
GEOGRAFICKÝ ČASOPIS

59

2007

2

Lubomír Solín, Monika Martinčáková***

NIEKOĽKO POZNÁMOK K METODOLÓGII TVORBY POVODŇOVÝCH MÁP SLOVENSKA

L. Solín, M. Martinčáková: Some remarks on methodology applied to flood map compilation in Slovakia. *Geografický časopis*, 59, 2007, 2, 6 figs., 3 tabs., 69 refs.

The aim of the paper is to analyse the basic methodological questions arising from the preparation of flood maps and an outline of strategic framework for their production in Slovakia. The key problems connected with preparation of flood maps are: estimation of the maximum annual discharge for different return periods, estimation of the water table, and extent of flooded territory corresponding to maximum annual discharges of different return periods. Stress is laid on different solutions to these problems depending on changes of spatial dimensions.

The strategic framework of flood maps for Slovakia contains the set of basic theses concerning the selection of water streams, basic digital data sources, solution to the key problems, while certain differences in the nature of floods and number of gauging stations between the groups of great, medium and small streams are also highlighted. Differentiated approaches to the individual stream groups are outlined.

Key words: flood hazard, flood maps, *N*-year maximum discharges, digital relief model, 1D hydraulic model, HEC-GeoRAS

ÚVOD

Výskyt rozsiahlych povodní v Európe v poslednom desaťročí spôsobil, že sa začalo diskutovať o efektívnosti tradičných štruktúrnych protipovodňových opatrení (vodné nádrže, ochranné hrádze, úprava brehov, atď.), pretože napriek

* Geografický ústav SAV, Štefánikova 49, 814 73 Bratislava, solin@savba.sk

** Geodetický a kartografický ústav, Chlumeckého 4, 827 45 Bratislava, e-mail: martincakova@gku.sk

veľkým investíciám do týchto stavieb škody spôsobené povodňami neustále narastajú. Štrukturálne protipovodňové opatrenia sú stále dôležitým prvkom protipovodňovej ochrany. V súvislosti s hľadaním odpovede na otázku, ako minimalizovať škody spôsobené povodňami sa začína zdôrazňovať aj potreba aplikácie dlhodobějších alternatívnych neštrukturálnych opatrení v rámci povodia, ktoré by zohľadňovali proces vzniku povodní a zároveň boli v súlade s koncepciou trvalej udržateľnosti hospodárskeho využívania povodí (napr. de Loe 2000, Brown a Damery 2002, Plate 2002, Pottier et al. 2005, Warrity 2006).

Na riešenie problematiky povodní sa napr. vo Veľkej Británii vytvorilo konzorcium Flood risk management research consortium (FRMRC), združujúce akademické a mimoakademické inštitúcie, správcov vodných tokov, ako aj organizácie verejného a súkromného sektora. Výskum povodní podporuje aj európska výskumná politika. V rámci 6RP sa rieši povodňový projekt FLOODsite, zameraný na integrovanú analýzu povodňového rizika a metodológie jeho zvládnutia. V rámci Európskeho akčného povodňového programu sa z iniciatívy Federal office for the environment (Švajčiarsko) a Ministère de l'écologie et du développement durable (Francúzsko) v januári 2006 vytvorila pracovná skupina *EXCIMAP*, zameraná na výmenu skúseností s mapovaním povodní v európskych krajinách.

K problematike ochrany pred povodňami prijala významné dokumenty Com (2004/472) a KOM (2006/15) aj Komisia EÚ. Obidva dokumenty ustanovujú rámec pre hodnotenie a manažment povodňových rizík, s cieľom znížiť negatívne dôsledky spôsobené povodňami. V zmysle uvedených dokumentov každý členský štát EÚ by mal pristúpiť k predbežnému posúdeniu povodňového rizika a k vypracovaniu máp povodňového rizika a plánov manažmentu povodňového rizika na svojom území.

Súčasná tvorba máp povodňového rizika na regionálnej alebo národnej priestorovej úrovni je reakciou na zvýšený záujem verejnosti a orgánov územného plánovania o informácie týkajúce sa ohrozenia povodňami, ako aj výsledkom tlaku poisťovní na diferenciáciu poisťného za škody spôsobené povodňami (cf. Rodda a Berger 2002, Kron a Willems 2002, JBA Consulting 2004). Veľká priestorová mierka (mápy povodňového rizika pokrývajú celé územie štátu) má za následok menšiu detailnosť a presnosť vyčlenených povodňových zón, čo sa prejavilo v tom, že napr. vo Veľkej Británii boli mapy publikované ako *indikatívne* povodňové mapy (cf. Roda a Berger 2002). Doterajšie skúsenosti s aplikáciou povodňových máp vo Veľkej Británii poukazujú na to, že využitie máp ako efektívneho operatívneho nástroja má určité obmedzenia, ktoré, ako uvádzajú Brown a Damery (2002), vyplývajú z toho, že nie sú zohľadnené niektoré typy povodňových situácií, že chýbajú informácie o veľkosti, intenzite povodňovej hrozby a že nie je dostatočným spôsobom deklarovaná úroveň nepresností a neistôt v súvislosti s aplikáciou hydrologických a hydraulických modelov použitých na mapovanie rozsahu zaplaveného územia.

Cieľom predkladaného príspevku je analýza základných metodologických problémov tvorby máp povodňového rizika na národnej priestorovej úrovni a náčrt strategického rámca pre ich tvorbu v rámci priestorovej úrovne Slovenska. Termín povodňové riziko sa v literatúre nepoužíva jednoznačným spôsobom, a preto v súvislosti s prvým cieľom je najskôr uvedený stručný prehľad definícií,

resp. koncepcií povodňového rizika. V ďalšej časti sú potom stručne analyzované nasledovné kľúčové problémy tvorby povodňových máp: a) odhad ročných maximálnych prietokov pre rozdielnú dobu opakovania, b) odhad výšky hladín zodpovedajúcich ročným maximálnym prietokom rozdielnej doby opakovania, c) stanovenie rozsahu zaplaveného územia pre výšky hladín ročných maximálnych prietokov s rozdielnou dobou opakovania. Strategický rámec pre tvorbu povodňových máp v rámci priestorovej úrovne Slovenska obsahuje súbor základných východiskových téz týkajúcich sa vstupných digitálnych údajových zdrojov a niekoľko poznámok k riešeniu kľúčových problémov tvorby povodňových máp. Náčrt strategického rámca je príspevkom do diskusie o tvorbe povodňových máp v súvislosti s implementáciou pripravovanej smernice EÚ KOM ((2006/15) v podmienkach Slovenska.

ZÁKLADNÉ KONCEPCIE POVODŇOVÉHO RIZIKA

V literatúre sa stretávame s dvoma základnými koncepciami povodňového rizika. Prvá koncepcia, ktorá sa označuje aj ako jednorozmerná (DEFRA 2000), je založená výlučne na aplikácii teórie pravdepodobnosti. Táto koncepcia je rozšírená najmä v hydrológii, pričom termín povodňové riziko sa používa v dvoch významoch. V prvom význame, ktorý je vyjadrený vzťahom

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n, \quad (1)$$

označuje pravdepodobnosť (R), s akou sa ročný maximálny prietok s priemerou dobou opakovania T rokov vyskytne v priebehu n nasledujúcich rokov (cf. Viessman et al. 1977). V druhom význame formálne vyjadreného rovnicou

$$F(x) = P(Q \leq x), \quad (2)$$

povodňové riziko vyjadruje pravdepodobnosť (F), s akou špecifikovaná hodnota maximálneho ročného prietoku (x) nebude prekročená v ľubovoľnom roku.

V tejto súvislosti často používaný termín doba opakovania vyjadruje v dlhodobom časovom horizonte čas (počet rokov), ktorý v priemere uplynie medzi opätovným výskytom špecifikovaného maximálneho ročného prietoku. Pritom platí, že:

$$F = 1 - \frac{1}{T}. \quad (3)$$

Čím väčšia je pravdepodobnosť výskytu špecifikovanej hodnoty maximálneho ročného prietoku v ľubovoľnom roku, resp. menšia doba jeho opakovania, tým väčšie je povodňové riziko. Spravidla sa zvyknú rozlišovať tri kategórie povodňového rizika: vysoké, mierne a nízke. Pritom vymedzenie jednotlivých kategórií na základe intervalu pravdepodobností, resp. doby opakovania je pomerne variabilné a závisí od účelu, pre ktorý sa povodňové riziko vyjadruje. Napríklad v Nemecku pre účely poisťovní (cf. Kron a Willems 2002) vysoké povodňové riziko predstavujú povodne s $T \leq 10$ rokov, mierne povodňové riziko je vymedzené intervalom $T = 10 - 50$ rokov a nízke povodňové riziko sa via-

že na povodne s $T > 50$ rokov. V Anglicku pre účely územného plánovania v súvislosti s riečnymi povodňami sa malé alebo žiadne povodňové riziko viaže na územie, ktoré je zaplavované až pri prietokoch s pravdepodobnosťou výskytu menšou ako 0,001 ($T > 1000$ rokov). Nízke až stredné povodňové riziko má územie, ktoré je zaplavované prietokmi s pravdepodobnosťou výskytu, ktorá sa nachádza v intervale 0,001 - 0,01 ($T = 1000 - 100$ rokov) a územie, ktoré je zaplavované pri prietokoch s pravdepodobnosťou výskytu väčšou ako 0,01 ($T < 100$ rokov), má vysoké povodňové riziko (Pottier et al. 2005).

Druhá základná koncepcia povodňového rizika okrem pravdepodobnosti výskytu špecifikovanej povodne berie do úvahy aj negatívne dôsledky, ktoré vzniknú, ak sa povodeň vyskytne. Preto sa často označuje aj ako viacrozmerná koncepcia povodňového rizika (Sayers et al. 2003). Koncepciu povodňového rizika formálne vyjadrujú nasledovné definície:

„Riziko je kombinácia pravdepodobnosti alebo frekvencie výskytu definovaného hazardu a veľkosti spôsobených dôsledkov“ (DEFRA 2000).

“Risk is a combination of the probability, or frequency, of occurrence of a defined hazard and the magnitude of the consequences of the occurrence” (DEFRA 2000).

„Riziko obsahuje dva komponenty – náhodnosť (alebo pravdepodobnosť) vyskytujúcej sa udalosti a účinok (alebo následok) spojený s touto udalosťou. V mnohých prípadoch, ale nie vo všetkých, je preto vhodné vyjadriť úroveň rizika jednoduchým spôsobom:

riziko = pravdepodobnosť $\times$ dôsledok“ (Sayers et al. 2003).

“Risk has two components – the chance (or probability) of an event occurring and the impact (or consequence) associated with that event. In some, but not all cases, therefore a convenient single measure of the importance of a risk is given by:

Risk = Probability $\times$ Consequence” (Sayers et al. 2003).

„Riziká sú očakávané straty (na životoch, zranených osobách, poškodení majetku a ekonomickej aktivity) v dôsledku konkrétneho hazardu pre určitú oblasť a špecifikovanú periódu výskytu. Na základe matematického vyjadrenia riziko je výsledok hazardu a zraniteľnosti. Hazard je hroziaca udalosť alebo pravdepodobnosť výskytu potenciálne nebezpečného, škody spôsobujúceho javu, definovaného časovým intervalom a plošným rozsahom. Zraniteľnosť je úroveň strát, ktorá je dôsledkom škody spôsobujúceho javu“ (UN 1992).

“Risk is expected losses (of lives, persons injured, property damaged, and economic activity disrupted) due to a particular hazard for a given area and reference period. Based on mathematical calculations, risk is the product of hazard and vulnerability. Hazard is a threatening event, or the probability of occurrence of a potentially damaging phenomenon within a given time period and area. Vulnerability is degree of loss resulting from a potentially damaging phenomenon” (UN 1992).

Viacrozmerná koncepcia povodňového rizika je rozšírená predovšetkým v environmentálnej literatúre (cf. Smith 1996). Veľkosť škôd spôsobených povodňou závisí predovšetkým od zraniteľnosti, resp. odolnosti ľudí, sociálnych skupín, krajiny pokrývky, infraštruktúry a budov voči prúdiacej vode. Faktor

zraniteľnosti je tak jedným z dôležitých aspektov tejto koncepcie (cf. Morrow 1999, Bankoff 2001, Tapsell et al. 2002, Turner et al. 2003). Forma vyjadrenia zraniteľnosti je pritom závislá od priestorovej úrovne v rámci ktorej sa povodňové riziko analyzuje. Napríklad Barredo et al. (2005) pri analýze povodňového rizika na európskej úrovni vyjadrili zraniteľnosť ekonomicky, prostredníctvom hrubého domáceho produktu na obyvateľa, pričom sa uplatnilo pravidlo, že zraniteľnosť sa zväčšuje s poklesom hrubého domáceho produktu. Chudobnejšie regióny sú na povodeň pripravené horšie, a teda sú aj povodňovo zraniteľnejšie ako regióny bohatšie. Na lokálnej a regionálnej úrovni je koncepcia zraniteľnosti založená na vekovej štruktúre a sociálnom statuse obyvateľstva, charaktere bytového fondu, využívaní zeme a pod. Spôsoby riešenia základných problémov stanovenia povodňového rizika na regionálnej úrovni sú načrtnuté napr. v práci Büchele et al. (2006). Metodologické aspekty stanovenia povodňového rizika na národnej úrovni analyzuje napr. Hall et al. (2005). Na Slovensku príklad aplikácie uvedenej koncepcie na lokálnej úrovni predstavil napr. Trizna (2000).

V uvedených definíciách viacrozmerného rizika sa termín hazard používa v kontexte, ktorý zodpovedá pravdepodobnostnej definícii povodňového rizika. Termín hazard sa však používa aj v iných významoch, ktoré neobsahujú pravdepodobnostnú kvantifikáciu. Napr. Smith (1996) uvádza, že hazard predstavuje potenciálnu hrozbu pre ľudí a ich blahobyť. V dokumente DEFRA (2006) sa konštatuje, že:

„mapy povodňového hazardu poskytujú informáciu o atribútoch povodne, ktoré zraňujú ľudí počas povodne. Povodňové mapy sú založené na kombinácii výšky hladiny vody, rýchlosti jej prúdenia a prítomnosti unášaného materiálu, ktorej výsledkom je klasifikovanie povodňového hazardu do troch tried: nízky, stredný a vysoký hazard.“

“flood hazard map provides information on the flood conditions that harm people during a flood. Hazard maps are based on flood depth, velocities and presence of debris with the results classified into low, medium and high hazard classes.”

Uvedená definícia hazardu sa viaže na lokálnu úroveň. Na národnej úrovni povodňový hazard vyjadruje potenciálne nebezpečenie povodne, ktoré vyplýva z prírodných charakteristík a spôsobu využívania krajiny v povodí (cf. Solín 2006b, Minár et al. 2006). Všeobecne platí, že v povodiach s málo priepustnými pôdami, s vysokým podielom urbanizovaných, technizovaných areálov a areálov ornej pôdy je povodňové nebezpečenstvo vyššie ako v povodiach s priepustnými pôdami a s vysokým podielom lesných a trávnatých porastov. Na aspekt sily (severity) povodňového hazardu upozorňujú aj Brown a Damery (2002). Uvádzajú, že napr. v strmých, nie príliš širokých dolinách sú sice povodňové škody lokalizované (obmedzené) na pomerne úzky pás, ale sú vyššie v dôsledku väčšej hĺbky a rýchlosti vody, ktorá doprevádza povodeň určitej frekvencie výskytu.

Z viacrozmernej koncepcie povodňového rizika vychádza aj návrh smernice Komisie EU (KOM(2006/15), kde termín mapy povodňových rizík (čl. 7, kap. II) zastrešuje povodňové mapy a indikatívne mapy škôd spôsobených povodňami. Pritom povodňové mapy zobrazujú predpokladaný rozsah zaplaveného úze-

mia zodpovedajúceho ročným maximálnym prietokom rozdielnej doby opakovania a indikatívne mapy škôd spôsobené povodňami vyjadrujú negatívne dôsledky (ohrozenie ľudských životov, ekonomické škody na budovách, majetku, infraštruktúre, životnom prostredí) spôsobené povodňami rozdielnej doby opakovania v zaplavenom území.

Výskum povodňového rizika, vyjadreného ako vzájomná kombinácia pravdepodobnosti výskytu povodňovej udalosti a spôsobených dôsledkov, si vyžaduje integrovaný prístup (Brown a Damery 2002, Plate 2002, Sayers et al. 2003, Werrity 2006). Avšak Brown a Damery (2002) na základe britských skúseností poznamenávajú, že žiadne indície takéhoto prístupu zatiaľ nepozorujú, ba práve naopak, je tu tendencia izolovaného výskumu veľkosti povodní rozdielnej frekvencie výskytu a rozsahu im zodpovedajúceho zaplaveného územia na jednej strane a zraniteľnosti ľudí, majetku a prírodného prostredia povodňami na strane druhej, ktorá je aj silno inštitucionalizovaná.

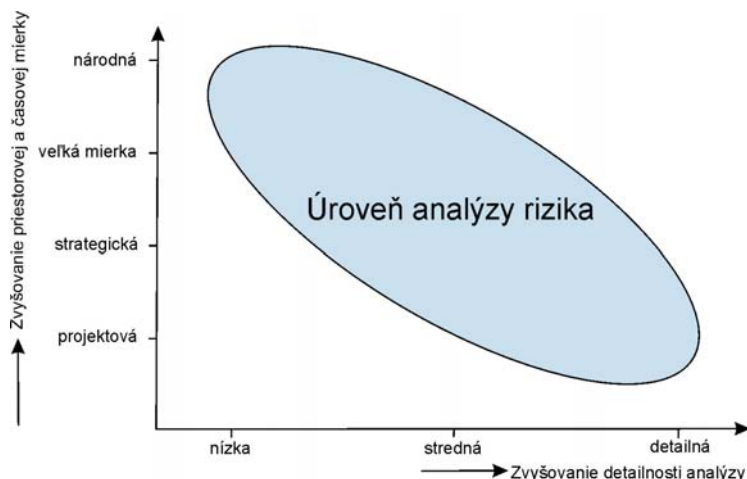
STRUČNÁ ANALÝZA RIEŠENIA KLÚČOVÝCH PROBLÉMOV TVORBY POVODŇOVÝCH MÁP

Z dvoch skupín máp povodňového rizika, definovaných v smernici KOM (2006/15), sa v ďalšej časti príspevku obmedzíme len na analýzu základných metodologických aspektov tvorby povodňových máp, t. j. máp priestorovo vymedzujúcich predpokladaný rozsah zaplaveného územia, zodpovedajúci ročným maximálnym prietokom s rozdielnou dobou opakovania. Pritom podľa návrhu smernice povodňové mapy na národnej priestorovej úrovni by mali zobrazovať pravdepodobný rozsah zaplaveného územia, ktorý zodpovedá prietokom s: a) vysokou frekvenciou výskytu (doba opakovania v priemere raz za 10 rokov), b) strednou frekvenciou výskytu (doba opakovania v priemere raz za 100 rokov), c) nízkou frekvenciou výskytu (výnimočné udalosti). Od povodňových máp tejto priestorovej úrovne sa očakáva, že zvýšia povedomie verejnosti o ohrození povodňami, že poskytnú informácie o úrovni povodňového rizika pre účely územného plánovania a podporia proces priestorovo cielených investícií na zmenšenie ohrozenia ľudí, majetku a krajiny povodňami, resp. podporia postupné znižovanie priamych alebo nepriamych dotácií na hospodárske aktivity spôsobujúce zvýšenie povodňového rizika (cf. Com (2004/472).

Tvorba povodňových máp pozostáva z riešenia týchto základných problémov:

- 1) odhad maximálnych ročných prietokov pre rozdielne priemerné doby opakovania,
- 2) odhad výšky hladín pre ročné maximálne prietoky rozdielnej doby opakovania,
- 3) stanovenie rozsahu zaplaveného územia zodpovedajúceho výškam hladín ročných maximálnych prietokov rozdielnej doby opakovania.

Povodňové mapy sa pritom môžu vytvárať v rámci *lokálnej, regionálnej, národnej* alebo *nadnárodnej* priestorovej úrovne. So zväčšovaním priestorovej dimenzie sa však znižuje detailnosť a presnosť povodňových máp (obr. 1). Nasledujúci stručný prehľad riešenia základných metodologických problémov tvorby povodňových máp poukazuje na diferencovaný prístup k ich riešeniu v súvislosti so zmenou priestorovej dimenzie.



Obr. 1. Detailnosť výskumu povodňového rizika a priestorová mierka
(Upravené podľa Sayres at al. 2003)

Odhad ročných maximálnych prietokov pre rozdielne doby opakovania

Pri odhade ročných maximálnych prietokov sa uplatňuje široké spektrum metód, ktoré môžeme zaradiť do dvoch základných skupín. Prvú skupinu tvoria zrážkovo-odtokové modely, ktoré odhadujú maximálne prietoky na základe údajov o zrážkach a fyzickogeografických atribútov povodia. Ich stručný prehľad môžeme nájsť napr. v príspevkoch: Sealthun a Oberlin (1993), Smith a Ward (1998) a Beven (2000). Na aplikáciu na národnej úrovni sú však vhodné len empirické vzorce s veľmi jednoduchou štruktúrou, napr. logický vzorec (rational formulae), resp. regresné rovnice, v ktorých ročný maximálny prietok je funkciou predovšetkým plochy a fyzickogeografických atribútov povodia. U nás má tradíciu používanie Dubových oblastných vzorcov (Dub 1954 a 1957). Na lokálnej úrovni je možné uplatniť sofistikovanejší spôsob transformácie zrážok do odtoku napr. metódou jednotkového hydrogramu alebo deterministickými modelmi s priestorovo diferencovanými, resp. nediferencovanými parametrami (cf. Beven 1985, Beven 2000, Blackie et al. 1985).

Druhú skupinu tvoria štatistické metódy. Ich základom je frekvenčná analýza ročných maximálnych prietokov alebo prietokov presahujúcich určitú vopred stanovenú veľkosť (cf. Rao a Hamed 2000, Sealthun a Oberlin 1993, FEH 1999). Hydrologické pozorovania sú však k dispozícii len z obmedzeného počtu vodomerných profilov, ktoré majú relatívne krátke pozorovacie rady. Spoľahlivé odhady ročných maximálnych prietokov s malou pravdepodobnosťou výskytu, resp. veľkou priemernou dobou opakovania frekvenčnou analýzou si však vyžadujú dlhé pozorovacie rady. Podľa rovnice (1) si spoľahlivý odhad ročného maximálneho prietoku s pravdepodobnosťou výskytu 0,01, resp. dobou opakovania v priemere raz za 100 rokov vyžaduje pozorovací rad dlhý 500 rokov. Takýto dlhý pozorovací rad však vodomerné stanice k dispozícii nemajú. Odhad ročných maximálnych prietokov predovšetkým s malou pravdepodobnosťou

výskytu len na základe údajov samotnej vodomernej stanice je preto nespoľahlivý. Z toho dôvodu sa odhad ročných maximálnych prietokov s rozdielnou dobou opakovania pre povodia s nedostatočnou dĺžkou pozorovacieho radu, resp. bez hydrologických pozorovaní uskutočňuje regionálnou frekvenčnou analýzou (cf. Cunnane 1988, (GREHYS) 1996, Hosking a Wallis 1997, Solín 2005a). Nedostatočnú dĺžku hydrologických pozorovaní sa regionálna frekvenčná analýza snaží preklenúť takým spôsobom, že ak frekvencie výskytu javov určitej veľkosti v rôznych povodiach sú si podobné, tak potom presnejší záver o ich výskyte v určitom povodí sa dosiahne spoločnou analýzou dát povodí s podobnou hydrologickou reakciou než analýzou dát z jedného povodia. Z metód regionálnej frekvenčnej analýzy na národnej priestorovej úrovni je najrozšírenejšie používanie metódy indexovej povodne, ktorú zaviedol do hydrologickej literatúry Dalrymple (1960).

Odhad výšky hladiny ročných maximálnych prietokov rozdielnej frekvencie výskytu

V súvislosti s tvorbou povodňových máp sa v hydrológií stretávame s dvoma spôsobmi modelovania výšky hladiny povodňových prietokov. Prvý typ modelovania sa viaže na reálny čas a simuluje výšku hladiny pre zvolené časové intervaly v celom rozsahu povodňovej vlny. Simulácia je založená na aplikácii 1D, resp. 2D hydraulických modelov neustáleného prúdenia vyjadreného Saint-Venant rovnicami zachovania hmoty a pohybu (cf. Fread 1985). Na riešenie rovníc neustáleného 1D prúdenia sa v súčasnosti najčastejšie používajú softvérové produkty HEC-RAS, ISIS alebo Mike11. Riešenie sofistikovanejších dvojrozmerných 2D hydraulických modelov obsahujú softvérové produkty ako napr. LISFLOOD-FP, TELEMAC -2D (cf. Bates a de Roo 2000 alebo Horrit a Bates 2002). 2D modely umožňujú detailnejším spôsobom vyjadriť fyzikálne procesy prúdenia vody mimo koryta rieky, a tak presnejšie simulovať výšku hladiny, ako aj následný rozsah zaplaveného územia. Ich použitie podporujú predovšetkým rastúce digitálne modely reliéfu vytvorené na základe údajov získaných súčasnými technikami diaľkového výskumu Zeme. Náročnosť na vstupné údaje 1D, resp. 2D hydraulických modelov neustáleného prúdenia o morfometrických a hydraulických atribútoch koryta a dna doliny však zatiaľ obmedzuje ich použitie na lokálnej priestorovej úrovni.

Druhý typ modelovania sa neviaže na reálny čas, nesimuluje výšku hladiny v celom rozsahu povodňovej vlny, ale je zameraný na odhad maximálnej výšky hladiny pre povodňový prietok špecifikovanej pravdepodobnosti výskytu v profiloch pozdĺž vodného toku. Takto formulovaný problém je typickým problémom, ktorý sa rieši v rámci analýzy 1D ustáleného prúdenia. Predpoklad ustáleného prúdenia v prípade prirodzeným spôsobom vzniknutých povodní v dôsledku topenia snehu alebo dlhotrvajúcich dažďov je na väčšine tokov prijateľný, pretože zmena prietoku vzhľadom na čas je relatívne pomalá. Ustálené prúdenie však nie je možné aplikovať v troch prípadoch (USACE 1993): 1) pohyb povodňovej vlny je veľmi rýchly, napr. pri pretrhnutí hrádze, 2) nastáva vzdutie hladiny v dôsledku prirodzených alebo umelých podmienok, vytvorených na dolnom úseku, 3) závislosť medzi prietokom a výškou hladiny nie je jednoznačná (loop efekt). Tento jav sa vyskytuje predovšetkým na veľkých tokoch s veľmi malým sklonom (menej ako 0,0009).

Jednoduchý spôsob riešenia ustáleného prúdenia je založený na Manningovej rovnici. Hydraulické softvéry HEC-RAS, MIKE11 majú zabudované aj moduly riešenia 1D ustáleného prúdenia na základe rovnice zachovania energie (cf. Chow et al. 1988). V tomto prípade výpočet výšky hladiny v určitom profile je založený na výške hladiny v predchádzajúcom profile (step-backwater method). Aj použitie 1D modelov ustáleného prúdenia si vyžaduje stanovenie morfometrických atribútov pre veľmi hustú sieť priečných profilov koryta a dna doliny, kolmých na smer prúdenia, ako aj údaje o vodohospodárskych stavbách lokalizovaných na vodnom toku, akými sú napr. prepážky, mosty a hrádze ovplyvňujúce prietokový režim. Čím menšia je vzdialenosť medzi priečnymi profilmi, tým presnejšie je modelovanie výšky hladiny. Na lokálnej úrovni sa údaje o morfometrických atribútoch priečných profilov získavajú tradičnými pozemnými geodetickými meraniami, resp. súčasnými modernými technológiami diaľkového prieskumu Zeme, dosahujúcimi vysokú výškovú presnosť. Vďaka presným topografickým údajom a údajom o faktoroch ovplyvňujúcich prietok v analyzovanej lokalite, umožňujú 1D hydraulické modely ustáleného prúdenia skonstruovať presné inžinierske povodňové mapy na lokálnej úrovni.

Aplikácia 1D hydraulických modelov ustáleného prúdenia pri tvorbe povodňových máp na národnej priestorovej úrovni si však vyžaduje prijatie určitých zjednodušujúcich predpokladov týkajúcich sa morfometrie priečných profilov, resp. faktorov ovplyvňujúcich prietok (JBA Consulting 2004). Táto priestorová úroveň neumožňuje získavať údaje o morfometrických atribútoch priečných profilov aplikáciou tradičných pozemných geodetických meraní, resp. súčasných moderných technológií diaľkového prieskumu Zeme, a to z dôvodu ich časovej, resp. finančnej náročnosti. Najčastejšie uplatňovaným zjednodušujúcim predpokladom je, že výška hladiny v priečnom profile je normálna výška pre každý prietok (JBA Consulting 2004). To znamená, že lokálne faktory, ovplyvňujúce prietok vo vodných tokoch, ako sú napr. ochranné hrádze, prepážky, mosty, prepady, vodopády a pod., sa vôbec neberú do úvahy. Údaje o priečnom profile koryta a dna doliny sa získavajú aplikáciou DMR s menšou rozlišovacou úrovňou. Vstupné údaje s získané digitalizáciou vrstevníc z topografických máp. Akceptovateľnosť zjednodušujúcich predpokladov podporuje stanovisko, že 1D model ustáleného prúdenia je použitý pre určenie výšky hladín pre povodňové prietoky, ktoré sú mimo koryta, a preto samotný priečný profil koryta nemusí byť presne špecifikovaný (USACE 1993). Povodňové mapy na národnej úrovni v dôsledku aplikácie menej presných DMR a zjednodušujúcich predpokladov ohľadne faktorov ovplyvňujúcich prietok potom aj menej presne vymedzujú rozsah zaplaveného územia.

Stanovenie rozsahu zaplaveného územia zodpovedajúceho výške hladiny ročného maximálneho prietoku rozdielnej pravdepodobnosti výskytu

Výška hladín, zodpovedajúca maximálnym ročným prietokom rozdielnej frekvencie výskytu, resp. priemernej dobe opakovania, stanovená aplikáciou 1D hydraulického modelu, sa premietne na digitálny model reliéfu analyzovaného územia. Tá časť územia, ktorého nadmorská výška je menšia alebo rovná ako výška vypočítaných hladín špecifikovaných ročných maximálnych prietokov, predstavuje potom predpokladaný rozsah zaplaveného územia. Softvéry 1D

hydraulického modelu HEC-RAS alebo MIKE 11 majú nadstavbu (v prípade HEC-RAS je to HEC-GeoRAS), ktorá umožňuje vizualizovať rozsah zaplaveného územia v GIS. Presnosť vymedzenia rozsahu zaplaveného územia je viazaná na rozlišovaciu úroveň a presnosť DMR.

Základným topografickým zdrojom, ktorý sa zatiaľ najčastejšie používa pre tvorbu povodňových máp na národnej úrovni, je digitálny model reliéfu na základe zdigitalizovaných vrstevníc z máp v mierke 1:10 000 až 1:50 000 (cf. Kron a Willems 2002, Rodda a Berger 2002, JBA Consulting 2004), ktoré produkujú národné kartografické a geodetické inštitúcie. Využitie technológie LIDAR (Light Detection and Ranging), ktorá poskytuje topografické údaje s veľkou výškovou presnosťou ± 10 cm, pre získanie topografických údajov územia s rozlohou viac ako 20 000 km² je vo všeobecnosti z finančného hľadiska považované za nereálne (Sanders et al. 2005). Použitie LIDAR technológie je preto zatiaľ efektívne predovšetkým na lokálnej úrovni. Zo súčasných moderných technológií diaľkového prieskumu Zeme sa pre tvorbu DMR na národnej úrovni zdá byť z finančného hľadiska vhodné použitie technológie IFSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar), ktorá poskytuje topografické dáta s výškovou presnosťou ± 1 m (cf. Sanders et al. 2005), čo umožňuje aj na národnej úrovni vytvárať povodňové mapy vysokej presnosti. Radarové snímače sú schopné získavať dáta bez ohľadu na dennú dobu a počasie. Ich výhodou je aj pomerne rýchle získanie a spracovanie dát. Z európskych krajín má touto technológiou vytvorený DMR pre celé územie štátu zatiaľ len Veľká Británia. Tvorba DMR sa uskutočnila v rámci programu NEXTMap. Aj vďaka DMR vytvorenému IFSAR technológiu, je Veľká Británia zatiaľ jedinou krajinou, ktorá preferuje aj na národnej úrovni tvorbu záplavových máp na základe aplikácie 2D hydraulického modelu (cf. JBA Consulting 2004, Sanders et al. 2005).

Okrem vizualizácie rozsahu zaplaveného územia je z pohľadu užívateľa dôležitá aj identifikácia a lokalizácia objektov v zaplavenom území. K tomu je nutné, aby sa na národnej úrovni vytvorila databáza polohy obytných, obchodných a verejných budov. Spočiatku sa takáto databáza vytvárala na základe poštových smerovacích kódov (cf. Kron a Willems 2002). V súčasnosti sa však prístupuje k tvorbe databáz na základe digitalizácie identifikačných bodov (poštových adries). Ku každému objektu je pripojený názov ulice, na ktorej sa objekt nachádza, a jeho popisné číslo.

STRATEGICKÝ RÁMEC PRE TVORBU POVODŇOVÝCH MÁP SLOVENSKA

Povodňové mapy pre orgány verejného sektora (štátna správa, samospráva, orgány územného plánovania a pod.) na priestorovej úrovni Slovenska zatiaľ vytvorené neboli. Až v súvislosti s pripravovanou smernicou EÚ (KOM (2006/15) a jej implementáciou v podmienkach Slovenska sa začalo uvažovať o niektorých aspektoch ich tvorby. Napr. Lukáč et al. (2006) konštatujú, že „kľúčovú úlohu budú mať kvalitné digitálne modely reliéfu s požadovanou presnosťou, ktoré môžu významným spôsobom ovplyvniť výsledky riešenia hlavne v nížinných oblastiach“, resp. „Nasadenie dátovo, časovo a finančne náročného hydrodynamického numerického modelovania (1D, resp. 2D hydraulické modely neustáleného prúdenia) na celom povodňami potenciálne ohrozenom

území je nereálne. Jednoduchšie metódy nájdu uplatnenie hlavne na menších vodných tokoch, v ich horných tratiach a v menej osídlených oblastiach. Miesto pre detailnejšie hydrodynamické modely je hlavne na väčších vodných tokoch, v urbanizovaných oblastiach, v oblastiach s vysokými predvídateľnými povodňovými škodami a na územiach s komplikovanými hydraulickými podmienkami.“

Pre Slovenskú asociáciu poisťovní firma MMC v roku 2006 vytvorila mapu povodňových zón Slovenska (MMC 2006). Na mape je vyčlenených šesť povodňových zón zodpovedajúcich maximálnym ročným prietokom s priemernou dobou opakovania 500, 350, 250, 100, 50 a 20 rokov pozdĺž významných vodných tokov, ktorých celková dĺžka dosahuje takmer 10 000 km. Mapa povodňových zón je založená na DMR vytvorenom digitalizáciou vrstevníc topografických máp v mierke 1:50 000. Ďalšie informácie o zdrojových údajoch, ako aj o riešení kľúčových problémov tvorby povodňových máp však nie sú prístupné, v dôsledku patentovej ochrany. Analýza vyčlenených zón vo vybranom povodí poukázala na nadhodnotenie rozsahu zaplavených zón, ktoré v mnohých úsekoch neboli správne lokalizované kvôli polohovému nesúladu medzi polohou toku a vyčlenenou povodňovou zónou.

Strategický rámec tvorby povodňových máp Slovenska predstavuje súbor základných východiskových téz týkajúcich sa:

- 1) výberu vodných tokov, pre ktoré sa budú vytvárať povodňové mapy,
- 2) základných digitálnych a hydrologických údajových zdrojov,
- 3) metodického riešenia kľúčových problémov tvorby povodňových máp.

O ich podrobnejší náčrt v súvislosti s tvorbou povodňových máp na priestorovej úrovni Slovenska sa pokúsime v tejto časti príspevku.

Výber vodných tokov

Úvodným krokom tvorby povodňových máp je výber vodných tokov, pre ktoré sa budú tvoriť povodňové mapy. Diskutovanou otázkou je predovšetkým stanovenie dolnej hranice, t. j. stanovenie minimálnej veľkosti povodia, ktorého vodný tok bude ešte zahrnutý do analýzy. Napríklad pri tvorbe povodňových máp Škótska sa brali do úvahy vodné toky s plochou povodia väčšou ako 3 km² (JBA Consulting 2004), v prípade Anglicka a Walesu to boli toky s plochou povodia väčšou ako 10 km² (Morris a Flavin 1996). Hranica 10 km² sa uplatnila aj v smernici EÚ o vode (Directive 2000/60/EC, 2000). Čo sa týka Nemecka, Kron a Willems (2002) len uvádzajú, že analýza zahrňovala všetky významné toky, ktorých celková dĺžka je 37 110 km. Do spracovania súborného hydrologického diela ČSSR (Hydrologické pomery ČSSR, díl I. 1965) boli zahrnuté toky s plochou povodia väčšou ako 5 km². Pri stanovení tejto hranice sa vychádzalo z predpokladu, že toky s plochou povodia aspoň 5 km² už majú určitý hydrologický charakter a pre túto plochu sa dajú už s prijateľnou presnosťou odvodiť hydrologické údaje metódou hydrologickej analógie.

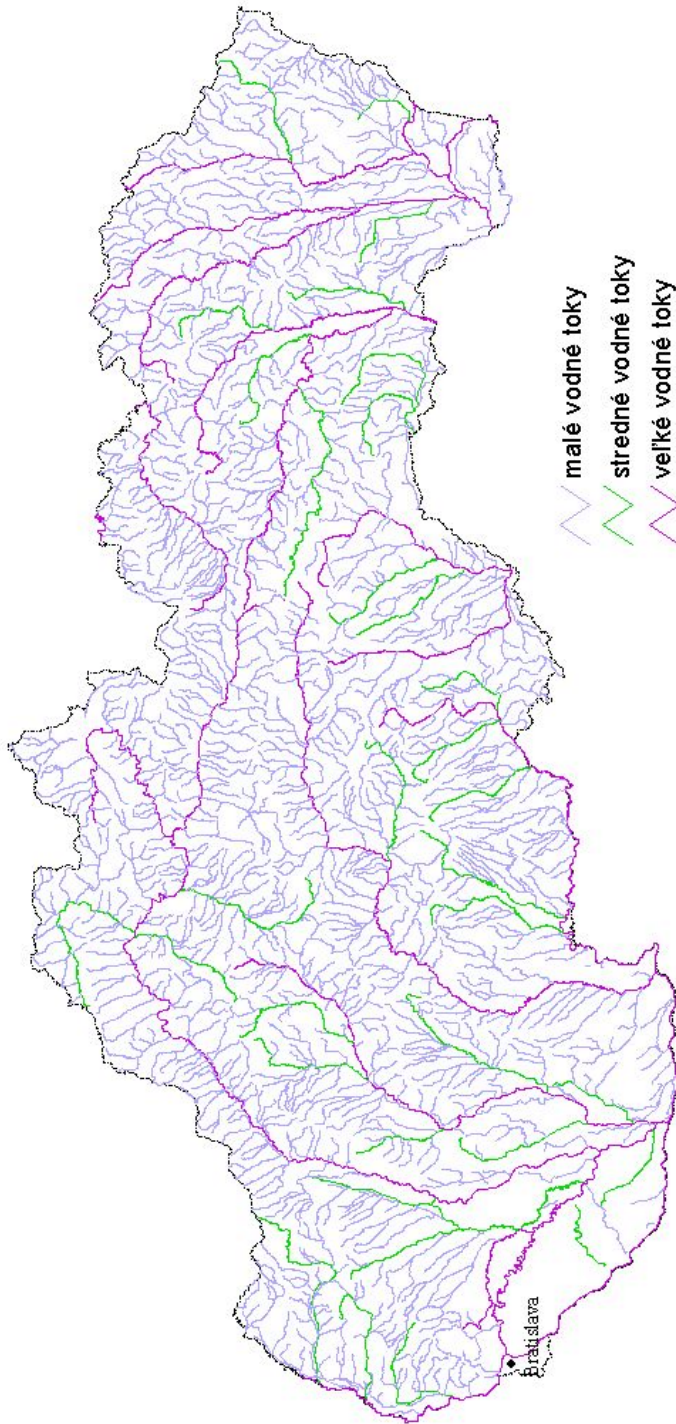
Návrh komisie EÚ (KOM(2006/15)) sa nezmieňuje o minimálnej veľkosti povodia, ale vzhľadom na to, že smernica Directive 2000/60/EC (2000) a návrh smernice (KOM(2006/15)) by mali byť vzájomne kompatibilné, bolo by vhodné,

aby mapovanie povodňového rizika Slovenska zahrňovalo všetky vodné toky s plochou rovnou alebo väčšou ako 10 km^2 (obr. 2). Vodné toky sú pritom rozdelené do troch veľkostných skupín: veľké, stredné a malé vodné toky (tab. 1). Kategóriu veľkých vodných tokov tvoria toky s plochou povodia (P) rovnou alebo väčšou ako 1000 km^2 . Do tejto skupiny patrí 21 riek s celkovou dĺžkou 2 678 km. Skupinu stredných vodných tokov tvorí 35 riek, ktorých plocha povodia je v intervale $300 \leq P \leq 1\,000 \text{ km}^2$. Celková dĺžka vodných tokov je 1 691 km. Do kategórie malých vodných tokov, ktorých plocha povodia je v intervale $10 \leq P < 300 \text{ km}^2$ patrí 1 255 tokov s celkovou dĺžkou 14 166 km. Súhrnná dĺžka všetkých vodných tokov s $P \geq 10 \text{ km}^2$ je 18 535 km.

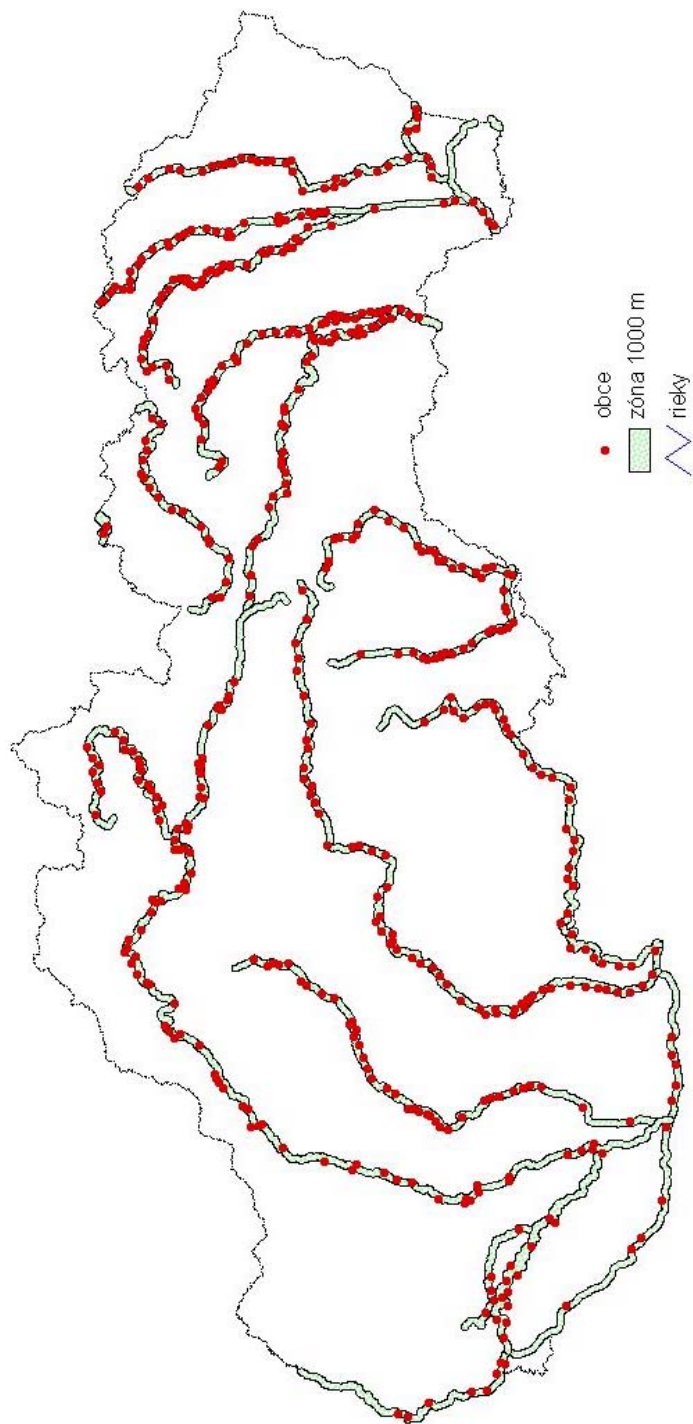
Povodňové mapy majú poskytnúť informáciu o úrovni a charaktere povodňového ohrozenia predovšetkým obyvateľom v obciach pozdĺž vodných tokov. Z 2 928 obcí Slovenska je pozdĺž veľkých tokov, t. j. v pásme širokom 1 km po obidvoch stranách vodného toku lokalizovaných 507 obcí (obr. 3). Pozdĺž stredných riek, v pásme širokom 500 m po obidvoch stranách vodného toku je lokalizovaných 204 obcí (obr. 4) a 1 093 obcí je lokalizovaných v pásme širokom 250 m po obidvoch stranách malých vodných tokov (obr. 5). Vo veľmi malých povodiach (plocha povodia menšia ako 10 km^2) je lokalizovaných ďalších 278 obcí. Mimo vymedzených zón veľkých, stredných, malých tokov a tokov veľmi malých povodí je lokalizovaných 846 obcí. Z celkového počtu obcí Slovenska je teda potenciálne ohrozovaných povodňou 2 082, čo je 71 % (tab. 2.). Hodnoty vymedzujúce jednotlivé pásma pozdĺž tokov boli stanovené tak, aby boli primerané šírke nivy v jednotlivých veľkostných skupinách. Identifikovanie obcí v zónach vymedzených pozdĺž tokov sa uskutočnilo vzájomným prekrytím digitálnej vrstvy ťažísk obcí s vrstvou šírky zóny pre príslušnú veľkostnú skupinu riek.

Tab. 1. Kategórie vodných tokov podľa veľkosti plochy povodia

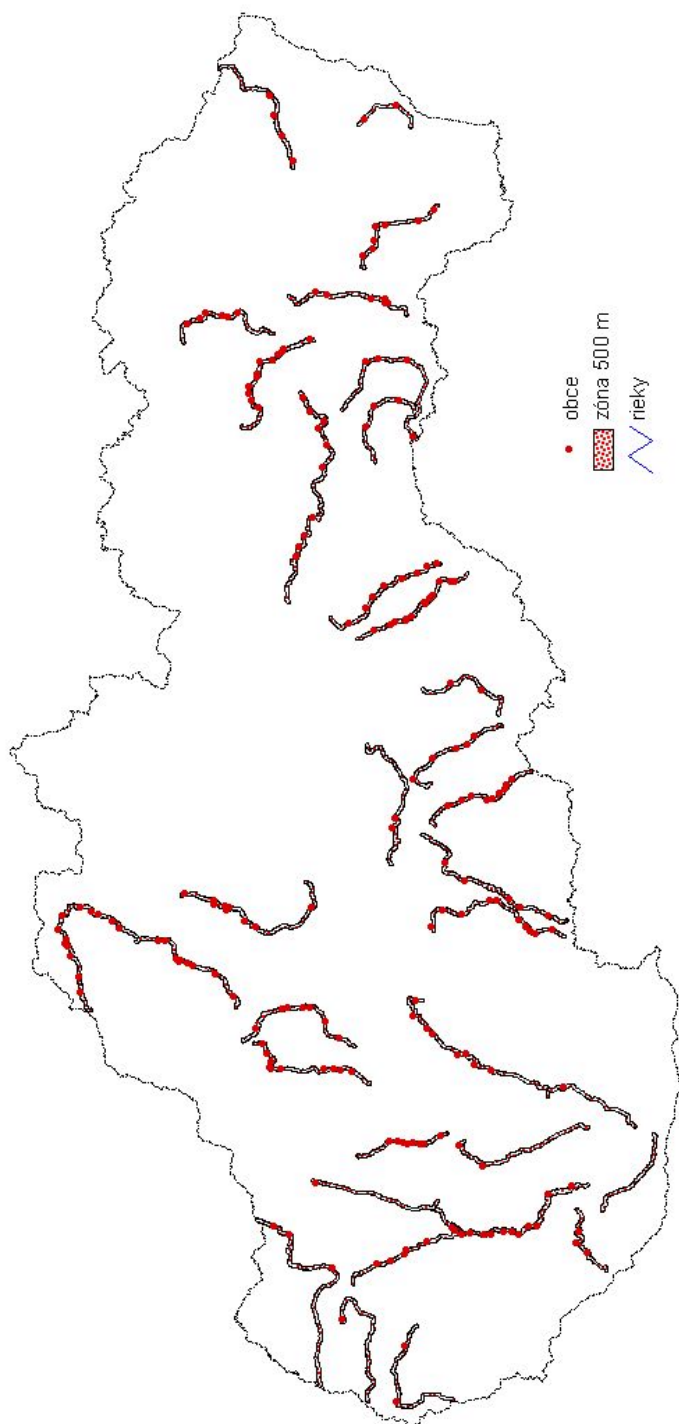
Kategória vodných tokov	Počet/Dĺžka	Zoznam
Veľké vodné toky ($P > 1000 \text{ km}^2$)~	21/2 678 km	Orava, Topľa, Torysa, Uh, Čierna voda, Hornád, Rimava, Ondava, Laborec, Dunaj, Nitra, Malý Dunaj, Poprad, Slaná, Bodrog a Latorica, Dunajec, Morava, Tisa, Váh, Hron, Ipel
Stredné vodné toky ($300 \leq P \leq 1000 \text{ km}^2$)	35/1 691 km	Sekčov, Trnávka (z), kan. Veľké Revište, Trnávka (v), Olšava, Svinka, Ida, Cirocha, Stará Žitava, Nitrica, Radošinka, Dlhý kanál, Stará Čierna voda, Turiec, Muráň, Štiavnica, Tisovník, Krivánsky, p., Suchá, Rudava, Rajčianka, Horný Dudvák, Komárňanský kanál, kan. Gabčíkovo-Topľník, Dolný Dudvák, Hnilec, Žitava, Bebrava, Bodva, Slatina, Krupinica, Malina, Myjava, Kysuca, Turiec
Malé vodné toky ($10 < P < 300 \text{ km}^2$)	1 255/14 166 km	Andač, Andrejov potok, Antalov potok, ... , Žitavica, Žliabok, Župovský potok



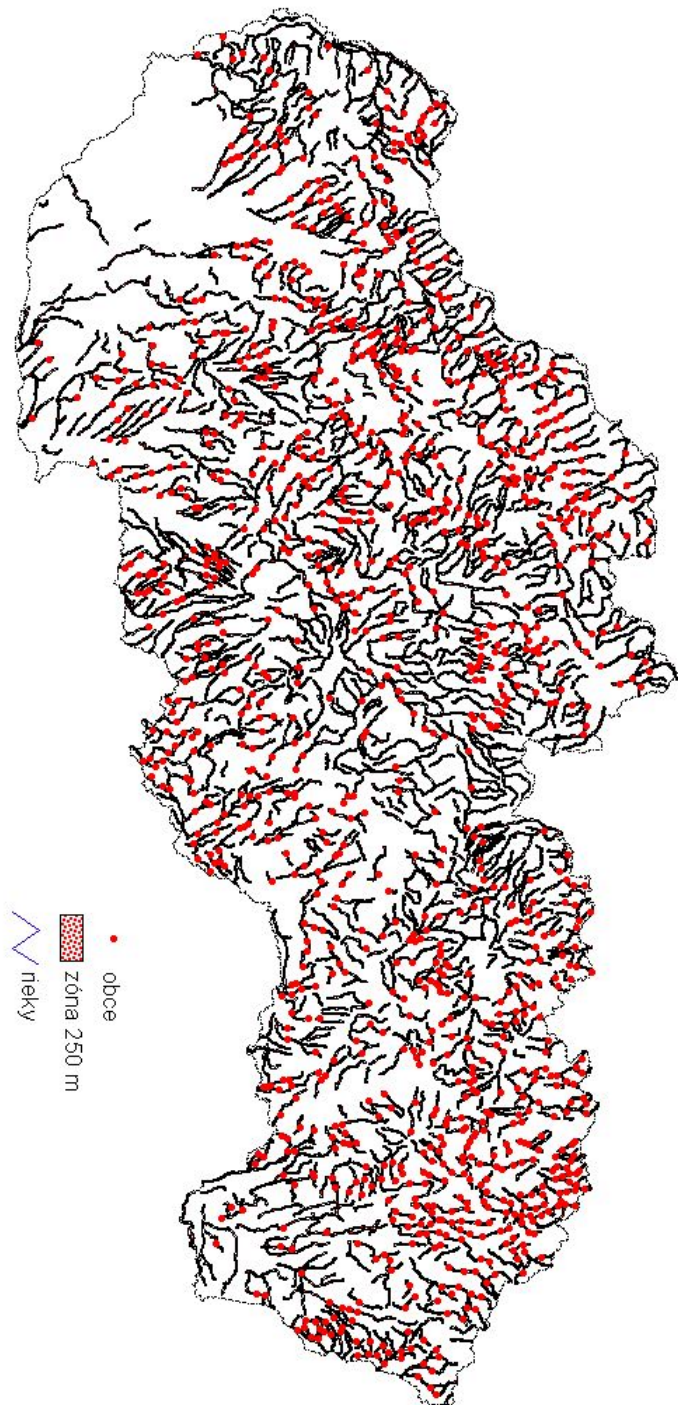
Obr. 2. Vodné toky Slovenska s plochou povodia $P \geq 10 \text{ km}^2$.



Obr. 3. Obce pozdlíž velkých tokov



Obr. 4. Obce pozděl středných tokov



Obr. 5. Obce pozdĺž malých tokov

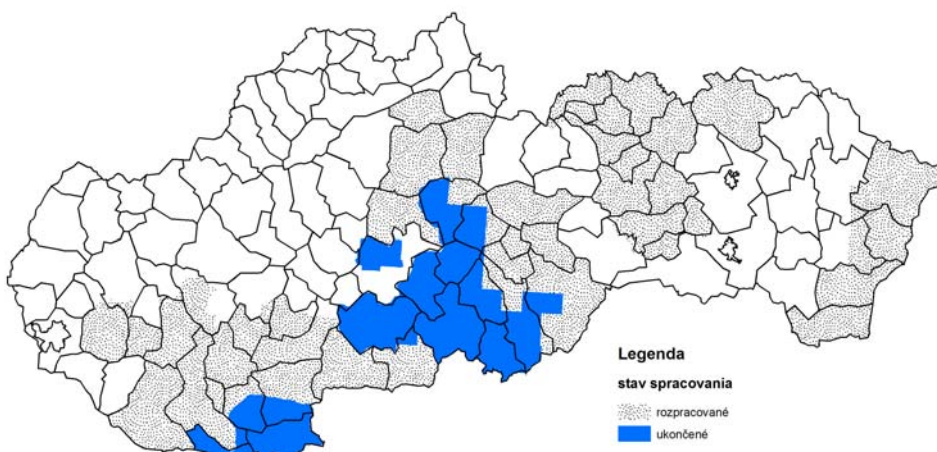
Tab. 2. Počet obcí pozdĺž vodných tokov

Obce	Počet	Percento z celkového počtu
Pozdĺž veľkých tokov	507	17,32
Pozdĺž stredných tokov	204	6,97
Pozdĺž malých tokov	1 093	37,33
V povodiach < 10km ²	278	9,49
Ostatné	846	28,89
Spolu	2 928	100,00

Základné digitálne údajové zdroje a hydrologické údaje

Tvorba povodňových máp na národnej úrovni si vyžaduje, aby základné digitálne údajové zdroje o reliéfe, vodných tokoch, krajinskej pokrývke, ochranných hrádzach, ďalej letecké meračské snímky, prípadne z nich vytvorené ortofotomapy, ako aj hydrologické údaje vyčerpávajúcim spôsobom pokrývali celé územie Slovenska a boli vytvorené konzistentným spôsobom.

Vzhľadom na informatívny charakter povodňových máp na národnej úrovni je z finančného hľadiska efektívne použiť na ich tvorbu údajové zdroje, ktoré sú súčasťou vytváranej Základnej bázy geografického informačného systému (ZB GIS). Za tvorbu a správu ZB GIS zodpovedá rezort Úradu geodézie, kartografie a katastra SR (ÚGKK SR) a ním poverený správca Geodetický a kartografický ústav Bratislava (GKÚ). Strategickým cieľom rezortu ÚGKK SR je vytvoriť priestorovú, objektovo orientovanú databázu v spolupráci s rezortom Ministerstva obrany SR do roku 2010 (30 % rezort ÚGKK SR, 70 % rezort MO SR). Stav spracovania ZB GIS v roku 2006 je znázornený na obr. 6.



Obr. 6. Stav spracovania údajov pre ZB GIS v roku 2006

Obsahom ZB GIS sú priestorové objekty, atribúty, ich väzby a metainformačný popis všetkých objektov. Rozsah mapovaných topografických objektov, ich definície a atribúty určuje Katalóg objektov (<http://www.gku.sk/slo/doc/katalog.pdf>). Mapuje sa vyše 150 druhov objektov viditeľných na zemskom povrchu vrátane riečnych úsekov, vodných plôch, hrádzi a objektov krajinej pokrývky. Prvotné informácie o priestorovej polohe, teda geometria objektov, vznikajú vektorizáciou stereomodelu, vytvoreného z leteckých meračských snímok. Na mapovanie a aktualizáciu objektov spolu s ich atribútmi je však možné použiť okrem fotogrametrických metód aj geodetické metódy, metódy miestneho šetrenia v teréne. Pri tvorbe a naplňaní špecifických atribútov k objektom bude nevyhnutná súčinnosť a spolupráca so správcami špecializovaných tematických informačných systémov. Geometrická presnosť priestorovej polohy objektov závisí od rôznych faktorov, najmä však od metódy zberu vstupných údajov. V prípade fotogrametrického mapovania závisí od mierky leteckých snímok, rozlíšenia pri skenovaní a ďalšieho spracovania, nemala by však presiahnuť v polohe 1 m a 2 m vo výške. Na kvalitné určenie presnosti priestorovej polohy objektov bude však potrebné navrhnuť metódu testovania jednotlivých objektov v ZB GIS. Možnosti poskytuje najmä porovnanie s geometriou objektov získanou presnejšími metódami, napr. využitím Slovenskej priestorovej observačnej služby (SKPOS), kde bola dosiahnutá presnosť na identických geodetických bodoch 1 - 2 cm v polohe a 3 - 4 cm vo výške. Služba SKPOS je dostupná v testovacej prevádzke len od novembra 2006 a plánujeme ju v ďalšom období využívať na kvalitnejšie a systematické testovanie kvality údajov ZB GIS. Výsledná databáza ponúkne užívateľom konzistentné, homogénne a topologicky zladené geografické údaje z územia SR.

Využitím toho istého zdroja – leteckých meračských snímok na zber údajov ZB GIS, by mohla súbežne vzniknúť ortofotomozaika. Bohužiaľ sa na Slovensku do súčasnosti nepodarilo skoordinať a spolufinancovať systematickú tvorbu a aktualizáciu v pravidelnom optimálnom cykle 3 - 5 rokov, s možnosťou niekoľkonásobného využitia pre všetky štátne rezorty, ktoré produkt potrebujú (geodézia a kataster, obrana, životné prostredie, pôdohospodárstvo, doprava, krízový manažment a pod.). V súčasnosti dostupná digitálna ortofotomapa Slovenska bola vytvorená na základe leteckých meračských snímok, vytvorených v roku 2002 firmami Geodis a Eurosense pre účely Ministerstva pôdohospodárstva SR. Dnes Ministerstvo pôdohospodárstva zabezpečuje snímkovanie a tvorbu ortofotomozaiky v rozsahu približne 1/10 územia ročne.

Rozhodujúcou, z hľadiska presnosti povodňových máp, je údajová vrstva o reliéfe – digitálny model reliéfu (DMR). Pre územie Slovenska nie je zatiaľ k dispozícii digitálny model reliéfu vytvorený na základe údajov získaných niektorou zo súčasných techník diaľkového prieskumu Zeme (digitálna fotogrametria, LIDAR, IFSAR). V prípade, že by sa uvažovalo o využití niektorej techniky, z finančného hľadiska je prijateľná technológia IFSAR. Použitie digitálnej fotogrametrie, ako aj LIDAR-u na národnej úrovni, je pre ich finančnú náročnosť v súčasnosti nereálne. Aplikácia niektorej z týchto technológií prichádza teda do úvahy len pri tvorbe povodňových máp pre niektoré vybrané lokality, ktoré sú zo spoločenského hľadiska obzvlášť významné.

V súčasnosti dostupným podkladom z celého územia SR je DMR3. Bol vytvorený vektorizáciou výškopisu (vrstevníc) vojenských topografických máp

mierky 1:25 000, 1:10 000 (S42) a ZM 1:10 000 (JTSC). Z pospájaných zdrojových údajov TOPÚ Banská Bystrica vygeneroval grid s technickými parametrami 10×10 m vo formáte ESRI GRID, v súradnicovom systéme WGS-84 (je dostupný aj v S-JTSC) a výškovom systéme BpV. V spolupráci s GKÚ sa vykonala kontrola kvality a presnosti údajov, zatiaľ však len porovnaním údajov DMR3 so súradnicami 2 000 geodetických bodov Štátnej priestorovej siete. Body boli rozdelené do štyroch výškových stupňov. Vypočítané rozdiely (reziduá) medzi nadmorskou výškou DMR3 a geodeticky určenou s centimetrovou presnosťou sú v tab. 3.

Na kvalitné otestovanie však bude potrebné vytypovať lokality podľa charakteru územia, sklonu terénu a prevýšenia a zamerať väčšiu nezávislú množinu bodov. Údaje DMR3 bude možné postupne spresňovať, prípadne nahrádzať jeho časti geodeticky získanými údajmi, napr. aj výsledkami geodetických meraní správcov tokov a podobne.

Tab. 3. Kvalita presnosti údajov DMR3

	Nížiny	Nízke vysočiny	Stredné vysočiny	Vysoké vysočiny	Celé územie SR
Počet bodov	1059	785	141	15	2000
Rozpätie rezidui (m)	-15,64 až 15,35	-13,13 až 9,65	-26,13 až 7,84	-7,84 až 4,51	-26,13 až 15,35
Priemer rezidui (m)	-0,41	-0,88	-1,53	-2,88	-0,71
Štandardná odchýlka (m)	1,5	2,08	3,79	3,48	2,08

Súbežne s tvorbou ZB GIS sa začal realizovať aj projekt tvorby digitálneho modelu reliéfu DMR4 metódou digitálnej fotogrametrie. Spracované sú však len niektoré lokality a v dôsledku nedostatočného financovania, náročnosti práce na čas a kapacitu zber pokračuje veľmi pomaly. Predpokladaný čas zmapovania celého územia SR by v súčasných podmienkach trval viac ako 10 rokov. Výhodou by bola konzistentnosť údajov DMR4 s databázou ZB GIS a porovnateľná geometrická presnosť údajov, nakoľko sa pri zbere využívajú rovnaké zdroje. Alternatívnym a nepochybne oveľa rýchlejšim riešením by bolo zabezpečiť zber údajov povrchu a terénu využitím moderných metód, napr. laserovým skenovaním. Najvýhodnejšie pre štát a financie daňových poplatníkov by bolo, keby jednotlivé rezorty dokázali koordinovať svoju činnosť, spolupracovať a spolufinancovať podobné projekty s možnosťou niekoľkonásobného využitia v štáte.

V rámci nového mapovania sa vytvára aj vrstva vodných tokov. Je predpoklad, že z celého územia SR bude ukončená v roku 2010. V súčasnosti je na GKÚ k dispozícii digitálna vrstva riečnej siete SVM 50, ktorá vznikla digitalizáciou Základnej mapy v mierke 1:50 000. Pri kombinovaní týchto údajov s ortofotomapou v mierke 1:5 000 a DMR3 je však zjavný polohový nesúlad čiary vodného toku s polohou toku na ortofotomape, resp. s polohou dna doliny v DMR3, keďže všetky tri produkty vznikali nezávisle od seba a z rôznych predkladov. V prípade rozhodnutia použiť niektorú z uvedených vrstiev riečnej siete

ZM pre tvorbu povodňových máp je teda nevyhnutné pristúpiť k polohovému zosúladieniu digitálnej vrstvy jestvujúcej riečnej siete s ortofotomapou a DMR3. Vzhľadom na vysokú prácnosť a vznikajúcu novú databázu ZB GIS však zosúladiť spomínané vrstvy neodporúčame. Vhodným riešením by bolo nájsť možnosti a finančné prostriedky pre urýchlenie zberu priestorových údajov ZB GIS.

Údaje o krajinej pokrývke Slovenska sú dôležitým podkladom na stanovenie Mannigovho koeficienta drsnosti n dna dolín. Digitálna mapová vrstva sa získala metódou CORINE land cover na základe interpretácie satelitných snímok v mierke 1:100 000. Minimálna plocha, ktorá sa pri interpretácii identifikovala, mala plochu 25 ha. Vrstvu distribuuje SAŽP Banská Bystrica. K dispozícii sú pritom údaje o krajinej pokrývke z dvoch časových horizontov. Mapa krajinej pokrývky prvého časového horizontu (Feranec et al. 1996) je založená na interpretácii satelitných snímok z obdobia 1989-1992. Druhý časový horizont reprezentujú snímky z roku 2000 (Feranec et al. 2005). V oboch prípadoch sa rozlišuje 31 kategórií krajinej pokrývky. Do konca roka 2007 sa pripravuje vytvorenie novej vrstvy krajinej pokrývky s rozlíšením 5 ha (osobná informácia od J. Feranca). Po ukončení mapovania údajov databázy ZB GIS v roku 2010 však bude možné údaje krajinej pokrývky spresniť, prípadne nahradiť. V súčasnosti sa mapujú plochy s rozlíšením už od 100 m².

Digitálnu vrstvu ochranných hrádzí je možné v súčasnosti vytvoriť z podkladových materiálov SVP, resp. VÚVH. Avšak objekty ako hrádza, hať, stavidlo a koruna hrádze budú tiež súčasťou databázy ZB GIS. Objekty sa mapujú a interpretujú ako línie v prípade do 2 m ich šírky a ako plocha ak je šírka telesa väčšia ako 2 m. Na naplnenie niektorých špecifických atribútov k objektom bude potrebná a nevyhnutná spolupráca so správcami objektov, najmä s SVP.

Pokiaľ ide o podkladové údaje pre stanovenie N -ročných maximálnych prietokov, tak k dispozícii sú hydrologické údaje z 340 vodomerných staníc SHMÚ, ktoré majú minimálne 20-ročné pozorovacie obdobie. Využiť je možné aj historické záznamy o veľkých povodniach.

Riešenie kľúčových problémov tvorby povodňových máp

Medzi skupinou veľkých, stredných a malých vodných tokov existujú určité rozdiely v charaktere záplav. Vodný režim na väčšine veľkých vodných tokov je kontrolovaný vodnými nádržami a na mnohých úsekoch v stredných a dolných častiach sú pozdĺž tokov vybudované ochranné hrádze. V dôsledku tejto regulácie odtokového režimu v obciach pozdĺž veľkých vodných tokov povodeň vzniká predovšetkým preliatím, resp. pretrhnutím hrádze, priesakmi cez hrádu, alebo môže byť spôsobená aj výskytom vnútorných vôd. Ohrozenie povodňou, ktoré je spôsobené vybrežením toku, je obmedzené len na niekoľko málo lokalít. Odtokový režim stredných tokov je v menšej miere regulovaný vodnými nádržami a menej je vybudovaných aj ochranných hrádzi. Obciam pozdĺž stredných tokov hrozia najmä záplavy spôsobené vybrežením tokov v dôsledku veľmi rýchleho topenia snehu a výskytu dlhotrvajúcich, pritom nie príliš intenzívnych dažďov. Pre malé vodné toky je typický výskyt bleskových povodní, čiže povodní, ktoré majú veľmi rýchly priebeh, povodňová vlna trvá krátko, len nie-

koľko hodín a sú spôsobené plošne nie príliš rozsiahlymi, ale zato veľmi intenzívnymi zrážkami. Pri bleskových povodniach sú záplavy spôsobené nielen vybrežením tokov, ale v dôsledku vysokej intenzity dažďa aj plošne rozsiahlym výskytom odtoku po povrchu pôdy, ktorý sa postupne koncentruje, tečie mimo koryta toku a spôsobuje škody na objektoch, ktoré sú mimo príbrežnej zóny vodných tokov, napr. na svahoch.

Tvorba povodňových máp na základe rozsahu zaplaveného územia, zodpovedajúceho maximálnym ročným prietokom rozdielnej doby opakovania, postihuje predovšetkým záplavy spôsobené prirodzeným vybrežením toku. Ak sa má rozdielny charakter záplav medzi jednotlivými skupinami vodných tokov nejakým spôsobom prejavíť v povodňových mapách, tak je potrebné metodológiu tvorby povodňových máp rozšíriť tak, aby mapy vyjadrovali aj priestorovú (regionálnu) variabilitu povodňového ohrozenia spôsobeného bleskovými povodňami, ľadovými záťarasami alebo vnútornými vodami. Výskyt týchto povodňových situácií, ako ukázala predbežná analýza povodňových situácií za obdobie 1996-2006, je na Slovensku pomerne častý (Solín 2007).

Uvedené skupiny vodných tokov vykazujú aj určité diferencie v početnosti vodomerných staníc. Zatiaľ čo na veľkých a stredných tokoch je niekoľko vodomerných staníc na každom toku, v prípade malých vodných tokov sú hydrologické pozorovania len na veľmi obmedzenom počte tokov. V dôsledku toho si riešenie kľúčových problémov v rámci jednotlivých skupín vodných tokov v prípade riečnych povodní vyžaduje diferencovaný prístup. Odhad ročných maximálnych prietokov s rozdielnou dobou opakovania (N -ročné maximálne prietoky) na veľkých a stredných tokoch má charakter odhadu pozdĺž toku. V takomto prípade je vhodné pri odhade N -ročných maximálnych prietokov uplatniť niektorý z interpolačných prístupov (Sauquet et al. 2000), resp. uplatniť tradičnú metodiku SHMÚ založenú na aplikácii Dubových oblastných vzorcov (SHMÚ 1989). Pritom obzvlášť významné je určenie prietokov, ktorých výška dosahuje, resp. prekračuje korunu hrádze. Na malých vodných tokoch sú hydrologické pozorovania len na veľmi obmedzenom počte tokov, pričom hydrologické pozorovania majú pomerne krátky pozorovací rad. Základným problémom v súvislosti s odhadom N -ročných maximálnych prietokov je preto extrapolácia hodnôt z vodných tokov s hydrologickým pozorovaním na toky bez hydrologického pozorovania. Hodnotenie odhadov N -ročných maximálnych prietokov získaných na základe aplikácie oblastných vzorcov (cf. Blaškovičová 1998) však ukázalo, že oblastné vzorce nie celkom dobre vyhovujú určeniu storočných prietokov v malých povodiach. Kohnová a Szolgay (1995), Solín (2005) zdôraznili fakt, že odhady storočných prietokov prostredníctvom oblastných vzorcov predstavujú obalovú čiaru, resp. pravdepodobné maximálne možné prietoky. V dôsledku toho sa začala venovať zvýšená pozornosť odhadu N -ročných maximálnych prietokov aplikáciou moderných štatistických metód, a to predovšetkým regionálnej frekvenčnej analýzy (Kohnová a Szolgay 2000, 2002, 2003b, Kriegerová a Kohnová 2005, Kohnová a Podolinská 2004, Solín 2002, 2005b, 2006a). Hodnoty N -ročných maximálnych prietokov získané na základe regionálnej frekvenčnej analýzy sú pritom nižšie než hodnoty dosiahnuté použitím empirických oblastných vzorcov.

Čo sa týka aplikácie hydraulických modelov pre odhad výšok hladín N -ročných maximálnych prietokov a stanovenia zjednodušujúcich predpokla-

dov umožňujúcich ich použitie, tak veľké toky si vyžadujú modelovanie výšok hladín prostredníctvom 1D modelu neustáleného prúdenia, zohľadňujúceho z lokálnych faktorov ovplyvňujúcich prietokový režim predovšetkým vplyv ochranných hrádzi. Pritom je možné využiť existujúce údaje o morfológii priečných profilov, ktoré sú v archívoch SHMÚ, VÚVH alebo SVP. V prípade malých tokov pri odhade výšok hladín pre maximálne ročné prietoky rozdielnej frekvencie výskytu je postačujúce uplatnenie 1D modelu ustáleného prúdenia. Pri celkovej dĺžke malých vodných tokov, viac ako 14 000 km, si je dôležité uvedomiť, že celkový počet priečných profilov, pre ktoré bude potrebné stanoviť morfológické parametre, sa môže pohybovať v intervale 40 000 - 60 000. Získať tieto údaje v čase 2-3 rokov pre tak veľké množstvo priečných profilov tradičným pozemným geodetickým meraním je nereálne. Čiže prijatie určitých zjednodušujúcich predpokladov ohľadne tvaru koryta rieky alebo jeho prietokovej kapacity je nevyhnutné. Pri určovaní kapacity koryta je možné využiť geomorfologické poznatky a prijať jeden z predpokladov, že kapacita koryta rieky sa rovná prietoku, ktorý zodpovedá prietoku plného koryta. Podľa Leopold et al. (1964) prietok plného koryta zodpovedá maximálnemu ročnému prietoku s dobou opakovania v priemere 1,5 roka, resp. podľa Nadena a McCartneyho (1991) je to 1,3 roka pre územie Veľkej Británie. Iný spôsob vyjadrenia kapacity koryta spočíva v aplikácii aritmetického priemeru, resp. mediánu maximálnych ročných prietokov (JBA Consulting 2004). Ako primárny zdroj pre stanovenie morfológických atribútov priečných profilov dna dolín, ako aj rozsahu zaplaveného územia prichádza do úvahy digitálny model reliéfu Slovenska DMR3.

Z uvedených poznámok vyplýva, že z metodologického hľadiska sa zdá byť potom racionálne tvorbu povodňových máp rozdeliť do troch skupín:

- povodňové mapy pre obce pozdĺž veľkých tokov,
- povodňové mapy pre obce pozdĺž stredných tokov,
- povodňové mapy pre obce pozdĺž malých tokov.

ZÁVER

Povodňové mapy zobrazujú pravdepodobný rozsah zaplaveného územia pre ročné maximálne prietoky rozdielnej frekvencie výskytu. V príspevku je uvedený stručný prehľad riešenia kľúčových problémov ich tvorby a načrtnutý je strategický rámec tvorby povodňových máp na priestorovej úrovni Slovenska. V súvislosti s analýzou kľúčových problémov je zdôraznená skutočnosť, že so zväčšovaním sa priestorovej dimenzie sa znižuje detailnosť riešenia kľúčových problémov tvorby povodňových máp, v dôsledku čoho sa znižuje aj presnosť vyčlenenia jednotlivých povodňových zón.

Načrtnutý strategický rámec predstavuje súbor základných východiskových téz týkajúcich sa: 1) výberu vodných tokov, ktoré budú predmetom mapovania povodňového rizika, 2) základných digitálnych a hydrologických údajových zdrojov, 3) metodického riešenia kľúčových problémov tvorby povodňových máp.

Vzájomná kompatibilita smernice (COM(2006/15) so smernicou EÚ o vode (Directive 2000/60/EC, 2000) si vyžaduje, aby sa povodňové mapy vytvárali pre všetky vodné toky s plochou povodia rovnou alebo väčšou ako 10 km². Vodné

toky spĺňajúce túto podmienku sú rozdelené do troch kategórií veľké, stredné a malé toky. Tvorba povodňových máp na priestorovej úrovni Slovenska si vyžaduje, aby základné digitálne údajové zdroje o reliéfe, vodných tokoch, krajinskej pokrývke, ochranných hrádzach vyčerpávajúcim spôsobom pokrývali celé územie štátu, boli vytvorené konzistentným spôsobom a boli vzájomne polohovo zosúladené. V súvislosti s analýzou jednotlivých existujúcich údajových zdrojov sa konštatovalo, že vzhľadom na informatívny charakter povodňových máp na národnej úrovni je z finančného hľadiska efektívne použiť na ich tvorbu údajové zdroje, ktoré sú súčasťou vytváranej základnej bázy údajov GIS (ZB GIS).

Pri riešení kľúčových problémov tvorby povodňových máp na národnej priestorovej úrovni sa poukázalo na určité diferencie v charaktere záplav a v počte vodomerných staníc medzi skupinou veľkých, stredných a malých vodných tokov. V dôsledku toho si riešenie kľúčových problémov v rámci jednotlivých skupín vodných tokov v prípade riečnych povodní vyžaduje diferencovaný prístup. Poukázalo sa pritom na skutočnosť, že povodňové mapy, zobrazujúce rozsah zaplaveného územia zodpovedajúceho maximálnym ročným prietokom s rozdielnou dobou opakovania, postihujú predovšetkým záplavy spôsobené prirodzeným vybrežením toku. Ak sa má rozdielny charakter záplav medzi jednotlivými skupinami vodných tokov nejakým spôsobom prejavíť v povodňových mapách, tak je potrebné metodológiu tvorby povodňových máp rozšíriť tak, aby mapy vyjadrovali aj priestorovú (regionálnu) variabilitu povodňového ohrozenia, spôsobeného lokálnymi (bleskovými) povodňami, ľadovými záťarasami alebo vnútornými vodami. Z metodologického hľadiska sa zdá byť potom racionálne tvorbu povodňových máp na priestorovej úrovni Slovenska rozdeliť do troch skupín:

- povodňové mapy pre obce pozdĺž veľkých tokov,
- povodňové mapy pre obce pozdĺž stredných tokov,
- povodňové mapy pre obce pozdĺž malých tokov.

Príspevok bol riešený v rámci projektu 6037/26 "Identifikovanie a mapovanie povodňového rizika", ktorý je finančne podporovaný grantovou agentúrou VEGA.

LITERATÚRA

- BANKOFF, G. (2001). Rendering the world unsafe: "vulnerability" as western discourse. *Disasters*, 25, 19-35.
- BARREDO, J. I., LAVALLE, C., De ROO, A. (2005). *European flood risk mapping*. In European Commission Directorate General Joint Research Centre – Weather driven natural hazards, p. 6.
- BATES, P. D., De ROO, A. P. J. (2000). A simple raster-based model for flood inundation simulation. *Journal of Hydrology*, 236, 54-77.
- BEVEN, K., J. (1985). Distributed models. In Anderson, M. G., Burt, T. P., eds. *Hydrological forecasting*. Chichester (Wiley), pp. 405-436.
- BEVEN, K., J. (2000). *Rainfall - runoff modelling. The Primer*. Chichester (Wiley).
- BLACKIE, J. R., EELES, W. O. (1985). Lumped catchment models. In Anderson, M. G., Burt, T. P., eds. *Hydrological forecasting*. Chichester (Wiley), pp. 311-346.
- BLÁŠKOVICOVÁ, L. (1998). Problémy pri stanovovaní hodnôt *N*-ročných prietokov. *Práce a štúdie SHMÚ*, 59, 59-66.

- BROWN, J. D., DAMERY, S. L. (2002). Managing flood risk in the UK: towards an integration of social and technical perspectives. *Transactions - Institute of British Geographers*, 27, 412-426.
- BÜCHELE, B., KREIBICH, H., KRON, A., THIEKEN, A., IHRINGER, J. OBERLE, P., NESTMANN, F. (2006). Flood-risk mapping: contributions towards an enhanced assessment of extreme events and associated risks. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6, 485-503.
- CHOW, V. T., MAIDMENT, D. R., MAYES, L. W., MORRIS, J., CLARK, B. J. (1988). *Applied hydrology*. New York (McGraw Hill).
- COM (2004)472. *Flood risk management. Flood prevention, protection and mitigation*. Brusel (Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee, the Committee of the Region).
- CUNNANE, C. (1988). Methods and merits of regional flood frequency analysis. *Journal of Hydrology*, 100, 269-290.
- DALRYMPLE, T. (1960) Flood frequency methods. *U.S. Geological Survey, Water Supply Paper*, 1543A, 11-51.
- DEFRA (2000). *Guidelines for environmental risk assessment and management*. London (DEFRA).
- DEFRA (2006). *Flood risk to people*. Technical report Phase 2 FD2321/TR1. London (DEFRA).
- DE LOË, R. (2000). Floodplain management in Canada: overview and prospects. *The Canadian Geographer*, 44, 55-368.
- DUB, O. (1954). *Všeobecná hydrológia Slovenska*. Bratislava, (Vydavateľstvo SAV).
- DUB, O. (1957). *Hydrológia, hydrografia, hydrometria*. Bratislava (SVTL).
- DIRECTIVE 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*, L 327, 22/12/2000 p. 0001-0073
- FEH (1999). *Flood estimation handbook*. Wallingford (Institute of Hydrology).
- 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., MACHKOVÁ, N., NOVÁČEK, J., PRAVDA, J., CEBECAUER, T., HUSÁR, K. (2005). Land cover changes in administrative regions of Slovakia in 1990-2000. In Himiyama, Y., ed. *Land use/cover changes in selected regions in the World*, 4. Asahikawa (IGU-LUCC), pp. 25-31.
- FREAD, D., L. (1985). Channel routing. In Anderson, M. G., Burt, T. P., eds. *Hydrological forecasting*. Chichester (Wiley), pp. 437-504.
- GREHYS (1996). Presentation and review of some methods for regional flood frequency analysis. *Journal of Hydrology*, 186, 63-84.
- HALL, J. W., SAYERS, P. B., DAWSON, R. J. (2005). National-scale assessment of current and future flood risk in England and Wales. *Natural Hazards*, 36, 147-164.
- HORRITT, M. S., BATES, P. D. (2002). Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation. *Journal of Hydrology*, 268, 87-99.
- HOSKING, J. R. M., WALLIS, J. R. (1997). *Regional frequency analysis*. Cambridge (Cambridge University Press).
- HYDROLOGICKÉ POMERY ČSSR, díl I. (1965). Praha (Hydrometeorologický ústav).
- JBA CONSULTNIG (2004). *Requirements for flood mapping: scooping study*. Final Report. Scottish Executive, Environment Group Research Report 2004/03.
- KATALÓG OBJEKTOV. Dostupné na: <http://www.gku.sk/slo/doc/katalog.pdf> (cit: 2007-02-15).
- KOHNŇOVÁ, S., SZOLGAY, J. (1995). K používaniu Dubovho vzorca pre výpočet výpočet maximálneho storočného špecifického odtoku na malých povodiach Slovenska. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 43, 3-27.

- KOHNNOVÁ, S., SZOLGAY, J. (2000). Regional estimation of design flood discharges for river restoration in mountainous basins of northern Slovakia. In Marsalek, J., Watt, W. E., Zeman, E., Sieker, F., et al., eds. *Flood issues in contemporary water management*. Dordrecht (Kluwer Academic Publisher), pp. 41-47.
- KOHNNOVÁ, S., SZOLGAY, J. (2002). Practical applicability of regional methods for design flood computation in Slovakia. In Sperafico, M., Weingartner, R., eds. *Proceedings of international conference on flood estimation*. Report II-17, Bern (International Commission for the Hydrology of the Rhine Basin), pp. 529-539.
- KOHNNOVÁ, S., SZOLGAY, J. (2003). Regional flood frequency of L-moments. In Šoltész, A., Balážová, A., Fialíková, B., Čepcová, Z., Cabadaj, R., eds. *VIII. International symposium on water management and hydraulic engineering*. Podbanské, (STU Bratislava, Gdansk University, University of Zagreb), pp. 187-195.
- KOHNNOVÁ, S., PODOLINSKÁ, J. (2004). Lokálny odhad N -ročných maximálnych prietokov a regionálna typizácia povodí pre účely regionálnej frekvenčnej analýzy maximálnych prietokov na Slovensku. In *Hydrologické modelovanie ako súčasť integrovaného manažmentu*. Bratislava (SHM, VÚVH, KVHK SvF STU), pp. 29-41.
- KOM (2006) 15. *Posúdenie povodní a povodňový manažment*. Smernica Európskeho parlamentu a rady. Návrh. Brusel.
- KRIEGEROVÁ, I., KOHNNOVÁ, S. (2005). Seasonality analysis of flood occurrence in mid-sized catchments in Slovakia. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 53, 54-163.
- KRON, W., WILLEMS, V. (2002). Flood risk zoning and loss accumulation analysis for Germany. In Weingartner, R., Sperafico, M., eds. *Proceedings of international conference on flood estimation*. Report II-17, Bern (International Commission for the Hydrology of the Rhine Basin), pp. 549-558.
- LEOPOLD, L. B., WOLMAN, M. G., MILLER, J. P. (1964). *Fluvial processes in geomorphology*. San Francisco (Freeman).
- LUKÁČ, M., ABAFFY, D., COMAJ, M. (2006). Hydrodynamické numerické modelovanie a nová povodňová smernica EÚ. *Vodohospodársky spravodajca*, 49, 26-29.
- MINÁR, J., TRIZNA, M., BARKA, I., BONK, R. (2006). *Povodňový potenciál na území Slovenskej republiky*. Bratislava (Geografika).
- MMC (2006). *Rizikové zóny záplav – Slovensko 2006*. Interný materiál, Multimedia Computer Slovakia, Bratislava.
- MORRIS, D. G., FLAVIN, R. W. (1996). *Flood risk map for England and Wales*. Wallingford (Institute of Hydrology).
- MORROW, B. H. (1999). Identifying and mapping community vulnerability. *Disasters*, 23, 1-18.
- NADEN, P. S., McCARTNEY, M. P. (1991). *Direct estimation of flood depth*. Wallingford (Institute of hydrology).
- PLATE, E. J. (2002). Flood risk and flood management. *Journal of Hydrology*, 267, 2-11.
- POTTIER, N., PENNING-ROWSELL, E., TUNSTALL, S., HUBERT, G. (2005). Land use and flood protection: contrasting approaches and outcomes in France and in England and Wales. *Applied Geography*, 25, 1-27.
- RAO, A. R., HAMED, K. H. (2000). *Flood frequency analysis*. Boca Raton (CRC Press).
- RODDA, H. J. E., BERGER, A. (2002). The application of flood modelling and mapping for managing flood risk in the UK. In Weingartner, R., Sperafico, M., eds. *Proceedings of international conference on flood estimation*. Report II-17, Bern (International Commission for the Hydrology of the Rhine Basin), pp. 645-650.
- SANDERS, R., SHAW, F., MacKAY, H., FOOTE, M. (2005). National flood modelling for insurance purposes: using IFSAR for flood risk estimation in Europe. *Hydrology and Earth System Sciences*, 9, 449-456.

- SAUQUET, E., GOTTSCHALK, L., LEBLOIS, E. (2000). Mapping average annual runoff: a hierarchical approach applying a stochastic interpolation scheme. *Hydrological Sciences Journal*, 45, 799-815.
- SAYERS, P. B., GOULDBY, B. P., SIMM, J. D., MEADOWCROFT, J., HALL, J. (2003). *Risk, performance and uncertainty in flood and coastal defence - a review*. Wallingford (DEFRA/Environment Agency).
- SEALTHUN, N. R., OBERLIN, G. (1993). Synopsis of alternative methods. In Gustard, A., ed. *Flow regime from international experimental and network data (FRIEND). Hydrological studies, 1*. Wallingford (Institute of Hydrology), pp. 139-143.
- SHMÚ (1989). *Opakovanie maximálnych prietokov na slovenských tokoch*. Interná publikácia, Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava.
- SMITH, K (1996). *Environmental hazards*. London (Routledge).
- SMITH, K., WARD, R. (1998). *Floods. Physical processes and human impacts*. Chichester (Wiley).
- SOLÍN, Ľ. (2002). Regional flood frequency analysis: identification of physical regional types. In Weingartner, R., Sperafico, M., eds. *Proceedings of international conference on flood estimation*. Report II-17, Bern (International Commission for the Hydrology of the Rhine Basin), pp. 687-696
- SOLÍN, Ľ. (2005a). Identification of homogenous regional classes for flood frequency analysis in the light of regional taxonomy. *Hydrological Sciences Journal*, 50, 1105-1118.
- SOLÍN, Ľ. (2005b). Povodne – odhad ich veľkostí pre malé povodia Slovenska metódou regionálnej frekvenčnej analýzy. *Geografický časopis*, 57, 287-307.
- SOLÍN, Ľ. (2006a). *Odhad N-ročných maximálnych prietokov regionálnou frekvenčnou analýzou*. Geographia Slovaca 23. Bratislava (Geografický ústav SAV).
- SOLÍN, Ľ. (2006b). *Mapa povodňovej hrozby v malých povodiach Slovenska*. Interný materiál, Geografický ústav SAV, Bratislava.
- SOLÍN, Ľ. (2007). *Povodne na Slovensku v období 1996-2006*. Interný materiál, Geografický ústav SAV, Bratislava.
- TRIZNA, M. (2000). Identifikácia a hodnotenie povodňového ohrozenia územia. In Váishar, A., Munzar, J., eds. *Povodňe, krajina a lidé v povodí řeky Moravy II*. Bulletin Grantového projektu Grantové agentúry AV ČR. Brno (Regiograph), pp. 105-117.
- TURNER, B. L., KASPERSON, R. E., MATSON, P. A., MCCARTHY, J. J., CORELL, R. W., CHRISTENSEN, L., ECKLEY, N., KASPERSON, J. X., LUERS, A., MARTELLO, M. L., POLSKY, C., PULSIPHER, A., SCHILLER, A. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America*, 100, 8074-8079.
- TAPSELL, S. M., PENNING-ROWSE, P. C., TUNSTALL, S. M., WILSON, T. L. (2002). Vulnerability to flooding: health and social dimensions. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 360, 1511-1525.
- UN (1992). *Internationally agreed glossary of basic terms related to disaster management*. Geneva (United Nations Department of Humanitarian Affairs).
- USACE (1993). *River hydraulic. Engineer manual*. Washington (US. Army Corps of Engineers).
- VISSMAN, JR., W., KNAPP, J. W., LEWIS, G. L., HARBAUGH, T. E. (1977). *Introduction to hydrology*. New York (Harper).
- WERRITTY, A. (2006). Sustainable flood management: oxymoron or new paradigm? *Area*, 38, 16-23.

SOME REMARKS ON METHODOLOGY APPLIED TO FLOOD MAP COMPILATION IN SLOVAKIA

Flood maps represent the presumed extent of flooded area corresponding to annual maximum discharges with varied return period. The aim of the paper is to analyse the basic methodological questions arising in the preparation of flood maps and outlining of the strategic framework for their production for Slovakia. The key problems that have to be solved before preparation of a flood map are: 1. Estimation of the maximum annual discharge for different return periods; 2. Estimation of water tables corresponding to maximum annual discharges of different return periods, and 3. Assessment of the extent of flooded territory corresponding to maximum annual discharges of different return periods.

Flood maps can be prepared for varied spatial dimensions: local (flood map for one selected locality), regional (flood map of several localities for selected streams), national (flood map of several localities for streams in the whole national territory) or supranational (flood map for instance for the whole a Europe). Any enlargement of spatial dimension is accompanied by the reduced precision of the analysis (Fig. 1). Stress is laid on differentiated solutions of key problems connected with the change of spatial dimension.

The strategic framework of flood map production for Slovakia contains a set of basic theses concerning: selection of streams, basic digital data source and solution of the key problems connected with preparation of flood maps. Compatibility of the Directive (COM(2006/15) with the Directive 200/60 EC requires that the flood maps for all streams with the basin area equalling or larger than 10 square kilometres should be prepared. Streams complying with this condition are classified into three categories: great, medium and small.

Production of flood maps at the national level requires basic digital data sources about the relief, streams, land cover, protecting dikes and consistent hydrological data that should cover the whole territory. With regard to the informative nature of flood maps at the national level, it is cost-effective to use the data sources that are part of the GIS (ZB GIS) fundamental database for Slovakia. Regarding the precision of flood maps, the data layer about the relief – digital relief model (DRM) is decisive. No digital relief model produced from data obtained by one of the contemporary remote sensing techniques (digital photogrammetry, LIDAR, IFSAR) is available yet for the territory of Slovakia. The accessible source for the whole territory of the SR is DRM3 produced by contour vectorization of military topographic maps at the scales of 1:20 000, 1:10 000 (S24) and ZM 1:10 000 (JTSK).

As far as solution of key problems connected with the preparation of flood maps at the national spatial level is concerned, certain differences in the nature of floods and number of gauging stations between the groups of great, medium or small streams are pointed to. Consequently, in the case of floods, the solution of such problems within individual groups of streams requires a different approach. The fact that flood maps representing the scope of flooded territory corresponding to the maximum annual discharges with different return period capture natural river floods is pointed to. Considering the different nature of floods (of different groups of streams) manifested in flood maps, it is necessary to expand the map production methodology so that the maps also represent the spatial variability of flood hazard caused by flash floods, ice jam or internal waters. Hence it seems rational in terms of methodology to classify the preparation of flood maps at the spatial level of Slovakia into three groups:

- Flood maps for communes lying along great streams,
- Flood maps for communes lying along medium streams,
- Flood maps for communes lying along small streams.

Translated by H. Contrerasová