# K NEISTOTE URČOVANIA NÁVRHOVÝCH MAXIMÁLNYCH PRIETOKOV NA MALÝCH POVODIACH

Silvia Kohnová, Ján Szolgay, Kamila Hlavčová

*Určovanie maximálnych návrhových prietokov pre malé povodia bez priamych pozorovaní patrí k častým úlohám inžinierskej hydrológie. Najmä pri veľmi malých povodiach sa často vychádza z genetickej predstavy tvorby odtoku v povodí a z nich odvodených zjednodušených empirických vzťahoch. V príspevku poukazujeme na neistoty v odhade návrhových maximálnych prietokov na malých povodiach. Popisujeme tzv. racionálnu metódu a niektoré iné u nás používané empirické metódy na odhad maximálnych návrhových prietokov pre malé povodia. Ako praktický príklad uvádzame použitie viacerých metód odhadu na šiestich vybraných veľmi malých povodiach na Slovensku. V závere príspevku navrhujeme témy výskumu zamerané na znižovanie neistôt v oblasti stanovenia návrhových hodnôt maximálnych prietokov na malých povodiach..*

*Kľúčové slová: návrhové maximálne prietoky, veľmi malé povodia, racionálna metóda*

***Uncertainties in design discharges estimation on small catchments.*** *In the paper uncertainties associated with different methods of estimating of design discharges for small catchments are described. Potential sources of uncertainty in the calculation of design discharges are discussed with an emphasis on the minimization of their influence. As for methods applicable to small catchments the influence of the determination of the design rainfall intensity and the design runoff coefficient are treated here more in detail. Design discharges estimated by different methods based on the rational method and also other empirical formulae for six small catchments from the territory of Slovakia were compared. Practical recommendations for further research leading to the reduction of uncertainty in application of these methods are given.*

*Key words: design maximum discharges, small catchment, rational formulae*

---

## 1. ÚVOD

Jedným z dôležitých článkov reťazca ochrany pred ničivými účinkami povodní je aj určovanie návrhových maximálnych prietokov na dimenzovanie ochranných stavieb. Zvyčajne sú udávané so zvolenou významnosťou, ktorá je mierou možnosti ich dosiahnutia alebo prekročenia v budúcnosti.

Voľbu významnosti návrhového prietoku na daný technický účel (napr. určenie výšky hrádze, kapacity koryta, kapacity bezpečnostného priepadu vodného diela a pod.) určujú príslušné technické normy s ohľadom na požadovanú bezpečnosť chráneného územia a ekonomické škody, ktoré by mohli byť spôsobené zlyhaním príslušného protipovodňového opatrenia.

Pre veľmi malé povodia prichádzajú pre daný účel najčastejšie do úvahy metódy vychádzajúce zo zrážkových údajov, ktoré sú vo všeobecnosti dostupnejšie, dajú sa priestorovo ľahšie interpolovať a mávajú aj dlhšie pozorovacie rady. Pre malé a stredné povodia sa u nás v prevažnej miere uplatňujú regionálne metódy odhadu (výnimočne aj metódy založené na používaní zrážkovo-odtokových modelov). Pre profily, v ktorých je odtok ovplyvnený antropogénnou činnosťou je nutné používať matematické hydrologické modely transformácie zrážok na odtok resp. matematické modely transformácie odtoku v riečnej sieti a v prvkoch vodohospodárskych sústav. Ani jeden z palety uvedených výpočtov nie je postupom s jednoznačným výsledkom, odhad výslednej veličiny je zaťažený viacerými neistotami.

Detailný popis, vysvetlenie príčin a dôsledkov týchto neistôt presahuje účel a možnosti tohto príspevku. Podrobne sme s neistotami určovania návrhových maximálnych prietokov zaoberali vo viacerých štúdiách; spomenieme napr. práce Kohnová et al. (2000), Szolgay, Kohnová (2003), Kohnová, Solín, Szolgay (2000) zaoberajúce sa regionalizačnou neistotou; Szolgay, Kohnová (2001), a Szolgay, Kohnová, Hlavčová (2003 a,b) analyzujúce štatistické neistoty. Tu sa pokúsime o diskusiu o tom, aké máme možnosti na minimalizáciu neistôt určovania návrhových prietokov pre veľmi malé

povodia. Tieto otázky boli bližšie analyzované napr. i v prácach Szolgay, Kohnová, Hlavčová (2003 b) a Szolgay et al. (2001).

## 2. K NEISTOTE URČOVANIA NÁVRHOVÝCH PRIETOKOV NA VEĽMI MALÝCH POVODIACH

Základ určovania N-ročných maximálnych prietokov mimo vodomerných staníc tvoria u nás regionálne metódy. V praxi sú preto často používané aj pre veľmi malé povodia. Zabezpečuje sa tým aj priestorová nadväznosť v systéme N-ročných hodnôt medzi malými a väčšími povodiami, ale práve v menších povodiach je vysoké riziko, že lokálne podmienky tvorby odtoku sa môžu líšiť od regionálnych. S ohľadom na to sa v malých povodiach široko používajú aj tzv. empirické metódy (u nás sa tradične delia na objemové a intenzitné). Tieto metódy vychádzajú z údajov o zrážkach a z charakteristík podmienok tvorby odtoku na povodí.

Typickým predstaviteľom takýchto postupov je tzv. racionálna metóda a jej odnože, podľa ktorých je možné maximálny návrhový prietok vyjadriť zo vzťahu

$$Q_N = \varphi_V \,.\, i_{t,N} \,.\, F.k \tag{1}$$

kde $Q_N$ je maximálny prietok s priemernou dobou opakovania $N$ rokov, $i_{t,N}$ je intenzita návrhového dažďa s tou istou dobou opakovania, $\varphi_V$ je vrcholový súčiniteľ odtoku, $F$ plocha povodia a $k$ je prevodový rozmerový súčiniteľ. Návrhový dážď sa všeobecne uvažuje s konštantnou intenzitou a rovnomerne rozložený po celom povodí. Pri stanovení doby trvania $t$ návrhového dažďa sa obvykle vychádza z predpokladu, že maximálny prietok v záverečnom profile nastane vtedy, keď sa do odtoku zapojí celé povodie (tzv. kritická doba odtoku). Vrcholový súčiniteľ odtoku $\varphi_V$ vyjadruje pomer maximálneho prietoku a intenzity návrhového dažďa. Zvyčajne sa odhaduje zo skúsenosti pomocou rôznych tabuľkových hodnôt v závislosti od spôsobu využívania povodia a jeho sklonu. Niekedy sa pri jeho určení vychádza tiež z hodnoty objemového súčiniteľa odtoku $\varphi_0$, ak je ho možné pre dané povodie ľahšie definovať.
Ďalší typ vzorcov býva odvodený z celkového objemu priameho odtoku vyvolaného zrážkami a z predpokladaného (schematizovaného) tvaru hydrogramu odtoku. Všeobecný tvar tejto skupiny vzorcov je

$$Q_N = k.H_{z,N}.F.\varphi_o.k_f / T \tag{2}$$

kde $k$ je rozmerový súčiniteľ závislý na voľbe jednotiek, $H_{z,N}$ je výška zrážok kritického trvania s dobou opakovania $N$, $\varphi_O$ je objemový odtokový súčiniteľ vyjadrujúci podiel objemu vody tvoriacej povodeň (často priamy odtok) a objemu príslušných zrážok spôsobujúcich tento odtok, $k_f$ je súčiniteľ vyplývajúci z tvaru schematizovaného hydrogramu a $T$ je celkový čas trvania odtoku.

Pri určení vstupných zrážok sa pri oboch typoch vzorcov používa viacero zjednodušujúcich predpokladov. Z nich za najzávažnejšiu môžeme považovať základnú hypotézu, že na výpočet N-ročného maximálneho prietoku môžeme používať hodnotu N-ročných zrážok. Sem zaraďujeme aj hypotézu, že trvanie kritického výpočtového dažďa vyvolávajúceho maximálny odtok sa rovná dobe koncentrácie odtoku, tiež predpoklady o rovnomernom rozložení dažďa v povodí a jeho konštantnej intenzite počas celej doby jeho trvania. Pri výpočte kritickej doby sa niekedy vychádza z predpokladu vzniku povrchového odtoku z celej plochy povodia a používa sa Hortonova teória vzniku povrchového odtoku. V prípade uplatnenia iných mechanizmov tvorby odtoku (pozri napr. Hlavčová et al., 2001) môžu takého vzorce dávať značne odlišné hodnoty od skutočných. Napr. v ČR je zdokumentovaných viacero prípadov, že historicky najvýznamnejšie odtoky vznikli z dažďov s trvaním dlhším, ako bola vypočítaná, resp. z údajov odhadnutá doba koncentrácie odtoku (Kašpárek, osobná komunikácia).

V objemových metódach sa ďalej predpokladá, že je známy tvar hydrogramu výsledného odtoku (používajú sa napr. rôzne geometrické schematizácie). Keďže trvanie odtoku je viazané na dobu koncentrácie a trvanie výpočtového dažďa, predpoklad o tvare hydrogramu de facto spolu určuje aj veľkosť N-ročného maximálneho prietoku.

## 3. ILUSTRAČNÝ PRÍKLAD

Ako ilustračný príklad na to, aký vplyv môžu mať uvedené neistoty na výslednú hodnotu maximálneho prietoku, uvádzame výsledky určenia návrhového prietoku s priemernou dobou opakovania 100 rokov pre vybraných šesť veľmi malých povodí. Odhady sme urobili podľa metodík Hrádka (1989), Dumbrovského et al. (2001); na objemovom vzorci Čerkašina (1963) a aplikovali sme aj regionálny vzťah podľa OTN-ŽP 3112-1:03 (2003).

Ako prvá bola použitá metóda pre výpočet 100-ročných maximálnych prietokov hydrologická smernica MZV ČSR a MP SR: Návrhové průtoky pro malá povodí, vypracovaná na VSŽ Praha, založená na metodike Hrádka (1989). Metodika výpočtu spočíva na kombinácii hydrologického a hydraulického prístupu riešenia povrchového odtoku a obsahuje podklady pre výpočet vo forme tabuliek, grafov a máp. Pri výpočte sa vychádza z týchto predpokladov:

- uvažuje sa modelové povodie s rovinnými svahmi, na ktorom odtok zo svahov je prítokom do údolnice,
- povodie je zasiahnuté prívalovým dažďom s konštantnou intenzitou, dobou trvania rovnou dobe koncentrácie odtoku a s rovnomerným plošným rozložením,
- k maximálnemu prietoku v záverečnom profile dochádza v dobe koncentrácie.

Pri riešení sa predpokladá, že prítok na svahy povodia vyjadrený výškou efektívneho dažďa je rovný odtoku zo svahov a údolnice povodia.
Výpočet 100-ročných maximálnych prietokov podľa spomenutej metodiky bol neskôr vylepšený a zapracovaný do hydrologického modelu DesQ-MaxQ, verzia 5.0, Kuřík, Hrádek (2000), ktorý sme tiež použili pri odhade $Q_{100}$ na vybraných povodiach.

Pri odhade 100-ročných maximálnych prietokov pomocou aplikácie metódy CN kriviek sme použili program ERCN 2.0 – Výpočet hodnot potřebných pro projekci pozemkových úprav, spracovaný VÚMOP Praha, autormi Dumbrovský et al. (2001).
Ťažiskom výpočtu 100 – ročného maximálneho prietoku je stanovenie čísla CN krivky a celkovej doby koncentrácie na povodí. Výpočet celkovej doby koncentrácie pomocou tejto metodiky sa odhaduje z troch zložiek odtoku:

- plošný povrchový odtok,
- sústredený odtok malej hĺbky,
- sústredený odtok v otvorenom koryte .

Pri odhade CN krivky sa využívajú tabuľky, pre ČR sú to podrobne spracované mapy druhov pôd, ktoré sú k dispozícii v digitálnej podobe.

Okrem týchto modelov sme použili i objemový vzorec Čerkašinov (1963), ktorý sa často v praxi používa na odhad storočných prietokov na malých povodiach a bol odvodený pre povodia do 300 $km^2$ v Čechách a na Morave, pričom objemový súčiniteľ odtoku je určený aj pre územie Slovenska.

Pre odhad 100-ročných maximálnych prietokov bola tiež použitá metodika SHMÚ OTN-ŽP 3112-1:03 (2003), založená na regionálnom vzorci. Aplikácia tejto metodiky je vhodná pre povodia nad 20 km2, avšak v praxi sa stretávame s jej extrapoláciou aj pre menšie plochy povodia. V našom prípade sme túto metódu zvolili len na porovnanie s výsledkami z iných odhadov.

Vypočítané hodnoty 100–ročných maximálnych prietokov uvedenými metódami na analyzovaných povodiach sme porovnali so štatistickým odhadom podľa metodiky DVWK (1999), výsledky sú uvedené v tabuľke č. 1. Ako vidieť (a dalo sa tiež očakávať), v odhadoch podľa jednotlivých metód je značný rozptyl. Za vhodné by sme z praktického hľadiska mali považovať tie metódy, ktoré by

konzistentne poskytovali odhad blízky štatistickému odhadu. K tejto požiadavke nás vedie potreba zachovať rovnaký stupeň bezpečnosti stavieb a ochranných opatrení navrhovaných rôznymi metódami na rozhraní veľmi malých a malých povodí. V ideálnom prípade by sa teda odhad návrhových veličín podľa štatistických metód, regionálnych vzorcov, regionálnej frekvenčnej analýzy a rôznych empirických vzorcov mal rovnať.

*Tab. 1 Odhadnuté hodnoty 100 – ročných maximálnych prietokov podľa jednotlivých metód v [m3/s]*

*Tab. 1 100-year design maximum discharges estimated according to selected methods in [m3/s]*

| Číslo profilu | Názov stanice | Názov toku | Roky pozorov. | Plocha povodia km$^2$ | Hrádek | ERCN | DesQ | Čerkašin | OTN-ŽP 3112-1:03 | Štat. odhad |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5055 | Plavecké Podhradie | Kráľov p. | 1971-1999 | 6,61 | 7,76 | 6,97 | 13,1 | 17,77 | 4,52 | 3,52 |
| 5490 | Podtureň | Jamníček | 1969-1992 | 7,01 | 8,15 | 9,99 | 8,98 | 37,84 | 28,69 | 6,81 |
| 5890 | Turany | Čiernik | 1970-2000 | 2,86 | 3,50 | 3,62 | 1,47 | 23,21 | 8,94 | 4,80 |
| 6920 | Červená Skala | Župkov Horný | 1971-1992 | 2,83 | 3,43 | 4,17 | 2,06 | 13,39 | 13,77 | 1,83 |
| 6935 | Šumiac | Skalistý p. | 1971-1988 | 1,90 | 2,31 | 5,38 | 3,71 | 18,43 | 3,13 | 2,38 |
| 9250 | Trnava pri Laborci | Trnavský p. | 1970-1993 | 6,61 | 8,491 | 6,25 | 2,08 | 8,68 | 38,67 | 6,36 |

## 4. DISKUSIA A ZÁVERY

Aj z týchto výsledkov je zrejmé, že porovnateľnosť výsledkov výpočtov rôznych autorov, resp. metód (a tým aj účinnosti následne navrhovaných protipovodňových opatrení v krajine) nie je zabezpečená, v praxi by sa mohla zabezpečiť dohodou odbornej komunity na používaní metód, ktoré sa osvedčili a sú zároveň na úrovni vedomostí danej doby ako aj na ich následnej parametrizácii voči štatistickým odhadom z povodí s dostatočnou dĺžkou radov pozorovaní. Výber týchto metód a ich parametrizácia by mali byť výsledkom práce širšieho kolektívu autorov a mali by byť etalónom pre korektné technické správanie sa v tzv. bežných situáciách.

Ako vyplynulo aj zo záverov štúdie Szolgay et al. (2001), za takéto sa dajú považovať aj metódy vychádzajúce z racionálnej metódy, ktorá sa široko používa najmä v mestskej hydrológii a metódy vychádzajúce z CN metódy, ktorá má dobrý potenciál zohľadňovať vplyv vyžívania územia na návrhové prietoky.

Pri racionálnej metóde je možné dohodnúť sa na spôsobe výpočtu návrhovej intenzity zrážok a doby koncentrácie a pokúsiť sa vyrovnať vychýlenie vypočítaných hodnôt N-ročných maximálnych prietokov voči štatistickým metódam, resp. voči ostatným metódam vhodnou voľbou koeficientu odtoku.

Podobne by sa dalo postupovať pri metódach vychádzajúcich z CN kriviek. Kým sa bude doba opakovania prietoku považovať za rovnú dobe opakovania zrážok, resp. nebudeme mať odvodené CN krivky pre naše podmienky, bolo by možné uvažovať o takej parametrizácii metódy, ktorá by zaručovala konzistenciu vypočítaných hodnôt so štatistickými metódami.

V rámci štúdie Szolgay et al. (2002) boli navrhnuté aj témy, ktoré by bolo potrebné hlbšie riešiť v rámci výskumu a ktoré by pomohli k implementácii vyššie uvedených úvah a to:

1. vytvorenie nového súboru N-ročných maximálnych dažďov pre rôzne doby trvania, alebo aspoň kritické zhodnotenie existujúcich hodnôt a metód z pohľadu nových údajov vo vybraných staniciach s cieľom odporučiť jednotný podklad pre výpočet maximálnych prietokov,

2. overenie vhodnosti niekoľkých vzťahov na výpočet doby koncentrácie. Odporúčané vzťahy by mali dávať realistické hodnoty v našich podmienkach, mali by byť vzájomne konzistentné a mali by umožňovať využívať rôzne vstupné veličiny,
3. vytvorenie súboru CN kriviek a schematizovaných tvarov hydrogramov odtoku pre naše podmienky vychádzajúci z výsledkov predošlých dvoch bodov tak, aby objem odtoku a z neho určený maximálny prietok bol konzistentný s výsledkami štatistických metód v staniciach a ostatných metód mimo staníc,
4. vytvorenie súboru vrcholových súčiniteľov odtoku pre naše podmienky tak, aby N-ročný maximálny prietok určený pomocou nich bol konzistentný s výsledkami štatistických a ostatných metód.

Dnes sa dá konštatovať, že uvedené úlohy neboli doteraz realizované. Podmienky pre technickú normalizáciu v danej oblasti zostali teda prakticky rovnaké ako v čase zhotovenia uvedenej štúdie Szolgay et al. (2002).

Odborná verejnosť a užívatelia očakávajú, aby výsledok odhadu N-ročných maximálnych prietokov bol čo najjednoznačnejší. Aj z uvedeného je však zrejmé, že ich určenie sa nedá považovať za výpočtový postup s jednoznačným výsledkom. Je to úloha, ktorá sa dá riešiť viacerými štatisticky a hydrologicky rovnocennými postupmi. Z hľadiska praktickej použiteľnosti by sme mohli výsledky odhadu rôznymi metódami (autormi) v princípe považovať za rovnocenné za predpokladu, že boli dodržané podmienky správneho používania jednotlivých metód. Ako dôsledok to znamená, že výslednú N-ročnú veličinu nakoniec musíme zvoliť zo spektra výsledkov použitých postupov, pričom tieto môžu byť čo do veľkosti aj značne rozdielne. To môže mať nepríjemné dôsledky v rôznych oblastiach vodného staviteľstva a protipovodňovej ochrany. Nominálna miera ochrany by bola síce rovnaká, skutočne dosiahnutá miera ochrany by však nemusela byť porovnateľná. Preto sa aj vo svete čoraz viac zavádzajú technické normy alebo smernice profesných organizácií, ktoré odporúčajú vhodné výpočtové metódy. Tieto potom zohrávajú stabilizačnú úlohu v systéme navrhovania vodohospodárskych stavieb, tým že zavádzajú konvencie, ktoré odborná verejnosť považuje za primerané vzhľadom na úroveň vedomostí o sledovanom jave. Domnievame sa, že práve s ohľadom na dostupnosť čoraz širšej palety metód sa tomuto procesu nebudeme môcť vyhnúť ani u nás.

**Poďakovanie:** Autori ďakujú grantovej agentúre VEGA za podporu projektov č. 1/2032/05, 1/1145/04 a 2/3085/23.

## 5. LITERATÚRA

Čerkašin, A. (1963): Hydrologická príručka. Hydrometeorologický ústav, Praha, 224 s.

DVWK Regeln 101/1999: Wahl des Bemessungshochwassers. Verlag Paul Parey, Hamburg 1999

Dumbrovský, M. et al. (2001): program ERCN, výstup projektu „Optimalizace systému komplexních opatření pro minimalizaci nepříznivých účinků povrchového odtoku v povodí a jeho aplikace v procesu pozemkových úprav“, Ministerstvo zemědělství ČR.

Hlavčová, K., Holko, L., Szolgay, J. (2001): Tvorba a modelovanie odtoku na svahoch a z malých povodí. Životné prostredie, roč. 35, 2001, č.3, 126-132

Hrádek, F. (1989): Aplikace genetického vzorce intenzivního typu pro výpočet kulminačných průtoků Q100 na malých povodích, Katedra základů vodního hospodařství, AF VŠZ,Praha

Kohnová, S. et al. (2000): Stanovenie N-ročných maximálnych prietokov mimo vodomerných staníc. Rozborová úloha pre tvorbu STN „Kvantifikácia povodňového režimu.“ MŽP SR, 72s.

Kohnová, S., Solín, Ľ., Szolgay, J., (2003): Regionálna analýza maximálnych prietokov. Životné prostredie, Bratislava

Kuřík, Hrádek, F. (2000): DesQ MaxQ program pro výpočet maximálních průtoků na malých povodích. Praha, verzia 5.0

Szolgay, J., Hlavčová, K., Kohnová, S., Ľupták, Ľ. (2001): Kvantifikácia N-ročných maximálnych prietokov na základe zrážok. Rozborová úloha pre tvorbu STN „Kvantifikácia povodňového režimu.“ MŽP SR, 82s.

Szolgay, J., Kohnová, S. (2001): K potrebe normovania metód určovania N-ročného maximálneho prietoku štatistickými postupmi. In: Kamenský et al.: Vplyv vodohospodárskych stavieb na tvorbu a ochranu životného prostredia. 4. Konf. s medzinárodnou účasťou, Podbanské, KHT SvF STU, 2001, s. 161-16. ISBN 80-88820-18-9

Szolgay, J., Kohnová, S. (2003): O možnostiach normovania metód výpočtov maximálnych prietokov pre protipovodňovú ochranu. In: Ekotechnika, Bratislava 2003, pp. 78-85.

Szolgay, J., Kohnová, S., Hlavčová, K. (2003a): Ilustrácia neistoty určovania N-ročných maximálnych prietokov Dunaja v Bratislave. In: Lukáč, Podkonický, eds.: Ochrana pred povodňami a bezpečnosť vodných stavieb.MŽP, SVP, Bratislava 2003, s. 7-13.

Szolgay, J., Kohnová, S., Hlavčová, K. (2003b): Neistoty určovania návrhových prietokov. Životné prostredie, 2003, Vol. 27, č.4, 194-199.

**Autori**

doc. Ing. Silvia Kohnová, PhD., Katedra vodného hospodárstva krajiny, SvF STU, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, e-mail: silvia.kohnova@stuba.sk

prof. Ing. Ján Szolgay, PhD., Katedra vodného hospodárstva krajiny, SvF STU, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, e-mail: jan.szolgay@stuba.sk

doc. Ing. Kamila Hlavčová, PhD., Katedra vodného hospodárstva krajiny, SvF STU, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, e-mail: kamila.hlavcova@stuba.sk