová, Hlavčová, 2003).

Literatúra

- Cannarozzo, M. – D'Asaro, F. – Ferro, V. 1995.** Regional rainfall and flood frequency analysis for Sicily using the two component extreme value distribution. In *Hydrological Sciences Journal*. ISSN 0262-6667, 1995, vol. 40, no. 1, pp. 19-42.
- Čerkašin, A. 1958.** Nový vzorec pro vyčíslení velkých vod na malých povodích. In *Vodní hospodářství*. 1958, roč. 30, č. 9, s. 261-263.
- Dub, O. 1954.** Všeobecná hydrologia Slovenska. Bratislava : SAV, 1954. 151 s.
- Dub, O. 1957.** Hydrologia, Hydrografia, Hydrometria. Bratislava : SVTL, 1957. 488 s.
- DVWK Regeln 101/1999.** Wahl des Bemessungshochwassers. Empfehlung zur Berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeit. Hamburg : Paul Parey, 1999.
- GREHYS. 1996.** Presentation and Review of Some Methods for Regional Flood Frequency Analysis. In *Journal of Hydrology*. ISSN 0022-1694, 1996, vol. 186, no. 1-4, p. 63-84.
- Hosking, J. R. – Wallis, J. R. 1997.** Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L-moments. Cambridge : Cambridge University Press, 1997, 220 p.
- Kohnová, S. – Szolgay, J. 1995.** K používaniu Dubovho vzorca pre výpočet maximálneho storočného špecifického odtoku na malých povodiach Slovenska. In

Vodohospodársky časopis. 1995, roč. 43, č. 1, s. 3-27.

Kohnová, S. – Kriegerová, I. – Podolinská, J. – Szolgay, J. – Hlavčová, K. 2005. Regional Methods for Design Flood Computation in Slovakia (Review and Comparison). In Ninth International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering. Ottenstein, 2005. pp. 369-376.

Majerčáková, O. – Škoda, P. 1998. Návrhové veličiny N-ročných prietokov a prietokových vln – skúsenosti a problémy. In Zborník Povodne a protipovodňová ochrana. Banská Štiavnica : Dom Techniky ZSVTS, 1998. ISBN 80-230-0153-1, s. 133-136.

Makel', M. – Turbek, J. – Podolinská, J. – Škoda, P. 2003. Stanovenie N-ročných prietokov a N-ročných prietokových vln na väčších tokoch (Odvetvová technická norma MŽP SR 3112-1:03)

Mosný, V. 2002. Hydrológia – Morfológia povodia a prietoky. Bratislava : STU, 2002. 111 s. ISBN 80-227-1782-7.

Solín, I. 2005. Povodne – odhad ich veľkosti pre malé povodia Slovenska metódou regionálnej frekvenčnej analýzy. In Geografický časopis. ISSN 0016-7193, 2005, roč. 57, č. 4, s. 287-307.

Solín, I. 2006. Odhad N-ročných maximálnych prietokov regionálnou frekvenčnou analýzou. In Geographia Slovaca. ISSN 1210-3519, 2006, roč. 23, 68 s.

Szolgay, J. – Dzubák, M. – Hlavčová, K. 1994. Hydrológia – Odtokový proces a hydrológia povrchových vôd. Bratislava : STU, 1994. 277 s. ISBN 80-227-0641-8.

Szolgay, J. – Kohnová, S. – Hlavčová, K. 2003. Neistoty určovania návrhových prietokov. In Životné prostredie. ISSN 0044-4863, 2003, roč. 37, č. 4, s. 194-199.

Vojtek, M. – Boltižiar, M. 2010. Problémy pri stanovení povodňového ohrozenia v malých povodiach. In Mladí vedci 2010. Nitra : UKF, 2010. ISBN 978-80-8094-742, s. 557-564.

Zrinji, Z. – Burn, D. H. 1994. Flood frequency analysis for ungauged sites using a region of influence approach. In Journal of Hydrology. ISSN 0022-1694, 1994, vol. 153, no. 1-4, p. 1-21.

DETERMINATION OF N-YEAR MAXIMUM DISCHARGES FOR UNGAUGED PROFILES USING EMPIRICAL METHODS

Summary

In this paper, we dealt with the comparison of two empirical methods for the determination of 100-year maximum discharge for the Vyčoma stream in the ungauged Klátova Nová Ves profile, which does not have any direct observations.

Calculation of the 100-year maximum discharge by regional formula of Dub (1957) was firstly based on the determination of morphometric and morphological characteristics such as catchment area, forest area, stream length, catchment shape and determination of regional parameters which characterize the impact of

particular area on the runoff conditions. In our case, the resulting discharge has a value of $60.50 \text{ m}^3/\text{s}$.

In the case of volume formula by Čerkašin (1958), the calculation of 100-year maximum discharge was based on volume runoff coefficient, average speed of water in the catchment which depends on the slope characteristics of the catchment and its forest cover. Moreover, the formula includes the value of catchment area, stream length and coefficient which corrects maximum discharge under the influence of the catchment shape coefficient. The calculated 100-year discharge for the Vyčoma stream in the profile Klátova Nová Ves profile has a value of $97.03 \text{ m}^3/\text{s}$.

According to Mosný (2002), the volume formula by Čerkašin (1958) was applied on selected small catchments of Moravia and Slovakia while the qualitative and quantitative deviations from actual values were identified. In most cases, this formula showed a higher discharge ranging from 0 to 50% and in rare cases up to 70% of the actual discharge value. In our case, the volume formula by Čerkašin (1958) shows a higher 100-year maximum discharge for the Vyčoma stream in the Klátova Nová Ves profile by 37.65% as compared to the regional formula by Dub (1957). One of the reasons may be the outdated map of isolines of volume runoff coefficients which was developed in the 50s of the 20th century and therefore, it should have been updated.

It is obvious that the determination of N-year discharges cannot be considered unambiguous calculation procedure with a clear outcome. It is a task that can be solved by using several methods. In terms of practical usability, the results of different estimations using various methods could be, in principle, considered equivalent if conditions of proper use of each method were fulfilled. As a consequence, this means that the resulting N-year quantity has to be chosen from a range of results of used methods, which may also be significantly different (Szolgay, Kohnová, Hlavčová, 2003).

Mgr. Matej Vojtek, PhD.

Katedra geografie a regionálneho rozvoja FPV UKF v Nitre

Trieda A. Hlinku 1, 949 74 Nitra

E-mail: mvojtek@ukf.sk