

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE

Stavebná fakulta

Evidenčné číslo: SvF-5326-7208

Modelovanie svahových deformácií v prostredí GIS

Bakalárska práca

Študijný program: geodézia a kartografia

Číslo študijného odboru: 3636

Názov študijného odboru: 5.1.3 geodézia a kartografia

Vedúci záverečnej práce: Ing. Eva Stopková

Bratislava 2013

Ľudmila Furtkevičová

ČESTNÉ VYHLÁSENIE

Čestne vyhlasujem, že predloženú bakalársku prácu na tému "Modelovanie svahových deformácií v prostredí GIS", vrátane všetkých jej príloh a obrázkov, som vypracovala samostatne, a to s použitím literatúry a ďalších informačných zdrojov uvedených v priloženom zozname.

V Bratislave, 17. mája 2013

.....
Ludmila Furtkevičová

POĎAKOVANIE

Tento cestou by som chcela podčakovať všetkým, ktorí mi akýmkolvek spôsobom pomohli pri spracovaní tejto bakalárskej práce. Moje podčakovanie patrí najmä vedúcej práce, Ing. Eve Stopkovej, za vedenie a za cenné pripomienky, odbornú pomoc, ochotu a usmerňovanie pri vypracovaní bakalárskej práce. Nemôžem nespomenúť ústretovosť prof. RNDr. Františka Baliaka, PhD. z Katedry geotechniky Stavebnej fakulty STU v Bratislave, Ing. Petra Ivana z Katedry vodného hospodárstva krajiny ako aj rady Jakuba Dikeja, študenta Geológie Prírodovedeckej fakulty UK. Za poskytnutie údajov ďakujem Štátному geologickému ústavu Dionýza Štúra v Banskej Bystrici, Slovenskej agentúre životného prostredia v Banskej Bystrici ako aj Katedre geodetických základov STU V Bratislave. Osobitné podčakovanie patrí mojim rodičom a mojim najbližším.

ABSTRAKT

Furtkevičová Ľudmila : Modelovanie svahových deformácií v prostredí GIS. Bakalárská práca. Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra geodetických základov. Školiteľ: Ing. Eva Stopková. Bratislava: SvF STU, 2013, 47 s.

Bakalárská práca pojednáva o možnosti využitia geografických informačných systémov (GIS) pri hodnotení zosuvného rizika. Opisuje vytvorenie univerzálneho analytického nástroja na modelovanie svahových deformácií. V záujme spresnenia výsledkov predikcie zosuvov pôdy práca aplikuje metódy zhľukovej analýzy. Modelovanie je výsledkom analýz a syntéz vybraných faktorov ovplyvňujúcich svahové deformácie. Postup je odskúšaný na obci Nižná Myšľa a v jej okolí a vychádza z empirického vzťahu bivariačnej štatistickej analýzy s využitím váh vstupných parametrov.

Kľúčové slová: modelovanie zosuvov, predikčná mapa, zhľuková analýza

ABSTRACT

Furtkevičová Ľudmila: Modelling of slope deformations in GIS environment. Bachelor thesis. Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Civil Engineering, Department of Theoretical Geodesy. Supervisor: Ing. Eva Stopková. Bratislava: SvF STU, 2013, 47 p.

Bachelor thesis deals with the possibility of using geographic information systems (GIS) in landslide risk assessing. It describes the development of a universal analytic tool for modelling slope deformations. In order to be more accurate in prediction of landslides, thesis uses methods of cluster analysis. Modelling is the result of the analysis and synthesis in selected factors which have influence on slope deformation. The procedure is tested in Nižná Myšľa and its surroundings and is based on the empirical formula produced from bivariate statistical analysis using weights of input parameters.

Keywords: modelling of landslides, predicative map, cluster analysis

ZOZNAM PRÍLOH

- [1] **Príloha 1** - Reklasifikačné tabuľky ako podklad pre tvorbu reklassifikovaných parametrických máp I – VIII (3 strany)
- [2] **Príloha 2** - Poskytnuté dátá I, II (1 strana)
- [3] **Príloha 3** - Východiská pri určení prahovej hodnoty rastra akumulácie vody I, II (1 strana)
- [4] **Príloha 4** - Vybrané parametrické mapy I – IV (2 strany)
- [5] **Príloha 5** - Analytický nástroj na detekciu potenciálne nebezpečných oblastí zosuvov (1 strana)
- [6] **Príloha 6** - Compact Disk (CD)
 - Text a prílohy bakalárskej práce v elektronickej podobe
 - Vstupné a reklassifikované parametrické mapy vo forme GIS
 - Analytický nástroj na detekciu potenciálne nebezpečných oblastí zosuvov ako prídavný nástroj pre ArcToolbox
 - Výsledky testovania metód zhlukovej analýzy
 - Poster

ZOZNAM OBRÁZKOV A TABULIEK

[1] Obr. 1.1 – Zosunutá časť cesty na východnom Slovensku	12
[2] Obr. 2.1 – Tvorba reklassifikovaných máp v ArcGIS	15
[3] Obr. 2.2 – Mapová algebra	16
[4] Obr. 2.3 – Princíp vzniku finálnej mapy náchynnosti územia na zosúvanie z parametrických máp	16
[5] Obr. 3.1 – Záujmové územie M 1: 100 000	17
[6] Obr. 3.2 – Schéma postupu pri tvorbe parametrickej mapy litologických celkov	19
[7] Obr. 3.3 – Reklassifikovaná parametrická mapa litologických celkov	20
[8] Obr. 3.4 – Priebeh DMR doplnený tieňom z funkcie HILLSHADE (pôvodný dmr-3)	20
[9] Obr. 3.5 – Schéma postupu pri tvorbe parametrickej mapy DMR	21
[10] Obr. 3.6 – Reklassifikovaná parametrická mapa dmr-3	21
[11] Obr. 3.7 – Schéma postupu pri tvorbe parametrickej mapy sklonitosti svahov	22
[12] Obr. 3.8 – Reklassifikovaná parametrická mapa sklonitosti svahov	22
[13] Obr. 3.9 – Schéma postupu pri tvorbe parametrickej mapy orientácie svahov voči svetovým stranám	23
[14] Obr. 3.10 – Reklassifikovaná parametrická mapa orientácie svahov voči svetovým stranám	23
[15] Obr. 3.11 – Schéma postupu pri tvorbe parametrickej mapy krivostí reliéfu	24
[16] Obr. 3.12 – Schéma postupu pri tvorbe parametrickej mapy dĺžok svahov	24
[17] Obr. 3.13 – Schéma postupu pri tvorbe parametrickej mapy prispievajúcich plôch	27
[18] Obr. 3.14 – Schéma postupu pri tvorbe parametrickej mapy súčasnej krajinnej štruktúry	28
[19] Obr. 3.15 – Okno v prostredí ArcGIS pre spustenie analytického nástroja na detekciu potenciálne nebezpečných oblastí	29
[20] Obr. 3.16 – Prognózna mapa rizika v modelovom území a reálne zosuvy z Atlasu stability svahov	21
[21] Obr. 4.1 – Časť správy o priebehu zhlukovej analýzy pre dĺžky svahov pri štyroch skupinách	24
[22] Obr. 4.2 – Prognózna mapa rizika zosuvov pôdy po testovaní metód zhlukovej analýzy a reálne zosuvy z Atlasu stability svahov	35
[23] Tab. 3.1 - Reklassifikácia výsledkov	28
[24] Tab. 4.1 - Vybrané výsledky zhlukovej analýzy pre nadmorské výšky a dĺžky svahov	32
[25] Tab. 4.2 - Nové intervale na základe výsledkov zhlukovej analýzy pre nadmorské výšky a dĺžky svahov	33
[26] Tab. 4.3 - Zastúpenie litologických celkov na zosuchoch v intervaloch pre dĺžky svahov získaných zhlukovou analýzou	34

OBSAH

ÚVOD	10
1 CIEĽ A PREDMET PRÁCE	12
1.1 Etapy riešenia	12
2 TEORETICKÉ VÝCHODISKÁ PRE MODELOVANIE SVAHOVÝCH DEFORMÁCIÍ	13
2.1 Spúšťacie faktory zosuvov a ich modelovanie	13
2.2 Využitie bivariačnej štatistickej analýzy s váhou parametra ako celku	13
2.3 GIS v modelovaní zosuvného hazardu	14
2.3.1 <i>Reklasifikácia dát</i>	15
2.3.2 <i>Dopyt pomocou jazyka SQL</i>	15
2.3.3 <i>Mapová algebra</i>	16
3 NIŽNÁ MYŠĽA A OKOLIE OBCE AKO MODELOVÉ ÚZEMIE	17
3.1 Charakteristika prostredia	17
3.2 Tvorba analytického nástroja na detekciu potenciálne nebezpečných oblastí	18
3.3 Vstupné dátá.....	18
3.3.1 <i>Interpretácia litologického zloženia</i>	19
3.3.2 <i>Interpretácia digitálneho modelu reliéfu</i>	20
3.3.3 <i>Interpretácia sklonitosti svahov</i>	21
3.3.4 <i>Interpretácia orientácie svahov na svetové strany</i>	22
3.3.5 <i>Interpretácia krivostí reliéfu</i>	23
3.3.6 <i>Interpretácia dĺžky svahov</i>	24
3.3.7 <i>Interpretácia prispievajúcich plôch</i>	25
3.3.8 <i>Súčasná krajinná štruktúra</i>	27
3.4 Model v ArcToolbox	28
3.5 Prognózna mapa zosuvného rizika	29
4 VYUŽITIE METÓD ZHLUKOVEJ ANALÝZY PRI MODELOVANÍ RIZIKA ZOSUVOV PÔDY	30
ZÁVER	36
LITERATÚRA A INÉ POUŽITÉ ZDROJE	37
PRÍLOHY	39

ÚVOD

"Skúste si predstaviť, že spíte so svojou rodinou v dome, v ktorom sa v noci ozýva strašidelné praskanie a vŕzganie, kde vám pri týchto podivných zvukoch naskakujú zimomriavky na celom tele, kde netušíte, či ráno budete môcť otvoriť dvere či okno, alebo či vám „neodpochodovala“ časť prízemia. V stenách vzniknú trhliny, cez ktoré takmer presvitá a pri pomyslení na plynovú či vodovodnú prípojku sa vám zatmie pred očami. Ak ste mladí, máte dom zaťažený hypotékou na desiatky rokov, ak ste starší, ste možno práve po infarkte, ku ktorému vám pomohla práve namáhavá práca pri svojpomocnej výstavbe domu. Toho domu, o ktorý možno onedlho prídete." (Jánová – Liščák, 2011)

Niekedy čitateľom sa môže zdáť, že tento úryvok z časopisu je napísaný príliš emotívne, no zosuvy skutočne dokážu spraviť z takejto predstavy realitu behom párov hodín.

Nielen u nás, ale v celej strednej Európe zohrávajú svahové deformácie jeden z najvýznamnejších prejavov exogennych geodynamických procesov. Atlas máp stability svahov Slovenskej republiky (Šimeková et al., 2006) je jasným ukazovateľom dôležitosti zaoberať sa touto problematikou. Na Slovensku sa vyskytuje vyše 20 000 svahových deformácií, čo predstavuje viac ako 5% rozlohy nášho štátu. V rámci svahových deformácií majú najväčší podiel zosuvy. Tie predstavujú celkovo 90% všetkých registrovaných svahových deformácií. Svahové deformácie ohrozujú 100 km diaľnic a cest I. triedy, 570 km cest II. a III. triedy, 60 km železníc, 11 km nadzemných vedení, viac ako 3 km ropovodov, 100 km plynovodov, 300 km vodovodov a takmer 30 000 pozemných stavieb (podľa Jánová – Liščák, 2011).

V súčasnosti riešené medzinárodné aj národné projekty, európske programy, bilaterálne spolupráce zverejňované Slovenskou akadémiou vied (Projekty SAV, 2013) sú dôkazom snahy viacerých odborníkov vytvoriť databázu údajov o prirodzenom území (napr. geologické podložie, nadmorské výšky). Využitie geografických informačných systémov (GIS) umožňuje tieto údaje priestorovo analyzovať a hľadať ich vzájomné vzťahy. Ich vizualizácia je predpokladom lepšej prehľadnosti a využiteľnosti potrebných informácií. Na rozdiel od zahraničných krajín (USA, Kanada, Veľká Británia), v podmienkach Slovenskej republiky je táto téma málo prebádaná, začala sa objavovať len v posledných rokoch a v literatúre sú často riešené iba čiastkové úlohy. Podrobnejšie vyhodnotenie hazardu pre skúmanú oblasť má význam či už pri územnom plánovaní alebo slúži poistovničiam pri poistovaní oblastí ohrozených zosuvmi vo väčšine štátov EÚ. Tiež

môžu byť prostriedkom k ušetreniu vysokých finančných nákladov na možné sanácie v budúcnosti a čo je najdôležitejšie, snahy o predikcie svahových deformácií pomáhajú zvýšiť bezpečnosť nás ľudí.

1 CIEĽ A PREDMET PRÁCE

Ako bolo načrtnuté v úvode, cieľom predkladanej práce je modelovať svahové deformácie so zameraním na zosuvy a poukázať na možnosti využitia nástrojov GIS. Úmyslom je vytvoriť analytický nástroj, ktorý by bol použiteľný pre dátá rôznych oblastí, aby riešenie bolo v súlade s modernými požiadavkami grafického spracovania a čo najviac sa blížilo reálnym skutočnostiam.

1.1 Etapy riešenia

Priebeh spracovania je možné stručne zhrnúť do nasledujúcich krokov:

- prieskum, štúdium problematiky
- voľba metódy na určenie potenciálne nebezpečných oblastí (z existujúcich metód hodnotenia zosuvného hazardu, zvolená metóda patrí medzi kvantitatívne, konkrétnie štatistické (Bednárik, 2010))
- výber vhodného modelového územia s vyskytujúcimi sa zosuvmi (príklad zosuvu časti cesty na východnom Slovensku z roku 2010 je uvedený na Obr.1.1)
- príprava potrebných dát
- tvorba univerzálneho analytického nástroja na predikciu zosuvov
- aplikácia metód zhlukovej analýzy
- vizualizácia dosiahnutých výsledkov



Obr. 1.1 – Zosunutá časť cesty na východnom Slovensku (prevzaté z FOTO:
Po záplavách spúšť a zosuvy, 2010)

2 TEORETICKÉ VÝCHODISKÁ PRE MODELOVANIE SVAHOVÝCH DEFORMÁCIÍ

Samotný vznik a vývoj svahových deformácií je spojený so spolupôsobením viacerých činiteľov, ktoré vyvolávajú štartovací mechanizmus pohybu. Výsledkom preskúmania a identifikácie sady javov, priamo alebo nepriamo spojených s prirozenou stabilitou svahu môže byť pravdepodobnostný predikčný model, ktorý vyčlenení územia s vysokou náhylnosťou na vznik poruchy a zosuvu.

2.1 Spúšťacie faktory zosuvov a ich modelovanie

Pre potreby celkovej analýzy svahu je potrebné čo najpresnejšie poznať ako vonkajšie (zrážky a ich vplyv na hladinu podzemnej vody, hydrogeologické pomery, krajinnú pokrývku), tak i vnútorné faktory (litologické zloženie, fyzikálno-mechanické vlastnosti horninového prostredia, charakter geologických štruktúr - úložné pomery, georeliéf - sklon svahu, dĺžka svahu, morfotopy) a mnoho iných činiteľov (Pauditš, 2005). O tom, ktoré z nich boli analyzované v predkladanej práci, pojednáva kapitola 2.2.

Táto téma vyžaduje prepojenie poznatkov viacerých vedných disciplín, predovšetkým inžinierskej geológie, matematickej štatistiky, geoinformatiky, geomorfológie a kartografie.

Posudzovanie zosuvného rizika je rozpracované v prácach Nemčoka A. (1979), Mencla V.(1987), Jurka (2003), Pauditša (2005), Pauditša & Bednárika (2006 a 2010) a mnohých ďalších. Títo autori pracovali v oblasti Handlovskej a Liptovskej kotliny, Myjavskej Pahorkatiny, Bielych Karpát a Hlohovca a obsahujú cenné návody pre hodnotenie skúmanej oblasti.

2.2 Využitie bivariačnej štatistickej analýzy s váhou parametra ako celku

Zvolenou predlohou na vytvorenie predikčného modelu v tejto práci bol vzorec (2.1) (Bednárik, 2010). V rámci jedného parametra (činiteľa, ktorý ovplyvňuje svahové deformácie) vystupujú triedy. Ideou bolo využiť koeficienty tried, ktoré sú produktom bivariačnej štatistickej analýzy s váhou parametra ako celku. Princíp tejto štatistickej analýzy spočíva v kombinácii tried s existujúcou mapou zosuvov (zistí sa celkový počet buniek gridu so zosuvmi a bez zosuvov, ten sa prepočíta na jednotku plochy alebo na

percentá a určí sa pravdepodobnosť na zosúvanie). Koeficienty sú potrebné na reklassifikáciu parametrických máp v digitálnej rastrovej forme.

Finálna mapa náchylnosti územia na zosúvanie vznikne jednoduchým súčtom súčinov reklassifikovaných parametrických máp a hodnôt váh každého z parametrov (Bednárik, 2010).

Rovnica vyzerá nasledovne:

$$y = /slope_recl/ * 0,02671 + /aspect_recl/ * 0,004661 + /landuse_recl/ * 0,008469 + \\ /geol_recl/ * 0,015102 + /curtvat_recl/ * 0,004513 + /flowdown_recl/ * 0,005283 + \\ /flowup_recl/ * 0,002591 + /dem_recl/ * 0,001578 \quad (2.1)$$

, pričom "y" predstavuje hodnotu zosuvného hazardu vo výslednej mape a platí :

Reklasifikovaná parametrická mapa: Hodnota v príslušnej bunke rastra:

slope_recl	_ sklonu svahu
aspect_recl	_ orientácie svahu voči svetovým stranám
landuse_recl	_ súčasnej krajinej štruktúry
geol_recl	_ litologickej stavby
curtvat_recl	_ krivosti reliéfu
flowdown_recl	_ dĺžky svahov
flowup_recl	_ prispievajúcich plôch
dem_recl	_ hypsografických stupňov

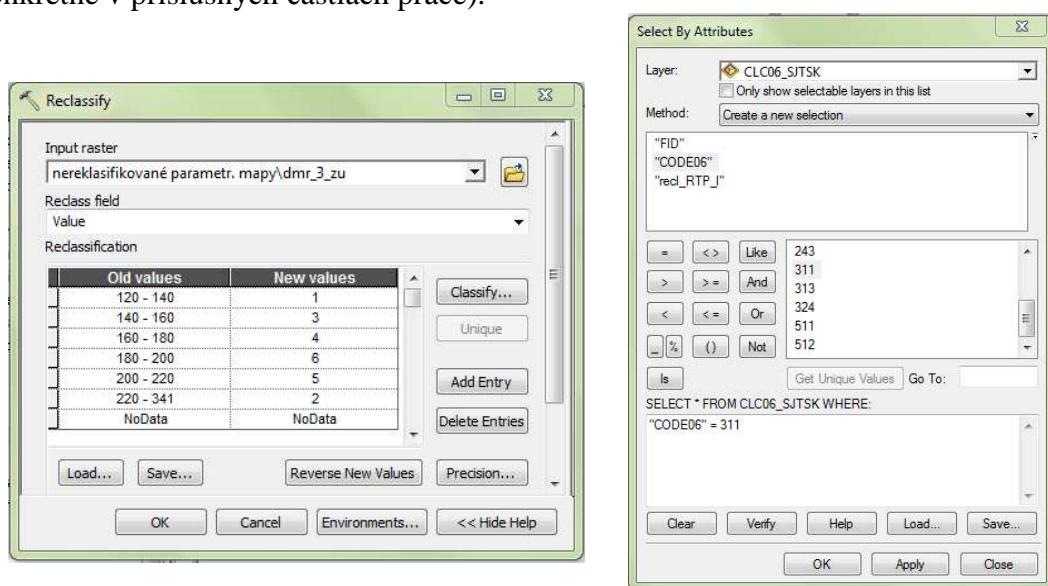
Celý postup prípravy dát ako aj výberu modelového územia je z dôvodu interdisciplinárnej náročnosti prispôsobený požiadavkám tohto vzťahu - z hľadiska výberu faktorov ovplyvňujúcich zosuvy, geologického podložia, rozsahu intervalov a zlúčenia druhov do tried v konkrétnych reklassifikačných tabuľkách.

2.3 GIS v modelovaní zosuvného hazardu

Pri väčšom súbore dát je výhodnejšie ako v tabuľkách alebo zoznamoch dátá znázorniť na mape, prípadne vytvoriť predikčný model. Grafické zobrazenie využíva prirodzenú schopnosť človeka rozlišovať farby, tvary či priestorové vzťahy a pomáha účinnejšie skúmať, pochopiť, analyzovať a interpretovať vykreslené informácie iným.

2.3.1 Reklasifikácia dát

Postup GIS, ktorý bol viackrát použitý v tejto práci pri analýzach, resp. pri tvorbe reklassifikovaných parametrických máp je reklasifikácia. Bola využívaná pre rastrové dát funkciou RECLASSIFY v ArcToolbox, ktorej vstupom je okrem príslušného rastra aj tabuľka s reklasifikačnými hodnotami (na Obr. 2.1 vľavo je príklad reklasifikácie nadmorských výšok dmr3). Výsledkom je nová rastrová mapa s reklasifikovanými dátami (konkrétnie v príslušných častiach práce).



Obr. 2.1 – Tvorba reklasifikovaných máp v ArcGIS - reklasifikácia (vľavo) a jazyk SQL (vpravo)

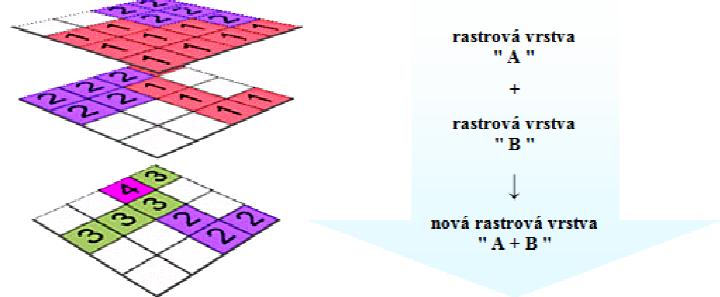
2.3.2 Dopyt pomocou jazyka SQL

Jednou z možností výberu vektorových dát a manipulácie s nimi je syntaktická konštrukcia jazyka SQL (Structured Query Language). Štruktúrovaný dopytovací jazyk SQL umožňuje sformulovať SQL výraz, ktorý je zložený z atribútov, operátorov a kalkulácií. Môže byť zmenená jedna hodnota vybraných dát alebo viac hodnôt naraz pomocou zadefinovaných intervalov (použitím relačných operátorov $<$, $>$, $=$). Vyberať možno podľa atribútov (tzv. Select By Attributes) alebo na základe polohy (tzv. Select by Location). Okno jazyka SQL v prostredí ArcGIS je na Obr. 2.1 vpravo (selekcia listnatých lesov z vektorovej vrstvy krajinnej pokrývky CORINE Land Cover na základe kódu, ktorý prislúcha listnatým lesom). Vyselektovaným dátam možno prideliť rovnakú hodnotu a tým ich rozdeliť do skupín. Každej hodnote sa pridelí farba, čím sú dáta po klasifikácii v novej mape zreteľne odlíšené. V predkladanej práci bol tento jazyk použitý na reklassifikáciu vektorových dát (pri reklassifikácii litologických celkov a krajinnej štruktúry). Ide o vrstvy, ktorých atribúty sú kvalitatívne charakteristiky.

2.3.3 Mapová algebra

Ďalšou z kľúčových častí GIS je mapová algebra. Za zakladateľa mapovej algebry sa pokladá C. D. Tomlin.

Ide o matematické operácie s rastrovými mapami, ktoré sú akoby matice čísel s priestorovým umiestnením (Obr.2.2).

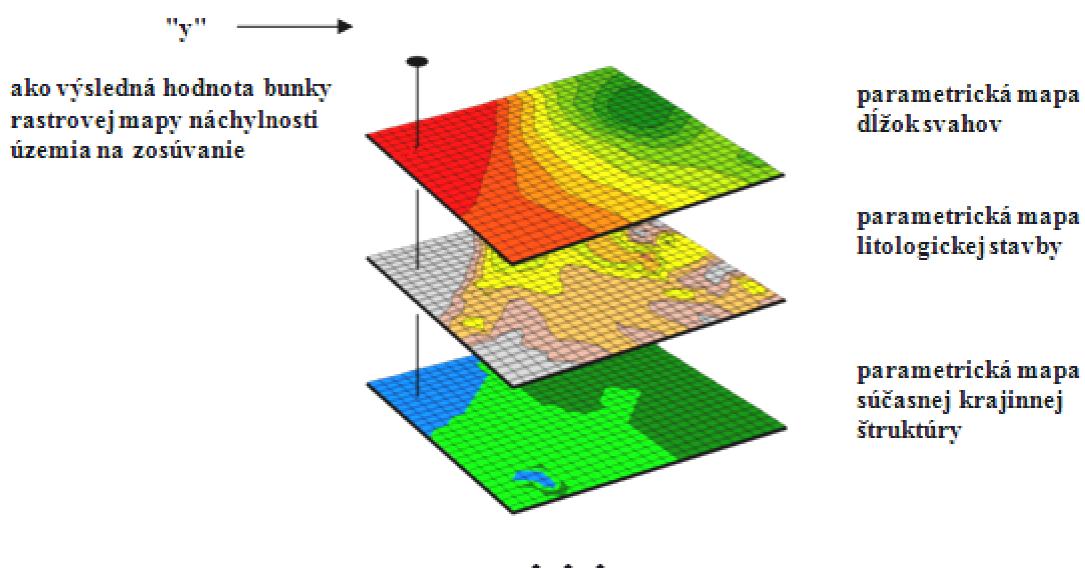


Obr. 2.2 – Mapová algebra

Pomocou mapovej algebry dochádza matematickými, ale i inými operáciami ku kombinácií medzi viacerými rastrovými vrstvami a týmito operáciami k výpočtu hodnôt rastra v podobe novej vrstvy. Použitie je jednoduché nakoľko používateľ len zadefinuje priestorové operácie, ktoré sa majú použiť, mená vstupných a meno výstupného rastra. Nástroj využívajúci mapovú algebru aplikuje požadované operácie na všetky bunky rastra. Výsledkom je nová vrstva, ktorá sa dá použiť na ďalšie výpočty alebo je táto vrstva sama o sebe výsledkom (podľa Macurová, 2009).

Základ využitia mapovej algebry v tejto práci tvoria reklassifikované parametrické mapy v digitálnej rastrovej forme pri výpočte hodnoty "y" (vzorec 2.1) ako výslednej hodnoty bunky rastrovej mapy náchylnosti územia na zosúvanie (Obr.2.3).

Všetky analýzy boli vykonávané v prostredí softvéru firmy ESRI, verzia ArcGIS 10.1.

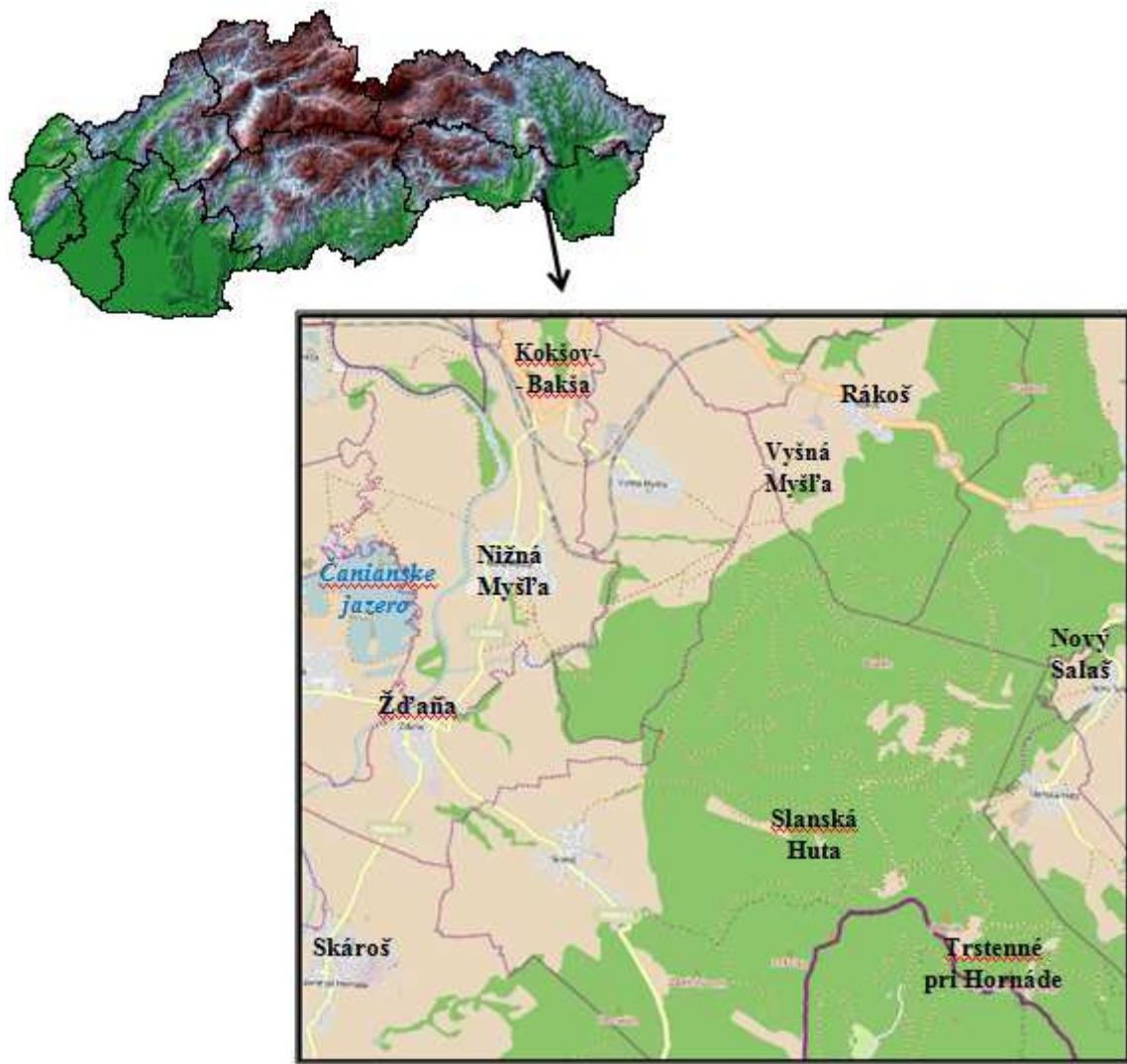


Obr. 2.3 – Princíp vzniku finálnej mapy náchylnosti územia na zosúvanie z parametrických máp

3 NIŽNÁ MYŠĽA A OKOLIE OBCE AKO MODELOVÉ ÚZEMIE

3.1 Charakteristika prostredia

Záujmové územie okolia východoslovenskej obce Nižná Myšľa leží v juhovýchodnej časti Košickej kotliny pod masívom Slanského pohoria asi 7 km juhovýchodne od Košíc (Obr. 3.1). Je charakterizované rôzne profilovaným terénom. Sútok troch riek - Hornádu, Torysy a Olšavy bol dominantným faktorom, ktorý ovplyvnil súčasný stav reliéfu krajiny (Nováček, 2008).



Obr. 3.1 – Záujmové územie M 1: 100 000 (zdroj: OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA, 2012)

Ku katastrofálnemu porušeniu svahu tu došlo 4. júna 2010 v noci, pričom zosuv bol hodnotený ako najhorší za posledných 50 rokov (Jánová, Házyová, 2011). V priebehu

niekoľkých hodín sa z 200 obyvateľov obce stali bezdomovci. Mnoho domov bolo silno porušených, niektoré ostali celkom neobývateľné. Okrem domov boli narušené inžinierske siete, miestne komunikácie, hospodárske budovy. Vyčíslené škody na majetku boli cca 30 miliónov eur (Jánová, Házyová, 2011).

Minimálne tieto skutočnosti jasne zaraďujú modelové územie medzi oblasti s vyskytujúcimi sa rizikami zosuvných hazardov a sú dôkazom, že nie je na mieste sa touto problematikou nezaoberať.

3.2 Tvorba analytického nástroja na detekciu potenciálne nebezpečných oblastí

Hlavnou myšlienkovou bolo vytvoriť analytický nástroj pomocou funkcií ArcGIS, ktorý by umožňoval ľahšiu, rýchlejšiu a plynulejšiu prácu nielen odborníkom, ale všetkým, ktorí skúmajú a analyzujú územie z hľadiska zosuvov alebo len jeho čiastkové faktory (napr. faktor povodí - užívateľ nemusí ručne vytvárať jednotlivé "medzimapy" potrebné pre vygenerovanie mapy povodí, analyzovať smer odtoku vody z bunky, smer akumulácie, raster vodných tokov, atď., ale zadá iba vstupný DMR a výsledkom je hned rastrová mapa povodí). Mal by to byť model, ktorý by vyzýval viacerým používateľom a zároveň, aby nebolo náročné a komplikované s takto vytvoreným modelom ďalej pracovať (vizualizácia a následné analýzy).

Faktory ovplyvňujúce stabilitu svahu sú pri rôznych spôsoboch hodnotenia zohľadené kvalitatívne so základom na skúsenostiach alebo exaktne pomocou numerických metód (Bednárik, 2010). Pri tvorbe analytického nástroja na detekciu potenciálne nebezpečných oblastí v obci Nižná Myšľa boli využité reklassifikačné tabuľky s numerickými hodnotami (tabuľky sú v Prílohe 1) reprezentujúcimi štatisticky určenú pravdepodobnosť na zosúvanie. Hodnoty priradené triedam v každej z ôsmich parametrických máp stvárňujú hlavné zložky vyššie uvedeného vzťahu (2.1). Najvyššia číselná hodnota je priradená triede najviac náchylnej na zosúvanie, a opačne trieda s najnižšou numerickou hodnotou je najmenej náchylná na zosúvanie.

3.3 Vstupné dátá

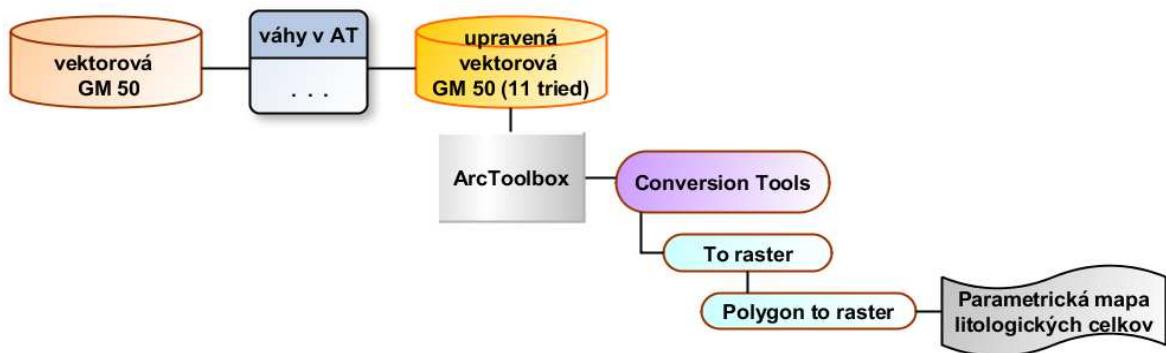
Počas celého procesu tvorby predikčného modelu bol pre všetky priestorové analýzy využitý súradnicový systém S – JTSK. V každej parametrickej mape boli využité dátá s rovnakým rozlíšením ako v poskytnutom DMR, t.j. s rozlíšením 10 m x 10 m.

Po spustení programu ArcGIS a načítaní topografickej mapy OpenStreetMap do prostredia ArcMap bolo záujmové územie s celkovou rozlohou 111 km² vyhradené hranicou.

3.3.1 Interpretácia litologického zloženia

Geologické podložie ako jeden z faktorov, ktoré ovplyvňujú vznik pôdnych zosuvov je budované usadeninami treťohorného mora, sopečnými tufmi (popolmi) a lávami treťohorných vulkánov, štrkovými náplavami riek a pieskovými (sprašovými) návejmi vetra z obdobia štvrtohôr. Vyskytujú sa tu hlavne typy sedimentov s charakterom jemnozrnných zemín (Nováček, 2008).

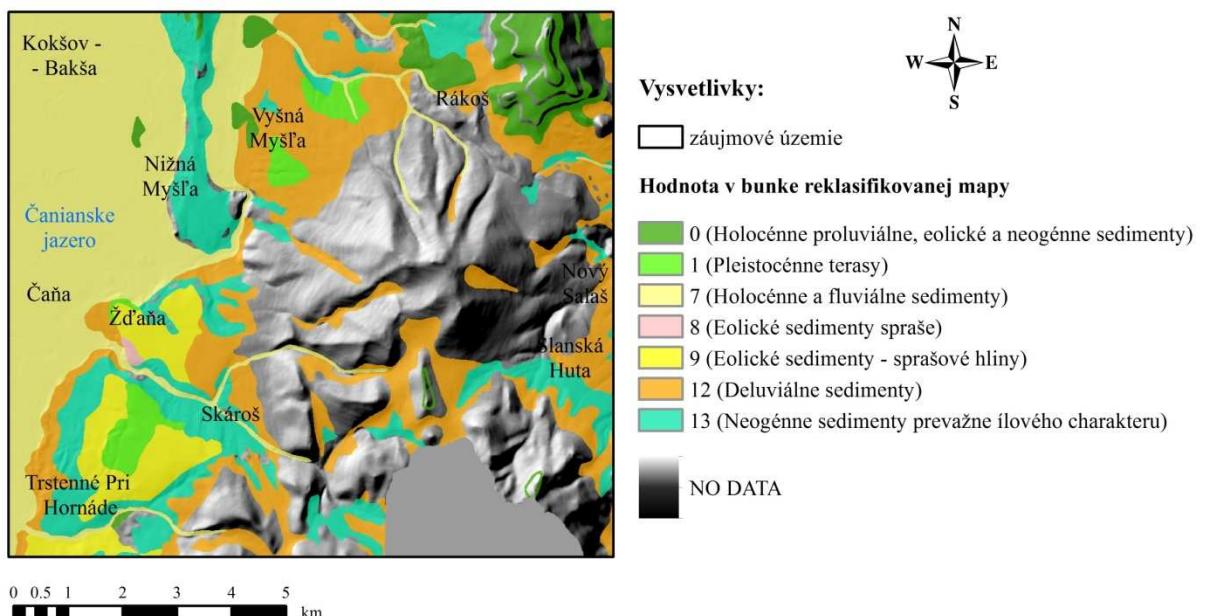
Toto sa sčasti zhoduje s oblasťou, ktorú použil ako záujmové územie autor vzorca (2.1) (Bednárik, 2010), no neprítomnosť predovšetkým vulkanitov v reklassifikačných tabuľkách je podnetom pre testovanie metód zhlukovej analýzy (viac v kapitole 4). Podkladom na vytvorenie reklassifikovanej mapy litologických celkov bola digitálna geologická mapa v mierke 1 : 50 000 poskytnutá vo vektorovej forme Štátnym geologickým ústavom Dionýza Štúra v Banskej Bystrici (Príloha 2-I). Pôvodne obsahovala 35 litologických celkov, ktoré sa po konzultáciách s prof. F. Baliakom z Katedry geotechniky SvF a s J. Dikejom, študentom Prírodovedeckej fakulty UK zaradili do tried. Kritériom boli podobné fyzikálno-mechanické vlastnosti hornín so zreteľom na náchylnosť k zosuvom. Upravená mapa litologických celkov vo forme reklassifikovanej parametrickej mapy prevedená z vektorového formátu do rastrovej podoby je uvedená na Obr. 3.3.



Obr. 3.2 – Schéma postupu pri tvorbe parametrickej mapy litologických celkov

Legendu pôvodnej geologickej mapy (GÚDŠ, 2013), triedy po reklassifikácii ako aj hodnoty v konkrétnej bunke reklassifikovanej mapy (Bednárik, 2010) summarizuje Príloha 1-I. Geologickým štruktúram, ktoré nefigurovali v žiadnej z tried podkladových materiálov, stupeň náchylnosti pridelený neboli a tie sú na mape vyznačené šedou farbou ako "NO DATA" (hodnota takejto bunky je -999, do výpočtu nevstupuje).

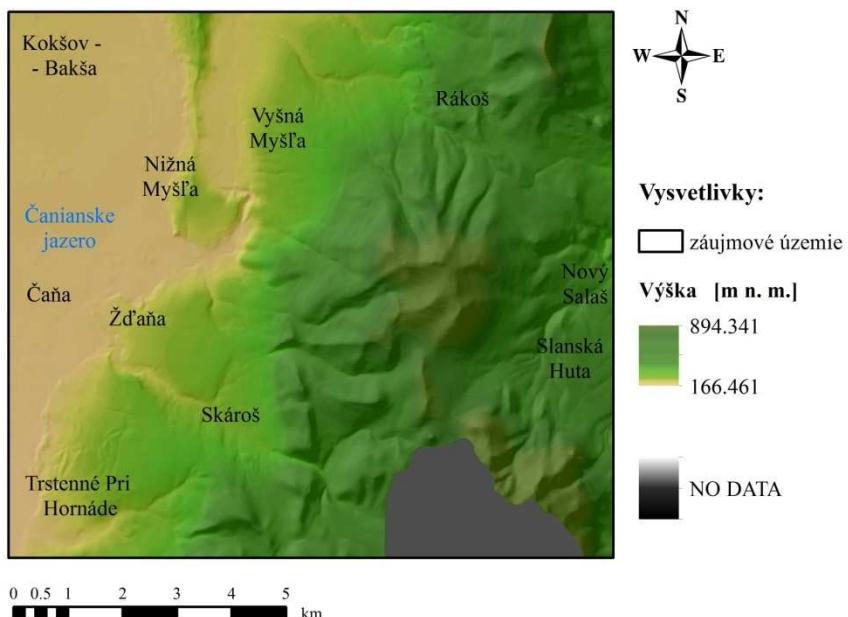
Mapa litologických celkov Nižná Myšľa a okolie



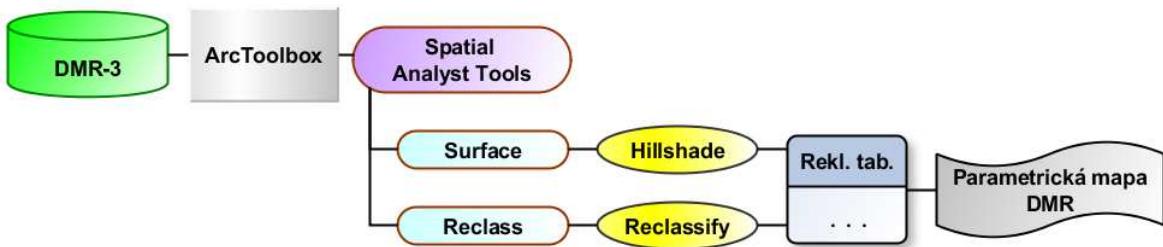
Obr. 3.3 – Reklassifikovaná parametrická mapa litologických celkov

3.3.2 Interpretácia digitálneho modelu reliéfu (DMR)

Smer gravitácie, ktorý bezpodmienečne súvisí s nadmorskými výškami je základným východiskovým ukazovateľom chorických väzieb vznikajúcich napr. povrchovým odtokom vody, prúdením vzduchu či pohybom materiálu po svahu (Sitanyiová, 2006). Na priestorové analýzy modelového územia Nižná Myšľa bol použitý dmr-3, poskytnutý Katedre geodetických základov na študijné účely. Pre lepšiu predstavu je grafický priebeh reliéfu upravený funkciou HILLSHADE s cieľom vytieňovať vrchy (Obr.3.4)



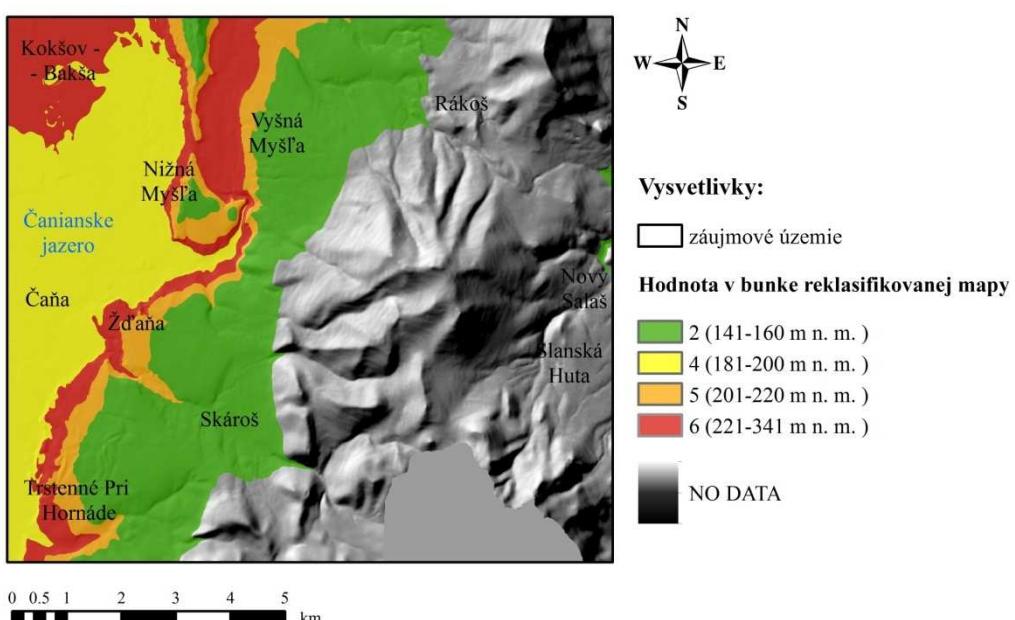
Obr. 3.4 – Priebeh DMR doplnený tieňom z funkcie HILLSHADE (pôvodný dmr-3)



Obr. 3.5 – Schéma postupu pri tvorbe parametrickej mapy DMR

Tu však vznikol rovnaký problém ako pri litologických celkoch a to taký, že hodnoty nespadali do reklassifikačnej tabuľky (Príloha 1-II). Situácia bola zatial' (viac v spomínamej kapitole 4) riešená tak, že všetkým týmto bunkám bol pridelený atribút "NO DATA", teda boli vyčlenené a nevstupovali do vzorca (2.1). Obr. 3.6 reprezentuje tieto bunky šedou farbou.

Digitálny model reliéfu Nižná Myšľa a okolie



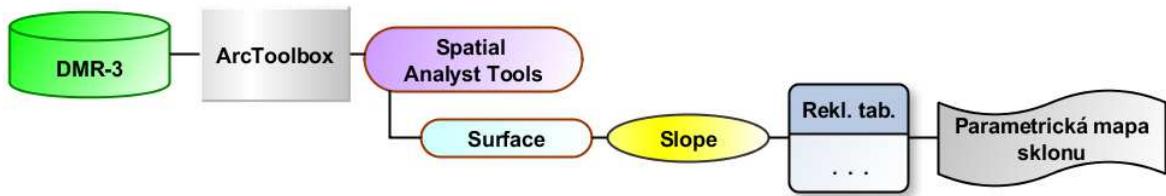
Obr. 3.6 – Reklasifikovaná parametrická mapa dmr-3

3.3.3 Interpretácia sklonitosti svahov

Sklon georeliéfu (angl. slope), definovaný ako uhol, ktorý zviera dotyková rovina k danému bodu s horizontálnou rovinou, rovnobežnou s hladinou svetového oceána resp. s priebehom geoidu (Minár, 1998) predstavuje zmenu nadmorských výšok v smere spádovej krivky. Je vyjadrený v stupňoch alebo percentách .

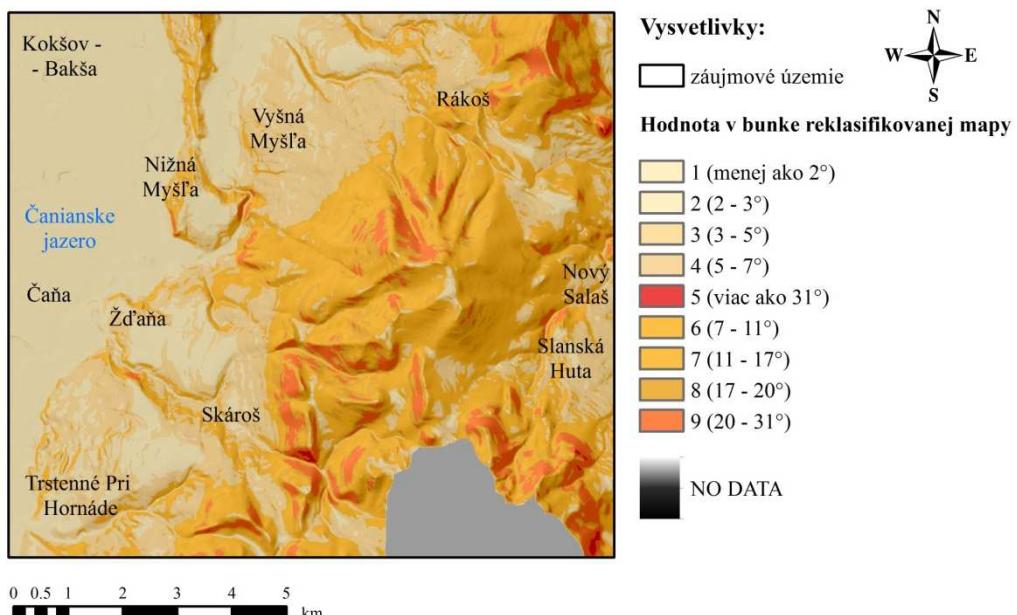
Na podklade digitálneho modelu reliéfu bola vytvorená mapa sklonov svahov. Sklon reliéfu je veľmi dôležitý ukazovateľ na hodnotenie rýchlosťi a tým aj množstva odtoku vody po vrchnej časti reliéfu. Z morfometrických ukazovateľov reliéfu patrí medzi

najpoužívanejšie (Miklós, Špinarová, 2010). Model sklonitosti bol vygenerovaný analytickým nástrojom SLOPE. Parametrická mapa v reklassifikovanej podobe vyjadrujúca sklonitost' v modelovom území je na Obr. 3.8 , reklassifikačná tabuľka v Prílohe 1–III.



Obr. 3.7 – Schéma postupu pri tvorbe parametrickej mapy sklonitosti svahov

Sklonitost' svahov Nižná Myšľa a okolie



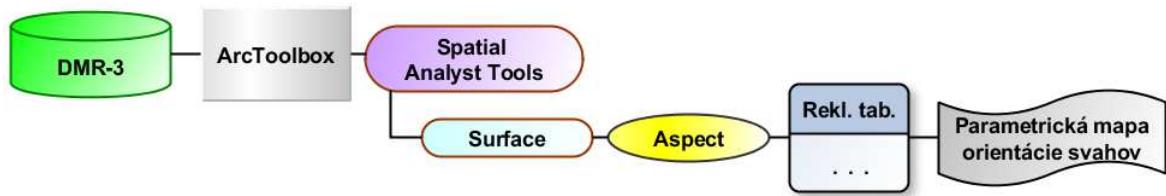
Obr. 3.8 – Reklassifikovaná parametrická mapa sklonitosti svahov

3.3.4 Interpretácia orientácie svahov na svetové strany

Dopad priameho slnečného žiarenia, množstvo zrážok, činnosť vetra či hydrotermický režim pôd sú procesy ovplyvňované orientáciou svahov voči svetovým stranám (*angl. aspect*). So zväčšujúcim sa sklonom jej význam pri erózno-denudačných procesoch rastie. Na orientáciu reliéfu voči svetovým stranám môžeme hľadiť ako na stabilné osvetlenie reliéfu voči slnku. Je nutné však povedať, že expozícia voči slnku sa v priebehu roka mení, avšak orientácia voči svetovým stranám je stabilná. Hlavnými zložkami pri vyjadrení sú izotangenty - čiary rovnakého uhla orientácie (smerové fronty) spájajúce body s rovnakou orientáciou reliéfu (Miklós, L. a kol., 1997).

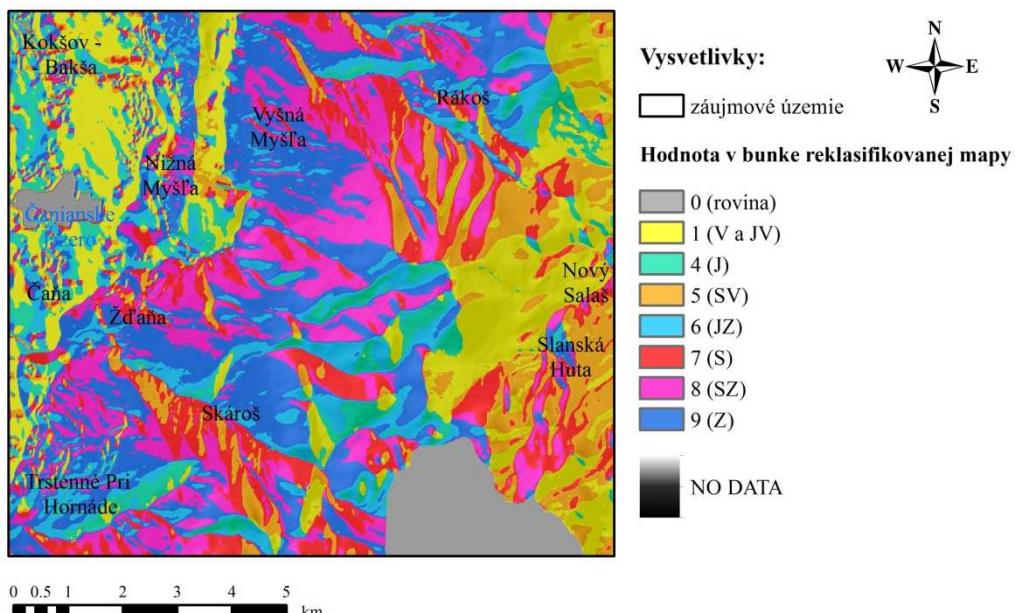
Hodnoty udávajú hodnoty uhla od definovanej svetovej strany (sever) v smere otáčania hodinových ručičiek – deväť kategórií s intervalom $22,5^\circ$, z toho jedna kategória

predstavujúca rovinu bez vzťahu k svetovým stranám. Mapa orientácií bola vytvorená nástrojom ASPECT (Obr. 3.9) a aplikáciou nástroja RECLASSIFY z nej vznikla reklassifikovaná parametrická mapa (Obr. 3.10).



Obr. 3.9 – Schéma postupu pri tvorbe parametrickej mapy orientácie svahov voči svetovým stranám

Mapa orientácie svahov voči svetovým stranám Nižná Myšľa a okolie

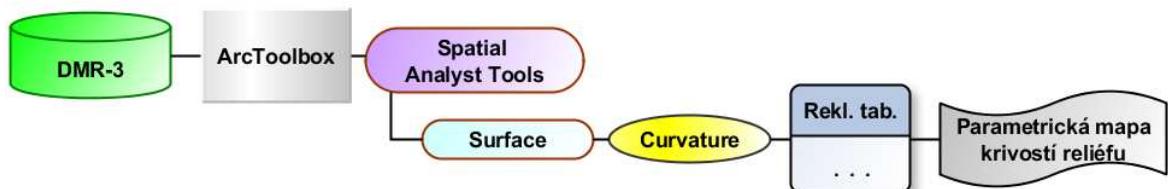


Obr. 3.10 – Reklassifikovaná parametrická mapa orientácie svahov voči svetovým stranám

3.3.5 Interpretácia krivostí reliéfu

Faktor krivosti reliéfu ovplyvňuje dynamiku povrchového toku vody. Ten možno definovať ako tečenie vody po povrchu reliéfu do okamihu, kým voda nedosiahne korytový vodný tok (Mitášiová et al., 1998). Krivosť reliéfu ovplyvňuje spomaľovanie, konvergenciu, divergenciu a zrýchľovanie toku. Povrchový tok zapríčinuje vodnú eróziu pôdy a podieľa sa na šírení kontaminantov vody a pôdy (chemické, rádioaktívne znečistenie). Má využitie pri hodnotení rizika na rôzne druhy vodnej a výmoľovej erózie pôdy. Sú rozlišované dva typy krivosti reliéfu - horizontálna krivosť, resp. krivosť vrstevníc (obrátená hodnota polomeru krivosti vrstevnice) a vertikálna krivosť, tiež normálová krivosť spádnic (obrátená hodnota polomeru krivosti spádnice v normálovom reze) (angl. plane and profile curvature) . Pri obidvoch typoch sú rozlišované konkávne

(záporné hodnoty), lineárne (inflexné oblasti, hodnoty blízke 0) a konvexné formy (kladné hodnoty), ktorých vzájomnou kombináciou vzniknú základné geometrické formy reliéfu. Pri hodnotení hazardu zosúvania sú dôležité hlavne spojnice bodov s nulovou hodnotou krivosti oddelujúce konvexné a konkávne formy. Krivosti v záujmovom území boli vygenerované nástrojom CURVATURE v ArcToolbox (Obr. 3.11). Tabuľka s použitými intervalmi reklassifikácie je v Prílohe 1-V. Parametrickú mapu znázorňuje Príloha 4-I (hodnoty krivostí v m^{-1}).

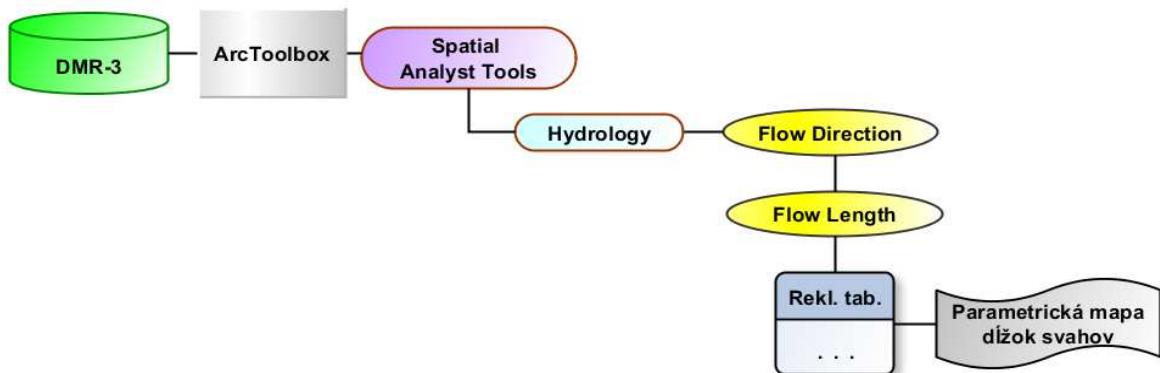


Obr. 3.11 – Schéma postupu pri tvorbe parametrickej mapy krivostí reliéfu

3.3.6 Interpretácia dĺžky svahov

Parameter dĺžky svahu je významný napríklad pri udávaní potenciálnej kinetickej energie povrchového alebo podpovrchového vodného toku, ktorý vo veľkej miere ovplyvňuje stabilitu svahu. Podľa Miklós, L. a kol. (1997) správna dĺžka svahu by mala zahŕňať dĺžku spádovej krivky od rozvodnice, poloprirodzených alebo antropogénnych línii po bod alebo čiaru integrácie odtoku.

V predkladanej parametrickej mape každá bunka rastra reprezentuje celkovú dĺžku spádovej krivky svahu od najvyššieho bodu, akým je napríklad vrchol hrebeňa. Spádová krivka je trajektóriou najpravdepodobnejšieho najkratšieho smeru po svahu. Pri vyjadrení hustoty spádových kriviek sa berie ohľad na ich smer preto bolo nevyhnutné najprv určiť smer prúdenia vody aplikáciou nástroja FLOWDIRECTION. Rastrový výstup bol následne vstupom na generovanie dĺžky svahov FLOW LENGTH (FLOW DOWN). Reklasifikačnú tabuľku nájde čitateľ v Prílohe 1-VI, reklassifikovanú parametrickú mapu v Prílohe 4-II.



Obr. 3.12 – Schéma postupu pri tvorbe parametrickej mapy dĺžok svahov

3.3.7 Interpretácia prispievajúcich plôch

Dôležitým činiteľom pri analýze oblasti z hľadiska vodnej erózie pôdy a možnej tvorby eróznych rýh a výmol'ov je aj hodnota prispievajúcej plochy (vyjadrená v m^2 na jednotku dĺžky vrstevnice). Veľkosť mikropovodí určuje množstvo vody a materiálu, ktorý sa môže hromadiť v danom areáli a prípadne dostať do susediaceho mikropovodia a následne do tokov a vodných plôch (Miklós, L. a kol., 1997). Tvar je určený horizontálnou krivost'ou reliéfu. Grid prispievajúcich plôch v záujmovom území bol získaný využitím a kombináciou viacerých funkcií podľa Obr. 3.13.

DMR bolo vhodné najprv "vyhladiť" funkciou FILL, ktorá zabezpečí odstránenie lokálnych depresií. Okrem vstupného DMR je potrebné zadať hodnotu "z". Tá predstavuje maximálnu hĺbku prieplavy, ktorá bude nástrojom vyplnená. Musí byť vždy kladná a zabezpečí, že všetky prieplavy záujmového územia, ktorých hĺbka je menšia ako "z" sú potom vyplnené do výšky poslednej bunky, ktorá ešte prispieva svojou vodou do konkrétnej prieplavy - hraničnej bunky, tzv. "pour point". Aby bolo územie čo najviac zbavené lokálnych depresií, bola hodnota "z" zvolená ako veľké číslo, konkrétnie $z = 2000$.

Nástrojom FLOW DIRECTION bol z DMR vytvorený raster smeru odtoku z bunky. Podstata je v tom, že pre každú bunku rastra sa vyhodnotí jej okolie a je určené, ktorá z buniek tohto okolia má najnižšiu nadmorskú výšku, resp. do ktorej bunky je to najviac "z kopca" (podľa Jedlička, Mentlík, 2002). Pre každú bunku bolo následne spočítané koľko buniek rastra smeru odtoku z bunky do konkrétnej bunky vteká, čím vznikol raster akumulácie vody (využitie FLOW ACCUMULATION). Dá sa povedať, že ak by na každú bunku DMR dopadla jedna kvapka vody, systém spočíta koľko týchto kvapiek dotečie až do určitej konečnej bunky.

Tieto dva rastre sú podmienkou pre tvorbu rastra vodných tokov. V predkladannej práci bola využitá metóda prahovania rastra, konkrétnie rastra akumulácie vody. Prahovaním sa rozumie rozdelenie hodnôt v rastri na dve časti podľa prahovej hodnoty (*angl. threshold*). Cieľom je dostať binárny raster. Ak isté percento buniek z rastra akumulácie vody do danej bunky vteká, znamená to, že v rastri vodných tokov bude táto označená ako bunka vodných tokov. Pre všetky ostatné platí stanovisko opačné. Súčasť Spatial Analyst – RASTER CALCULATOR, resp. využitie rozhodovacej štruktúry Con () zaistí rozdelenie buniek rastra na základe zvolenej prahovej hodnoty na hodnoty "1" a "NO DATA" (oblasti mimo tokov a vodných plôch).

Podľa podkladov zahraničnej literatúry (Tarboton, 2003) je odporúčané použiť prahovú hodnotu predstavujúcu 1% z maximálnej hodnoty buniek gridu akumulácie vody

(*angl. flow accumulation*). Maximálna hodnota tohto rastra pre dané záujmové územie je 685 581. Tu bolo ale zaujímavé sledovať, ako nástroj FILL, ktorým boli odstránené lokálne depresie vplyvá na raster akumulácie vody. Bez jeho použitia by maximálna hodnota predstavovala číslo 182 872, čo je podstatný rozdiel (v upravenom a neupravenom DMR rozdiel veľmi výrazný neboli – odlišovalo sa to najmä v okolí jazera).

Snahou bolo hlavne čo najlepšie odhadnúť realitu a určiť raster vodných tokov optimálne. V Prílohe 3-I je histogram znázorňujúci závislosť počtu povodí od prahovej hodnoty v rastri akumulácie vody. Je zrejmé, že znižovaním prahovej hodnoty počet povodí rapídne stúpa. Po porovnaní vygenerovaných vodných tokov s prahovou hodnotou 6500 (použitá teória 1%) a topografickej mapy sa táto hodnota javila ako optimálna. Vzorec nástroja RASTER CALCULATOR bol preto zadaný v tvare:

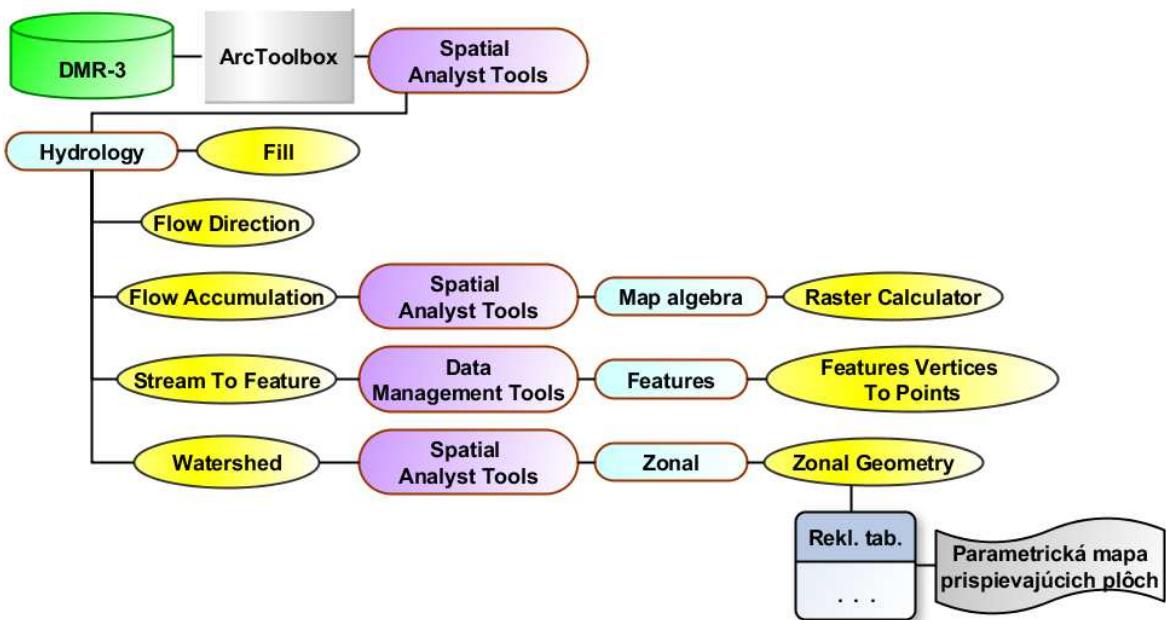
$$Con (\%accumulation_raster\% > 6500, 1) \quad (3.1)$$

Výsledkom tejto analýzy bol raster mikropovodí. Sú to skupiny buniek z rastra smeru odtoku z bunky, z ktorých voda odteká do toho istého bodu. Ohraničené sú hranicou nazývanou rozvodnica.

Kedže celý postup tvorby parametrickej mapy prispievajúcich plôch bol dosť náročný hlavne z hľadiska zvolenia správnej metódy, ktorá vyžadovala mnoho pokusov, porovnávaní a štúdia, bolo po vygenerovaní mikropovodí urobené jednoduché vizuálne overenie vychádzajúce z definície, ktorá hovorí, že rozvodnica (*angl. watershed divide, hydrological divide of catchment*) je čiara na povrchu terénu predstavujúca hranicu medzi povodiami, od ktorej sa rozdeľuje odtok povrchovej vody do dvoch susedných povodí, pričom táto čiara je kolmá na vrstevnice (podľa Hanzel , 1998). Prostredníctvom nástroja CONTOUR bol vytvorený obraz vrstevníc s intervalom 5m. V Prílohe 3-II je vidieť, že kolmost' bola dodržaná.

Aby bolo možné určiť plošné rozlohy prispievajúcich plôch , pre ktoré bola pripravená reklassifikačná tabuľka (Príloha 1-VII) a tiež, aby bolo reálne tieto kroky zakomponovať do pripravovaného nástroja bez definovania ďalších vstupných rastrov, prípadne vrstiev, bolo potrebné na raster mikropovodí použiť ZONAL GEOMETRY. Táto funkcia v rastri dokáže spočítať plochu buniek s rovnakým atribútom v konkrétnom (zadefinovanom) poli atribútovej tabuľky.

Postup znázorňuje Obr. 3.13. Parametrická mapa prispievajúcich plôch je v Prílohe 4-III.



Obr. 3.13 – Schéma postupu pri tvorbe parametrickej mapy prispievajúcich plôch

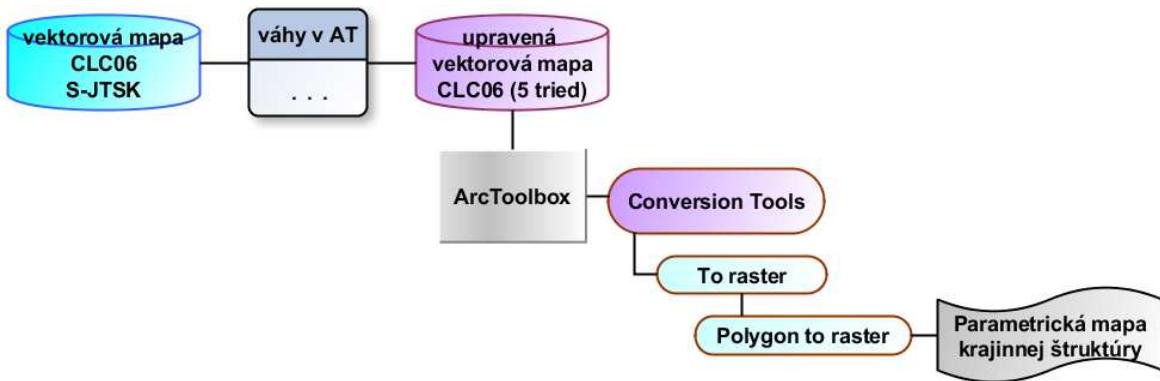
Treba povedať a priznať, že realitu je ľažko nahradíť aplikáciou mapovej algebry a nástrojov ArcGIS. Nie vždy pretekajú vodné toky po najnižšie položených bodoch v povodí, teda údolnici alebo vo zväzkoch po ideálnych liniach odtoku. V každej skúmanej oblasti je aj antropogénne pôsobenie. V krajine prebiehajú zásahy, ktorými človek robí napríklad úpravy vodných tokov. Uvedený postup vyjadruje, ako sa dá aspoň priblížiť prirodzenej skutočnosti a faktor prispievajúcich plôch modelovať.

3.3.8 Súčasná krajinná štruktúra

K ďalším možným faktorom patrí krajinná štruktúra. Napríklad aktívna miestna antropogénna činnosť súvisí hlavne s neriadеныm a chaotickým prístupom pri výstavbe nových obytných domov, prípadne s rekonštrukciami starých objektov. Tieto činnosti sú neraz sprevádzané zemnými prácam. Môže častokrát dôjsť k zvýšenému zaťaženiu svahu v dôsledku pritiaženia v jeho vrcholovej časti a oslabenia pri jeho päte.

Podkladom na interpretáciu tohto faktora boli údaje z databázy CORINE land cover za časový horizont 2006 (CLC06) spracované Centrom environmentalistiky a informatiky (CEI) SAŽP Banská Bystrica. Dáta (GIS vrstva CORINE land cover Copyright © Slovenská agentúra životného prostredia, Banská Bystrica 2008) boli odovzdané v digitálnom tvere (Príloha 2-II) ako vektorové údaje pre záujmové územie s legendou vo formáte xls v anglickom jazyku.

Parametrická mapa súčasnej krajinnej štruktúry je súčasťou Prílohy 4-IV a uzatvára súbor reklassifikovaných parametrických máp vstupujúcich do rovnice (2.1).



Obr. 3.14 – Schéma postupu pri tvorbe parametrickej mapy súčasnej krajinnej štruktúry

3.4 Model v ArcToolbox

Po vytvorení reklassifikovaných parametrických máp sa pristúpilo k výpočtu hodnoty "y", teda hodnoty zosuvného hazardu v bunke výslednej mapy vo vzťahu (2.1). Tento výpočet bol umožnený nástrojom RASTER CALCULATOR. Stupeň náchylnosti na zosúvanie sa určil funkciou RECLASSIFY využitím reklassifikačnej tab. 3.1.

Tab. 3.1 - Reklassifikácia výsledkov (Bednárik, 2010)

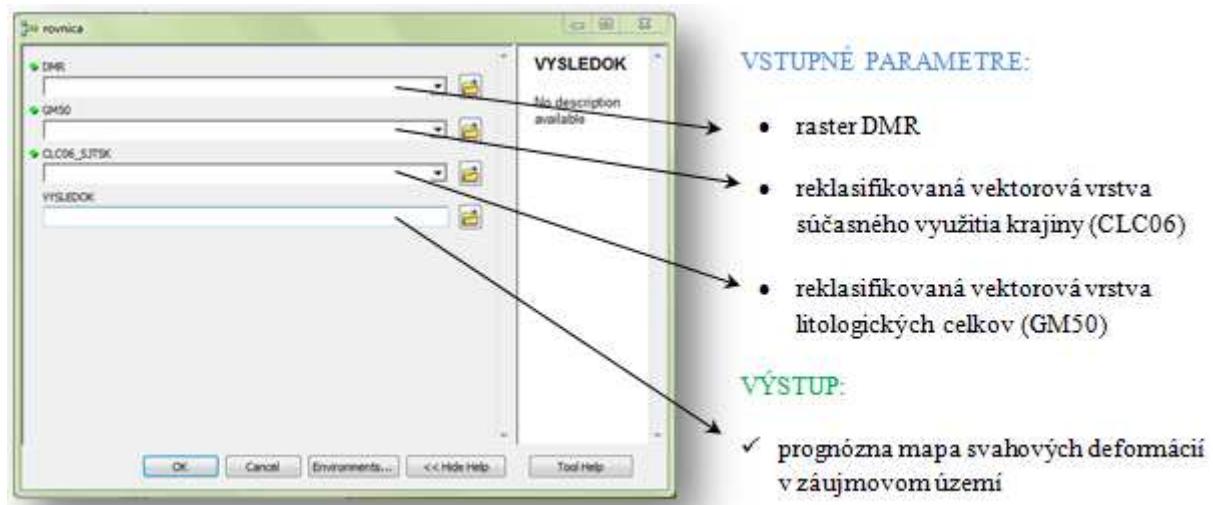
Výsledok rovnice			
Interval od	do	Stupeň zosuvného hazardu	
0.119	-	0.256	(1) veľmi nízky
0.256	-	0.332	(2) nízky
0.332	-	0.395	(3) stredný
0.395	-	0.48	(4) vysoký
0.480	-	0.604	(5) veľmi vysoký

Ako sa už spomína, cieľom bolo vymyslieť univerzálny analytický nástroj, s ktorým sa dá pracovať podľa potrieb používateľa. Základom splnenia úmyslu bola aplikácia ModelBuilder v programe ArcGIS 10.1, ktorá umožnila spojenie funkcií všetkých faktorov. Vytvorený výsledný model je znázornený v Prílohe 5.

Ak by užívateľ chcel použiť svoje reklassifikačné tabuľky s inými hodnotami, zmení ich ručne alebo načítaním reklassifikačnej tabuľky v modrých častiach modelu. Vrstvy CLC06 a GM50 sú veľmi závislé od záujmového územia a do modelu vstupujú už reklassifikované. Budúce hodnoty v bunkách týchto máp možno zmeniť v modeli tak ako to chce používateľ. Najprv je potrebné v atribútovéj tabuľke vektorovej vrstvy vytvoriť nový stĺpec, následne prideliť prvkom požadované hodnoty vyjadrujúce náchylnosť na zosuvy (najrýchlejšie a najefektívnejšie využitím spomínaného jazyka SQL - kapitola 2.3.2) a nakoniec treba len zmeniť názov stĺpca (meno novovytvoreného), podľa ktorého funkcia POLYGON TO RASTER vytvára reklassifikovanú rastrovú mapu.

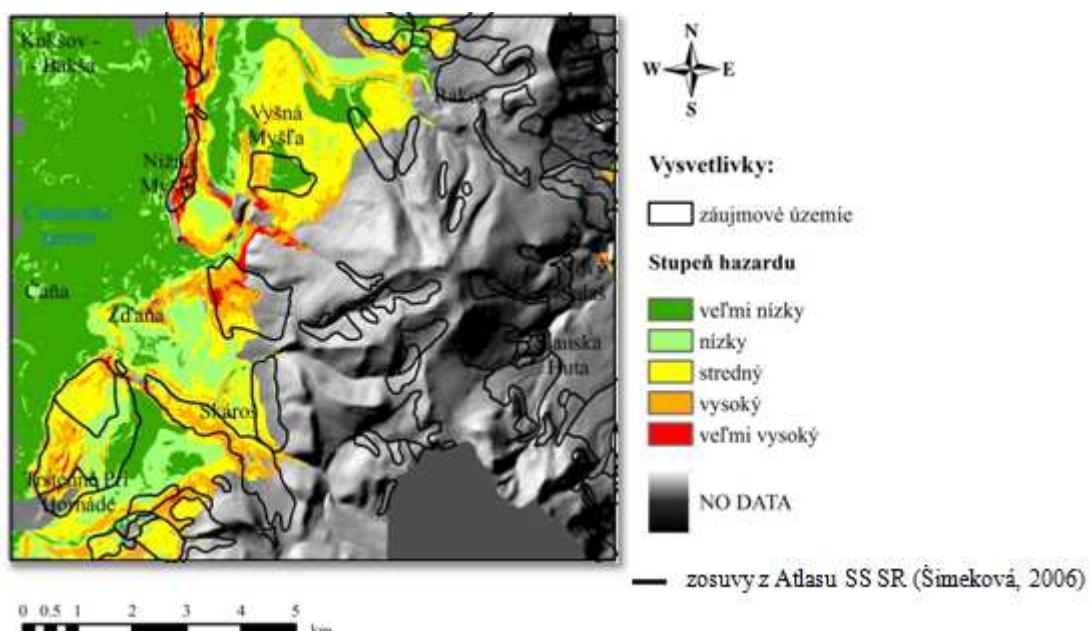
3.5 Prognózna mapa zosuvného rizika

Po spustení vytvoreného analytického nástroja, zadaním troch parametrov (ako to znázorňuje Obr. 3.15) - rastra DMR a reklassifikovaných vrstiev CLC06 a GM50 bola výstupom prognózna mapa zosuvného hazardu Nižná Myšľa a okolie (Obr. 3.16).



Obr. 3. 15 - Okno v prostredí ArcGIS pre spustenie analytického nástroja na detekciu potenciálne nebezpečných oblastí

Dosiahnuté výsledky sa následne porovnali so skutočne rizikovými oblasťami v modelovom území Nižná Myšľa a okolie. Miesta s reálnymi zosuvmi bolo možné určiť z poskytnutej GIS vrstvy zosuvov z predmetného územia, ktoré boli vyžiadané z Atlasu stability svahov SR (Šimeková, 2006) z databázy GÚDŠ v Bratislave. Na Obr. 3.17 je táto vrstva znázornená v prekrytí s produkтом analytického nástroja.



Obr. 3.16 - Prognózna mapa rizika zosuvov v modelovom území a reálne zosuvy z Atlasu stability svahov

4 VYUŽITIE METÓD ZHLUKOVEJ ANALÝZY PRI MODELOVANÍ RIZIKA ZOSUVOV PÔDY

Pri pohľade na záverečnú fázu predikčného modelu v predchádzajúcej kapitole (Obr. 3.16) nejeden čitateľ usúdi, že takáto mapa rizika zosuvov ideálna nie je. Výsledok totiž neurčuje riziko zosuvov v každej časti skúmaného územia. Je to z dôvodu použitia reklassifikačných tabuľiek, ktorých intervale nepokrývajú všetky hodnoty buniek rastra v mapách pred reklassifikáciou. Autor vzorca (2.1) skúmal totiž iné záujmové územie a uvádza koeficienty tried len pre intervale, ktoré preň definoval. Keďže takýto nedoriešený predikčný model nemá požadovanú výpovednú hodnotu, cieľom bolo určiť aj nedefinované oblasti, to znamená vybočujúce charakteristiky zaradiť do intervalov a priradiť im hodnotu, ktorá by charakterizovala ich vzťah k skúmanej problematike, teda k zosuvom. Jednou z možností ako hľadať riešenie je testovať metódy zhľukovej analýzy (*angl. cluster analysis*) s využitím informácií o reálnych zosuvoch v príslušnej lokalite.

Táto metóda uplatňuje klasifikačný postup, ktorý umožní nájsť prirodzené súvislosti v dátach na základe vzájomnej podobnosti a vytvorí skupiny. Ako príklad zhľukovej analýzy možno uviesť situáciu z oblasti zdravotníctva, kde charakteristika pacientov na základe zhľukov symptomov môže byť užitočná pri identifikácii vhodnej formy terapie (podľa Everitt et al., 2001). V súvislosti s riešenou úlohou by sa dalo povedať, že charakteristika intervalov vytvorená na základe zhľukov konkrétnych atribútov môže byť užitočná pri predikcii zosuvného hazardu. Nepoznáme počet skupín v predstihu - intervalov v reklassifikovaných parametrických mapách, ale vieme, že ich chceme vytvoriť a následne analyzovať ich členstvo v mape svahových deformácií.

V celom riešení by princíp bol v tom, nájsť skupiny zosuvov s podobnými vlastnosťami podľa sklonu, expozície, geológie a ostatných parametrov, ktoré boli použité v predikčnom modeli a pomocou týchto skupín zatriediť konkrétny druh dát z hľadiska náchylnosti na zosuvy, vytvoriť nové intervale, upraviť reklassifikačné tabuľky a následne ich použiť na novú mapu zosuvného hazardu. Z dôvodu obširnosti je v tejto kapitole načrtnuté riešenie, ktoré bolo realizované len pre nadmorské výšky, dĺžky svahov a pre geologiu, pretože hlavne pri týchto faktoroch nie sú reklassifikované všetky hodnoty, resp. pri dĺžkach svahov sú, ale väčšina spadá do 1 intervalu (aplikácia zhľukovej analýzy s cieľom spresniť intervale).

Použitie zhlukovej analýzy v ArcGIS 10.1 umožňuje nástroj GROUPING ANALYSIS (SPATIAL STATISTICS TOOLS - sada MAPPING CLUSTERS), ktorý vytvára skupiny tak, že zoradí atribúty jedného z ôsmich faktorov podľa veľkosti a nájde miestne stredné hodnoty (ťažiská), pre ktoré platí, že štvorec odchýlok ostatných hodnôt od týchto stredných je minimálny (Romesburg, 2004). To isté potom spraví s ďalšími atribútmi a nakoniec pospája jednotlivé ťažiská do skupín.

Pred samotným spustením nástroja GROUPING ANALYSIS bolo potrebné vstupné parametre vhodne pripraviť . Použili sa vektorové dátá svahových deformácií, nereklasifikované rastrové mapy s reálnymi (nereklasifikovanými) hodnotami a pri geológii a CLC06 reklassifikované vrstvy (to bolo z dôvodu, že tu v atribútovnej tabuľke nie sú atribúty ako kvantitatívne charakteristiky vystihujúce reálny rozmer, ale ako kvalitatívne, teda slovný popis).

Rastrové mapy boli konvertované na body - Point layers s hustotou 10 m x 10 m. Výberom prvkov pomocou SELECT BY LOCATION boli vyselektované ako prieniky (INTERSECT) týchto bodových vrstiev s mapou registrovaných zosuvov, čím sa určila ich prítomnosť, resp. neprítomnosť v mape reálnych svahových deformácií . Do výpočtu vstupovali iba body "prítomné". Tieto body sa ako konkrétné hodnoty, stali súčasťou spoločnej atribútovej tabuľky využitím nástroja SPATIAL JOIN (ANALYSIS TOOLS - OVERLAY). Osem faktorov tvorilo osem stĺpcov atribútovej tabuľky.

Týmto bolo už všetko pripravené pre samotnú zhlukovú analýzu.

Množina zadaných atribútov bola špecifikovaná bez akýchkoľvek priestorových alebo časopriestorových vlastností ako NO SPATIAL CONSTRAINT, teda nástroj Grouping Analysis využívajúci tzv. K- ALGORITMUS zhlukovej analýzy. Po vykonaní výpočtu sa analyzovali informácie získané z reportu (číselné zhrnutie o vytvorených skupinách v tzv. VARIABLE WISE SUMMARY a grafické v tzv. PARALLEL BOX PLOT). V atribútovej tabuľke výsledku v poli SS_GROUP (STATISTICS -FREQUENCY DISTRIBUTION) boli poskytnuté informácie o tom, do ktorej skupiny z vytvoreného diagramu daný bod patrí, resp. koľko bodov spadá do danej skupiny. Porovnávané boli hlavne skupiny s najväčším a najmenším podielom na zosuvoch s myšlienkovou nájsť tie najrizikovejšie (resp. najbezpečnejšie). Výsledky analýzy pre dĺžky svahov (FLOWDOWN) a DMR ako aj vybrané informácie z reportov pre rôzny počet skupín a ich zhluky - GROUPS sú uvedené v Tab. 4.1.

Podľa použitých reklassifikačných tabuľiek (Príloha 1-II. a 1-VI.) by najviac bodov malo patriť skupinám s nadmorskými výškami približne 200 m n.m. a najmenej skupinám

s výškami do 100 m n.m., prípadne viac ako 350 m n.m.. V súvislosti s dĺžkami svahov, najviac zosuvov by malo byť sústredených na kratších svahoch s hodnotami do 500 m, resp. aj do 1000 m, najmenej na svahoch s dĺžkou viac ako 1500 m. S ohľadom na tieto skutočnosti sa hľadal optimálny počet skupín, ktoré by vystihli takéto charakteristiky, ale súčasne priniesli aj nové súvislosti (využitím zhlukovania). Pri pohľade na Tab. 4.1 vidieť, že tento cieľ je reálny. Pri rôznom počte skupín sa totiž "zhluky" opakujú.

Tab. 4.1 - Vybrané výsledky zhlukovej analýzy pre nadmorské výšky a dĺžky svahov

S	Charakteristika skupiny s najväčším podielom na zosuvoch podľa VWS				Charakteristika skupiny s najmenším podielom na zosuvoch podľa VWS				FREQUENCY DISTRIBUTION (frekvenčný graf – FD)	PARALLEL BOX PLOT (graf podobných vzťahov - PBP)
		MAX	MIN	STRED		MAX	MIN	STRED		
2	DMR	585	176	350	DMR	778	311	571		
	FLD	4354	0	1290	FLD	10252	366	4981		
3	DMR	452	176	312	DMR	751	311	520		
	FLD	4354	0	1330	FLD	10252	5520	8092		
4	DMR	371	176	254	DMR	751	311	520		
	FLD	4354	0	1607	FLD	10252	5520	8092		
5	DMR	340	176	244	DMR	751	440	583		
	FLD	3212	0	1441	FLD	10252	7771	9264		
6	DMR	340	176	244	DMR	751	513	601		
	FLD	3212	0	1441	FLD	10252	7771	9372		
7	DMR	340	176	247	DMR	751	513	611		
	FLD	4354	0	1538	FLD	10252	9200	9601		
10	DMR	470	377	427	DMR	537	440	505		
	FLD	2248	80	1010	FLD	9405	7771	8695		

Pozn. : S (Skupina), G (Group – zhluk), VWS (Variable Wise Summary - zhrnutie o skupinách)

Dalo by sa konštatovať, že väčšie dĺžky svahov, to znamená do 1000 m až 2000 m pokrývajú väčšinu zosuvov (G2 pri S3, G1 a G3 pri S5). Najmenší podiel na zosuvoch, i keď nemalý majú hlavne dlhé svahy (viac ako 5000 m), dĺžky do 500 m sa vyskytujú v zosuvoch veľmi málo (napr. G3 a G4 pri S7) , veľmi dlhé svahy (nad 10 000 m) zosuvy nepokrývajú. Takto by sa dalo analyzovať ďalej. Ako optimálny počet skupín by v konečnom dôsledku bolo zvolené také riešenie, ktoré by najlepšie vystihovalo reálne skutočnosti a jeho intervale by sa nijako neprekryvali. Presné a konkrétnie rozlúsknutie vyžaduje kombinovanie a skúmanie aj ostatných faktorov. Pri tejto dvojici , teda nadmorské výšky a dĺžky svahov sa ako optimálny javí počet skupín "štýri" (viď. Obr.4.1 a Tab.4.1 - 4). Podľa vytvorených zhľukov a uvážení o možnosti "bez rizika až podmienečne náchylné" by boli intervale navrhnuté tak, ako sú uvedené v Tab. 4.2.

Overall Variable Statistics a Variable-Wise Summary:



Obr. 4.1 – Časť správy o priebehu zhľukovej analýzy pre dĺžky svahov pri štyroch skupinách

Tab. 4.2 - Nové intervale na základe výsledkov zhľukovej analýzy pre nadmorské výšky a dĺžky svahov

Digitálny model reliéfu			Dĺžka svahu		
Interval [m n.m.] od	do	Slovny popis rizika zosuvov	Interval [m] od	do	Slovny popis rizika zosuvov
150	- 250	vysoké riziko	1000	- 2000	vysoké riziko
250	- 450	zvýšené riziko	0	- 1000	zvýšené riziko
450	- 550	stredné riziko	2000	- 5000	stredné riziko
550	- 780	mierne riziko	5000	- 10 000	mierne riziko
0 – 150 , 780 <		bez rizika až podmienečne náchylné	10 000	<	bez rizika až podmienečne náchylné

Pri geologickom podloží bol použitý spomínaný reklassifikovaný raster. Nebol to však ten, kde všetky vulkanity (geologické podložie, ktoré autor vzorca 2.1 neskúmal) mali hodnotu -999 - NO DATA, podľa Prílohy 1-I posledné dve triedy tabuľky, ale tieto vulkanity boli označené "umelo" vytvorenými hodnotami (21 - neovulkanické brekcie

a tufy a 31 - neovulkanické dajky a lávové prúdy). Je to z dôvodu, že čísla 21 a 31 sú podobnejšie hodnotám 0-13 v reklassifikačnej tabuľke pre litologické celky a iba nahradili hodnotu -999, ktorá by mohla spôsobiť skreslené výsledky zhľukovania (vytvorili by sa len dve skupiny - zhľuk 0 až 13 a zhľuk -999). Aj tento raster bol konvertovaný na body. Výsledok výpočtu v kombinácii s faktorom dĺžok svahov však ukázal, že ani hodnoty 21 a 31 nie sú vhodné. Vo VWS bolo viditeľné, že hodnota 31 podozrivo charakterizovala celú skupinu, ktorá podľa frekvenčného grafu reprezentovala malý podiel zosuvov. Ak by to bolo tak, dalo by sa vyvodíť, že 31 je bezpečný podklad. Ako bolo už povedané, tieto hodnoty litológie popisujú kvalitu, nie kvantitu javu, čo signalizovalo potrebu vykonať ďalší pokus, v ktorom hodnoty 21 a 31 boli zmenené na hodnoty iné, konkrétnie 14 a 15, teda maximálna hodnota v bunke reklassifikovanej parametrickej mapy +1 a +2 (hodnoty ešte bližšie hodnotám 0-13). Výsledok bol taký, že interpretácia vo frekvenčnom grafe sa celkom zmenila, neboli viditeľné žiadne súvislosti, čo viedlo k dedukcii, že kvalitatívne vrstvy geologického podložia musia byť analyzované iným spôsobom ako cez zhľukovanie.

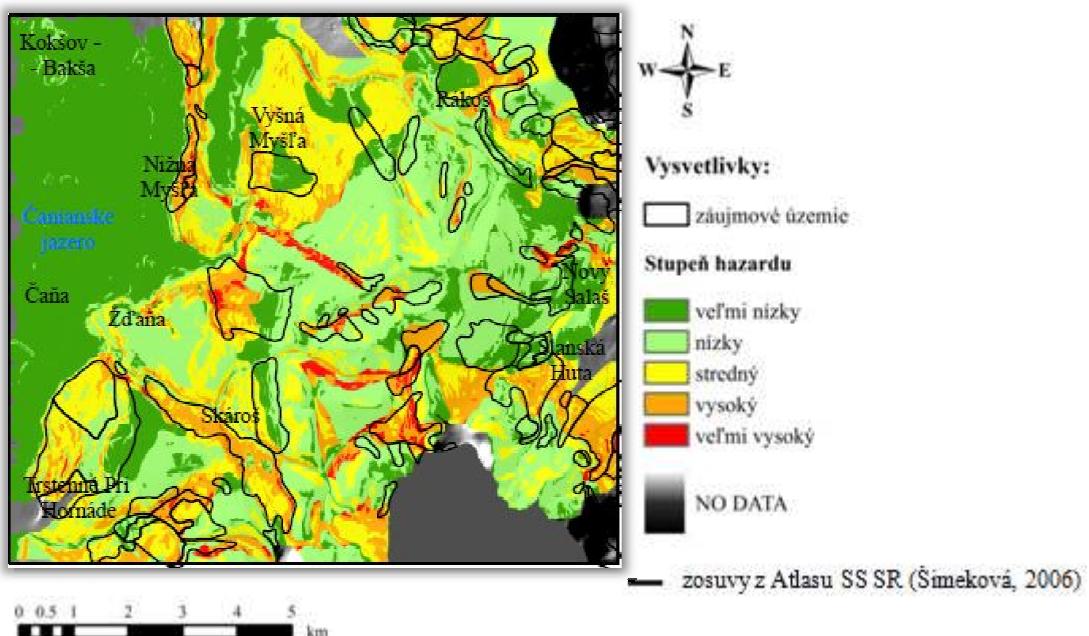
Jednou z vhodných možností sa ukázalo jednoduché percentuálne vyjadrenie. Body reprezentujúce geologické podložie, ktoré vznikli prienikom s vrstvou reálnych svahových deformácií sa rozdelili do troch skupín (RCL – ošetrené litologické celky, VULK_1 - neovulkanické brekcie a tufy, VULK_2 - neovulkanické dajky a lávové prúdy) a následne sa určil ich percentuálny podiel v mape svahových deformácií použitím nových intervalov dĺžok svahov (Tab. 4.3). Náchylné na svahové deformácie sa ukazujú VULK_2 na svahoch s dĺžkami 2000 – 5000 m. Pre dĺžky nad 10 000 m a VULK_1 sa zosuvy v záujmovom území nevyskytujú. Týmto by bol charakterizovaný vzťah nedefinovaného geologického podložia k zosuvnému riziku použitím súvislostí s dĺžkami svahov. Treba však povedať, že by bolo na mieste skúmať ešte kombinácie s ostatnými faktormi.

Tab. 4.3 - Zastúpenie litologických celkov na zosuvoch v intervaloch pre dĺžky svahov získaných zhľukovou analýzou

Nový interval [m] od	do	Dĺžka svahu Slovny popis rizika zosuvov	Litologické celky			
			Percentuálny podiel v intervaloch RECL	VULK_1	VULK_2	Spolu [%]
1000	- 2000	vysoké riziko	57	36	6	100
0	- 1000	zvýšené riziko	77	18	5	100
2000	- 5000	stredné riziko	6	1	93	100
5000	- 10 000	mierne riziko	42	32	26	100
10 000	<	bez rizika až podmienečne náchylné	0	0	100	100

Na základe intervalov po zhlukovej analýze (Tab.4.2) sa upravili reklassifikačné tabuľky vstupujúce do modelu (Príloha 5) a vytvorená bola nová prognózna mapa rizika zosuvov. Kvôli zložitosti litologických celkov a potrebnej hlbšej analýze, vulkanity zatial vstupujú do modelu s hodnotou "nula" ako najmenšie možné riziko, čím by nemali veľmi ovplyvňovať výslednú predikčnú mapu.

Na Obr. 4.2 je mapa rizika zosuvov pôdy po testovaní metód zhlukovej analýzy a úprave intervalov pre dĺžky svahov a nadmorské výšky. Pre porovnanie je opäť uvedená v prekrytí s vrstvou reálnych zosuvov z Atlasu stability svahov. Možno vidieť, že niektoré miesta na rozdiel od Obr. 3.16 boli vystihnuté lepšie (hlavne v strede záujmového územia).



Obr.4.2 - Prognózna mapa rizika zosuvov pôdy po testovaní metód zhlukovej analýzy a reálne zosuvy z Atlasu stability svahov

ZÁVER

Cieľom mojej práce bolo vytvoriť analytický nástroj pre modelovanie svahových deformácií, ktorého výstupom je mapa vyjadrujúca stupeň náchylnosti na zosúvanie vo vybranej lokalite. Postup bol aplikovaný v Košickom kraji, v obci Nižná Myšľa a okolie.

Výsledky, ktoré reprezentuje vytvorená prognózna mapa zosuvov v porovnaní s mapou reálnych svahových deformácií záujmového územia možno označiť za priateľné, i keď v niektorých častiach vybočujúce, resp. nepokrývajúce miesta, v ktorých zosuvy skutočne boli.

Na spresnenie a dourčenie predikcie boli aplikované metódy zhlukovej analýzy, ktoré ukázali súvislosti a príbužnosť vybraných dát v predikčnom modeli a dokázali, že má zmysel tieto metódy ďalej testovať. Použitá reklassifikačná tabuľka (Príloha 1-VI) označuje dĺžky svahov nad 1500 m ako málo náchylné. Zhluková analýza však ukázala, že tento typ dĺžok svahov má v existujúcom zosuvnom území nemalý podiel (viď. Tab. 4.2). Presnejšie výčislenie intervalov v Tab. 4.2 a 4.1 ako aj riešenie pre ostatné faktory, prípadne použitie zhlukovej analýzy na zhlukovanie všetkých bodov z konvertovaných rastrov nereklassifikovaných máp (nie len v mestach, kde zosuvy boli) môže byť predmetom ďalšieho skúmania.

Počas riešenia sa neraz prejavilo, že komplexné vyhodnotenie rizika zosuvov je v mnohom limitujúce, nejednoznačné a problematické, i keď nie nemožné. Je nutné dôkladne spracovať všetky potrebné údaje a riešenie viackrát opakovať, prípadne meniť. Preto je výzvou do budúcnosti vznik zosuvov pôdy ďalej analyzovať, uvážiť vplyv ďalších faktorov ako je faktor vetra či činitel' dažďa (napríklad v podobe priemerných ročných úhrnov zrážok) a mnohých iných, ktorým by bolo účelné venovať pozornosť, ale ich riešenie prekračuje odporúčaný rozsah práce. Produktom by mohol byť užitočný analytický nástroj, ktorý využíva GIS pri modelovaní predikcie zosuvov pôdy v skúmanom území.

LITERATÚRA A INÉ POUŽITÉ ZDROJE

ArcGIS Help 10.1. ESRI, USA 2011 [online]. Dostupné na internete: <<http://resources.arcgis.com/en/help>>

BEDNÁRIK, M. (2010). *Hodnotenie zosuvného rizika pre potreby územnoplánovacej dokumentácie*. Dizertačná práca. Prírodovedecká fakulta UK Bratislava, 2010. 130 s.

ČEJKA, P. (2008). *Hydrologické analýzy v ArcGIS a GRASS. Algoritmy prostorových analýz*. [online]. Dostupné na internete: <http://gis.zcu.cz/studium/apa/referaty/2008/Cejka_HydrologickeAn>

EVERITT BRIAN S., et al. (2001). *Cluster analysis, 4th Edition*. London: Edward Arnold Publishers Ltd. 2001. [online]. Dostupné na internete: <<http://www.analytictech.com/ba762/modules/clustering.htm>>

HANZEL, V. (1998) *Geologický slovník*. Hydrogeológia. Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky. Vydavateľstvo Dionýza Štúra, Bratislava 1998

HILLER, A. (2011). *Manual for working with ArcGIS 10*. University of Pennsylvania. [online]. Dostupné na internete: <http://works.bepress.com/cgi/viewcontent.cgi?article=1023ext=amy_hillier>

JÁNOVÁ, V. – HÁZYOVÁ, K. (2011). *Nižná Myšľa – katastrofálny zosuv*. In Enviromagazín. ISSN 1335-1877, 2011, roč. 16, č. 1, s. 21

JÁNOVÁ, V. – LIŠČÁK, P. (2011). *Slovensko 2010: Rok havarijných zosuvov*. In Enviromagazín. ISSN 1335-1877, 2011, roč. 16, č. 1, s. 20

JEDLIČKA, K. – MENTLÍK, P., 2002. *Hydrologická analýza a výpočet základních morfometrických charakteristik povodí s využitím GIS*. Sborník GEOINFORMATIKA z XX. Sjezdu ČGS, Ústí nad Labem, ISBN 80 – 7044 – 410 – X. s. 46 – 58 [online] .Dostupné na internete: <http://www.kge.zcu.cz/veda/misc/mentlik/hydr_analys.pdf>

MACUROVÁ, A. (2009). *Mapová algebra v GIS*. Diplomová práca. Fakulta stavební České vysoké učení technické v Praze. 2009 [online]: Dostupné na internete : <<http://gama.fsv.cvut.cz/~cepek/proj/dp.pdf>>

MIKLÓS, L. – ŠPINEROVÁ, A. (2010). *Priestorová diverzita krajiny*. Harmanec : VKÚ, a. s., 2010, 68s. ; [online]. Dostupné na internete: <<http://www.ipoly.eu/pdf/Priestorova.pdf>>

MINÁR J. 1998: Georeliéf a geologické mapovanie vo veľkých mierkach. – habilitačná práca, Prírodovedecká fakulta UK, Bratislava, 1998. 165 s.

MITASIOVA, H. et al. (1998). *Multidimensional Soil Erosion/deposition Modeling and visualization using*

GIS. Final report for USA CERL. University of Illinois, Urbana-Champaign, IL., 1998; [online]. Dostupné na internete: <<http://skagit.meas.ncsu.edu/~helena/gmsslab/reports.html>>

NĚMČOK, A. (1982). *Zosuvy v Slovenských Karpatoch*. VEDA vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied. Bratislava, 1982. 320 s.

NOVÁČEK, T. (2008). *Pohrebisko otomansko-füzesabonyškej kultúry na lokalite Nižná Myšľa - nekeramické pamiatky staršieho horizontu*. Bakalárská práca. Filozofická fakulta. Masarykova univerzita. 2008 [online]. Dostupné na internete : <http://is.muni.cz/th/181063/ff_b>

PAUDITŠ, P. (2005) : *Hodnotenie náchylnosti územia na zosúvanie s využitím štatistických metód v prostredí GIS*. Dizertačná práca. Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra inžinierskej geológie, 2005, 153 s.

ROMESBURG, C. (2004) : *Cluster analysis for researchers*. [online]. Dostupné na internete: <<http://www.google.cz/books?hl=sk&lr=&id=ZuIPv7OKm10C>>

SITÁNYIOVÁ, D. (2006). *Príprava vstupných dát pre využitie geografického informačného systému a numerického modelu prúdenia podzemnej vody v zosuvnom území*. In Podzemná voda. ISSN 1135-1052, 2006, roč. 7, č.1, s. 11-18

ŠIMEKOVÁ, J. et al. (2006). *Atlas máp stability svahov SR M 1:50 000*. Bratislava (Slovenská republika): Štátny geologický ústav Dionýza Štúra

TARBOTON, D. G. et al. , 2003. *Watershed Delineation from Digital Elevation Models*. GIS in Water Resources. Exercise 4. Utah State University - University of Texas at Austin.[online]. Dostupné na internete: <<http://gis.joewheaton.org/assignments/labs>>

TOMETZ, L. et al.(2010). *Nižná Myšľa – havarijný zosuv, inžinierskogeologický prieskum*. Manuskrift GEOTON s.r.o. , Košice, 2010, 59 s. .[online]. Dostupné na internete: <http://www.caag.cz/egrse/2011-3/0_blistan-tometz_ova.pdf>

ZÁRUBA, Q. – MENCL, V.(1989). *Sesuvy a zabezpečování svahu*. Academia Praha.340 s.

iné:

Projekty SAV, 2013 <<http://www.sav.sk/?lang=sk&doc=activity-proj>>

Fotogaléria: Po záplavách spúšť a zosuvy, 2010 <<http://www.aktuality.sk/clanok/165208/foto-po-zaplavach-spust-a-zosuvy-pody/> 6. 6. 2010, 13>28>

PRÍLOHY

Príloha 1

Reklasifikačné tabuľky ako podklad pre tvorbu reklasifikovaných parametrických máp (Bednárik, 2010) 1/3

I Litologické celky (trydy pôvodnej a reklasifikované)			
Kód triedy	Legenda k pôvodnej geologickej mape GM 50 (GÚDŠ, 2013)	Trieda po reklasifikácii	Hodnota v bunke reklasif. mapy
q2	fluviálne sedimenty: resedimentované nivné piesčité štrky prikorytovej zóny	holocénne fluviálne sedimenty	7
q7	fluviálne sedimenty: litofaciálne nečlenené nivné hliny, alebo piesčité až štrkovité hliny dolinných nív a nív horských potokov		
q51	proluviálne sedimenty: hlinité až piesčito-hlinité štrky s úlomkami hornín v stredných náplavových kužeľoch	holocénne	
q8	proluviálne sedimenty: prevažne hliny a piesčité hliny s úlomkami hornín a zahlinenými štrkmi v nivných náplavových kužeľoch	proluviálne sedimenty	0
q43	fluviálne sedimenty: piesč. štrky a štrky vyšších stredných terás		
q67a	fluviálne sedimenty: štrky a reziduálne štrky nerozložených akumulácií 3. a 2. vysokej terasy s pokryvom spraší a deluv. splachov	pleistocénne terasy	1
q18	deluv.-fluv.-soliflukčné sedimenty: hliny, piesčité hliny, štrk., kamenitné hliny, balvany až bloky vo svah. prúdoch a osopoch		
q19	deluv.-polyg. sedimenty: hlinito-ťlovité a piesčité svahové hliny		
q20	deluviálne sedimenty: prevažne hlinito-kamenité (podradne piesčito-kamenité) svahoviny a sutiny	deluviálne sedimenty	12
q22	deluviálne sedimenty: piesčito-kamenité a balv. blokoviská (sutin. kužele, prúdy, skalné zrútenia, kam.moria, osypy)		
q90	zosuvy		
q31	eolicko-deluviálne sedimenty: nevápnité sprašové hliny a sprašiam podobné zeminy	eolické sedimenty - jemnozrnné naviate piesky	0
q33	eolické sedimenty: spraše a jemnopiesčité spraše, vápnité a sprašovité hliny vcelku	eolické sedimenty - spraše	8
q32	eolické sedimenty: jemnozrnné naviate piesky (nevápnité, vápnité)	eolické sedimenty - sprašové hliny	9
ng84	stretavské súvrstvie: íly, piesky, tufy	neogénne sedimenty prevažne íl.charakteru	13
ng85	stretavské súvrstvie - košický štrk: štrky, íly, piesky, tufy	neogénne sedimenty s prevahou pieskovcov a zlepencov	0
n13a223	lávové brekcie pyroxénického andezitu		
n13o28	lávové brekcie augiticko-hypersténického andezitu		
n13o29	lávové brekcie hypersténicko-augitického andezitu		
n13o34	lávové brekcie biotiticko-amfibolicko-pyroxénického andezitu		
n63c223	pyroklastické brekcie, aglomeráty a tufy pyroxénického andezitu	neovulkanické brekcie a tufy	-
n63f223	redeponované pyroklastiká (brekcie±tufy) pyroxén. andezitu		
n63h523	drobnoúlomkovité epiklastické vulkanické brekcie a pieskovce pyroxénického andezitu		
n78f370	redeponované tufy a epiklastické vulkanické pieskovce ryolitov		

Príloha 1

Reklasifikačné tabuľky ako podklad pre tvorbu reklasifikovaných parametrických máp (Bednárik, 2010) 2/3

I Litologické celky (tryedy pôvodnej a reklasifikované) - pokračovanie			
Kód triedy	Legenda k pôvodnej geologickej mape GM 50 (GÚDS, 2013)	Trieda po reklasifikácii	Hodnota v bunke reklasif. mapy
n23e63	dajky pyroxénického andezitu		
n13f29	lávové neky hypersténicko-augitického andezitu		
n13g20	protrúzie intermediálnych andezitov		
n13n23	extrúzie pyroxénického andezitu		
n13o23	lávové prúdy pyroxénického andezitu		
n13o28	lávové prúdy augiticko-hypersténického andezitu	neovulkanické dajky a	
n13o34	lávové prúdy biotiticko-amfibolicko-pyroxeńického andezitu	lávové prúdy	
n13o36	lávové prúdy biotiticko-hypersténického andezitu		
n23e63	dajky amfibolicko-pyroxeńického dacitu		
n23n63	extrúzie amfibolicko-pyroxeńického dacitu		
n23n64	extrúzie pyroxénického dacitu s amfibolom a biotitom		
II Digitálny model reliéfu			
Interval od	[m n. m.] do	Hodnota v príslušnej bunke reklasifikovanej mapy	
120	- 140	1	
140	- 160	3	
160	- 180	4	
180	- 200	6	
200	- 220	5	
220	- 341	2	
III Sklonitosť svahov			
Interval od	[°] do	Hodnota v príslušnej bunke reklasifikovanej mapy	
0	- 2	1	
2	- 3	2	
3	- 5	3	
5	- 7	4	
7	- 11	6	
11	- 17	7	
17	- 20	8	
20	- 31	9	
31	<	5	
IV Orientácia svahov			
Interval od	[°] do	Hodnota v príslušnej bunke reklasifikovanej mapy	
-1	- 0	0	
0	- 22.5	7	
22.5	- 67.5	5	
67.5	- 112.5	1	
112.5	- 157.5	1	
157.5	- 202.5	4	
202.5	- 247.5	6	
247.5	- 292.5	9	
292.5	- 337.5	8	
337.5	- 360	7	

Príloha 1

Reklasifikačné tabuľky ako podklad pre tvorbu reklassifikovaných parametrických máp (Bednárik, 2010) 3/3

V Krivosti reliéfu			
Interval [m ⁻¹]	od	do	Hodnota v príslušnej bunke reklassifikovanej mapy
<	-	0.00025	3
-0.00025	-	0.00025	1
0.00025	<		2

VI Dĺžka svahu			
Interval [m]	od	do	Hodnota v príslušnej bunke reklassifikovanej mapy
0	-	100	5
100	-	500	6
500	-	1000	4
1000	-	1500	3
1500	-	2000	0
2000	<		0

VII Mikropovodia			
Interval [m ²]	od	do	Hodnota v príslušnej bunke reklassifikovanej mapy
0	-	100	3
100	-	500	5
500	-	1000	6
1000	-	1500	4
1500	-	2000	2
2000	<		0

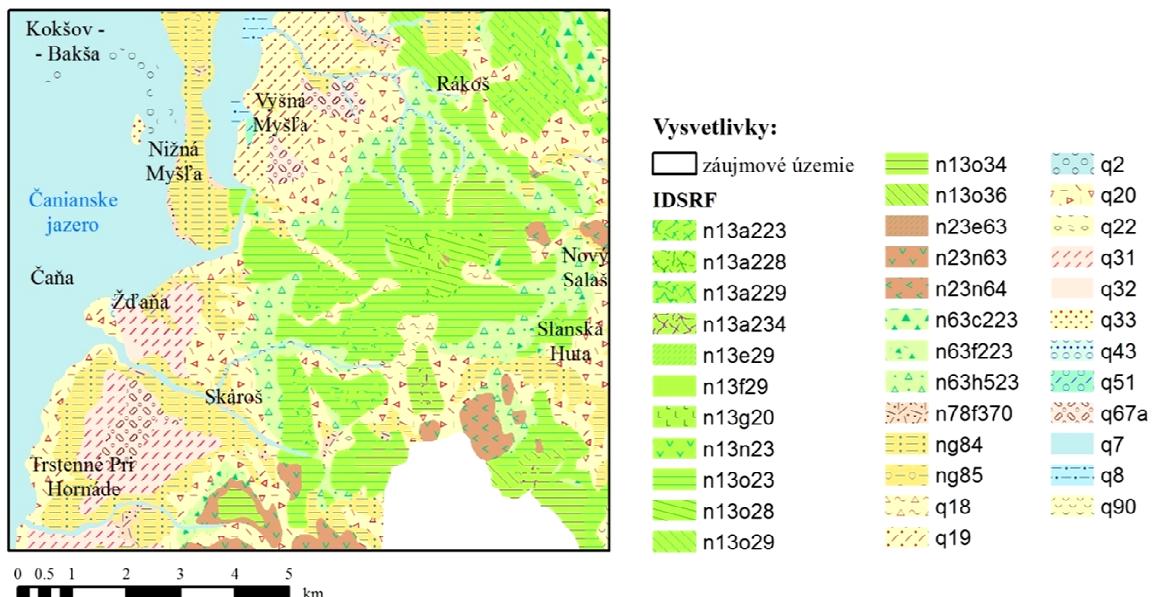
VIII Aktuálne využitie krajiny (triedy pôvodné a reklassifikované)			
Kód triedy	Legenda k pôvodnej vektorovej vrstve databázy CLC 2006 (SAŽP, 2013)	Trieda po reklassifikácii	Hodnota v bunke reklassif. mapy
112	Discontinuous urban fabric (Mestská zástavba)	osídlenie	5
121	Industrial or commercial units (Priemyselné, obchodné a dopravné jednotky)	cestná sieť	3
211	Non-irrigated arable land (Nezavlažovaná orná pôda)		
221	Vineyards (Vinice)	orná pôda	4
242	Complex cultivation patterns (Trvalé kultúry)		
311	Broad-leaved forest (Listnaté lesy)		
313	Mixed forest (Zmiešané lesy)		
243	Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation (Krajina primárne určená pre PH s výraznými oblasťami prirodzenej vegetácie)	lesy	6
231	Pastures (Pasienky)		
324	Transitional woodland-shrub (Kosodrevina a bylinná vegetácia)		
511	Water courses (Vodné toky)	riečna sieť	
512	Water bodies (Vodné útvary)	železničná sieť	0

Príloha 2

Poskytnuté dátá 1/1

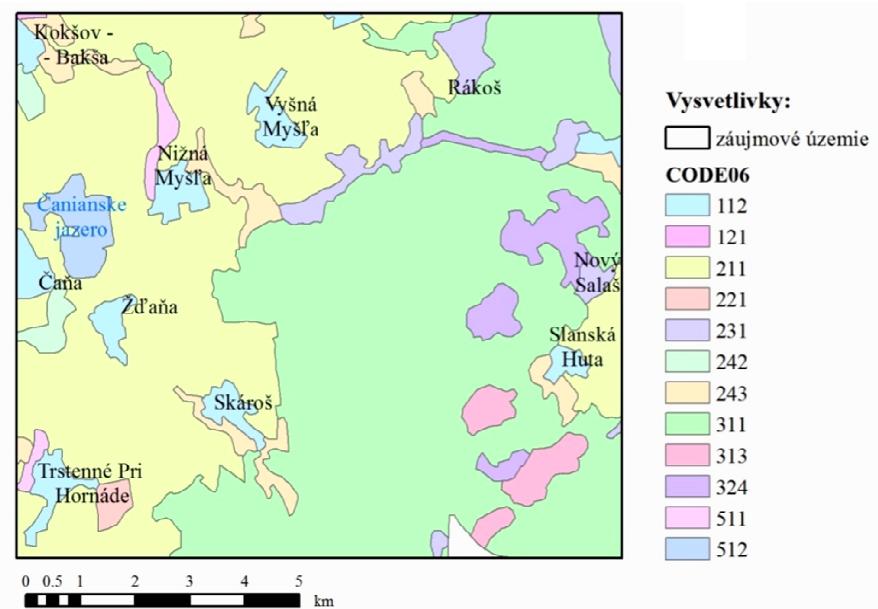
I - Údaje z geologickej mapy GM50 pre záujmové územie (GÚDŠ Bratislava, 2013)

Pôvodná geologická mapa (Nižná Myšľa a okolie)



II - Údaje z databázy CORINE LAND COVER za časový horizont 2006 pre záujmové územie (SAŽP, Banská Bystrica, 2013)

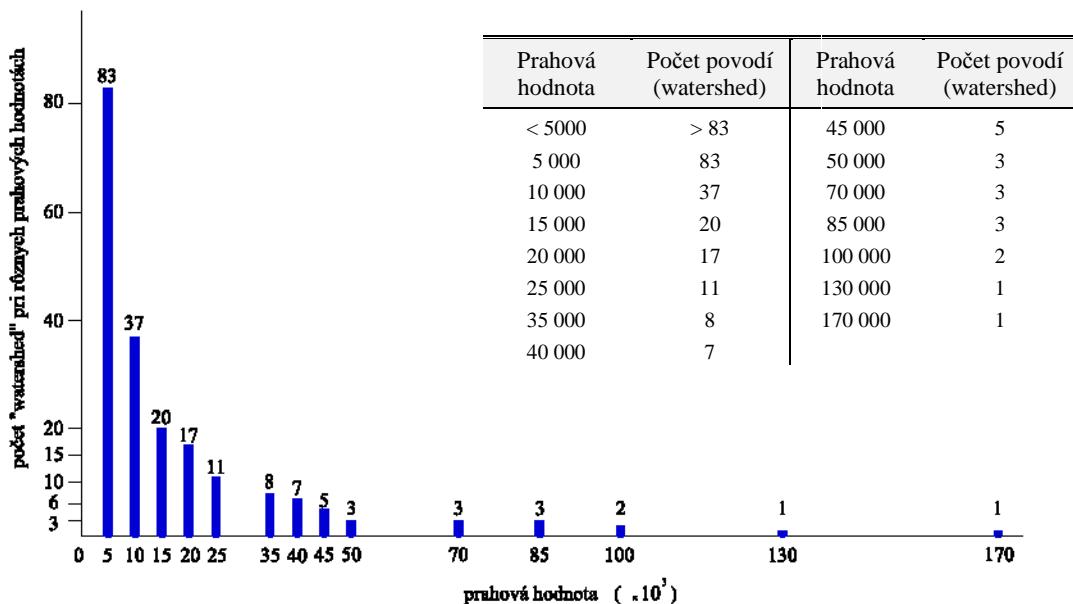
Pôvodná mapa krajinnej pokrývky CLC06 SJTSK (Nižná Myšľa a okolie)



Príloha 3

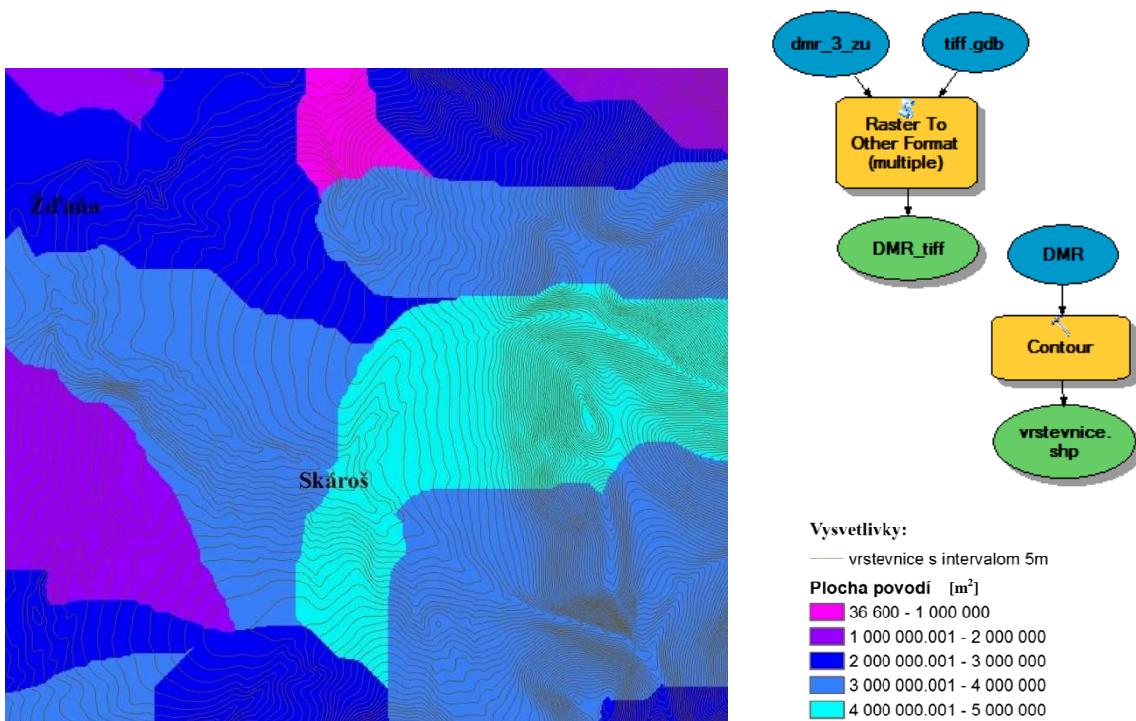
Východiská pri určení prahovej hodnoty rastra akumulácie vody 1/1

I - Znázornenie závislosti počtu povodí od prahovej hodnoty v rastri akumulácie vody – určenie optimálnej prahovej hodnoty



II - Kolmost' vrstevníc na rozvodnicu - hranicu povodí

(výrez modelového územia M 1 : 50 000)

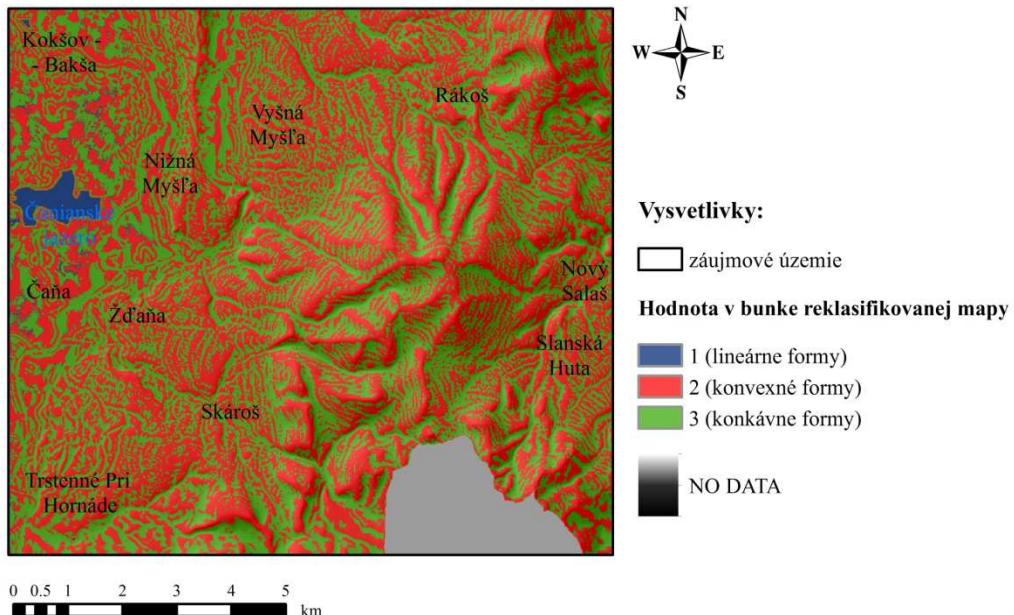


Príloha 4

Vybrané parametrické mapy 1/2

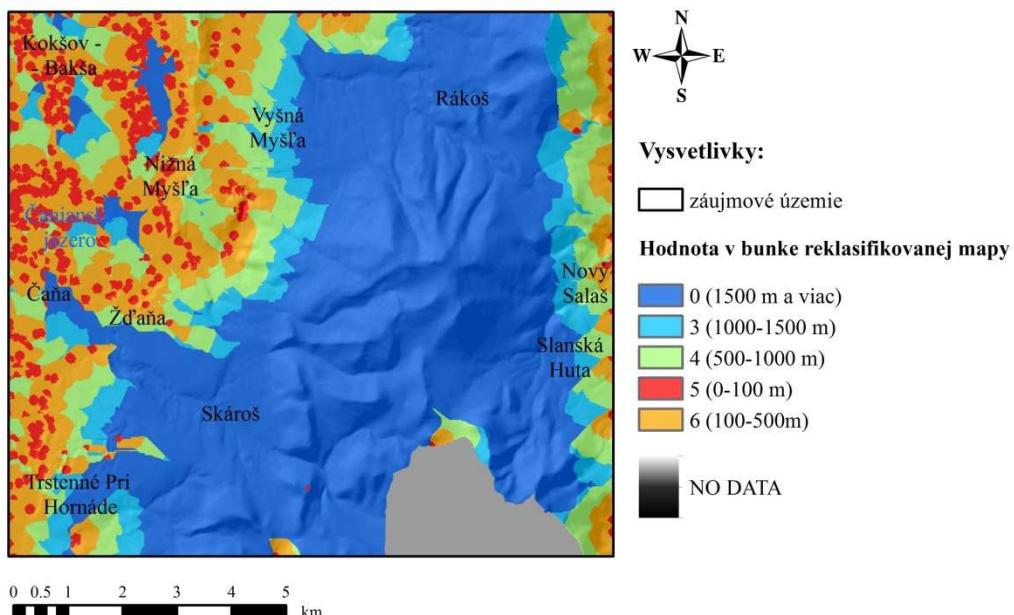
I – Reklasifikovaná parametrická mapa krivostí reliéfu

Krivosti reliéfu Nižná Myšľa a okolie



II – Reklasifikovaná parametrická mapa dĺžok svahov

Dĺžky svahov Nižná Myšľa a okolie

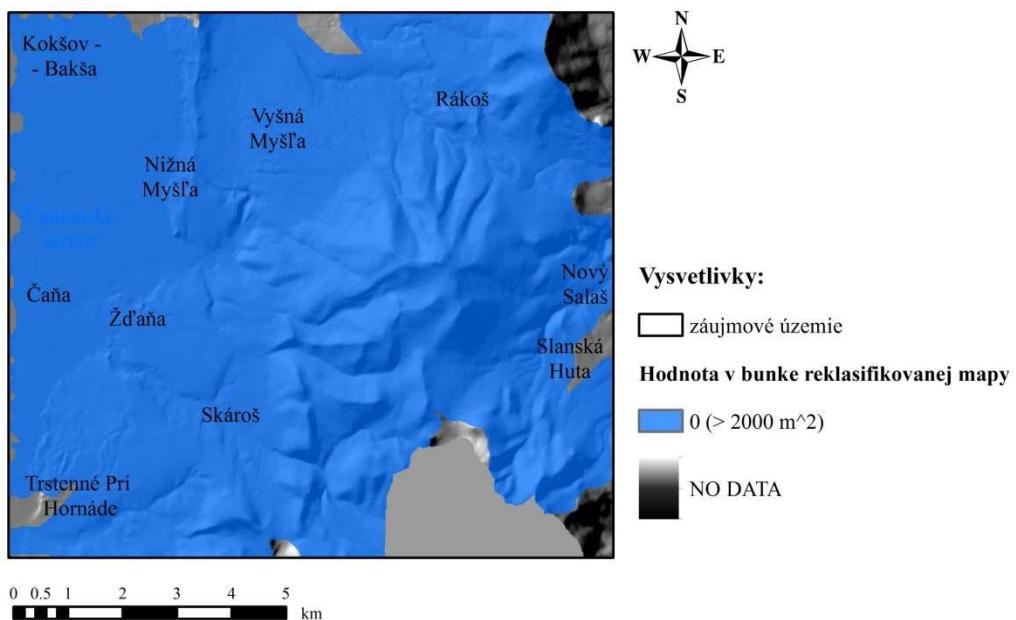


Príloha 4

Vybrané parametrické mapy 2/2

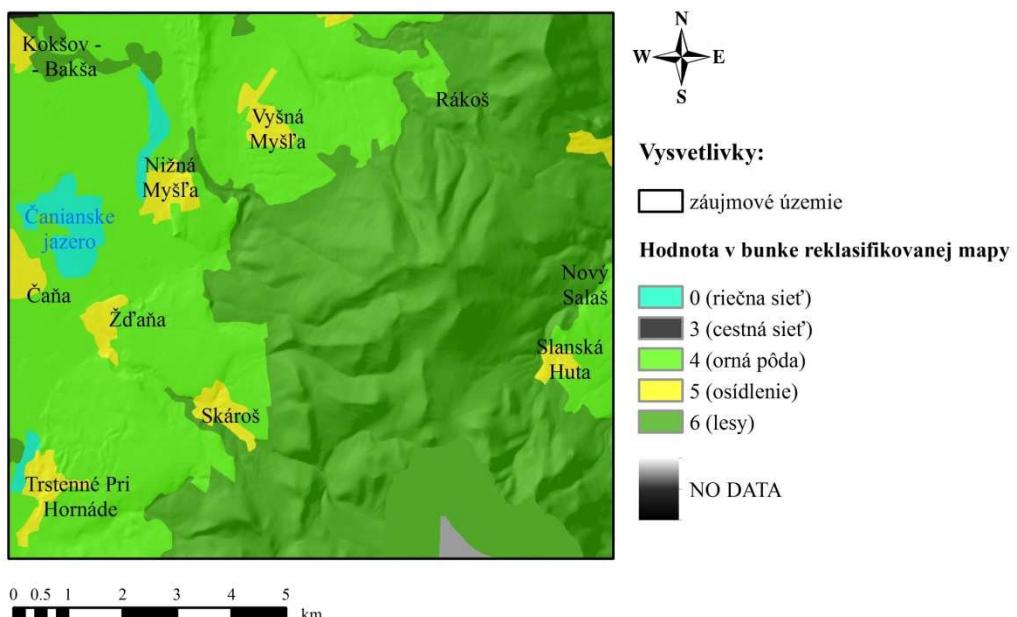
III – Reklasifikovaná parametrická mapa prispievajúcich plôch (mikropovodia)

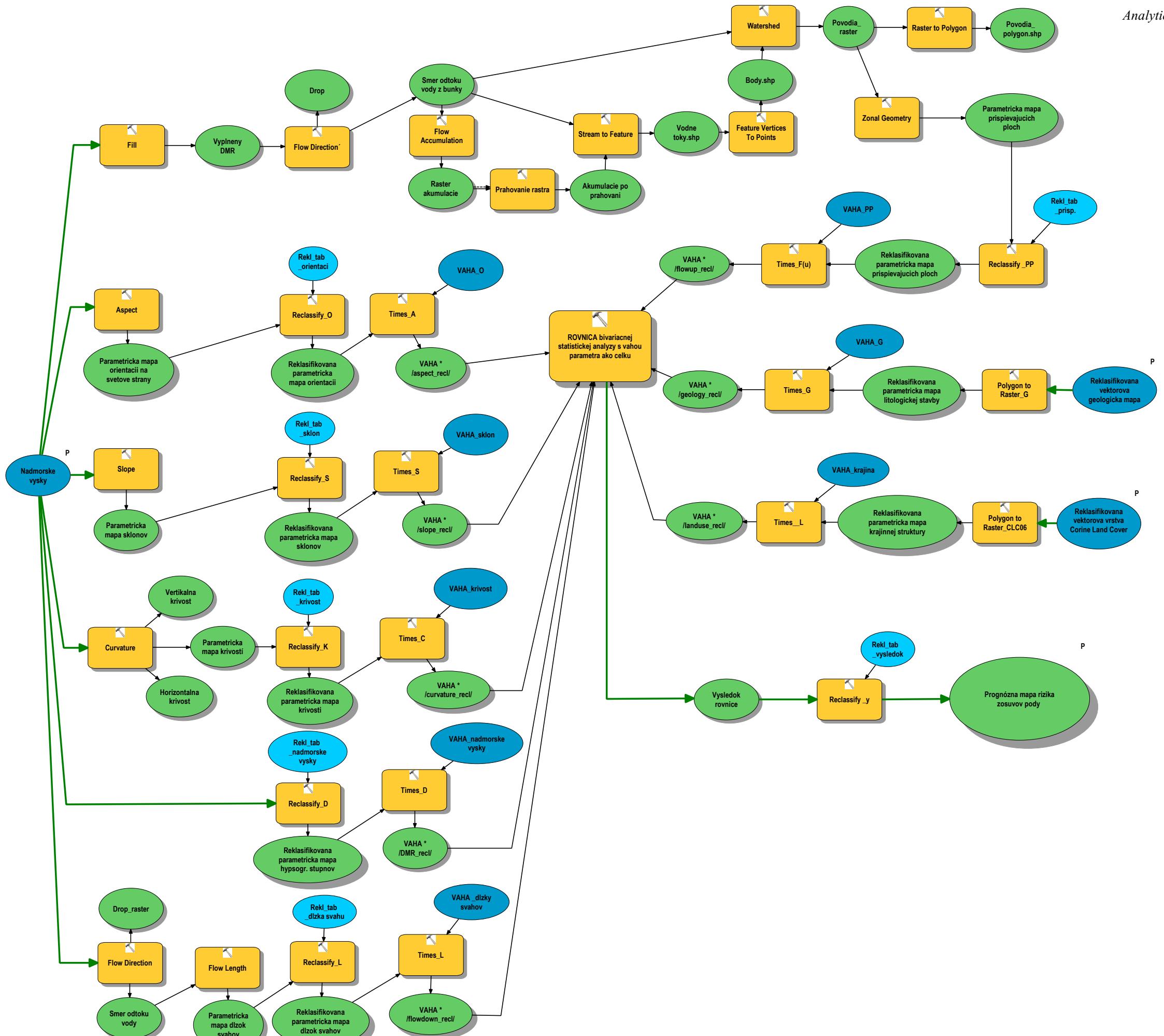
Prispievajúce plochy Nižná Myšľa a okolie



IV – Reklasifikovaná parametrická mapa súčasnej krajinnej štruktúry

Súčasná krajinná štruktúra Nižná Myšľa a okolie





ABSTRAKT

Bakálarská práca pojednáva o možnosti využitia geografických informačných systémov (GIS) pri hodnotení zosuvného rizika.



Opisuje vytvorenie univerzálneho analytického nástroja na modelovanie svalových deformácií. V záujme spresnenia výsledkov predikcie zosuvov pôdy práca aplikuje metódu zhlukovej analýzy. Modelovanie je výsledkom analýz a syntéz vybraných faktorov ovplyvňujúcich svalové deformácie. Postup je odskúšaný na obci Nižná Myšľa a v jej okolí a vychádza z empirického vzťahu bivariačnej štatistickej analýzy s využitím vŕhových parametrov.

CIEĽ A PREDMET PRÁCE

Cieľom predkladanej práce je modelovať svalové deformácie so zameraním na zosuvy a poukázať na možnosti využitia nástrojov GIS. Úmyslom je, aby vytorený analytický nástroj bol použiteľný pre dátu rôznych oblastí, aby riešenie bolo v súlade s modernými požiadavkami grafického spracovania a čo najviac sa blížilo reálnym skutočnostiam.

Etapy riešenia

- prieskum, štúdium problematiky
- voľba metód na určenie potenciálne nebezpečných oblastí (z existujúcich metód hodnotenia zosuvného hazardu, zvolená metoda patrí medzi kvantitatívne, konkrétnie štatistiké)
- výber vhodného modelového územia s vyskytujúcimi sa zosuvmi
- príprava potrebných dát
- tvorba univerzálneho analytického nástroja na predikciu zosuvov
- aplikácia metód zhlukovej analýzy
- vizualizácia dosiahnutých výsledkov

TEORETICKÉ VÝCHODISKÁ PRE MODELOVANIE ZOSUVOV

Spúšťacie faktory zosuvov a ich modelovanie

Táto téma vyžaduje prepojenie poznatkov viacerých vedúcich disciplín, predovšetkým inžinierskej geologie, matematickej štatistiky, geoinformatiky, geomorfológie a kartografie.

Zvolenou predlohou na vytvorenie predikčného modelu v tejto práci bol vzorec (1). V rámci jedného parametra (činiteľa, ktorý ovplyvňuje svalové deformácie) vystupujú triedy. Ide o využitie koeficientov tried, ktoré sú produktom bivariačnej štatistickej analýzy s vŕhom parametra ako celku. Koeficienty sú potrebné na reklassifikáciu parametrických máp v digitálnej rastrovej forme.

Finálna mapa náhľadnosti územia na zosúvanie vznikne jednoduchým súčtom súčinov reklassifikovaných parametrických máp a hodnôt vŕhov každého z parametrov (Bednárik, 2010). Rovnica vyzera nasledovne:

$$y = /slope_recl/ * 0,02671 + /aspect_recl/ * 0,004661 + /landuse_recl/ * 0,008469 + /geol_recl/ * 0,015102 + /curvat_recl/ * 0,004513 + /flowdown_recl/ * 0,005283 + /flowup_recl/ * 0,002591 + /dem_recl/ * 0,001578 \quad (1)$$

pričom „y“ predstavuje hodnotu zosuvného hazardu vo výslednej mape

Reklassifikovaná parametrická mapa:

- ```
| slope_recl |
| aspect_recl |
| landuse_recl |
| geol_recl |
| curvat_recl |
| flowdown_recl |
| flowup_recl |
| dem_recl |
```
- sklonu svahu
  - orientácie svahu voči svetovým stranám
  - súčasnej krajinejštej struktúry
  - litologickej stavby
  - krivosti reliéfu
  - dĺžky svahov
  - prispievajúcich plôch
  - hypsografických stupňov

**Hodnota v príslušnej bunke rastra:**

## MODELOVANIE SVAHOVÝCH DEFORMÁCIÍ V PROSTREDÍ GIS

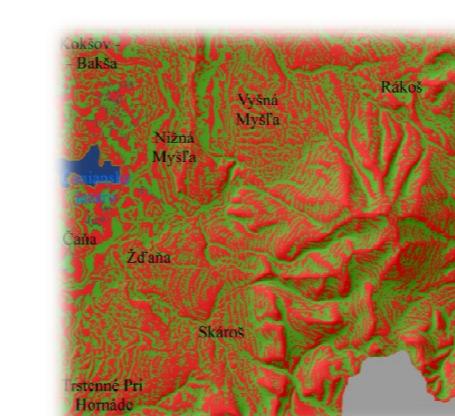
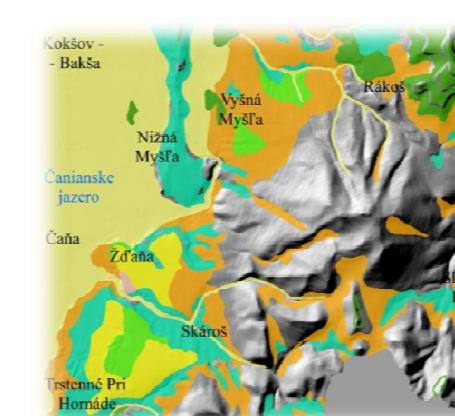
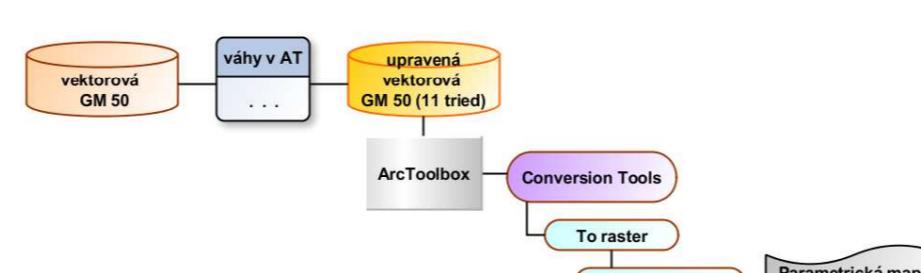


## Tvorba analytického nástroja na detekciu potenciálne nebezpečných oblastí

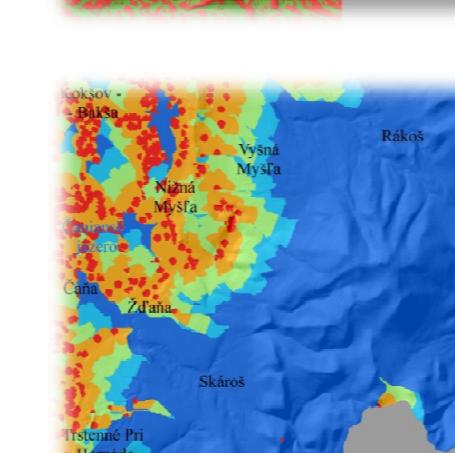
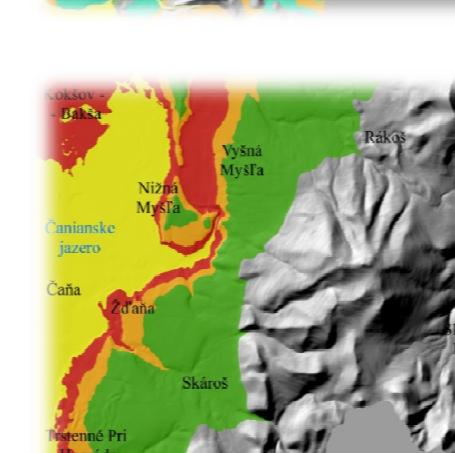
Pri tvorbe analytického nástroja na detekciu potenciálne nebezpečných oblastí v obci Nižná Myšľa boli využité reklassifikáčne tabuľky (Bednárik, 2010) s numerickými hodnotami reprezentujúcimi štatisticky určenú pravdepodobnosť na zosúvanie. Hodnoty priadené triedam v každej z ôsmich parametrických máp stvárajú hlavné zložky vzťahu (1). Najvyššia číselná hodnota je priadená triede najviac náhľadnej na zosúvanie, a opačne trieda s najnižšou numerickou hodnotou je najmenej náhľadná na zosúvanie.

## Reklassifikované parametrické mapy:

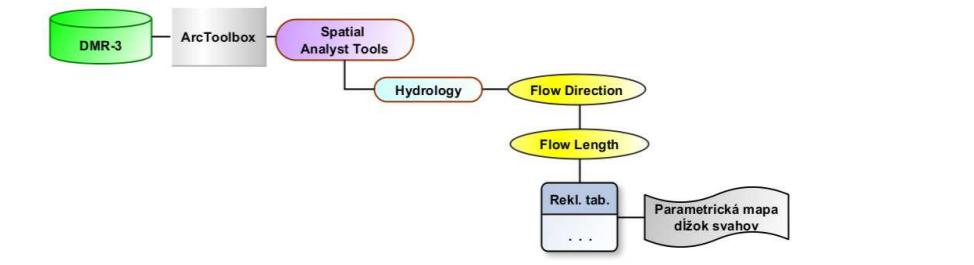
## Interpretácia litologického zloženia



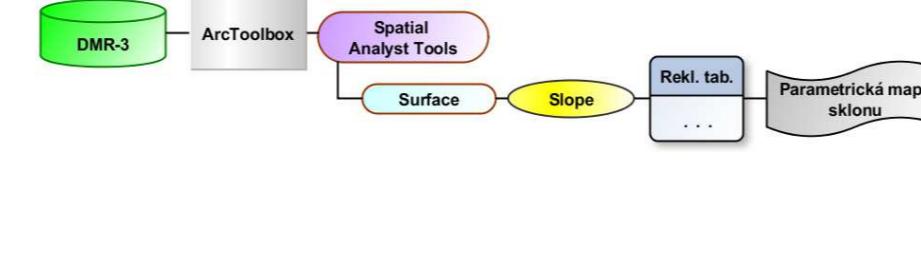
## Interpretácia krivostí reliéfu



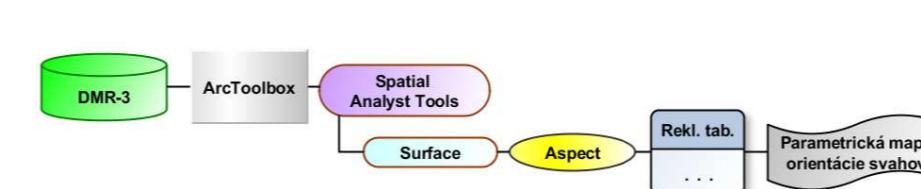
## Interpretácia dĺžky svahov



## Interpretácia sklonosti svahov



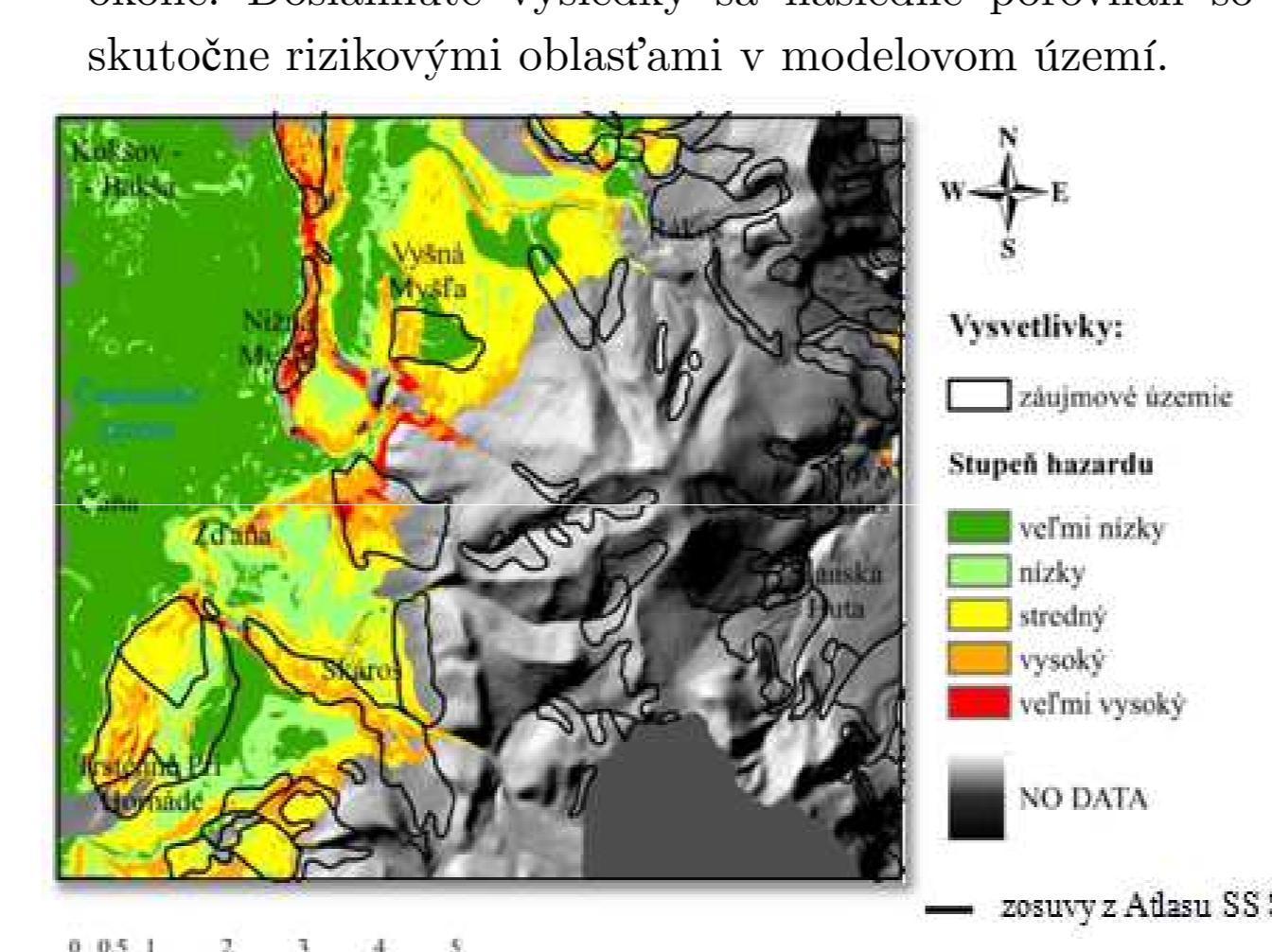
## Interpretácia orientácie svahov na svetové strany



## Interpretácia prognózna mapa zosuvného rizika

Po spustení vytoreného analytického nástroja, zadáním troch vstupných parametrov bola výstupom

prognózna mapa zosuvného hazardu Nižná Myšľa a okolie. Dosiahnuté výsledky sa následne porovnali so skutočne rizikovými oblasťami v modelovom území.

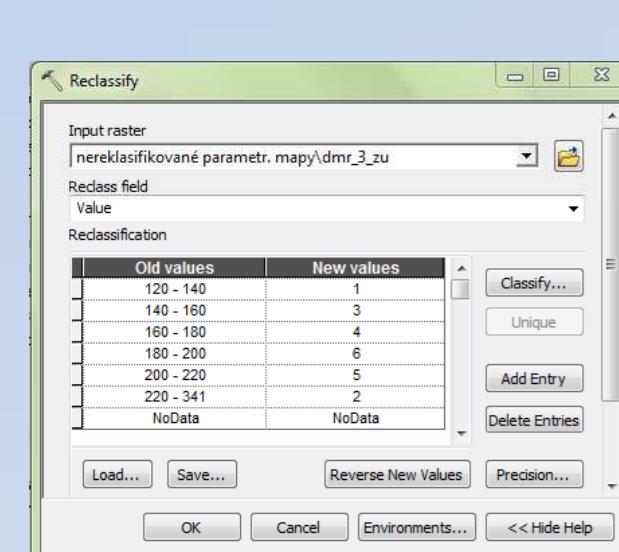


## VYUŽITIE METÓD ZHLUKOVEJ ANALÝZY

Princíp bol v tom, najst' skupiny zosuvov s podobnými vlastnosťami podľa sklonu, expozície, geológie a ostatných parametrov, ktoré boli použité v predikčnom modeli a pomocou týchto skupín zatriediť konkrétny druh dát z hľadiska náhľadnosti na zosuvy, vytvoriť nové intervale, upraviť reklassifikáčne tabuľky a následne ich použiť na novú mapu zosuvného hazardu. V práci je načrtnuté riešenie pre nadmorské výšky, dĺžky svahov a pre geológiu.

## ZÁVER

Výsledky, ktoré reprezentujú vytorená prognózna mapa zosuvov v porovnaní s mapou reálnych svalových deformácií záujmového územia možno označiť za prijateľné, i keď v niektorých častiach vybočujúce, resp. nepokryvajúce miesta, v ktorých zosuvy skutočne boli. Na spresnenie a dourčenie predikcie boli aplikované metódy zhlukovej analýzy, ktoré ukázali súvislosti a príbuznosť vybraných dát v predikčnom modeli a dokázali, že má zmysel tieto metódy ďalej testovať.



Autor práce: Ľudmila Furtkevičová

Vedúci práce: Ing. Eva Stopková

Akademický rok: 2012/2013

Študijný program: geodézia a kartografia

BAKALÁRSKA PRÁCA

Modelovanie svalových deformácií v prostredí GIS