

GEOGRAFICKÝ ČASOPIS

50

1998

2

*Anna Grešková**

REGIONALIZÁCIA CHARAKTERISTÍK MALEJ VODNOSTI V HYDROLÓGII A HYDROGEOGRAFII

Anna Grešková: Regionalisation of characteristics of low flow in hydrology and hydro-geography. Geografický časopis, 50, 1998, 2, 33 refs.

The aim of the contribution is to provide analysis and evaluation of the approaches to regionalisation of low flow existing in the world and in our country based on available literature and to outline a new regionalising approach developed at the Institute of Geography of SAS in Bratislava. Hydro-geographic regional typification of low flow uses exact analysis of relation between spatial variability Q_{min} (minimum discharges) and physical-geographical characteristics of elementary catchments in GIS environment.

Key words: hydro-geographic regional typification of Slovakia, low flow, GIS.

1 ÚVOD

V neustále sa meniacom prostredí nadobúdajú hydrologické extrémny stále väčší a väčší význam. Malá vodnosť tokov pôsobí z rôznych aspektov na prostredie a spoločnosť.

V minulosti sa minimálnym prietokom venovala menšia pozornosť a zväčša sa evidovali ako dôsledok klimatického sucha, keďže im predchádza bezsrážkové obdobie. Štúdie zaoberajúce sa malou vodnosťou ju tradične charakterizujú termínom minimálny ročný M-denný prietok, pričom vo väčšine súčasných definícií v USA, Veľkej Británii (Gustard et al. 1997, Novický et al. 1997), ako aj u nás (Horváthová a Škoda 1994, Horváthová 1995, Lešková 1996) sa najčastejšie M rovná 7 dní.

* Geografický ústav SAV, Štefánikova 49, 814 73 Bratislava

V zmysle Duba a Straku (1972) majú malé vody niekoľko určujúcich hodnôt: veľkosť prietoku, resp. vodného stavu, dĺžku trvania, dobu výskytu, prípadne i veľkosť deficitu.

O čase ich výskytu, trvaní a veľkosti rozhodujú podľa Duba (1954, 1957) predovšetkým klimatické, geologické, hydrogeologické, pôdne a vegetačné pomery, najmä lesnatosť, miestny reliéf, stupeň zarezania koryta do zvodnených vrstiev, výskyt jazier a v neposlednom rade i činnosť človeka.

Zhodne s Dubom (1954) a Balcom (1990) môžeme konštatovať, že malá vodnosť, ako špecifická fáza celkovej vodnosti toku, je jednou z najdôležitejších charakteristík toku a ako jeden z extrémov má mimoriadny význam aj z hospodárskeho hľadiska. Záujmy praxe sú zacielené najmä na nedostatočné objemy a určité limitné, prahové hodnoty vodnosti tokov, pod ktoré by nemal minimálny prietok klesnúť tak z hospodárskeho, ako aj ekologického hľadiska.

2 REGIONALIZÁCIA V HYDROLÓGII - SÚČASNÉ TRENDY

Regionalizácia je oblasť, ktorou sa už niekoľko desaťročí zaoberá prírodovedne orientovaná hydrologia. Existujú viaceré definície tohoto pojmu a môžeme konštatovať, že termín regionalizácia nie je jednotne používaný.

Výsledky rozsiahlej diskusie nemeckej vedeckej spoločnosti k tomuto problému (Regionalisierung in der Hydrologie 1992) navrhujú a odporúčajú rozlišovať regionalizáciu vo vlastnom slova zmysle a regionálny prenos - regionálnu extrapoláciu (Regionale Übertragung), pričom sa chápe:

Regionalizácia - ako vykázanie plôch rovnakých hydrologických vlastností. Problém je v tom, čo znamenajú "rovnaké hydrologické vlastnosti". Tie, ako vieme, v reále neexistujú, platí to iba pre určité úlohy. Pri nesprávnom pochopení môže dôjsť k tomu, že sa mapovanie a kartografické znázornenie označuje ako regionalizácia.

Regionálny prenos (extrapolácia) - musí umožniť použitie a prenos hydrologických modelov na územia (povodia), pre ktoré je nedostatok vhodných údajov z hydrologických pozorovaní a priamo kalibrovateľných dát. Tieto môžu byť iba nepriamo "napasované" vzhľadom na špecifické charakteristiky územia. Regionálna extrapolácia musí umožniť odhad hydrologických parametrov pre povodia bez hydrologických pozorovacích radov.

Medzery sú v opísaní podmienok extrapolácie. Vynára sa tu problém nielen v prenose z jedného územia na druhé, ale mimoriadne dôležitý je prenos z bodu na plochu, z jedného bodu na druhý a z malých plôch na veľké. Je to možné iba vtedy, keď vzťahy parametrov medzi jednotlivými bodmi, alebo medzi bodmi a väčšími plochami, sú matematicky opísateľné. Na to je potrebné, aby boli vzájomné vzťahy, t.j. priestorové zmeny hydrologických parametrov znázornené ako polia alebo izolínie.

Dnes je podľa mnohých autorov hlavný problém v regionálnom prenose. V budúcnosti sa rozdiel medzi regionalizáciou a regionálnym prenosom stratí a bude sa hovoriť iba o regionalizácii.

Podľa Gottschalka (1985) regionalizácia znamená klasifikáciu areálov, v procese ktorej je možné každej lokalite pripísať číslo (popríklad písmeno), ktoré je hydrologicky plnovýznamné. Použitím matematicko-štatistickej metódy sa stávajú hydrolo-

gické regióny analogické s areálovými triedami.

Obsah hydrologickej regionalizácie sa snažili objasniť Kleeberg a Cemus (1992), podľa ktorých regionalizácia znamená v prvom rade znázornenie priestorovej variability alebo v špeciálnom prípade tiež homogenity:

- parametrov modelu (závisle premenné),
- vstupných veličín (závisle premenné),
- okrajových podmienok a koeficientov (nezávislé premenné).

Podľa spomínaných autorov je pre regionalizáciu charakteristické, že priestorové vzťahy sú preukázané a matematicky formulované tak, že je možné robiť výpovede pre iné regióny, alebo pre ľubovoľné body.

Prosté zoradenie bodových hydrologických informácií pre celý región bez znázornenia priestorových vzťahov alebo bez možnosti výpovede pre iné regióny - to nie je regionalizácia.

V posledných rokoch pozorujeme prudký rozvoj nových exaktných regionalizačných postupov. Cieľom takto chápaného prístupu k regionalizácii je získať hydrologické charakteristiky i pre územia, kde nexistujú pozorovania, a to pomocou exaktne vyjadreného vzťahu medzi hydrologickými charakteristikami a charakteristikami povodia, napr. regresnou rovnicou, čo umožňuje predikciu - odhad hydrologických charakteristík i pre územia bez hydrologických pozorovaní.

Regionalizácia musí ponúknuť spôsob, ako extrapolovať informáciu z miest s priamym pozorovaním do oblastí, kde chýba.

3 NIEKTORÉ METODICKÉ ASPEKTY REGIONALIZÁCIE

3.1 Regionalizácia v klasickom zmysle

V zmysle výsledkov diskusie viacerých významných hydroológov (Kleeberg, ed. 1992) označuje regionalizácia v hydroológii v klasickom zmysle rozdelenie územia na regióny s podobným alebo s jednotným hydrologickým režimom. Na tomto princípe stojí aj UNESCO-m vydaná *Comparative Hydrology*. Autori Falkenmark a Chapman (1989) priniesli novinku v členení územia na plochy s odozvou povodia (*Flächen mit Einzugsgebietsantwort, Areas with Catchment Response*) a na roviny (*Flachlandflächen, Flatlands*), ktoré sú ďalej členené. Za touto formou regionalizácie stojí úmysel definovať hydrologicky podobné územia, v ktorých môžu byť použité rovnaké výpočtové metódy na určenie hydrologických veličín.

3.2 Rozpracovanie pojmu regionalizácia

K viditeľnému rozpracovaniu pojmu regionalizácia v hydroológii dochádza na medzinárodnom sympóziu na rovnakú tému v Ljubljani (apríl 1990). Tu vystúpil do popredia aspekt extrapolácie, ako aj vzťah regionalizácie k mierke. Kleeberg a Cemus (1992) sa vyjadrili za používanie pojmu "regionalizácia" pre regionalizáciu v klasickom zmysle, ako aj pre regionálnu extrapoláciu hydrologických veličín. Podali nasledovnú definíciu, podľa ktorej pod regionalizáciou rozumieme: "*Určenie priestorového rozloženia funkcie g v závislosti od lokálne závislých veličín $p(j)$, ktoré sú odvodené z iného územia pomocou prenosnej (extrapolačnej) funkcie h* ".

$$g(x,y,z,) = f(x,y,p(j)) \quad (1)$$

Tejto definícii plne zodpovedá aj aspekt extrapolácie.

Becker (1992) podčiarkol nevyhnutnosť formulovať všeobecnú a obsiahlu definíciu regionalizácie a navrhol definíciu: "*Regionalizácia je regionálna extrapolácia, alebo plošné zovšeobecnenie (generalizácia) nejakej veličiny, alebo funkcie (modelu), poprípade parametrov tejto funkcie (modelu)*". Podľa spomínaného autora je možné pri zohľadnení aspektu mierky rozlíšiť tri hlavné typy alebo kategórie regionalizácie:

TYP A:

Plošné, priestorové rozdelenie veličiny s použitím alebo bez použitia vhodnej extrapoláčnej funkcie, vo všeobecnosti pomocou interpolácie alebo extrapolácie veličiny z jedného bodu na druhý. Pri tomto type regionalizácie nie je možná zmena mierky.

TYP B:

Plošná *agregácia*, prípadne integrácia lokálnych, elementárnych alebo na malú plochu sa vzťahujúcich informácií. Všeobecne vo forme súm alebo priemerov napr. zrážok, výparu a pod. Dochádza tu zväčša k zmene mierky z nižšej na vyššiu (*upsampling*).

TYP C:

Plošná *disagregácia*, prípadne diferenciacia veľkoplošnej informácie na čiastkové plochy. Dochádza tu zväčša k prechodu z vyššej mierky na nižšiu (*downscaling*).

Uvedené typy regionalizácie vyžadujú rôzne metodické prístupy.

3.3 Problematika systematizácie a taxonómie

S regionalizáciou úzko súvisí i problematika systematizácie a taxonómie v hydrologii. V hydrologii bola rozpracovaná systematizácia najmä pre odtokový režim.

Ako uvádza aj Streit (1992), systematizácia sa skladá z dvoch nezávislých čiastkových problémov:

- grupovanie (klasifikácia) objektov do tried na základe atribútov,
- priradenie (alokácia) elementov k už v prvom kroku vytvoreným triedam. V tomto prípade je známy počet tried, ako aj ich charakteristika.

Nasledovný prehľad taxonometrických metód podáva Streit (1992):

- heuristicko-subjektívne postupy: vlastná klasifikácia prebieha kvalitatívnym opisom (napr. Pardého typizácia režimu odtoku),
- numericko-taxonometrické postupy: majú prednosť "objektivity" matematicko-štatistického prístupu.

3.4 Nové regionalizačné metódy

Nové regionalizačné metódy vyžadujú nový exaktný prístup v porovnaní s počítačným opisným prístupom so silným subjektívnym akcentom. Musia spĺňať najmä

jednu požiadavku, a tou je umožniť odhad hydrologických charakteristík pre povodia bez pozorovacích radov. Základom je vytvorenie rozsiahlej databanky, ktorá pozostáva z hydrologických časových radov a špecifických charakteristík územia.

Prenos, odhad hydrologických charakteristík na nepozorované územia (povodia) sa uskutočňuje na rôznych metodických základoch. V poslednom období boli rozvíjané a použité najmä dva metodické prístupy, vo výskume malej vodnosti v Európe, na tento účel, a to: modelový prístup a štatistický prístup.

4 REGIONALIZÁCIA MALEJ VODNOSTI - metodické aspekty

V posledných rokoch sa úsilie sústredilo na predstavenie metód výskumu malej vodnosti a na hodnotenie metód odhadu parametrov malej vodnosti v nepozorovaných územiach.

Za najbežnejšie prostriedky, metodické prístupy využívané v tomto type regionalizácie môžeme zhodne s Demuthom (1993) považovať:

- empirické postupy,
- modelovanie na úrovni povodí (fyzikálne modely, matematické modely) a
- štatistické postupy.

Empirické postupy vyžadujú popri detailných poznatkoch o fyziografii povodia (morfológia, geológia, pedológia ...) i ďalšie informácie o hydrologickom správaní sa povodia. Hydrologické charakteristiky pre určité nepozorované územie sú odhadované na základe skúseností riešiteľa, čo sa môže odraziť v chybe odhadu.

Modelový prístup zahŕňa fyzikálne modely rozvíjajúce sa v laboratóriách za kontrolovaných okrajových podmienok a matematické modely, ktoré opisujú reakciu povodia a skúmajú časové rozdelenie odtoku ako funkciu zrážkových udalostí a fyzickogeografických vlastností povodia. Fyzikálne založený modelový prístup sa vyznačuje vývojom softvéru a používaním modelov, ako sú napr. BILAN, HBVMOR, MODFLOW a pod. (Gustard et al. 1997, Novický et al. 1997). Zamerané sú najmä na hodnotenie hlavných faktorov prispievajúcich ku vzniku malej vodnosti.

V matematicko-štatistických prístupoch prevláda korelačná analýza a mnohonásobná regresná analýza. Druhá je jednoduchou metódou na odhad odtokových parametrov v nepozorovaných územiach a je považovaná za najčastejšie používanú metódu v hydrológii a vo vodnom hospodárstve. Podľa Demutha (1993, 1994) bola použitá v regionalizácii od r. 1960 približne v 30 štúdiách k odhadu malej vodnosti. Spomínaný autor zosumarizoval výsledky z rozsiahleho štúdia literatúry z oblasti regionalizácie malej vodnosti, pričom sa zamerával najmä na významné charakteristiky povodia vstupujúce do štatistických modelov a na výber cieľových hydrologických hodnôt. Ďalej skúmal, do akej miery výber charakteristík (fyzickogeografických, klimatických a hydrologických) povodia sám závisí od odhadovaných hydrologických charakteristík malej vodnosti.

Demuth (1993, 1994) podrobil analýze 120 existujúcich, rozličných regresných modelov aplikovaných v rôznych oblastiach sveta. Vyhodnotené modely umožňujú odhad hydrologických hodnôt malej vodnosti v nepozorovaných územiach (povodiach) a zakladajú sa na charakteristikách povodia a cieľových hydrologických hodnotách malej vodnosti.

Charakteristiky povodia môžeme rozdeliť na:

- fyzickogeografické (sem patria charakteristiky morfometrické, charakteristiky využitia zeme, vegetačnej pokrývky, geologickej stavby, hydrogeologickej charakteristiky, pôdne charakteristiky a pod.);
- klimatické (zrážky, teplota a pod.) a
- hydrologické (napr. extrémne prietokové hodnoty, BFI).

Fyzickogeografické charakteristiky povodia tvoria asi 73 % z použitých charakteristík, pričom morfometrické charakteristiky sa používajú najčastejšie (46 %), potom nasledujú charakteristiky *land use* a vegetačnej pokrývky (17 %). Charakteristiky geologickej stavby a pôd majú podiel iba 10 %. Na klimatické charakteristiky územia pripadá 22 % a na hydrologické charakteristiky iba 5 %.

Ťažkosti sú najmä s parametrizáciou charakteristík geologickej stavby, hydrogeológie a pôd. Na ich opis a charakterizovanie máme doteraz k dispozícii iba obmedzený počet parametrov (HG1-HG14, GEO, SOIL). Napriek malému počtu týchto charakteristík v porovnaní s celkovým počtom využívaných charakteristík bol napr. pôdny index SOIL použitý približne v 20 % modelov (napr. In: Gustard a Irving 1994, Wesselink et al. 1994, Gustard et al. 1997) a index GEO bol použitý v 6 % modelov (napr. In: Wright 1970, Demuth a Hagemenn 1993, Kobold a Brilly 1994, Brilly et al. 1997).

Demuth sa zamerával na najfrekvencovanejšie charakteristiky povodia vstupujúce do štatistických modelov a separoval 10 najdôležitejších a najfrekvencovanejších charakteristík. Výsledky jasne potvrdili, že plocha povodia a priemerný ročný úhm zrážok sú najfrekvencovanejšie charakteristiky povodia dosadzované do modelov na odhad malej vodnosti.

Výber charakteristík povodia použitých v modeloch na odhad hydrologických charakteristík malej vodnosti tiež závisí od samého typu parametrov malej vodnosti. Tento výrok verifikoval Demuth (1994). V snahe získať významné diferenciácie v skladbe prediktantov, rozdelil modely do 5 skupín podľa typu parametrov malej vodnosti, ktoré boli odhadované (uvádzame i termíny používané v anglosaskej, prípadne nemeckej odbornej hydrologickej literatúre) takto:

1. skupina modelov k regionalizácii parametrov z frekvenčnej krivky (*frequency analysis*),
2. skupina modelov k regionalizácii parametrov z hydrografu (*hydrograph analysis*),
3. skupina modelov k regionalizácii parametrov z kumulatívnej frekvenčnej krivky (*flow duration curve, Abfludauerlinie*),
4. skupina modelov k regionalizácii parametrov z recesnej krivky, zobrazujúcej rozdelenie hodnôt K - pomeru bežného odtoku k odtoku spreď dvoch dní (*recession curve, Trockenwetterauslauflinie*),
5. skupina modelov k regionalizácii základného odtoku (*base flow*).

Za zmienku stojí, že prevažujú štatistické modely 1. skupiny (44 %), ako aj to, že prvé modely odhadu parametrov malej vodnosti z frekvenčnej krivky vyvinuli Thomas a Benson začiatkom 70. rokov pre rôzne regióny USA (Demuth 1994).

Každá skupina modelov bola skúmaná z pohľadu skladby prediktantov (charakte-

ristík povodia), ako aj frekvencie výskytu jednotlivých charakteristík povodia. Preukázalo sa, ktoré charakteristiky povodia boli použité pri odhade jednotlivých parametrov malej vodnosti (skupina 1.-5.) a ktoré charakteristiky povodia sú najsignifikantnejšie pre danú skupinu (v %). Napríklad na odhad charakteristík malej vodnosti z frekvenčnej krivky je najvýznamnejším parametrom plocha povodia (AREA, 77 %, t.j., že parameter AREA sa vyskytuje v 77 % modeloch) a priemerný ročný úhrn zrážok (AAR, 53 %). Ako ďalší príklad môžeme uviesť, že v modeloch slúžiacich na odhad základného odtoku sa vyskytuje priemerný ročný úhrn zrážok v každom prípade (100 %). Môžeme konštatovať, že v prvých troch skupinách modelov sú fyzickogeografické charakteristiky povodia významnejšie ako klimatické a hydrologické prediktanty.

Keďže v mnohých prípadoch nie sú dostupné odtokové údaje, vyvíjajú sa snahy poskytnúť nové metódy a techniky odhadu parametrov malej vodnosti pre nepozorované územia. Prvé štatistické procedúry odhadu malej vodnosti v Európe boli vyvinuté pre povodia Veľkej Británie a boli sumarizované v *Low Flow Studies Report* (Institute of Hydrology, 1980). K výraznému posunu vo výskume malej vodnosti, ako aj samej regionalizácie charakteristík malej vodnosti dochádza z pohľadu celoeurópskeho i regionálneho v rámci medzinárodného programu FRIEND (*Flow Regimes from International Experimental and Network Data*). Doteraz najrozsiahlejšie štúdie k regionalizácii malej vodnosti vznikli práve v rámci projektu FRIEND. V týchto štúdiách boli rozvíjané globálne štatistické modely (Gustard a Gross 1989, Gustard a Irving 1994, Gustard et al. 1997 a ďalší), ako aj detailné regionálne štatistické modely (Demuth 1989, Wesselink et al. 1994, Demuth a Hagemann 1994, Schreiber a Demuth 1997 a ďalší). Ako jeden z výsledkov preukázali tieto štúdie dôležitosť hydrologických a pôdnych charakteristík pri odhade charakteristík malej vodnosti v nepozorovaných územiach.

Predtým bolo iba málo štúdií venovaných malej vodnosti z celoeurópskeho hľadiska, a to najmä v dôsledku nedostatku dát a problémov súvisiacich s ich získaním. Zriadenie európskeho hydrologického archívu v rámci projektu FRIEND pomohlo prekonať mnohé z týchto ťažkostí. Prvé celoeurópske štúdie malej vodnosti vznikli v rámci spomínaného projektu. Výsledky odhadu priestorovej a časovej variability malej vodnosti aplikáciou regresného modelu z územia západoeurópskych štátov nám približuje práca Gustard et al. (1997). Výstupom tejto štúdie je priestorové rozloženie hodnôt Q90 (reprezentuje priemerný denný prietok, ktorý je dosiahnutý alebo prekročený po dobu 90 % dní v príslušnom období, $Q_{90(\%)d}$) pre štvorcovú sieť 10 km x 10 km pre väčšinu krajín EÚ. K odhadu Q90 pre povodia, v ktorých sa neuskutočňuje pozorovanie, bol použitý regresný model vyvinutý Gustardom a Irvingom (1994). Model predpokladá vzťah medzi významnými pôdnymi typmi (podľa pôdnej klasifikácie CEC, 1985) a Q95. Kompletná CEC klasifikácia pôd obsahuje 312 pôdnych skupín, ktoré sú grupované do 61 rôznych pôdnych typologických jednotiek. Tieto pôdne typy boli ďalej zlučovane do 9 pôdnych tried (SOIL) na základe vzťahu k BFI (*Base Flow Index*). Rovnica pre odhad Q95 je udaná vo forme:

$$Q95 = 2.55 \cdot 10^{-8} \text{ AREA}^{1.05} \text{ AAR}^{1.69} \text{ SOIL}^{(0.90)}, \quad (2)$$

pričom:

AREA - plocha povodia,

AAR - priemerný ročný úhrn zrážok a
SOIL - pôdna trieda.

Prietokové krivky z dostupných merných profilov boli grupované podľa Q95 a bolo identifikovaných 20 typov kriviek. Získaním Q95 pomocou odhadu môže byť identifikovaná typická prietoková krivka pre nepozorované územie, z ktorej je možné odvodiť Q90. Autormi prezentovaným výsledkom je mapa priestorového rozloženia Q90 pre západnú Európu pri použití nameraných hodnôt z pozorovaných území a predikovaných hodnôt pomocou regresného modelu v nepozorovaných územiach. Pracovný postup prebiehal v prostredí ARC/INFO GIS.

Ako sme už uviedli, vo Veľkej Británii Gustard a Irving (1994) venovali pozornosť odvodeniu vzťahov medzi charakteristikami malej vodnosti a pôdnymi jednotkami v povodí. Uskutočnili tiež porovnanie výsledkov odhadu charakteristík malej vodnosti na základe vzťahu k pôdnym skupinám podľa FAO, pôdnym triedam podľa CEC a jednotkami HOST-klasifikácie (Hydrology of Soil Types), ku ktorej sa ešte vrátíme.

Demuth a Hagemann (1994), Wesselink et al. (1994) ukázali, ako môže byť pracovný postup národného a regionálneho projektu rozvíjaný aj v iných regiónoch v rámci Európy. Regionálna štúdia malej vodnosti uskutočnená v Baden-Württenbersku (Wesselink et al. 1994) hodnotí vzťahy medzi hydrologickými charakteristikami a charakteristikami povodia. Do úvahy boli vzaté plocha, sklon, charakteristiky využitia zeme (lesnatosť, urbanizované plochy, jazerá) hustota drenáže, pôdne charakteristiky a zrážky.

Charakteristiky povodia, ktoré boli signifikantné v regresnej rovnici, boli dostupné v digitálnej forme v štvorcovej sieti 2,5 km x 2,5 km, alebo 1,25 km x 1,25 km. Riečna sieť a hranice 17 povodí boli zdigitalizované a bol vyvinutý algoritmus na automatické prekrytie hraníc povodí na sieťové dáta s možnosťou získať priemerné hodnoty za povodia, alebo % zastúpenie určitej triedy. To znamená, že charakteristiky povodia boli získané z dát pravidelnej štvorcovej siete existujúcej v rámci projektu FRIEND. Hodnoty sklonu, nadmorskej výšky stanice a hustoty riečnej siete boli získané manuálne z máp. Digitálne dáta boli prenesené do *Micro Low Flows* - systému. Tento softvérový balík bol vyvinutý na Hydrologickom ústave (*Institute of Hydrology*) vo Veľkej Británii na automatický odhad charakteristík malej vodnosti v ktoromkoľvek bode toku v priestore. Na denné prietokové údaje boli aplikované štyri štatistické analýzy. Korelačná matica bola základom pre zostavenie regresnej rovnice vyjadrujúcej vzťah danej charakteristiky malej vodnosti (Q95 - priemerný denný prietok, ktorý je dosiahnutý alebo prekročený po dobu 95 % dní v príslušnom období (Q_{95%*d*}), MAM(7) - priemerný ročný 7-dňový minimálny prietok (Q_{7D}), BFI-Base Flow Index a K50 - median K-hodnôt) s charakteristikami povodia. Výsledky potvrdili, že najdominantnejšou premennou je plocha povodia (AREA), vysvetľujúca 67 % rozptylu pri Q95 a 50 % rozptylu pri MAM(7).

V posledných rokoch mnohí vedci zdôrazňovali dôležitú rolu geologických pomerov v odtokovom procese a upozorňovali obzvlášť na problém stanovenia určitého numerického indexu. Premenné opisujúce geologické pomery povodia sú ťažko stanoviteľné a kvantifikovateľné. Tento problém nebol v súvislosti s regionalizáciou dodnes uspokojivo vyriešený. Ukázalo sa, že vyvinúť index opisujúci vplyv geologických pomerov na odtok, je obťažné. Ťažkosť vyplývajú i z nedostatku podrobných hydrogeologických máp. Demuth a Hagemann (1994) citujú rad autorov, ktorí v

posledných desaťročiach upozornili na významnú úlohu geologickej stavby povodia pri odhade parametrov malej vodnosti. Napriek tomu iba niekoľko autorov stanovilo geologický index, ktorý bol s rôznym stupňom úspešnosti zahrnutý do regresných modelov (Wright 1970, 1974, Clausen a Rasmussen 1993, Kobold a Brilly 1994, 1974, Brilly et al. 1997, Schreiber a Demuth 1997 a ďalší). Wright (1970) považuje veľkosť a geologickú stavbu povodia za najdominantnejšie premenné pri objasňovaní parametrov malej vodnosti. Podľa nášho názoru bolo zavedenie hydrogeologického indexu (GEO) do regresnej analýzy primeraným úspechom a potvrdilo významnú úlohu geologických pomerov pri odhade hydrologických charakteristík malej vodnosti.

K vývoju hydrogeologického indexu (GEO) prispeli, ako sme sa už zmienili, aj Demuth a Hagemann (1994), ktorí sa venovali odhadu odtokových parametrov malej vodnosti aplikáciou a využitím hydrogeologických informácií o území. Použili hydrogeologické triedy (HG1-HG14) v mnohonásobnom regresnom modeli ako nezávislé premenné na odhad recesnej konštanty K (K - *recession konstant*), ako závislej premennej. Počítala sa zvlášť pre letné a zimné obdobie aplikáciou jednoduchého exponenciálneho modelu (Demuth 1993, Demuth a Hagemann 1994). Autorom sa podarilo na základe vzťahu medzi hodnotou (K) a nimi vyčlenenými hydrogeologickými triedami (HG1-HG14) odvodiť hydrogeologický index pre letné (GEOs) a zimné obdobie (GEOw). V 57 povodiach Baden-Württenberska v Nemecku, ktoré sa vyznačujú pestrou škálou geologických jednotiek, bol úspešne testovaný hydrogeologický index (GEO) spolu s ostatnými charakteristikami povodia v mnohonásobnom regresnom modeli na odhad základného odtoku (Baselw - BF) pre nepozorované povodia.

$$BF = 1.34 \cdot 10^{-3} AREA^{0.94} AAR^{1.32} GEOs^{7.74} \quad (3)$$

Nezávislé premenné objasňujú 86 % z rozptylu BF. Z rovnice vidieť, že hydrogeologický index má signifikantný vplyv na BF v skúmanom území Baden-Württenberska.

V tomto výskume pokračovali Schreiber a Demuth (1997), ktorí odskúšali pre územie juhozápadného Nemecka aplikáciu geologických (Gi), hydrogeologických (Hi) a petrografických (Mi) charakteristík, ako aj charakteristík využitia zeme - *land use* (U) pri odhade priemerného ročného 10-denného minimálneho odtoku - MAM(10) vyjadreného v $l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$.

$$MAM(10) = f(G_1, \dots, G_{10}, H_1, \dots, H_5, M_1, \dots, M_{10}, U). \quad (4)$$

Autori použili modifikovaný mnohonásobný regresný model na odhad MAM(10) v nepozorovaných územiach založený na riečnej sieti na rozdiel od klasického prístupu založeného na sieti individuálnych povodií. Databáza zahŕňala denné údaje zo 169 pozorovacích staníc s dĺžkou pozorovania od 10 do 60 rokov. Veľkosť povodií bola limitovaná 500 km^2 . Priestorová informácia o petrografii a *land use* bola prevzatá z CORINE databázy v mierke 1:1 000 000. Geológia a hydrogeológia boli digitalizované v mierke 1:500 000 pri využití ARC/INFO GIS. Pri interpretácii výsledkov sa autori opäť vracajú k a priori vyčleneným regiónom (*Oberreinische Tiefebene*,

Schwarzwald, Voralpen,...), pretínajúcim hranice jednotlivých povodí a neprístupujú k zoskupovaniu povodí do regionálnych typov. Autori uvádzajú, že klimatické údaje neboli dostupné pre túto štúdiu, a preto ich ani nemohli zahrnúť do regresného modelu. Došli k záveru, že hydrogeologické podmienky a *land use* sú najsignifikantnejšie pri objasnení zmeny MAM(10) v juhozápadnom Nemecku. Analýze podrobili aj rezíduá. Pri 21 % pozorovacích staníc neboli použité charakteristiky postačujúce na opísanie variability MAM(10). Autori priznali nevyhnutnosť zavedenia charakteristiky priemerného ročného zrážkového úhrnu do regresného modelu.

S podobným modelovým prístupom sa stretávame v práci Brilly et al. (1997), ktorej cieľom je analýza malej vodnosti a mapové vyjadrenie jej charakteristík pre územie Slovinska. Základnou priestorovou jednotkou, s ktorou autori narábajú, sú subpovodia. Pracovali s dennými hydrologickými údajmi z obdobia 1961-1990, ktoré boli dostupné pre 55 staníc z celkového počtu 126 monitorovaných, v povodiach menších ako 300 km². Na analýzu nízkych prietokov použili dva parametre, a to:

a) Q95-priemerný denný prietok, ktorý je dosiahnutý alebo prekročený po dobu 95 % dní v príslušnom období (Q_{95%*d*});

b) 20Q-dvadsaťročný minimálny prietok (Q_{min,20}).

Špecifické hodnoty boli vyrátané pre základné priestorové jednotky a označené ako q95 a 20q. Použitý nelineárny regresný model, ktorý bol získaný z 11 experimentálnych povodí Slovinska (Kobold a Brilly 1994), bol zjednodušený a prispôbený na použitie ľahko dostupných dát, ako sú: plocha povodia (AREA), priemerný ročný úhrn zrážok (AAR) a index geológie (GEO). Charakteristiky malej vodnosti (*low flow characteristics*) boli určené takto:

$$Q_{lw} = a \cdot AREA^b \cdot AAR^c \cdot GEO^d, \quad (5)$$

$$q_{lw} = a \cdot AAR^c \cdot GEO^d, \quad (6)$$

pričom Q_{lw} je každý Q95, alebo 20Q a q_{lw} je q95, alebo 20q.

Parametre modelu AREA, AAR a GEO boli odhadnuté pre každé z 572 základných subpovodí na území Slovinska. Charakteristiky malej vodnosti Q95, q95, 20Q, 20q boli počítané pre dostupné vodomerné stanice a subpovodia v prostredí GIS. Hlavný dôraz bol kladený na geologické pomery povodia, pretože ako zdôrazňujú autori (Kobold a Brilly 1994), minimálne prietoky sú výsledkom výtoku podzemných vôd, a preto sú závislé od geologickej stavby povodia. Uvedieme, že geologické pomery povodia parametrizovali autori pri využití hodnoty BFI. Na príklade špecifických údajov (20q) sa autorom podarilo graficky poukázať na rozdiel medzi 20q získanými v procese mapovania na základe dostupných údajov z pozorovacích staníc, ktoré boli inkorporované do prostredia GIS a spojené so subpovodiami a 20q, vypočítanými pre každé subpovodie pomocou nelineárneho regresného modelu (6).

Môžeme iba súhlasiť s názorom autorov, že taký komplexný jav, akým je malá vodnosť, iba ťažko môžeme analyzovať veľmi jednoduchým modelom. Podľa autorov sú rozdiely medzi nameranými a vypočítanými hodnotami malej vodnosti spôsobené najmä - infiltráciou povrchových vôd, podzemným odtokom v aluviálnych rovinách, ako aj v rozsiahlych krasových územiach, vodným hospodárstvom, správnym odhadom GEO a AAR parametrov a na koniec i zjednodušením modelu. Napriek tomu

považujú daný metodický postup a odvodené vzájomné závislosti za aplikovateľné pri hodnotení minimálnych prietokov v nepozorovaných povodiach a za použiteľné vo vodohospodárskej praxi.

Slabiny prezentovaného postupu nevidíme v koncepčnom prístupe, ale v obmedzenom počte použitých fyzickogeografických charakteristík povodí. Autori vystačili iba s tými charakteristikami, ktoré mali k dispozícii z národného vodohospodárskeho informačného systému (WMIS). Na škodu veci si nevytvorili vlastnú databázu, ani nerozšírili existujúcu.

Tak ako v rade ďalších regionalizačných štúdií, ani v tejto sa nevenuje pozornosť analýze vplyvu jednotlivých fyzickogeografických charakteristík na vznik malej vodnosti.

Ako je zrejmé z regionálnych štúdií malej vodnosti včetně Wrighta (1970) a ďalších, veľký význam sa pripisuje indexovaniu hydrogeologických, resp. geologických pomerov povodia. Problémy so zvládnutím tejto úlohy prispievajú k ťažkostiam odhadu malej vodnosti v územiach bez hydrologických pozorovaní. Najďalej postúpili v tomto smere vo Veľkej Británii. Správa *Low Flow Studies (Institute of Hydrology, 1980)* odporúča použitie BFI (*Base Flow Index*) na označenie účinku, alebo vplyvu geologických pomerov na malú vodnosť, ako špecifickú hydrologickú odozvu povodia, z ktorého môžu byť odvodené ďalšie charakteristiky. Napriek tomu, že boli odvodené určité regionálne vzťahy medzi BFI a miestnymi geologickými podmienkami, nebolo možné aplikovať techniku odhadu pre celé územie Veľkej Británie. BFI je možné získať jednoduchou metódou z priemerného denného hydrografu, kde sa aplikuje jednoduchý program na výpočet indexu ako pomeru základného a celkového odtoku, a to:

$$BFI = \frac{V_B}{V_A}, \quad (7)$$

kde:

V_B - krivka základného odtoku (*Base Flow Line*),

V_A - zaznamenaný hydrograf (*Recorded Hydrograph*).

Gustard a Irving (1994) založil výskum hydrologickej odozvy povodí a odhad odtokových charakteristík v nepozorovaných územiach na použitie HOST klasifikačnej schémy pôdných typov (*Hydrology of Soil Types classification*). Kľúčovou premennou na získanie údajovej základne HOST klasifikačnej schémy pôdných typov bol práve BFI. Vzťah medzi hydrologickou odozvou a pôdnymi typmi bol odvodený porovnaním BFI-hodnôt pre 633 povodí s fyzikálnymi vlastnosťami pôdných tried. Postup bol zvolený tak, aby vznikla klasifikačná schéma umožňujúca zoskupenie veľkého počtu pôdných tried do malého počtu HOST-tried (28 tried). Neskôr boli identifikované HOST-triedy s podobnými pôdnymi a hydrogeologickými charakteristikami (Gustard et al. 1997), čo umožnilo 28 hydrologických pôdných tried zgrupovať do 12 LFHG skupín (*Low Flow HOST Groups*) a prispelo k zdokonaleniu regresného modelu. Na tomto prístupe bola úspešne uskutočnená predikcia MAM(7) - priemerného ročného 7-dňového minimálneho prietoku (Q_{7D}) a Q95-priemerného denného prietoku, ktorý je dosiahnutý alebo prekročený po dobu 95 % dní v príslušnom období ($Q_{95\%d}$).

V najnovších prácach sa stretávame s aplikáciou prístupu prahových hodnôt pri

analýze malej vodnosti. Metóda prahových hodnôt prezentovaná Yevjevichom (Tallaksen a Hisdal 1997) je metódou, ktorá súčasne charakterizuje malú vodnosť pomocou času trvania a objemu deficitu. Sucho je definované ako perióda, počas ktorej je prietok (Q) pod určitou prahovou hodnotou. Metódu prahových hodnôt použili napr. Tallaksen a Hisdal (1997) pri analýze malej vodnosti 52 povodií severských krajín. V tejto štúdií boli ako prahové hodnoty použité Q_{70} ($Q_{70\%d}$) a Q_{90} ($Q_{90\%d}$). Regionálne charakteristiky dĺžky trvania a deficitu objemu boli skúmané pre dve vzorky dát (ročné minimá a letné minimá) použitím diagramu L-momentu a empirickej ortogonálnej funkcie (EOF). Metódu EOF použil napr. Gottschalk (1985) pri hydrologickej regionalizácii Švédska založenej na analýze časových radov priemerných mesačných prietokov.

So systematickým výskumom malej vodnosti sa na Slovensku začalo až v 70. rokoch. V zhode s Balcom (1990) môžeme konštatovať, že impulzom pre intenzívny výskum malej vodnosti slovenských tokov bola najmä práca Duba (1972) *Rajonizácia tokov podľa ich režimu nízkych prietokov*, v ktorej naznačil aj jeho koncepciu - prehĺbený výskum fyzikálnej podstaty malej vodnosti v závislosti od celého komplexu podmienujúcich činiteľov. Dub rozpoznal dôležitú úlohu fyzickogeografických parametrov povodia, ktoré do určitej miery riadia a kontrolujú hydrologickú odozvu povodia, a tým aj vznik a výskyt malej vodnosti. Mapovo znázornil oblasti rovnakých minimálnych špecifických odtokov. Toto mapové zobrazenie vzniklo pravdepodobne lineárnou interpoláciou bodových hodnôt.

Rajonizácia tokov podľa ich režimu malých prietokov, ktorú publikovali Dub a Straka (1972) je v podstate klasifikáciou na základe dvoch hydrologických charakteristík v danom mernom profile, a to podľa koeficientu vyrovnanosti (vyjadruje pomer odtečených množstiev v dobe podpriemerných Q k ročnému odtečenému množstvu) a počtu dní t - po ktoré prietoky prekračujú (resp. nedosahujú) dlhodobý priemer. Výsledkom je zatriedenie riek do jednej z 10 skupín, ktoré boli opísané slovné a charakterizované ako toky horských, podhorských, pahorkatinných alebo lýtšových oblastí.

Časovou a priestorovou analýzou charakteristík a parametrov malej vodnosti sa podrobne zaoberal Balco (1990) v monografii *Malá vodnosť slovenských tokov*, kde zhrnul svoje dlhoročné poznatky a výsledky v oblasti výskumu malej vodnosti. Okrem časovej a priestorovej analýzy charakteristík malej vodnosti sa zamerával najmä na štúdium závislostí minimálnych prietokov od fyzickogeografických charakteristík povodia a na kvantifikáciu stavových a režimových závislostí malej vodnosti. Spomínaný autor uskutočnil regionalizáciu minimálnych odtokov na území Slovenska, pričom vychádzal z veľkej priestorovej premenlivosti fyzickogeografických podmienok malej vodnosti. Závislosti minimálnych odtokov od plochy povodia, priemernej nadmorskej výšky povodia, od dlhodobého priemerného ročného odtoku a od priemerného ročného odtoku podzemných vôd kvantifikoval pomocou regresnej analýzy. Na území Slovenska vyčlenil na základe daných jednoduchých regionálnych závislostí v štyroch vrstvách 15 regiónov. Tomuto postupu však chýba väčšia komplexnosť a systémový prístup, ktorý dnes už možno z pohľadu súčasných možností a prostriedkov zvládnuť novými technológiami spracovania rozsiahlych niekoľkovrstvových databáz.

Väčšina našich autorov sa zameriava najčastejšie na hodnotenie charakteristík minimálnych Q , ako je veľkosť, trvanie a frekvenciu výskytu. Podľa Horváthovej a Škodu (1994) charakteristiku trvania malej vodnosti v roku zahŕňa v sebe hodnota

minimálneho prietoku stanovená ako najmenší prietok v roku za M za sebou idúcich dní. Z taktu získaného súboru hodnôt za dlhšie časové obdobie možno vypočítať hodnoty prekročené priemerne za N rokov. Najčastejšie sa za M volí 7 dní a za N 10 rokov.

Výpočtom pravdepodobnostných charakteristík malej vodnosti QMdní Nrokov pre vodomerné stanice s dostatočne dlhým pozorovacím obdobím vhodným na výpočet čiary prekročenia sa venovala taktiež Lešková (1996). Prednosťou tejto charakteristiky malej vodnosti je, že okrem svojej hodnoty je definovaná aj dĺžkou trvania v dňoch M, ako aj N-ročnou frekvenciou výskytu.

Viaceri autori sa pokúsili kvantifikovať vzťahy medzi fyzickogeografickými charakteristikami povodia a hydrologickými charakteristikami malej vodnosti. Pozorujeme pritom, že do regresného vzťahu vstupujú rôzne charakteristiky povodia s rôznymi hydrologickými charakteristikami. Horváthová (1995) študovala napr. vzťah medzi priemerným minimálnym prietokom (MQN) a sumou zrážok za to isté obdobie. Spomínaná autorka sa pokúsila taktiež o odvodenie hodnôt minimálneho prietoku zo vzťahu k priemernému ročnému prietoku.

Zapojenie Slovenska do projektu FRIEND bolo novým impulzom pre výskum vzťahu fyzickogeografických charakteristík a hydrologických charakteristík malej vodnosti.

Majerčáková et al. (1995) hodnotila niektoré charakteristiky malej vodnosti vybraných povodí zahrnutých do projektu FRIEND na Slovensku a uviedla aj plošnú interpretáciu dlhodobých charakteristík malej vodnosti, čo však nemôžeme považovať za regionalizáciu.

Alternatívny prístup k tejto problematike nachádzame u Fendekovej (1995), ktorá vychádzala z faktu, že na pochopenie výskytu a formovania nízkych prietokov je potrebné definovať úlohu jednotlivých fyzickogeografických charakteristík povodia v tomto procese. Ako príspevok k riešeniu tohoto problému bol v rámci projektu FRIEND vytvorený štatistický model riešený metódou faktorovej analýzy. Vychádza zo skutočnosti, že vzájomné vzťahy medzi charakteristikami malej vodnosti a hydrogeológiou nie sú dodnes dostatočne rozanalyzované a v snahe prispieť k riešeniu tohoto problému, zahrmla spomínaná autorka do analýzy i tri geologicko-hydrogeologické charakteristiky povodí vyjadrené numerickým kódom.

Z vyššie uvedeného vyplýva, že štúdie venujúce sa malej vodnosti sú často poznačené nedostatkom regionálnych dát a dôsledných metód na ich analýzu. Nové metodické postupy sa začínajú udomáčňovať aj u nás vo výskume malej vodnosti, avšak doteraz boli aplikované iba na obmedzenom počte povodí, nie pre celé územie Slovenska.

Na záver môžeme zhrnúť:

- do 60. rokov boli rozvíjané postupy zamerané najmä na štúdium vzájomných vzťahov medzi hydrologickými charakteristikami a charakteristikami povodia;
- po roku 1960 sa začínajú rozvíjať prvé exaktné postupy k odhadu charakteristík malej vodnosti pre nepozorované územia, pričom prioritné postavenie má mnohonásobná regresná analýza;
- musíme konštatovať, že väčšina autorov dodnes uskutočňuje regionálnu analýzu variability parametrov malej vodnosti pre vybrané stanice a regióny, nie regionalizáciu;

- štúdie sú často poznačené nedostatkom regionálnych dát a dôsledných metód na ich analýzu;

- exaktný regionalizačný prístup umožňujúci následné zoskupovanie povodí do regionálnych typov na základe charakteristík rozhodujúcich pre priestorovú variabilitu vybranej hydrologickej charakteristiky malej vodnosti nebol doteraz aplikovaný;

- uprednostňujeme metódu hydrogeografickej regionalizácie cez povodia, nie cez štvorcovú sieť;

- dôležitosť pripisujeme správne mu výberu charakteristík povodia, kde musí byť zohľadnená i cieľová hydrologická charakteristika (dôsledný prehľad týchto hydrologických charakteristík a ich definície nachádzame v práci Demutha (1993));

- dôležitosť pripisujeme správne mu zostaveniu regresného modelu (výber nezávislých prediktantov, čo najprecíznejší odhad regresných koeficientov), ako aj evaluácii modelu a analýze chyby odhadu.

5 HYDROGEOGRAFICKÁ REGIONALIZÁCIA SLOVENSKA V PROSTREDÍ GIS

Na základe analýzy regionalizačných prístupov môžeme rozlíšiť dve skupiny prístupov. Prvý, pri ktorom regionalizácia vychádza z a priori určených priestorových jednotiek, určitých fyzickogeografických regiónov, alebo krajinných typov a druhý, kde základnou priestorovou jednotkou vstupujúcou do procesu regionalizácie je povodie.

Najnovšie metodické postupy potvrdzujú taký trend vývoja výskumu, ktorý sleduje multivariantné štatistické postupy a modelové prístupy na fyzikálnom základe. Nové metodické regionalizačné postupy umožňujúce odhad hydrologických charakteristík aj pre nepozorované územia sú ideálnym príkladom aplikácie technológie GIS. Celkový vývoj naznačuje, a to nezávisle od typu regionalizácie, že budovanie databáň a využitie technológie GIS predstavuje neodmysliteľné a podstatné kroky pri riešení týchto úloh. Tu vystupuje do popredia úloha pripraviť takú databázu, ktorá môže byť ďalej spracovaná v prostredí GIS, ktoré umožňuje spracovanie priestorových dát, pričom môžu byť spracované vektorové i rastrové dáta.

Z nášho hľadiska, a vyššie uvedené to potvrdzuje, je prepotrebné budovať databázu nielen hydrologických a klimatologických, ale aj fyzickogeografických charakteristík, ktorých vplyv na malú vodnosť je preukázateľný.

Technológia GIS, ako nástroj k správe a spracovaniu priestorových informácií, zaručuje exaktnosť prístupu od vstupov až po výstupy, umožňuje rýchle spracovanie databáň, ako aj digitálne mapové výstupy. Doteraz často chýbala metodika, "know how", databázy, technológie na spracovanie rozsiahlych datových súborov, softvérové a hardvérové vybavenie. Na Geografickom ústave SAV v Bratislave sa rozpracovávala metodika hydrogeografickej regionalizácie v prostredí GIS (Solín a Poláčik 1994, Solín a Faško 1995) s použitím exaktných metodických postupov, ktoré umožňujú zvládnutie regionalizačných úloh na novej kvalitatívnej úrovni.

Digitálna sieť podrobných povodí bola upravená pre potreby regionalizácie. Identifikácia hydrogeografických regionálnych typov malej vodnosti vychádza z exaktnej analýzy vzťahu medzi priestorovou variabilitou Q_{min} a fyzickogeografickými charakteristikami podrobných povodí. Základné priestorové jednotky sú v regionalizač-

nom postupe zoskupované (agregácia) na základe podobnosti ich fyzickogeografických charakteristík, ktoré sú rozhodujúce z hľadiska priestorovej variability Q_{min} . Taktó vyčlenené hydrogeografické regionálne typy Q_{min} musia spĺňať všeobecnú typologickú požiadavku vnútornej homogenity a vzájomnej priestorovej heterogenity. Keďže si uvedomujeme dôležitosť vplyvu hydrogeológie homínového prostredia na malú vodnosť, zahrnuli sme do databázy fyzickogeografických charakteristík aj charakteristiku transmisivity homínového prostredia.

Tvorba databázy hydrologických charakteristík si vyžiadala spoluprácu s SHMÚ. Použitá charakteristika, priemerný minimálny prietok za obdobie 1976-1995 (Q_{min}), bola stanovená ako aritmetický priemer z radu ročných minimálnych prietokov, ako aj z 20-ročného radu mesačných minimálnych prietokov. Za ročný minimálny prietok považujeme najmenší priemerný denný prietok v roku. Danú hydrologickú charakteristiku sme zvolili aj vzhľadom na jej adekvátnosť k údajom o zrážkových úhmoch, ktoré majú relevantný význam v regresných vzťahoch. Získať v prvom kroku detailnejšie hydrologické dáta sa nám nepodarilo (vzhľadom na obmedzené prostriedky základného výskumu). Mali sme aspoň možnosť overiť si výpovednú hodnotu týchto údajov.

Výsledkom regionalizácie je identifikácia hydrogeografických regionálnych typov Q_{min} na území Slovenska. Následne sa uskutočnilo testovanie homogénnosti daných priestorových typologických jednotiek, vyčlenených na základe relevantných fyzickogeografických charakteristík, z hľadiska charakteristík malej vodnosti, ako špecifickej hydrologickej odozvy povodia.

Príspevok vznikol v rámci riešenia projektu 2/4065/98 za podpory grantovej agentúry VEGA.

LITERATÚRA

- BALCO, M. (1990). *Malá vodnosť slovenských tokov*. Bratislava (Veda).
- BECKER, A. (1992). Methodische Aspekte der Regionalisierung. In Kleeberg, H., B., ed. *Regionalisierung in der Hydrologie*. Weinheim (DFG - Deutsche Forschungsgemeinschaft), pp. 1-32.
- BRILLY, M., KOBOLD, M., VIDMAR, A. (1997). Water information management system and low flow analysis in Slovenia. In Gustard, A., et al., eds. *FRIEND'97 - Regional Hydrology: Concepts and Models for Sustainable Water Resource Management*. International Association of Hydrological Sciences Publication, 246, pp. 117-124.
- CLAUSEN, B., RASMUSSEN, K., R. (1993). *Low Flow Estimation and Hydrogeology in a Chalk Catchment*. Nordic Hydrology, 24, 297-308.
- DEMUTH, S. (1989). The application of the West German IHP recommendations for the analysis of data from small research basins. *FRIENDS in Hydrology. Proceedings of the Bolkesjo Symposium*. International Association of Hydrological Sciences Publication, 187, pp. 47-60.
- DEMUTH, S. (1993). Untersuchungen zum Niedrigwasser in West-Europa. *Freiburger Schriften zur Hydrologie*, 1. Freiburg (Universität Freiburg).
- DEMUTH, S. (1994). Regionalization of low flows using a multiple regression approach. A review. In Hegedus, M., ed. *Proceedings of the XVIIth Conference of Danube Countries*, 1, Budapest, 5-7 September, pp. 115-122.

- DEMUTH, S., HAGEMANN, I. (1994). Estimation of flow parameters applying hydrogeological area information. In Seuna, P., et al., eds. *FRIEND, Proceedings of the Braunschweig Conference. International Association of Hydrological Sciences Publication*, 221, pp. 151-157.
- DUB, O. (1954). *Všeobecná hydrologia Slovenska*. Bratislava (SAV).
- DUB, O. (1957). *Hydrologia, hydrografia, hydrometria*. Bratislava (SNTL).
- DUB, O. (1972). *Regionalizácia tokov podľa ich režimu nízkych prietokov*. Záverečná výskumná správa, SF SVŠT, Bratislava.
- DUB, O., STRAKA, V. (1972). Rajonizácia tokov podľa ich režimu malých prietokov. *Vodohospodársky časopis*, 22, 353-367.
- FENDEKOVÁ, M. (1995). Factor analysis of catchment characteristics. *Vodohospodársky časopis*, 43, 371-379.
- GOTTSCHALK, L. (1985). Hydrological regionalization of Sweden. *Hydrological Sciences Journal*, 30, 65-83.
- GUSTARD, A., GROSS, R. (1989). Low Flow Regimes of Northern and Western Europe. *FRIENDS in Hydrology. Proceedings of the Bolkesjo Symposium. International Association of Hydrological Sciences Publication*, 187, pp. 205-212.
- GUSTARD, A., BULLOCK, A., DIXON, J. M. (1992). *Low flow estimation in the United Kingdom*. Report, 108, Institute of Hydrology, Wallingford.
- GUSTARD, A., IRVING, K., M. (1994). Classification of the low flow response of European soils. In Seuna, P., et al., eds. *FRIEND, Proceedings of the Braunschweig Conference. International Association of Hydrological Sciences Publication*, 221, pp. 113-117.
- GUSTARD, A., REES, H. G., CROKER, K. M., DIXON, J. M. (1997). Using regional hydrology for assessing European water resources. In Gustard, A., et al., eds. *FRIEND'97 - Regional Hydrology: Concepts and Models for Sustainable Water Resource Management. International Association of Hydrological Sciences Publication*, 246, pp. 107 - 115.
- GUSTARD, A., NOVICKÝ, O., DEMUTH, S., TALLAKSEN, L., LANEN, H., CLAUSEN, B., KAŠPÁREK, L., MIKLÁNEK, P., MAJERČÁKOVÁ, O., FENDEKOVÁ M., KUPSZYK, E., RADSUK, L., CZAMARA, W. (1997). Low Flows and Droughts in Northern Europe. In Afouda, A., et al., eds. *FRIEND, Third report: 1994-1997. International Association of Hydrological Sciences Publication*, pp. 132-148.
- HORVÁTHOVÁ, B. (1995). Poznámky k regionalizácii minimálneho prietoku MQN. *Vodní hospodárství*, 45, 188-191.
- HORVÁTHOVÁ, B., ŠKODA, P. (1994). Minimálny prietok QM dní N rokov, tiež MQN. *Vodní hospodárství a ochrana ovzduší*, 44, 27-32.
- KLEEBERG, H., B., ed. (1992). *Regionalisierung in der Hydrologie*, Weinheim (DFG - Deutsche Forschungsgemeinschaft).
- KLEEBERG, H., B., CEMUS J. (1992). Regionalisierung hydrologischer Daten - Definitionen. In Kleeberg, H., B., ed. *Regionalisierung in der Hydrologie*. Weinheim (DFG - Deutsche Forschungsgemeinschaft), pp. 1-15.
- KOBOLD, M., BRILLY, M. (1994). Low flow discharge analysis in Slovenia. In Seuna, P., et al., eds. *FRIEND, Proceedings of the Braunschweig Conference. International Association of Hydrological Sciences Publication*, 221, pp. 119-131.
- LEŠKOVÁ, D. (1996). *Vybrané režimové a pravdepodobnostné charakteristiky malej vodnosti*. Práce a štúdie, 53. Bratislava (SHMÚ).
- Low Flow Studies Report* (1980). Institute of Hydrology. Wallingford.

- MAJERČÁKOVÁ, O., LEŠKOVÁ, D., ŠEDÍK, P. (1995). Selected characteristics of low flows of Slovak rivers. *Vodohospodársky časopis*, 43, 331-353.
- NOVICKÝ, O., GUSTARD, A., DEMUTH, S., TALLAKSEN, L., LANEN, H., CLAUSEN, B., KAŠPÁREK, L., MIKLÁNEK, P., MAJERČÁKOVÁ, O., FENDEKOVÁ, M., KUPSZYK, E., RADSUK, L., CZAMARA, W. (1997). Low Flows. In Gustard, A., Cole, G., eds. *Advances in regional hydrology through East European cooperation*. Final Report to the Commission of the European Communities, Institute of Hydrology, Wallingford, pp. 9-19.
- SCHREIBER, P., DEMUTH, S. (1997). Regionalization of low flows in southwest Germany. *Hydrological Sciences Journal*, 42, 845-858.
- SOLÍN, L., POLÁČIK, Š. (1994). Identification of homogeneous hydrological regional types of basins. In Seuna, P., et al., eds. *FRIEND, Proceedings of the Braunschweig Conference*. International Association of Hydrological Sciences Publication, 221, pp. 467-473.
- SOLÍN L., FAŠKO P. (1995). Hydrogeografické regionálne typy montánnej krajiny Slovenska z hľadiska priemernej ročnej odtokovej výšky. *Geografický časopis*, 47, 75-91.
- TALLAKSEN, L., M., HISDAL, H. (1997). Regional analysis of extreme streamflow drought duration and deficit volume. In Gustard, A., et al., eds. *FRIEND'97 - Regional Hydrology: Concepts and Models for Sustainable Water Resource Management*. International Association of Hydrological Sciences Publication, 246, pp. 141-150.
- WESSELING, A., HAGEMANN, I., DEMUTH, S., GUSTARD, A. (1994). Computer application of regional low flow study in Baden-Württemberg, Germany. In Seuna, P., et al., eds. *FRIEND, Proceedings of the Braunschweig Conference*. International Association of Hydrological Sciences Publication, 221, pp. 141-150.
- WRIGHT, C., E. (1970). Catchment characteristics influencing low flows. *Water and Water Engineering*, 12, 468-471.

Anna Grešková

REGIONALISATION OF CHARACTERISTICS OF LOW FLOW IN HYDROLOGY AND HYDRO-GEOGRAPHY

Research of hydrological extremes, that is also of low flow, acquires an increasing importance. Presented study does not aspire to be an exhausting information on the issue limiting itself only on main research streams and developmental trends.

The contribution offers an analysis of methodological approaches of foreign and domestic research of low flow. The differing interpretations of the term regionalisation itself, as well as application of various regionalising procedures is a reflection of intensive research on adequate solution of the problem. Various authors tried to define the contents of regionalisation. Kleeberg and Cemus (1992) assert that regionalisation must prove and mathematically formulate spatial relations in a way which makes possible to produce statements relevant also for other regions, namely the ones where the hydrological observations were not made. We agree with the opinion that mere alignment of point hydrological observations not accompanied by spatial relations or not offering possibility to estimate hydrological characteristics for other territories is not proper regionalisation.

We have been observing an intense development of new approaches in regionalisation in recent years. These regionalising methods require an exact approach compared to initial descriptive approaches with large proportion of subjectivity. The contemporary research trend confirms exact

mathematical and statistical procedures and model approaches based in physical approach making use of the existing computing technology and GIS oriented to estimation of parameters of low flow in areas lacking observations. Mathematical and statistical approaches mostly used correlation analysis and multiple regression analysis. The aim of so interpreted approaches to regionalisation is to obtain hydrological characteristics also for the territories where there are no observations available, by means of exactly expressed relation between hydrological characteristics and physical-geographical characteristics of catchment as it makes possible to predict or estimate hydrological characteristics also for the areas lacking hydrological observations.

Regionalisation must offer the way how to extrapolate information on points with direct observations on areas lacking such observations.

An overall development suggests, independent on type of regionalisation, that compilation of data bases and use of GIS technology represents essential steps in addressing the task. Methodology of hydro-geographic regionalisation in GIS environment (Solín and Poláček 1994, Solín and Faško 1995) with use of exact methodological procedures which enable solution of regionalisation tasks at a new qualitative level has been developed in the Institute of Geography, SAS in Bratislava.

Such identification of hydro-geographic regional types of low flow is based in exact analysis of the relation between spatial variability Q_{min} (minimum discharges) and physical-geographic characteristics of elementary catchments. Basic spatial units are clustered (aggregation) by similarity of their characteristics as they are decisive from the viewpoint of spatial variability Q_{min} . Result of regionalisation is identification of hydro-geographic regional Q_{min} types in the territory of Slovakia.

Translated by H. Contrerasová