

Použitie GIS pre tvorbu máp geohazardov ako podkladov pre urbanizačné plánovanie

Barbora Magulová

Katedra inžinierskej geológie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave, Mlynská dolina G, 842 15 Bratislava; magulova@fns.uniba.sk

AGEOS Using GIS for creation of geohazards map as a base for landuse planning

Abstract: Geohazards represent a significant barrier for further utilization of environment. This article presents the use of statistical methods and analysis tools implemented in Geographical Information Systems (GIS) environment for geohazards assessment of small urbanization units. As a case study the Levoča region was selected, covering an area of 83.75 km² in total. The area is mostly affected by landsliding and flooding. The distribution of these geohazards is evaluated. The case study provides the prognosis of hazard spatial distribution, however not the time recurrence of their activation. The results of evaluation are prognostic maps of landslide hazard and flood hazard.

Key words: geohazards, landslide hazard, flood hazard, prognostic maps, Geographical Information Systems, Levoča case study

1. ÚVOD

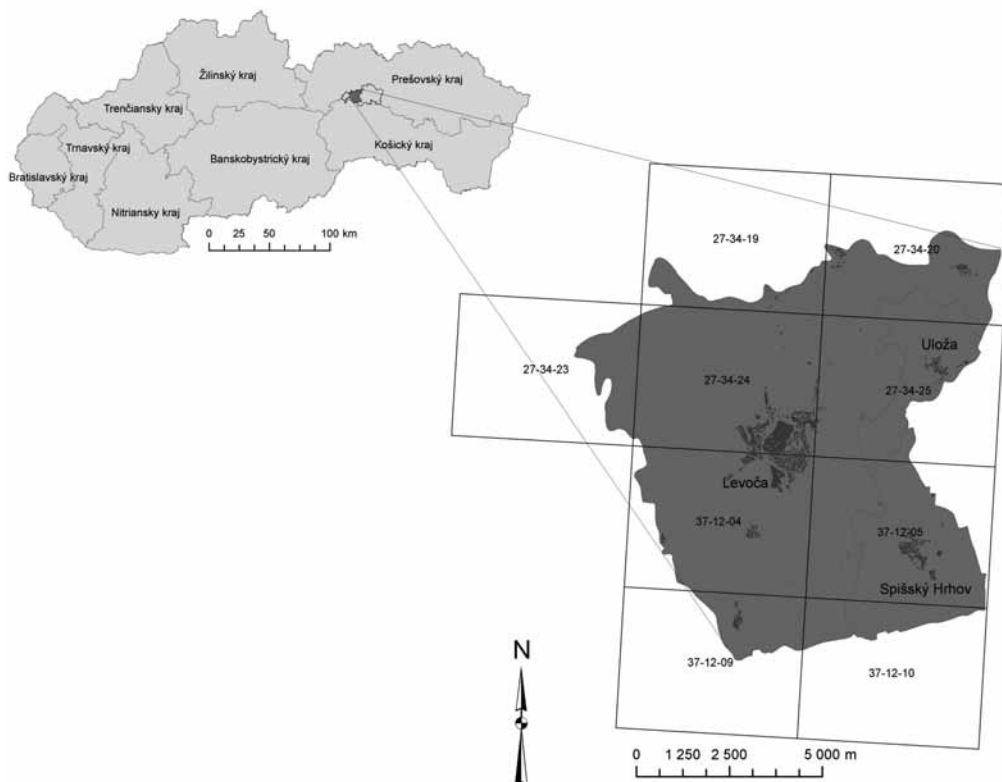
Problematikou územného plánovania a úlohou inžinierskej geológie v urbanizačnom plánovaní v rámci udržateľného rozvoja sa už desiatky rokov zaoberá množstvo inžinierskych geológov. Mapovanie inžinierskogeologických pomerov a zostavovanie máp názorne vyjadrujúcich podmienky uskutočnenia rôznych stavieb sa už v 19. storočí považovalo za základný článok v spolupráci inžinierov a geológov (Matula, 1995). Kontrola a prevencia geologických hazardov nepriaznivo pôsobiacich pri využívaní geologického prostredia je jeden z aspektov územného plánovania, ktorý účinne zapája do procesu územného plánovania aj geológiu. Otázka definovania faktorov vzniku jednotlivých geohazardov, za účelom sanácie už vzniknutých udalostí, ale najmä aj za účelom návrhu účinnej prevencie a ochrany v rizikových územiach, je preto nanajvýš aktuálna. Dobre vypracovaná prognóza, by totiž s vysokou mierou pravdepodobnosti predpovedala výskyt rizika v budúcnosti, preto by sa prognózne mapy mali stať neoddeliteľnou súčasťou environmentálnych a urbanizačných štúdií. Medzi najčastejšie sa vyskytujúce geohazardy v našich podmienkach patria zosuvy, povodne a intenzívna erózia. Výskyt každého z týchto javov je po dôkladnom zhodnotení možné prognózovať na základe axiómy aktualizmu v geológii. To znamená, že jav sa bude v budúcnosti vyskytovať za rovnakých podmienok v akých sa vyskytuje v súčasnosti a za akých sa vyskytoval v minulosti. Vychádzajúc z týchto poznatkov je článok zameraný na problematiku hodnotenia distribúcie zosuvného a povodňového hazardu v urbanizačnom regióne Levoča.

2. CHARAKTERISTIKA ZÁUJMOVÉHO ÚZEMIA

Zájmové územie patrí do katastrov obcí Levoča, Uloža a Spišský Hrhov, okres Levoča (Obr. 1), s celkovou rozlohou 83,75 km². Podľa geomorfologického členenia sa oblasť nachá-

dza v provincii Západných Karpát, subprovinciách Vnútorne a Vonkajšie Západné Karpaty (Mazúr & Lukniš, 1980). Južná časť územia patrí do Vnútorých Západných Karpát, Fatransko-Tatranská oblasť, celok Hornádska kotlina, podcelok Medvedie chrbty, časť Levočská kotlina. Severná časť územia patrí do subprovincie Vonkajších Západných Karpát, Podhóľno-Magurská oblasť, celok Levočské vrchy, podcelok Levočská Vrchovina. Najvyššia položená kóta je na severovýchode územia, časť Levočských vrchov, v katastri obce Uloža, s nadmorskou výškou 987 m n. m., najnižšie položená je južná časť katastrov Levoče a Spišského Hrhova, s nadmorskou výškou od 445 m n. m. Územie je odvodňované Levočským potokom a čiastočne potokom Lodina. Podľa mapy maximálnej očakávanej intenzity zemetrasení patrí územie do 7° MSK-64.

Morfologický charakter územia je ovplyvnený geologickou stavbou územia. Podľa Grossa et al. (1999) je prevažná časť územia tvorená bielopotočným súvrstvom, tzn. niekoľko desiatok až stoviek metrov hrubý monotónny pieskovec v absolútnej prevahe nad nevápnitými ílovcami, ktoré smerom na juh prechádzajú do kežmarských vrstiev. Tie sú tvorené flyšom so vzrastajúcim podielom pieskocov na úkor ílovcov. Okolie vodných tokov je lemované svahovými hlinami a sutinami. Územie je výrazne postihnuté svahovými deformáciami. V registri svahových deformácií Geofondu je na území zaznamenaných 19 rozsiahlych zosuvov najmä v okolí Levoče a Ulože. Podľa Grossa et al. (1999) sa v území prejavujú aktívne pohyby len pomerne výnimočne, avšak je predpoklad sezónnej, krátkodobej aktivizácie zosuvov alebo ich častí. Najdôležitejšie faktory vzniku svahových pohybov sú v študovanom území zrážky, resp. topenie snehu a pomalé zmeny sklonu svahov vplyvom vodnej erózie. Významným činiteľom v posledných desaťročiach je aj poľnohospodárska a stavebná činnosť človeka (terasovanie svahov, budovanie zárezov ciest, odrezov pre stavby a pod.). Územie je dobre preskúmané z geologického (Gross et al., 1999) aj inžinierskogeologického hľadiska (Jedľa et al., 1990), preto je oblasť vhodným modelovým územím pre



Obr. 1. Lokalizačná mapa záujmového územia v okolí Levoče.

Fig. 1. Location map of the Levoča region.

tvorbu metodiky komplexného hodnotenia zložiek geologického prostredia z hľadiska urbanizácie, s dôrazom na rizikové analýzy a zraniteľnosť zložiek prostredia.

3. HODNOTENIE ZOSUVNÉHO HAZARDU

Varnes (1984) definuje zosuvný hazard ako pravdepodobnosť výskytu potenciálne škodlivého zosuvného javu určitej intenzity v danom priestore a čase. Hodnotenie hazardu je identifikácia a hodnotenie polohy, rozsahu, intenzity a pravdepodobnosti výskytu potenciálne škodlivého javu v istom priestore a období (Ondrášik et al., 2002). Hodnotenie zosuvného hazardu sa na Slovensku v poslednom období výrazne dostalo do popredia najmä vďaka prácam Pauditša & Bednarika (2002), Pauditša (2005), Pauditša et al. (2005), Pauditša & Bednarika (2006), Bednarika (2001, 2007, 2008), Bednarika et al. (2005) a Jurka (2003). Ich práce z oblastí Handlavskej a Liptovskej kotliny, Myjavskej Pahorkatiny, Bielych Karpát a Hlohovca v mierkach 1:50000 (Pauditš, 2005) a 1:10000 (Bednarik, 2007; Jurko, 2003) obsahujú kompletný návrh metodického postupu pre takýto druh hodnotenia geologického prostredia spolu s výslednými prognózami. Metodika hodnotenia zosuvného hazardu pomocou štatistických metód v prostredí GIS je založená na vhodnom výbere faktorov, ktoré majú vplyv na stabilitu svahov (geologická stavba územia, morfometrické parametre reliéfu, spôsob využitia územia, tektonika, hydrologické pomery územia a pod.).

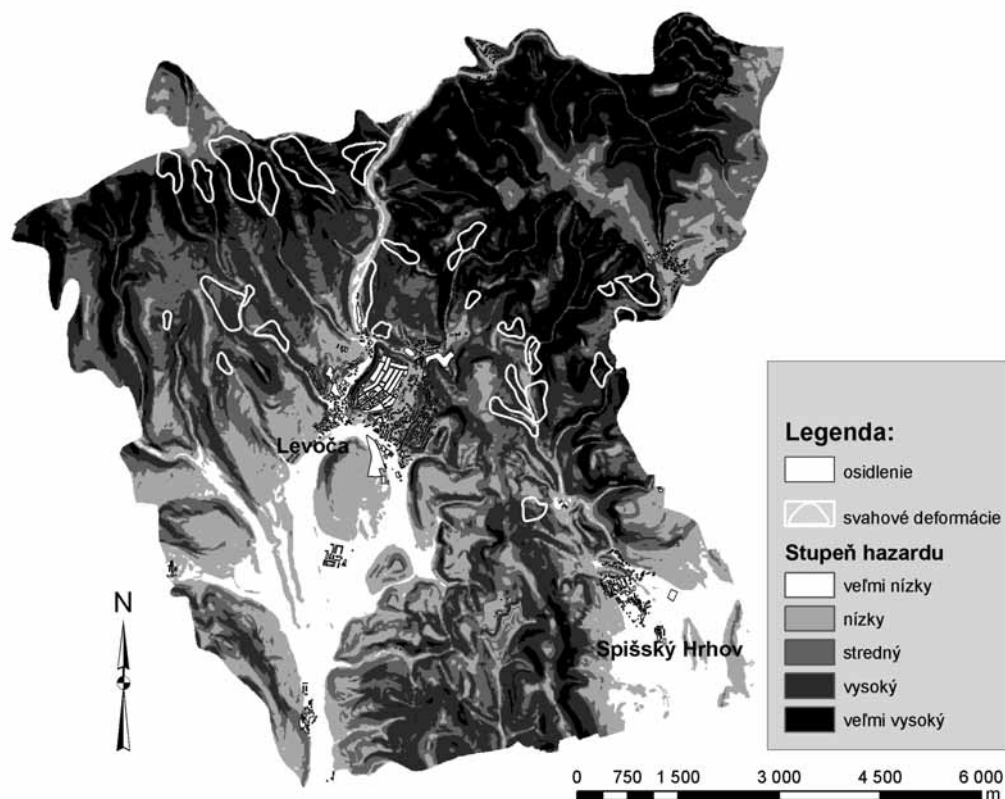
Tieto môžu byť pri rôznych metódach hodnotenia zohľadnené buď kvalitatívne a empiricky, napr. hodnotením vplyvu faktora na stabilitu svahu na základe skúsenosti, alebo exaktne, využitím kvantitatívnych numerických metód (Pauditš, 2005). Pri tvorbe mapy zosuvného hazardu urbanizačného regiónu Levoče bola použitá biviačná štatistická analýza bez určenia váh jednotlivých parametrov, čo predstavuje štatistickú kombináciu každej vstupnej parametrickej mapy, po prvotnej reklasifikácii, s mapou zosuvov. Zosuvy boli vyjadrené v celku, ako plošná entita reprezentovaná rozsahom svahovej deformácie. Výsledkom kombinácie jednotlivých parametrických máp s mapou zosuvov je určenie celkového počtu buniek gridu so zosuvmi a bez zosuvov v jednotlivých triedach parametrov, prepočítaných na jednotku plochy alebo percentá. Na základe takto získaných kombinácií je nutné každú parametrickú mapu reklasifikovať, pričom sa existujúcim triedam v každej parametrickej mape priradia nové numerické hodnoty reprezentujúce štatisticky určenú pravdepodobnosť na zosúvanie. Najvyššia číselná hodnota je priradená triede najviac náchylnej na zosúvanie, a naopak trieda s najnižšou numerickou hodnotou je najmenej náchylná na zosúvanie. Výsledkom biviačnej štatistickej analýzy je mapa zosuvného hazardu, ktorá vznikne súčtom druhotne reklasifikovaných parametrických máp (Matys et al., 2008). Pre mapu zosuvného hazardu okolia Levoče boli hodnotené najdôležitejšie parametre, ktoré majú vplyv na stabilitu svahov a to geologická stavba, sklon svahu a nadmorská výška. Výsledky biviačnej štatistickej analýzy sú uvedené v tab. 1.

Tab. 1. Výsledky bivariačnej štatistickej analýzy. Hodnota recl_1 predstavuje numerickú hodnotu jednotlivých kategórií po reklasifikácii.
 Tab. 1. The results of bivariate statistical analysis. Recl_1 represents numerical value in a process of reclassification for each category.

Zložky	Trieda		Plocha triedy [km ²]	Plocha svahových deformácií [km ²]	Pravdepodobnosť vzniku svahových deformácií	recl_1
	číslo	názov				
geológia	1	antropogénne sedimenty	0,0082	0,0082	1,0000	0
	2	fluviálne sedimenty	6,1285	0,0370	0,0060	1
	3	deluviálne sedimenty	54,6963	2,1822	0,0399	3
	4	proluviálne sedimenty	3,6311	0,0000	0,0000	0
	5	flyš	19,2861	0,8026	0,0416	4
sklon svahu	1	<2°	5,8206	0,0090	0,0015	0
	2	2°- 3°	3,9642	0,0150	0,0038	1
	3	3°- 5°	9,0926	0,0567	0,0062	2
	4	5°- 7°	9,8394	0,1426	0,0145	3
	5	7°- 11°	20,2390	0,6367	0,0315	5
	6	11°- 17°	21,3882	1,1667	0,0545	7
	7	17°- 20°	6,0998	0,4293	0,0704	8
	8	20°- 31°	7,1518	0,5339	0,0747	9
	9	>31°	0,1538	0,0401	0,2607	4
Digitálny terénny model	1	443 - 533 m n. m.	17,7478	0,0000	0,0000	0
	2	533 - 624 m n. m.	21,7017	0,5667	0,0261	3
	3	624 - 714 m n. m.	17,5270	1,0044	0,0573	5
	4	714 - 805 m n. m.	11,2554	0,7313	0,0650	6
	5	805 - 895 m n. m.	9,0840	0,6064	0,0668	6
	6	895 - 986 m n. m.	6,4335	0,1212	0,0188	2

Počas hodnotenia boli na základe postupu Vlčka et al. (1980) vypočítané váhy jednotlivých parametrov. Geologická stavba a sklon svahu sa v tomto prípade javia ako rovnocenný faktor ovplyvňujúci vznik zosuvov a do záverečného výpočtu vstupovali druhotne reklasifikované parametrické mapy bez zohľadnenia váh. Podľa výslednej mapy zosuvného hazardu (Obr. 2) patrí 11% územia do kategórie 1 (veľmi nízky zosuvný hazard), 19% územia patrí do kategórie 2 (nízky zosuvný hazard), 22% územia patrí do kategórie 3 (stredný zosuvný hazard), 26% územia patrí

do kategórie 4 (vysoký zosuvný hazard) a 22% percent územia patrí do kategórie 5 (veľmi vysoký zosuvný hazard). Pri porovnaní mapy zosuvného hazardu s mapou inventarizácie zosuvov 39% zosuvov leží v oblastiach s vysokým zosuvným hazardom, 47% zosuvov leží v oblastiach s veľmi vysokým zosuvným hazardom. Zvyšných 14% zosuvov leží v oblastiach so stredným (11%) a nízkym hazardom (3%), pričom za zväčša jedná o akumulčné časti zosuvov. Urbanizovaná oblasť zaberá 4,17% územia (domy, cesty, záhrady), z toho 18,77% z tejto oblasti leží



Obr. 2. Mapa zosuvného hazardu okolia Levoče.

Fig. 2. The landslide hazard map of Levoča region.

v oblasti s vysokým a veľmi vysokým zosuvným hazardom. Jedná sa najmä o niektoré lazy v blízkosti Levočských vrchov, katastrálne patriace pod mesto Levoča a o Ovocinársku ulicu v Levoči, pod východným svahom Mariánskej hory.

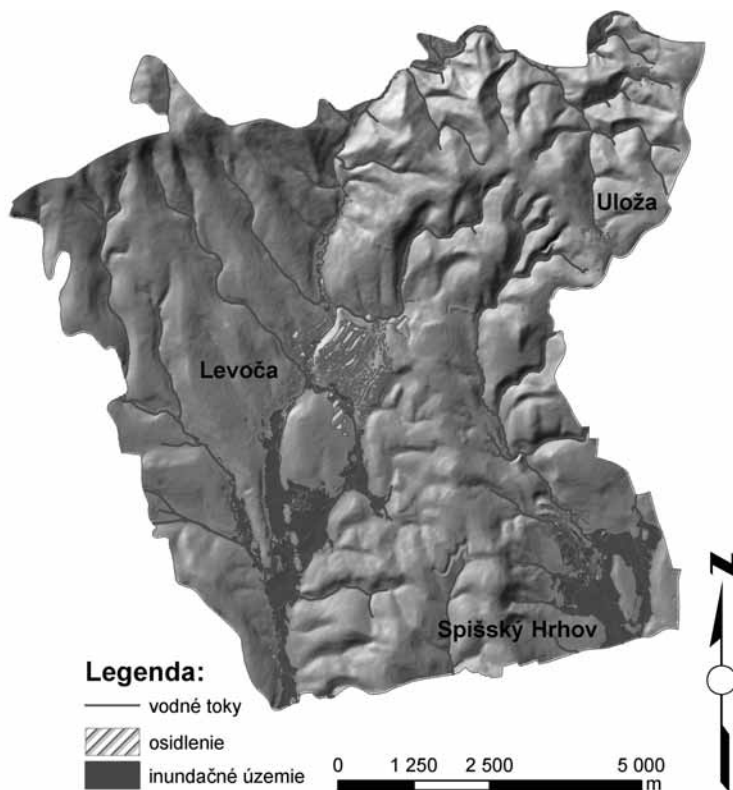
5. HODNOTENIE POVODŇOVÉHO HAZARDU

Povodne sú z hydrologického, meteorologického, vodohospodárskeho a ekologického hľadiska významný fenomén, ktorých vznik podmieňuje viacero okolností. Okrem orografických, geologických a geografických pomerov je to takmer vždy atypický vývoj počasia, zrážok a teplôt nad územím povodia. K tomu sa priradujú ďalšie faktory – nasýtenosť podložja vodou, snehová pokrývka, počiatkové prietoky, prekážky vytvorené stavebnou a inou činnosťou človeka. Ich výskyt je často spojený s rozsiahlymi škodami na majetku alebo životoch ľudí, pričom v poslednom desaťročí sa sezónne povodne v krátkom časovom úseku, ale s katastrofálnymi dôsledkami, začali objavovať takmer pravidelne najmä v regiónoch východného Slovenska. Pravdepodobne aj to podnietilo vznik mnohých národných projektov zameraných na protipovodňovú ochranu a reguláciu vodných tokov. Významnú pomôcku pri vyčleňovaní ohrozených oblastí z hľadiska predchádzania škodám, ale aj z hľadiska plánovania výstavby predstavujú mapy povodňového hazardu. Povodňový hazard závisí výlučne na režime prúdenia vo vodnom toku pri povodni, nezávisle na spôsobe využívania

záplavového územia. To znamená, že závisí na vlastnostiach prúdenia ako je veľkosť prietoku, jeho reálneho alebo predpokladaného trvania a početnosti výskytu. Územie hydraulicky súvisiace s vodným tokom, ktoré je zaplavované pri prietokoch presahujúcich kapacitu koryta vodného toku sa nazýva inundačné územie (Říha et al., 2005). Rozsah inundačného územia môže byť stanovený z digitálneho terénneho modelu. Údolnú nivu je možné vymedziť pomocou GIS nasledovne (Hartvich in Langhammer a kol., 2005):

- ▶ automatické vymedzenie povodňovej nivy pomocou analytických nástrojov GIS z dostatočne kvalitného digitálneho modelu reliéfu;
- ▶ vymedzenie povodňovej nivy na základe priečných profilov korytom pozdĺž toku; t. j. analýza sklonov svahov, ich konkávnosť alebo konvexnosť, výskyt rovín, terasových stupňov a pod. v teréne a následná digitalizácia dát;
- ▶ digitalizácia nivy na základe leteckých snímok.

Pre automatickú delináciu aluviálnej nivy záujmového územia bol vytvorený digitálny terénny model digitalizáciou vrstevníc v mierke 1:10000 a vodných tokov. Pomocou analytických nástrojov GIS boli vytvorené rastrové mapy sklonov svahov a krivosti reliéfu. Aluviálna niva bola definovaná ako územie so sklonom svahu menším ako 3°, lineárnou krivosťou a leží na území s aluviálnymi alebo proluviálnymi sedimentmi. Oblasť predstavuje najviac ohrozené územie z hľadiska priestorovej distribúcie vody pri povodňovej udalosti (Obr. 3). Ako najzraniteľnejšie územie sa javí obec Spišský Hrhov v juhovýchodnej časti

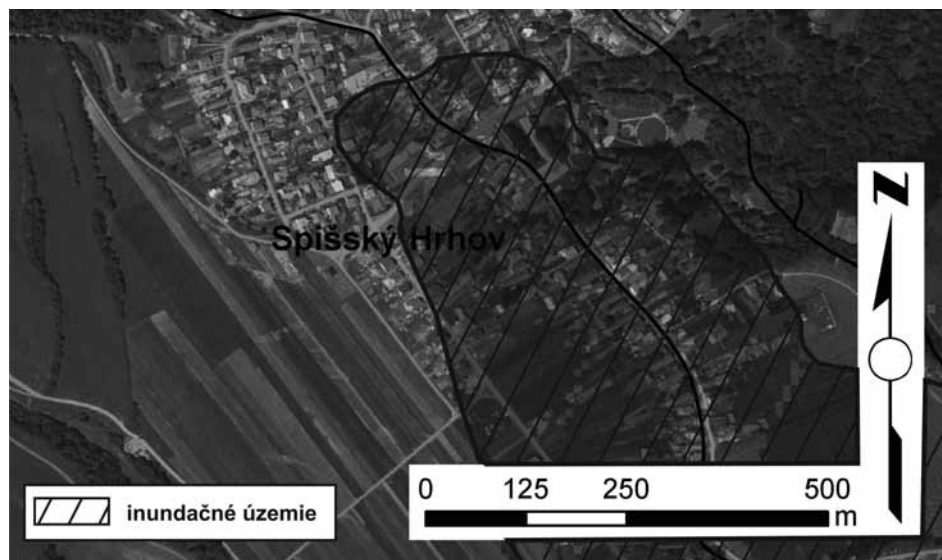


Obr. 3. Mapa povodňového hazardu regiónu Levoča.

Fig. 3. The flood hazard map of Levoča region.

záujmového územia. (Obr. 4). Pre vybraný úsek toku v obci navrhujem tvorbu podrobnejšieho modelu, kedy bude povodňový hazard hodnotený na základe poznania charakteristík priebehu povodne (rozsah záplavového územia, hĺbka vody v zaplavenom území a iné). Povodňová niva tu bude vymedzená na základe

priečných profilov korytom pozdĺž toku. Takéto zobrazenie umožňuje aj približné vymedzenie časti svahu údolia, kde je možné vplyvom geometrie štruktúrnych parametrov očakávať zvýšenú intenzitu fluvialnych procesov, ale aj svahových deformácií (Langhammer a kol., 2005).



Obr. 4. Výrez z mapy povodňového hazardu v obci Spišský Hrhov.

Fig. 4. Flood hazard map in Spišský Hrhov – detailed view.

6. ZÁVER

Aj keď u nás zatiaľ nie je samozrejmosťou zhotovovanie prognózných máp geologických hazardov a rizík, je len otázkou času kedy sa to stane nutnosťou. S postupujúcou urbanizáciou a zvyšujúcou sa potrebou vyššieho životného komfortu sú projektanti nútení vyrovnávať sa so stále zložitejšími inžiniersko-geologickými pomermi pri posudzovaní pozemných, podzemných, líniových, vodných, ale aj iných druhov stavieb. Správne umiestnenie stavby s dôkladným poznaním súčasného stavu geologického prostredia, ale najmä predpokladaním geologických procesov v budúcnosti, s dôrazom na geobariéry, môže byť prostriedkom k ušetreniu vysokých finančných nákladov na možné sanácie v budúcnosti a v neposlednom rade zároveň zvýši bezpečnosť obyvateľstva. Prognózne mapy geologických rizík sú preto ideálnym podkladom pre urbanizačné plánovanie jednotlivých územných celkov.

Predkladaný článok je zameraný na zhodnotenie zosuvného a povodňového hazardu v okolí Levoče. Z výsledkov analýz sa ako rizikové oblasti z hľadiska veľmi vysokého zosuvného hazardu javia najmä niektoré lazy v blízkosti Levočských vrchov a Ovocinárska ulica v Levoči. Oblasť najviac zraniteľná prívalovými zrážkami je obec Spišský Hrhov ležiaca juhovýchodne od Levoče. Vzhľadom na tento fakt je vhodné v daných oblastiach dbať na zvýšenú bezpečnosť najmä pri stavebných zásahoch v oblastiach náchylných na zosúvanie. Pre oblasti s vysokým povodňovým hazardom je dôležité venovať zvýšenú pozornosť preventívnym opatreniam a regulácii vodných tokov. Keďže sa jedná o širokú problematiku s aplikáciou rôznych postupov, celkové hodnotenie vplyvu geologických hazardov v záujmovom území si vyžaduje ďalšie užšie špecifikované štúdium. V ďalšej práci bude navrhnutý metodický postup pre komplexné posúdenie geohazardov v geologickom prostredí vo veľkých mierkach (1:10000) malých územných celkov v prostredí GIS, s následnou aplikáciou tohto postupu na vybraný urbanizačný región Levoča.

Podakovanie: Príspevok vznikol s finančnou podporou Grantov Univerzity Komenského č. 323/2008 a č. 228/2009.

Literatúra

- Bednarik M., 2001: Hodnotenie náchylnosti územia Handlovej kotliny na svahové pohyby. Diplomová práca, Manuskript, Katedra inžinierskej geológie, PRIF UK, Bratislava, 40 s.
- Bednarik M., 2007: Hodnotenie zosuvného rizika pre potreby územnoplánovacej dokumentácie. Kandidátska dizertačná práca, Manuskript, PRIF UK, Bratislava, 130 s.
- Bednarik M., 2008: Hodnotenie zosuvného hazardu na trase železnice Kraľovany – Liptovský Mikuláš. Kandidátska rigorózna práca, Manuskript, PRIF UK, Bratislava, 50 s.
- Bednarik M., Clerici A., Tellini C. & Vescovi P., 2005: Using GIS GRASS in evaluation of landslide susceptibility in Termina valley in the Northern Apennines (Italy). In: Moser, M. (Ed.): Proceedings of the Conference on Engineering Geology: Forum for young engineering geologists. DGGT Erlangen-Nürnberg, Fridrich-Alexander-University of Erlangen-Nürnberg, 19-24.
- Gross P., Buček S., Ďurkovič T., Filo I., Maglay J., Halouzka R., Karoli S., Nagy A., Spišák Z., Žec B., Vozár J., Borza V., Lukáčik E., Janočko J., Jetel J., Kubeš P., Kováčik M., Žáková E., Mello J., Polák M., Siráňová Z., Samuel O., Snopková P., Raková J., Zlinská A., Vozárová A. & Žecová K., 1999: Vysvetlivky ku geologickej mape Popradskej kotliny, Hornádskej kotliny, Levočských vrchov, Spišsko-Šarišského medzihoria, Bachurne a Šarišskej vrchoviny. Geologická služba SR, Bratislava, 239 s.
- Jeďla P., Bachňák P., Halešová A. & Szabová A., 1990: Sprievodná správa k inžiniersko-geologickej mape Levoča, 1:10000. Manuskript, IGHP Žilina, Geofond, 132 s.
- Jurko J., 2003: Mapa náchylnosti územia Liptovskej kotliny na zosúvanie. Diplomová práca, Manuskript, PRIF UK, Bratislava, 47 s.
- Langhammer J., Hladný J., Chalúšová J., Vilímek V., Elleder L., Křížek M., Šefrna L., Matušková M., Matějček T., Bičík I., Chuman T., Lipský Z., Havlíková P., Rödlová S., Hartwich F., Tremel V., Hais M., Hesslerová P., Macháčková K., Jeníček M., Vlasák T., Kliment Z., Šobr M. & Kadlec J., 2005: Vlivy změn přírodního prostředí povodí a údolní nivy na povodňové riziko. Přírodovědecká fakulta KU, Praha, 203 s.
- Matula M., 1995: Geológia v územnom plánovaní a výstavbe. Príroda, Bratislava, 214 s.
- Matys M., Bednarik M., Číž M., Magulová B. & Ryšávková J., 2008: Hodnotenie zosuvného hazardu v trase železnice Kraľovany – Liptovský Mikuláš. Geotechnický seminár, Ostrava 2008. In: Sborník příspěvků semináře. Česká geotechnická společnost ČSSI Unigeo a.s., Ostrava, 1-8
- Mazúr E. & Lukniš M., 1980: Mapa geomorfologických jednotiek 1:500000, Atlas SSR. SAV, Bratislava.
- Ondrášik R., Andor L., Gajdoš A., V., Holzer, R., Hrašna M., Klukanová A., Liščák P., Malgot J., Modlitba I., Petro L., Slivovský M., Vojtaško I. & Vlčko J., 2002: Vybrané termíny z oblasti geológie a životného prostredia. *Mineralia Slovaca (Geovestník)*, 34, 1, 13-14.
- Pauditš P. & Bednarik M., 2002: Using GIS in evaluation of landslide susceptibility in Handlovská kotlina basin. In: J. Rybář, J. Stemberk & P. Wagner (Eds.): Proceedings of the 1st European conference on landslide. Swets & Zeitlinger, Lisse, Praha, Czech Republic, 24- 26th of June, 2002, 437-441.
- Pauditš P., 2005: Hodnotenie náchylnosti územia na zosúvanie s využitím štatistických metód v prostredí GIS. Kandidátska dizertačná práca, Manuskript, PRIF UK, Bratislava, 153 s.
- Pauditš P., Vlčko J. & Jurko J., 2005: Využívanie štatistických metód pri hodnotení náchylnosti územia na zosúvanie. *Mineralia Slovaca*, 37, 4, 529-538.
- Pauditš P. & Bednarik M., 2006: Rôzne spôsoby interpretácie svahových deformácií v štatistickom hodnotení zosuvného hazardu. Geológia a životné prostredie 2006, ŠGÚDŠ, Bratislava, 1-10.
- Říha J., Kratochvíl J., Šleyinger M., Dráb A., Dumbrovský M., Golík P., Jandora J., Julínek T., Korytářová J., Koutková H., Tichá A. & Ulmanová H., 2005: Riziková analýza záplavových území. Ústav vodných stavieb FAST VUT, Brno, 286 s.
- Varnes D. J., 1984: Landslide hazard zonation – a review of principles and practise. UNESCO, Paris, 63 s.
- Vlčko J., Wagner P. & Rychlíková Z., 1980: Spôsob hodnotenia stability svahov väčších územných celkov. *Mineralia Slovaca*, 12, 2, 275-283.

Summary: Definition of the role of engineering geology in the urbanization planning process is one of the interests of engineering geologists for many years. One of the tasks to involve geology in the urbanization planning process is the control and prevention of geological hazards, which presents a significant barrier for further utilization of the environment.

The geohazard is a geological state that represents or has the potential to develop further into a situation leading to damage. In Slovakia, the most common geohazards are landslides and floods. The distribution of these geohazards is evaluated in case study of the Levoča region. The study area covers 83.75 km² and it involves the Levoča, Spišský Hrhov and Uloža cadaster areas. The main lithological unit of this area is flysch with sandstone predominance. The area is affected by nineteen, mainly dormant, slope deformations.

The landslide hazard assessment became very common in Slovakia mainly by works of Paudits (2005), Bednarik (2001, 2007, 2008) and Jurko (2003). The landslide hazard assessment using GIS tools is based upon suitable selection of those factors, which play a dominant role in slope stability state. The selected factors are processed to the parametric maps and in this form they enter in the statistical processing, underpinned by map algebra in a GIS environment. In the presented case study the following factors influencing the slope stability are evaluated; lithology, morphometric parameters, actual landuse and registered landslides. These factors have been prepared in a vector form (parametric maps) and consequentially processed into the raster form. Bivariate statistical analyses were used for the construction of final landslide hazard map (fig. 2). According this map, 48% of total area falls within high or very high landslide hazard, and 18.77% of urbanized area is in the area of high or very high landslide hazard, mainly in the Levoča town area.

The flood hazard map presents the spatial distribution of overflowing or accumulating of an expanse of water during the flood accident that makes the land submerge. These events are usually followed by huge socio-economic damages, so the flood prevention, protection and mitigation are very important. The area hydraulically connected with the stream and overflowed during the flood events, is called floodplain or inundation area. There are three ways of floodplain determination in GIS environment (c.f. Longhammer et al., 2005):

- ▶ automatic delineation of floodplain using analytical tools of GIS and digital terrain model;
- ▶ determination of floodplain boundary from cross-sections profiles across stream-bed;
- ▶ digitizing of floodplain from aerial photos.

In this case study the automatic delineation of floodplain was used. The inundation area was considered as an area with slope angle less than 3 degrees, linear curvature and an area built by alluvial sediments or alluvial fans (fig. 3). By this preliminary model of spatial water distribution, the most vulnerable area is Spišský Hrhov (fig. 4). For this area, the detailed model of flood plain boundary determination from cross-section profiles across stream-bed will be created.

Presented maps of landslide hazard and flood hazard may provide the basis for urbanization, particularly, as well as for public administration offices and insurance companies.

