STANOVENIE N - ROČNÝCH MAXIMÁLNYCH PRIETOKOV NA TOKOCH SLOVENSKA

Jana Podolinská, Helena Šipikalová, Peter Škoda, Lotta Blaškovičová, Beata Demeterová

V rámci nového spracovania hydrologických charakteristík sa aktualizujú aj N - ročné maximálne prietoky. Tieto hodnoty slúžia ako podklad na návrh, výstavbu a prevádzku vodohospodárskych objektov a zariadení, na úpravu tokov, protipovodňovú ochranu, na ochranu a tvorbu životného prostredia a preto sú veľmi dôležité. Pred týmto výpočtom bola urobená veľmi dôležitá a náročná analýza a úprava maximálnych ročných prietokov v každej vodomernej stanici. Matematicko-štatistickými metódami boli vypočítané hodnoty N - ročných maximálnych prietokov vo vodomerných staniciach s obdobím vyčísľovania prietokov aspoň 20 rokov (340 staníc. Pre určovanie N-ročných maximálnych prietokov v profiloch mimo vodomerných staníc bude využitá regionalizácia. Boli vyčlenené homogénne regionálne typy zhlukovou analýzou a podľa reziduálnych odchýliek regresného vzťahu $q_{100.max}$ od fyzicko-geografických a klimatických charakteristík povodia na územie celého Slovenska.

Kľúčové slová: protipovodňová ochrana, N-ročné maximálne prietoky, regionalizácia

T-year maximum discharges in Slovakia's water courses. *New re-evaluation of hydrological characteristics includes also T –year maximum discharges. These important characteristisc are base for design, building and operation of hydroeconomic buildings, flood protection and environment creation and protection. Firstly very important and demanding analysis of maximum discharges in each water gauging station was done. By mathematical-statistical calculations N-year maximum discharges were calculated in water gauging stations with observation at least 20 years (340 stations). Regionalization approach will be use for profiles without gauging stations. Homogeneous regional types were set off by join analysis and according residual deviations of regression relation $q_{100.max}$ from physical and climatic catchments characteristics for the Slovakia´s territory.*

Key words: flood protection, T-year maximum discharges, regionalization

---

Podľa STN 750110:2002 N-ročný maximálny prietok je kulminačný prietok, ktorý sa v danom profile dosiahne alebo prekročí priemerne raz za N-rokov. SHMÚ poskytuje tieto údaje v zmysle OTN ŽP 3112-1:03 Kvantifikácia povodňového režimu, pričom používa databázu N-ročných prietokov a regionálne vzťahy odvodené v rámci úloh Opakovanie maximálnych prietokov na slovenských tokoch (1977) a Prehodnotenie N-ročných prietokov v povodí Moravy a Váhu (1987). Pri ich stanovení boli aplikované viaceré funkcie pravdepodobnosti prekročenia a spôsoby určenia parametrov východiskových radov maximálnych ročných kulminačných prietokov. Vypočítané hodnoty tvorili základ pre určenie závislosti

$q_{max.100} = B.(A+1)^{-n}$, resp. $q_{max.100} = B.A^{n}$,
kde B a n sú regionálne parametre, A plocha povodia

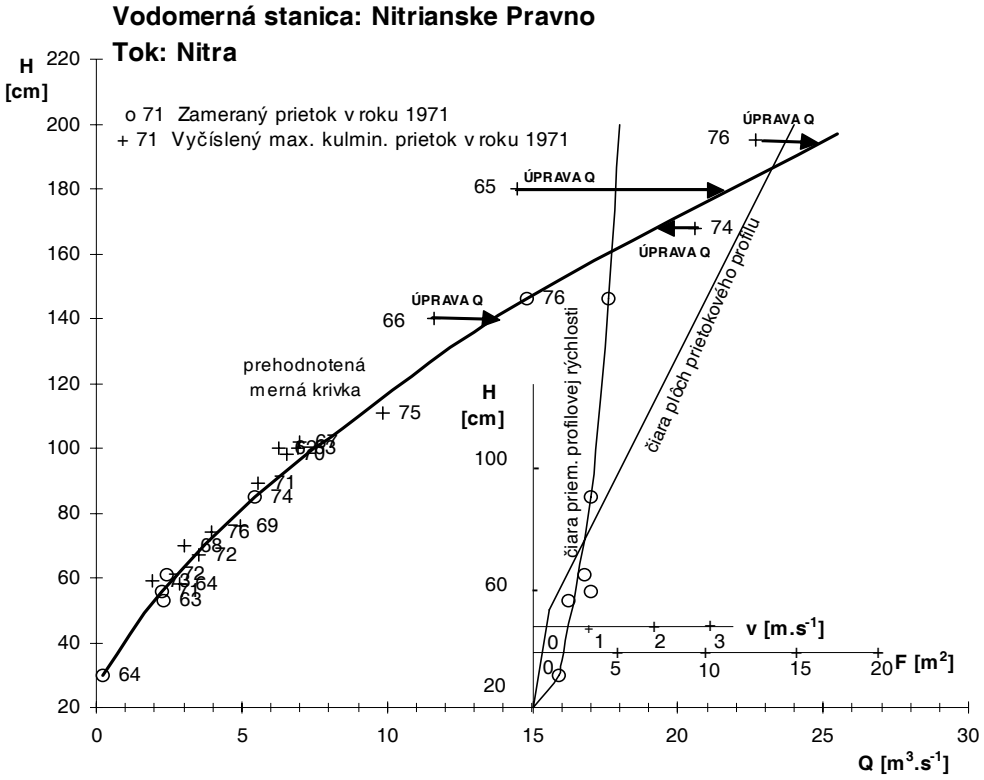
Na území Slovenska bolo takto vymedzených 65 oblastí.
Značný vývoj poznatkov v oblasti určovania návrhových prietokov v posledných desaťročiach (nové typy rozdelení, nové princípy regionalizácie, GIS atď.), ako aj výskyt významných povodní v posledných rokoch a v neposlednom rade aj predĺženie radov a väčší počet vodomerných staníc s dostatočnou dĺžkou pozorovania, viedlo k aktualizácii N-ročných maximálnych prietokov.

1. VSTUPNÉ ÚDAJE

Pri aktualizácii boli ako východiskové údaje použité súbory najväčších ročných kulminačných prietokov (po jednom z každého hydrologického roku) vo vodomerných staniciach s pozorovaním minimálne 20 rokov, pokiaľ možno z neprerušeného obdobia pozorovania, v podstate neovplyvnených antropogénnou činnosťou (výstavbou priehrady, prevodom vody, rozsiahlymi úpravami toku a pod.).

Spoľahlivosť stanovených N-ročných maximálnych prietokov je priamo závislá na rozsahu a kvalite použitého súboru východiskových údajov, ktoré sa odvodzujú z kulminačného vodného stavu cez platnú mernú krivku prietokov alebo priamym meraním. Vzhľadom k veľkému počtu vodomerných staníc ako aj k pomerne rýchlemu postupu povodňových situácií najmä na menších a malých tokoch (povodňové situácie trvajúce iba niekoľko hodín) často nie je možné zamerať kulminačné, alebo im blízke povodňové prietoky a merné krivky prietokov je potrebné extrapolovať. Z toho dôvodu sme vo všetkých vodomerných staniciach vykonali spätnú previerku údajov.
Postup tejto previerky kulminačných prietokov je založený na spätnej rekonštrukcii pôvodných merných kriviek a na ich základe na opätovnom vyčíslení nových (upravených) hodnôt kulminačných prietokov. Pri rekonštrukcii sa využívajú neskôr namerané väčšie prietoky (získané vďaka dlhšiemu obdobiu pozorovania), avšak takýto postup je možný iba za predpokladu výraznej nemennosti odtokových pomerov profilu.

Postup znázorňuje obrázok 1:



Obr. 1 Analýza a úprava maximálnych prietokov

Fig. 1 Analysis and adjustment of maximum discharges

2. STANOVENIE N-ROČNÝCH MAXIMÁLNYCH PRIETOKOV VO VODOMERNÝCH STANICIACH

Po analýze boli pre 340 vodomerných staníc (obr. 2) vykonané výpočty.



Obr. 2 Mapa vodomerných staníc

Fig. 2 Map of water-gauging stations

Pri výpočte N-ročných maximálnych prietokov vo vodomerných staniciach boli použité matematicko-štatistické metódy. K výpočtu sa využil komerčný softvér HQ-EX v 2.03. HQ-EX je softvér pre štatistickú pravdepodobnostnú analýzu dát ročných kulminačných prietokov, vyvinutý WASY, Gmb. SRN, 1997 a je založený na metodike podľa DVWK- Regeln 101 (1999).

Pre odhad parametrov HQ-EX ponúka nasledovné metódy:
- metóda momentov (MM)
- metóda maximálnej vierohodnosti (MLM)
- metóda pravdepodobnosťou vážených momentov (WGM).

Typy teoretických rozdelení s voľbou metódy odhadu parametrov:
- extremálne typ1 (Gumbel) E1 - odhad parametrov alternatívne (MM, MLM, WGM)
- generalizované extremálne GEV - odhad parametrov alternatívne (MM, MLM, WGM)
- Rossi rozdelenie ME - odhad parametrov MLM
- 3-param. Log. Normálne LN3 - odhad parametrov alternatívne (MM, MLM, WGM)
- Pearson3 P3 - odhad parametrov alternatívne (MM, MLM, WGM)
- log. Pearson 3 typu LP3 - odhad parametrov alternatívne (MM, MLM)
- 3-param. Weibulovo WB3 - odhad parametrov alternatívne (MM, MLM, WGM).

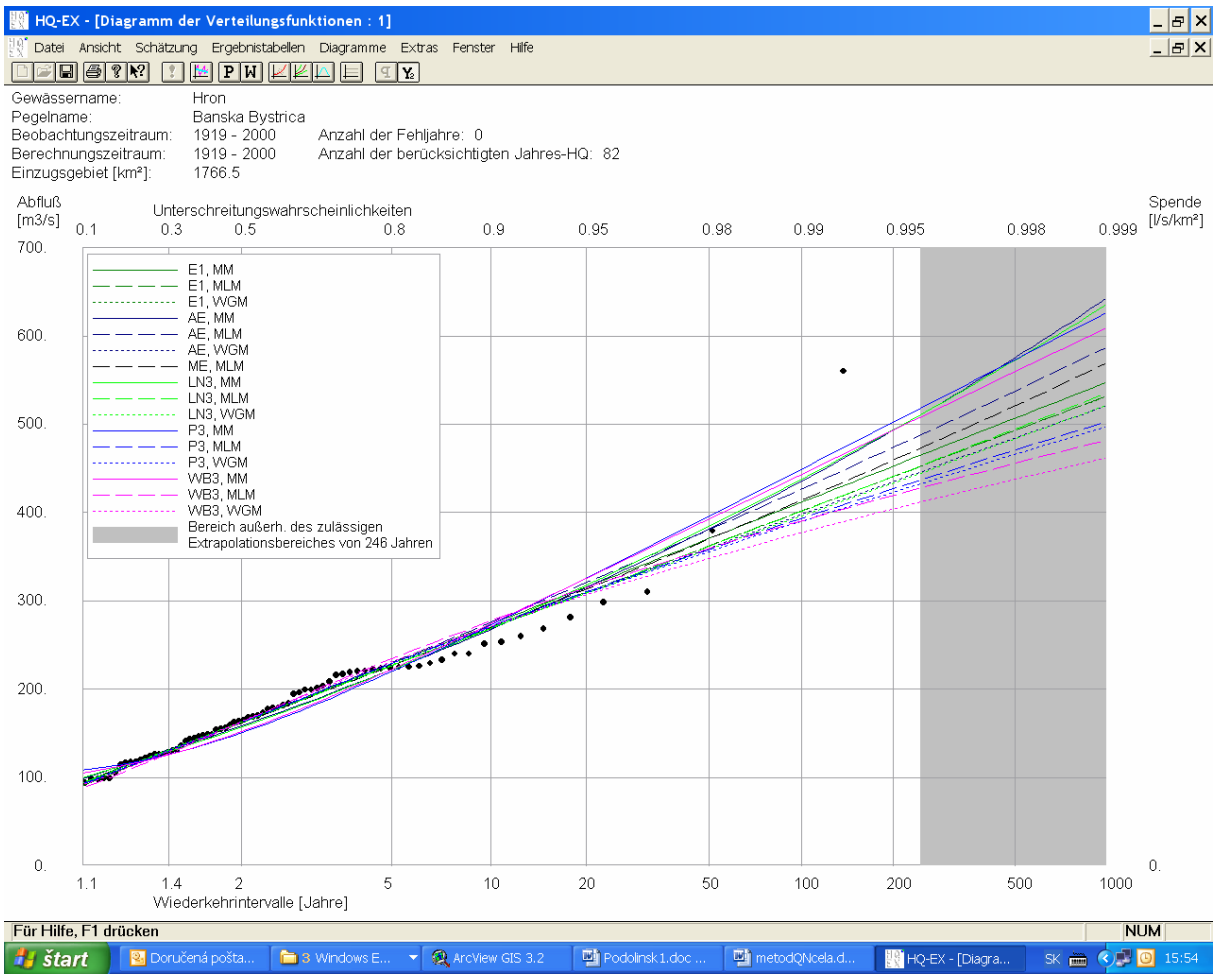
Z uvedených teoretických rozdelení pravdepodobnosti, boli programom HQ-EX vybraté 3 najvhodnejšie typy rozdelenia podľa kritéria:

$$D + n\varpi^2 + \left(1 - r_p\right),$$

kde
- D je hodnota maximálnych pravdepodobnostných rozdielov medzi empirickým rozdelením a vybraným teoretickým rozdelením (Kolmogorov test)
- hodnota ($n\varpi^2$) je odvodená zo sumy kvadratických odchýliek medzi empirickým rozdelením a vybraným teoretickým rozdelením
- r_p je korelačný koeficient medzi zoradenými hodnotami prietoku a im zodpovedajúcimi kvantilmi rozdelenia.

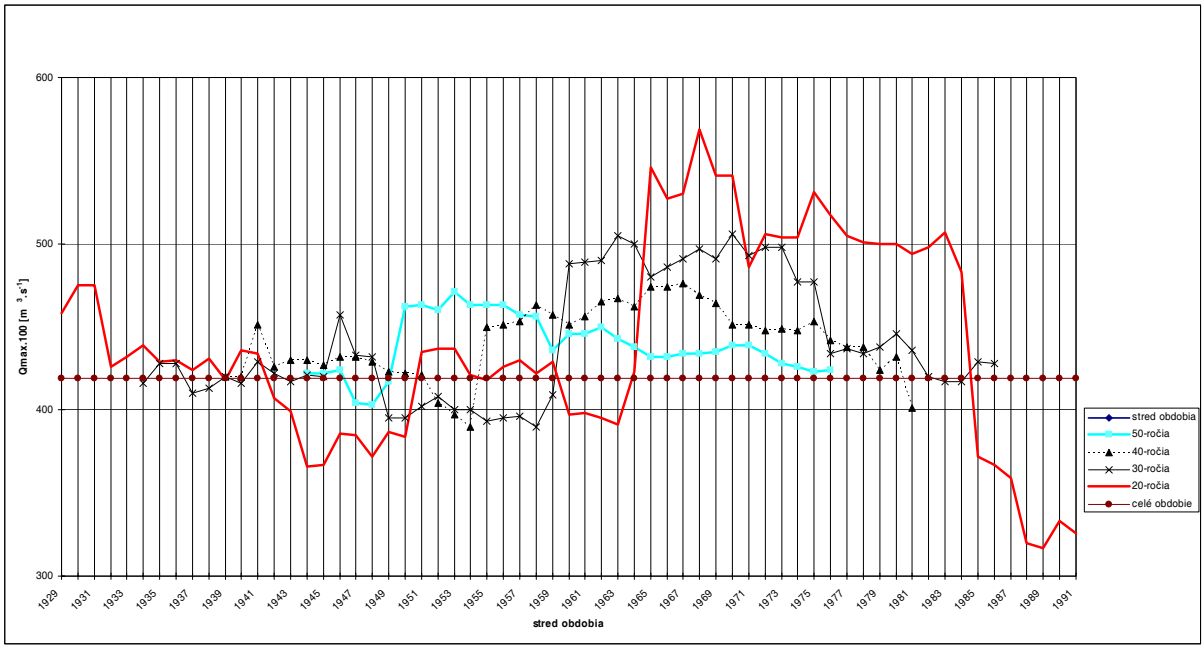
Za najvhodnejšie sa javia rozdelenia, pri ktorých je súčet týchto troch hodnôt najmenší.

Extrapolácia sa pripúšťa až po trojnásobok dĺžky pozorovania (vyznačená oblasť na obr. 3). Programom boli vypočítané hodnoty Q_2, Q_{10}, Q_{20}, Q_{50}, Q_{100}, Q_{200}, Q_{500} a Q_{1000}.
Ukážka výstupu HQ-EX je na obr. 3.



Obr. 3 Výstup pre všetky ponúkané teoretické rozdelenia a odhady parametrov podľa HQ-EX vo vodomernej stanici Banská Bystrica – Hron
Fig. 3 Output for all theoretical distributions and parameters according HQ-EX in the gauging station Banská Bystrica – Hron

Keďže sme sa stretli s prípadmi, že na jednom toku stanice s dostatočne dlhým (nad 25 rokov), avšak rozdielnym pozorovacím obdobím mali podstatne odlišné vypočítané hodnoty, začali sme zisťovať vplyv výberu obdobia na hodnotu vypočítaných prietokov.
Vzhľadom na to, že na vypočítané hodnoty má vplyv nielen dĺžka pozorovacieho radu, ale aj to, ktorá časová realizácia je použitá, resp. je k dispozícii, boli vo vybraných 20-tich vodomerných staniciach s dlhodobým pozorovaním vypočítané hodnoty N-ročných maximálnych prietokov pre 20, 30, 40 a 50-ročia kĺzaním po 1 roku, teoretickým rozdelením log-normal. Na ukážke z vodomernej stanice Hron – Banská Bystrica na obr. 4. je veľmi názorne je vidno, že ak do súboru z ktorého sa výpočet hodnôt vykonáva kĺzaním vstupuje extrémne vysoký kulminačný prietok v októbri 1974, vypočítané hodnoty stúpnu a naopak, ak vypadne, hodnoty sa výrazne znížia. Tiež je zaujímavé 20-ročie 1979-1998, za ktoré boli vypočítané najnižšie hodnoty za celé obdobie 1919-2000, čiže v tomto období mali mnohé ročné kulminácie pomerne nízke hodnoty. Zároveň vidíme, že s dĺžkou radu sa rozptyl hodnôt znižuje, ale aj pri 50-ročných radoch sa hodnota $Q_{max.100}$ pohybuje v rozpätí 403-491 $m^3.s^{-1}$.



Obr. 4 Porovnanie $Q_{max.100}$ podľa dĺžky spracovaného obdobia za jednotlivé 20, 30, 40 a 50-ročia vo vodomernej stanici Banská Bystrica - Hron za obdobie 1919-2000

Obr. 4 Comparison $Q_{max.100}$ according the period length for individual 20, 30, 40 and 50-years periods in the gauging station Banská Bystrica – Hron for 1919-2000

3. STANOVENIE N-ROČNÝCH MAXIMÁLNYCH PRIETOKOV MIMO VODOMERNÝCH STANÍC

Hodnoty N-ročných maximálnych prietokov v profiloch mimo vodomerných staníc sa určujú veľmi zriedka metódou interpolácie a extrapolácie, najčastejšie sa využíva regionalizácia.
Homogénne regionálne typy sme vyčlenili dvojakým spôsobom:

1. zhlukovou analýzou

2. podľa reziduálnych odchýliek regresného vzťahu $q_{100.max}$ od fyzicko-geografických a klimatických charakteristík povodia na územie celého Slovenska

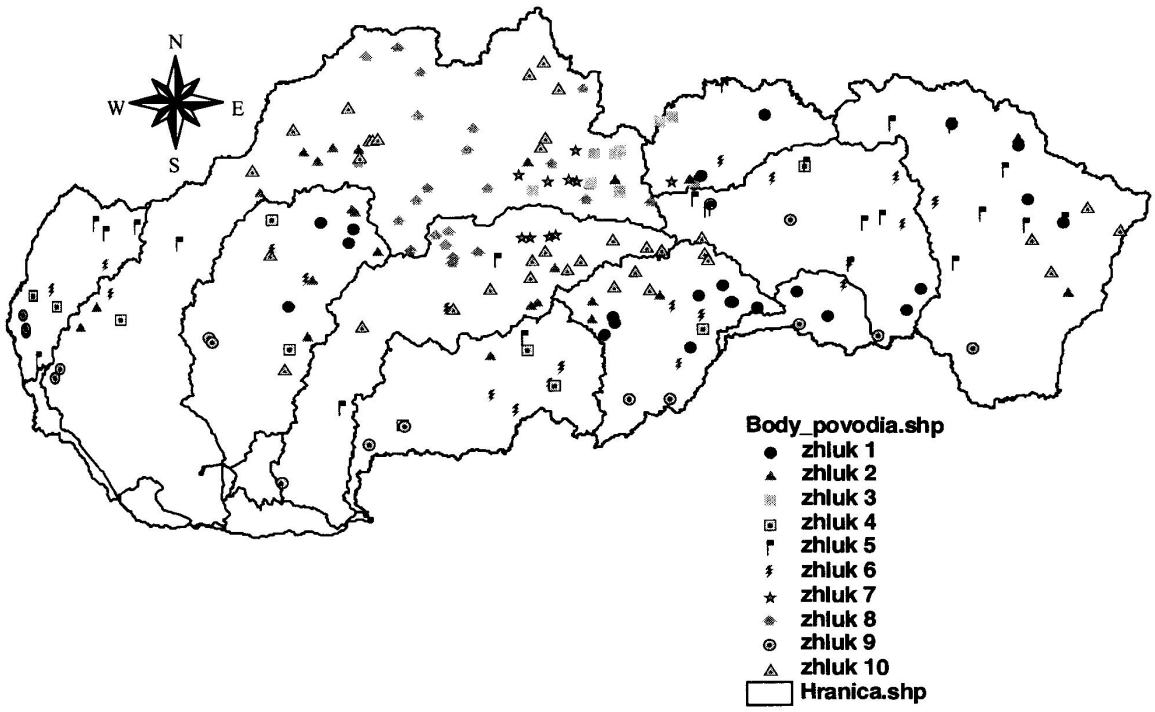
Obidva vychádzajú z rovnakého súboru 198 vodomerných staníc s podstatne neovplyvneným režimom odtoku, dĺžkou radu minimálne 25 rokov (výnimočne kratšími v oblastiach, kde nie je k dispozícii dostatočná sieť vodomerných staníc) a plochou povodia 20 až 300 km^2 (výnimočne väčšou).
Pre všetky stanice boli stanovené fyzicko-geografické a klimatické charakteristiky. Vhodnosť bola testovaná ich vzájomnou mierou korelácie použitím Pearsonovej korelačnej matice a ako premenné boli vybraté štyri charakteristiky:

A - plocha povodia [km^2],
F - lesnatosť [%],
P_3180 - dlhodobý priemerný ročný úhrn zrážok na povodie za obdobie 1931-1980,
HG_{char} - index hydrogeologického charakteru povodia.
Index HG_{char} je založený na priepustnosti (transmisivite) hornín a v podmienkach Slovenska má štyri kategórie – nízka (*n*), stredná (*s*), vysoká (*v*), veľmi vysoká (*vv*). Pre všetky vybrané povodia bolo určené percentuálne zastúpenie plochy jednotlivých kategórií a index bol vypočítaný podľa vzorca

$$HG_{char} = 1*n + 2*s + 3*v + 4*vv$$

3.1. Vyčlenenie homogénnych regionálnych typov zhlukovou analýzou

Použitá bola metóda K-means. Predpokladali sme, že zhluky povodí by sa mali skladať z povodí, ktorých vzájomné vzdialenosti sú malé v porovnaní so vzdialenosťami medzi jednotlivými zhlukmi. Z toho dôvodu bolo najdôležitejším krokom zadefinovanie tzv. miery metriky. Najčastejšie používanou mierou metriky v zhlukovej analýze je Euklidova, ktorú sme aplikovali v našej práci.
Regionálna homogenita bola overovaná testami regionálnej heterogenity (Hosking, Wallis 1997).
Pre tie isté fyzicko-geografické parametre (plocha povodia, hydrogeologický index, zrážka na povodie a lesnatosť) bolo vyhraničených 10 homogénnych regionálnych typov (obr. 5). Tieto práce boli vykonávané v spolupráci s STU.



Obr. 5 Mapa vytvorených 10 homogénnych regionálnych typov na základe zhlukovej analýzy

Fig. 5 Map of 10 homogeneous regional types according join analysis

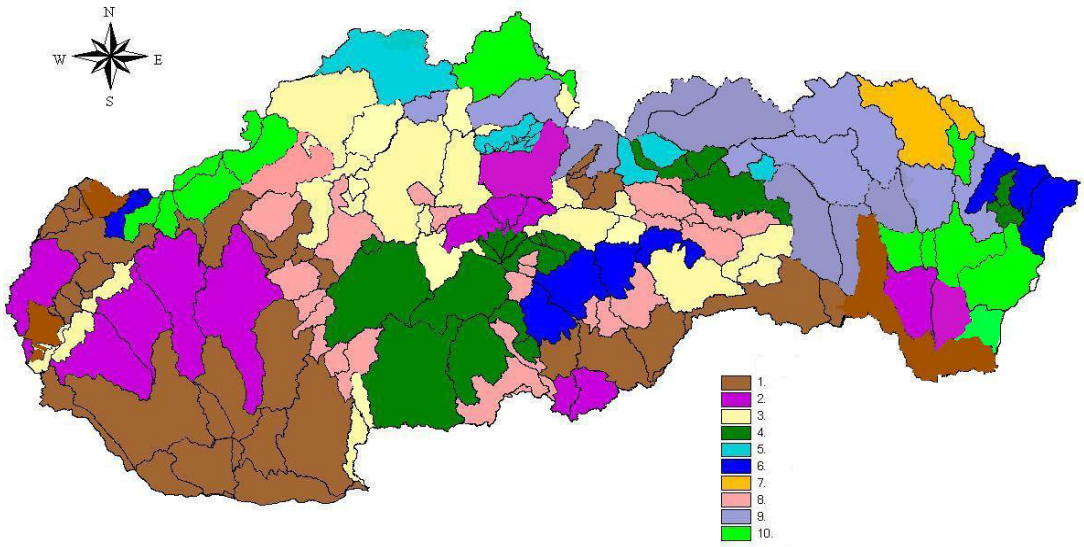
3.2 Vyčlenenie homogénnych regionálnych typov podľa reziduálnych odchýlok regresného vzťahu q100.max od fyzicko-geografických a klimatických charakteristík povodia

Stanovené boli viaceré regresné rovnice, pričom najlepší korelačný vzťah mala rovnica:

$$q_{100.max} = b1 * P_3180^{b2} * (log(A))^{b3} * F^{b4} * HG^{b5},$$

kde $q_{100.max}$ boli stanovené podľa metodiky DVWK –Regeln 101 (1999).

Zoskupením vodomerných staníc s podobnými hodnotami reziduálnych odchýlok, zohľadňujúc do určitej miery fyzicko-geografické charakteristiky, pričom stanice sme nechápali ako bod ale ako celú plochu povodia, bolo vyčlenených 10 regionálnych typov tvorby maximálneho odtoku (obr. 6). Tento spôsob, zahrňujúci do určitej miery aj expertný prístup, umožňuje jednoznačné zaradenie každého podrobného povodia do regionálneho typu, čo je potrebné pre poskytovanie údajov pre akékoľvek povodie.



Obr. 6 Mapa homogénnych regionálnych typov vyčlenených podľa reziduálnych odchýlok regresného vzťahu $q_{100.max}$ od fyzicko-geografických a klimatických charakteristík povodia

Fig. 6 Map of homogeneous regional types according residual deviations of regression relation $q_{100.max}$ from physical and climatic catchments characteristics

3.3 Stanovenie regionálnych vzťahov

Pre každý homogénny regionálny typ stanovený zhlukovou analýzou boli odvodené regionálne regresné vzťahy pre odhad indexovej povodne (priemernej hodnoty maximálnych prietokov). Bolo vybraných viacero kombinácií parametrov, najčastejšie sa vyskytovali: index pôd, doba koncentrácie odtoku podľa Kirpicha, dĺžka toku, sklon povodia a lesnatosť.
Pre každý homogénny regionálny typ vyčlenený podľa reziduálnych odchýlok regresného vzťahu $q_{100.max}$ od fyzicko-geografických a klimatických charakteristík povodia bola odvodená regresná rovnica s rovnakými nezávisle premennými veličinami.
Predbežné porovnanie výsledkov ukazuje, že výsledky obidvoch regionalizácií sú porovnateľné. Po analýzach budú použité pre stanovenie návrhových maximálnych prietokov v oblastiach bez priamych pozorovaní na území Slovenska.

4. HODNOTENIE STANOVENÝCH ÚDAJOV V SYSTÉME POVODIA

Po stanovení N-ročných maximálnych prietokov vyššie uvedenými metódami bola získaná databáza hodnôt pre vodomerné stanice a dôležité profily mimo vodomerných staníc. Po tomto bude nasledovať najnáročnejšia fáza, ktorou je hodnotenie údajov v systéme povodia.
Bude treba zohľadniť princíp skladby maximálnych prietokov - $Q_{max.100}$ hlavného toku pod prítokom je menší ako súčet $Q_{max.100}$ hlavného toku nad prítokom a $Q_{max.100}$ prítoku. Vývoj $q_{max.100}$ po toku má v zásade klesajúci trend a preto čiary regionálnych vzťahov v smere zväčšovania plochy povodia majú klesajúcu tendenciu.

Niektoré získané výsledky nevyhovujú týmto kritériám. Potrebné budú ďalšie analýzy, hodnotenia (napr. dĺžka radu) a znalosť odtokových pomerov príslušného povodia, ako aj viacročné skúsenosti spracovateľa.

5. ZÁVER

Vývoj poznatkov v oblasti určovania návrhových prietokov vo svete v posledných rokoch bol značný. Jeden zo smerov rozvoja je založený na aplikácii a testovaní novších štatistických metód, ďalší na zavádzaní princípov regionalizácie a objektívnych metód výberu regiónov a tretím je využitie zrážko-odtokových modelov. Pri stanovení návrhových prietokov na území Slovenska využívame hlavne prvé dva smery. Vo vybraných problematických profiloch plánujeme využiť aj modelový prístup.
Výslednú návrhovú veličinu zvolíme z výsledkov celého spektra postupov, ktoré považujeme za rovnocenné za predpokladu, že boli dodržané podmienky ich správneho používania. Metódy riešenia sme volili tak, aby bola zachovaná konzistencia a kontinuita s doterajším spôsobom určovania N-ročných maximálnych prietokov.

Literatúra:

Adámyová, S. a kol. (1987): Prehodnotenie N-ročných prietokov v povodí Moravy a Váhu. Záverečná správa úlohy. Interná publikácia SHMÚ Bratislava.

DVWK Regeln 101/1999 (1999): Bemessungshochwassers. Empfehlung zur berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeit. Verlag Paul Parey, Hamburg.

Hlubocký, B. a kol. (1977): Opakovanie maximálnych prietokov na slovenských tokoch. Záverečná správa úlohy. Interná publikácia SHMÚ Bratislava.

Hosking, J.R.M., Wallis, J.R. (1997): Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L-moments. Cambridge University Press.

Kašpárek, L. a kol. (2000): Hodnocení a modelování srážko-odtokových vlastností povodí. VÚV, Praha.

Kohnová, S. (2001): Regionálna analýza maximálnych sezónnych prietokov na Slovensku. Habilitačná práca. SvF STU Bratislava.

Kohnová, S., Solín, Ľ. (2002): Hydrologická a hydrogeografická regionálna typizácia a regionalizácia Slovenska. Zborník zo slávnostného kolokvia pri príležitosti 100. výročia narodenia akademika Duba. SHMÚ Bratislava.

Kohnová, S., Kriegerová, I., Szolgay, J. (2005): Metodika tvorby a testovania homogénnych regionálnych typov za účelom regionálnej frekvenčnej analýzy maximálnych prietokov a jej overenie na území Slovenska. Záverečná správa. STU Bratislava.

OTN ŽP 3112-1:03 (2003): Kvantita povrchových a podzemných vôd. Hydrológia. Hydrologické údaje povrchových vôd. Kvantifikácia povodňového režimu. Časť 1: Stanovenie N-ročných prietokov a N-ročných prietokových vĺn na väčších tokoch, Bratislava.

STN 750110 (2002): Vodné hospodárstvo. Hydrológia. Terminológia. Bratislava.

Szolgay, J. a kol. (1999): Stanovenie N-ročných maximálnych prietokov vo vodomerných staniciach. Rozborová úloha, Bratislava.

Szolgay, J. a kol. (2000): Stanovenie N-ročných maximálnych prietokov mimo vodomerných staníc. Rozborová úloha, Bratislava.

Szolgay, J. a kol. (2000): Zhodnotenie odtokových pomerov v povodí Myjavy v oblasti Myjavskej pahorkatiny. STU Bratislava.

Autori

RNDr. Jana Podolinská, Regionálne stredisko SHMÚ Banská Bystrica, Zelená 5, 975 90 Banská Bystrica, jana.podolinska@shmu.sk

RNDr. Helena Šipikalová, Regionálne stredisko SHMÚ Banská Bystrica, Zelená 5, 975 90 Banská Bystrica, helena.sipikalova@shmu.sk

RNDr. Peter Škoda, SHMÚ, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava, peter.skoda@shmu.sk

Ing. Lotta Blaškovičová, SHMÚ, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava, lotta.blaskovicova@shmu.sk

Mgr. Beata Demeterová, SHMÚ, Ďumbierska 26, 041 17 Košice, beata.demeterova@shmu.sk