

## APLIKÁCIA GIS PRI HODNOTENÍ POTENCIÁLNEJ HROZBY ZOSÚVANIA NA PRÍKLADE MORFOŠTRUKTÚRY SPIŠSKEJ MAGURY

Adriana ZLACKÁ

**Abstract:** *The aim of the contribution is to establish the spatial information concerning potential landslide hazard using geographical information system (GIS). The study area (6020 ha) is located in the northern part of Slovakia, in the SE part of the Spišská Magura.*  
**Key words:** *natural hazards, landslide hazard, GIS, empirical model*

### ÚVOD

Príspevok prezentuje jednu z možností využitia GIS pri hodnotení potenciálnej hrozby zosúvania. Model hodnotenia potenciálnej hrozby zosúvania bol aplikovaný v oblasti Spišskej Magury, v území s geologickými podmienkami priaznivými pre vznik a rozvoj svahových deformácií a značným výskytom zosuvných lokalít. Skúmané územie má rozlohu približne 6020 ha. Nachádza sa v severnej časti východného Slovenska, na severnom Spiši. Z hľadiska územno-správneho členenia Slovenskej republiky patrí do Prešovského kraja, leží v západnej časti územného obvodu Stará Ľubovňa. V severnej časti je územie vymedzené hrebeňom Spišskej Magury, v južnej časti vodným tokom Popradu, vo východnej časti prechádza hranica dolinou Čierneho potoka a v západnej časti prebieha hranica po rozvodnici. Zaberá celé katastrálne územie Vyšných Ružbách, Lackovej a časť katastrálneho územia Podolínca, Nižných Ružbách, Kamienky a Hniezdneho.

### METODICKÉ VÝCHODISKÁ

Pre hodnotenie potenciálnej hrozby zosúvania bol použitý zjednodušený model:

$$Z_H = S + T + P + V,$$

kde:  $Z_H$  – relatívna hodnota hrozby zosúvania; S – faktor sklonu sľahu; T – faktor transmisivity horninového prostredia; P – faktor erodovateľnosti pôdy; V – faktor súčasnej krajinnej štruktúry

Pri zostavení modelu boli použité práce Záruba, Mencl (1987), Ramakrishnan et al. (2002) a Hreško et al. (2003).

Vstupné atribúty boli porovnávané s reálne existujúcimi zosuvmi a na základe analýzy početností boli vytvorené kategórie, pričom podľa významnosti vplyvu na zosuvný proces boli jednotlivým atribútom priradené váhy. Všetky vstupné parametre boli prekódovaním jednotlivých kategórií kvantifikované a zjednotené v rastrovom údajovom formáte. Pomocou mapovej algebry, ako suma hodnôt vstupných parametrov, bola vytvorená GIS vrstva náchylnosti územia na zosúvanie. Výsledná relatívna hodnota hrozby zosúvania bola

**Mgr. Adriana Zlacká,** Katedra geografie a regionálneho rozvoja, Fakulta humanitných a prírodných vied Prešovskej univerzity v Prešove, Ul. 17. novembra 1, 081 16 Prešov, e-mail: azlacka@unipo.sk

Tabuľka 1: Kategórie hodnôt jednotlivých faktorov. Vstupné vrstvy sú zoradené podľa významnosti vplyvu na proces zosúvania.

Table 1: Assignment of weights and triggering criterion.

| GIS vrstva                                                        | Trieda 1<br>(4*váha<br>atribútu)             | Trieda 2<br>(3*váha<br>atribútu)      | Trieda 3<br>(2*váha<br>atribútu)               | Trieda 4<br>(1*váha<br>atribútu)                                  |
|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| <b>FAKTOR S</b><br>sklon svahu                                    | 30° a viac                                   | <20° - 30°)                           | <10° - 20°)                                    | do 10°                                                            |
| <b>FAKTOR T</b><br>stupeň<br>transmisivity<br>index transmisivity | nízky<br>do 5                                | stredný<br>6                          | vysoký<br>7                                    | veľmi vysoký<br>nad 7                                             |
| <b>FAKTOR P</b><br>erodibilita pôdy<br>pôdny druh                 | vysoká<br>piesočnatohlinité,<br>hlinité pôdy | stredná<br>hlinito-piesočnaté<br>pôdy | nízka<br>piesočnaté,<br>ilovitohlinité<br>pôdy | veľmi nízka<br>ilovité pôdy,<br>íly                               |
| <b>FAKTOR V</b><br>súčasná krajinná<br>štruktúra                  | orná pôda,<br>trvalé kultúry                 | trvale trávne<br>porasty              | les                                            | urbanizované<br>plochy,<br>antropogénne<br>stabilizované<br>svahy |

preklasifikovaná do troch kategórií náchylnosti územia na zosúvanie: nízka náchylnosť, stredná náchylnosť a vysoká náchylnosť. Jednotlivé operácie boli realizované v prostredí programov GRASS GIS 5.3 a ArcView GIS 3.2a.

## ODVODENIE VSTUPNÝCH PARAMETROV

### Existujúce svahové deformácie

Všetky empirické modely, vytvorené pre hodnotenie náchylnosti územia na zosúvanie, vychádzajú z predpokladu, že na základe poznania existujúcich svahových deformácií a podmienok, v ktorých sa vyskytujú, je možné predpovedať miesta ich budúceho výskytu. Preto sa v týchto modeloch pokladá za kľúčovú informáciu mapa existujúcich svahových deformácií. Pri automatizovaných modeloch založených na využití štatistických metód sa vstupné parametre najčastejšie interpretujú voči predĺženým odlučným hranám zosuvov. Akumulačné časti zosuvov, ktoré často zasahujú stabilné areály, sa z analýz vynechávajú, aby sa tak predišlo skresleným výsledkom modelovania (Paudiš, Bednárík, 2002; Paudiš, 2005). Zdanlivo jednoznačne vyzerajúca záležitosť je omnoho zložitejšia, pretože kvalita vymodelovaných výsledkov je výrazne ovplyvnená kvalitou vrstvy existujúcich svahových deformácií, najmä ak chyby medzi inventarizačnými mapami zosuvov vytvorených rôznymi autormi dosahujú 55 – 90 % (Carrara et al., 1995; Klimeš, 2003).

Pre skúmané územie bola v ArcView GIS 3.2a vytvorená vektorová vrstva existujúcich svahových deformácií na základe analýzy existujúcich map zosuvov (Řepka, 1963; Nemčok et al., 1975; Mapy zosuvných území 1:25 000 – Register zosuvov ŠGÚDŠ v Bratislave) a verifikačného terénneho prieskumu.

V skúmanom území je svahovými deformáciami postihnutých cca 9 % plochy územia nepokrytého lesom. Najčastejšie sa v území vyskytujú planárne zosuvy. Pri porovnávaní

vstupných parametrov, použitých na modelovanie potenciálnej hrozby zosúvania bolo hodnotených 35 svahových deformácií, ktoré sa nachádzajú výlučne na nelesnej pôde (obrázok 1). Výsledky boli extrapolované aj na geoeologické podmienky areálov pokrytých lesnou pokrývkou.

Najčastejšou hlavnou príčinou vzniku a reaktívacie zosúvania v skúmanom území bola bočná erózia vodných tokov, najmä v kombinácii s abnormálne vysokými zrážkami. Najznámejší a najvýraznejší, takto podmienený, planárno-rotačný zosuv sa nachádza severovýchodne pred obcou Nižné Ružbachy, kvôli stabilizácii ktorého musela byť prenesená časť pôvodného meandra Popradu. Antropogénne bol podmienený zosuv pred juhozápadným portálom tunela pri Nižných Ružbachoch, kde podkopanie svahu zapríčinilo vznik planárneho zosuvu v paleogénnych pieskovcoch so sklonom vrstiev 20-22° a šmykovou plochou v hĺbke 6 m (Nemček, 1975).

#### Faktor sklonu svahu

Sklon svahu je kľúčovým morfometrickým parametrom určujúcim okamžitú intenzitu gravitačne podmienených procesov prebiehajúcich na zemskom povrchu, a preto je ako vstupný parameter integrovaný vo všetkých typoch modelov zameraných na predikciu zosuvných procesov. Fyzikálne zamerané modely používajú najmä sínus uhla sklonu, empirické modely interpretujú sklon vo vzťahu ku konkrétnym geologickým podmienkam územia a reálne sa vyskytujúcim svahovým deformáciám.

Prostredie GIS umožňuje vypočítať uhol sklonu svahu z digitálneho modelu reliéfu. Kvalita vstupnej vrstvy faktora sklonu svahu, tak priamo závisí od kvality vypočítaného digitálneho modelu reliéfu, teda od kvality vstupného bodového poľa nadmorských výšok a použitej interpolačnej metódy. Pre skúmané územie bol v prostredí programu GRASS GIS 5.3 vytvorený lokálny digitálny model reliéfu v mozaikovom (rastrovom) údajovom formáte s priestorovým rozlíšením bunky rastra (pixla) 10 metrov. Vstupnými údajmi pre jeho tvorbu bola množina 274 840 bodov s priradenými hodnotami súradníc x, y, z, ktoré boli získané manuálnou vektorovou digitalizáciou (vektORIZáciou) zo zoskenovaných vrstevníc základných máp 1:10 000. Údaje získané fotogrametricky a geodeticky sa vyznačujú väčšou presnosťou, no po zohľadnení finančnej náročnosti a vlastnej dostupnosti boli uprednostnené vrstevnice, pričom boli urobené aspoň korekcie chýb pri priebehu vrstevníc a priradení výškového atribútu. Prípravná fáza tvorby DMR (georeferencovanie, vektorizácia, export vrstevníc z vektorového formátu do špecifického bodového vektorového formátu „site“ pre GRASS GIS) bola realizovaná v prostredí programu ArcView GIS 3.2a. Pri tvorbe DMR skúmaného územia bola použitá interpolačná metóda regularizovaný splajn s tenziou, kontrolovaný parametrami tenzie a zhladzovania s možnosťou priameho výpočtu morfometrických ukazovateľov reliéfu (Mitášová, Mitáš (1993), Mitášová, Hofierka (1993)). Vychádzajúc z poznania reálneho reliéfu skúmaného územia a mierky bol použitý parameter tenzie 20, zhladzovania 1 a minimálna vzdialenosť medzi bodmi 7 m. Z vypočítaného DMR boli v GRASS GIS 5.3 odvodené pomocou funkcie *s.surf.rst* hodnoty sklonu reliéfu.

Vypočítané hodnoty reálneho uhla sklonu svahu boli na základe ich porovnania a interpretácie voči existujúcim svahovými deformáciám preklasifikované do štyroch kategórií (tabuľka 1). Všetky svahy postihnuté plytkým zosúvaním, prejavujúcim sa prostredníctvom zvlnenej morfológie svahov v smere vrstevnice aj spádnice, majú v skúmanom území sklon nad 10°. Výraznejšie zosuvné telesá, resp. zosuvy s výraznými odlučnými hra-

namí sa nachádzajú na svahoch so sklonom nad  $20^\circ$ . Na svahoch s reálnym sklonom nad  $30^\circ$  sa vyskytujú prejavy zliezania, avšak výskyt zosuvov na nich nebol zaznamenaný. Tento jav je pravdepodobne podmienený litologicko-štruktúrnymi vlastnosťami podložia, keďže tieto najstrmšie svahy sa v skúmanom území viažu výlučne na geologické podložie budované odolnými, najmä pieskovcovými súvrstviami.

**Tabuľka 2: Zastúpenie kategórií sklonu svahu v skúmanom území.**

Table 2: Frequency of slope angle.

| Sklon svahu | do $10^\circ$ | $<10^\circ - 20^\circ$ | $<20^\circ - 30^\circ$ | $30^\circ$ a viac |
|-------------|---------------|------------------------|------------------------|-------------------|
| Rozloha     | 31,5 %        | 44,5 %                 | 21,9 %                 | 2,1 %             |

### Vlastnosti horninového prostredia

Pri hodnotení substrátovo-geologických pomerov územia vo vzťahu k procesu zosúvania sa v modeloch interpretujú litologicko-štruktúrne vlastnosti horninového prostredia a seizmicko-tektonická charakteristika územia. Podstatný význam má fyzikálno-chemický charakter hornín vo vzťahu k vode, nasýtenosť horniny vodou (Urbánek, 1968). Zjednodušene je možné povedať, že čím je lepšia priepustnosť horninového prostredia tým sa znižuje riziko vzniku zosuvov (Hreško et al., 2003). Syntetickým atribútom charakterizujúcim schopnosť celej zvodnenej vrstvy prepúšťať vodu je transmisivita (prietočnosť). Koeficient transmisivity je priamo úmerný koeficientu filtrácie a mocnosti zvodnenej vrstvy (Grešková, 1997). Pri modelovaní hrozby zosúvania je možné pre rozlíšenie stupňa transmisivity horninového prostredia využiť viaceré kvantitatívne atribúty (napr. koeficient transmisivity, index transmisivity, jednotkovú špecifickú výdatnosť) (Melioris et al., 1986).

Údaje o priestorovej diferenciácii transmisivity sa dajú získať zo základných hydrogeologických máp ČSSR v mierke 1:200 000, resp. ako digitálna GIS vrstva na Geografickom ústave SAV v Bratislave, kde boli tieto analógové podklady spracované do digitálneho vektorového údajového formátu (Grešková, 1997).

Digitálna vektorová vrstva priestorovej distribúcie transmisivity bola pre skúmané územie vytvorená prekódovaním digitálnej mapy geologických pomerov skúmaného územia vo vektorovom údajovom formáte v programe ArcView GIS 3.2a. Digitálna vrstva geologických pomerov bola spracovaná podľa Janočko et al. (2000), Gross et al. (1999) a Nemčok et al. (1990).

V skúmanom území je nízka a stredná prietočnosť charakteristická pre terciérne sedimentárne horniny vnútrokarpatského paleogénu. Kalovce s občasným výskytom pieskovcov a zlepcov, ktoré tvoria hutianské súvrstvie, majú index transmisivity 3,96-5,57 (priemerná hodnota 4,83), striedajúce sa pieskovce a kalovce, s občasným výskytom prachovcov a zlepcov, tvoriace flyšové zuberecké súvrstvie, dosahujú index transmisivity 4,68-5,81 (priemerná hodnota 5,20) (Jetel, 2000). Súvrstvia mezozoických hornín ružbašského ostrova majú prevažne vysokú až veľmi vysokú prietočnosť. Porušené a skrasovatené strednotriasové vápence majú priemerný index transmisivity 6,52, porušené stredno a vrchnotriasové vápence a dolomity 4,23, silno porušené a rozpukané dolomity stredného a vrchného triasu 6,80, piesčité ílovce a slienité vápence spodnej jury 5,11 (Mlynarčík, Petrivalský, 1990). Veľmi vysokú prietočnosť majú dobre zvodnené hlinito-štrkovité sedimenty na nive Popradu (Hanzel, 1976).

Všetky skúmané svahové deformácie sa vyskytovali na svahoch budovaných súvrstviami sedimentárnych flyšových hornín s nízkou prietoknosťou, s indexom transmisivity 5.

**Tabuľka 3: Zastúpenie kategórií transmisivity horninového prostredia v skúmanom území.**  
Table 3: Frequency of transmissivity index.

| Index transmisivity | 5     | 6       | 7      |
|---------------------|-------|---------|--------|
| Prietoknosť         | nízka | stredná | vysoká |
| Rozloha             | 86 %  | 9,7 %   | 4,3 %  |

#### Erodovateľnosť pôdy

Stabilitu, resp. nestabilitu svahov najmä voči plytkému zosúvaniu, čiastočne ovplyvňuje aj zrážkovou vodou indukovaná erózia pôdy. Množstvo povrchového odtoku (objemový súčiniteľ odtoku) závisí okrem sklonu svahu aj od priepustnosti pôd. Štruktúru, pórovitosť, a tým aj infiltračnú schopnosť pôdy determinuje zrnitosť pôdy. Na základe toho, je možné pomocou zrnitosti pôdy zjednodušene interpretovať jej erodovateľnosť, t. j. náchylnosť pôdy na eróziu.

Pri hodnotení stupňa erodovateľnosti pôdy skúmaného územia prostredníctvom jej zrnitosti boli použité informácie odvodené pre územie Slovenska z práce Šuri et al. (2002). V skúmanom území dominujú pôdy s vysokou a veľmi vysokou náchylnosťou na eróziu (tabuľka 4). Z reálne existujúcich svahových deformácií sa žiadna nevyskytuje na geokomplexoch, ktoré majú nízku alebo veľmi nízku erodovateľnosť pôdy. 6 % plochy týchto postihnutých areálov sa nachádza na svahoch so strednou erodovateľnosťou pôdy. V geokomplexoch s vysokou a veľmi vysokou erodovateľnosťou pôdy sa vyskytuje 94 % skúmaných svahových deformácií.

**Tabuľka 4: Zastúpenie kategórií erodovateľnosti pôdy v skúmanom území.**  
Table 4: Frequency of soil erodibility.

| Erodovateľnosť pôdy   | Zrnitosť pôdy<br>odvodená z obsahu frakcie do 0,01 mm | Rozloha |
|-----------------------|-------------------------------------------------------|---------|
| Veľmi nízka           | ílovité (60 - 75 %), íly (75 - 100 %)                 | 2,4 %   |
| Nízka                 | piesočnaté (0 - 10 %), ílovitohlinité (45 - 60 %)     | 2,6 %   |
| Stredná               | hlinítopiesočnaté (10 - 20 %)                         | 4,0 %   |
| Vysoká a veľmi vysoká | hlinité (30 - 45 %), piesočnatohlinité (20 - 30 %)    | 91,0 %  |

#### Súčasná krajinná štruktúra

Vo všeobecnosti je známe, že vegetačná pokrývka vplýva na stabilitu svahov najmä retenciou zrážok, rozdielnou schopnosťou evapotranspirácie a rozložením i hĺbkovým dosahom koreňového systému (Paudiš, 2005). Otázka vhodnosti lesnej pokrývky alebo trvalých trávnych porastov pre stabilizáciu svahov však nie je jednoznačne zodpovedaná. Dreviny s vysokou spotrebou vody a hlbokým koreňovým systémom (napr. jaseň, topoľ, jelša, breza) lepšie stabilizujú svahové poruchy ako trvale trávne porasty. Naopak ihličnatý les s plytkým koreňovým systémom a malou spotrebou vody nie je vhodný na zalesňovanie postihnutých svahov (Nemčok, 1982).

Skúmané územie predstavuje rurálny typ krajiny s pestrou súčasnou krajinnou štruktúrou. Z celkovej plochy zaberá 53 % územie s lesnou pokrývkou. Trvale trávne porasty sa rozprestierajú na 31 %, orná pôda na 13 %, urbanizované plochy a antropogénne stabilizované svahy tvoria 3 %.

Vektorová GIS vrstva priestorového rozloženia jednotlivých kategórií súčasnej krajiny štruktúry bola vytvorená vizuálnou interpretáciou ortofotomáp v prostredí ArcView GIS 3.2a. Problematický priestorový priebeh hraníc a obsahová napln niektorých areálov boli verifikované vlastným terénnym výskumom.

### VÝSLEDKY

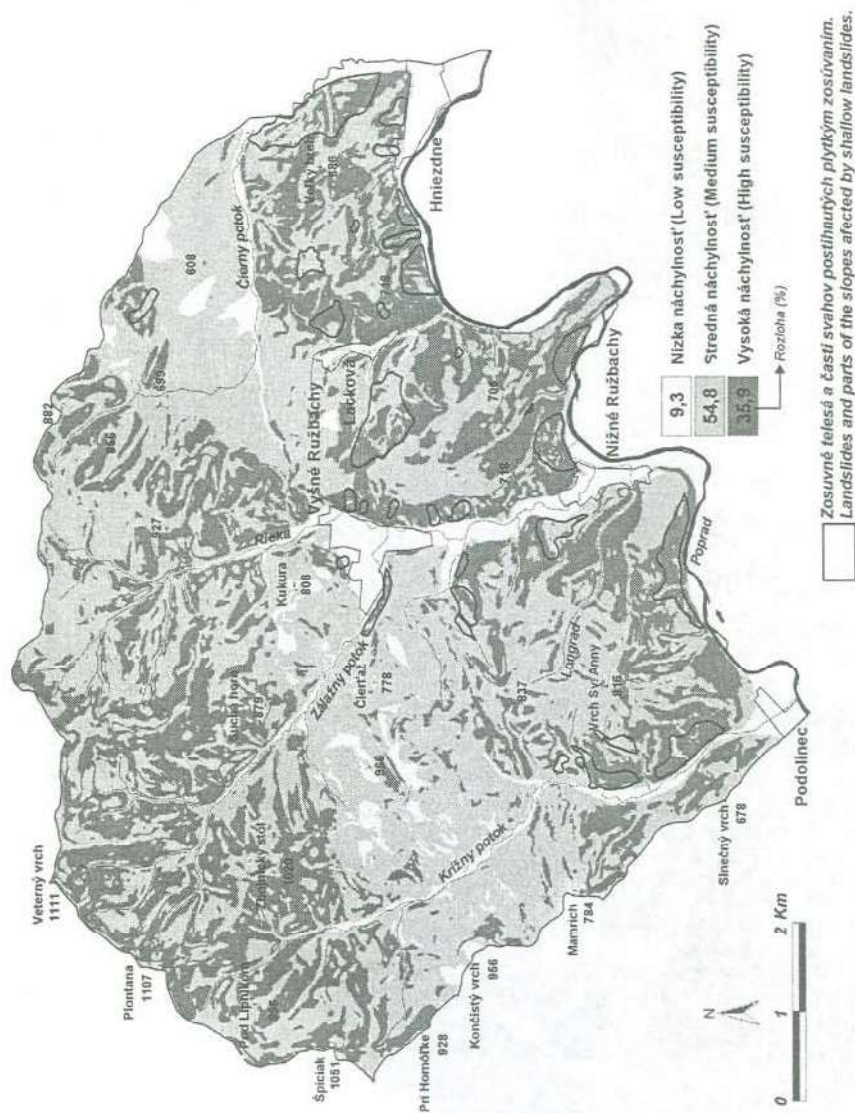
Areály potenciálne najviac náchylné na zosúvanie majú rozlohu 2 161 ha, čo predstavuje 35,9 % z celého skúmaného územia. Územie potenciálne stredne náchylné na zosúvanie sa vyskytuje na 3 299 ha (54,8 %) a územie relatívne stabilné z hľadiska zosuvných procesov sa vyskytuje len na 560 ha (9,3 %). Na území, ktoré je v súčasnosti pokryté lesom 32,2 % pripadá na geokomplexy vysoko náchylné na zosúvanie, 63,4 % na stredne náchylné a 4,4 % na areály s nízkou náchylnosťou. Územnoplánovacie aktivity a záujmy sa však zväčša sústreďujú najmä na oblasti, ktoré nie sú pokryté lesnou pokrývkou. Na základe vypočítanej predikcie zosúvania je možné práve tieto lokality označiť za veľmi nestabilné, pretože na geokomplexy s nízkou náchylnosťou na zosúvanie pripadá len 10,6 %, so strednou náchylnosťou 46,8 % a s vysokou náchylnosťou 42,6 %. Proces zosúvania je teda v rámci skúmaného územia výrazným limitujúcim faktorom obmedzujúcim možnosti ľudských aktivít.

Obrázok 1 zároveň schematicky prezentuje porovnanie výsledkov modelovania relatívnej hrozby zosúvania a vybraných reálne sa vyskytujúcich 35 zosuvných telies a častí svahov postihnutých plytkým zosúvaním. Kvôli splneniu podmienky čitateľnosti výstupu, na obrázku nie sú len odlučné časti zosuvov, ale celé telesá vrátane akumuláčnych častí. U všetkých reálne existujúcich deformácií sa odlučné časti zosuvov vyskytujú v areáloch, pre ktoré bola vymodelovaná vysoká náchylnosť územia na zosúvanie. Akumulačné časti zosuvov zasahujú aj do areálov so strednou náchylnosťou na zosúvanie a v niektorých prípadoch aj s nízkou náchylnosťou na zosúvanie (napr. akumulácia siahajúca až na nivu Čierneho potoka).

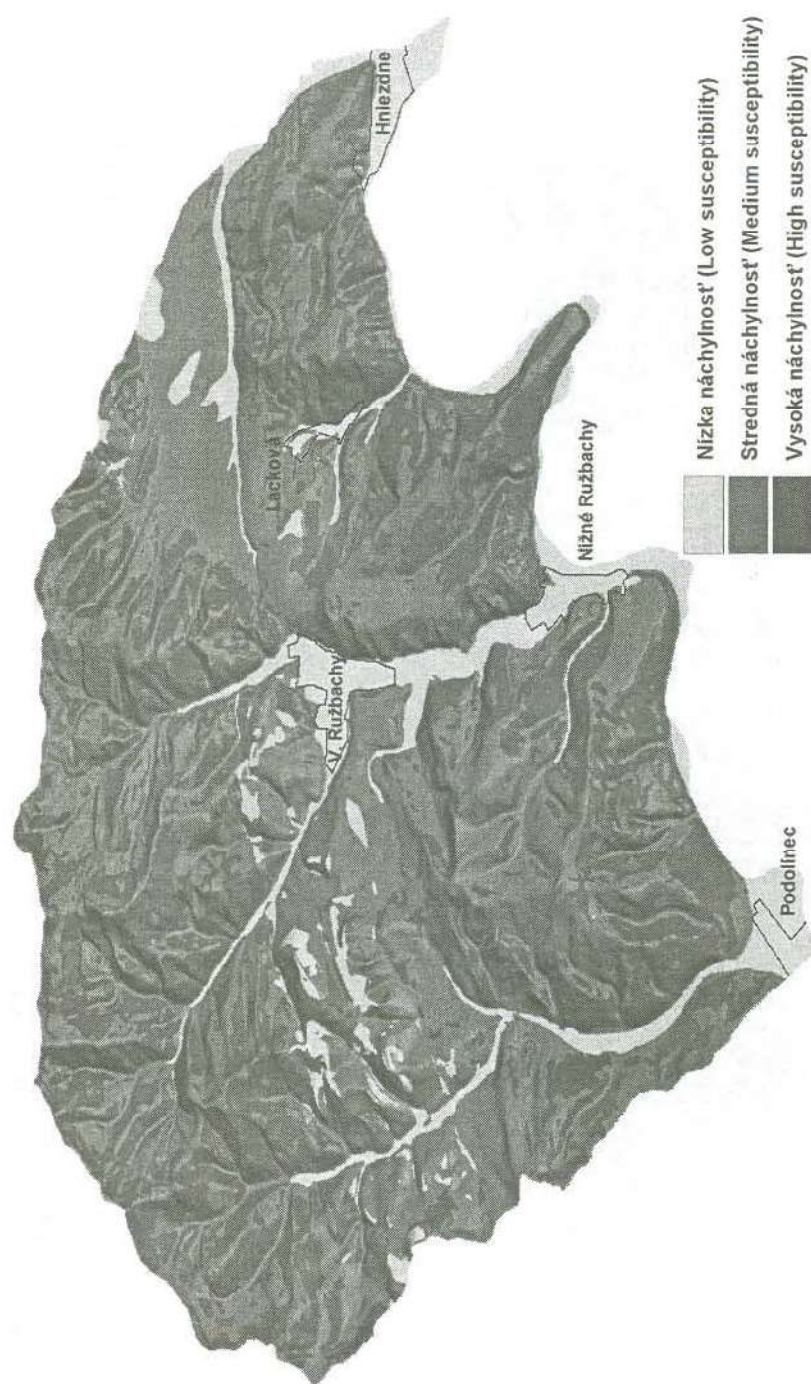
### ZÁVER

Porovnanie vypočítaných výsledkov s reálne existujúcimi svahovými deformáciami, potvrdilo možné využitie tohto zjednodušeného empirického modelu pre hodnotenie potenciálnej hrozby zosúvania v území Spišskej Magury a oblastiach s podobnými geoeologickými podmienkami. Výsledky môžu byť východiskom pri stanovovaní zásad, regulatívov a limitov ďalšieho využívania územia, teda ako podklad pri rôznych spracovávaníach územno-plánovacích dokumentácií.

Prostredie GIS zároveň umožnilo prezentovať výsledky modelovania prostredníctvom 2D kartografickej prezentácie (obrázok 1). Ešte názornejšia je prezentácia výsledkov prostredníctvom naloženia vrstvy náchylnosti územia na zosúvanie na digitálny model reliéfu (obrázok 2).



Obrázok 1: Potenciálna náchylnosť územia na zosúvanie.  
Figure 1: Potential susceptibility to landslides.



Obrázok 2: 3D vizualizácia priestorovej diferenciácie hrozby zosúvania. Vrstva je naložená na digitálny model reliéfu.  
Figure 2: Multiple surface representation of susceptibility to landslides draped over the terrain surface.

## Literatúra

- CARRARA, A. et al. (1995): *GIS technology in mapping landslide hazard*. In: Carrara, A., Reichenbach, P., eds., *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*. Dordrecht, Kluwer acad. Publ. s. 135 – 176.
- GREŠKOVÁ, A. (1997): *Digitálna mapa transmisivity horninového prostredia*. Geografický časopis 49, 3-4. s. 223-229.
- GROSS, P. et al. (1999): *Geologická mapa Popradskej kotliny, Hornádskej kotliny, Levočských vrchov, Spišsko-šarišského medzihoria, Bachurne a Šarišskej vrchoviny*. Regionálne geologické mapy Slovenska 1:50 000. Bratislava, Geologická služba SR.
- HANZEL, V. (1976): *Základná hydrogeologická mapa ČSSR*. 1:200 000. List 27 Poprad. Bratislava, ŠGÚDŠ.
- HREŠKO, J., MEDERLY, P., PETROVIČ, F. (2003): *Processing of the Landscape Ecological Plan of the City of Považská Bystrica Using GIS*. Životné Prostredie 37,1.
- JANOČKO, J. et al. (2000): *Geologická mapa Spišskej Magury*. Regionálne geologické mapy Slovenska 1:50 000. Bratislava, ŠGÚDŠ.
- JETEL, J. (2000): *Hydrogeologické pomery*. In: JANOČKO, J. ed. (2000): *Vysvetlivky ku geologickej mape Spišskej Magury 1:50 000*. Bratislava, ŠGÚDŠ. s. 122-134.
- KLIMEŠ, J. (2003): *Statistické metódy tvorby modelů náchylnosti území ke vzniku svahových deformací*. In: *Geomorfologický sborník 2*. Plzeň, ČAG, ZČU. s. 279 - 286.
- KOLEKTIV: *Mapa zosuvných území*. 1:25 000. List M-34-102-A-a, M-34-102-A-b. Bratislava, ŠGÚDŠ Register zosuvov.
- MELIORIS, L., MUCHA, I., POSPÍŠIL, P. (1986): *Podzemná voda – metódy výskumu a prieskumu*. Bratislava, Alfa.
- MITÁŠOVÁ, H., HOFIERKA, J. (1993): *Interpolation by Regularized Spline with Tension: II. Application to Terrain Modeling and Surface Geometry Analysis*. Mathematical Geology, 25. s. 657-669.
- MITÁŠOVÁ, H., MITÁŠ, L. (1993): *Interpolation by Regularized Spline with Tension: I. Theory and implementation*. Mathematical Geology, 25. p. 641-655.
- MLYNARČÍK, M., PETRIVALDSKÝ, P. (1990): *Výšné Ružbachy – ochranné pásma*. Záverečná správa z II. podetapy hydrogeologického prieskumu. Manuskript. Bratislava, ŠGÚDŠ.
- NEMČOK, A. (1975): *Mapa zosunov a zemných prúdov v Lubovnianskej vrchovine*. In: Nemčok et al. (1975): *Systematický výskum svahových deformácií na Slovensku*. Záverečná správa. Bratislava, SVŠT, SF Katedra geotechniky. 181 s.
- NEMČOK, A., BALIAK, F., MAHR., T., MALGOT, J. (1975): *Systematický výskum svahových deformácií na Slovensku*. Záverečná správa. Bratislava, SVŠT, SF Katedra geotechniky. 181 s.
- NEMČOK, J. et al. (1990): *Geologická mapa Pienín, Čergova, Lubovnianskej a Ondavskej vrchoviny*. Regionálne geologické mapy Slovenska 1:50 000. Bratislava, Geologická služba SR ŠGÚDŠ.
- PAUDITŠ, P. (2005): *Hodnotenie náchylnosti územia na zosúvanie s využitím štatistických metód*. Autoreferát dizertačnej práce. Bratislava, PRIF UK. 29 s.
- PAUDITŠ, P., BEDNÁRIK, M. (2002): *Using GRASS in Evaluation of landslide susceptibility in Handlovská Kotlina basin*. In: Ciolli M., Zatelli P., eds., *Proceedings of the "Open Source Free Software GIS - GRASS users conference 2002"*, Trento, Italy (<http://www.ing.unitn.it/grass/conferences/GRASS2002/proceedings/>).
- RAMAKRISHNAN, S., S. et al. (2002): *Landslide Disaster Management and Planning – GIS based Approach*. Indian Cartographer. s. 192-195.
- ŘEPKA, L. (1963): *Závěrečná zpráva o výzkumu zosuvných území*. Praha, ÚÚG. 21 s.
- URBÁNEK, J. 1968: *Zcsuny a teória systémov*. Geografický časopis 20, 1 Bratislava, Vydavateľstvo SAV. s. 18-33.
- ZÁRUBA, Q., MENCL, V. (1987): *Sesuvy a zabezpečování svahů*. Praha, Academia. 338 s.

**THE LANDSLIDE HAZARD ASSESSMENT BY USE OF GIS  
(THE CASE STUDY OF THE SPIŠSKÁ MAGURA MORPHOSTRUCTURE)**

*Summary*

The contribution presents one of the possible effective simple accessses to obtain spatial information concerning potential landslide hazard by use of GIS (combination of GRASS GIS and GIS ArcView software).

The assessment of landslide hazard was based on the simple empirical model:

$$Z_{II} = S + T + P + V,$$

where  $Z_{II}$  – relative value of landslide hazard,  $S$  – slope factor,  $T$  – transmissivity (permeability) factor;  $P$  – soil erodibility factor, factor,  $V$  – current landscape structure factor.

Information of slope factor was derived from the digital elevation model (DEM) at 10-m grid cell in GRASS GIS. DEM was developed from hand digitized elevation contours from topographic maps with scale of 1:10 000 (2 m interval). Transmissivity (permeability) factor is represented by the transmissivity index by recoding units of the geological maps. Soil erodibility factor was interpreted from soil texture map. Current landscape structure factor was based on the ortho photos interpretation (scale 1:2 000).

All input attributes were quantified by recoding their values and built in the raster object model. Input attributes were compared to digital landslide inventory map and divided to four categories and suitable weights were assigned. GIS raster layer of the susceptibility to landslides was created by raster map algebra like sum of input attributes values. Output relative values of landslide hazard were divided and reclassified to three categories of the vulnerability: low susceptibility, medium susceptibility and high susceptibility to landslides.

The map of landslide susceptibility was verified by comparison to landslide inventory map of study area. In all existing deformations the initiation zones are these areas for which high susceptibility of territory for landslide movement was derived by our model.

The areas not covered by vegetation and concentration of human activities and interests are considered very instable. The geocomplexes having low susceptibility form 10,6 %, medium susceptibility 46,8 % and high susceptibility 42,6 %. The landsliding is in terms of study area a distinctive limit factor.

**Recenzovali:** Prof. RNDr. Ján Harčár, CSc.

Doc. Ing. Jozef Vilček, PhD.