

Regionálna analýza maximálnych prietokov

S. Kohnová, Ľ. Solín, J. Szolgay: Regional Analysis of Maximum Discharges. Život. Prostr., Vol. 37, No. 6, 318 – 324, 2003.

Regional empirical flood formulae based on the relationship between flood quantiles and physiographic catchment characteristics have usually been considered a safe solution for design discharge computation in ungauged basins in Slovakia. A number of new ideas and models were proposed in regional flood frequency analysis in recent years. In the paper an overview of the evolution of regional flood frequency theories is given together with a brief review of the main mathematical modeling concepts used. Two case studies based on different regional approaches are presented. A comparison of flood quantiles computed by the Hosking and Wallis regional approach is performed in a selected homogenous pooling group with statistical reference values and values derived using traditional envelope curve approaches. The applicability of the compared methods for design purposes was discussed. Limitations of the use of regional approaches for engineering hydrology are discussed.

V dôsledku ničivých povodní, ktoré sa vo svete a aj na Slovensku vyskytli v posledných rokoch, sa problematika určovania návrhových prietokov dostáva do väčšej pozornosti odborníkov a čiastočne aj verejnosti. Vo svete v poslednom desaťročí postupne prenikli do praxe nové metódy určovania hydrologických návrhových veličín. Dotýka sa to aj metód určovania návrhových maximálnych prietokov v povodiach bez priamych pozorovaní, kde sa vo všeobecnosti uprednostňujú najmä tzv. regionálne metódy odhadu.

Uvedené metódy vychádzajú z rozčlenenia záujmového územia na homogénne jednotky (regióny, resp. regionálne typy), ktoré sú identifikované na báze fyzickogeografických krajinných komponentov, na množine fyzickogeografických vlastností povodí, prípadne podľa podobných charakteristík hydrologického režimu. Predpokladá sa pritom, že povodia v rámci každej vyčlenenej homogénnej regionálnej jednotky majú podobnú hydrologickú odozvu sledovaného javu. V povodí s nevhodnými alebo neexistujúcimi údajmi sa tak vytvorí predpoklad na využitie informácií z pozorovania iných povodí s podobným hydrologickým režimom. V regionálnej analýze maximálnych prietokov analýza vyúsťuje do odvodenia regionálnych čiar prekročenia (opakovania) kulminačných prietokov povodní, ktoré umožňujú odhad N -ročných prietokov v povodiach s nevhodnými, resp. neexistujúcimi údajmi.

Rozčlenenie územia Slovenska akademikom Dubom r. 1940 pre odhad 100-ročných maximálnych prietokov patrí medzi prvé regionálne hydrologické členenia Slovenska. Vyčlenené regionálne jednotky sa prakticky používajú dodnes a vzorec akademika Duba publikovaný v rôznych variantoch v r. 1940 – 1957, sa stal východiskom pre súčasnú posudkovú prax SHMÚ. Odvtedy sa predĺžili hydrologické pozorovacie rady a rozšírila sa pozorovacia sieť predovšetkým na malé toky. Rozvojom GIS sa z tematických máp, kozmických a leteckých snímok získaných diaľkovým prieskumom Zeme, ako aj na základe digitálnych modelov reliéfu získali rozsiahle a presnejšie poznatky o fyzickogeografických charakteristikách povodí a vo svete sa začali uplatňovať aj nové koncepcie regionálnej analýzy a posilnilo sa prepojenie medzi geografiou a hydrologiou. V tejto oblasti bolo možné v uplynulých asi dvoch desaťročiach badať vo svete výrazné metodické pokroky, ktoré našli aplikáciu aj v našich podmienkach.

Základná metodológia regionálnej analýzy maximálnych prietokov

Moderný prístup chápe regionalizačný proces ako priestorovú formu všeobecného klasifikačného systému, v rámci ktorého funkciu klasifikovaných objektov plnia základné priestorové jednotky (povodia) charak-

terizované množinou zvolených vlastností. Úlohou regionalizačného procesu je zoskupiť základné priestorové jednotky do tried tak, aby vzhľadom na množinu týchto vlastností, priestorové jednotky patriace do tej istej triedy boli maximálne podobné a jednotky zaradené do rôznych tried maximálne odlišné. Vecne sa vymedzili dva pojmy: *regionalizácia*, ktorej výsledkom sú jednotky označované ako región a *regionálna typizácia*, ktorej produktom sú jednotky označované ako regionálne typy. Región je chápaný ako súbor základných priestorových jednotiek navzájom susediacich v geografickom priestore. Základné priestorové jednotky regionálneho typu, na rozdiel od regiónu, v geografickom priestore nesusedia.

Hydrologické charakteristiky sa získavajú z priamych pozorovaní len v obmedzenom počte povodí a vyčleňovaním regionálnych jednotiek priamo vzhľadom na tieto hydrologické charakteristiky sa nedá dosiahnuť priestorovo vyčerpávajúci charakter regionalizácie alebo regionálnej typizácie. Špecifikum vyčleňovania v hydrológii spočíva preto v tom, že regionálne jednotky sa zväčša vyčleňujú na základe fyzickogeografických charakteristík, ale ich vonkajšia heterogenita, resp. vnútorná homogenita sa testuje vzhľadom na hydrologické vlastnosti. Hydrologická účinnosť regionálnych jednotiek je len vtedy vysoká, ak sú jednotky vyčlenené na základe takých charakteristík, ktoré majú významný vplyv na priestorovú variabilitu hydrologických vlastností.

Vyčleňovanie fyzickogeografických regionálnych jednotiek v podstate môžeme zaradiť do dvoch veľkých skupín. V rámci prvej skupiny sa krajina rozčleňuje na základe krajinných komponentov logickým delením metódou vedúceho krajinného komponentu (spravidla reliéfu) alebo metódou vzájomnej kombinácie viacerých fyzickogeografických krajinných komponentov (reliéfu, horniny, krajinnnej pokrývky, zrážok atď.). V druhej skupine sa priamo povodia zoskupujú do regionálnych jednotiek, a to na základe:

- *logického delenia*, vzájomnou kombináciou diferenciačných hodnôt fyzickogeografických charakteristík povodí, ktoré majú významný vplyv na priestorovú variabilitu hydrologických vlastností,
- *numerických metód* zoskupovania povodí do skupín, vzhľadom na množinu hodnôt fyzickogeografických charakteristík povodí, ktoré majú významný vplyv na priestorovú variabilitu hydrologických vlastností (napr. metódy zhlukovej analýzy, metódy multivariačnej analýzy).

Ďalším krokom je odvodenie metód na určovanie návrhových prietokov v rámci vyčlenených regionálnych jednotiek. Pre potreby tohto príspevku ich budeme klasifikovať ako regionálne regresné metódy a metódy regionálnej frekvenčnej analýzy. Regionálne re-

gresné metódy sú založené na mnohonásobnej regresii používanej na odhad hodnôt Q_N zväčša na základe fyzickogeografických vlastností povodí. Ich všeobecný tvar je:

$$Q_N = b \cdot x_1^{a_1} \cdot x_2^{a_2} \dots x_n^{a_n} \quad \text{alebo} \quad (1)$$

$$Q_N = b + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n,$$

kde Q_N je N -ročný maximálny prietok, b a a_i sú regionálne koeficienty, x_i sú vybrané fyzickogeografické charakteristiky. Výber nezávislých premenných používaných vo vzorcoch tohto typu sa zväčša robí subjektívne.

Metódy regionálnej frekvenčnej analýzy maximálnych prietokov sú založené na predpoklade, že všetky povodia v rámci regionálnej jednotky majú identické čiary prekročenia, resp. opakovania, až na špecifický veľkostný faktor, takzvanú indexovú povodeň:

$$Q_i(F) = m_i q(F), \quad i = 1, \dots, M \quad \text{alebo} \quad (2)$$

$$Q_i(N) = m_i q(N), \quad i = 1, \dots, M$$

kde $Q_i(F)$ je čiara prekročenia, $Q_i(N)$ čiara opakovania maximálnych prietokov v stanici i , N je doba opakovania a F je pravdepodobnosť prekročenia, M počet staníc v homogénnej priestorovej jednotke, m_i označuje indexovú povodeň (zvyčajne priemerný maximálny prietok, prípadne medián radu ročných maximálnych prietokov), posledný člen v rovnici $q(N)$, resp. $q(F)$ je bezrozmerná regionálna čiara opakovania, resp. prekročenia, totožná pre všetky povodia v rámci regionálnej jednotky. Hydrologická homogenita, resp. heterogenita regionálnych jednotiek sa testuje z hľadiska podobnosti sumárnych štatistických parametrov týchto čiar. Ak vyčlenené regionálne jednotky spĺňajú podmienku vzájomnej heterogenity pri zachovaní určitej vnútornej homogenity, určia sa pre každú stanicu s existujúcimi pozorovaniami hodnoty vybraných štatistických parametrov. Váženým spriemerovaním (váhou je počet rokov pozorovaní v jednotlivých staniaciach) dostaneme ich regionálne hodnoty. Na základe týchto hodnôt sa potom určí bezrozmerná regionálna čiara prekročenia. Povodia bez hydrologických pozorovaní sú na základe fyzickogeografických charakteristík zaradené do zodpovedajúcich regionálnych jednotiek a na ich základe sa tiež vypočítava indexová povodeň. Regionálne bezrozmerné hodnoty požadovaných N -ročných prietokov po vynásobení indexovou povodňou podľa rovnice (2) tvoria hodnoty N -ročných prietokov v stanici.

V ďalšom texte na konkrétnych prípadoch ilustrujeme históriu a používanie uvedených regionalizačných

metód v regionálnej analýze maximálnych prietokov v podmienkach Slovenska.

Regionalizácia maximálnych storočných špecifických odtokov

Pri regionalizácii charakteristík povodní sa u nás tradične uplatňovali zásady, že vyčlenené regióny by mali mať podobnú vegetačnú pokrývku, využitie krajiny, topografické pomery a geologické charakteristiky, hydrologický režim a tiež režim maximálnych prietokov. Tento typ regionalizácie bol využitý na vyčlenenie rôzneho počtu geograficky súvislých regiónov v prácach Duba, Čermáka, Halasiho-Kuna, Dzubáka a iných (Kohnová, 1997), v publikácii Hydrologické pomery CSSR, používa ho aj Slovenský hydrometeorologický ústav. Výpočet návrhových prietokov vo vyčlenených regiónoch bol pritom založený na tzv. regionálnom vzorci v tvare:

$$q_{\max} = \frac{A}{(F + b)^n} \quad (3)$$

kde q_{\max} je maximálny špecifický odtok (obyčajne s dobou opakovania 100 rokov), F je plocha povodia a A , b , n sú regionálne parametre. Na vystihnutie lokálnych vlastností formujúcich tvorbu odtoku na povodí sa zaviedli do vzťahu opravy od referenčného povodia zohľadňujúce odlišnú lesnatosť, tvar povodia atď. Z výsledkov získaných v 261 povodiach s radmi pozorovaní dlhšími ako 15 rokov vyplynulo (Kohnová, 1997), že najznámejšie vzťahy odvodené Dubom reprezentujú vo viacerých regiónoch krivky, ktoré majú charakter obalovej čiary hodnôt maximálnych storočných špecifických odtokov $q_{\max 100}$ určených štatisticky z pozorovaní prietokov. Vyplynula z toho pomerne vysoká bezpečnostná rezerva pri výpočte návrhových prietokov v porovnaní s uvedeným štatisticky spracovaným údajom, najmä na malých povodiach. Táto rezerva je však rôzna pre každé povodie a bezpečnosť vzťahu a v jednotlivých prípadoch je ťažko kvantifikovateľná.

Za jednu z príčin tohto neželaného javu sa považovala rôznorodosť genézy regionalizovaných prietokových údajov, ktoré pri výbere maximálnych ročných prietokov pochádzajú z letnej a zimnej sezóny. Kohnová (1997) preto analyzovala maximálne storočné špecifické odtoky aj podľa sezón, regióny boli v zmysle uvedenej klasifikácie vytvorené vo viacerých alternatívach, pričom sa zohľadňovali hydrologické hranice, geomorfologické a hydrogeologické pomery. Podarilo sa tak čiastočne znížiť regionálnu bezpečnostnú rezervu vypočítaných návrhových prietokov na malých povodiach, no použité princípy regionalizácie neumožnili obísť používanie obalových čiar.

Tab. 1. Prehľad počtu regiónov, resp. regionálnych typov vo vybraných regionalizáciách (Q_{\max}) maximálnych prietokov na Slovensku

Regionalizácia (Q_{\max}), autor, rok publikovania	Počet regiónov
Dub (ročné Q_{\max}), 1940	4
Dub (ročné Q_{\max}), 1957	8
Halasi-Kun (ročné Q_{\max}), 1968	7
Regionalizácia (letné a zimné Q_{\max}) podľa geomorfológie, Kohnová, 1997	18
Regionalizácia (letné a zimné Q_{\max}) podľa povodí, Kohnová, 1997	28
Regionalizácia SHMÚ v návrhu OTN, 2003	58

Pod vedením Dzubáka sa Čunderlík (1997) pokúsil o detailnejšiu regionalizáciu flyšového pásma a vylúčenie princípu používania obalových čiar v regionálnom vzorci z údajov 56 vodomerných staníc. Proces regionalizácie bol založený na analýze činiteľov ovplyvňujúcich formovanie extrémneho odtoku, ako sú zrážkové pomery, priemerná sklonitosť povodí, prevládajúce geologické zloženie a pôdne typy. Ukázalo sa, že v hydrologii tradične predpokladaná homogénnosť flyšového pásma pri aplikácii uvedeného vzťahu neobstála a pásmo bolo rozdelené na sedem subregiónov podobného povodňového režimu. Snahy o zohľadnenie regionálnych zvláštností a odchýlok od akéhosi referenčného povodia v regióne, vylúčenie princípu obalovej čiary alebo o dosiahnutia pomerne malého a na ploche povodia nezávislého bezpečnostného faktora viedli k diverzifikácii regiónov a k zvyšovaniu ich počtu (tab. 1).

Bolo preto treba otestovať i iné prístupy, napr. regionálne regresné rovnice. V minulosti bežne používané nezávislé premenné charakterizujúce fyzickogeografické prostredie, ktoré sú aj relatívne jednoducho dostupné, ako plocha povodia, nadmorská výška povodia, charakteristiky sklonu, zrážkových pomerov a pod. boli rozšírené o ďalšie charakteristiky odvodené v prostredí GIS. Otvorila sa možnosť diferencovanejšie charakterizovať fyzickogeografické a klimatické podmienky tvorby odtoku. Pre oblasť Moravskosliezskych Beskýd odvodil pre výpočet maximálnych prietokov viacparametrický vzťah v minulosti Sochorec, pre jednotlivé povodia v oblasti flyšového pásma Slovenska vypracoval ucelenú metodiku Kupčo, pričom uvádzal vzorec na výpočet priemernej hodnoty q_{\max} a jeho koeficientu variácie a asymetrie. Szolgay a Kohnová vykonali podobnú analýzu pre snehové a zmiešané povodnie pre región jadrových povodí. Väčšinou sa však nepodarilo uspokojivo vysvetliť rozptyl závisle premennej v regió-

Tab. 2. Regionálna hodnota $L-Cv$ a počet povodí v regionálnych typoch vyčlenených rôznymi metódami

Metóda	Regionálny typ							
	I		II		III		IV	
	$L-Cv$	počet	$L-Cv$	počet	$L-Cv$	počet	$L-Cv$	počet
HZA – priemerná vzdialenosť	0,3304	68	0,2624	69	0,2503	12	0,2489	19
HZA – skupinový priemer	0,3609	13	0,3118	74	0,2561	50	0,2489	7
NHZA – K-priemer	0,3354	51	0,2937	54	0,2412	44	0,2464	6
LD-PNVP	0,3525	11	0,3108	87	0,2505	34	0,2252	6
LD-Z	0,3539	24	0,3003	82	0,2450	52	0,2252	6
LD-PNVP + Z	0,3579	12	0,3167	60	0,2903	35	0,2426	50

noch, ktorý sa často ukázal slabo závislý od dostupných fyzickogeografických charakteristík. Zdalo sa, že ani používanie regiónov nemusí vždy viesť k výsledku. Metodicky zostali otvorené problémy aj pri zdôvodnení výberu nezávislých premenných a štruktúry rovnice, a preto sa vývoj začal uberať smerom k metódam regionálnej typizácie.

Logická regionálna typizácia parametrov čiar prekročenia maximálnych ročných priemerných denných prietokov

Jednou z alternatív na elimináciu spomínaných nedostatkov je aplikácia metódy logickej regionálnej typizácie. Vyžaduje si dodržanie určitých logických pravidiel, napr. delenie by malo mať vyčerpávajúci charakter, t. j. každé povodie by malo byť zaradené do niektorej z tried, triedy by sa nemali vzájomne prekrývať, na každej úrovni delenia by sa mala aplikovať len jedna diferenciačná charakteristika. Rozhodujúce je stanovenie diferenciačnej charakteristiky z hľadiska cieľa delenia. Logické delenie, na rozdiel od numerických metód, explicitne predpokladá určité znalosti o priestorovej variabilite hydrologických charakteristík v závislosti od fyzickogeografických charakteristík povodí.

Spomedzi parametrov čiar prekročenia (rozptyl, šikmosť a špicatosť) vyjadrujúcich jej tvar rozdelenia priemerných maximálnych ročných prietokov má hodnota rozptylu ovplyvňujúca sklon čiar prekročenia väčší vplyv na odhad N -ročných prietokov než majú parametre šikmosti alebo špicatosti. Preto sa časť prác u nás sústreďuje na túto problematiku (napr. Solín, 2002). Analýza priestorovej variability hodnôt rozptylu charakterizovaných tzv. L -momentom $L-Cv$ maximálnych ročných priemerných denných prietokov z obdobia 1976 – 1995 v závislosti od fyzickogeografických charakteristík v rámci vybraného súboru 155 malých povodí ukázala, že z takmer 30 fyzickogeografických

atribútov má významný vplyv na priestorovú variabilitu hodnôt $L-Cv$ len priemerný ročný úhrn zrážok a priemerná nadmorská výška povodia. Na množine týchto dvoch fyzickogeografických charakteristík sa uskutočnilo vyčlenenie regionálnych jednotiek, a to:

- hierarchickou zhlukovou analýzou (HZA) s použitím algoritmov priemernej vzdialenosti a skupinových priemerov,
- nehierarchickou zhlukovou analýzou (NHC-K) pomocou algoritmu K-priemerov,
- logickým delením (LD) na základe diferenciačných hodnôt priemerneho ročného úhrnu zrážok (Z) a priemernej nadmorskej výšky povodia (PNVP) zvlášť,
- logickým delením (LD) na základe diferenciačných hodnôt priemerneho ročného úhrnu zrážok (Z) a priemernej nadmorskej výšky povodia (PNVP) súčasne.

Vo všetkých prístupoch sa vyčlenili štyri fyzickogeografické regionálne jednotky, ich vlastnosti sú uvedené v tab. 2. Vyčleniť takýto počet regionálnych jednotiek naznačovali jednak diferenciačné hodnoty fyzickogeografických charakteristík, ako aj požiadavka, aby v súvislosti s vedením vertikálneho rezu cez hierarchickú štruktúru dendrogramov nevzniklo príliš veľa zhlukov obsahujúcich malý počet jednotiek. Pomocou F testu sa potom testovala rozdielnosť regionálnych jednotiek (vonkajšia heterogenita) vzhľadom na regionálne hodnoty $L-Cv$. Zo získaných výsledkov vyplýva, že všetky štyri regionálne jednotky vykazujú štatisticky významné rozdiely vzhľadom na regionálne hodnoty $L-Cv$ len v prípade ich vyčlenenia metódou logického delenia na základe vzájomnej kombinácie diferenciačných hodnôt priemerneho ročného úhrnu zrážok a priemernej nadmorskej výšky povodia. Pri aplikácii ostatných prístupov neboli zistené významné rozdiely. Rozdelenie malých povodí SR do štyroch regionálnych typov vzhľadom na sklon bezrozsmernej regionálnej čiar prekročenia metódou logického delenia na základe vzájomnej kombinácie diferenciačných hodnôt prie-

Tab. 3. Regionálne typy vyčlenené na základe vzájomnej kombinácie diferenciálnych hodnôt priemerneho úhrnu zrážok a priemernej nadmorskej výšky povodia

Diferenciačné hodnoty	Regionálny typ			
	I	II	III	IV
Zrážky[mm]/ nadmorská výška povodia [m n. m.]	<950/ <350	<950/ 351-700	<950/ >700	>950/ >700

merneho ročného úhrnu zrážok a priemernej nadmorskej výšky povodia je v tab. 3. Výsledky podobných analýz umožňujú orientačne odhadnúť hodnoty parametrov čiary prekročenia v malých povodiach bez priamych pozorovaní odtoku.

Regionálna typizácia povodí pre účely regionálnej frekvenčnej analýzy maximálnych prietokov

Zoskupovanie povodí do regionálnych jednotiek metódami hierarchickej a nehierarchickej zhlukovej analýzy je v súčasnosti vo svete preferovaný postup riešenia. Pri jeho aplikácii sa však tiež musí prijať celý rad subjektívnych rozhodnutí v súvislosti s výberom povodí s existujúcimi hydrologickými pozorovaniami, s výberom ich fyzickogeografických atribútov, s definovaním miery podobnosti, s výberom zoskupovacieho algoritmu a tiež apriorným stanovením počtu vyčleňovaných tried. Tieto rozhodnutia majú významný vplyv na výsledné zoskupenie povodí do regionálnych typov. Výber fyzickogeografických atribútov vo vzťahu k priestorovej variabilite hydrologických charakteristik môže byť založený na logickej úvahe, výsledkoch matematickej alebo grafickej analýzy, alebo sa zoberú do úvahy len fyzickogeografické atribúty ľahko zisťiteľné z topografických alebo tematických máp.

Použitelnosť týchto metód sa skúma aj u nás. Čunderlík (1999) vychádzajúc z prác Hoskinga a Wallisa (1997) pri regionálnom odhade N -ročných maximálnych prietokov aplikoval metódu indexovej povodne. V rade ďalších štúdií (napr. Szolgay, Kohnová, 1999; Kohnová, Szolgay, 2000) sa použila zhluková analýza na regionálnu frekvenčnú analýzu ročných a sezónnych maximálnych prietokov. Ako typizačné premenné sa alternatívne volili fyzickogeografické charakteristicky povodí, štatistické parametre čiar prekročenia maximálnych prietokov, ako aj charakteristiky sezónnosti výskytu maximálnych prietokov.

V tomto príspevku prezentujeme opísaný metodický postup a vybrané výsledky regionálnej typizácie sezónnych maximálnych prietokov. Ako typizačné premenné sa použilo 20 fyzickogeografických charakte-

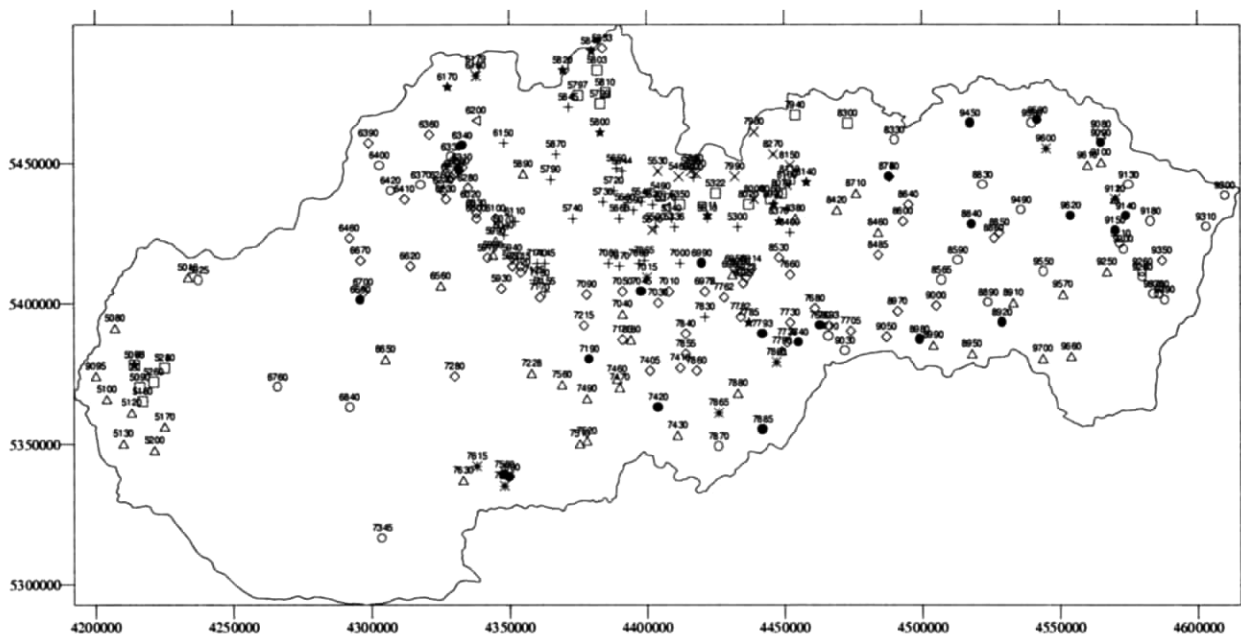
ristík povodí, testovalo sa vyše 70 kombinácií. Ako metóda zhlukovej analýzy sa aplikovala metóda K-priemerov s použitím euklidovskej metriky. Pri zhlukovaní bola snaha dodržať podmienku nezávislosti vstupných premenných. Do zhlukovania sa v každom kole v každej skupine brali do úvahy max. 4 premenné, počet staníc tvoriacich regionálne typy sa usmerňoval v intervale 20 – 30, aby bol postačujúci na nasledujúce regionálne regresné analýzy pre indexovú povodeň. S tým zviazaný počet regionálnych typov sa pohyboval v rozmedzí 9 – 12. Získané kombinácie premenných pre vytvorenie regionálnych typov charakterizujúcich tvorbu maximálnych letných prietokov boli napr.:

- plocha povodia, tvar povodia, infiltračný index pôd, priemerný sklon povodia a maximálny denný úhrn zrážok v povodí s dobou opakovania 100 rokov,
- tvar povodia, infiltračný index pôd, doba koncentrácie na povodí a maximálny denný úhrn zrážok v povodí s dobou opakovania 100 rokov,
- plocha povodia, tvar povodia, infiltračný index pôd a maximálny denný úhrn zrážok v povodí s dobou opakovania 100 rokov,
- priemerný sklon povodia, priemerná orientácia svahov v povodí, dĺžka hlavného toku a maximálny denný úhrn zrážok v povodí.

Vyčlenené regionálne jednotky boli testované vzhľadom na vnútornú hydrologickú homogenitu a vonkajšiu hydrologickú heterogenitu, pričom testom podľa Hoskinga a Wallisa (1997) vyhoveli viaceré kombinácie premenných. Na obr. 1 je znázornené rozdelenie analyzovaných povodí do regionálnych typov podľa zhlukovacích premenných, priemerného sklonu povodia, priemernej orientácie svahov v povodí, dĺžky hlavného toku a maximálneho denného úhrnu zrážok v povodí.

V každom vyčlenenom regionálnom type bola identifikovaná najvhodnejšia normovaná regionálna čiara prekročenia, výber sa urobil na základe L -momentového diagramu a overil Hoskingovým testom dobrej zhody. Ako vhodné sa javia nasledujúce typy čiar: teoretické rozdelenie pravdepodobnosti GEV (generalizované extrémálne rozdelenie), LN3 (trojparametrické logaritmicke-normálne rozdelenie) a P3 (Pearson3), pričom opäť z podstaty metódy a testovania vyplýva (a posteriori výber typu čiar a nevylučovací test), že ani v tomto prípade nie je možné vybrať iba jeden typ, čo má potom praktické dôsledky v rozdielnosti finálnych hodnôt N -ročných prietokov podľa jednotlivých typov. Z takto vytvorených regionálnych typov v rámci Slovenska sa ďalej zameriame na jeden. Odhad indexovej povodne (v danom prípade zvolenej ako priemernej hodnota maximálnych letných kulmináčnych prietokov) sa robil pomocou viacnásobnej regresie:

$$Q_L = e^{-8,210} \cdot F^{0,63} \cdot HPR^{0,99} \cdot LES^{-0,286} \quad (4)$$



1. Rozdelenie analyzovaných povodí do regionálnych typov podľa zhlukovania premenných (priemerného sklonu povodia, priemernej orientácie svahov povodia, dĺžky hlavného toku a maximálneho denného úhrnu zrážok v povodí). Symboly pri číslach povodí reprezentujú jednotlivé regionálne typy.

kde, F je plocha povodia, LES je lesnatosť povodia a HPR je priemerná nadmorská výška povodia.

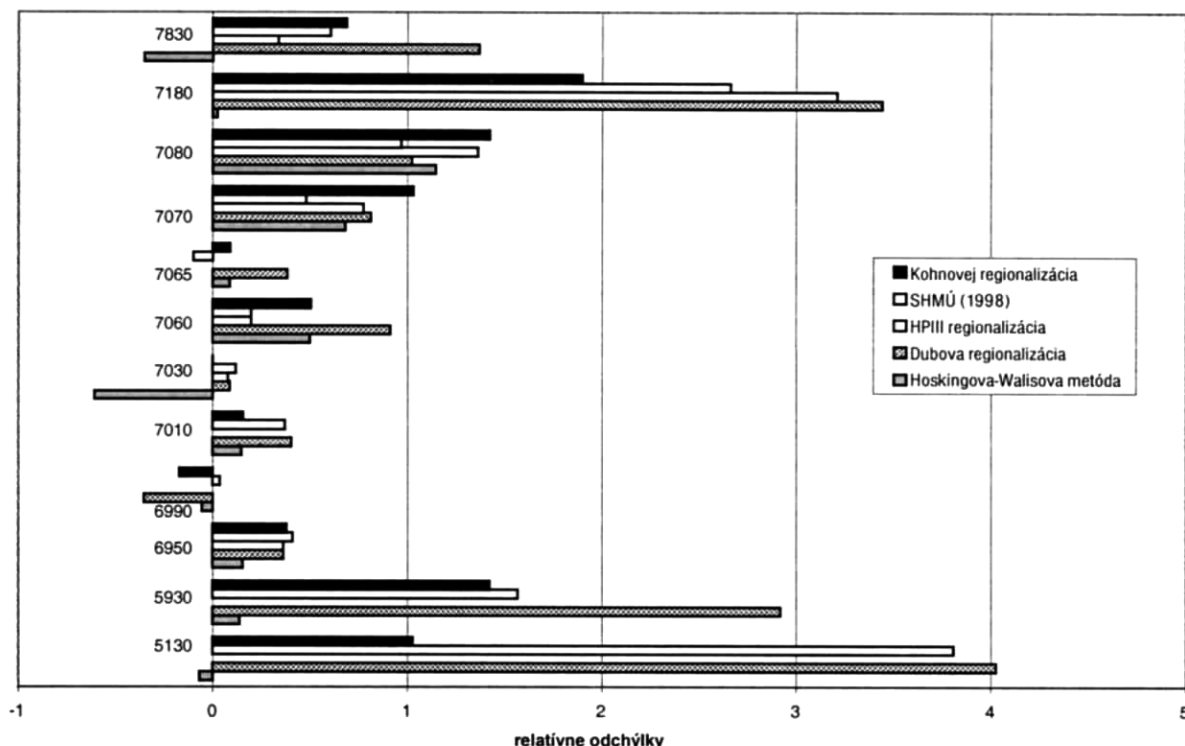
Pri jeho odvodení sa dodržala podmienka minimalizovať vzájomnú závislosť medzi nezávislými premennými a použiť premenné, ktoré neslúžili na vytváranie regionálneho typu (keďže ich rozptyl vo vnútri daného typu by mal byť minimálny).

Na obr. 2 sú porovnané relatívne odchýlky odhadov hodnôt Q_{100} určených podľa štyroch starších regionalizácií (Dubá, Kohnovej, HP III a SHMÚ) a opísanej Hoskingovej-Wallisovej metódy od štatisticky určených hodnôt vo vybranom regionálnom type. Pri starších metódach je zreteľný obalový charakter rovníc na výpočet maximálneho storočného špecifického odtoku, pričom prevládajúce jednostranné nadhodnotenie a jeho miera je v pri každej metóde a v každej stanici iná. Pri regionálnej typizácii dochádza ako k nadhodnoteniu, tak aj k podhodnoteniu návrhových prietokov oproti ich skutočným (štatistickým) hodnotám. Konečný výber vzťahu na výpočet indexovej povodne a výber typu regionálnej čiary prekročenia môže byť založený práve na minimalizácii hodnôt relatívnych odchýlok v porovnaní so štatisticky určenými hodnotami. Avšak použiť túto metódu pri určovaní návrhových prietokov pre významné vodohospodárske stavby možno odporučiť len v prípade, ak je

rozptyl hodnôt v porovnaní s ich štatistickým odhadom pomerne malý.

* * *

Regionálne metódy, napriek určitým výhradám voči ich spoľahlivosti, sú najpoužívanejším nástrojom odhadu hydrologických charakteristík pre povodia bez hydrologických pozorovaní. Z uvedeného stručného prehľadu vidno, že regionálne členenie Slovenska a na ňom založené odhady hydrologických charakteristík maximálnych prietokov boli a sú aktuálnym problémom hydrogeografického a hydrologického výskumu u nás. Zavádzané metódy nie sú len lokalizáciou vo svete prijatých postupov, ale znamenajú aj metodický prínos zohľadňujúci zložité fyzickogeografické podmienky tvorby maximálneho odtoku u nás. Aj z uvedeného prehľadu je zrejme, že k regionálnemu členeniu krajiny by sa v budúcnosti nemalo pristupovať len čisto mechanickou aplikáciou regionálno-typizačných metód (najmä numerických). Ako sme ukázali, aj keď vyvolávajú zdanie objektívnosti, musíme prijať rad subjektívnych rozhodnutí, ktoré spôsobujú rozdielne výstupy z tej istej množiny vstupných údajov. Tiež bude dôležité striktno odlišiť identifikovanie regionálnych typov v rámci vybraného súboru s hydrologickými pozorovaniami od procesu klasifikácie ostatných povodí



2. Porovnanie relatívnych odchýlok odhadov Q_{100} podľa štatistickej a regionálnej analýzy pre povodia vo vybranom homogénnom regionálnom type

bez hydrologického pozorovania do identifikovaných regionálnych jednotiek. V overovaní správnosti zaradovania povodí bude ešte treba vykonať rad prác, ktoré budú o to zložitejšie, že máme málo nezávislých údajov na ich verifikovanie. Spoľahlivosť a presnosť odhadov regionálnymi metódami sa však dá určite ešte zvýšiť, aj keď základné zdroje neistôt sa odstrániť nedajú.

Výsledky výskumu vznikli v rámci riešenia grantových projektov VEGA GP 2/2016/22 a 2/3085/23.

Literatúra

- Čunderlík, J.: Regionalizácia povodí flyšového pásma na základe 100-ročných špecifických odtokov. *Geograf. Čas.*, 49, 1997, 3-4, s. 205 – 221.
- Čunderlík, J.: Regionálny odhad N -ročných prietokov vo vybraných povodiach Slovenska. Doktorská dizertačná práca. SvF STU Bratislava, 1999, 144 s.
- Hosking, J. R. M., Wallis, J. R.: *Regional Frequency Analysis. An Approach Based on L-moments.* Cambridge University Press, Cambridge, 1997.
- Kohnová, S.: Regionálna analýza maximálnych špecifických odtokov na malých povodiach Slovenska. Dizertačná práca. SvF STU Bratislava, 1997, 159 s.

Kohnová, S., Szolgay, J.: Regional Estimation of Design Flood Discharges for River Restoration in Mountainous Basins of Northern Slovakia. In: Marsalek et al. (eds.): *Flood Issues in Contemporary Water Management.* Kluwer Academic Publishers, 2000, p. 41 – 47.

Solín, L.: Identification of Physical Regional Types for Regional Flood Frequency Analysis. In: Sperafico, M. et al. (eds.): *International Conference on Flood Estimation.* BWG, GIUB, CHR, Bern, 2002, p. 687 – 697.

Szolgay, J., Kohnová, S.: Vergleich der Methoden fuer die Abschätzung von Bemessungsabflüssen in kleinen und mittleren Flussgebieten der Slowakei. In: Koehler, G.: *Bemessungsabflüsse fuer kleine Einzugsgebiete.* Berichte No 9. Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft TU Kaiserslautern, 1999, p. 93 – 105.

Doc. Ing. Silvia Kohnová, PhD., Katedra vodného hospodárstva krajiny Stavebnej fakulty STU, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, kohnova@svf.stuba.sk
RNDr. Lubomír Solín, PhD., Geografický ústav SAV, Štefánikova 49, 814 73 Bratislava, solin@savba.sk
Prof. Ing. Ján Szolgay, PhD., Katedra vodného hospodárstva krajiny Stavebnej fakulty STU, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, szolgay@svf.stuba.sk