

---

# GEOGRAFICKÝ ČASOPIS

---

53

2001

3

---

*Anna Grešková\**

## IDENTIFIKÁCIA RIZIKOVÝCH OBLASTÍ A RIZIKOVÝCH FAKTOROV VZNIKU POVODNÍ V MALÝCH POVODIACH

**A. Grešková:** Identification of the risk areas and risk factors contributing to the origin of floods in small catchments. *Geografický časopis*, 53, 2001, 3, 3 tabs., 3 figs., 25 refs.

The paper is dedicated to the question of flash floods in small catchments. Identification of conditions, risk areas and risk factors contributing to the origin flash floods leans on the existing digital network of small catchments of Slovakia and the database of their physical characteristics. Based on retrospective analysis of the flood events in the years 1977-1999, hydroclimatic situation existing during the events, as well as the relevant physical properties of the small catchments stricken by floods were evaluated. Physical properties were classified into four groups containing morphometric relief characteristics, climatic characteristics, characteristics of rocks and soil-weathering mantle and those of land cover. The area of small catchments was also taken into account. High precipitation totals fallen on small, sharply delimited area at high degree of saturation of the particular catchment by previous precipitation, high values of morphometric characteristics (sea level altitude and inclination above all), poor transmissivity of the rocks and the soil-weathering mantle, as well as an overall retention capacity are the decisive factors contributing to the origin of flash floods.

**Key words:** small catchments, flash floods, storm rainfalls, risk factors, risk areas

### ÚVOD

V posledných desaťročiach 20. storočia boli zaznamenané pozoruhodné anomálie pri niektorých charakteristikách klimatických prvkov, a to najmä teplôt vzduchu a atmosférických zrážok (Faško a Lapin 1998a). Tieto anomálie a ex-

---

\*Geografický ústav SAV, Štefánikova 49, 814 73 Bratislava

trémy sa často dávajú do súvislosti s nástupom klimatických zmien, o ktorých sa začalo intenzívne hovoriť v 80-tych rokoch. Charakter 90-tych rokov bol v súlade s prognózami o zmene klímy, avšak dodnes je ťažko posúdiť, či ide o väčšie alebo menšie oscilácie, ktoré sú známe aj z nedávnej minulosti napr. ako malé pluvieľy (Vaškú 1997), alebo sú klimatické zmeny podmienené najmä antropogénnou činnosťou. Dôsledky naznačených zmien pociťujeme predovšetkým v letnom období. Roky 1997 až 1999 sa vo viacerých oblastiach nášho územia vyznačovali extrémne vysokými zrážkovými úhrnmi, ktoré mali za následok katastrofálne povodne.

## METODIKA

Cieľom príspevku je prispieť k identifikácii rizikových faktorov a rizikových oblastí vzniku príválových povodní, ktoré v posledných rokoch postihujú najmä malé povodia horských a podhorských tokov. Pozornosť zameriavame najmä na autochtónne malé riečne systémy Slovenska, pretože pri väčších alochtónnych tokoch (v našich podmienkach ide najmä o pohraničné toky ako Dunaj, Morava a Tisa) sú rizikové faktory a príčiny vzniku povodní často mimo nášho územia. Z väčšiny malých povodí nie sú k dispozícii potrebné údaje vstupných parametrov (napr. zrážky) alebo výstupov v podobe odtoku z povodí. Vyhodnotenie povodňových situácií, ktoré už nastali, je jedno z najlepších zdrojov informácií. Veľkú výpovednú hodnotu majú pre nás poznatky získané vyhodnotením príválových povodní, ktorými boli postihnuté v posledných rokoch malé povodia v rôznych častiach Slovenska.

Metodický postup použitý v tejto štúdii zahŕňa: a) priestorovú identifikáciu výskytu povodňových udalostí za roky 1997-1999 v sieti malých povodí Slovenska (Solín a Grešková 1999), b) vyhodnotenie hydroklimatických situácií a podmienok, za ktorých došlo k vzniku povodní, c) analýzu povodní za roky 1997, 1998 a 1999 z hľadiska dosiahnutých N-ročných prietokov, d) evaluáciu fyzickogeografických charakteristík povodňami zasiahnutých malých povodí. Dôsledné poznanie a vyhodnotenie podmienok vzniku, ako aj faktorov ovplyvňujúcich priebeh povodní, je jedným zo základných predpokladov a vstupov pre následnú identifikáciu relevantných faktorov a rizikových oblastí vzniku povodní.

## ZHODNOTENIE HYDROKLIMATICKEJ SITUÁCIE POČAS POVODNÍ V ROKOCH 1997-1999

Všeobecne môžeme povedať, že hydroklimatické situácie, charakteristické pre vznik povodňových situácií, sa vyznačujú: a) extrémne výdatnými zrážkami, ktoré spadnú vo veľmi krátkom čase počas búrkovej činnosti alebo lokálnych príválových dažďov; v súčasnosti sa merajú krátkodobé búrkové lejaky asi na 175 staniaciach s ombrografmi; b) dlhšie trvajúcou regionálnou zrážkovou činnosťou, ktorá je často spojená s prechodom viacerých frontálnych systémov; denné alebo viacdenné zrážkové úhrny sú zaznamenávané asi na 700 zrážkomerných staniaciach; c) zriedkavejšie náhlým topením snehu a ľadochodmi na tokoch. Všetky tieto situácie môžu mať za následok rýchly vzostup hladín vodných tokov a následný vznik povodní. Počet zrážkomerných staníc SHMÚ v nás nechtiac vyvoláva dojem, že časovú a priestorovú premenlivosť zrážok je mož-

né pomocou tak hustej zrážkomernej siete zaznamenať pomerne verne. Avšak pomocou tejto siete je možné zaznamenať iba asi tretinu mimoriadne vysokých jednodenných úhrnov zrážok a ešte menej mimoriadne vysokých úhrnov zrážok za kratšie časové intervaly (Faško a Lapin 1998a). Vplyvom rozmanitých prírodných podmienok sa za určitých poveternostných situácií uplatňujú náveterné a záveterné efekty, ktoré spôsobujú, že zrážkové pole vykazuje v niektorých prípadoch veľké rozdiely na relatívne malé vzdialenosti (Faško 1997). Centrá búrok s najintenzívnejšími zrážkami majú obvykle menší priemer ako 3 km, sú priestorovo málo rozsiahle a ostro ohraničené, takže ich zrážkomerné stanice často ani nemôžu v plnom rozsahu zaregistrovať. Podľa Faška a Lapina (1998a) nebola veľká väčšina veľmi intenzívnych dažďov vôbec zaznamenaná. Slovensko pritom nepatrí ku krajinám s výskytom veľmi vysokých denných úhrnov zrážok a denné úhrny zrážok vyššie ako 150 mm sú zriedkavé.

V 60-tych a 70-tych rokoch došlo k značnému rozšíreniu siete pozorovacích objektov na povrchových tokoch, pričom sa zvýšil najmä počet sledovaných profilov na menších tokoch s plochou povodia menej ako 100 km<sup>2</sup>. Dnes máme k dispozícii viac ako 270 povodí s hydrologickým pozorovaním s plochou menšou ako 150 km<sup>2</sup> (Solín a Grešková 1999). Problém je v získaní údajov o veľkosti prietoku z horných častí povodí, kde sa vodomerné stanice spravidla nenachádzajú. Na nižšie ležiacich staniách môžu byť zaznamenané už len niekoľkonásobne nižšie N-ročné prietoky, avšak ničivé následky v horných častiach povodí dokazujú často prechod 50-100 a viacročných povodňových prietokov. V čase povodní nie sú zriedkavé ani prípady, kedy rozsah merateľných prietokov je prekročený, alebo je znemožnený prístup k vodomerným staniám a ďalší vývoj musí byť odhadovaný. Pre autochtónne toky, odvodňujúce malé povodia, je často charakteristický prudký vzostup hladín a veľmi rýchly prechod povodňovej vlny. Prechod povodňovej vlny môže trvať iba niekoľko hodín, v dôsledku čoho údaje o maximálnych priemerných denných, ako aj maximálnych priemerných mesačných prietokoch nezachytávajú kulmináciu, značne ju skresľujú a nie sú postačujúce. Vrchol povodňovej vlny presne popisuje maximálny denný prietok s udaním dňa a hodiny výskytu kulminácie. Údaje o maximálnych prietokoch ( $Q_{\max}$ ) za roky 1997, 1998, 1999 sme získali z Hydrologických ročeniek SHMÚ (časť Povrchové vody) za príslušné roky, ako aj z ďalších publikovaných materiálov uvedených v zozname literatúry. Domnievame sa, že hydroklimatické situácie počas povodní v rokoch 1997-1999 boli už podrobne vyhodnotené, a preto sme sa zamerali iba na najrelevantnejšie skutočnosti a súvislosti.

### Hydroklimatická situácia v júli 1997

Júl 1997 bol mimoriadne bohatý na zrážky. V pohraničných oblastiach Kysúc, Oravy a v Tatrách dosiahli mesačné zrážkové úhrny viac ako 400 mm (Faško et al. 1998). Najvýdatnejšie zrážky spadli najmä medzi 5. a 9. júlom a medzi 17. a 22. júlom. Začiatkom júla počas piatich dní najbohatších na zrážky napršalo napr. v Čadci 150 mm a v Zborove nad Bystricou na Kysuciach až 192 mm zrážok. Denné 24-hodinové úhrny zrážok dosahovali v niektorých regiónoch hodnoty nad 100 mm a čo je dôležité, boli zaznamenané niekoľko dní po sebe. Maximálny denný úhrn zrážok za rok 1997, ktorý dosiahol hodnotu 124,5 mm, sa vyskytol 7. júla v Borinke. Celkové mesačné úhrny zrážok v júli dosiah-

li najvyššie hodnoty v Borinke 351 mm, v Skalitom na Kysuciach 357 mm a na Skalnatom plese 418 mm (Faško 1997). V prvej júlovej dekáde bola zrážkami zasiahnutá najmä oblasť Malých Karpát, Bielych Karpát, Javorníkov, Slovenských Beskýd, Malej Fatry a Tatier. Faktom je, že podpriemerné zrážky v predchádzajúcich mesiacoch (od októbra 1996 do júna 1997) vytvorili podmienky pre dobrú absorpciu zrážok spadnutých začiatkom júla. Prevažne slabá nasýtenosť povodí, reprezentovaná orientačným indexom predchádzajúcich zrážok, sa pohybovala od 4,6 pre povodie Bodrogu po 41,6 pre povodie Hrona (Hajtášová a Pastirčák 1998). Koncom druhej dekády júla sa vyskytli opäť výdatné zrážky, ktoré však nedosiahli úroveň z prvej dekády, ale napriek tomu už vo vodou presýtených povodiach spôsobili nemalé problémy. Následkom extrémnych zrážok boli zaznamenané rozsiahle a dlhotrvajúce povodne vo viacerých oblastiach Slovenska.

Časové a priestorové rozloženie zrážok sa odrazilo aj v rozdelení odtoku počas roka. Najväčšie priemerné mesačné prietoky sa vyskytli v júli a na viac ako štvrtine vodomerných profilov bol zaznamenaný kulminálny prietok vyšší ako dvojročný (Matoková 1998). Napriek tomu, že v príspevku sa zameriavame na malé povodia autochtónnych tokov, spomenieme aspoň rámcovo mimoriadne veľkú a v mnohom atypickú povodeň na Morave a Dunaji, ktorej pôvod bol mimo nášho územia. Hoci na našom území neboli júlové povodne zďaleka tak katastrofálne ako v susednej Českej republike a Poľsku, pri vstupe Moravy na slovenské územie presiahli prietoky hodnotu 100-1000-ročného prietoku. Pribeh povodňovej vlny na Morave bol tvorený dvoma netypickými zrezanými vrcholmi (Blaškovičová 1997) s kulmináciami hodnotami v stanici Kopčany  $671,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (14.7.) a  $600,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (22.7.). Relatívne nízkymi prietokmi na toku Dyje, regulovanými vhodnou manipuláciou na vodnej nádrži Nové Mlýny, a v dôsledku zaplavenia rozľahlých plôch v okolí hlavného toku Moravy na moravskom území nemala povodeň na slovenskom úseku tak ničivý charakter ako v hornej časti povodia. Charakteristické pre túto povodeň boli však dlhodobé mimoriadne vysoké vodné stavy a extrémne prietoky, ktoré sa udržali viac ako 20 dní. Atypický priebeh povodne vylúčil využitie poznatkov o očakávaných prietokoch a o dobách postupu prietokových vln získaných pri predchádzajúcich povodniach.

Z prítokov Moravy v slovenskej časti povodia boli najvýznamnejšie kulminácie prietoky dosiahnuté v Sobotišti na Teplici ( $51,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) a v Lopašove na Chvojnici ( $24,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) s významnosťou 100 rokov. V Myjave na rieke Myjave dosiahli maximálne prietoky ( $23,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) hodnotu 20-ročného prietoku. Taktiež kulminálny prietok Stupavského potoka v Borinke dosiahol hodnotu 10-20-ročného prietoku (Škoda et al. 1997). Na našom najväčšom alochtónnom toku Dunaji sa vytvorili v júli dve povodňové vlny. Prvá vlna dosiahla v Bratislave vrchol 9.7. pri kulmináčnom prietoku  $7432 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , druhá kulminovala 21. júla pri prietoku  $7348 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Z dlhodobého hľadiska nebola natoľko významná, podľa významnosti kulmináčného prietoku bola 13. v poradí od roku 1892 (Kunsch et al. 1998). Z autochtónnych tokov v povodí Dunaja najvyššie prietoky dosiahli potoky stekajúce zo svahov Malých Karpát, najmä Pezinský potok s významnosťou 20-50-ročného prietoku a Šúrsky kanál s významnosťou 50-100-ročného prietoku. Vydrica pri Červenom moste dosiahla päť až desaťročný prietok (Blaškovičová 1997).

Na hornom úseku Váhu sa vytvorili kulmináčnejšie prietoky na úrovni dvojročného prietoku. Výrazná povodňová situácia sa vytvorila na niektorých jeho prítokoch, najmä pravostranných. Povodňová situácia bola najzložitejšia v povodí Kysuce a Rajčianky, kde kulmináčnejšie prietoky dosiahli významnosť 20-50-ročných prietokov. Na tokoch východného Slovenska sa kulminácie s väčšou významnosťou vyskytli prevažne v prvej júlovej dekáde, významnejšie boli zaznamenané v povodí Popradu, Dunajca a Torysy. Napriek tomu, že na Toryse v Sabinove a v Prešove boli dosiahnuté „iba“ 5-ročné prietoky, na hornom toku mala povodeň dramatický priebeh. Najničivejším účinkom sa prejavila 10. a 11. júla v obci Tichý Potok, kde sa potvrdilo, že aj pri nižších N-ročných prietokoch (v Tichom Potoku to bol prietok len o málo vyšší ako ročný prietok) môžu vzniknúť veľké škody pri vytvorení prekážky v toku. Ničivá povodeň sa prejavila aj v povodí Olšavického potoka, kde jej účinky boli znásobené rozsiahlou plošnou eróziou pôdy na okolitých poľnohospodárskych plochách. Povodňami neboli takmer zasiahnuté stredné a dolné časti povodia Hrona, Slanej a povodie Ipľa. V týchto povodiach len málo pozorovacích staníc v horných častiach povodia zaznamenalo kulmináčnejšie prietoky na úrovni dvoj- až päťročného prietoku, ktoré sa vyskytli zväčša v druhej polovici júla.

Charakter a priebeh povodní v júli 1997 v zasiahnutých malých povodiach svedčí o tom, že zjavne išlo o povodne vyvolané vysokými zrážkovými úhrnmi, ktoré nemohli byť zadržané povodím v mieste ich výskytu. Prirodzené retenčné podmienky povodí nestačili na dostatočné zadržanie enormných zrážok spadnutých v krátkom časovom úseku a ich postupné uvoľňovanie. Schopnosť krajiny zadržať zrážky vzhľadom na značnú nasýtenosť vodou bola minimálna, došlo k rýchlemu plošnému odtoku z územia do recipientov a vo vývoji prietokov nastal prudký vzostup.

### Hydroklimatická situácia v roku 1998

Čo sa týka atmosferických zrážok a teplôt, v tomto roku sa na Slovensku znamenali viaceré extrémne. Vysoké ročné úhrny zrážok (nad dlhodobým normálom) boli namerané na krajnom západe, na juhu a východe Slovenska, v Tatrách a na hornom Spiši. Na juhovýchode Východoslovenskej nížiny dosiahli ročné úhrny zrážok až 150 % dlhodobého priemeru (Faško a Lapin 1998b). Vrchol bohatej zrážkovej činnosti na východnom Slovensku bol zaznamenaný opäť v júli, na západnom a strednom Slovensku pršalo výdatne až v septembri a v októbri. Zrážky spadnuté počas prudkých búrok v roku 1998 mali také regionálne obmedzenie, že mnohé neboli zaregistrované zrážkomernými stanicami. Nasvedčuje tomu aj fakt, že v roku 1998 nebol zaznamenaný v sieti zrážkomerných staníc ani jeden denný úhrn zrážok vyšší ako 100 mm, no napriek tomu v oblastiach, kde sa vyskytli lokálne prívalové povodne, boli spätne rekonštruované zrážkové úhrny prekračujúce túto hodnotu (Svoboda a Pekárová 1998).

Extrémne výdatné zrážky, ktoré v júli zasiahli oblasť Šarišskej vrchoviny, Bachurne a Braniska, spôsobili prudké zvýšenie vodných stavov na miestnych tokoch. Najviac bolo postihnuté povodie rieky Malej Svinky. V priestore nad pramennou oblasťou Malej Svinky a Dubovického potoka 20. júla spadli zrážky s celkovým predpokladaným úhrnom 100-130 mm. Jadro mimoriadne silnej búrky, ktorá trvala cca 1,5 až 2 hodiny, zasiahlo hornú časť povodia Malej Svinky, Renčišovského a Dubovického potoka, kde bol prudký nástup narasta-

nia povodňovej vlny v koryte spozorovaný už po pol hodine od začiatku prietruže mračien (Majerčáková a Škoda 1998). Kulminačné prietoky v hornej časti povodia Malej Svinky dosahovali hodnotu 1000-ročných prietokov. Pre Malú Svinku v profile Renčišov, nad ústím Renčišovského potoka bol pracovníkmi SHMÚ rekonštruovaný a odhadnutý maximálny kulminačný prietok na  $90 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a pre Renčišovský potok pri zaústení do Malej Svinky na  $95 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Podobná situácia bola aj v susednom povodí Dubovického potoka, kde bol odhadnutý maximálny kulminačný prietok nad obcou Dubovica na  $120 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a v profile pri zaústení do Torysy na  $160 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . V nižšie ležiacich vodomerných staniciach Svinka – Bzenov a Svinka – Ličartovce boli zaznamenané kulminačné prietoky s významnosťou 200-ročného prietoku (Blaškovičová a Varjúová 1999) a na nižšie ležiacich hydroprognózných staniciach na Hornáde a Toryse zaznamenali v tom čase iba ročné prietoky.

Tieto údaje nám jasne popisujú lokálny charakter prívalevej povodne a transformáciu prívaleových povodňových prietokov pozdĺž toku. Mesiace september a október boli zrážkovo mimoriadne vlhké, zrážkové úhrny dosiahli na Slovensku 225 a 203 % normálu. Zrážkovo najexponovanejšou oblasťou v októbri a novembri boli Malé Karpaty a juh Východoslovenskej nížiny. Táto bola najviac ohrozená povodňami na alochtónnom Uhu, Latorici a Tise, ktoré však boli vyvolané výdatnými zrážkami v severovýchodnom Rumunsku a v Zakarpatskej Ukrajine v prvej dekáde novembra. Prítoky rieky Moravy dosiahli kulminačné prietoky v októbri pri hodnote dvoj- až päť-ročných prietokov. Na Teplici v Sobotišti bol nameraný 10-20-ročný prietok a v stanici Vydrice – Červený Most bola zaznamenaná kulminácia s hodnotou dvoj- až päť-ročného prietoku.

### Hydroklimatická situácia v roku 1999

Atmosferické zrážky v roku 1999 nám opäť pripravili negatívnu skúsenosť s ich časovou a v lete aj s priestorovou variabilitou. Takmer 40 % ročných zrážok sa vyskytlo v priebehu letných mesiacov jún a júl. Priestorový úhrn zrážok, vypočítaný izohyetovou metódou, dosiahol pre celé územie Slovenska v júni 140 mm, čo predstavuje 163 % júnového dlhodobého normálu a v júli 145 mm, čo predstavuje 161 % júlového dlhodobého normálu (Faško a Lapin 1999). Zrážkovo najexponovanejšou oblasťou v mesiacoch jún a júl bolo relatívne suché južné Slovensko. V jarných mesiacoch po náhlom oteplení, ktoré malo za následok topenie nahromadených rekordných zásob vody v snehu najmä v horných častiach povodí, a po výdatných zrážkach boli zaznamenané marcové povodne najmä na väčších alochtónnych tokoch ako Dunaj, Morava, Uh, Latorica a Tisa, ale aj na Bodve, Hornáde, Toryse, Poprade a Hrone. Povodne na menších autochtónnych tokoch, na ktoré zameriavame našu pozornosť, sa vyskytli koncom júna a v júli v dôsledku intenzívnych zrážok najmä v podhorských oblastiach. Výdatné zrážky búrkového charakteru mali opäť lokálny charakter a izolovaný priestorový rozsah. Koncom júna v dôsledku intenzívnych zrážok začali prudko stúpať prietoky najmä na Chvojnici, Teplici, Myjave, Nitre, Žitave a na prítokoch Váhu, Hrona a Ipľa. Extrémna situácia nastala stretom dvoch povodňových vln v Plášťovciach, kde bol 22. júna zaznamenaný na Litave 1000-ročný prietok a na Krupinici 100-ročný prietok.

Krátko po doznení júnových povodní bola v prvej polovici júla zaznamenaná už tretia vlna povodní na našich tokoch, spôsobená početnými a výdatnými búrkami, ktorá postihla najmä malé vodné toky. Povodia boli relatívne nasýtené predchádzajúcimi zrážkami a silné zrážky v prvej dekáde júla na juhozápadnom Slovensku vyvolali následné záplavy. Počas výdatných búrok boli ojedinále zaznamenané extrémne v denných zrážkových úhrnoch, napr. v Malackách 74 mm, v Modre 83 mm a v Kráľovej pri Senci 106 mm (10. júla). Intenzívne zrážky vyvolali povodne na Suchom potoku v Lozorne, na Stupavke v Borinke a Stupave, na Súrskom kanáli, Stoličnom a Myslenickom potoku. Silné búrky, ktoré zasiahli 13. júla najmä stredné Slovensko, spôsobili vzostup hladín prítokov Hrona a pravostranných prítokov Ipľa. Rozsiahle povodne boli opätovne zaznamenané najmä v povodí Krupinice, Štiavnice a Litavy, kde počas výdatných zrážok búrkového charakteru za šesť dní (7.-12. júla) spadlo až 120-140 mm zrážok, čo predstavovalo 180-200 % mesačného júlového zrážkového normálu (Borsanyi et al. 1999). V Krupine bol zaznamenaný medzi 20. a 21. hodinou 13. júla vzostup hladiny Krupinice o 450 cm a v ten deň boli dosiahnuté opäť 1000-ročné prietoky. V Plášťovciach na Krupinici boli o deň neskôr (14. júla) dosiahnuté 100-ročné prietoky. Výnimočná situácia bola najmä na Krupinici, kde sa v priebehu dvadsiatich dní po dvoch intenzívnych zrážkových epizódach vyskytli povodne na úrovni 100 a viacročného prietoku.

## RIZIKOVÉ FAKTORY VZNIKU POVODNÍ

Nevyhnutným primárnym predpokladom vzniku povodňovej situácie sú atmosferické zrážky, topiaci sa sneh, resp. kombinácia zrážok a topiaceho sa snehu. Rozhodujúce je ich množstvo, intenzita, doba trvania a priestorové rozloženie. Prívalové povodne, známe u nás v posledných rokoch z malých povodí, boli iniciované prívalovými dažďami alebo prietrzou mračen, ktoré patria k extrémnym meteorologickým javom, pri ktorých spadne veľké množstvo zrážok za krátku dobu na relatívne veľmi malú a ostro ohraničenú plochu. Prívalové dažde mimoriadnej intenzity a ostrého priestorového ohraničenia spôsobujú ničivé prívalové náhle povodne (flash floods), ktoré sú charakteristické prudkým nástupom narastania povodňovej vlny v koryte (Majerčáková a Škoda 1998). Postihujú najmä horné úseky tokov, resp. malé toky prevažne horských a podhorských oblastí a ich povodia. V lokalitách, kde spadli v posledných rokoch enormné zrážky, ktoré vyvolali prívalové povodne, sa často nenachádzali zrážkomerné stanice. Keďže ide o javy mimoriadnej intenzity a malého plošného rozsahu, nie je ich spravidla možné postihnúť bodovými meraniami v sieti SHMÚ (Majerčáková a Škoda 1998).

Vznik prívalovej povodne sekundárne ovplyvňujú lokálne, resp. regionálne fyzickogeografické a hydrologické podmienky, ktoré môžu prívalovými dažďami iniciovaný proces ešte akcelerovať alebo stlmiť. Taktiež vplyvom ľudskej činnosti môžu byť ničivé účinky povodne zoslabené, ale aj znásobené. V prvom rade je to stupeň nasýtenia povodia predchádzajúcimi zrážkami tesne pred spadnutím extrémne výdatných zrážok na povodie, ďalšie faktory sú dané tvarom, veľkosťou a morfológiou povodia (nadmorská výška, sklon, orientácia voči svetovým stranám, náveternosť a pod.), hydrogeologickou stavbou, pôdnym a vegetačným krytom, spôsobom využitia krajiny, ako aj inou antropogénnou činnosťou, ktorá znamenala zásah do riečneho systému alebo jeho povodia, resp.

časti povodia. Všetky spomínané faktory sa pritom podieľajú alebo ovplyvňujú celkovú *retenčnú kapacitu povodia*. Retenčná schopnosť krajiny, ako prirodzená schopnosť povodia zadržať vodu a spomaliť jej odtok, môže byť ovplyvnená, zvýšená alebo znížená technickými stavbami, napr. hrádzami, vodnými nádržami, suchými retenčnými nádržami, ale aj spôsobom obhospodarovania a využívania krajiny človekom.

Kombináciou nepriaznivých fyzickogeografických a hydrologických podmienok, ako aj vplyvom antropogénnej činnosti môžu sa vyskytnúť prívalové povodne aj pri podstatne menšej intenzite zrážok ( $\text{mm.h}^{-1}$ ), ktoré sú slabším počiatočným impulzom. To isté platí aj pre zrážky malej intenzity, ale dlhodobejšieho charakteru, ktoré spadnú na územie relatívne nasýtené predchádzajúcimi zrážkami. V súčasnosti sa často diskutuje o antropogénne zníženej retenčnej schopnosti krajiny a v tejto súvislosti aj o zmenách vo využívaní krajiny, najmä v lesnatosti povodia (% pokrytia plochy povodia lesom, vek a hustota porastu, druhová skladba lesov a pod.). Názory odborníkov sa líšia, napr. podľa Majerčákovvej a Škodu (1998) pre jednotlivé dažďové epizódy mimoriadnej intenzity a krátkeho trvania je význam hydrologických funkcií lesa minimálny. Podľa Valtýniho (1998) lesy ovplyvňujú predovšetkým extrémne prietoky ( $Q_{\max}$ ,  $Q_{\min}$ ), ale aj celkové odtčené množstvo vody z povodia. Hoci výsledky doterajšieho lesnícko-hydrologického výskumu nie sú jednoznačné, odborníci sa prevažne zhodujú v tom, že v stredoeurópskych prírodných podmienkach lesy v porovnaní s nezalesneným územím vyrovnávajú prietoky, predovšetkým znižujú maximálne prietoky. Najnovšie výsledky realizovaných výskumov však upozorňujú, že toto môže platiť iba po dosiahnutí úplnej retenčnej kapacity vrchnej vrstvy lesnej pôdy. Pri ďalšom prísune zrážkovej vody, čiže pri úplnom nasýtení lesnej pôdy vodou, môže dôjsť k doteraz nepreskúmanému javu, ktorý zapríčini v určitom časovom intervale väčší odtok z lesa ako z bezlesného územia (Valtýni 1998).

Hodnoty maximálnych odtokov z povodia výrazne ovplyvňuje aj geologická stavba povodia. Skúsenosti z posledných rokov potvrdili, že keď spadnú výdatné zrážky počas prívalových dažďov napr. na flyšový podklad (retenčne málo účinné horniny) s tenkou pôdnou pokrývkou a vysokým sklonom, vytvárajú sa predpoklady pre rýchly plošný odtok dažďových vôd z celého vodou presýteného povrchu a následnú silnú plošnú eróziu, ktorá ešte umocňuje silu prívalovej povodne. Na svahoch v horských a podhorských oblastiach sa aj vplyvom erózných procesov vytvárajú podmienky pre koncentráciu a zrýchľovanie povrchového odtoku a v konečnom dôsledku aj pre zvyšovanie kulminačných prietokov.

Uvedené skutočnosti naznačujú nutnosť ďalšieho výskumu za účelom stanovenia *hydrologickej citlivosti povodí na prívalové dažde a retenčnej kapacity povodí* na základe faktorov, akými sú napr. hydrologická účinnosť hornín, retenčná kapacita vegetačnej (les, kroviny, trávne porasty, atď.) a pôdnej pokrývky, sklony povodia, náveternosť, stupeň nasýtenia povodia predchádzajúcimi zrážkami a pod.

Samostatnú skupinu tvoria *faktory súvisiace s hospodárskou činnosťou človeka*. Sú to jednak antropogénne činnosti prispievajúce k vzniku a ničivému priebehu povodne a potom sú tu protipovodňové opatrenia, ktorými sa človek oddávna snaží zmierniť ničivé účinky záplav a znížiť povodňové riziko. Ktoré sú to a do akej miery podmieňujú zmenu formovania odtoku a ovplyvňujú vznik

a priebeh povodní, nie je predmetom tohoto príspevku. Iba v krátkosti sa zmieni o tých, ktoré prispeli k znásobeniu ničivých účinkov prívalových povodní v posledných rokoch (napr. neprimeraná výstavba a zábery inundačného územia, bariéry, prekážky z množstva unášaného materiálu, ako aj naplaveniny brániace plynulému odtoku vody v koryte). Enormné škody vznikajú často pri vytvorení prekážky na toku, ktorou môže byť napr. strhnutý most (prípád Tichého Potoka v roku 1997), alebo nánosmi upchaté prietokové profily poddimenzovaných premostení (prevažná časť premostení, najmä lávky a prístupové mostíky obyvateľov k domom sú budované v obciach bez potrebných povolení), kedy prúdnicia toku môže byť zmenená a usmernená na objekty infraštruktúry obce. Na základe skúseností z povodní na Malej Svinke a na Dubovickom potoku v roku 1998 vieme, že pretrhnutím prekážok v toku dochádzalo k vzniku série prielomových vln, ktorých energia bola omnoho väčšia, ako by sa dalo očakávať pri povodňových vlnách (Majerčáková a Škoda 1998). Dôležité je zabezpečenie prechodu veľkých vôd, najmä cez obce bez väčších škôd. Na malých tokoch sa riešila protipovodňová ochrana krátkymi úpravami koryta v intravilánoch obcí. V mnohých prípadoch však kapacita prietokového profilu koryt malých tokov a potokov nie je dostatočná na bezpečné odvedenie prívalových vôd. Počas povodní v posledných rokoch došlo k devastácii koryt potokov a riek na mnohých neupravených, ale aj upravených úsekoch. V skutočnosti miesto toho, aby sme povodňové riziko znížili, sme ho v mnohých prípadoch nevhodnými opatreniami, najmä nevhodnou výstavbou v záplavových územiach, ešte zvýšili.

## EVALUÁCIA RELEVANTNÝCH FYZICKOGEOGRAFICKÝCH FAKTOROV

Využitím databázy fyzickogeografických (FG) charakteristík malých povodí (Solín et al. 2000) bol vytvorený predpoklad pre spresnenie poznatkov o vzájomnom vzťahu medzi extrémnymi hydrologickými javmi, akými sú prívalové povodne, a FG charakteristikami povodí, v ktorých sa odohrávajú. Práca s digitálnou sieťou malých povodí (Solín a Grešková 1999) a ich databázou vytvára predpoklad pre mapové vyjadrenie priestorovej variability výskytu povodňových udalostí a následné vyhodnotenie FG charakteristík povodňami postihnutých povodí. Z databázy FG charakteristík malých povodí, ktorá zahŕňa štyri skupiny údajov popisujúcich morfometriu reliéfu, klimatické pomery, substrátovo-pôdne pomery a charakter krajiny pokrývky, sme použili nasledujúce charakteristiky:

### **morfometrické charakteristiky reliéfu**

*maximálna nadmorská výška – ele\_max [m n. m.]*  
*minimálna nadmorská výška – ele\_min [m n. m.]*  
*rozdiel nadmorských výšok (ele\_max–ele\_min) – ele\_rang [m]*  
*priemerná nadmorská výška – ele\_avg [m n. m.]*  
*smerodajná odchýlka výšok – ele\_std [m]*  
*maximálny sklon v smere spádovej krivky – slop\_max [°]*  
*priemerný sklon v smere spádovej krivky – slop\_avg [°]*  
*prevládajúca orientácia voči svetovým stranám*

Údaje o expozícii reliéfu (v stupňoch) boli reklasifikované do ôsmich, resp. štyroch kategórií, charakterizujúcich základné svetové strany. V našej práci sme

zohľadnili štyri základné kategórie, ktoré sú v tabuľke charakterizované percentuálnym podielom plochy svahov s príslušnou expozíciou nasledovne:

*asp\_N90 – pre expozície 316-360° a 0-45° [%]*

*asp\_E90 – pre expozície 46-135° [%]*

*asp\_S90 – pre expozície 136-225° [%]*

*asp\_W90 – pre expozície 226-315° [%]*

### **klimatické charakteristiky**

*priemerný ročný úhrn zrážok – rain\_31-80 [mm.rok<sup>-1</sup>]*

### **charakteristiky substrátu a pôdno-zvetralinového plášťa**

Hydrogeologické vlastnosti geologického substrátu sme vyjadrili tromi charakteristikami. Transmisivita – prietoknosť zvodnenej vrstvy bola charakterizovaná štyrmi stupňami (1 – najvyšší stupeň, 4 – najnižší stupeň). Priepustnosť hornín a priepustnosť pôdno-zvetralinového plášťa bola vyjadrená siedmimi ordinárnymi stupňami (1 – najviac priepustná, 7 – najmenej priepustná).

*priemerná transmisivita – trans\_m [trieda]*

*priemerná priepustnosť horninového prostredia – trans\_g [trieda]*

*priemerná priepustnosť pôdno-zvetralinového prostredia – trans\_s [trieda]*

### **charakteristiky krajiny pokrývky**

Zohľadnené boli jednotlivé charakteristiky krajiny pokrývky malých povodí (vyjadrené v % rozlohy), tak ako boli odvodené z databázy CORINE Land Cover (CLC) (Feranec et al. 1996, Feranec a Oľahel' 1999), ako aj zoskupenia tried do nasledovných skupín:

*urbanizované a technizované areály – LC\_urban [%] (triedy CLC 1xx)*

*areály ornej pôdy – LC\_agric [%] (triedy CLC 211, 242, 243)*

*areály lúk a pasienkov – LC\_grass [%] (trieda CLC 231)*

*areály listnatých lesov – LC\_decid [%] (trieda CLC 311)*

*areály ihličnatých lesov – LC\_conif [%] (trieda CLC 312)*

*areály zmiešaných lesov – LC\_mixf [%] (trieda CLC 313)*

*areály lesov – LC\_forest [%] (triedy CLC 311, 312, 313)*

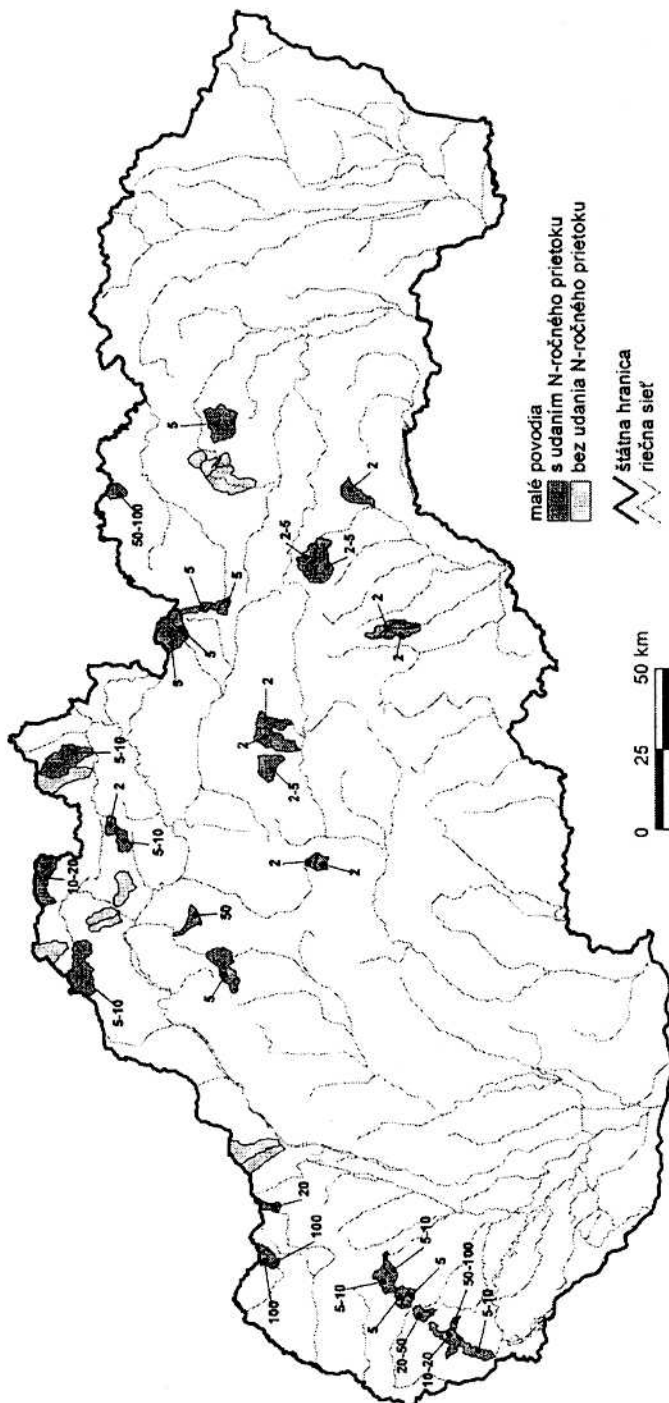
*areály lesov a krovin – LC\_fshrub [%] (triedy CLC 311, 312, 313, 322, 324, 334)*

*areály alpínskych lúk a skalnatého reliéfu – LC\_rocks [%] (triedy CLC 321, 332, 333)*

Ďalej z **geometrických charakteristík povodí** bola uvažovaná

*rozloha – area [km<sup>2</sup>]*

Pre rok 1997 sme analyzovali 45 malých povodí, v ktorých boli zaznamenané povodňové udalosti (obr. 1). Malé povodia boli rozdelené podľa významnosti prítokových povodní a ich povodňových prietokov s určitou N-ročnou významnosťou pôvodne do siedmich, neskôr do deviatich skupín tak, že zo skupiny povodí s výskytom dvoj- až päť-ročných prietokov (Q<sub>2-5</sub>) boli samostatne vyčlenené tri tatranské povodia a zo skupiny povodí s výskytom dvojročných prietokov (Q<sub>2</sub>) boli samostatne vyčlenené tri nízkotatranské povodia, ktoré sa v obidvoch prípadoch značne odlišovali od ostatných povodí v danej skupine. Najväčšiu skupinu (12) tvorili malé povodia, pre ktoré boli zaznamenané povodne bez udania N-ročného prietoku – Q<sub>x</sub> (tab. 1).



Obr. 1. Malé povodia s výskytom povodňových N-ročných prietokov – rok 1997.

**Tab. 1. Priemerné hodnoty vybraných charakteristík malých povodí s výskytom povodňových N-ročných prietokov – rok 1997**

| Charakteristika | Q <sub>50-100</sub> | Q <sub>20-50</sub> | Q <sub>10-20</sub> | Q <sub>5-10</sub> | Q <sub>2-5</sub> | Q <sub>2-5*</sub> | Q <sub>2</sub> | Q <sub>2*</sub> | Q <sub>x</sub> | Spolu |
|-----------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------|------------------|-------------------|----------------|-----------------|----------------|-------|
| Ele min         | 320                 | 323                | 318                | 386               | 458              | 918               | 385            | 512             | 490            | 457   |
| Ele max         | 720                 | 1099               | 839                | 992               | 1093             | 2332              | 1147           | 1914            | 1079           | 1246  |
| Ele rang        | 400                 | 776                | 521                | 606               | 635              | 1414              | 762            | 1402            | 589            | 789   |
| Ele avg         | 500                 | 649                | 510                | 596               | 700              | 1471              | 683            | 1117            | 706            | 770   |
| Slop max        | 34                  | 42                 | 34                 | 40                | 41               | 67                | 46             | 51              | 36             | 43    |
| Slop avg        | 10,6                | 16,3               | 9,5                | 12                | 13               | 22,4              | 16             | 22,8            | 12             | 14,9  |
| Asp n90         | 20                  | 24                 | 21                 | 24                | 26               | 17                | 20             | 12              | 19             | 20    |
| Asp e90         | 27                  | 22                 | 22                 | 25                | 28               | 21                | 34             | 26              | 27             | 26    |
| Asp s90         | 30                  | 23                 | 26                 | 29                | 29               | 35                | 24             | 38              | 28             | 29    |
| Asp w90         | 23                  | 31                 | 31                 | 22                | 17               | 27                | 22             | 24              | 26             | 25    |
| Rain 31-80      | 812                 | 1002               | 890                | 954               | 901              | 1469              | 1032           | 1394            | 887            | 1038  |
| Trans m         | 4                   | 4                  | 4                  | 4                 | 3                | 3                 | 3              | 3               | 3              | 3,4   |
| Trans g         | 7                   | 6                  | 7                  | 6                 | 5                | 5                 | 5              | 6               | 5              | 5,8   |
| Trans s         | 6                   | 3                  | 6                  | 5                 | 4                | 2                 | 4              | 2               | 5              | 4     |
| Lc urban        | 3,2                 | 1,9                | 7,9                | 7,2               | 1,9              | 3,4               | 3              | 2,7             | 3,5            | 3,8   |
| Lc agric        | 19,2                | 7,4                | 31,6               | 24                | 22               | 5,9               | 18             | 5,8             | 32,6           | 18,5  |
| Lc grass        | 14                  | 0                  | 3,2                | 4,5               | 7,7              | 1,3               | 6              | 2,9             | 8,6            | 5,3   |
| Lc decid        | 44                  | 57                 | 33,5               | 33                | 32               | 0                 | 36             | 3,8             | 7,5            | 27,4  |
| Lc conif        | 8                   | 9,7                | 12,1               | 24                | 21               | 38                | 18             | 21,8            | 35,8           | 20,9  |
| Lc mixf         | 2                   | 18,7               | 4,4                | 4                 | 12               | 0                 | 17             | 39,4            | 8,2            | 11,6  |
| Lc fshrub       | 58                  | 90                 | 57                 | 64                | 68               | 53                | 72             | 72              | 55             | 65,4  |
| Lc rocks        | 0,7                 | 0,8                | 0,7                | 0                 | 0,4              | 35,7              | 0              | 12              | 0              | 5,6   |
| Lc forest       | 54                  | 85,4               | 50                 | 61                | 65               | 38                | 71             | 65              | 51,5           | 60    |
| Area            | 14,6                | 22,6               | 29,7               | 58,8              | 41,5             | 36,6              | 24,6           | 45,5            | 37,9           | 34,6  |

Q<sub>2-5\*</sub> – tatranské povodia, Q<sub>2\*</sub> – nízkotatranské povodia, Q<sub>x</sub> – bez udania N-ročnosti

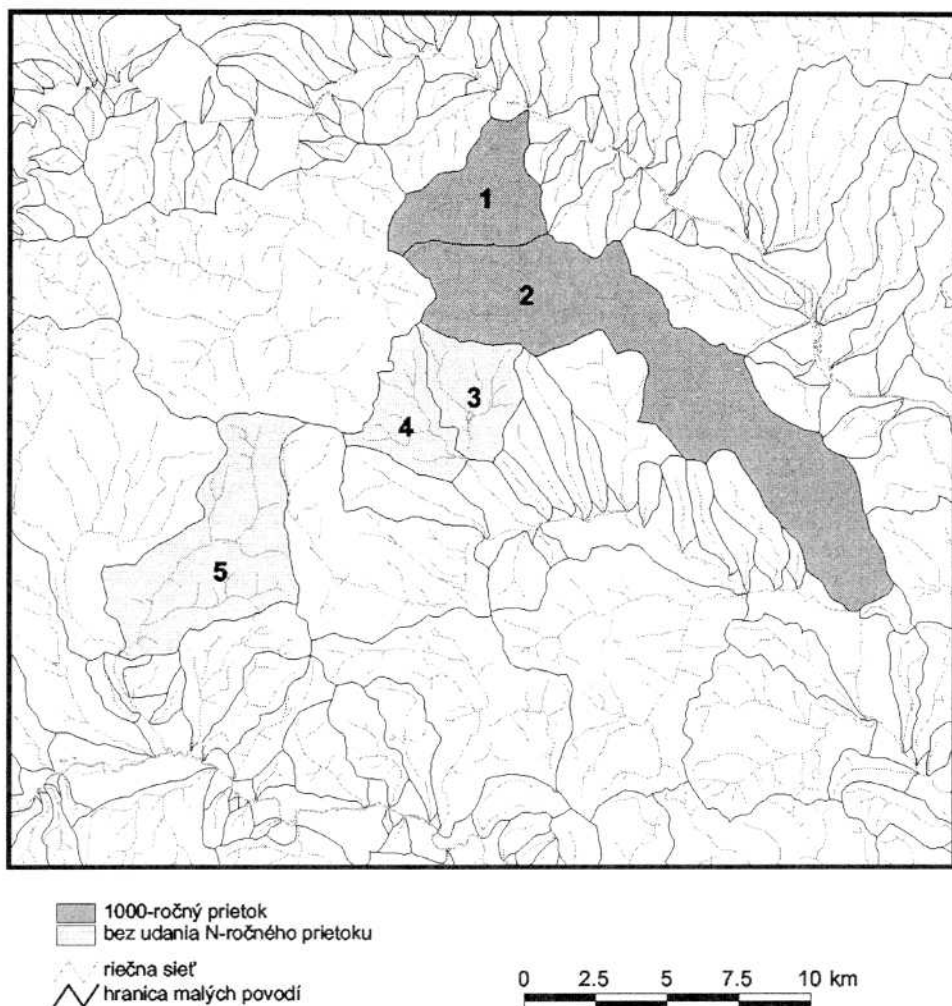
Celkovo pre všetky malé povodia je charakteristická pomerne vysoká hodnota priemernej nadmorskej výšky (ele\_avg = 770 m n.m.) a vysoké hodnoty rozdielu maximálnej a minimálnej nadmorskej výšky (ele\_rang = 789 m). Vysoké sú aj hodnoty maximálnych sklonov v smere spádovej krivky (slop\_max = 43°)

a priemerných sklonov v smere spádovej krivky ( $slop\_avg = 14,9^\circ$ ). Čo sa týka morfometrických charakteristík, najvyššie hodnoty boli preukázané v skupine samostatne vyčlenených tatranských a nízkotatranských povodí. Z hľadiska prevládajúcej expozície svahov (charakterizovanej percentuálnym podielom plochy svahov s príslušnou expozíciou) sa uplatnili zostupne južné ( $asp\_S90 = 29\%$ ), východné ( $asp\_E90 = 26\%$ ), západné ( $asp\_W90 = 25\%$ ) a severné ( $asp\_N90 = 20\%$ ). Pre hodnotenú skupinu malých povodí je charakteristická vysoká priemerná ročná hodnota úhrnu zrážok za referenčné obdobie 1931-1980 ( $rain\_31 - 80 = 1038 \text{ mm.rok}^{-1}$ ). Najvyššie zrážkové úhrny, prepočítané na plochu povodia, boli stanovené pre tatranské ( $1469 \text{ mm.rok}^{-1}$ ) a nízkotatranské ( $1394 \text{ mm.rok}^{-1}$ ) povodia. Priemerný zrážkový úhrn na území SR dosiahol v roku 1997 hodnotu  $756 \text{ mm}$ , čo predstavuje  $99\%$  normálu (Hydrologická ročenka 1997). Zrážky za rok 1997 neboli zatiaľ predmetom digitálneho spracovania, ktoré by umožnilo stanovenie zrážkového úhrnu pre každé povodie za rok, resp. za jednotlivé mesiace. Hodnoty transmisivity predstavujú triedy tri a štyri, čo sú najnižšie stupne prietochnosti zvodnenej vrstvy. Taktiež hodnoty priepustnosti horninového prostredia ( $trans\_g$ ), reprezentované triedami päť, šesť a sedem, svedčia o prevahe málo až najmenej priepustných hornín. Priepustnosť pôdno-zvetralinového plášťa ( $trans\_s$ ) nadobúda vyššie hodnoty najmä v skupine tatranských a nízkotatranských povodí a celkovo ju môžeme charakterizovať ako stredne priepustnú.

Jednotlivé charakteristiky krajiny pokrývky malých povodí boli vyjadrené v  $\%$  plochy povodia. Najnižšie percento plochy malých povodí zaberajú urbanizované a technizované areály ( $LC\_urban = 3,8\%$ ), areály lúk a pasienkov ( $LC\_grass = 5,3\%$ ) a areály alpínskych lúk a skalnatého reliéfu ( $LC\_rocks = 5,6\%$ ). Areály alpínskych lúk a skalnatého reliéfu zaberajú však významný podiel plochy ( $35,7\%$ ) tatranských povodí. Areály ornej pôdy zaberajú menej ako jednu pätinu ( $LC\_agric = 18,5\%$ ) celkovej plochy povodí. Významnejšie sa podieľajú na ploche povodí s 10-20-ročným prietokom ( $31,6\%$ ) a v prípade malých povodí bez udania N-ročného prietoku ( $32,6\%$ ). V celkovom priemere zaberajú areály lesov a krovín ( $LC\_fshrub$ )  $65,4\%$ , z toho areály lesov ( $LC\_forest$ ) až  $60\%$  plochy povodí. Výrazne najväčšiu plochu zaberajú areály lesov a krovín ( $90\%$ ) a areály lesov ( $85,4\%$ ), z ktorých podstatná časť pripadá na listnaté lesy ( $LC\_decid = 57\%$ ) v skupine povodí s výskytom 20-50-ročných povodňových prietokov ( $Q_{20-50}$ ). Najvyššie percento výskytu ihličnatých lesov vykazujú tatranské povodia ( $LC\_conif = 38\%$ ). Areály zmiešaných lesov pokrývajú najväčšiu časť nízkotatranských povodí ( $LC\_mixf = 39,4\%$ ).

Z povodňových udalostí v roku 1998 sme sa zamerali na najkritickejšiu oblasť, a to na hornú časť povodia Malej Svinky a jej okolia (obr. 2). Analyzovali sme päť malých povodí, z ktorých v dvoch boli zaznamenané 1000-ročné prietoky (Malá Svinka s Renčišovským potokom – povodie Hornádu a Dubovický potok – povodie Torysy) a v troch povodňové udalosti bez následného stanovenia N-ročného prietoku (tab. 2).

Charakteristiky analyzovaných piatich povodí sú veľmi podobné, malé rozdiely nachádzame v podiele poľnohospodársky využívaných areálov a lesných areálov. Celkovo pre dané malé povodia je charakteristická priemerná nadmorská výška  $ele\_avg = 648 \text{ m n.m.}$  a hodnota rozdielu maximálnej a minimálnej nadmorskej výšky  $ele\_rang = 656 \text{ m}$ . Vysoké hodnoty nadobúdajú maximálne



Obr. 2. Malé povodia s výskytom povodňových N-ročných prietokov v povodí Hornádu a Torisy – rok 1998.

1 – povodie Dubovického potoka, 2 – povodie Malej Svinky s Renčišovským potokom, 3 – povodie Lipovca, 4 – povodie Kopytovského potoka, 5 – povodie Braniska a Žehrice.

sklony v smere spádovej krivky ( $\text{slop\_max} = 42^\circ$ ) a priemerné sklony v smere spádovej krivky ( $\text{slop\_avg} = 13,6^\circ$ ). Z hľadiska prevládajúcej expozície svahov sa uplatnili zostupne východné ( $\text{asp\_E90} = 30\%$ ), južné ( $\text{asp\_S90} = 25\%$ ), severné ( $\text{asp\_N90} = 23\%$ ) a západné ( $\text{asp\_W90} = 22\%$ ). Pre hodnotenú skupinu malých povodií je charakteristická vysoká priemerná ročná hodnota úhrnu zrážok za referenčné obdobie 1931-1980 ( $\text{rain\_31-80} = 708 \text{ mm.rok}^{-1}$ ). Priemerný úhrn zrážok na území SR dosiahol v roku 1998 hodnotu 880 mm, čo predstavuje 116 % normálu (Hydrologická ročenka 1998). Zrážkové úhrny za rok 1998

boli pre danú oblasť vyhodnotené vyššie (viď hydroklimatická situácia v roku 1998). Hodnoty transmisivity reprezentujú triedy tri a štyri, čo svedčí o nízkom stupni prietochnosti zvodnených vrstiev. Hodnoty priepustnosti horninového prostredia ( $trans\_g = 3 - 4$ ) a pôdno-zvetralinového plášt'a ( $trans\_s = 4$ ) nado-  
búdajú strednú hodnotu.

**Tab. 2. Priemerné hodnoty vybraných charakteristík malých povodí s výskytom povodňových N-ročných prietokov – rok 1998**

| Charakteristika | $Q_{1000}$ | $Q_x$ | Spolu |
|-----------------|------------|-------|-------|
| Ele min         | 353        | 464   | 420   |
| Ele max         | 1049       | 1093  | 1076  |
| Ele rang        | 696        | 629   | 656   |
| Ele avg         | 587        | 688   | 648   |
| Slop max        | 40         | 44    | 42    |
| Slop avg        | 11,1       | 15,2  | 13,6  |
| Asp n90         | 32         | 14    | 23    |
| Asp e90         | 32         | 28    | 30    |
| Asp s90         | 21         | 29    | 25    |
| Asp w90         | 16         | 28    | 22    |
| Rain 31-80      | 710        | 707   | 708   |
| Trans m         | 4          | 3     | 3,5   |
| Trans g         | 4          | 3     | 3,5   |
| Trans s         | 4          | 4     | 4     |
| Lc urban        | 4,2        | 2,9   | 3,5   |
| Lc agric        | 42         | 32    | 37    |
| Lc grass        | 10         | 11    | 10,5  |
| Lc decid        | 7          | 3     | 5     |
| Lc conif        | 14         | 34    | 24    |
| Lc mixf         | 15         | 14    | 14,5  |
| Lc fshrub       | 43         | 53    | 48    |
| Lc rocks        | 0          | 0,3   | 0,2   |
| Le forest       | 35         | 51    | 43    |
| Area            | 38,4       | 17,8  | 28,1  |

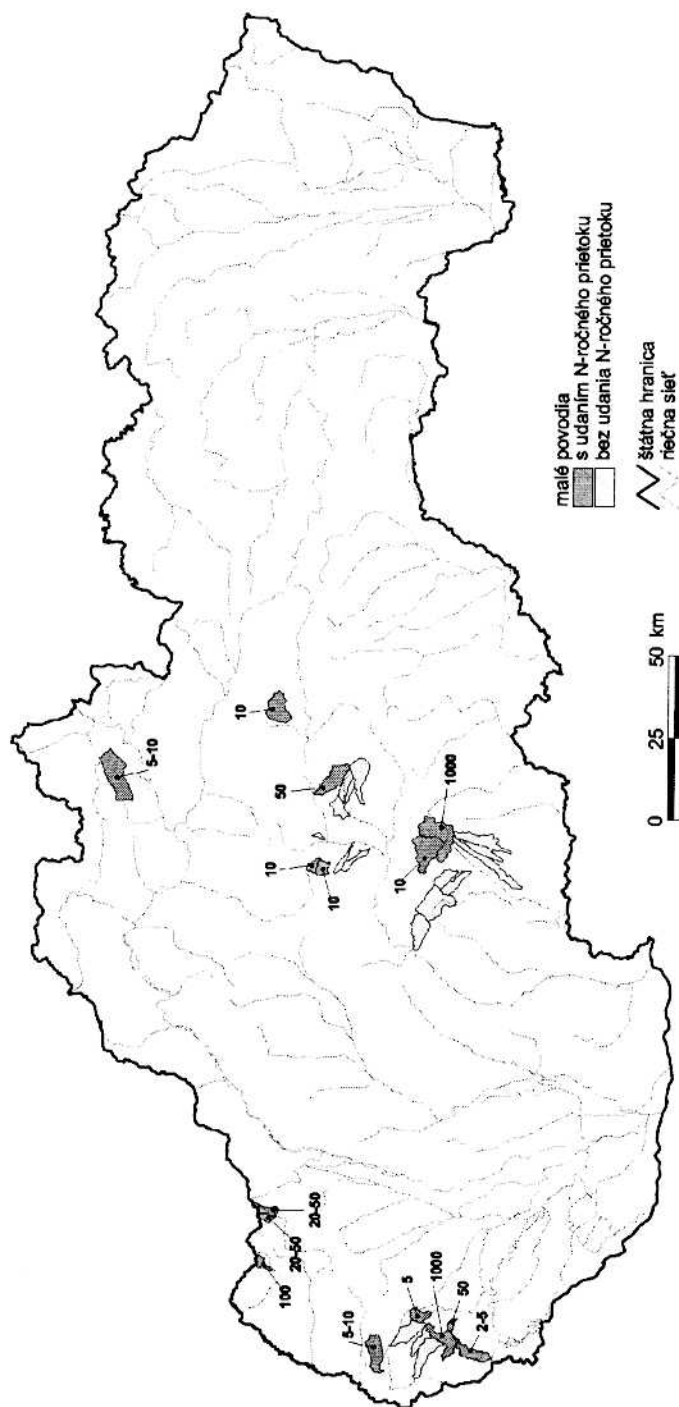
Čo sa týka jednotlivých charakteristík krajinej pokrývky malých povodí, najnižšie percento plochy zaberajú areály alpínskych lúk a skalnatého reliéfu ( $LC\_rocks = 0,2 \%$ ) a urbanizované a technizované areály ( $LC\_urban = 3,5 \%$ ),

nasledujú lúky a pasienky (LC\_grass = 10,5 %). Areály ornej pôdy (LC\_agric) predstavujú v priemere 37 % celkovej plochy povodí. Tento údaj však znižuje povodie Kopytovského potoka, kde zastúpenie ornej pôdy dosahuje iba 2,3 % plochy. Toto povodie sa vyznačuje prevahou lesov a krovín, ktoré sa rozprestierajú na 88 % plochy povodia, z čoho tvoria lesy 86 % a v rámci nich prevažujú ihličnaté lesy (LC\_conif = 58 %), nasledujú zmiešané lesy (LC\_mixf = 25,9 %) a listnaté lesy (LC\_decid) pokrývajú iba 2,3 % plochy povodia. Areály lesov a krovín (LC\_fshrub) zaberajú v priemere 48 % plochy všetkých povodí, z toho areály lesov (LC\_forest) 43 %. Na lesnej ploche sa 24 % podieľajú ihličnaté lesy, 14,5 % zmiešané lesy a 5 % listnaté lesy.

Pre rok 1999 sme analyzovali 31 malých povodí, v ktorých boli zaznamenané povodňové udalosti (obr. 3). Malé povodia boli rozdelené podľa významnosti prítokových povodní a ich povodňových prietokov s určitou N-ročnou významnosťou do šiestich skupín. Najväčšiu skupinu (16) tvorili malé povodia, pre ktoré boli povodne vyhodnotené bez udania N-ročného prietoku – Q<sub>x</sub> (tab. 3).

Celkovo je pre skúmané malé povodia charakteristická hodnota priemernej nadmorskej výšky (ele\_avg) 547 m n.m. a hodnota rozdielu maximálnej a minimálnej nadmorskej výšky (ele\_rang) 579 m. Hodnoty maximálnych sklonov v smere spádovej krivky sú pomerne vysoké (slop\_max = 36°) a priemerné sklonov v smere spádovej krivky (slop\_avg) dosahujú hodnotu 10,6°. Najvyššie hodnoty morfometrických charakteristík boli preukázané v skupine malých povodí, kde povodňové prietoky dosiahli hodnotu päť až desať-ročných prietokov. Z hľadiska prevládajúcej expozície svahov sa uplatnili zostupne západné (asp\_W90 = 28 %), južné (asp\_S90 = 26 %), východné (asp\_E90 = 25 %) a severné (asp\_N90 = 21 %). Priemerná ročná hodnota úhrnu zrážok za referenčné obdobie rokov 1931-1980 (rain\_31-80) bola pre hodnotenú skupinu malých povodí 859 mm.rok<sup>-1</sup>, pričom najvyššie zrážkové úhrny za toto obdobie boli stanovené pre povodia, v ktorých bol dosiahnutý päť až desať-ročný prietok (1053 mm. rok<sup>-1</sup>). Zrážkový úhrn za rok 1999 pre celé územie SR dosiahol hodnotu 789 mm, čo predstavuje 104 % normálu (Hydrologická ročenka 1999). Pre všetky povodia hodnotu transmisivity reprezentuje trieda tri, hodnotu priepustnosti horninového prostredia (trans\_g) a priepustnosti pôdno-zvetralinového plášťa (trans\_s) reprezentuje trieda päť, čo nasvedčuje o prevahe málo priepustných hornín.

Zastúpenie jednotlivých charakteristík krajinej pokrývky malých povodí poukazuje na fakt, že najnižšie percento plochy malých povodí zaberajú areály alpínskych lúk a skalnatého reliéfu (LC\_rocks = 1 %), urbanizované a technizované areály (LC\_urban = 4,8 %) a areály lúk a pasienkov (LC\_grass = 5,7 %). Areály ornej pôdy zaberajú viac ako jednu štvrtinu (LC\_agric = 28,4 %) celkovej plochy povodí. Významnejšie sa podieľajú na ploche povodí v skupine bez udania N-ročného prietoku (34,2 %). V celkovom priemere podstatnú časť povodí zaberajú areály lesov a krovín (LC\_fshrub = 59,4 %), z toho areály lesov (LC\_forest) 55,6 %, pričom výrazne prevažujú listnaté lesy (LC\_decid) s 35 %. Najväčšiu plochu zaberajú areály lesov a krovín (88 %) a areály lesov (83,5 %), z ktorých podstatná časť pripadá na listnaté lesy (LC\_decid = 82,7 %) v skupine povodí s výskytom dvoj- až päť-ročných povodňových prietokov (Q<sub>2-5</sub>). Najnižšie percento pokrytia z lesných porastov všetkých skupín povodí vykazujú areály ihličnatých (9,3 %) a areály zmiešaných lesov (11,3 %).



Obr. 3. Malé povodia s výskytom povodňových N-ročných prietokov – rok 1999.

**Tab. 3. Priemerné hodnoty vybraných charakteristík malých povodí s výskytom povodňových N-ročných prietokov – rok 1999**

| Charakteristika | Q <sub>1000</sub> | Q <sub>50-100</sub> | Q <sub>20-50</sub> | Q <sub>5-10</sub> | Q <sub>2-5</sub> | Q <sub>x</sub> | Spolu |
|-----------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|----------------|-------|
| Ele min         | 278               | 292                 | 305                | 410               | 187              | 299            | 308   |
| Ele max         | 834               | 571                 | 857                | 1094              | 651              | 886            | 887   |
| Ele rang        | 556               | 279                 | 552                | 684               | 464              | 587            | 579   |
| Ele avg         | 545               | 439                 | 528                | 678               | 398              | 538            | 547   |
| Slop max        | 37                | 27                  | 36                 | 41                | 36               | 39             | 36    |
| Slop avg        | 9,2               | 9,5                 | 10,8               | 12,8              | 11,5             | 10,2           | 10,6  |
| Asp n90         | 26                | 19                  | 14                 | 20                | 14               | 22             | 21    |
| Asp e90         | 17                | 25                  | 33                 | 31                | 26               | 21             | 25    |
| Asp s90         | 24                | 29                  | 29                 | 25                | 30               | 26             | 26    |
| Asp w90         | 33                | 27                  | 24                 | 24                | 30               | 31             | 28    |
| Rain 31-80      | 843               | 761                 | 828                | 1053              | 834              | 838            | 859   |
| Trans m         | 3                 | 4                   | 3                  | 3                 | 4                | 3              | 3     |
| Trans g         | 5                 | 7                   | 5                  | 4                 | 6                | 4              | 5     |
| Trans s         | 5                 | 7                   | 5                  | 3                 | 3                | 5              | 5     |
| Lc urban        | 1,6               | 0                   | 10,6               | 4,6               | 11,5             | 2,8            | 4,8   |
| Lc agric        | 25,3              | 2,9                 | 30                 | 26                | 0,5              | 34,2           | 28,4  |
| Lc grass        | 2,5               | 13,8                | 4,5                | 4,7               | 0                | 7,1            | 5,7   |
| Lc decid        | 58                | 71,7                | 30,7               | 20                | 82,7             | 30             | 35    |
| Lc conif        | 0                 | 0                   | 8,8                | 17                | 0                | 10             | 9,3   |
| Lc mixf         | 4                 | 0                   | 7,1                | 21                | 0,8              | 12,3           | 11,3  |
| Lc fshrub       | 70                | 80,5                | 51                 | 61                | 88               | 55             | 59,4  |
| Lc rocks        | 1                 | 2,9                 | 0                  | 3                 | 0                | 0              | 1     |
| Lc forest       | 62                | 71,7                | 46,6               | 58                | 83,5             | 52,3           | 55,6  |
| Area            | 55,5              | 10,5                | 29,2               | 35,1              | 25,3             | 26,7           | 30,4  |

Proces, ktorým sme dospeli k prezentovaným výsledkom, vedie k určitému zovšeobecneniu. Pre všetky malé povodia (s priemernou rozlohou 28-35 km<sup>2</sup>), v ktorých nastali povodňové udalosti v rokoch 1997-1999, sú charakteristické vysoké hodnoty morfometrických charakteristík, najmä priemernej nadmorskej výšky, rozdielu maximálnej a minimálnej nadmorskej výšky, maximálneho sklonu v smere spádovej krivky a priemerných sklonov v smere spádovej krivky. Rozhodujúce sú vysoké, často až rekordné zrážkové úhrny predchádzajúce

alebo sprevádzajúce prívalové povodne. Čiastočne neznámou, ale veľmi dôležitou charakteristikou je stupeň nasýtenia malých povodí predchádzajúcimi zrážkami, ako aj celková retenčná kapacita povodí. Povodia sú charakterizované najnižšími stupňami prietochnosti zvodnených vrstiev, malou priepustnosťou horninového prostredia a stredne priepustným pôdno-zvetralinovým plášťom. Jednotlivé charakteristiky krajiny pokrývky malých povodí vyjadrené v percentách plochy povodia poukazujú na významný podiel areálov lesov a krovín (60 % a viac) a z toho areálov lesov (55 % a viac) v povodiach, v ktorých boli zaznamenané prívalové povodne v rokoch 1997 a 1999. Pre lesný porast je typická prevaha listnatých lesov. Pre malé povodia v oblasti horného toku Malej Svinky a jej okolia s výskytom prívalových povodní v roku 1998 (s výnimkou povodia Kopytovského potoka, ktoré na 86 % pokrýva les) je typický významný podiel ornej pôdy (až 45 %); lesy pokrývajú v priemere iba 34 % plochy povodí, pričom prevažujú ihličnaté lesy nad listnatými a zmiešanými. Toto povodňami zasiahnuté územie sa nachádza vo flyšovom pásme, ktoré spolu s tenkou pôdnou pokrývkou a vysokými hodnotami sklonu terénu vytvára ideálne podmienky pre zrýchlený povrchový odtok a vodnú eróziu, ktorou je vysoko ohrozená najmä poľnohospodárska pôda v čase prívalových povodní.

Intenzívne prívalové zrážky v rokoch 1997 až 1999, ktoré zasiahli často relatívne malé, ostro ohraničené plochy pri vysokom stupni nasýtenia povodia predchádzajúcimi zrážkami, s vysokým sklonom a vysokým rozdielom maximálnych a minimálnych nadmorských výšok, vyvolali náhle zvýšenie odtoku a prívalové povodne, ktoré retenčná kapacita povodí (najmä retenčná kapacita vegetačného a pôdneho krytu) nebola schopná zadržať alebo účinne zmierniť bez ohľadu na prevahu lesných a poľnohospodársky využívaných areálov v povodí.

Predmetom širokej diskusie a detailného výskumu naďalej zostáva spresniť úlohu lesných, krovitých, trávnych a poľnohospodársky využívaných areálov, ako aj celkového charakteru krajiny pokrývky povodí a spôsobu využívania krajiny v zrážkovo-odtokovom procese a tvorbe maximálnych odtokov. Iba akceptáciou pestrosti a rôznorodosti, lokálnych podmienok každého povodia, dôkladnou analýzou maximálnych zrážkových úhrnov (denných, mesačných) a vyhodnotením ich priestorového rozdelenia, fyzickogeografických charakteristík povodí, urbanizovaných a technizovaných prvkov v krajine, ako aj celkového hospodárskeho využívania, môžeme dospieť k pochopeniu prívalových povodní ako hydrologickej odozvy malých povodí a k presnejšej identifikácii rizikových faktorov a rizikových oblastí vzniku povodní. Na vyššej taxonomickej úrovni nutne nastupuje zovšeobecnenie, a tým aj zjednodušenie skúmanej reality.

## ZÁVER

V minulosti sa človek opieral najmä o skúsenosti odovzdávané z generácie na generáciu, a to nielen pri osídľovaní poriečnych nív, ale aj pri celkovom využívaní krajiny a na ich základe dokázal znížiť povodňové riziko na minimum. Dnes máme k dispozícii celé databázy, súbory informácií, ktoré nám pomáhajú rozpoznať rizikové faktory a oblasti povodňového rizika. Povodňami a ich opakovaním sa pravdepodobne nedá úplne zabrániť. Časť odborníkov sa zhoduje v názore, že s veľkou pravdepodobnosťou nejde o neprirodený jav, spôsobený nesprávnym obhospodávaním v povodí, alebo zmenou klímy, ale o prirodze-

ný vývoj odtokov, podriadený dlhodobým 7-14-28-ročným kolísaním zrážok a následne aj prietokov (Pekárová a Pekár 2000). Prípadné zmeny odtoku, spôsobené napr. nevhodným obhospodarovaním v povodí, sú podľa Pekárovej (2000) v ročnom úhrne prekryté vplyvom zrážok. Intenzívne dažde s následnými katastrofálnymi povodňami sa vyskytli aj v minulosti a aj v nedevastovaných, antropogénou činnosťou neovplyvnených povodiach.

Z priestorového rozloženia maximálnych denných úhrnov zrážok s pravdepodobnosťou opakovania raz za 100 rokov vyplýva (Faško a Lapin 1998a), že najkritickejšími oblasťami na Slovensku sú Malé Karpaty, východná časť Podunajskej nížiny, severné Kysuce, severozápadná a severovýchodná Orava, Tatry, Spišská Magura a Zamagurie, Nízke Tatry, Slovenské Rudohorie, najvýchodnejšia časť Nízkych Beskyd, Vihorlat a južná časť Východoslovenskej nížiny. Presýtenosť povodí veľmi výdatnými zrážkami v krátkom časovom intervale sa aj v minulosti podpisovala na tvorbe katastrofálnych povodní, dnes sa však zvyšuje pravdepodobnosť ich výskytu. Podľa Fašku a Lapina (1998a) môžeme perspektívne očakávať, že vzrastie počet prípadov s výskytom vysokých úhrnov zrážok a celkovo sa zvýrazní extrémnosť vo výskyte mimoriadne suchých a vlhkých období. Podľa spomínaných autorov môže dôjsť na Slovensku k rastu intenzity krátkodobých dažďov a jednodenných zrážkových úhrnov aj v súvislosti s globálnymi zmenami klímy. V súvislosti s tým je potrebné spracovať maximálne úhrny zrážok (denné, mesačné, ročné) pre celé územie Slovenska.

Draho zaplatené skúsenosti z povodní v posledných rokoch potvrdzujú nevyhnutnosť holistického prístupu, ktorý berie do úvahy celé povodie aj s aktivitami človeka v ňom. Potrebné bude detailnejšie analyzovať podmienky, hľadať príčinné súvislosti, za ktorých dochádza k vzniku povodňovej hrozby a k tvorbe povodňových prietokov, ako aj prehľbovať spresnenie charakteristík jednotlivých rizikových faktorov a hodnotenie ich významnosti (váhy). V procese identifikácie rizikových oblastí vzniku povodní je rozhodujúca nielen časová a priestorová analýza zrážok; tento proces predpokladá aj existenciu databázy poznatkov o území, v ktorom sa odohráva celý zrážkovo-odtokový proces, ktorá umožní rozpoznanie rizikových faktorov a rizikových oblastí, resp. kľúčových bodov potenciálneho vzniku povodní. Digitálna sieť malých povodí Slovenska a databáza ich fyzickogeografických charakteristík (Solín et al. 2000) spolu s plošným vyhodnotením extrémnych zrážkových úhrnov (jeden- až viacdenných) umožnia nielen rozsiahlejšie analyzovať podmienky vzniku a priebehu prítalových povodní a ďalej precizovať identifikáciu rizikových faktorov a rizikových oblastí vzniku povodní, ale aj presnejšie simulovať kulminačné prietoky v malých povodiach.

*Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia projektu 2/7050/21, za podpory grantovej agentúry VEGA.*

## LITERATÚRA

- BLAŠKOVIČOVÁ, L. (1997). Povodeň na Slovensku v júli 1997 a jej historická významnosť. *Slovenský hydrometeorologický ústav, Práce a štúdie*, 56, 11-37.
- BLAŠKOVIČOVÁ, L., VARJÚOVÁ, L. (1999). Zhodnotenie hydrologického roku 1998. *Vodohospodársky spravodajca*, 42, (7), 5-6.
- BORSANYI, P., PODOLINSKÁ, J., SOTÁK, Š., ŠIPIKALOVÁ, H. (1999). Hodnotenie júlových povodňových situácií v povodí Hrona a Iľľá. *Bulletin Slovenskej meteorologickej spoločnosti pri SAV*, 10, (3), 21-26.

- FAŠKO, P. (1997). Atmosférické zrážky na Slovensku v júli 1997. *Vodohospodársky spravodajca*, 40, (9), 28-30.
- FAŠKO, P., LAPIN, M. (1998a). Hodnotenie výskytu mimoriadnych úhrnov atmosférických zrážok na Slovensku. *Bulletin Slovenskej meteorologickej spoločnosti pri SAV*, 9, (3), 20-24.
- FAŠKO, P., LAPIN, M. (1998b). Atmosférické zrážky na Slovensku v roku 1998. *Bulletin Slovenskej meteorologickej spoločnosti pri SAV*, 9, (3), 33-36.
- FAŠKO, P., LAPIN, M. (1999). Atmosférické zrážky na Slovensku v roku 1999. *Bulletin Slovenskej meteorologickej spoločnosti pri SAV*, 10, (3), 17-19.
- FAŠKO, P., ŠKODA, D., BLÁŠKOVIČOVÁ, L. (1998). Priebeh povodne v júli 1997 na slovenských tokoch. *Povodne a protipovodňová ochrana*. Banská Bystrica (Dom techniky ZSVTS), pp. 35-40.
- FERANEC, J., OŤAHEL, J., PRAVDA, J. (1996). *Krajinná pokrývka Slovenska identifikovaná metódou CORINE Land Cover*. Geographia Slovaca, 11. Bratislava (Geografický ústav SAV).
- FERANEC, J., OŤAHEL, J. (1999). Mapovanie krajinej pokrývky metódou CORINE v mierke 1:50 000: návrh legendy pre krajiny programu Phare. *Geografický časopis*, 51, 19-44.
- HAJTÁŠOVÁ, K., PASTIRČÁK, V. (1998). Povodeň 1997 z pohľadu hydrometeorologickej operatívnej služby. *Povodne a protipovodňová ochrana*. Banská Bystrica (Dom techniky ZSVTS), pp. 41-45.
- KUNSCH, I., HAJTÁŠOVÁ, K., ŠKODA, P. (1998). Historické povodne na Dunaji a slovenských riekach. *Povodne a protipovodňová ochrana*. Banská Bystrica (Dom techniky ZSVTS), pp. 3-8.
- MAJERČÁKOVÁ, O., ŠKODA, P. (1998). Prívalové povodne na severovýchodnom Slovensku. *Vodohospodársky spravodajca*, 41, (10), 18-19.
- MATOKOVÁ, K. (1998). Zhodnotenie hydrologického roku 1997. *Vodohospodársky spravodajca*, 41, (7), 8-9.
- PEKÁROVÁ, P. (2000). Kolísanie odtoku v povrchových tokoch. *Vodohospodársky spravodajca*, 43, (9), 18-19.
- PEKÁROVÁ, P., PEKÁR, J. (2000). Long-term runoff analysis of Slovak rivers. In *20<sup>th</sup> Conference of the Danubian countries*, Bratislava (SHMÚ), pp. 1004-1011 (CD-ROM).
- SHMÚ (1998). *Hydrologická ročenka 1997: Povrchové vody*. Bratislava (Slovenský hydrometeorologický ústav).
- SHMÚ (1999). *Hydrologická ročenka 1998: Povrchové vody*. Bratislava (Slovenský hydrometeorologický ústav).
- SHMÚ (2000). *Hydrologická ročenka 1999: Povrchové vody*. Bratislava (Slovenský hydrometeorologický ústav).
- SOLÍN, L., GREŠKOVÁ, A. (1999). Malé povodia Slovenska – základné priestorové jednotky pre jeho hydrogeografické regionálne členenie. *Geografický časopis*, 51, 77-96.
- SOLÍN, L., CEBECAUER, T., GREŠKOVÁ, A., ŠÚRI, M. (2000). *Small basins of Slovakia and their physical characteristics*. Bratislava (Slovak Committee for Hydrology, Institute of Geography of the SAS).
- SVOBODA, A., PEKÁROVÁ, P. (1998). Katastrofálna povodeň z júla 1998 v povodí Malej Svinky – simulácia jej priebehu. *Vodohospodársky časopis*, 41, 356-372.
- ŠKODA, P., BLÁŠKOVIČOVÁ, L., DEÁKOVÁ, K. (1997). Hydrologické zhodnotenie júlovej povodne v roku 1997. *Vodohospodársky spravodajca*, 40, (9), 25-26.
- VALTYNI, J. (1998). Vplyv lesa na retenčnú kapacitu povodia. *Povodne a protipovodňová ochrana*. Banská Bystrica (Dom techniky ZSVTS), pp. 262-265.
- VAŠKŮ, Z. (1997). Naše malé pluvieľ. *Vesmír*, 76, 512-515.

## **IDENTIFICATION OF THE RISK AREAS AND RISK FACTORS CONTRIBUTING TO THE ORIGIN OF FLOODS IN SMALL CATCHMENTS**

The issue of flash floods in small catchments of Slovakia became highly topical in recent years. The aim of the paper is to contribute to the recognition of risk areas and risk factors contributing to the origin of flash floods, which particularly strike small catchments of mountain and sub-mountain streams. Relying on the knowledge obtained in the course of flash floods in the years 1997-1999, hydroclimatic situation existing before and during the floods were evaluated and catchments with occurrence of the post-flood N-year discharges were identified within the network of small catchments of Slovakia (Figs. 1, 2, and 3). Flash floods known here in recent years were initiated by storm rainfalls or cloud bursts with large amounts of precipitation in falling during a brief time on the relatively small and sharply limited area. Storm rainfalls of extreme intensity caused destructive flash floods typical for a violent onset of growth of the flood wave, which strikes the upper reaches of streams or small streams in mountain and sub-mountain areas. Rainfall of extreme intensity on small area could not be registered by point measurement within the network of gauging stations and in the areas lacking gauging stations.

The origin of flash flood is secondarily influenced by the local or regional physical and hydrological conditions, which can accelerate or slow down the process initiated by the storm rain. Anthropogenic activity can also influence the destructive effects of such rains. Firstly, it is the degree of saturation of the catchment by previous rainfalls immediately before such event, additional factors are determined by the shape, size and morphology of the particular catchment (sea level altitude, inclinations, aspect, etc.), hydrogeological building, soil and vegetation cover, way of land use and other anthropic activity intervening into the river system or its basin. All factors mentioned meanwhile affect or participate in the overall retention capacity of the particular catchment. Factors connected with the economic activity of man form a special group.

The use of digital network of small catchments and the database of their physical characteristics (Solín et al. 2000) made it possible to evaluate the relevant physical characteristics of small catchments stricken by floods. The database of physical characteristics of small catchments covers four groups of data describing the relief morphometry, climatic situation, substrate-soil situation and the character of land cover (Tabs. 1, 2, and 3).

The results suggests the decisive role of the following factors: intensive and high precipitation totals fallen on small and limited area at time of fully saturated catchment by previous rainfalls, elevated inclination of the terrain, large difference between the maximum and minimum sea level altitudes combined with low transmissivity of the rocks and soil-weathering mantle, which can cause a sudden increase of discharge and flash floods when the retention capacity of the catchment is insufficient regardless the prevalence of forest or agriculturally used areas in the particular catchment.

Translated by H. Contrerasová