

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
STAVEBNÁ FAKULTA

Evidenčné číslo: SvF – 5330 – 7208

TVORBA SOFTVÉROVÉHO NÁSTROJA NA MODELOVANIE
NÁCHYLNOSTI ÚZEMIA NA ZOSÚVANIE V PROSTREDÍ
OPEN SOURCE GIS

DIPLOMOVÁ PRÁCA

Bratislava 2015

Bc. Ludmila Furtkevičová

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
STAVEBNÁ FAKULTA
KATEDRA GEODETICKÝCH ZÁKLADOV

Evidenčné číslo: SvF – 5330 – 7208

TVORBA SOFTVÉROVÉHO NÁSTROJA NA MODELOVANIE
NÁCHYLNOSTI ÚZEMIA NA ZOSÚVANIE V PROSTREDÍ
OPEN SOURCE GIS

DIPLOMOVÁ PRÁCA

Študijný program:	geodézia a kartografia
Číslo študijného odboru:	3636
Názov študijného odboru:	5.1.3. geodézia a kartografia
Školiace pracovisko:	Katedra geodetických základov
Stupeň kvalifikácie:	inžinier (Ing.)
Dátum odovzdania práce:	2015 – 05 – 20
Vedúca diplomovej práce:	Ing. Renata Ďuračiová, PhD.
Konzultant diplomovej práce:	doc. RNDr. Martin Bednárik, PhD.



ZADANIE DIPLOMOVEJ PRÁCE

Študentka: **Bc. Ľudmila Furtkevičová**

ID študenta: 7208

Študijný program: geodézia a kartografia

Študijný odbor: 5.1.3. geodézia a kartografia

Vedúca práce: Ing. Renata Ďuračiová, PhD.

Konzultant: doc. RNDr. Martin Bednárik, PhD.

Miesto vypracovania: Bratislava

Názov práce: **Tvorba softvérového nástroja na modelovanie náhylnosti územia na zosúvanie v prostredí open source GIS**

Špecifikácia zadania:

Predikčné modelovanie náhylnosti územia na zosúvanie. Metódy tvorby predikčných modelov. Bivariačná analýza. Testovanie postupu predikcie. Automatizácia procesov - tvorba nástroja na modelovanie náhylnosti územia na zosúvanie v prostredí open source GIS.

Rozsah práce: 30 – 50 strán

Zoznam odbornej literatúry:

1. Bednárik, M. *Hodnotenie zosuvného rizika pre potreby územnoplánovacej dokumentácie*. Dizertačná práca. PriF UK, 2007.
2. Bednárik, M. *Štatistické metódy pri hodnotení zosuvného hazardu a rizika*. Habilitačná práca. PriF UK, 2011.
3. Bednárik, M. – Frankovská, J. – Grunner, K. – Holzer, R. – Hrašna, M. – Hulla, J. – Jánová, V. – Kováčik, M. – Kováčiková, M. – Liščák, P. – Matys, M. – Modlitba, I. – Ondrášik, M. – Pauditš, P. – Petro, L. – Slivovský, M. – Vlčko, J. – Ondrášik, R. – Wagner, P. *Inžinierskogeologický a geotechnický terminologický slovník*. Bratislava: Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava, 2008. 465 s. ISBN 978-80-88974-99-4.
4. Hlásny, T. *Geografické informačné systémy – Priestorové analýzy*. Banská Bystrica: Agentúra ZEPHYROS & Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 2007. 160 s. ISBN 978-80-8093-029-5.
5. Mitášová, H. – Neteler, M. *Open Source GIS: A GRASS Approach*. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 2002. ISBN 1-4020-7088-8.
6. Pauditš, P. *Hodnotenie náhylnosti územia na zosúvanie s využitím štatistických metód v prostredí GIS*. Dizertačná práca. PriF UK, 2005.
7. Xiong, H. – SHEAKER, S. *Encyklopedia of GIS*. New York: Springer, 2008. 1370 s.

Riešenie zadania práce od: 16. 02. 2015

Dátum odovzdania práce: 21. 05. 2015

L. S.

Furtkevičová

Bc. Ľudmila Furtkevičová
študentka

JR

doc. Ing. Juraj Janák, PhD.
vedúci pracoviska



AK
prof. Ing. Alojz Kopáčik, PhD.
garant študijného programu

POKYNY na vypracovanie diplomovej práce

Úvodné ustanovenie

V zmysle zákona č. 131/2002 Z. z. o vysokých školách a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov je súčasťou štúdia podľa každého študijného programu aj záverečná práca. Jej obhajoba patrí medzi štátne skúšky. Záverečnou prácou pri štúdiu podľa študijného programu druhého stupňa je diplomová práca. Podkladom na vypracovanie diplomovej práce je zadanie diplomovej práce

Štruktúra záverečnej práce

- titulný list,
- zadanie záverečnej práce,
- pokyny na vypracovanie,
- vyhlásenie autora,
- názov a abstrakt v slovenskom a v anglickom jazyku (spolu v rozsahu jednej strany),
- obsah s očíslovaním kapitol,
- zoznam príloh,
- zoznam skratiek a značiek,
- text samotnej práce (odporúčané členenie),
 - úvod,
 - súčasný stav problematiky,
 - ciele záverečnej práce,
 - vlastné riešenie členené na kapitoly podľa charakteru práce,
 - zhodnotenie dosiahnutých výsledkov resp. navrhnutých riešení,
 - záver,
- resumé v slovenskom jazyku v rozsahu spravidla 10 % rozsahu ZP (len pre práce vypracované v cudzom jazyku),
- zoznam použitej literatúry,
- prílohy (výkresy, tabuľky, mapy, náčrty) vrátane postera s rozmermi 1000x700 mm.

Rozsah a forma

1. Obsah a forma záverečnej práce musí byť spracovaná v zmysle vyhlášky MŠVVaŠ SR č. 233/2011 Z. z., ktorou sa vykonávajú niektoré ustanovenia zákona č. 131/2002 Z. z. a v zmysle Metodického usmernenia č. 56/2011 o náležitostiach záverečných prác.
2. Vyžadovaný rozsah diplomovej práce je 30 až 50 strán. Odovzdáva sa v dvoch vyhotoveniach. Jedno vyhotovenie musí byť viazané v pevnej väzbe (nie hrebeňovej) tak, aby sa jednotlivé listy nedali vyberať. Rozsiahle grafické prílohy možno v prípade súhlasu vedúceho práce odovzdať v jednom vyhotovení.

3. Autor práce je povinný vložiť prácu v elektronickej forme do akademického informačného systému. Autor zodpovedá za zhodu listinného aj elektronického vyhotovenia.
4. Po vložení záverečnej práce do informačného systému, predloží autor fakulte ním podpísaný návrh licenčnej zmluvy. Návrh licenčnej zmluvy je vytvorený akademickým informačným systémom.
5. Odporúčaný typ písma je Times New Roman, veľkosť 12 a je jednotný v celej práci. Odporúčané nastavenie strany - riadkovanie 1,5, okraj vnútorný 3,5 cm, vonkajší 2 cm, zhora a zdola 2,5 cm, orientácia na výšku, formát A4.
6. Obrázky a vzorce sa číslujú v rámci jednotlivých kapitol (napr. obr. 3.1 je obrázok č. 1 v kapitole 3). Vzorce sa číslujú na pravom okraji riadku v okrúhlych závorkách - napr. (3.1).
7. Všetky výpočty musia byť usporiadane tak, aby bolo možné preveriť ich správnosť.
8. Pri všetkých prevzatých vzorcoch, tabuľkách, citovaných častiach textu musí byť uvedený prameň.
9. Citovanie literatúry vrátane elektronickej materiálov sa uvádza podľa STN ISO 690 (01 0197): 2012. *Informácie a dokumentácia. Návod na tvorbu bibliografických odkazov na informačné pramene a ich citovanie.*
10. Príklad zoznamu bibliografických odkazov:
ABELOVIČ, J. a kol.: *Meranie v geodetických sietiach*. Bratislava, Alfa 1990, ISBN 0-1554-9173.
MICHALČÁK, O. – ADLER, E.: Výskum stability dunajských hrádzí. In: *Zborník vedeckých prác Stavebnej fakulty SVŠT*. Bratislava: Edičné stredisko SVŠT 1976, s. 17-28. ISBN 0-3552-5214.
ŠÜTTI, J.: Určovanie priestorových posunov stavebných objektov. *Geodetický kartografický obzor*. 2000, roč. 2, č. 3, s. 8-16. ISSN 0811-6900.
Article 18. Technical Cooperation. <http://www.lac.uk/iso/tc456> (2013-09-28)
11. Za jazykovú a terminologickú správnosť záverečnej práce zodpovedá diplomant.
12. Formu postera (elektronická alebo aj tlačená) určí garant študijného programu.
13. Vzor pre poster je uvedený na dokumentovom serveri v akademickom informačnom systéme univerzity.


podpis garanta študijného programu

Ustanovenia týchto pokynov som vzal na vedomie. Som si vedomý(á), že ak nebude moja diplomová práca vypracovaná v súlade s týmito pokynmi, nebude prijatá na obhajobu.

V Bratislave
18.2.2015


podpis študenta

Čestné vyhlásenie:

Svojim podpisom potvrdzujem, že predloženú diplomovú prácu na tému „Tvorba softvérového nástroja na modelovanie náchylnosti územia na zosúvanie v prostredí open source GIS“ vrátane všetkých jej príloh a obrázkov som vypracovala samostatne, s použitím podkladov a poznatkov z odborných publikácií a štúdií, ktoré dôsledne citujem.

V Bratislave, 20. mája 2015

.....
Ludmila Furtkevičová

Podakovanie:

Za odborné vedenie, inšpiratívne podnety, ochotu a venovaný čas ďakujem najmä vedúcej diplomovej práce Ing. Renate Ďuračiovej, PhD. Rada by som podakovala aj konzultantom doc. RNDr. Martinovi Bednárikovi, PhD. z Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave za poskytnuté dátá, ústretovosť a cenné rady, ktoré mi významnou mierou dopomohli k napísaniu práce. Za pomoc pri tvorbe obrázkov pomocou grafických nástrojov systému L^AT_EX, za podporu a ďalšie rady ďakujem môjmu priateľovi. Osobitné podakovanie patrí všetkým kamarátom a hlavne mojim rodičom za veľké pochopenie a finančnú pomoc počas celého štúdia.

Abstrakt / Abstract

Furtkevičová Ludmila: Tvorba softvérového nástroja na modelovanie náchylnosti územia na zosúvanie v prostredí open source GIS. Diplomová práca. Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra geodetických základov. Školiteľka: Ing. Renata Ďuráčiová, PhD. Bratislava: SvF STU, 2015, 49 s.

Cieľom práce je poukázať na možnosti využitia geografických informačných technológií pri hodnotení náchylnosti územia na zosúvanie a prognózovať miesta výskytu potenciálnej nežiaducej udalosti pomocou vlastného softvérového nástroja, ktorý spája programovací jazyk Python a open source geografický informačný systém GRASS GIS. Práca približuje teoretické výhodiská, vhodné metódy, potrebné dátá, spôsoby verifikácie výsledkov a opisuje novovytvorený program, ktorý automaticky generuje mapy náchylnosti na zosúvanie, čím môže uľahčiť prácu nielen geológom, ale všetkým priaznivcom problematiky. Nosnou metódou je bivariačná štatistická analýza s váhou parametra ako celku, ktorá v súčasnosti patrí medzi najviac používané metódy pri hodnotení zosuvného hazardu v zahraničí i u nás. Postup je aplikovaný na území severnej Oravy.

Kľúčové slová: predikčná mapa zosuvov, GRASS GIS Modeler, programovací jazyk Python

The aim of this work is to show possibilities of usage geographic information system technologies in field of evaluation landslide hazard and prediction of potentially unfavorable incident using own programmed software tool. This tool joins Python programming language and open source geographic information system GRASS GIS. Work presents the theoretical background, appropriate methods, necessary data, way of verification results and describes new modelling tool which is able to automatically produce landslide hazard maps and in this way could be helpful to geologist community and others. The main principle of tool is bivariate statistical analysis using weights of input parameters which currently belongs to the most widely used method in evaluating landslide hazard abroad and in our country. Method is applied in northern part of Slovak region Orava.

Keywords: predictive map of landslides, GRASS GIS Modeler, programming language Python

Obsah

Zoznam obrázkov	iii
Zoznam tabuliek	v
Úvod	1
1 Cieľ a teoretické východiská	3
1.1 Terminológia	3
1.2 Etapy riešenia	4
1.3 Súčasný stav hodnotenia rizika zosuvov	4
1.4 Dáta pre analýzy zosuvného rizika	6
1.5 Vhodné metódy a ich verifikácia	7
1.5.1 Bivariačná analýza s váhou parametra ako celku	7
1.5.2 Verifikácia výsledkov pri predikcii zosuvov	10
2 Predikčné modelovanie zosuvov	12
2.1 Stručná charakteristika záujmovej oblasti	12
2.2 Použitý softvér a dáta	13
2.2.1 Prehľad typov softvérov	13
2.2.2 Štruktúra geografického informačného systému GRASS GIS	15
2.2.3 Použité dáta	17
2.3 Tvorba parametrických máp	18
2.4 Prvotná reklassifikácia parametrických máp	21
2.4.1 Litologický faktor	21
2.4.2 Digitálny model reliéfu	22
2.4.3 Sklonitosť svahov	22
2.4.4 Orientácia svahov voči svetovým stranám	23
2.4.5 Krivost reliéfu	24
2.4.6 Dĺžky svahov	25
2.4.7 Prispievajúce plochy	25
2.4.8 Súčasná krajinná štruktúra	25
2.5 Druhotná reklassifikácia parametrických máp	26
2.6 Výsledok bivariačného spracovania: prognózna mapa zosuvného hazardu	27

3 Automatizácia postupu	29
3.1 Softvérkový nástroj PLGP	31
3.1.1 Základný popis	31
3.1.2 Inštalácia potrebných programov	31
3.1.3 Dáta a ich umiestnenie	32
3.1.4 Spustenie nástroja a popis funkcií	32
3.2 Zhodnotenie automatizácie	42
3.2.1 Splnené požiadavky a overenie softvérkového nástroja	42
3.2.2 Námety na zlepšenie	42
Záver	44
Literatúra	45
Prílohy	49
A Kombinácia parametrických máp s mapou zosuvov: tabuľky	50
B Tretí a štvrtý model	54
C Zoznam priečinkov a súborov na konci výpočtu	55
D Compact Disk (CD)	57
D.1 Text a prílohy diplomovej práce v elektronickej podobe	57
D.2 Vstupné dáta	57
D.3 Softvérkový nástroj PLGP	57
D.4 Dáta z výpočtu	57
D.5 Poster	57

Zoznam obrázkov

1	Príklad zosuvov na Slovensku podľa [17], [28], [18]	2
1.1	Schéma k vysvetleniu základných pojmov: (Z) existujúce zosuvy, (N) hodnotenie náhylnosti na zosuvy, (H) hodnotenie zosuvného hazardu, (R) hodnotenie zosuvného rizika	4
1.2	Koncepcia hodnotenia rizika zosuvov pôdy	5
1.3	Metódy na hodnotenie náhylnosti územia na zosuvy	6
1.4	Základné dátá pre hodnotenie rizika zosuvov: (C) nevyhnutné, (H) veľmi dôležité, (M) stredne dôležité, (L) menej dôležité, (-) nepodstatné [32]	7
1.5	Princíp bivariačnej analýzy s určením váhy parametra	8
1.6	Výpočet hodnoty bunky rastra vo finálnej mape	9
1.7	Prognózny model, registrované zosuvy a ich kombinácia	10
1.8	Príklad ROC krivky: (a) ideálny (b) náhodný a (c) všeobecný (správny) prípad	11
2.1	Záujmové územie (oblasť severnej Oravy)	12
2.2	Slobodný a proprietárny softvér – prehľad podľa [10]	13
2.3	Časová os vývoja systému GRASS GIS od roku 1982 podľa [21]	14
2.4	Diagram štruktúry databanky GRASS GIS, zdroj: GRASS GIS manuál [15]	16
2.5	Architektúra systému GRASS GIS 7.0.0, zdroj: GRASS GIS manuál [15]	17
2.6	Parametrická mapa litologickej stavby	19
2.7	Parametrická mapa hypsografických stupňov (DMR)	19
2.8	Parametrická mapa sklonu svahov	19
2.9	Parametrická mapa orientácie svahu voči svetovým stranám	19
2.10	Parametrická mapa strednej krivosti reliéfu	20
2.11	Parametrická mapa dĺžky svahov	20
2.12	Parametrická mapa prispievajúcich plôch	20
2.13	Parametrická mapa súčasnej krajinnej štruktúry	20
2.14	Prvotná reklassifikácia parametrickej mapy litologických celkov	21
2.15	Prvotná reklassifikácia parametrickej mapy hypsografických stupňov	22
2.16	Prvotná reklassifikácia parametrickej mapy sklonu svahov	23
2.17	Azimut orientácie svahu a prvotná reklassifikácia parametrickej mapy expozície svahov	23
2.18	Prvotná reklassifikácia parametrickej mapy strednej krivosti reliéfu	24
2.19	Prvotná reklassifikácia parametrickej mapy dĺžky svahov a mikropovodí	25
2.20	Prvotná reklassifikácia parametrickej mapy súčasnej krajinnej štruktúry	26
2.21	Výsledný model a jeho histogram pred reklassifikáciou	27

2.22	Modul r.quantile a záverečná reklassifikácia	27
2.23	Priadenie popisov v legende a nastavenie farieb vo výslednej prognóznej mape	28
2.24	Prognózna mapa zosuvného hazardu a existujúce zosuvy regiónu severnej Oravy (bivariácia)	28
3.1	Programovací jazyk Python, binárna distribúcia Anaconda a vývojové prostredie Spyder	30
3.2	Vývojové prostredie Spyder	30
3.3	Usporiadanie priečinkov pre správne fungovanie nástroja	32
3.4	Spustenie softvérového nástroja	32
3.5	Vytvorenie potrebných priečinkov a súborov po prvom kroku	33
3.6	Import dát a tvorba parametrických máp v rámci druhej záložky	34
3.7	Zobrazenie informácií o parametrických mapách a príprava pre prvotnú reklassifikáciu	35
3.8	Modely v rámci druhej záložky	36
3.9	Spustenie druhého modelu a vygenerované reporty o ploche a percentuálnom zastúpení	36
3.10	Zobrazenie informácií o váhach a súbory pre druhotnú reklassifikáciu	37
3.11	Zobrazenie hlavnej rovnice v tretej záložke a jej výpočet	37
3.12	Zobrazenie minimálnej a maximálnej hodnoty vo výslednej mape, použitie štvrtého modelu na vytvorenie reklassifikačných intervalov a prepísanie pripraveného textového súboru	38
3.13	Vytvorenie reklassifikačných pravidiel pre binárne rastre	39
3.14	Piaty model	39
3.15	Piata záložka softvérového nástroja a orientačné zobrazenie výslednej mapy	40
3.16	Zobrazenie informácií v rámci piatej záložky a príklad zobrazenia ROC krivky	40
3.17	Vytvorenie kópie rastrovej mapy do aktuálneho mapsetu	40
3.18	Histogram výsledného modelu „y“ vytvoreného pomocou softvérového nástroja PLGP	41
3.19	Upozornenie pri nevyplnení alebo zlom vyplnení povinných položiek, tlačidlá INFO a QUIT	41
3.20	Porovnanie hodnôt váh – nástroj PLGP vs. manuálny výpočet	42
3.21	Ukážka kódu softvérového nástroja PLGP	43
B.1	Tretí model	54
B.2	Štvrtý model	54

Zoznam tabuliek

1.1	Kontingenčná (vzťahová) tabuľka pri hodnotení úspešnosti modelu	11
2.1	Prehľad skupín modulov systému GRASS	16
A.1	Plošná distribúcia prvotne reklassifikovaných parametrických máp (prvá časť)	50
A.2	Plošná distribúcia prvotne reklassifikovaných parametrických máp (druhá časť)	51
A.3	Určenie váhy a druhotná reklassifikácia parametrických máp (prvá časť)	52
A.4	Určenie váhy a druhotná reklassifikácia parametrických máp (druhá časť)	53

Úvod

V celých dejinách ľudstva sa svet nerozvíjal tak rýchlo, ako to je v súčasnosti. Asi najlepším príkladom je oblasť informačných technológií. Rozmanité technologické nástroje výrazne urýchľujú mnohé úkony, ktoré v minulosti prácne vykonával človek. Z toho dôvodu asi nikoho neprekvapuje čoraz rýchlejšie prenikanie informačných technológií do všetkých oblastí vedy.

Prvé geografické informačné systémy (GIS) boli vyvinuté pred päťdesiatimi rokmi a pojmom GIS prvýkrát zaviedol Kanadán Roger F. Tomlinson („father of GIS“) pre technológie, ktoré pracujú s údajmi a podávajú informácie o teréne pomocou výpočtovej techniky [14]. V súčasnej dobe silných mikropočítačov je snaha o ich rozvoj hlavne pre potreby ľudí. Dôraz sa kladie aj na zatial málo človekom ovládané udalosti, akými sú hlavne živelné katastrofy.

Medzi najčastejšie sa vyskytujúce geohazardy v našich podmienkach patria zosuvy, povodne a intenzívna erózia. Na základe predpokladu, že jav sa bude v budúcnosti vyskytovať za rovnakých podmienok v akých sa vyskytuje v súčasnosti a za akých sa vyskytoval v minulosti, existujú metódy ako tieto javy predikovať (prognózovať) [23]. Zosuvy sú jedným z najlepšie mapovaných prírodných rizík. Ich geologickým výskumom sa zaoberala mnoho odborníkov a výskumných tímov. V minulosti boli ich výsledkom kartotéky a registre prevažne v analógovej forme, dnes sa vedia digitálna evidencia existujúcich zosuvov, ktorú spravuje Štátny geologický ústav Dionýza Štúra (ŠGÚDŠ). Doteraz k najväčšiemu zosuvu na Slovensku došlo pred 54 rokmi pri meste Handlová, hýbalo sa vtedy 14 miliónov kubických metrov zeme. Za polstoročie došlo k mnohým ďalším, no za ten čas sa posunuli vpred aj geológovia. Predovšetkým dokázali zmapovať rizikové územia. Podľa spomínamej digitálnej mapy na webovej stránke ŠGÚDŠ je na Slovensku viac ako 21 tisíc svahových deformácií. Dohromady zaberajú plochu 257 tisíc hektárov, čo je viac ako 5% územia krajiny [18]. Výskyt zosuvov núti orgány štátnej správy hľadať vhodné opatrenia. Tlačová správa Ministerstva vnútra SR z roku 2012 [24] píše o vyčlenení 1 142 671 eur pre niektoré mestá a obce v Prešovskom, Žilinskom, Banskobystrickom, Košickom, Trnavskom a Trenčianskom kraji postihnuté mimoriadnymi udalosťami v rokoch 2010 až 2012. V prvej polovici roka 2010 sa totiž aj kvôli výdatným zrážkam predchádzajúci počet svahových deformácií zvýšil o 577 nových s plochou 293 hektárov [17]. Fotografie niektorých „nedávnych“ zosuvov sú na Obr. 1. O snahe zlepšovať stav svedčí aj *Program prevencie a manažmentu zosuvných rizík* na roky 2014 až 2020 s klúčovým cieľom znížiť zosuvné riziká na životy ľudí, majetok a životné prostredie. Na plnenie programu je ale potrebných 45 miliónov eur. Prevažná časť by mala byť pokrytá z Európskej únie [24].

Minimálne tieto skutočnosti jasne potvrdzujú, že nie je na mieste sa touto problematikou nezaoberať. Dôkazom snahy o prepojenie vyššie spomenutých aktuálnych témat (GIS a zosuvy), je čoraz častejší výskyt publikácií a článkov s touto problematikou. Ide o interdisciplinárny

problém a geoinformatika, resp. jej vybrané technológie, tu nachádza široké uplatnenie. Je to excelentný nástroj na priestorové analýzy hlavne pre viacozmerné javy akými sú práve zosuvy. Geoinformačné technológie pomáhajú k ich identifikácii, mapovaniu, popisu, monitorovaniu, modelovaniu a prognózovaniu. Prvoradým problémom je odhad budúcnosti zosuvu alebo zosuvného územia. Ich vizualizácia je predpokladom lepšej prehľadnosti a využiteľnosti potrebných informácií. V porovnaní so zahraničnými krajinami (USA, Kanada, Veľká Británia) je však na Slovensku táto téma stále málo prebádaná.

Existuje mnoho rozličných metód založených na GIS, ktoré pomáhajú hodnotiť zosuvné riziko. Výsledok stanovuje v akom rozsahu sú, alebo by v budúcnosti mohli byť rizikovým faktorom vystavené jednotlivé skupiny populácie alebo jednotlivé zložky životného prostredia [27]. Ak je k dispozícii kvalitné a podrobne územie, geologická a hydrologická dokumentácia, v ére informačných technológií nastupuje snaha vytvoriť modelovacie programy, ktoré sú schopné automaticky generovať mapy náchylnosti územia na zosúvanie. Je potrebné poznať pozadie a disciplíny, v ktorých je možné geoinformačné systémy nasadiť, aby sa dali plnohodnotne používať, prípadne aspoň pochopiť škálu problémov, kde sa ich riešenie dá aplikovať. Je to dôležité aj preto, aby sa nemuselo potvrdiť nepísané pravidlo rozšírené medzi GIS komunitou, ktoré hovorí: *Nemožnosť použitia GIS riešenia, nie je spôsobená nepripravenosťou systémov, ale malou predstavivosťou a slabou pripravenosťou používateľa GISov* [4].



(a) Handlová: najväčší zosuv v histórii Slovenska, ktorý zničil desiatky domov (rok 1961)



(b) Miňovce, okres Stropkov: zdemolovaný úsek cesty dĺžky 300 m (8.6.2010)



(c) Nižná Myšľa, okres Košice - okolie: zosuvmi zdemolovaný rodinný dom (4.6.2010)



(d) obec Banka pri Piešťanoch: zosuv, ktorý tesne obišiel rodinný dom (7.1.2014)

Obr. 1: Príklad zosuvov na Slovensku podla [17], [28], [18]

Kapitola 1

Ciel a teoretické východiská

Cieľom predkladanej práce je hodnotiť náchylnosť územia na zosúvanie a prognózovať miesta výskytu potenciálnej nežiaducej udalosti v prostredí geografických informačných systémov. Na to slúžia analýzy vybraných faktorov založené na deterministických alebo stochastických modeloch. Práca má tri hlavné časti.

Prvým cieľom je priblížiť terminológiu problematiky a zostaviť rešerš, ktorá popisuje súčasné prístupy hodnotenia rizika zosuvov, relevantné faktory a potrebné dátá. V ďalšej časti je pozornosť sústredená na jednu zo štatistických metód, konkrétnie bivariačnú štatistickú analýzu s váhou parametra ako celku. Metóda patrí zatial medzi najviac používané metóty a venovali sa jej odborníci v zahraničí i u nás. Jej výsledkom je prognózna mapa zosuvného hazardu v záujmovom území.¹ Tretia časť opisuje ako modelovať náchylnosť územia na zosúvanie pomocou vlastného softvérového nástroja, ktorý na dosiahnutie výsledkov využíva open source geografický informačný systém GRASS GIS a programovací jazyk Python.

1.1 Terminológia

V podmienkach SR sa jednotnej terminológii z oblasti geologických rizík a hazardov venuje článok Ondrášika a Gajdoša [25]. Pojmy ako hazard, risk, zraniteľnosť, citlivosť, náchylnosť a podobne sa v slovenskej literatúre začali používať začiatkom 90. rokov 20. storočia.

Zosúvanie je podľa najjednoduchšej definície navrhnutéj Crudenom (1991) gravitáciou riadený pohyb masy hornín, pôdy alebo sutín dolu svahom [3].

Termíny, ktoré treba vyzdvihnúť a ktoré ani vo svetovej literatúre nemajú totožný význam sú hazard a riziko. Spomenutá publikácia Ondrášika a Gajdoša ich definuje nasledovne:

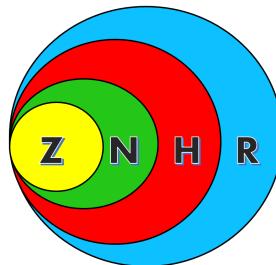
Hazard je možnosť výskytu javu potenciálne ohrozujúceho životy a zdravie ľudí, ich činnosť, majetok a zložky životného prostredia v istej oblasti a v určitom časovom období.

Riziko je pravdepodobnosť vzniku potenciálneho nebezpečenstva a (vyčísliteľná) veľkosť jeho negatívnych vplyvov na život a zdravie ľudí, ich majetok, činnosti a životné prostredie.

Ako bolo už naznačené, táto diplomová práca hodnotí zosuvný hazard, t.j. identifikuje a hodnotí polohu, rozsah, intenzitu a pravdepodobnosť výskytu zosuvov v istej oblasti. Hazard vychádza z náchylných území, kde sa zosuvy už vyskytli. Informácie o zosuvnom hazzarde sú potom základným údajom pre hodnotenie zosuvného rizika (Obr. 1.1) podľa [22].

¹Pod pojmom „mapy“ rozumieme digitálne mapy, ktoré neobsahujú všetky požadované náležitosti máp.

Pri matematickom vyjadrení je riziko súčinom hazardu a zraniteľnosti. *Zraniteľnosť* hovorí o schopnosti systému reagovať na negatívny jav vo forme straty alebo poškodenia [25].



Obr. 1.1: Schéma k vysvetleniu základných pojmov: (Z) existujúce zosuvy, (N) hodnotenie náchylnosti na zosuvy, (H) hodnotenie zosuvného hazardu, (R) hodnotenie zosuvného rizika

1.2 Etapy riešenia

Priebeh spracovania je možné zhrnúť do nasledovných krokov:

- zber a štúdium literatúry a iných zdrojov,
- voľba metódy na určenie potenciálne nebezpečných oblastí s ohľadom na použitie v GIS,
- výber vhodného modelového územia,
- voľba softvéru a príprava potrebných dát,
- aplikácia na vybrané modelové územie,
- vizualizácia výsledkov,
- automatizácia procesu.

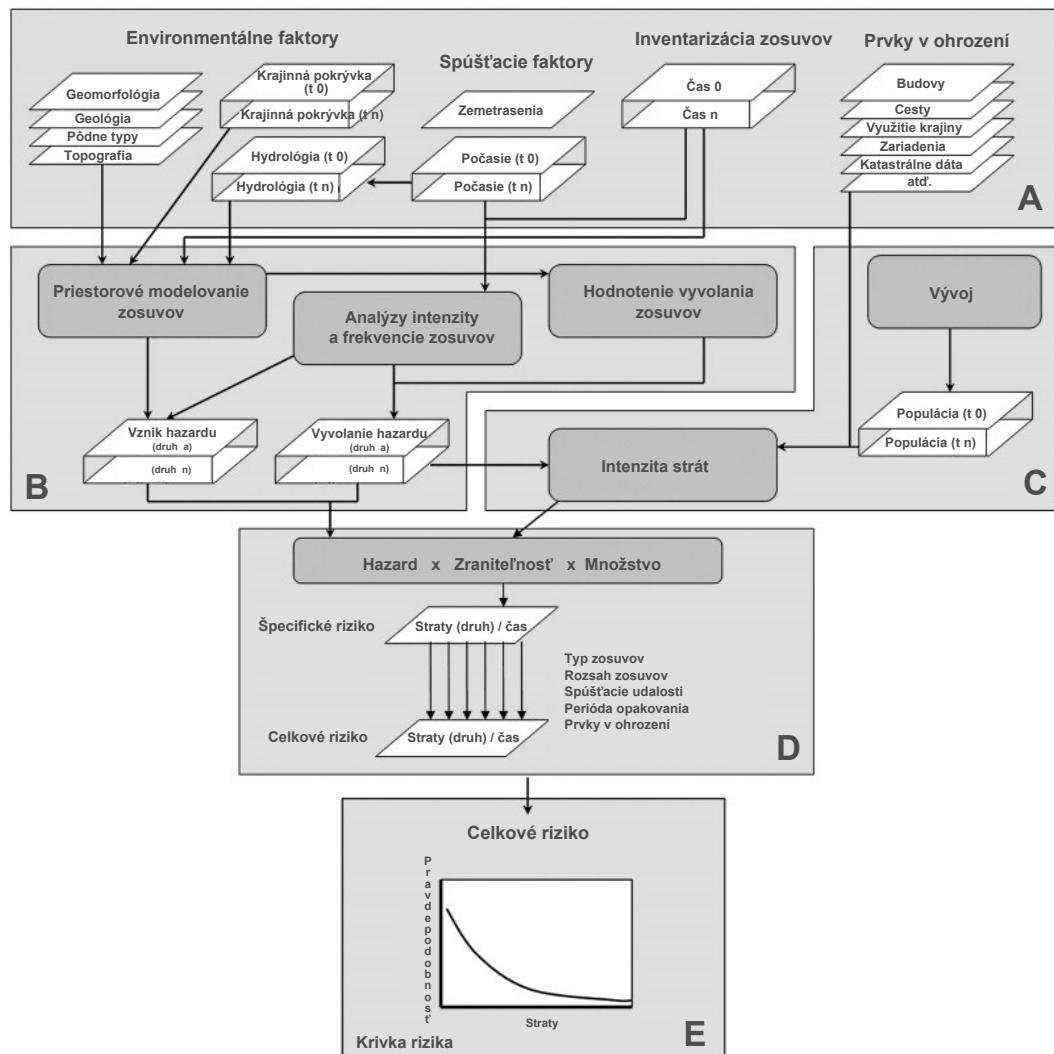
1.3 Súčasný stav hodnotenia rizika zosuvov

Napriek značnému zlepšeniu v chápaní nestability mechanizmov a vedomostiam ako predísť živelným katastrofám, zosuvy pôdy stále spôsobujú straty na životoch a pomerne veľké ekonomicke škody po celom svete. Nedávne štúdie (Petley 2012) ukázali, že straty sú sústredené hlavne v menej rozvinutých krajinách, kde je málo investícií na pochopenie tejto problematiky. Štátne orgány a osoby s rozhodovacou právomocou potrebujú mapy zobrazujúce oblasti náchylné na zosuvy predovšetkým na to, aby bolo jasné, kde treba zaviesť opatrenia. V súčasnosti je k dispozícii široká škála metód na posudzovanie náchylnosti. Niekoľko inštitúcií a vedeckých spoločností navrhli pokyny na spracovanie mapových podkladov pre analýzy (napríklad oficiálne švajčiarske pokyny OFAT, OFEE, OFEFP 1997; publikácie Geotechnical Engineering Office (GEO) 2006; Australian Geomechanics Society (AGS) 2007; Fell et al. 2008a, b) so spoločným cieľom používať jednotnú terminológiu, poukázať na potrebné základné údaje a odporučiť popredných odborníkov z praxe.

Podľa toho ako sú posudzované faktory náchylnosti územia na zosúvanie, rozlišujeme kvalitatívne a kvantitatívne metódy. Pri kvalitatívnych metódach ide skôr o empirické posúdenie hlavne na základe skúseností. Kvantitatívne metódy využívajú numeriku, pričom významnú časť tvoria metódy štatistické. Pre vedcov a inžinierov sú dôležitejšie kvantitatívne prístupy

hodnotenia, pretože umožňujú riziko kvantifikovať objektívnym a reprodukovateľným spôsobom a výsledky sa dajú dobre porovnať. Čo sa týka verejnosti ako celku, kvantitatívny prístup pomáha zvýšiť povedomie o existujúcej úrovni rizika a následne lepšie porozumieť priatým opatreniam. Lee a Jones (2004) ale varovali, že takto určené hodnoty informácií o pravdepodobnosti zosúvania sú len orientačné a môžu zakryť možné chyby pri analýzach. Z tohto dôvodu treba zdôrazniť, že kvantitatívne prístupy nie sú objektívnejšie ako kvalitatívne, no uľahčujú komunikáciu medzi odborníkmi, vlastníkmi pozemkov a orgánmi riadenia.

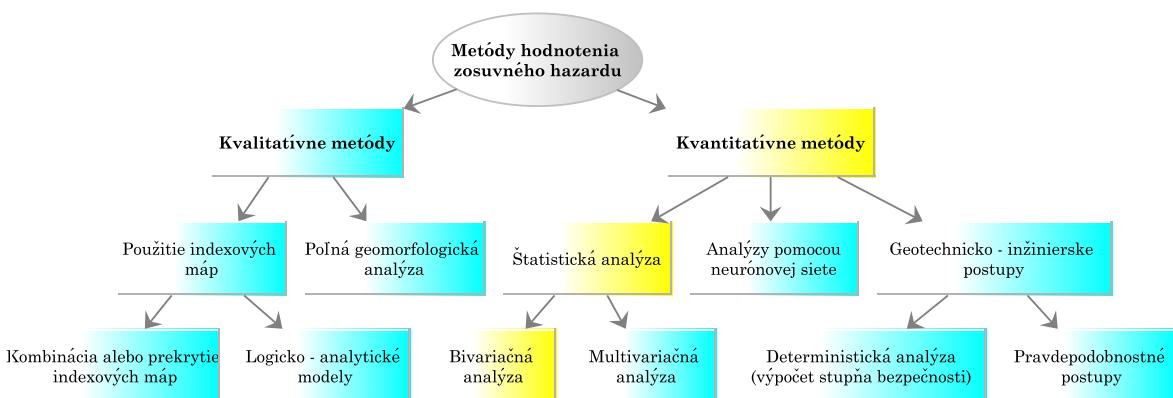
Táto téma vyžaduje prepojenie poznatkov viacerých vedných disciplín, predovšetkým inžierskej geológie, matematickej štatistiky, geoinformatiky, geomorfológie a kartografie. Môže dôjsť k rôznym typom zosuvov s rôznymi vlastnosťami, môžu sa vyskytovať v spojení s iným nebezpečenstvom, napr. povodne alebo zemetrasenia. Analýza zahrňa identifikáciu nebezpečenstva, jeho posúdenie, odhalenie všetkých rizikových elementov, zhodnotenie zraniteľnosti a odhad rizika. Všetky tieto kroky majú významnú priestorovú zložku. Vhodný súbor údajov môže byť preto efektívne analyzovaný aj v geografických informačných systémoch. Kroky A - E (Obr. 1.2) podľa [32] znázorňujú základný postup hodnotenia rizika zosuvov pôdy.



Obr. 1.2: Koncepcia hodnotenia rizika zosuvov pôdy

Krok (A) hovorí o vstupných dátach, (B) sa zameriava na modelovanie a hodnotenie, (C) na zložku zraniteľnosti. Krok (D) spája hazard, zraniteľnosť a množstvo ohrozených prvkov, výsledkom čoho je riziko. Špecifické riziko odhaduje možný stupeň strát a škôd na jednej zložke rizika následkom určitého hazardu. Celkové riziko predstavuje očakávané straty dôsledkom konkrétneho hazardu v danej oblasti a v určitej časovej perióde. Piaty krok (E) obsahuje krivku rizika, ktorej vodorovná os znázorňuje straty a zvislá os pravdepodobnosť.

Vyčerpávajúci prehľad dostupných metód pre hodnotenie náchylnosti územia na zosúvanie v prostredí GIS možno nájsť v prácach Soeters and Van Westen (1996), Carrara et al. (1999), Guzzetti et al. (1999), Aleotti and Chowdhury (1999), Dai et al. (2002), Chacón et al. (2006) a Fell et al. (2008a, b). Medzi priekopnícke práce v oblasti aplikácie štatistických metód v hodnotení zosuvného hazardu patria najmä publikácie Carraru (1983; 1988) a Brabba (1985), u nás práce Vlčka et al. (1980) [26]. Prehľad doposiaľ vypracovaných metód je na Obr. 1.3 [3].



Obr. 1.3: Metódy na hodnotenie náchylnosti územia na zosuvy

1.4 Dáta pre analýzy zosuvného rizika

Dáta vyplývajú z faktorov. Jedným z prvoradých záujmov odborníkov je preto čo najpresnejšie definovať faktory vzniku zosuvov a na ich základe vytvoriť prognózu. Výber vstupných faktorov je osobitný pre každé sledované územie a vo veľkej miere závisí od individuálneho posúdenia podmienok a odbornej skúsenosti riešiteľa [26]. Výsledky vyplývajú aj z presnosti vstupných podkladov, preto treba dbať na to, aby bola čo najvyššia. Nepresné dáta spôsobujú skreslený a častokrát zavádzajúci záver.

Najvhodnejšie dáta pre analýzu výskytu zosuvov je možné rozdeliť do štyroch skupín, t.j. databáza existujúcich zosuvov, environmentálne faktory, spúšťacie faktory a prvky ohrozenia. Prvá skupina je najdôležitejšia, lebo umožňuje nahliadnuť na miesta, kde sa zosuvy už vyskytli, rovnako informuje o príčinách vzniku, frekvencii výskytu a o rozsahu škôd. Hlavným zdrojom dát sú laboratórne analýzy (napríklad štúdium vlastností pôdy), terénné merania (napríklad vek zosuvu), monitoring (napríklad meteorologické dáta), mapovanie, archívne štúdie (napríklad zosuvy v minulosti), diaľkový prieskum Zeme, prípadne sú potrebné iné doplňujúce dáta. Schematické znázormenie základných dát pre hodnotenie rizika zosuvov, ako aj informácie

o ideálnej aktualizácii, užitočnosti diaľkového prieskumu Zeme (RS), význame dát pre malé, stredné, veľké a detailné mierky, pre rôzne modely hazardu a rizika je na Obr. 1.4.

Väčšinu podmienok a faktorov vzniku svahových pohybov je možné vyjadriť numerickou formou. Kvantifikovaný faktor prostredia svahových deformácií sa nazýva *parameter*. Hodnotené parametre môžu byť prírodné alebo antropogénne. Odzrkadlujú geologické, klimatické a hydrologické podmienky, morfometrické charakteristiky reliéfu a súčasné využitie územia. O tom, ktoré z nich boli analyzované v predkladanej práci, pojednáva časť 2.2.3.

Data		Main Type	Data layer	Update frequency (years)	RS			Scale		Hazardmodels			Risk methods		
					Remote Sensing useful?	Small	Medium	Large	Detailed	Heuristic	Statistical	Deterministic	Probabilistic	(Semi) Quantitative	Qualitative
				10.....1...0.002 (day)											
Landslide Inventory	Landslide inventory				H	C	H	H	H	C	H	H	H		
	Landslide activity				H	M	C	C	C	H	C	C	C		
	Landslide monitoring				M	M	M	M	C	-	-	H	H		
Environmental factors	DEM				H	H	C	C	C	H	C	C	C		
	Slope angle/aspects etc				H	L	H	H	H	H	H	H	H		
	Internal relief				H	H	M	L	L	H	L	-	-		
	Flow accumulation				H	L	M	H	H	L	M	H	H		
	Lithology				M	H	H	H	H	H	H	H	H		
	Structure				M	H	H	H	H	H	H	H	H		
	Faults				M	H	H	H	H	H	H	H	H		
	Soil types				M	M	H	C	C	H	C	H	H		
	Soil depth				-	-	L	C	C	-	-	C	H		
	Slope hydrology				-	-	C	C	-	-	C	H			
	Main geomorphology units				H	C	H	M	L	C	M	L	L		
	Detailed geomorph. units				H	H	H	H	L	H	H	M	L		
	Land use types				H	H	H	H	H	H	H	H	H		
	Land use changes				H	M	H	H	C	H	H	H	C		
	Rainfall				L	M	M	C	C	H	C	C	C		
	Temp / evapotranspiration				M	-	M	H	-	-	H	L			
	Earthquake catalogs				-	M	M	H	C	-	-	C			
	Ground acceleration				L	L	M	H	H	H	H	H	L		
Triggering factors	Buildings				H	L	M	C	C	-	-	-	C	C	
	Transportation networks				H	M	M	M	H	M	M	M	M	H	H
	Lifelines				-	-	L	M	-	-	-	-	-	L	L
	Essential facilities				L	L	M	H	H	-	-	-	-	H	H
	Population data				L	H	H	C	C	-	-	-	-	C	C
	Agriculture data				H	L	M	H	M	-	-	-	-	L	M
	Economic data				-	L	M	H	H	-	-	-	-	L	M
	Ecological data				H	L	L	L	L	-	-	-	-	L	M

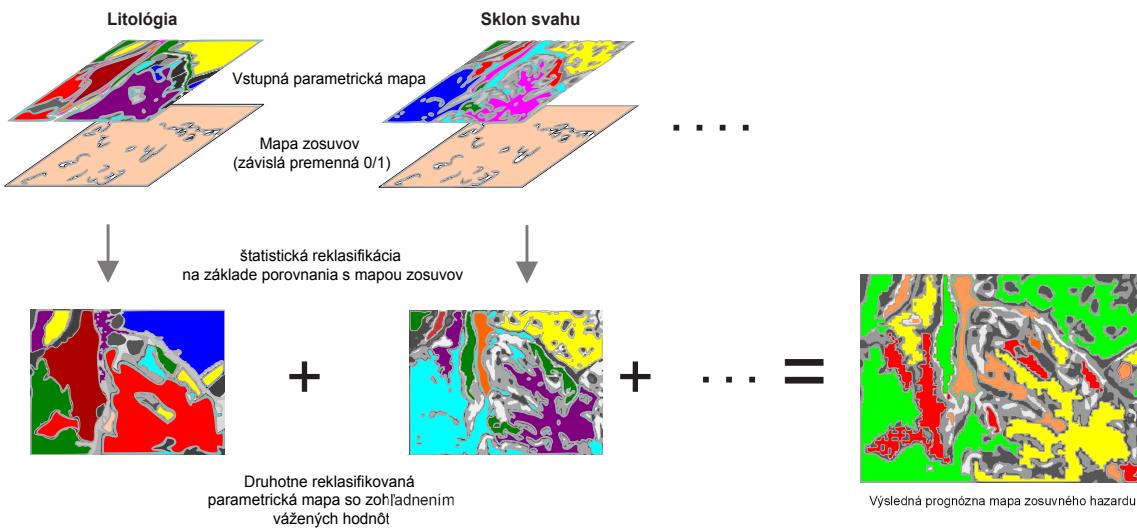
Obr. 1.4: Základné dátá pre hodnotenie rizika zosuvov: (C) nevyhnutné, (H) veľmi dôležité, (M) stredne dôležité, (L) menej dôležité, (-) nepodstatné [32]

1.5 Vhodné metódy a ich verifikácia

Medzi osvedčené a odporúčané metódy na posudzovanie zosuvov pôdy s uspokojivými prognózami patria v súčasnosti hlavne štatistické analýzy. Na základe poznatkov z bohatého súboru zdrojov literatúry z celého sveta, najvhodnejšími štatistickými metódami rajonizácie územia z hľadiska náchylnosti na zusúvanie sú bivariačná a multivariačná metóda [26]. Predkladaná práca sa ďalej detailne venuje prvej z týchto metód.

1.5.1 Bivariačná analýza s váhou parametra ako celku

Princíp tejto štatistickej analýzy spočíva v kombinácii tried parametrických máp 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 zusúvanie). Koeficienty sú potrebné na reklassifikáciu parametrických máp v digitálnej rastrovej forme. Finálna mapa náchylnosti územia na zusúvanie vznikne váženou lineárnom kombináciou reklassifikovaných parametrických máp a hodnôt váh každého z parametrov. Konkrétnie to znázorňuje Obr. 1.5 a vzťah 1.5.1.



Obr. 1.5: Princíp bivariačnej analýzy s určením váhy parametra

Ak to premietneme na matematický postup, tak dôležitý je nasledovný vzťah (vzorec pre záverečné sčítanie v bivariačnej analýze s výpočtom váhy parametra ako celku),

$$y = \sum_{i=1}^n C * W_i, \quad (1.5.1)$$

kde: C – hodnota triedy v druhotne reklassifikovanej parametrickej mape,
 W_i – váha príslušného vstupného parametra (1.5.7).

Z dôvodu lepšej ilustratívnosti Obr. 1.6 znázorňuje spôsob, ako triedam priradíme nové numerické hodnoty reprezentujúce stupeň náhylnosti triedy na zosúvanie potrebné pre sekundárnu reklassifikáciu. Nové celočíselné hodnoty vychádzajú z hodnôt hustoty pravdepodobnosti usporiadaných podľa veľkosti. Toto priradenie a výpočet váhy vykonáme samostatne pre príslušný vstupný parameter. Hodnotou vypočítaného korelačného koeficienta W_i sa vo výslednom vázenom súčte vynásobí každá sekundárne reklassifikovaná trieda parametra, ku ktorému sa korelácia vzťahuje podľa spomínaného vzťahu 1.5.1.

Váha parametra ako celku sa odvodí z lineárnej regresie na základe hodnoty korelačného koeficientu. Lineárna regresná závislosť sa určí z údajov z nereklassifikovaných parametrických máp a z porovnania primárnych hodnôt v týchto mapách s výskytom zosuvov v záujmovom území. Počet buniek so zosuvmi, ktoré vstupujú do regresnej analýzy sa vzťahuje zvlášť ku každej hodnote v parametrickej mape.

$$p_{ij} = \frac{P_{sd}}{P_t}, \quad (1.5.2)$$

$$(p_{ij}) = \frac{p_{ij}}{\sum_{j=1}^{s_j} p_{ij}}, \quad (1.5.3)$$

$$H_j = - \sum_{i=1}^{s_j} (p_{ij}) \log_2 (p_{ij}), \quad (1.5.4)$$

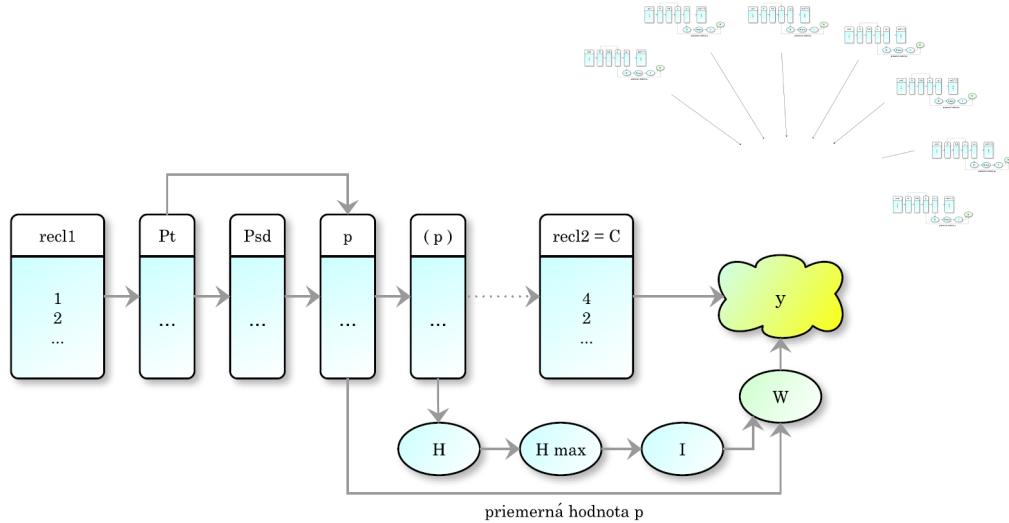
$$H_{j \ max} = \log_2 s_j, \quad (1.5.5)$$

$$I_j = \frac{H_{j \ max} - H_j}{H_{j \ max}}, \quad (1.5.6)$$

$$W_i = I_j \bar{p}_{ij}, \quad (1.5.7)$$

kde:

- y – hodnota vo finálnej mape,
- i – číslo príslušnej parametrickej mapy ($1, 2, 3 \dots n = 8$),
- s_j – počet tried parametrickej mapy,
- P_t – plocha triedy,
- P_{sd} – plocha svahových deformácií v triede,
- p_{ij} – pravdepodobnosť vzniku svahových deformácií v rámci triedy (1.5.2),
- (p_{ij}) – hustota pravdepodobnosti (1.5.3),
- H_j – hodnota entropie;
- $H_{j \ max}$ – predstavuje mieru priblíženia k normálnemu rozdeleniu pravdepodobnosti (p_{ij}) (1.5.4),
- I_j – maximálna entropia (1.5.5),
- \bar{p}_{ij} – informačný koeficient (1.5.6),
- \bar{p}_{ij} – priemerná pravdepodobnosť jednotlivých tried.



Obr. 1.6: Výpočet hodnoty bunky rastra vo finálnej mape

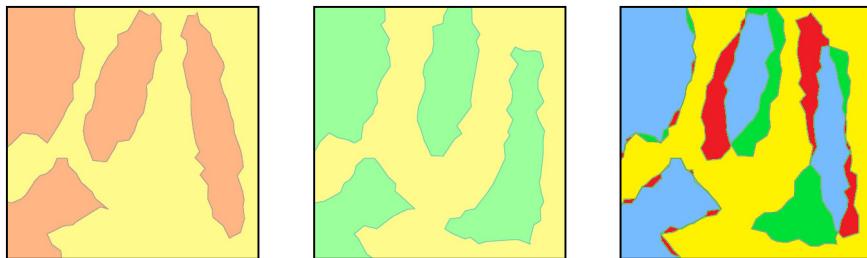
V prípade bivariačnej metódy je nevyhnutný aj subjektívny zásah do procesu, kde sa vo výraznej miere uplatňuje individuálny prístup a odborné skúsenosti riešiteľa. Ide napríklad o zníženie pôvodného počtu litologických celkov do nižšieho počtu tried s cieľom zjednodušiť pôvodnú mapu, ale pritom zachovať všetky dôležité informácie so zreteľom na zosuvy. Toto zjednodušenie si vyžaduje odborné znalosti a skúsenosti s fyzikálno - mechanickými vlastnosťami jednotlivých litologických jednotiek. Dôležitá je tiež voľba relevantného počtu intervalov pri reklassifikáciách a celkový zodpovedný prístup v procese určovania váh.

1.5.2 Verifikácia výsledkov pri predikcii zosuvov

Po zostavení prognóznej mapy je nevyhnutné mapu verifikovať, t.j. vyhodnotiť jej výpovednú hodnotu. Robí sa to pomocou metód štatistickej úspešnosti, ROC kriviek (**R**eciever **O**perating **C**haracteristic, „operačná charakteristika prijímača“), prípadne plošným porovnaním. Medzi metódy štatistickej úspešnosti možno zaradiť hodnotenie efektívnosti, pravdivej pozitívnej a nepravdivej pozitívnej hodnoty, hodnotenie kritického indexu úspešnosti, nezávislého kritického indexu, Pierceovho alebo Heidkeho kvalifikovaného odhadu, koeficientu úspešnosti, prípadne hodnotenie kvalifikovaného koeficientu úspešnosti. Štatistická úpešnosť modelu pomocou týchto techník bola posudzovaná napríklad v [3].

ROC krivka je štatistický nástroj, ktorý slúži na jednoduché a jasné grafické zobrazenie kvality modelu. Krivku je možné vykonštruovať na základe tzv. kontingenčných tabuliek. Počet riadkov a stĺpcov tabuliek závisí od počtu kategórií pri hodnotení. Pri zosuvoch sa používa di-chotomická premenná – dve kategórie: mapa registrovaných zosuvov, t.j. prítomné/neprítomné zosovy a prognózna mapa náhylných území, t.j. stabilné/nestabilné územie. Kombináciou registrovaných zosuvov a prognózneho modelu sa určuje počet buniek pre štyri rôzne možnosti (Obr. 1.7), a to:

- **tp** – správne pozitívne (správne nestabilné + +),
- **fp** – nesprávne pozitívne (nesprávne nestabilné + -),
- **tn** – správne negatívne (správne stabilné - -),
- **fn** – nesprávne negatívne (nesprávne stabilné - +).



Obr. 1.7: Prognózny model, registrované zosovy a ich kombinácia

Vyhodnocujú sa pozitívne vzorky a omylnosť pri pozitívnom označení negatívnej vzorky. Ak negatívnu predikciu označíme ako Np , pozitívnu predikciu ako Pp , súčet buniek v mape registrovaných zosuvov ako P a v prognóznej mape ako N , potom platí:

$$tn + fn = Np, \quad fp + tp = Pp, \quad (1.5.8)$$

$$tn + fp = N, \quad fn + tp = P, \quad (1.5.9)$$

$$T = Np + Pp = N + P. \quad (1.5.10)$$

Pomocou tp a P sa určuje tzv. senzitivita (Se), správna pozitivita – *TruePos*, t.j. pravdepodobnosť, že v skutočnosti nestabilné časti budú aj v modeli označené ako nestabilné. Hodnoty tn a N slúžia na určenie tzv. špecificity (Sp), t.j. pravdepodobnosti, že stabilné časti v modeli budú predstavovať územie, ktoré aj v skutočnosti je stabilné. Ak túto hodnotu (Sp)

odrátame od jednotky, dostaneme tzv. falošnú pozitivitu – $FalsePos$, t.j. pravdepodobnosť, že nestabilné územie bude v modeli označené ako stabilné. Hodnoty senzitivity a špecificity závisia od volby prahovej hodnoty „cutoff value“, ktorá v prognóznej mape predstavuje hranicu medzi stabilnými a nestabilnými časťami. Pre každú prahovú hodnotu sa vytvorí kontingenčná tabuľka (Tab. 1.1).

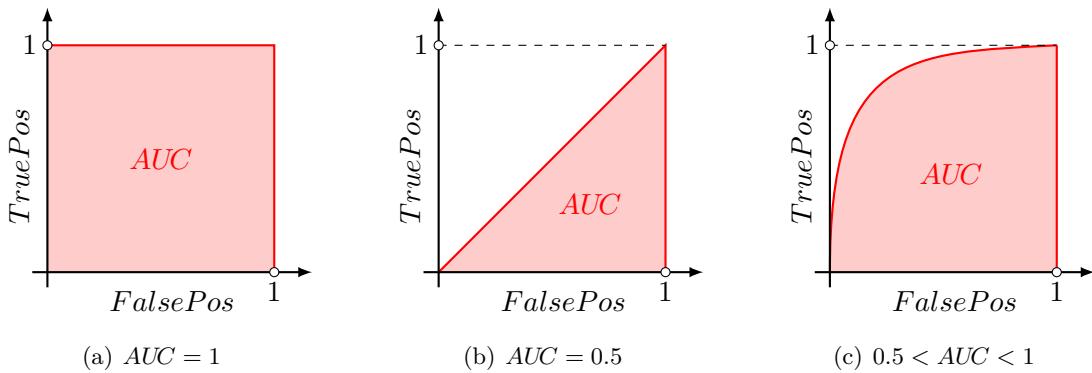
$$Se = TruePos = \frac{tp}{P}, \quad (1.5.11)$$

$$1 - Sp = FalsePos = \frac{fp}{N}. \quad (1.5.12)$$

Tabuľka 1.1: Kontingenčná (vzťahová) tabuľka pri hodnení úspešnosti modelu

Počet náhodne vybratých buniek - kombinácia registrovaných a prognózovaných zosuvov				
správne stabilné	--	nesprávne nestabilné	+-	→ P
nesprávne stabilné	-+	správne nestabilné	++	→ N
↓		↓		↓
N_p		P_p		→ T

Pre kontingenčné tabuľky sa vypočítajú hodnoty $FalsePos$ a $TruePos$, ktoré slúžia na vyzkreslenie ROC krivky. Veľkosť plochy pod krivkou, tzv. AUC (Area Under Curve) určuje celkovú kvalitu prognózneho modelu. Čím je plocha väčšia, tým je model úspešnejší, resp. čím je veľkosť plochy bližšia k hodnote 1, tým je model presnejší. Ukážky pre ideálny model, pre model s úspešnosťou 50% (náhodný *random guessing*) a všeobecný model sú na Obr. 1.8.



Obr. 1.8: Príklad ROC krivky: (a) ideálny (b) náhodný a (c) všeobecný (správny) prípad

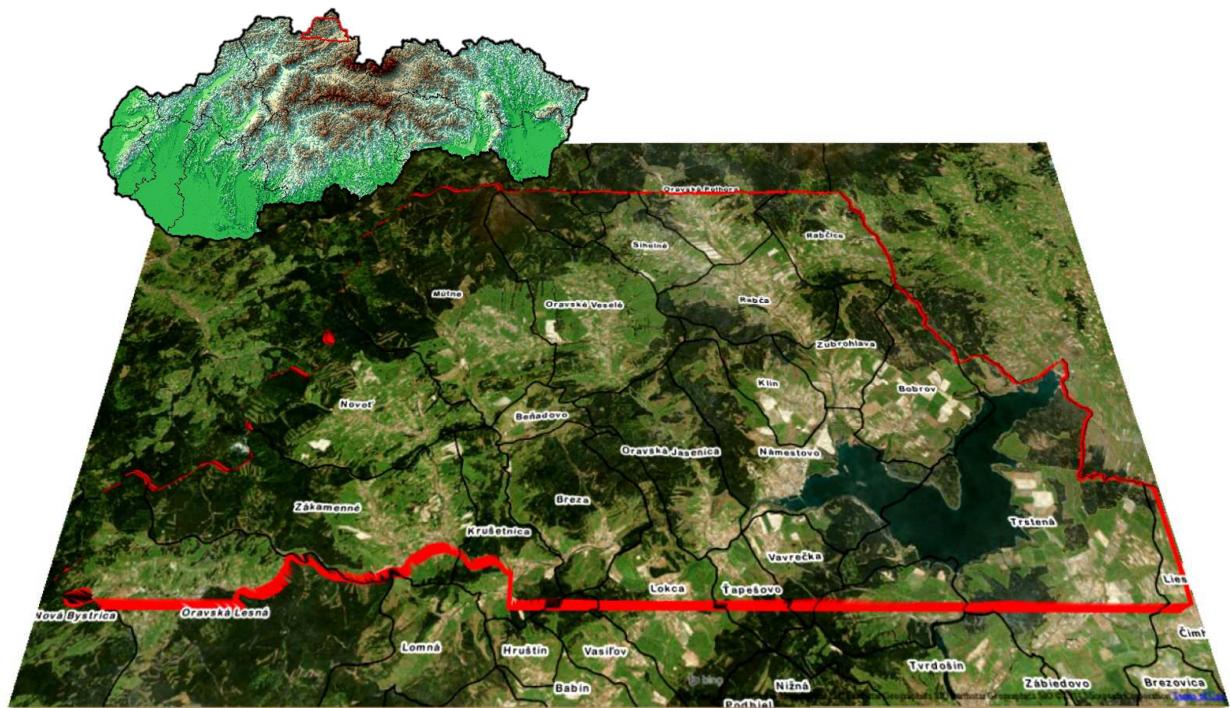
Viacero autorov v rámci verifikácie prognóznych máp používa najjednoduchší spôsob a to rastrové prekrytie parametrickej mapy zosuvov (plochu zosuvov) s plochou, ktorú zaberá vysoký až veľmi vysoký stupeň zosuvného hazardu v prognóznej mape (Bednárik 2001, 2007, Nandi a Shakoor, 2009, Constantin et al., 2010, atď.). Výsledkom tohto jednoduchého porovnania je úspešnosť napríklad 84.2 % [3], 92.5 % [17], 85.52 % [31], t.j. pri pôsobení významného spúšťacieho faktora môžeme na viac ako 80 % predpokladať aktivizáciu svahovej deformácie podľa výslednej mapy zosuvného hazardu. Výsledky verifikácie poukazujú na dobrú „vyladenosť“ bivariačného modelu [3].

Kapitola 2

Predikčné modelovanie zosuvov

2.1 Stručná charakteristika záujmovej oblasti

Skúmaným územím je sever Oravy (55.143 km^2 z celkovej plochy 551.797 km^2) je ovplyvnené zosuvmi, t.j. asi 10%). V novembri 2011 bola na podnet Ministerstva životného prostredia SR odovzdaná záverečná správa geologickej úlohy *Inžinierskogeologické mapovanie svahových deformácií v najohrozenejších územiach flyšového pásma* v M 1 : 10 000, pričom táto oblasť bola jednou z hodnotených území. Je znázornená na Obr. 2.1. Ide o územie s aktuálnou antropogénnou aktivitu, s výskytom geohazardov v dostatočnom rozsahu a je dostatočne preskúmané → podľa [3] spĺňa predpoklady pre použitie štatistických metód v prostredí GIS.



Obr. 2.1: Záujmové územie (oblasť severnej Oravy)

Geologickú preskúmanosť, geomorfologické pomery, základnú geologická stavbu, geologické procesy, hydrologické a klimatické pomery môže čitateľ nájsť v spomínamej správe [17].

2.2 Použitý softvér a dátá

2.2.1 Prehľad typov softvérov

Existujúce programy možno rozdeliť podľa mnohých kritérií. Jedno z najdôležitejších je určite finančná dostupnosť a technické parametre. Na trhu sa dnes vyskytujú rôzne skupiny. Dve hlavné sú SLOBODNÉ a PROPRIETÁRNE softvéry, angl. *free software and proprietary/nonfree software*. FSF (Free Software Foundation, nezisková organizácia slobodného softvéru z USA) označuje za nesprávne predstavovať slobodný softvér ako alternatívu k proprietárному softvéru. Prezentuje ich skôr ako protiklady. Proprietárny softvér sa vyznačuje tým, že nie je vo verejnej doméne a jeho majiteľ zohráva dôležitú úlohu tým, že vynucuje obmedzenia na jeho používanie a uplatňuje nad softvérom kontrolu. Podľa definície z Nadácie slobodného softvéru [11] program je slobodný, ak má nasledujúce práva, resp. slobody:

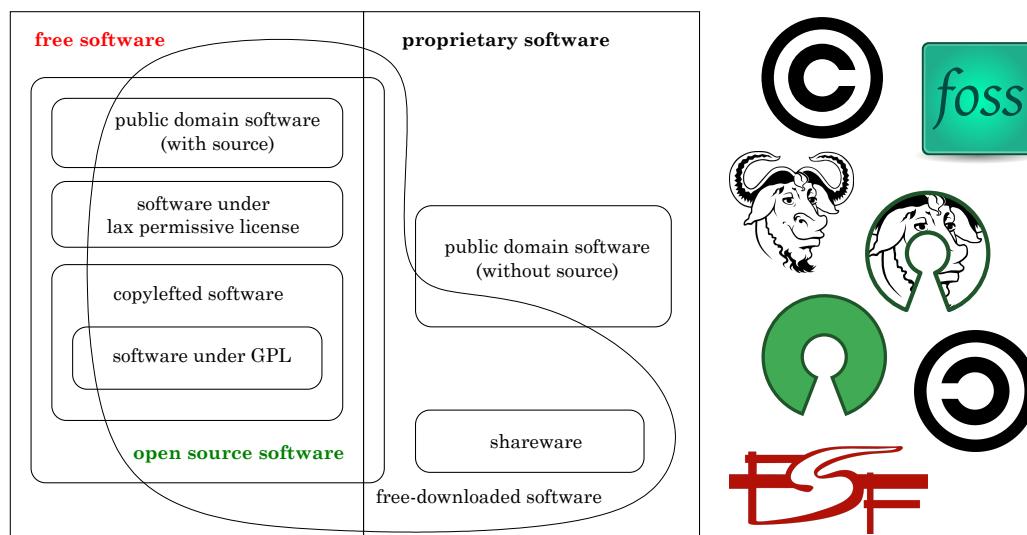
Freedom 0: spúštať program akýmkoľvek spôsobom pre akýkoľvek účel,

Freedom 1: modifikovať program, aby čo najlepšie vyhovoval používateľovi (pomôcť sebe),

Freedom 2: distribuovať kópie programu (pomôcť priateľom),

Freedom 3: publikovať dokonalejšiu verziu aj pre ostatných (pomôcť vybudovať komunitu).

Kritici často oponujú slobodnému softvéru kvôli časťam v licencii, ktorá oslobozuje autora kódu za zodpovednosť v prípade škody. Na druhej strane väčšina proprietárnych softvérov ukladá autorovi zodpovednosť uhradiť škody iba do výšky ceny softvéru, čo až takou výhodou vždy nemusí byť [2]. Väčšina slobodných softvérov je chránená tzv. *copyleft* doložkou, ktorá zaručuje, že daný slobodný softvér nemôže byť základom pre vytvorenie počítačového programu, ktorý by podmienkam slobodného softvéru nevyhovoval a nejakým spôsobom sa stal proprietárnym. Termín bol vytvorený ako určitý protiklad slova *copyright*. Prehľad rôznych kategórií softvérov je na Obr. 2.2.



Obr. 2.2: Slobodný a proprietárny softvér – prehľad podľa [10]

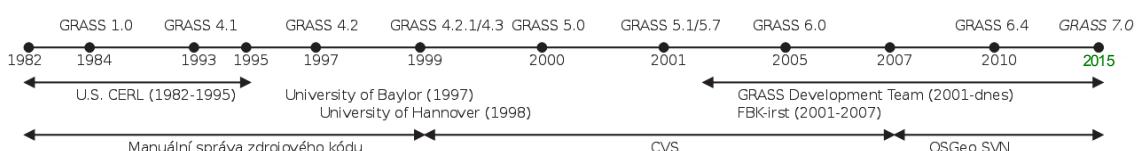
Ďalej existuje tzv. KOMERČNÝ SOFTVÉR, ktorý vzniká za účelom zisku a s pojmom slobodný softvér sa nevylučuje. Komerčný slobodný softvér produkuje príjmy napríklad garantovaním záruk, dokumentáciou, technickou podporou či riešeniami na mieru.

Dôležité je rozlíšiť pojmy slobodný softvér a softvér pod licenciami freeware a shareware. SHAREWARE patrí medzi proprietárne programy a predstavuje model financovania *try before you buy*. Neposkytuje iné slobody ako slobodu nula. Pri FREEWARE môže používateľ softvér používať na rôzne účely, no nemá zdrojové kódy a nemôže ho modifikovať. Sú to teda proprietárne softvéry, ktoré sú sice zadarmo, no bez slobôd. V prípade, že autor softvéru sa vzdáva vyhradených práv a kontroly ohľadom jeho modifikácie, softvér je distribuovaný ako PUBLIC DOMAIN (tiež *not copyrighted*, lebo nepodlieha ochrane autorským právom a môže byť voľne využívaný). Nemusí mať vždy dostupný zdrojový kód, može ísť len o spustiteľný súbor. V súčasnosti je na trhu veľký výber tzv. OPEN SOURCE programov (z anglického spojenia otvorený zdroj), ktoré majú dostupný zdrojový kód. To znamená, že funkčnosť si môže užívateľ v rámci podmienok licencie vlastnými silami rozšíriť, editovať alebo učiť sa z neho. Na základe rozmeru zdrojového kódu môže stanoviť kvalitu softvéru, čím sa často myslí udržovateľnosť, spoľahlivosť, rozšíriteľnosť a prenosnosť. Nemusí to ale vždy znamenať, že program je zadarmo, ani to, že možno tento kód ľubovoľne použiť. Open source softvér opustil ideológiu *free ako freedom* a je súčasťou ekonomiky *free ako free beer* [19]. Za posledné roky nesmierne ovplyvnil svet softvéru. Jeho zdrojový kód je prístupný pod licenciou, ktorá umožňuje študovať kód, vkladať zmeny, zlepšovať ho, redistribuovať v modifikovanej alebo pôvodnej forme. V prípade uceleného projektu, na ktorom sa podieľa hodikto z celého sveta, hovoríme o open source projekte, napríklad Linux a jeho distribúcie. Niektoré licenčné podmienky tohto typu softvéru môžu obsahovať povinnosť zverejniť zmeny zdrojového kódu, zatiaľ čo sloboný softvér sice umožňuje zmeny zdrojového kódu, ale bez nutnosti ďalej ich zverejniť (išlo by o narušenie slobody rozhodovania). Tiež môžu obsahovať povinnosť informovať dodávateľa softvéru o jeho ďalšej redistribúcii, čo je ďalší rozdiel oproti voľnému softvérnu.

Okolo softvérov s otvoreným zdrojovým kódom sa vytvára početná komunita, ktorá aktívne či pasívne zasahuje do jeho tvorby, čo ho výrazne zlepšuje. Často sa riešia problémy a otázky, ktoré by inak zostali skryté. Ďalšou výhodou je, že v prípade akýchkoľvek problémov je odozva pomerne rýchla – „veľa očí veľa nájde“. Jedinou limitáciou je spomínaná licencia. Na druhej strane, otázky bezpečnosti a zraniteľnosti kódu sú častokrát označované za hlavné nevýhody.

Všetky vyššie spomenuté pojmy sú veľakrát nesprávne používané a zamieňané. Zaradenie konkrétneho softvéru do istej skupiny záleží od licenčných podmienok. FSF na svojej stránke [12] publikuje výklad celého radu pojmov, pretože mnohé sú nejednoznačné a klamlivé alebo predpokladajú stanovisko, s ktorým FSF v skutočnosti nesúhlasí.

Jedným zo slobodných a zároveň open source softvérov v oblasti GIS je geografický informačný systém GRASS GIS (**G**eographic **R**esources **A**nalysis **S**upport **S**ystem) a v tejto kategórii patrí medzi najpoužívanejšie. Ide o softvér publikovaný pod všeobecnou licenciou **GNU GPL** (**G**eneral **P**ublic **L**icense). Je to projekt s dlhou históriaou (Obr. 2.3).



Obr. 2.3: Časová os vývoja systému GRASS GIS od roku 1982 podľa [21]

Knižnice systému GRASS a jeho nástroje, tzv. moduly sú väčšinou implementované v programovacom jazyku ANSI C (**American National Standards Institute**). Niektoré moduly sú v jazyku C++, iné sú dostupné v podobe skriptov v jazyku Python [16]. V súčasnosti je jediným GIS softvérom, ktorý je porovnatelný s ostatnými, inak licencovanými produktami, napríklad ArcGIS firmy ESRI. GRASS GIS je dôkazom toho, že neplatí myšlienka *čo je zádarmo, je podozrivé a nefunguje*. Môže slúžiť ako desktop GIS alebo ako základ kompletnej GIS infraštruktúry. Bol vyvíjaný od roku 1982 laboratóriami v Spojených štátoch amerických (USA – CERL) na vojenské účely. Koncom 80. rokov poskytol CERL zdrojové kódy verejnosti a potom sa behom niekoľkých rokov rozšíril po celom svete. Vývoj prevzali *Baylor University* v Texase, *Universität Hannover* a ďalšie inštitúcie pod súhrnným názvom *GRASS Development Team*. V roku 1998 bola uvoľnená verzia 4.2.1 a v súčasnosti je poslednou GRASS 7.0.0. V rámci vývoja GRASS GIS možno nájsť dva dobre identifikovateľné mŕtviky. Podporu pre rastrové dátá s plávajúcou desatinnou čiarkou vo verzii GRASS 5 a zásadne prepracovanú a rozšírenú vektorovú architektúru vo verzii GRASS 6. Verzia GRASS 7 nadväzuje na verzie 5 a 6 a prináša dlho očakávané vlastnosti. Ide napríklad o prirodzenú podporu pre geodatabázu PostGIS alebo o možnosť pripojenia OGR vrstiev [21]. Knižnica OGR poskytuje prístup k veľkému počtu vektorových GIS formátov v režime čítania alebo zápisu a s knižnicou GDAL zameranou na rastrové GIS formáty vytvára projekt pod názvom GDAL/OGR. Dátový model vychádza zo špecifikácie OGC (**Open Geospatial Consortium**).

GRASS GIS je výborným nástrojom pre spracovanie geografických dát a ich analýzu, no zatiaľ nevyhovuje náročnejším požiadavkam v tvorbe mapových výstupov. Otvorenosť ako protipól kommerčných produktov má aj svojich odporcov. Mnohí sa venujú ich porovnaniu, napríklad v [33] je analyzovaný stručný vývoj funkcií kommerčných a open source GIS nástrojov za posledných pätnásť rokov.

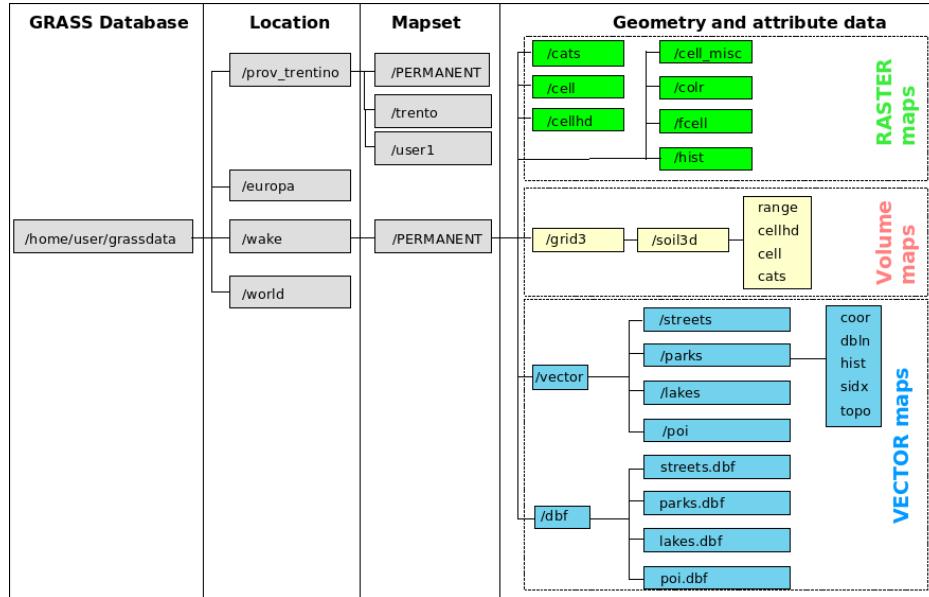
2.2.2 Štruktúra geografického informačného systému GRASS GIS

Na to, aby sme mohli začať pracovať v prostredí GRASS GIS, musíme poznať jeho základnú štruktúru. Geodáta sú uložené v internej adresárovej štruktúre. K tomuto účelu býva vo väčšine prípadov založený základný adresár, tzv. *databanka GRASS*, napríklad **grassdata** v domovskom adresári užívateľa, prípadne adresár s iným názvom. V rámci adresára s geodátami je vytvorený adresár, ktorý obsahuje dátá súvisiace s daným projektom. Nazýva sa lokácia (*location*) a je definovaný východzou veľkosťou záujmového územia a súradnicovým systémom, resp. referenčným elipsoidom, kartografickými jednotkami a mapovými jednotkami. Lokácia sa ďalej delí na mapové adresáre, ktoré nazývame *mapsety*. Týmto je prístup k dátam dobre organizovaný, vid. Obr. 2.4. GRASS automaticky založí mapset s názvom **PERMANENT**, kde sú uložené súhrnné informácie o mapovej projekcií, rozlíšení a záujmovom území projektu. Tento mapset je najčastejšie určený pre základné dátá projektu, napríklad vstupné dátá, pretože právo zápisu má iba ten používateľ, ktorý projekt založil a jeho obsah nemôže modifikovať nikto iný. Obsahuje súbory:

- **DEFAULT_WIND**: údaje o okrajových súradničach, rozsah a rozlíšenie oblasti **PERMANENT**,
- **MYNAME**: názov projektu,
- **PROJ_INFO**: informácie o kartografickom zobrazení, elipsoide a začiatku súradnicového systému,
- **PROJ_UNITS**: informácie o použitých jednotkách, napríklad **meter**,

- **WIND:** údaje o aktuálnom regióne (oblasti výpočtu) a projekcii mapsetu,
- **VAR:** údaje pre ovládač databanky a cesty k databázovému súboru, resp. k databáze.

Pre dátá, ktoré vznikli na základe dát mapsetu PERMANENT, prípadne ďalších zdrojov sa zakladajú nové mapsety a prebieha v nich vlastné spracovanie dát. Viac mapsetov umožňuje tiež viacerým užívateľom, spojeným napríklad sietou, pracovať súčasne na jednom projekte bez toho, aby hrozilo, že jeden užívateľ vymaže alebo modifikuje dátá niekoho iného.



Obr. 2.4: Diagram štruktúry databanky GRASS GIS, zdroj: GRASS GIS manuál [15]

GRASS GIS beží takmer na všetkých platformách. Podporuje GNU/Linux, unixové systémy podporujúce Psix, MS-Windows a MacOS X. Umožňuje spracovanie rastrových, vektorových, voxel dát, modelovanie 2D/3D rastrových a vektorových dát, spracovanie obrazových dát, sietové analýzy, vektorové, topologické a geoštatistické analýzy. Podporovanými dátovými formátmami sú skoro všetky dobre známe GIS dátové formáty [6]. Medzi podporované databázy patrí PostgreSQL/PostGIS, MySQL, SQLite, ODBC alebo DBF. Výstupmi môžu byť moduly pre tvorbu mapových výstupov, NVIZ pre vizualizácie 2.5D a 3D dát vo forme animácií a pohľadov, ďalej VTK, POVray¹ alebo WebGIS s využitím Mapservera či Pythonu [16].

Tabuľka 2.1: Prehľad skupín modulov systému GRASS

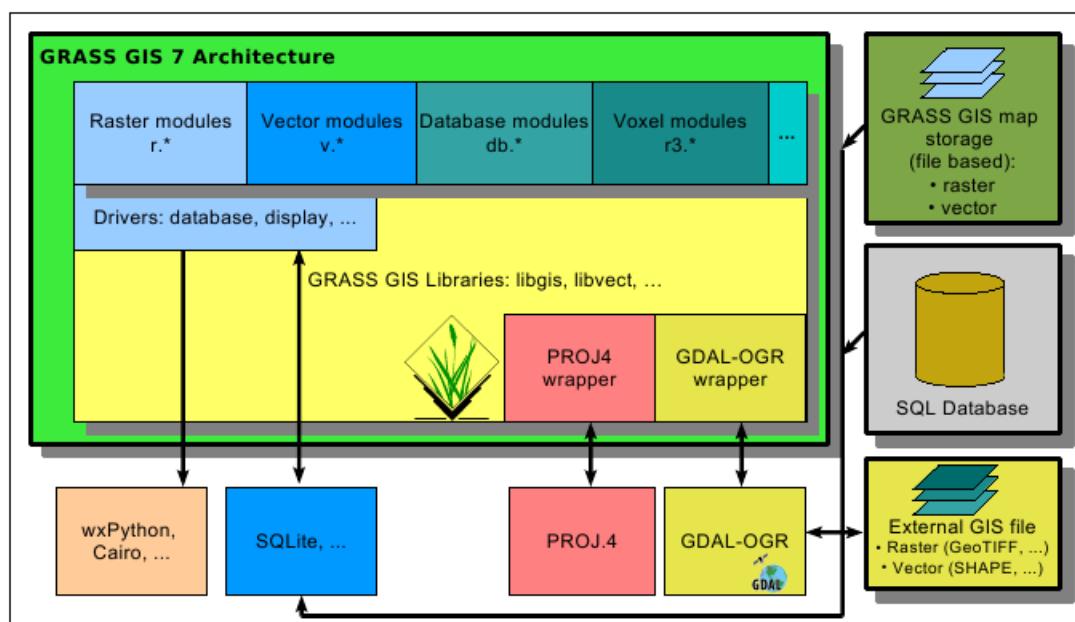
prefix	skupina	popis
db.*	database	podpora externých databázových systémov
d.*	display	práca s grafickými výstupmi
g.*	general	všeobecné príkazy pre manipuláciu s dátami
i.*	imagery	práca s obrazovými údajmi
ps.*	postscript	tvorba mapových výstupov vo formáte PostScript
r.*	raster	spracovanie 2D rastrových dát
r3.*	3D raster	spracovanie 3D rastrových dát
v.*	vector	spracovanie 2D alebo 3D vektorových dát

¹VTK = Visualization Toolkit, open source, voľne dostupný softvérový systém pre 3D grafiky, spracovanie obrazu a vizualizáciu; POVray = Persistence of Vision Raytracer, program, ktorý generuje obrázky z textového popisu scény

GRASS je hybridný, modulárne postavený GIS. V terminológii systému GRASS GIS moduly predstavujú množinu malých, ale výkonných programov. Ich názvy sa skladajú z predpony, ktorá signalizuje skupinu príkazov, viď. Tab. 2.1 a krátkeho názvu, ktorý naznačuje účel modulu [8]. Každý funkčný prvok je reprezentovaný osobitným modulom. Tým je daná jeho jasná štruktúra a program tak pôsobí transparentne. Ďalšia prednosť tejto modularity spočíva v tom, že v pamäti počítača sú nahrané vždy iba aktuálne používané moduly, čo umožňuje pomerne efektívne využívanie zdrojov.

Často sú dôležitou súčasťou analýz metadáta a štatistické informácie dát. Systém GRASS GIS disponuje rôznymi modulmi pre výpis, a to od výpisu základných metadát ([r.info](#), [v.info](#)) až po pokročilejšiu štatistiku. Prehľadný výpis informácií o rastrových dátach týkajúcich sa aktuálneho výpočtového regiónu poskytuje modul [r.report](#), pre základnú štatistiku slúži modul [r.univar](#) a vybrané štatistické informácie umožňuje modul [r.stats](#). Niektoré z nich spolu s konkrétnymi ukážkami budú spomenuté v ďalších častiach tejto práce.

Celková architektúra systému GRASS GIS pre verziu 7 je znázornená na Obr. 2.5.



Obr. 2.5: Architektúra systému GRASS GIS 7.0.0, zdroj: GRASS GIS manuál [15]

2.2.3 Použité dátá

Vektorové dátové vrstvy pre záujmové územie (Obr. 2.1) boli k dispozícii od doc. RNDr. Martina Bednárika, PhD. z Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave. Dáta sú výsledkom spomínaného *Inžinierskogeologického mapovania svahových deformácií v najohrozenejších územiach flyšového pásma* v M 1 : 10 000 z roku 2011:

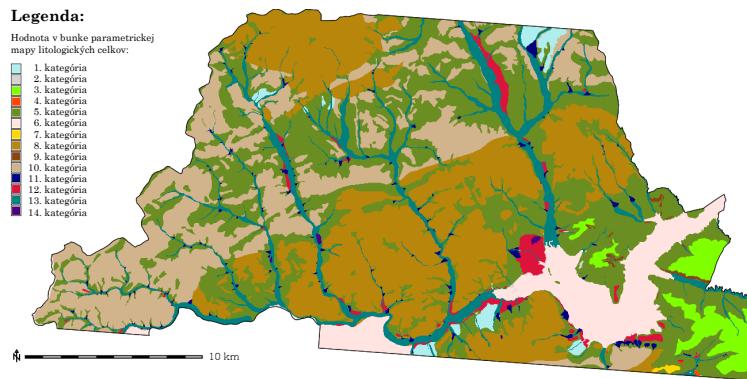
- hranica záujmového územia (**zu**),
- digitálna vektorová mapa litologických jednotiek (**geology**),
- digitálna vektorová mapa výškopisu - vrstevnice (**vyskopis**),
- digitálna vektorová mapa polohopisu (**polohopis**),
- digitálna vektorová mapa svahových deformácií (**zosuvy**).

2.3 Tvorba parametrických máp

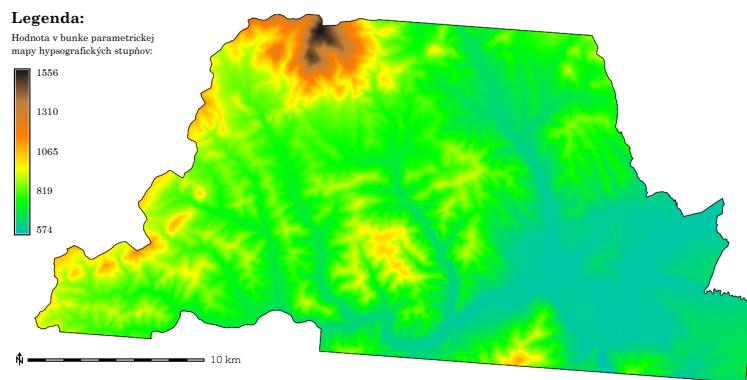
Vstupné dátá (päť dátových vrstiev vo formáte Esri ArcGIS shapefile) importujeme do prostredia GRASS GIS pomocou modulu *Common import formats v.in.ogr* do mapsetu PERMANENT v rámci location Mapy so súradnicovým systémom S-JTSK. Nástroj je dostupný aj z menu ako *File → Import vector data → Common formats import*. Výpočtový región, t.j. hranice dané najsevernejším, najjužnejším, najzápadnejším a najvýchodnejším bodom nastavíme podľa vektorovej vrstvy **zu** príkazom **g.region**.

Tvorba parametrických máp spočíva v konverzii vstupných dát. Cieľom je pracovať s ôsmimi rastrovými mapami s rovnakým počtom buniek rovnakej veľkosti. Každá reprezentuje faktor ovplyvňujúci zosuvy. Použijeme štvorcový raster s veľkosťou základnej bunky 10×10 m. Z vrstiev vo forme línií (**vyskopis**) je potrebné vypočítať hydrologicky korektný DMR, t.j. taký, ktorý spĺňa kritériá prirodzeného odtoku vody z územia. Na nastavenie rozlíšenia základnej bunky regiónu pre oba smery (sever/juh a východ/západ) slúži príkaz **g.region res = 10**. Vektorové vrstvy **geology**, **polohopis** a **zosuvy** konvertujeme v tomto prostredí do rastrovej formy pomocou **v.to.rast**. Výsledkom sú prvé dve parametrické mapy, t.j. litologické celky a využitie krajiny (Obr. 2.6 a Obr. 2.13) a rastrová mapa existujúcich zosuvov.

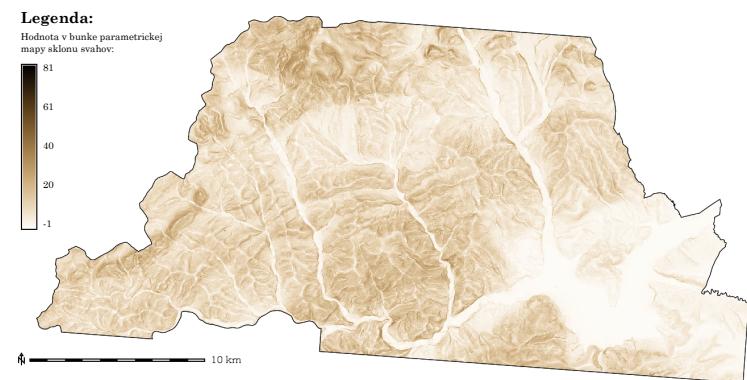
Veľmi dôležitou súčasťou postupu je digitálny model reliéfu (DMR), nakoľko jeho druhé derivácie predstavujú hodnotené a analyzované morfometrické parametre. Na generovanie požadovaného DMR použijeme interpolačnú metódu regularizovaného splajnu pod napäťom (RST: **R**egularized **S**pline with **T**ension), konkrétnie príkaz **v.surf.rst**. Regularizovaný splajn s tenziou je metóda, pomocou ktorej sa hodnota v interpolovanom bode počíta na základe matematickej funkcie, ktorá simuluje správanie sa tenkej elastickej platne. Tá prechádza cez zadané body. Výhodou je súčasný výpočet morfometrických parametrov na základe parciálnych derivácií interpolačnej funkcie [20]. Prvým krokom je nastavenie tzv. *masky*, pomocou ktorej definujeme nepravidelnú oblasť výpočtu (príkaz **r.mask**). Maska súvisí s výpočtovým regiónom, ktorý má vo všeobecnosti tvar obdlžníka. Našu masku bude predstavovať vrstva záujmového územia. V prostredí GRASS GIS je táto vrstva definovaná ako štandardná rastrová mapa s názvom **Mask**. Ďalej postupujeme spustením spomínaného modulu **v.surf.rst**. Vstupom je vektorová mapa výškopisu a výstupom názov novej mapy **dmr**. Ako hlavná informácia pre interpoláciu povrchu slúžia údaje o výške. Pre toto záujmové územie ($551\ 797\ km^2$) a geometrii gridu 10×10 m trval výpočet na PC s procesorom Intel(R) Core(TM) i5 1.70 GHz a 4.00 GB RAM približne sedem hodín. Modul **v.surf.rst** teda interpoluje z-ové súradnice z vektorových dát (vrstevnice/izočiary) na rastrové bunky vo výstupnom rastri **dmr**, ktorý reprezentuje povrch. Interpoláciou je možné zároveň vygenerovať aj topografické parametre sklonu **slope**, expozízie svahov **aspect** či krivosti svahov, ktorá môže byť profilová, tangenciálna alebo stredná krivost **pcurv**, **tcurv** alebo **mcurv** → použijeme tú strednú. Pochopiteľne, je vždy potrebné zadat názvy výstupných rastrových máp pre každý topografický parameter. Výsledky tohto modulu vo forme štyroch parametrických máp sú na Obr. 2.7 až Obr. 2.10. Interpolovaný digitálny model reliéfu potrebujeme ďalej ako vstup pre generovanie mapy dĺžok svahov a mapy prispievajúcich plôch. Použijeme príkazy **r.flow** a **r.terraflow**. Tieto parametrické mapy (Obr. 2.11 a Obr. 2.12) uzatvárajú osmičku máp reprezentujúcich nami skúmané faktory, ktoré vplývajú na zosuvy.



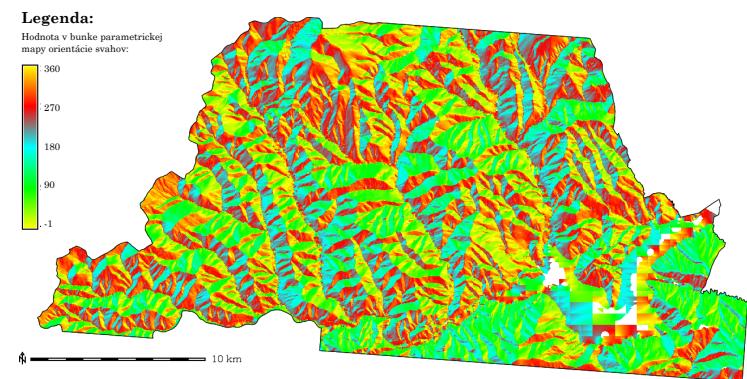
Obr. 2.6: Parametrická mapa litologickej stavby



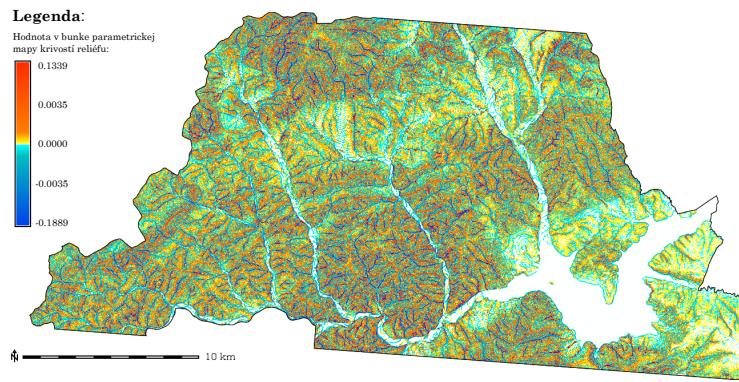
Obr. 2.7: Parametrická mapa hypsografických stupňov (DMR)



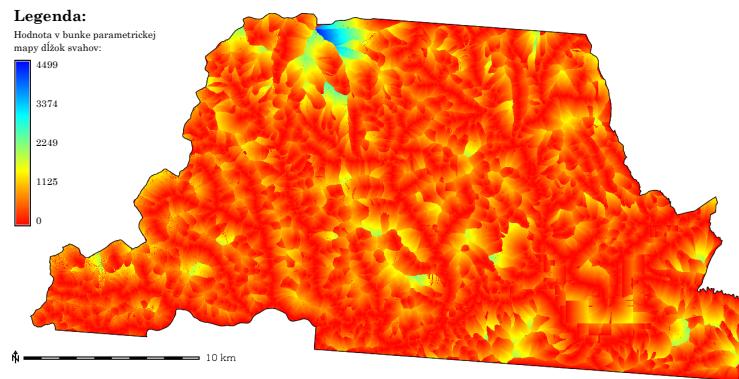
Obr. 2.8: Parametrická mapa sklonu svahov



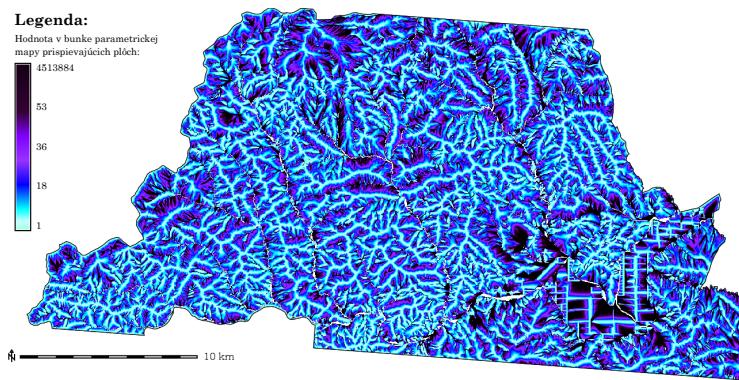
Obr. 2.9: Parametrická mapa orientácie svahu voči svetovým stranám



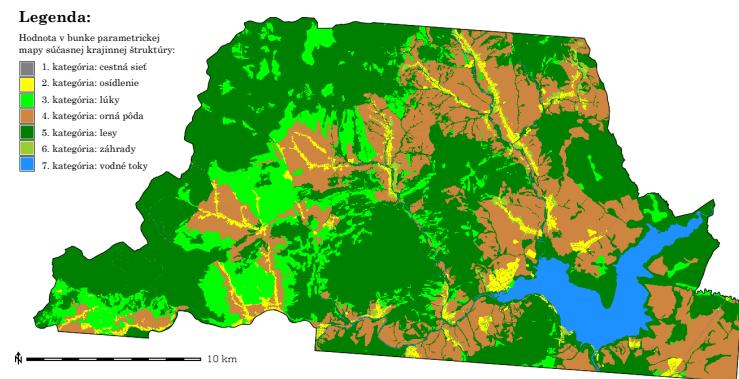
Obr. 2.10: Parametrická mapa strednej krivosti reliéfu



Obr. 2.11: Parametrická mapa dĺžky svahov



Obr. 2.12: Parametrická mapa prispievajúcich plôch



Obr. 2.13: Parametrická mapa súčasnej krajinnej štruktúry

2.4 Prvotná reklasifikácia parametrických máp

Zo vstupných dát máme vytvorených osem parametrických máp. Každý z faktorov bude vstupovať do analýz vo forme tzv. reklasifikovanej parametrickej mapy. Tieto mapy musíme pred štatistickým spracovaním ešte reklasifikovať, resp. rekategorizovať pôvodné primárne údaje do užších intervalov. Vyplýva to z princípu použitej štatistickej analýzy opísanej v časti 1.5. Pri štatistických analýzach je vhodné použiť spojité dátové polia, napríklad hypsografické stupne podľa zvolených intervalov výšok v metroch nad morom alebo účelovú reklasifikáciu vykonať zjednodušením geologickej mapy obsahujúcej veľké množstvo litologických jednotiek na mapu s menším množstvom kategórií s podobnými vlastnosťami. Triedy všetkých ôsmich faktorov sú výsledkom optimálneho rozdelenia a klasifikácie pôvodných údajov s ohľadom na zosuvy [26].

2.4.1 Litologický faktor

V závislosti od podložia je každej bunki geologickej mapy priradené číslo triedy. Prvotná reklasifikácia je zmena hodnôt tried v rastri na iné. V našom prípade je mapa už reklasifikovaná geológmi, preto hodnoty v mape nebudeme meniť. Len pre úplnosť riešenia reklasifikáciu urobíme, t.j. postupne triedam priradíme hodnoty 1, 2 až n , kde n je počet existujúcich kategórií v analyzovanom záujmovom území, viď. Obr. 2.14, tabuľka vľavo. Výsledkom je reklasifikovaná parametrická mapa litologických celkov.

Vstupom do GRASS GIS je vektorová mapa s počtom kategórií 14, geológmi zovšeobecnená, z hľadiska fyzikálno - mechanických vlastností s ohľadom na zosuvy už reklasifikovaná mapa. Pomocou príkazu `r.report` zistíme aké hodnoty nadobúdajú bunky rastra (maximálne, minimálne, atď.). Najprv vytvoríme súbor `*.txt`, ktorý obsahuje pravidlá pre reklasifikáciu. Následne ho načítame do dialógového okna modulu na reklasifikáciu `r.reclass` (viď. Obr. 2.14), ktorý pracuje s celočíselnými rastrovými mapami. V inom prípade by boli hodnoty vo vstupnej rastrovej mape zaokruhlené smerom nadol na najbližšie celé číslo. Po spustení modulu vznikne reklasifikovaná parametrická mapa litologických celkov po prvotnej reklasifikácii.

Trieda	Litolog. typ
1	navážky, depónie, skládky
2	íly, silty, sutí
3	štrky, íly, silty, sutiny
4	štrky, silty, íly
5	štrky, íly, silty, piesky
6	štrky, íly, silty
7	štrky, íly, piesky
8	íly, piesky (+ org. prímesy)
9	rašeliná
10	penovce
11	tufy, zlepence, pieskovce
12	andezity
13	andezity
14	ílovce, siltvorce, pieskovce

geol recl1.txt

```

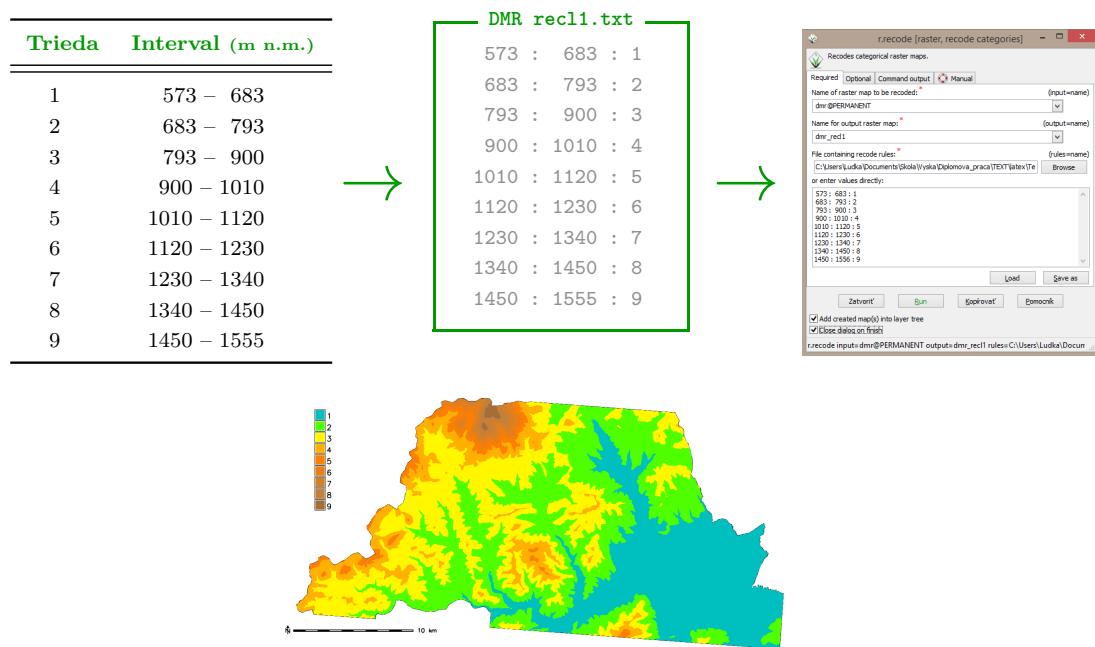
1 = 1   8 = 8
2 = 2   9 = 9
3 = 3   10 = 10
4 = 4   11 = 11
5 = 5   12 = 12
6 = 6   13 = 13
7 = 7   14 = 14

```

Obr. 2.14: Prvotná reklasifikácia parametrickej mapy litologických celkov

2.4.2 Digitálny model reliéfu

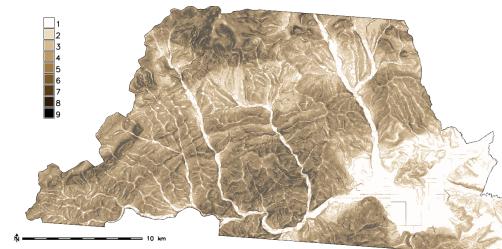
Po vytvorení DMR je potrebné reklassifikovať ho podľa stupňa nadmorských výšok s krokom 100 až 120 výškových metrov. Uvedené hodnoty boli použité napríklad v prácach [30], [3]. Vznikne tak prvotne reklassifikovaná parametrická mapa DMR. Pre skúmané záujmové územie je kategórií deväť. Minimálna nadmorská výška je totiž 573 m n.m. a maximálna 1555 m n.m. (krok 110 metrov). V tomto prípade ide o nadmorské výšky, kde je potrebné reklassifikovať rastrovú mapu s plávajúcou desatinou čiarkou. Namiesto modulu `r.reclass`, ktorý reklassifikuje celočíselné mapy, reklassifikáciu prevedieme modulom `r.recode`. Tento modul vyžaduje, aby boli hodnoty intervalov aj hodnoty nových tried oddelené dvojbodkou. Znázornenie reklassifikácie pomocou modulu `r.recode` je na Obr. 2.15.

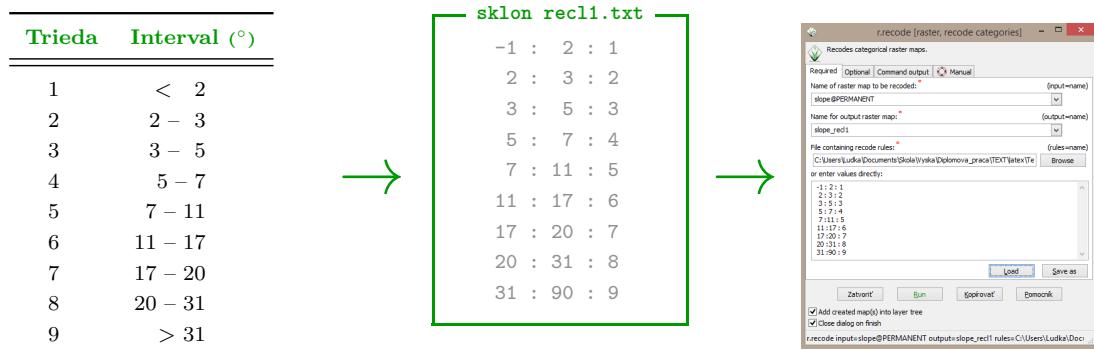


Obr. 2.15: Prvotná reklassifikácia parametrickej mapy hypsografických stupňov

2.4.3 Sklonitosť svahov

Pri výpočte interpolácií vrstevníc výpočtového územia došlo aj k výpočtu sklonov svahov v stupňoch s intervalom 1° . Reklassifikácia spočíva znova v rozdelení do intervalov. Neexistuje však jednotná reklassifikácia sklonitosti, lebo závisí od daného územia. Na SR boli použité: Hrašna (šest kategórií), Pauditš (sedem kategórií), Bednárik a Pauditš (šesť kategórií), Hrašna (deväť kategórií). Použijeme posledný prípad, t.j. deväť kategórií. Postup je na Obr. 2.16.

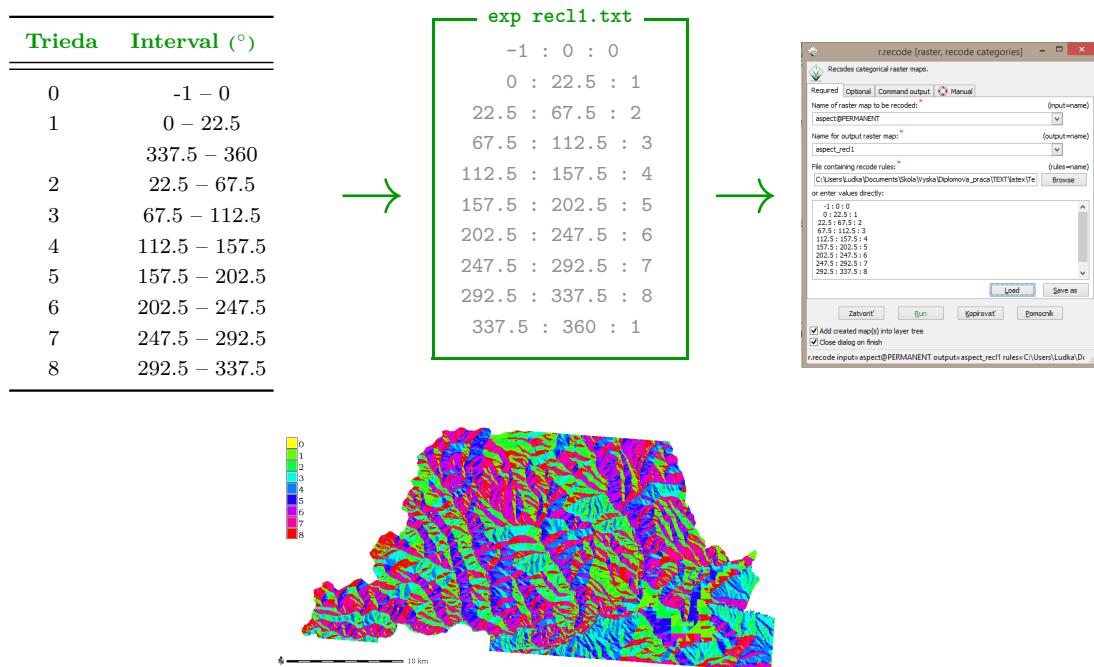
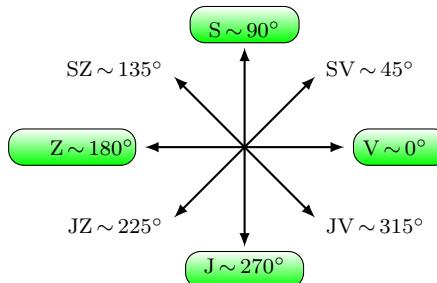




Obr. 2.16: Prvotná reklassifikácia parametrickej mapy sklonu svahov

2.4.4 Orientácia svahov voči svetovým stranám

Prvotná reklassifikácia predstavuje rozdelenie do deviatich kategórií s intervalom 22.5° . Prvá kategória je „flat“ (rovina). Ostatné sú 1 (východ), 2 (juhovýchod), 3 (juh), 4 (juhozápad), 5 (západ), 6 (severozápad), 7 (sever) a 8 (severovýchod). Hodnoty pre reklassifikáciu tohto faktora sa obvykle nemenia. Postup je na Obr. 2.17.



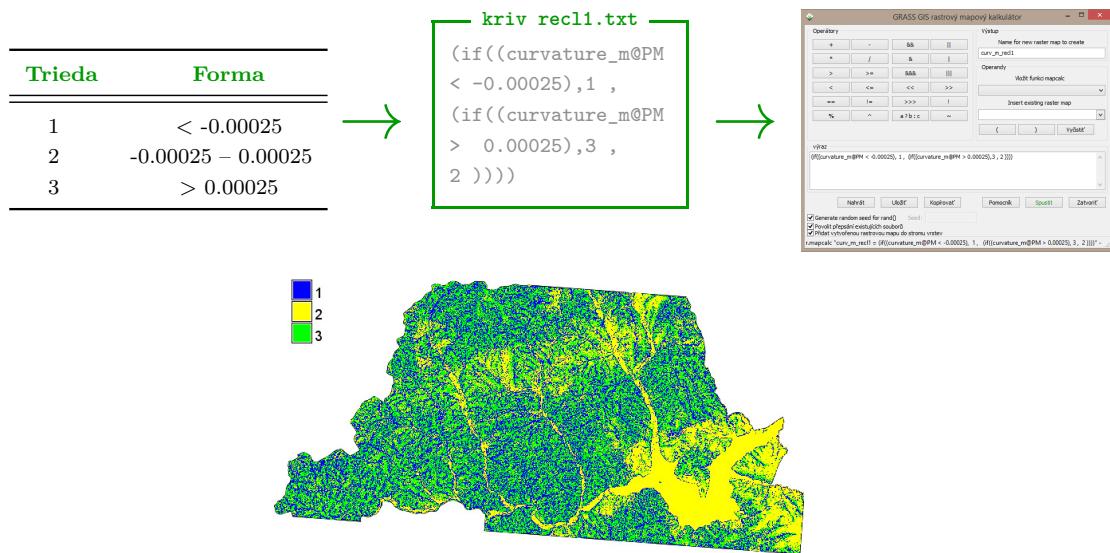
Obr. 2.17: Azimut orientácie svahu a prvotná reklassifikácia parametrickej mapy expozície svahov

2.4.5 Krivost reliéfu

Sú rozlišované dva typy krivosti reliéfu - horizontálna krivost, resp. krivost vrstevníc (obrátene hodnota polomeru krivosti vrstevnice) a vertikálna krivost, tiež normálová krivost spádnic (obrátene 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. Pre reklassifikáciu sa používajú preto tri intervale (konkávne, lineárne a konvexné formy) [13]. Pre toto záujmové územie sú všetky bunky parametrickej mapy krivosti reliéfu menšie ako nula v intervale od -0.188864 do 0.133862 , vid. výpis príkazu `r.univar`:

```
univar kriv.txt
n: 5517704
minimum: -0.188864
maximum: 0.133862
range: 0.322727
mean: -1.65134e-006
mean of absolute values: 0.00141416
standard deviation: 0.0024546
variance: 6.02508e-006
variation coefficient: -148643 %
sum: -9.11162175764148
```

Ako bolo už spomenuté v časti 2.4.1, modul `r.reclass` pracuje s celými číslami vstupných vrstiev. Aby sme informácie v rastri s plávajúcou desatinnou čiarkou nestratili, okrem modulu `r.recode` je možné na reklassifikáciu použiť aj modul `r.mapcalc`. Ide o nástroj, ktorý umožňuje vykonávať aritmetické operácie s rastrovými súbormi pomocou aritmetických výrazov, konštánt alebo rôznych funkcií. Pri reklassifikácii krivostí reliéfu vystupuje funkcia `if()`, vid. Obr. 2.18. Uvedené hodnoty hraníc intervalov boli použité v [3].



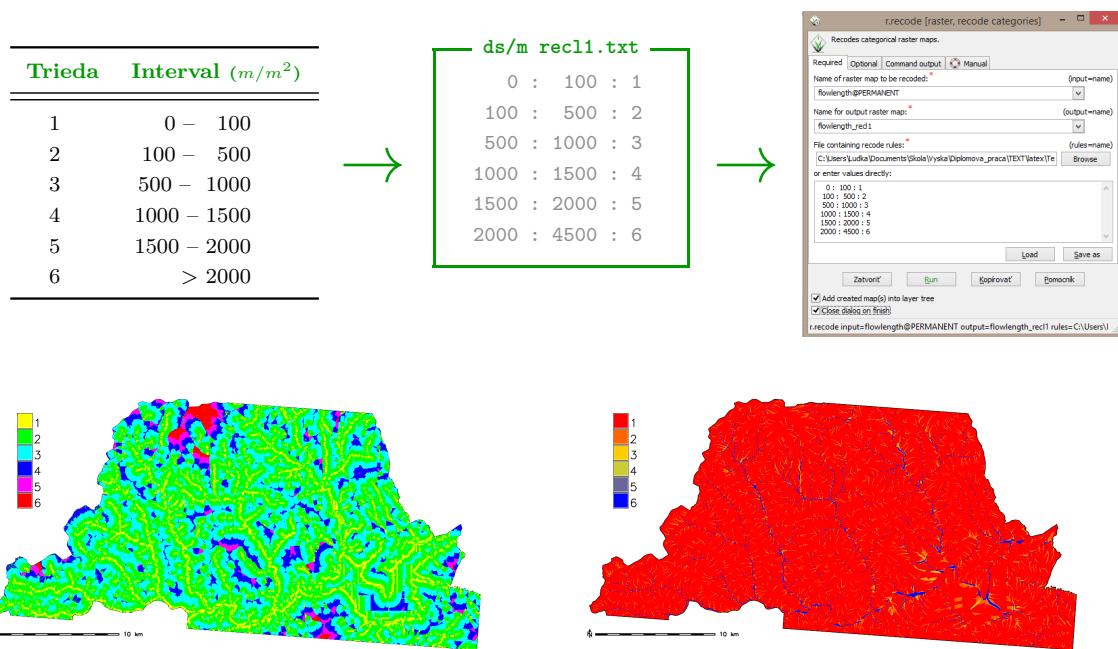
Obr. 2.18: Prvotná reklassifikácia parametrickej mapy strednej krivosti reliéfu

2.4.6 Dĺžky svahov

Ide o dĺžku spádovej krivky od najvyššieho bodu na svahu. Spádová krivka je trajektóriou najpravdepodobnejšieho najkratšieho smeru po svahu. Používa sa rozdelenie do 6 kategórií [3]. Po pridelení hodnôt 1, 2 až n modulom `r.recode` pre existujúce kategórie vznikne reklassifikovaná parametrická mapa dĺžok svahov (Obr. 2.19 vľavo).

2.4.7 Prispievajúce plochy

Podla Pauditša prispievajúca plocha vyjadruje celkovú plochu mikropovodia, z ktorého steká voda po svahu do daného bodu [26]. Kategórie sú teda rovnaké ako v prípade dĺžok svahov, no s jednotkami v m^2 , keďže ide o plochy. Výsledkom je parametrická mapa prispievajúcich plôch, resp. mikropovodí (Obr. 2.19).



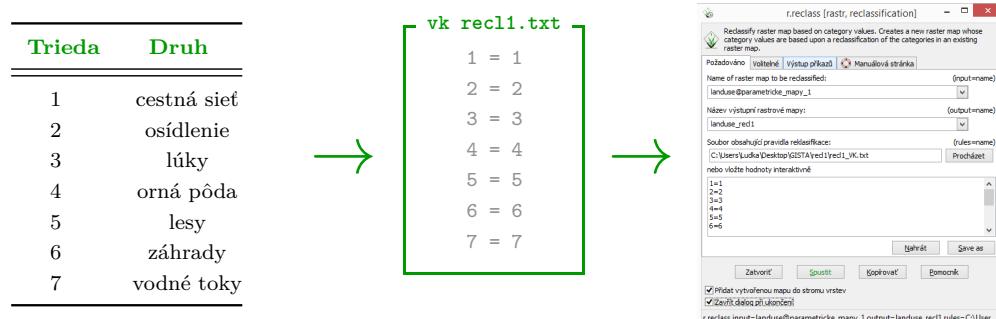
Obr. 2.19: Prvotná reklassifikácia parametrickej mapy dĺžky svahov a mikropovodí

2.4.8 Súčasná krajinná štruktúra

Aktuálne využitie krajiny je veľmi dynamický faktor, dôležitá je hlavne aktuálnosť podkladov. Vyčlenia sa základné prvky krajiny a tie predstavujú kategórie tohto faktora. Podkladom môže byť napríklad GIS vrstva CORINE landcover. V súčasnosti sú najspoloahlivejším zdrojom ortofotomapy záujmového územia.

Do celého spracovania už na začiatku vstupuje mapa využitia krajiny ako reklassifikovaná. Reklassifikovaná parametrická mapa súčasného využitia krajiny je preto totožná s parametrickou mapou na Obr. 2.13. Vždy závisí, čo sa nachádza vo vektorovej mape.

Pre modelové záujmové územie máme kategórií sedem (použité aj v [3], v [17] je vyčlenených deväť kategórií – rozšírené o železničnú sieť a lomy). Pri reklassifikácii rovnako ako pri geológii hodnoty kategórií nemeníme, ale pre úplnosť reklassifikáciu prevedieme modulom `r.reclass` (Obr. 2.20)



Obr. 2.20: Prvotná reklasifikácia parametrickej mapy súčasnej krajinnej štruktúry

2.5 Druhotná reklasifikácia parametrických máp

Kombinácia parametrických máp s mapou zosuvov:

Postup v GRASS GIS začína zistením celkovej plochy každej triedy a plochy zosuvov v tejto triede v rámci reklasifikovanej parametrickej mapy. V časti 2.2.2 bolo spomenuté ako je možné zistiť informácie o dátach v rámci výpočtovej oblasti. Použijeme modul **r.report**. Výstupom sú súbory s požadovanými údajmi. Napríklad pre digitálny model reliéfu:

report DMR.txt		
RASTER MAP CATEGORY REPORT		
LOCATION: Mapy		Wed Apr 01 21:23:40 2015

MASK: zu in PERMANENT, categories 0		

MAP: dmr_recl1@PERMANENT in PERMANENT		

Category Information		square %
# description		kilometers cover

1 .	149.163894	17.53
2 .	166.847188	19.60
3 .	154.890951	18.20
4 .	51.685920	6.07
5 .	14.761862	1.73
6 .	6.235480	0.73
7 .	4.098984	0.48
8 .	2.712422	0.32
9 .	1.398563	0.16
* no data.	299.268530	35.16

TOTAL		851.063793 100.00

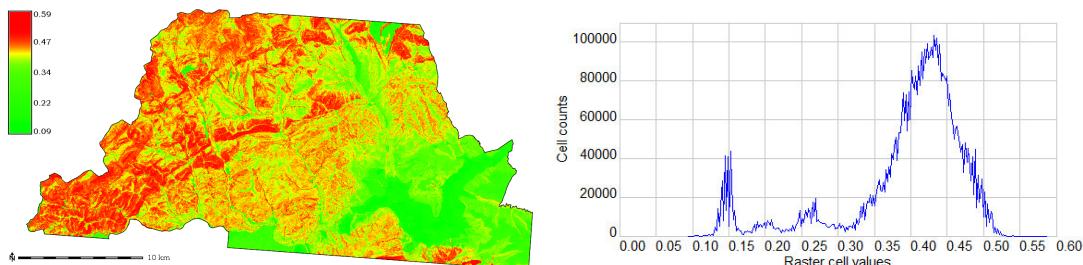
Takéto výpisu urobíme pre každú z ôsmich parametrických máp, raz s nastavenou maskou pre záujmové územie, potom s maskou pre zosuvy (modul **r.mask**). Informácie zo šestnástich reportov o ploche každej triedy a ploche zosuvov v tejto triede naplníme do Tab. A.1 a Tab. A.2. Podľa vzťahov 1.5.2 až 1.5.7 vypočítame hodnoty, ktoré sa nachádzajú v Tab. A.3 a Tab. A.4. Druhotnú reklasifikáciu vykonáme modulom **r.reclass**. Potom už nič nebude brániť tomu, aby sme pristúpili k tvorbe samotnej prognóznej mapy zosuvného hazardu.

2.6 Výsledok bivariačného spracovania: prognózna mapa zo suvného hazardu

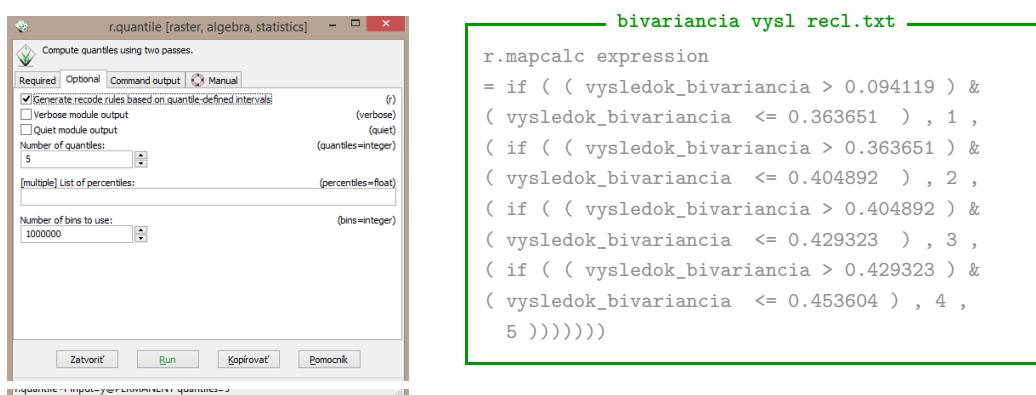
Na základe teoretických poznatkov uvedených v časti 1.5.1 boli vypočítané váhy uvažovaných parametrov. Rovnica 1.5.1 vstupuje do príkazu `r.mapcalc` v prostredí GRASSu nasledovne:

```
geology_recl2@parametricke_mapy *0.024321064 + dmr_recl2@parametricke_mapy
*0.006965557 + sklon_recl2@parametricke_mapy *0.012079364 +
expozicia_recl2@parametricke_mapy *0.003314098 + curvature_recl2@parametricke_mapy
*0.010407046 + flowlength_recl2@parametricke_mapy *0.001137231 +
mikropovodia_recl2@parametricke_mapy *0.003620071 +
landuse_recl2@parametricke_mapy *0.010138579.
```

Výstupom je rastrový model, ktorého bunky nadobúdajú hodnoty od 0.094119 až do 0.589540. Tieto hodnoty spojitého intervalu reprezentujú stupeň náchylnosti na zosúvanie. Model spolu s histogramom je na Obr. 2.21. Interval rozdelíme do piatich kategórií podľa stupňa zosuvného hazardu (veľmi nízky, nízky, stredný, vysoký a veľmi vysoký). Intervaly môžu byť rovnaké (*equal*) alebo sa na ich rozdelenie použije kvantil (*quantil*), t.j. každý z intervalov bude mať rovnaký počet buniek, prípadne sa môže aplikovať metóda prirodzených hraníc (*natural breaks*), ktorá rozdeľuje dátá s cieľom dosiahnuť minimálny rozptyl hodnôt vnútri kategórie a maximálny rozptyl hodnôt medzi kategóriami. GRASS GIS umožňuje použiť modul `r.quantile`, ktorého okno je na Obr. 2.22 vľavo. Vpravo je okno z reklassifikácie na päť konečných intervalov pomocou rastrového kalkulátora modulom `r.mapcalc`.



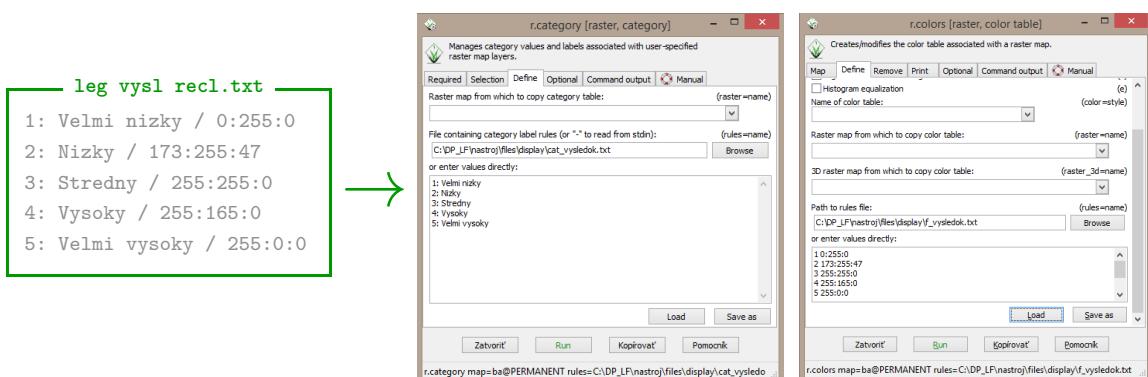
Obr. 2.21: Výsledný model a jeho histogram pred reklassifikáciou



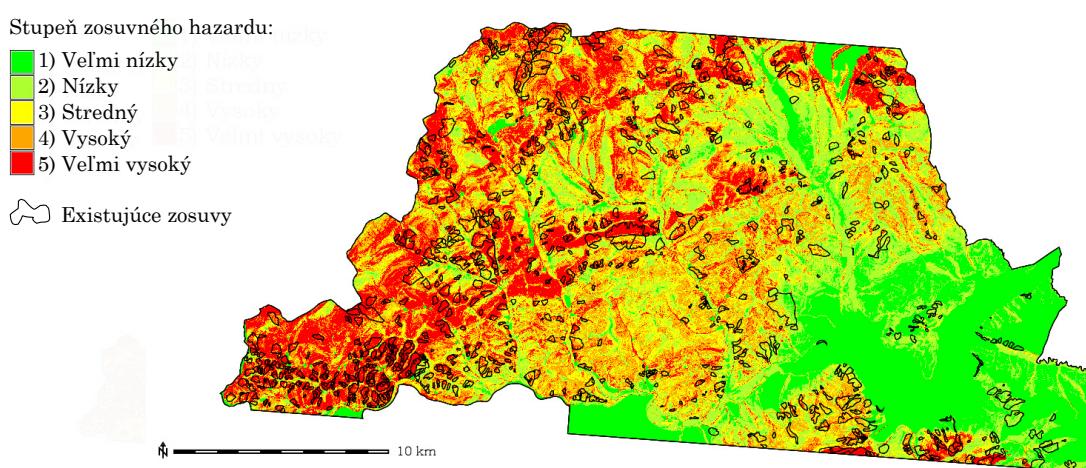
Obr. 2.22: Modul `r.quantile` a záverečná reklassifikácia

Nakoniec môžeme ešte priradiť jednotlivým kategóriám popis, prípadne farby a to pomocou modulov `r.category` a `r.colors`. Príklad je na Obr. 2.23. Celkový výsledok vykonaných príkazov je na Obr. 2.24. V legende sú čísla 1 až 5, ktoré vyjadrujú stupeň zosuvného hazardu. Z vizuálneho porovnania vytvorenej prognóznej mapy zosuvov s mapou reálnych svahových deformácií záujmového územia vidíme, že výsledok je priateľný, i keď v niektorých častiach vybočuje, resp. nepokrýva miesta, v ktorých zosovy reálne boli. S vizuálnym porovaním sa nemôžeme uspokojiť, a preto bude v kapitole 3 naznačený spôsob, ako vykonať verifikáciu výsledku, napríklad pomocou ROC kriviek, bližšie opísaných v časti 1.5.2.

Z dôvodu, že v súčasnosti GRASS GIS zatiaľ nevyhovuje náročnejším požiadavkam v tvorbe mapových výstupov, využívame alternatívne softvéry. Aby sme zostali pri open source programoch, používame Inkscape, voľný a open source grafický editor, ktorý umožňuje pridávať popisy a ďalšie prvky vo veľmi dobrej kvalite (legenda na Obr. 2.24). Ďalšou možnosťou ako produkovať grafické výstupy so všetkými kompozičnými prvkami, ktoré by mala mapa obsahovať je Quantum GIS (QGIS) – slobodný volne šíritelný geografický informačný systém. Na zobrazovanie v 3D slúži jeho plugin „qgis2threejs“. Použiteľnými programami by mohli byť aj open source softvéry gvSIG alebo GMT.



Obr. 2.23: Priradenie popisov v legende a nastavenie farieb vo výslednej prognóznej mape



Obr. 2.24: Prognózna mapa zosuvného hazardu a existujúce zosuvy regiónu severnej Oravy (bivariácia)

Kapitola 3

Automatizácia postupu

Ako bolo spomenuté v úvode diplomovej práce, nielen geoinformačné, ale všetky technológie sa v dnešnej dobe vyvíjajú veľmi rýchlo a je bežným štandardom vykonávať výpočty a iné procesy automaticky. Z dôvodu, že na Slovensku bolo vytvorených už niekoľko prác využívajúcich bivariačnú štatistickú analýzu pri hodnotení zosuvného hazardu (Pauditš & Bednárik, 2002; Pauditš, 2006; Bednárik, 2007; Petrýdesová et al., 2012) a bolo vytvorených mnoho máp zosuvného hazardu pre rôzne mierky (Jurko, 2003; Pauditš et al., 2006; Ondrášik et al., 2005; Bednárik, 2007; Krumpálová, 2008; Magulová, 2009; Petrýdesová, 2012, prvá prehľadná celoslovenská mapa zosuvného hazardu vytvorená Liščákom & Bednárikom v roku 2010 alebo rozsahom doteraz najkomplexnejšia mapa zostavená v rámci pilotného projektu *Inžinierskogeologické mapovanie svahových deformácií v najohrozenejších územiach flyšového pásma* v mierke 1:10 000, vid. [17]), je hlavnou témou tejto kapitoly opísat novovytvorený softvérový nástroj, ktorý je schopný automaticky generovať mapy náchylnosti na zosúvanie. Automatizácia procesu je ideoou softvérového nástroja s názvom PLGP – *Predict landslide with GRASS GIS and Python*. Ako už naznačuje pomenovanie, ide o pomôcku napísanú v jazyku Python využívajúcú funkcionality programu GRASS GIS.

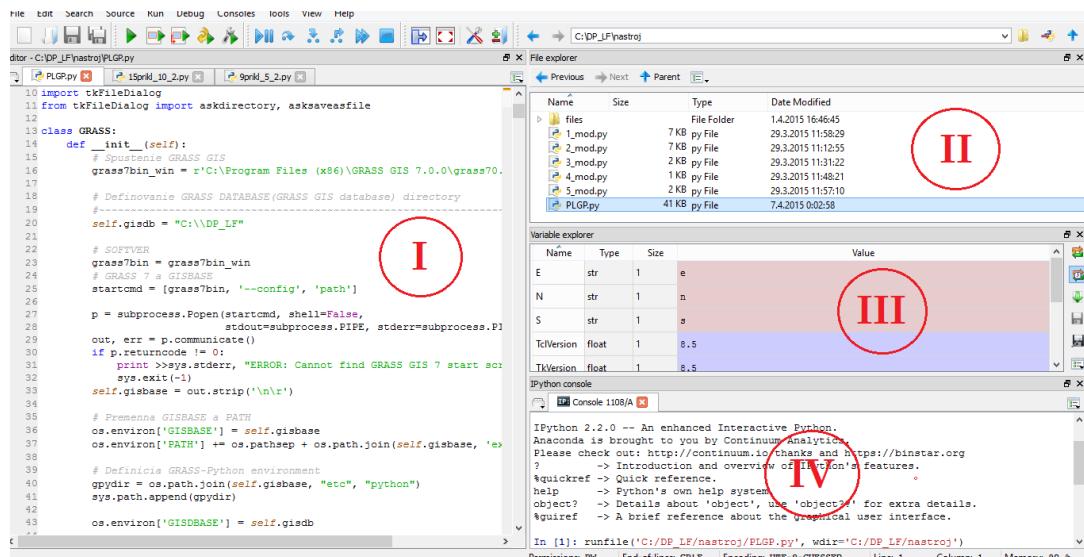
Programovací jazyk Python patrí v súčasnosti medzi najrozšírenejšie jazyky so širokou užívateľskou základňou. Rozhranie podporuje veľké množstvo externých programátorských knižníc. Python razí filozofiu „batérie sú pridané“ [7], čo znamená, že na väčšinu základných, ale aj pokročilých úloh už existuje nejaká knižnica alebo nástroj, ktorý možno použiť. Python je jedným z najviac podporovaných jazykov pre rôzne platformy.

Aplicačné rozhranie pre Python nájdeme v základných knižničach ako je GDAL, Proj4, serverových programoch ako je MapServer alebo vo webovom rozhraní GeoServer. Môžeme v ňom vytvárať vlastné moduly do desktopových programov ako je QGIS, GRASS GIS alebo Esri ArcGIS. Pre Python existuje mnoho nástrojov, vývojových prostredí, editorov a podobne. V predkladanej diplomovej práci bol naištalovaný v rámci binárnej distribúcie s názvom *Anaconda* [1]. Tá súvisí s projektom *Fedora*. Anaconda je inštalátorom Fedory. Projekt Fedora je open source projekt podporovaný komunitou a sponzorovaný spoločnosťou *Red Hat*. Využíva fóra, otvorenosť procesov, rýchle inovácie a snaží sa dosiahnuť rýchly pokrok slobodného a open source softvérového obsahu s cieľom vytvoriť čo najlepší operačný systém a platformu [9].

Nástroj PLGP bol vytvorený vo vývojovom prostredí *IDE Spyder*¹. Jedná sa o open source integrované vývojové prostredie pre Python. Spyder je „balíčkom“ distribúcie Anaconda. Reprezentujúce logo pre programovací jazyk Python, jeho distribúciu Anaconda a vývojové prostredia Spyder sú znázornené na Obr. 3.1. Obr. 3.2 reprezentuje prvý pohľad ako asi vyzerá prostredie Spyder, ak v ňom spustíme jeden zo svojich projektov. Obsahuje okná ako *Editor zdrojového kódu* (I) – editor práve otvoreného súboru s prepínaním pomocou kariet, *File Explorer* (II) – klasický strom s hierarchiou súborového systému, *Variable explorer* (III) – všetky globálne premenné a ich hodnoty, *Console* (IV) a iné.



Obr. 3.1: Programovací jazyk Python, binárna distribúcia Anaconda a vývojové prostredie Spyder



Obr. 3.2: Vývojové prostredie Spyder

Na začiatku je potrebné stanoviť si požiadavky, ktoré by budúca softvérová pomôcka mala splňať. Tu sú hlavné z nich:

- jednoduchosť, rozhranie vhodné aj pre používateľa so základným technickým vzdelaním,
- prostredie open source,
- dosiahnutie rovnakých výsledkov ako pri manuálnom spracovaní,
- možnosť meniť vstupné informácie, napríklad počet a hranice intervalov pri reklassifikáciách,
- možnosť jasne vidieť funkcionality – použité moduly, prípadne ju meniť.

¹IDE = Integrated Development Environment, Spyder = Scientific Python Development Environment

3.1 Softvérový nástroj PLGP

3.1.1 Základný popis

Postup použitia nástroja PLGP bude podrobne opísaný v častiach 3.1.2 až 3.1.4. Je určený nielen pre geológov, ale pre všetkých, ktorých zaujíma aplikácia geoinformatiky v rôznych oblastiach vedy. Nosnou metódou založenou na GIS je bivariačná analýza s váhou parametra ako celku. Princíp metódy bol teoreticky opísaný v časti 1.5.1 a prakticky aplikovaný na území severnej Oravy v kapitole 2. Softvérový nástroj zahŕňa proces od tvorby parametrických máp, prvotní a druhotní reklassifikáciu, výpočet váh až po dosiahnutie prognóznej mapy zosuvného hazardu. Pre lepšiu ilustratívnosť o správnosti, presnosti a precíznosti modelu sa nástroj navyše zmieni aj o spôsobe verifikácie dosiahnutých výsledkov.

Dôležitou súčasťou sú tzv. modely vytvorené pomocou *grafického modelera GRASS GIS*. Schémy (analógia algoritmov) budú priebežne predstavené pri konkrétnom kroku spracovania. Ide o interaktívny nástroj umožňujúci grafickou formou vytvárať, editovať, spravovať komplexné modely a modelovať geopriestorové analýzy pomocou piateľského rozhrania, ktoré je súčasťou wxGUI². Pri vykonávaní analytických operácií v prostredí GRASS jednotlivé operácie nie sú izolované, ale sú súčasťou refazca operácií. Vďaka grafickému modeleru možno refazce procesov, napríklad moduly zabalíť do jedného procesu – modelu. Potom stačí iba mierne zmeniť vstupné hodnoty alebo parametre modelu a po spustení sa celý proces vykoná sám. V rámci grafického modelera môžeme definovať dátové položky (rastrové, vektorové, priesitorové mapy), definovať akcie – príkazy GRASS GIS, vzťahy medzi dátami a funkciami, definovať cykly, podmienky, premenné modelu a podobne. Ďalej môžeme validovať, spustiť model, exportovať ho do súboru (súbor *.gxm), do Python skriptu (*.py) alebo ako obrázok (*.png/*.jpg/*.gif).

3.1.2 Inštalácia potrebných programov

Nevyhnutnou podmienkou pre správne rozbehnutie nástroja je mať v počítači nainštalovaný program GRASS GIS. Pod operačným systémom MS Windows možno systém GRASS nainštalovať dvoma spôsobmi:

1. pomocou tzv. *natívneho inštalátora*,
2. v rámci *OSGeo4W frameworku*.

Postup pre oba spôsoby je dostupný napríklad v [8] v časti s názvom „Instalace“.

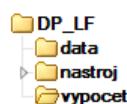
Ďalším predpokladom je vývojové prostredie na spustenie python skriptu PLGP.py, napríklad spomínané IDE Spyder. Inštalácia je veľmi jednoduchá. Ako bolo uvedené už vyššie, Spyder je súčasťou distribúcie Anaconda a tú možno intuitívne nainštalovať napríklad z [1]. Po inštalácii Anaconda nie je potrebné urobiť nič iné, iba do príkazového riadku napísať **Spyder**. Samotná Anaconda obsahuje aj grafický spúšťač, tzv. *Anaconda Launcher*, ktorý umožní spustiť Spyder jediným kliknutím z menu „Start“.

²ide o novú generáciu GUI (Graphical User Interface = grafického používateľského rozhrania) pre GRASS GIS napísanú v jazyku Python používajúcim wxPython knižnicu, ktorá je nástupcom Tcl/Tk GUI staršej verzie GRASS GIS 6

3.1.3 Dáta a ich umiestnenie

Na začiatku je potrebné vytvoriť priečinok, kde budeme všetko ukladať, niečo ako databáza súborov, s ktorými pracujeme, napríklad C:\DP_LF, pričom ten pozostáva z (Obr. 3.3):

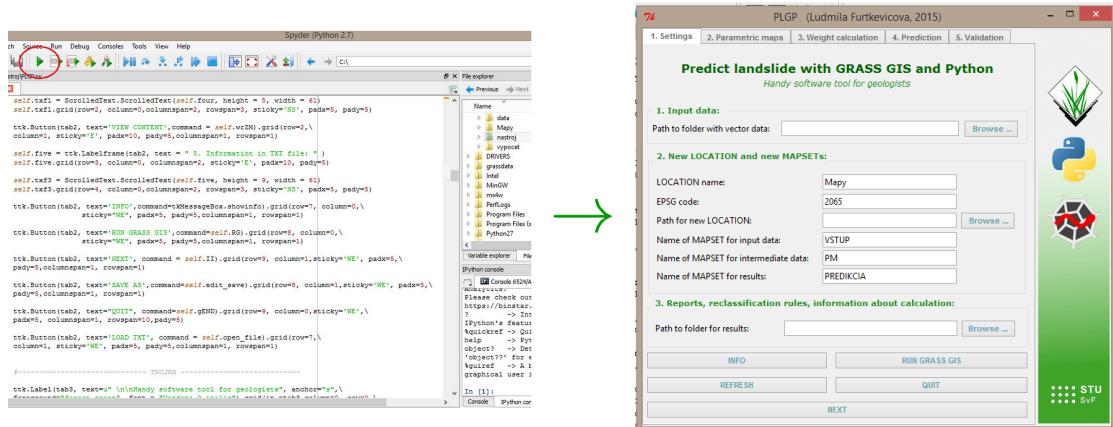
1. **data** – priečinok pre päť vstupných vektorových vrstiev: záujmové územie, litologické jednotky, výskopis, polohopis a zosuvy skúmaného územia,
2. **nastroj** – zahŕňa
 - päť modelov *.gxm,
 - skript PLGP.py,
 - **file**: obsahuje pomocné súbory, s ktorými používateľ môže, ale nemusí pracovať, napríklad obrázok GUI.gif, šablóny pre mapové výstupy, atď.,
3. **vypocet** – ostáva prázdný a bude automaticky napĺňaný počas výpočtu.



Obr. 3.3: Usporiadanie priečinkov pre správne fungovanie nástroja

3.1.4 Spustenie nástroja a popis funkcií

Ako hovorí názov, pristúpime k samotnému spusteniu python skriptu s názvom PLGP.py, ktorý je súčasťou „balíčka“ **nastroj**. Do prostredia Spyder je možné dostať sa priamo z ikony na pracovnej ploche . Vo *File explorer* vyhľadáme súbor PLGP.py a spôsobom „drag and drop“ ho presunieme do okna *Editor* alebo ho načítame cez *File → Open*. Ďalej pokračujeme stlačením a zobrazí sa hlavné okno nástroja (Obr. 3.4), ktoré je rozdelené na päť záložiek sprehľadňujúcich celý priebeh.



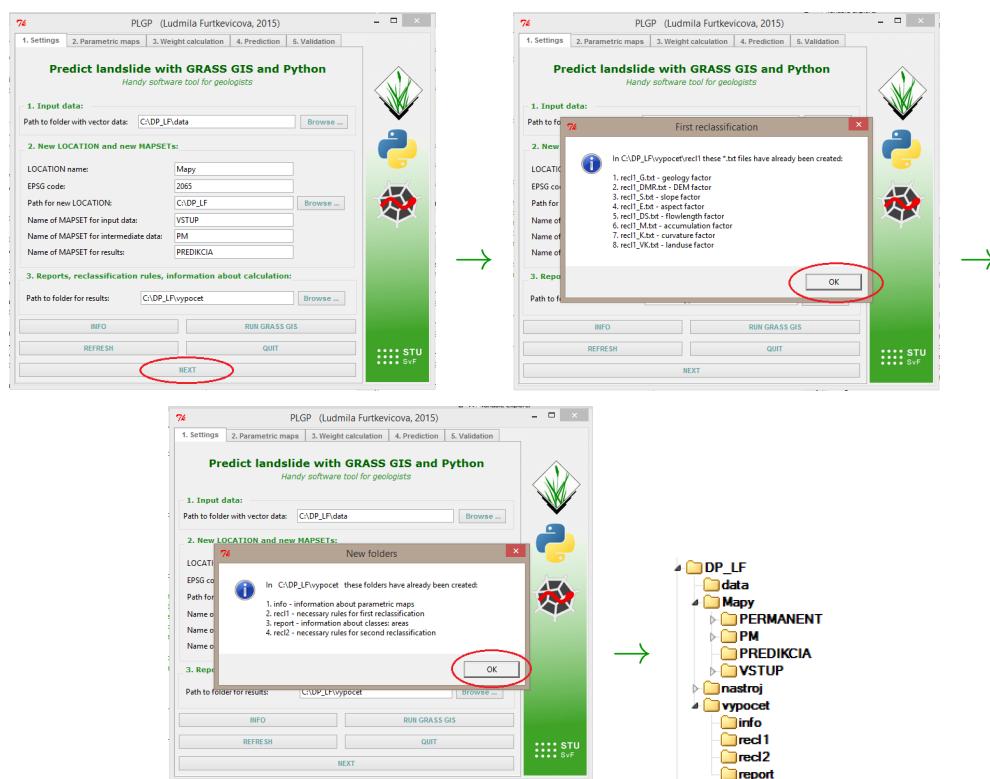
Obr. 3.4: Spustenie softvérového nástroja

1. ZÁLOŽKA (Settings)

Po spustení musíme vyplniť nastavenia. Predvolene sú zadané niektoré položky ako názov lokácie, EPSG kód pre SJTSK, názvy mapsetov pre vstupné dátu, medzivýsledky a výsledky, no tieto položky je možné naraz vymazať tlačidlom **REFRESH** a zadať odznovu.

Ďalej je potrebné nastaviť cestu k vstupným dátam, napríklad C:\DP_LF\data a ďalšie cesty k priečinkom, ktoré sme si pripravili v časti 3.1.3, napríklad c:\DP_LF a C:\DP_LF\vypocet. Po stlačení NEXT sa zobrazí kontrolné okno, či chceme naozaj pokračovať pri tvorbe lokácie a zadaných mapsetov. Navyše nás informuje o automatickom vytvorení neskôr potrebných priečinkov a zatial prázdnych *.txt súborov, vid. Obr. 3.5. Potom nás vyzve k pokračovaniu druhou záložkou.

Poznámka: Okrem REFRESH a NEXT sú súčasťou prvej záložky aj tlačidlá QUIT, ktorým možno ukončiť a zavrieť okno, tlačidlo INFO, ktoré zobrazí pomocné informácie k správnemu použitiu nástroja v rámci aktuálnej záložky a tlačidlo RUN GRASS GIS, ktoré spustí prostredie softvéru GRASS GIS.



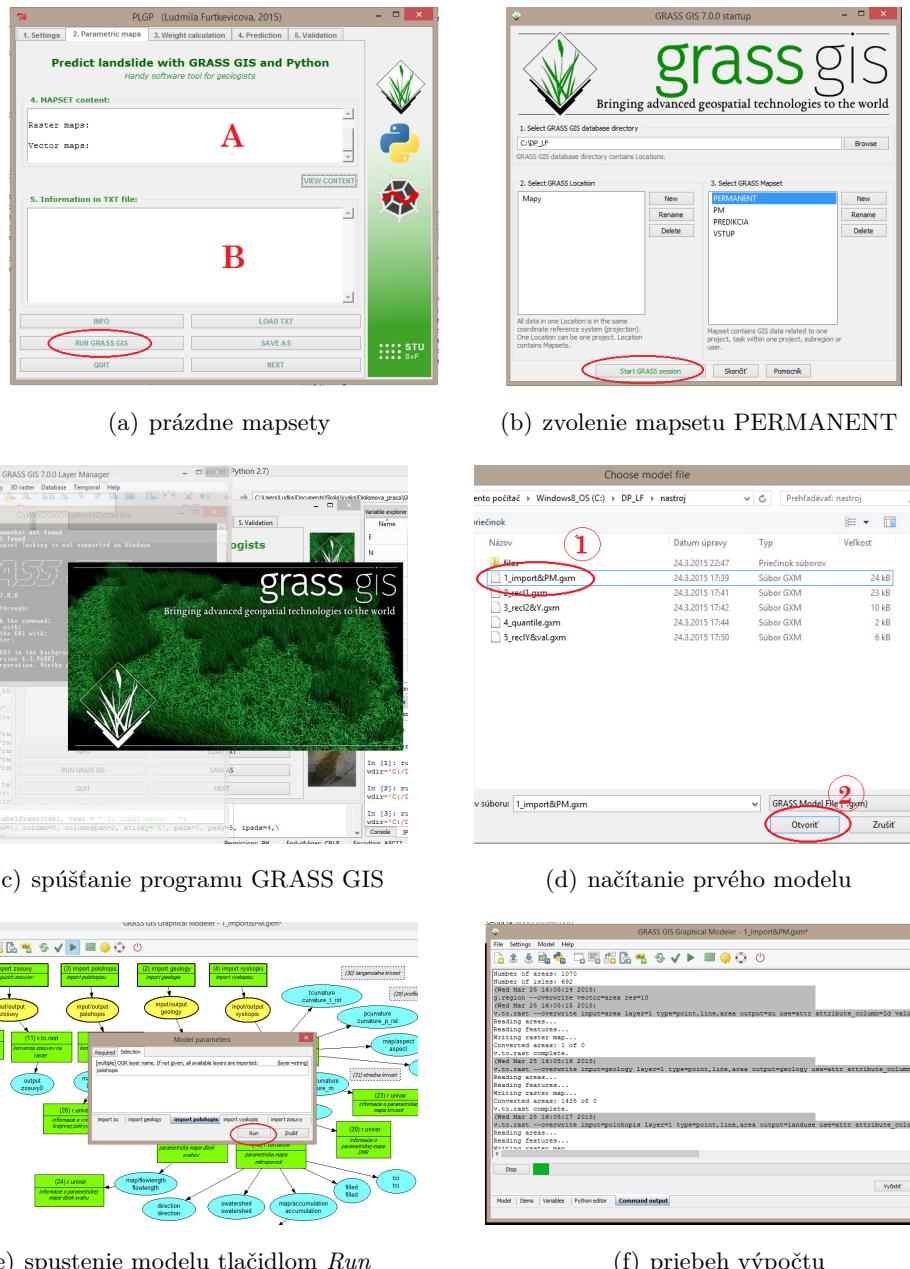
Obr. 3.5: Vytvorenie potrebných priečinkov a súborov po prvom kroku

2. ZÁLOŽKA (Parametric maps)

Predmetom tejto časti je tvorba parametrických máp. Záložka obsahuje dve polia (A a B na Obr. 3.6 a). Prvé z nich sa týka aktuálneho obsahu vytvorených mapsetov. Zobrazíme ho tlačidlom VIEW CONTENT. Kedže sme ešte nič neurobili, logicky mapsety neobsahujú žiadne rastrové ani vektorové mapy. V tomto kroku je už nevyhnutné spustiť prostredie GRASS GIS, na čo slúži voľba RUN GRASS GIS.

Po zobrazení úvodného okna nastavíme *database directory*, zvolíme mapset PERMANENT a spustíme *Start GRASS session*, vid. Obr. 3.6c. V hornej lište nájdeme položku , pomocou  vyberieme z priečinka **nastroj** model s názvom **1_import&PM.gxm**, vid. Obr. 3.6d a spustíme ho cez . Následne sa zobrazí okno *Model parameters*, kde ešte môžeme zmeniť prednastavenú cestu, prípadne niektorý z názvov vstupných vektorových vrstiev. Zvolíme *Run*. Pre skúmané záujmové územie s celkovou plochou 550 km² výpočet trvá niečo cez sedem hodín,

pričom 80 až 90% času zaberie interpolácia povrchu, t.j. modul `v.surf.rst`. Týmto modelom v podstate vykonáme všetky kroky opísané v kapitole 2.3. Ak sa vrátíme opäť do druhej záložky nástroja PLGP a stlačíme VIEW CONTENT, mal by sa zobraziť zoznam všetkých importovaných a doteraz vytvorených máp. Z nich nás bude najviac zaujímať osem parametrických máp ovplyvňujúcich svahové deformácie: rastrová mapa litologických celkov, digitálny model reliéfu, sklon svahu, orientácia voči svetovým stranám, stredná krivost, pokrývka krajiny, prispievajúce plochy a dĺžka svahu.

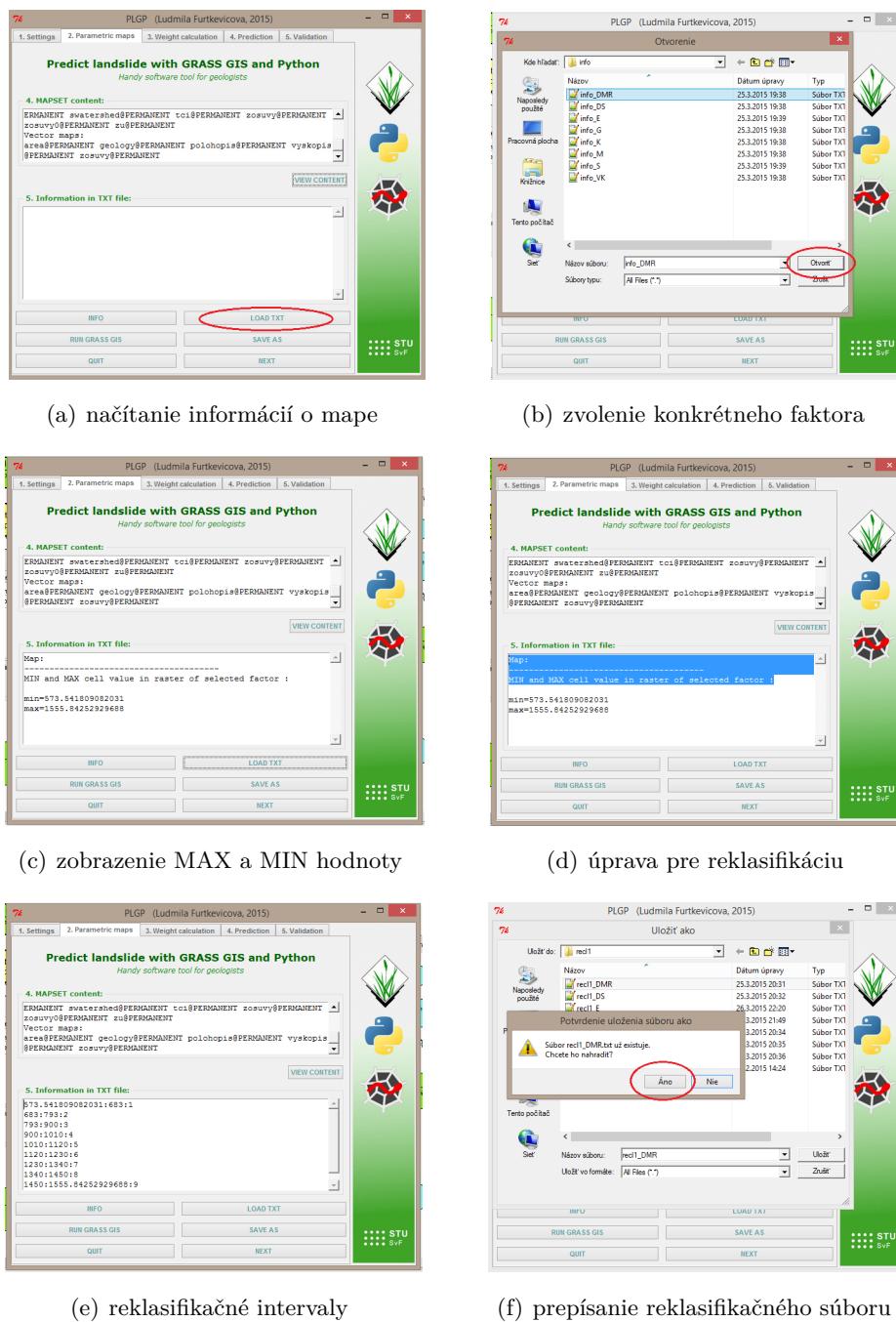


Obr. 3.6: Import dát a tvorba parametrických máp v rámci druhej záložky

Pole B v dolnej časti druhej záložky slúži na zistenie maximálnej a minimálnej hodnoty každej z parametrických máp s cieľom vytvoriť reklassifikačné pravidlá pre prvotnú reklassifikáciu. Pri výpočte sa vytvoria textové súbory `info_%parameter%.txt` a to zásluhou

modulu `r.univar`. Tlačidlom **LOAD TXT** konkrétny textový súbor otvoríme (prednastavená cesta je `C:\DP_LF\vypocet\info`). Následne sa v okne priamo zobrazí maximálna a minimálna hodnota rastrovej mapy. V skutočnosti súbory obsahujú všetky informácie, ktoré modul `r.univar` produkuje a tak si ich môže používateľ kedykoľvek opäť pozrieť ako klasický textový súbor.

Zobrazené informácie upravíme do tvaru, ktorý bude potrebný pre prvotnú reklassifikáciu parametrických máp pomocou modulu `r.recode`, kde sú hodnoty oddelené dvojbodkou. Vzor sa používateľovi zobrazí po stlačení **INFO**. Cez **SAVE AS** intervale uložíme do vopred pripraveného prázdneho textového súboru `recl1_%parameter%.txt`, ktorý jednoducho prepíšeme. Cesta k tomu správnemu je opäť prednastavená (`C:\DP_LF\vypocet\recl1`).

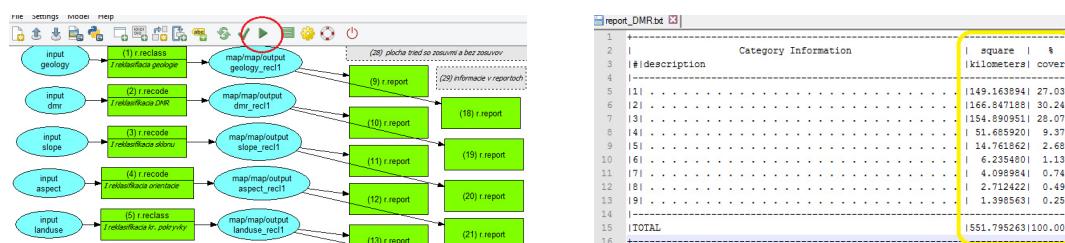


Obr. 3.7: Zobrazenie informácií o parametrických mapách a príprava pre prvotnú reklassifikáciu

Tento postup urobíme pre každú z ôsmich parametrických máp, pričom pri reklassifikácii litologických celkov a súčasného využitia krajiny vytvoríme pravidlá pre modul `r.reclass`. Keď máme všetky reklassifikačné pravidlá pripravené, môžeme pokračovať prvotnou reklassifikáciou. Rovnakým spôsobom ako pri prvom modeli, spustíme druhý model `2_recl1.gxm`, ktorého celá podoba sa nachádza na Obr. 3.8 dole. Jeho výsledkom je šestnásť textových súborov, vid. Obr. 3.15 s názvami `report_%parameter%.txt` a `report_%parameter%_z.txt`, ktoré obsahujú informácie o ploche každej triedy a ploche zosuvov v triede, vid. kapitola 2.5.



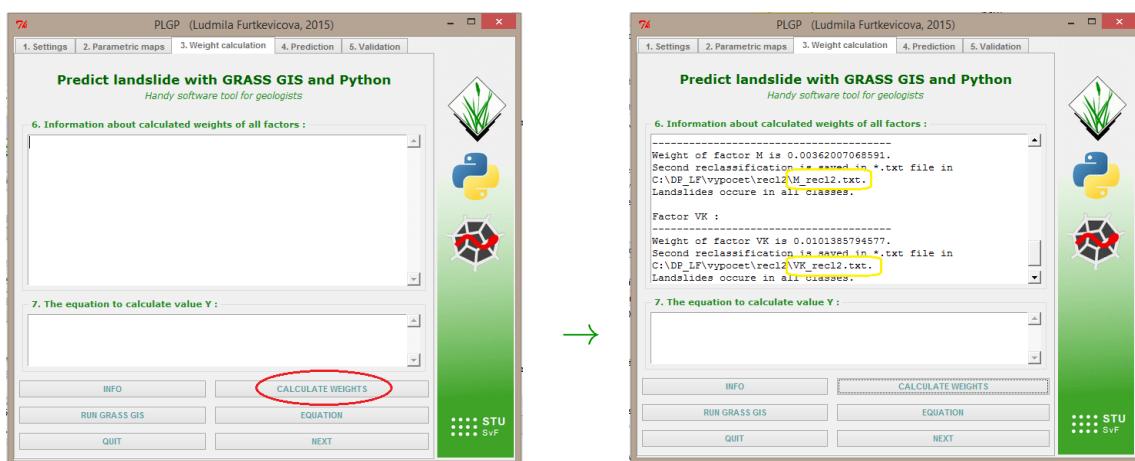
Obr. 3.8: Modely v rámci druhej záložky



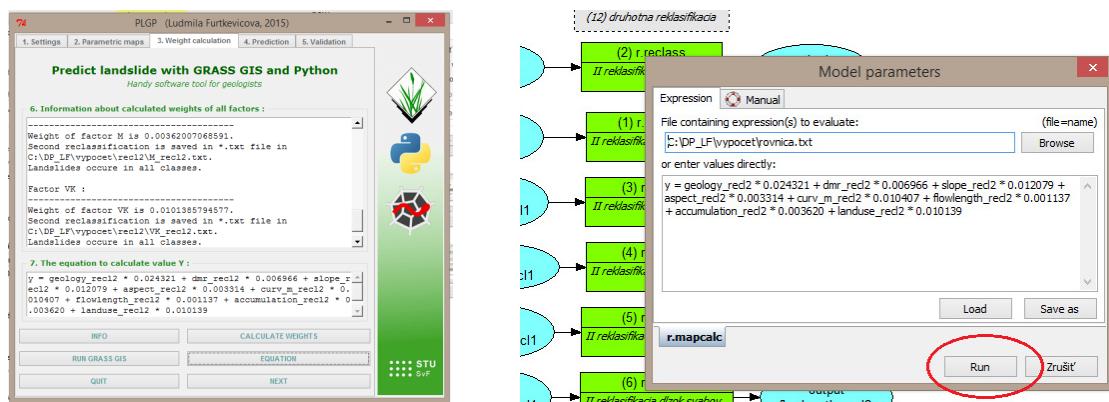
Obr. 3.9: Spustenie druhého modelu a vygenerované reporty o ploche a percentuálnom zastúpení

3. ZÁLOŽKA (Weight calculation)

Máme vytvorené parametrické mapy, máme ich dokonca prvotne reklassifikované, máme prístup k súborom o ich vlastnostiach, k súborom o plochách tried so zosuvmi aj bez zosuvov. Spíňame teda všetky predpoklady na to, aby sme pristúpili k výpočtu váh každého z parametrov. Práve to je úlohou tejto záložky. Jediným stlačením tlačidla **CALCULATE WEIGHTS** sa vykoná celý výpočet a automaticky sa vytvoria textové súbory pre druhotnú reklassifikáciu. Príklad je na Obr. 3.10. V hornom poli záložky sa pre konkrétny parameter objaví váha faktora, názov a cesta k textovému súboru pre sekundárnu reklassifikáciu a informácia o tom, či sa zosuvy nachádzajú vo všetkých triedach parametra. K reklassifikačnému súboru možno opäť kedykoľvek pristupovať, editovať ho a pracovať s ním ako s klasickým textovým súborom. Po stlačení tlačidla **EQUATION** sa v dolnom okne tretej záložky objaví výsledná rovnica. Tento vzťah bol už v kapitole 2.6 a jeho výsledkom je rastrová mapa, ktorej bunky reprezentujú stupeň náhľnosti na zosúvanie. Osem reklassifikačných tabuliek vo forme textových súborov a táto rovnica sú vstupom pre tretí model s názvom **3_rec12.gxm** (Príloha B na Obr. B.1), ktorý spustíme tak ako predošlé dva modely. Vytvorí sa osem druhotne reklassifikovaných parametrických máp spolu s výslednou mapou „y“.



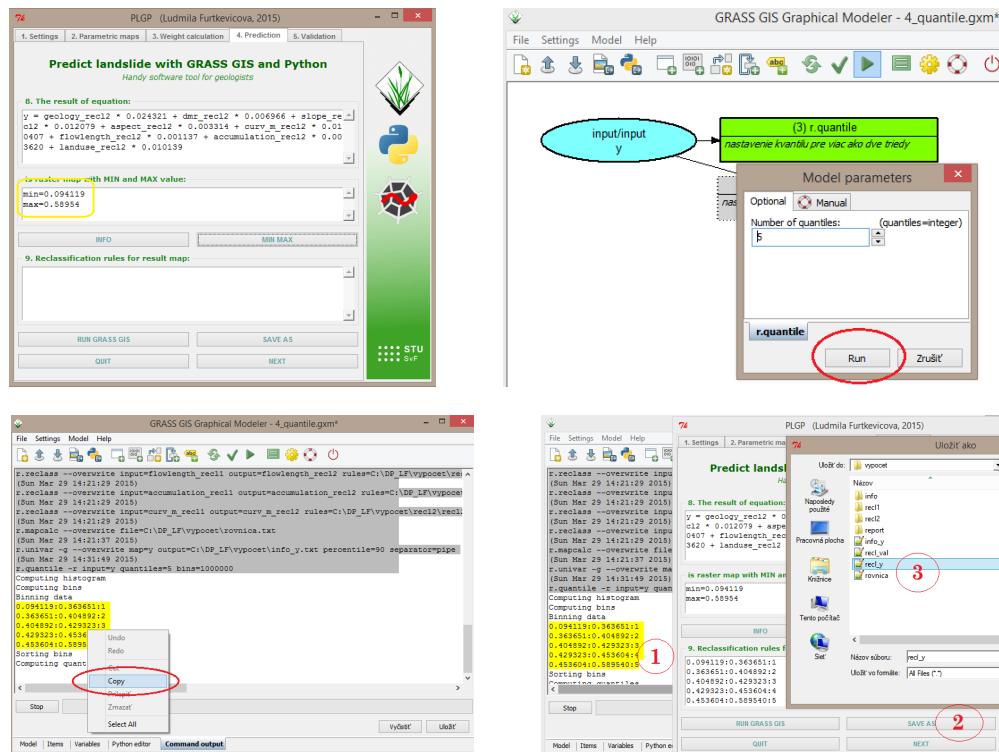
Obr. 3.10: Zobrazenie informácií o váhach a súbory pre druhotnú reklassifikáciu



Obr. 3.11: Zobrazenie hlavnej rovnice v tretej záložke a jej výpočet

4. ZÁLOŽKA (Prediction)

Obsahom sú tri polia. Prvé dve sa týkajú hlavnej rovnice a jej výsledku. Po stlačení MIN MAX sa v druhom okne zobrazí minimálna a maximálna hodnota rastrovej mapy, ktorá je výsledkom rovnice z predchádzajúcej záložky. Tretie pole slúži na vytvorenie reklassifikačných pravidiel pre rastrovú mapu „y“. Postup je obdobný ako to bolo pri II. záložke pri reklassifikačných pravidlách pre prvotnú reklassifikáciu. Tu budeme prepisovať prázdný textový súbor s názvom `y_recl.txt` v prípade, že chceme vytvoriť mapu s viac ako dvoma kategóriami. V kapitole sme spojity interval výslednej rastrovej mapy delili do piatich kategórií podľa stupňa zosuvného hazardu (veľmi nízky, nízky, stredný, vysoký a veľmi vysoký) a na určenie reklassifikačných intervalov sme použili modul `r.quantile`. Presne to isté urobíme aj teraz a to spustením štvrtého modelu s názvom `4_quantile.gxm`. Po prebehnutí modelu sa v okne GRASS GIS Graphical Modeler objavia intervaly vo formáte vhodnom pre modul `r.recode`. Tieto intervaly iba skopírujeme do tretieho poľa štvrtej záložky a prepíšeme súbor `y_recl` (Obr. 3.12).

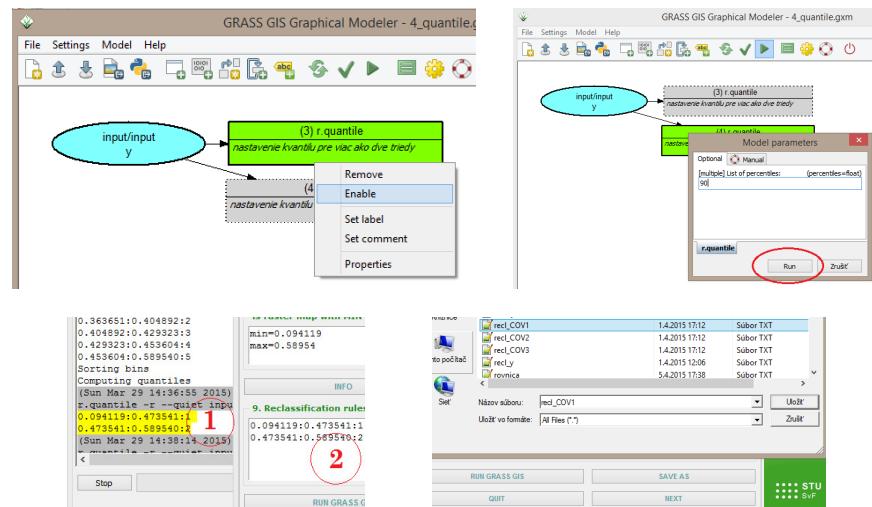


Obr. 3.12: Zobrazenie minimálnej a maximálnej hodnoty vo výslednej mape, použitie štvrtého modelu na vytvorenie reklassifikačných intervalov a prepísanie pripraveného textového súboru

5. ZÁLOŽKA (Validation)

Poslednou časťou je verifikácia dosiahnutých výsledkov. Teoretická časť k tejto záložke sa nachádza v kapitole 1.5. Budeme kombinovať výslednú rastrovú mapu „y“ a mapu existujúcich zosuvov. Najprv musíme vytvoriť výslednú prognóznu mapu s dvoma kategóriami, t.j. binárny raster – výskyt zosuvov/absencia zosuvov. Hlavnou otázkou je stanovenie hranice týchto kategórií, tzv. „cutoff value“. Jednou z možností, ako ju nájsť je opäťovné použitie štvrtého modelu. Upravíme ho tak, že nastavíme druhé poličko ako *Enable* a po spustení ➤ zadáme

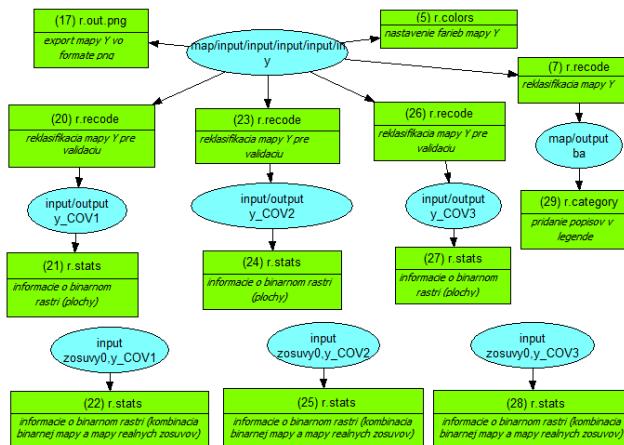
hodnotu *Percentiles*. Zobrazené dva intervale skopírujeme. Na to, aby sme mohli zobrazit ROC krivku, potrebujeme minimálne tri hranice (tri body). Preto musíme naplniť tri súbory s názvom **recl_COV1.txt**, **recl_COV2.txt** a **recl_COV3.txt**



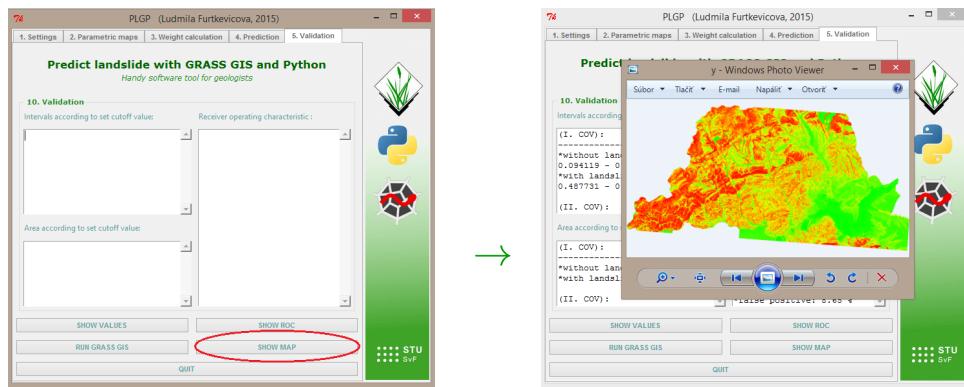
Obr. 3.13: Vytvorenie reklassifikačných pravidiel pre binárne rastre

Potom otvoríme posledný model (**5_recl.y.gxm** na Obr. 3.14). Jeho výsledkom je prognózna mapa zosuvného hazardu totožná s tou na Obr. 2.24.

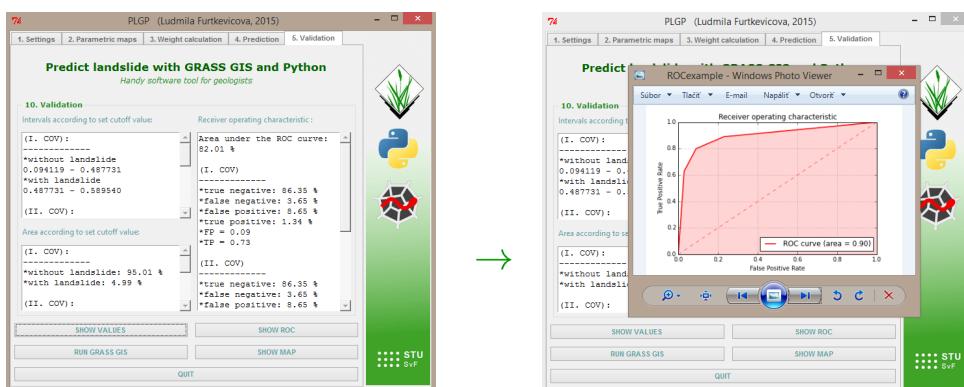
Po stlačení **SHOW VALUES** sa zobrazia intervale, na základe ktorých boli vytvorené binárne rastre, percentuálne zastúpenie územia so zosuvmi a bez zosuvov v týchto rastroch, plocha pod ROC krivkou a ďalšie súvisiace hodnoty. Tlačidlom **SHOW MAP** zobrazíme prognóznu mapu. Ide však len o orientačný obrázok bez legendy a bez prekrytie s vektorovou mapou existujúcich zosuvov. Slúži používateľovi na predbežné zhodnotenie, či postupoval správne a či získal zmysluplný výsledok. Tlačidlo **SHOW ROC** zobrazí príslušnú ROC krivku. Takto môžeme opakovat postup viackrát a meniť intervale pre rôzne „cutoff values“ až kým nedosiahneme požadovanú plochu pod ROC krivkou, t.j. úspešný model. Predmetom tejto diplomovej práce nebolo nájsť tieto hodnoty, preto je na Obr. 3.16 len naznačené, ako by ROC krivka mohla vyzerat. Zoznam všetkých priečinkov a súborov na konci výpočtu nástrojom PLGP je uvedený v Prílohe D.



Obr. 3.14: Piaty model



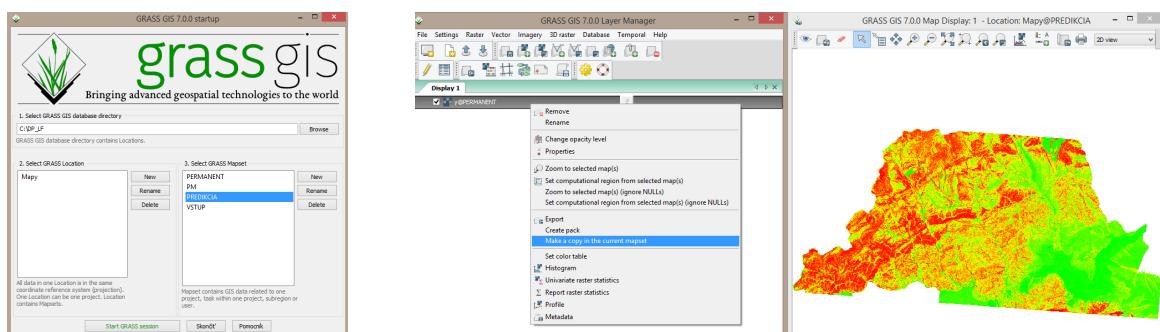
Obr. 3.15: Piata záložka softvérového nástroja a orientačné zobrazenie výslednej mapy



Obr. 3.16: Zobrazenie informácií v rámci piatej záložky a príklad zobrazenia ROC kriky

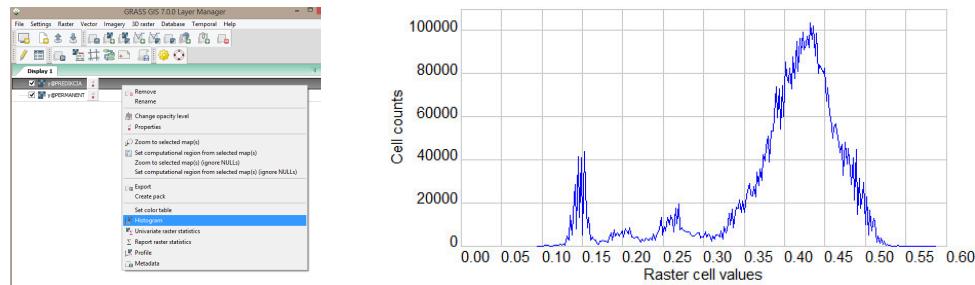
Všetky doteraz importované a vytvorené mapy, rastrové aj vektorové ostávajú uložené v mapsete PERMANENT a používateľ k nim môže kedykoľvek pristupovať. V prostredí GRASS GIS alebo Quantum GIS môže vytvoriť mapové výstupy a mapy prezentovať rovnako ako to bolo napríklad na Obr. 2.6 a ďalších. Na takúto, prípadne inú ďalšiu prácu s mapami slúžia mapsety, ktoré boli vytvorené na začiatku, viď. opis prvej záložky na strane 32.

Spustíme GRASS GIS, napríklad tlačidlom RUN GRASS GIS a zvolíme mapset PREDIKCIA. V rámci jednej lokácie môžeme z ktoréhokoľvek mapsetu pristupovať ku všetkým mapám, ktoré sú v mapsete PERMANENT. Cez ikonu pridáme napríklad rastrovú mapu „y“. Najprv modulom `g.copy` alebo z kontextového menu správcu vrstiev vytvoríme v aktuálnom mapsete lokálnu kópiu (pravým tlačidlom myši a voľbou *Make a copy in the current mapset*).



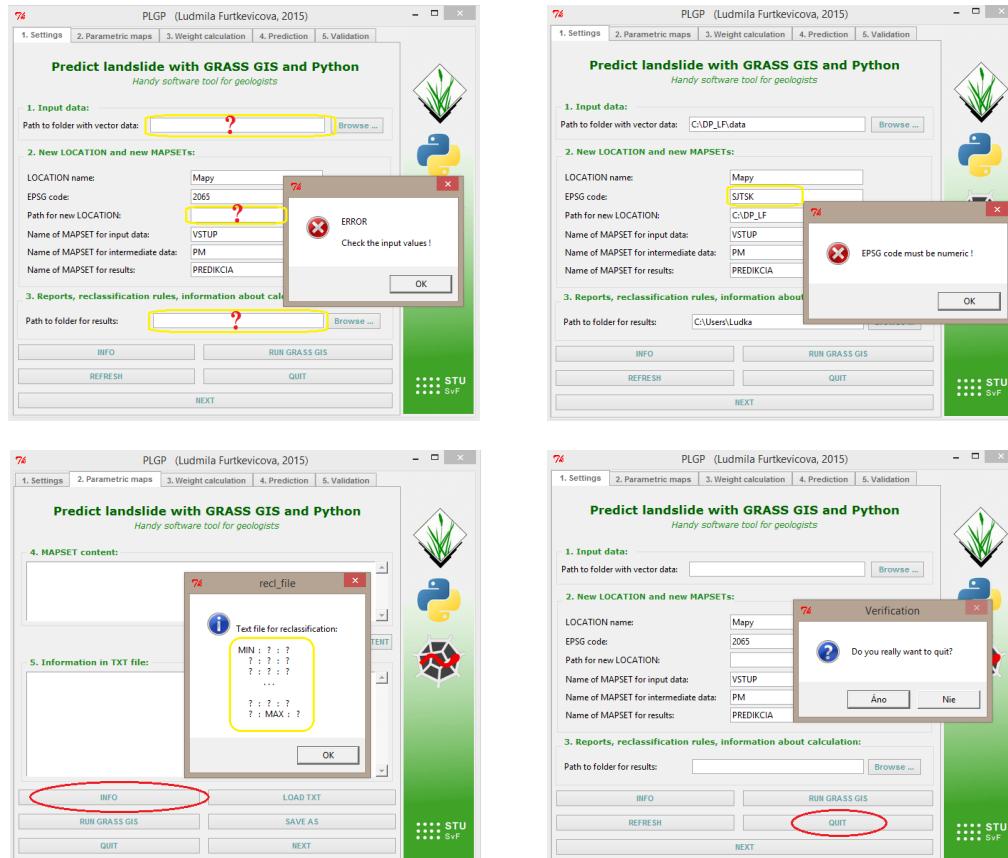
Obr. 3.17: Vytvorenie kópie rastrovej mapy do aktuálneho mapsetu

Potom s ňou môžeme ďalej samostatne pracovať, pričom pôvodná mapa ostane neporušená v mapsete PERMANENT. Do mapového okna môžeme pridať základné mapové elementy ako legendu, severku, text, prípadne použiť inú funkcia dostupnú z nástrojovej lišty mapového okna. Na ukážku znázorníme histogram rastrového modelu „y“, ktorý sme vytvorili pomocou nástroja PLGP a ktorého bunky reprezentujú stupeň náchylnosti na zosúvanie zvolením *Histogram*, vid. Obr. 3.18.



Obr. 3.18: Histogram výsledného modelu „y“ vytvoreného pomocou softvérového nástroja PLGP

Okrem povinných a nutných funkcií nástroj upozorní užívateľa napríklad pri nevyplnení všetkých povinných políčok alebo pri nesprávnom zadaní EPSG kódu (Obr. 3.19). Každá záložka obsahuje tlačidlo INFO, ktoré cielom je pomôcť pri práci a tlačidlo QUIT, ktoré ukončí prácu v akejkolvek fáze.

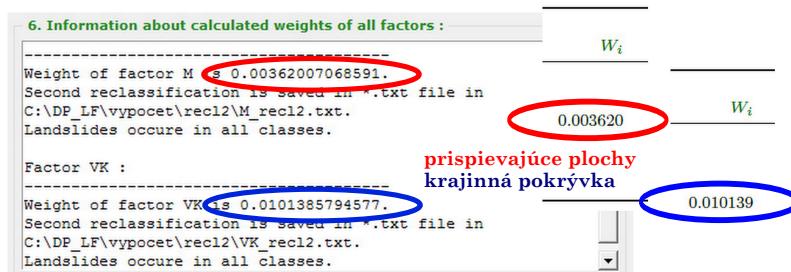


Obr. 3.19: Upozornenie pri nevyplnení alebo zlom vyplnení povinných položiek, tlačidlá INFO a QUIT

3.2 Zhodnotenie automatizácie

3.2.1 Splnené požiadavky a overenie softvérového nástroja

V úvode kapitoly 3 na strane 30 boli opísané niektoré požiadavky, ktoré by softvérový nástroj mal splniť. Možno zhodnotiť, že všetky z týchto cieľov sú splnené. Prácu s nástrojom by mal zvládnuť naozaj každý, kto si podrobne prečíta návod uvedený v tejto kapitole. Na dosiahnutie požadovaných výsledkov pri tom potrebuje len Windows a štandardne dva open source programy, GRASS GIS a vhodnú distribúciu Pythonu. Obr. 3.15 vpravo a histogram výsledného modelu na Obr. 3.18 sú dôkazom, že nástroj produkuje rovnaké výsledky, ako sme dosiahli manuálne v kapitole 2 na Obr. 2.21. Okrem rovnakých hodnôt vo výsledných rastrových modeloch „y“ z manuálneho a automatického výpočtu o správnosti hovoria aj rovnaké hodnoty váh. Váhy vypočítané manuálne pomocou prostredia Microsoft Excel sú uvedené v stĺpci s názvom W_i v Tab. A.3 a Tab. A.4, ktoré sú súčasťou Prílohy A. Váhy vypočítané softvérovým nástrojom PLGP znázorňujú Obr. 3.10 a Obr. 3.11 v rámci tretej záložky nástroja. Príslušné vzťahy boli opísané v časti 1.5.1, pričom podrobne opísaný manuálny výpočet váh je možné nájsť napríklad v [3]. Pre názornejšiu a rýchlejšiu predstavivosť je porovnanie váh pre faktor prispievajúcich plôch a krajinnej pokrývky na Obr. 3.20. Z uvedeného vyplýva, že dosahujeme rovnaké výsledky ako pri manuálnom vykonaní.



Obr. 3.20: Porovnanie hodnôt váh – nástroj PLGP vs. manuálny výpočet

Pri reklassifikáciách môže používateľ zadať počet a hranice intervalov, aké potrebuje a sú mu k dispozícii ako textové súbory. Použitie grafického modelera umožňuje vidieť, ktoré moduly konkrétny model využíva a tiež aj poradie, v akom sú prevádzzané za sebou.

3.2.2 Námety na zlepšenie

V budúcnosti by bolo možné popracovať na inom spôsobe spúšťania modelov, napríklad priamo z prostredia PLGP, zlepšiť mapový výstup bivariačnej analýzy, napríklad pridať legendu, mierku a ďalšie mapové prvky alebo automaticky vytvoriť mapové výstupy pre ktorúkolvek mapu v mapsete. Možno by bolo zaujímavé usilovať sa o to, aby si mohol používateľ vyberať z ponuky alternatívnych modulov, napríklad spôsob interpolácie vrstevníc alebo z ponuky alternatívnych produktov, napríklad pri parametrickej mape krivosti reliéfu by boli namiesto stredných použité horizontálne krivosti a podobne. V aktuálnej podobe je nutné na začiatku použiť päť vektorových vrstiev a to záujmové územie, litologické jednotky, výškopis, polohopis a zosuvy skúmaného územia. Vstupné dátá v takomto tvare boli použité napríklad v práci

Bednárika [3] alebo Tornyaia a Dunčka [31], ktorí bivariačnú analýzu aplikovali vo viacerých svojich prácach. V prípade, že by bol k dispozícii dostatočne presný digitálny model reliéfu a nie vektor vrstevníc, nástroj by sme museli mierne prerobiť. Z toho vyplýva ďalší návrh na zlepšenie, t.j. upravíť nástroj pre rôzne typy vstupných dát a rôzny počet ovplyvňujúcich faktorov. Ukážka kódu softvérového nástroja je na Obr. 3.21. Celý vo forme PLGP.py je spolu s ďalšími súčasťami elektronickej Prílohy D.

```
#Funkcia na ziskanie PATH, kde sú uložené vstupné data
def openV(self):
    self.E21.delete(0,"end")
    #DEFAULT CESTA
    priecinok = askdirectory(initialdir="C:\\\\DP_LF\\\\data")
    self.cestaV = os.path.abspath(priecinok)
    self.E21.insert(0, self.cestaV)
    self.cestaV = self.cestaV.encode("ascii","ignore")
    return self.cestaV

#Funkcia na ukončenie prace v PLGP
def gEND(self):
    if tkMessageBox.askyesno('Verification', 'Do you really want to quit?'):
        self.gui.destroy()
    else:
        tkMessageBox.askretrycancel("No", 'Press ENTER to continue')

#Vytvorenie lokacie a mapsetov
def createL(self):
    import grass.script as gscript
    import grass.script.setup as gsetup
    import grass.script.core as gcore
    cestaL = self.Gobj.gisdb
    nameL = self.nameL
    epsg = self.epsg
    mapset = self.nameMV
    mapset1 = self.nameMM
    mapset2 = self.nameM
    gisbase = self.Gobj.gisbase
    gsetup.init(gisbase, cestaL, nameL, "PERMANENT")
    gcore.create_location(cestaL, nameL, epsg=epsg, proj4=None, filename=None, wkt=None,\n    datum=None, datum_trans=None, desc=None, overwrite=True)
    gscript.run_command("g.mapset",overwrite = True,mapset = mapset, flags="c")
    gscript.run_command("g.mapset",overwrite = True,mapset = mapset1, flags="c")
    gscript.run_command("g.mapset",overwrite = True,mapset = mapset2, flags="c")

#Funkcia na spustenie GRASS GIS po stlacení pristusného tlacidla
def RG(self):
    try:
        os.startfile(r'C:\\Program Files (x86)\\GRASS GIS 7.0.0\\grass70.bat')
    except:
        tkMessageBox.showwarning("", "Cannot run GRASS GIS.")
```

Obr. 3.21: Ukážka kódu softvérového nástroja PLGP

Záver

Tvorba predikčných máp zosuvov a hodnotenie hazardu má veľký význam pri územnom plánovaní alebo môže slúžiť poistovniám pri poistovaní oblastí, ktoré sú ohrozené zosuvmi. Podrobne vyhodnotenie hazardu môže ušetriť vysoké finančné náklady na možné sanácie v budúcnosti. Hlavným zámerom je zvýšiť bezpečnosť nás ľudí.

V roku 2001 vyšla smernica Ministerstva životného prostredia SR [29], ktorá zaväzuje riešiteľov environmentálnych úloh a projektov odovzdať všetky údaje v digitálnej forme v predpísanom formáte GIS. Tvorba máp relatívnej náchylnosti územia na zosúvanie v mierke 1 : 50 000 je súčasťou súboru *Mapy geofaktorov životného prostredia*. Výhodou nových prístupov oproti geotechnickým modelom založeným napríklad na analýze údajov o fyzikálno-mechanických vlastnostiach je hlavne väčšia dostupnosť vstupných údajov, ktorých získanie nie je až tak technicky a finančne náročné ako v prípade potrebného množstva fyzikálnych parametrov. Clerici [5] využíva ním vytvorený program na automatické spracovanie multivariačnej analýzy (kapitola 1.5), ktorý je písaný v programovacom jazyku GNU awk. Pautitš [26] uvádza, že pri bivariačnej metóde je oproti multivariačnej nevýhodou, že postup je z dôvodu komplikovanosti aj napriek zodpovednému prístupu viac náchylný na tvorbu chýb. Preto kapitola 3 opisuje novovytvorený program, v ktorom je zautomatizovaný proces bivariačnej štatistickej analýzy, aby správnym a účelným spôsobom pomohol k využívaniu GIS pri hodnotení zosuvného hazardu nielen geológom, ale aj širokej odbornej verejnosti a ostatným priaznivcom tejto problematiky. Vďaka svojmu jednoduchému rozhraniu a časovej nenáročnosti by mohol mať využitie aj pri výučbe. Automatizácia mnohonásobne ušetrí čas, pričom výsledky sú rovnaké ako pri manuálnom vykonaní. Jeho hlavnou výhodou je, že užívateľ môže ľubovoľne meniť intervale pri reklassifikáciách, nemusí manuálne vytvárať parametrické mapy v prostredí GIS, manuálne mapy reklassifikovať, počítať váhy vstupných parametrov ani manuálne vytvoriť výslednú prognóznu mapu zosuvov, v inom programe kresliť ROC krivku a zisťovať nakolko je model správny. Nástroj produkuje textové súbory s informáciami o parametrických mapách, o plochách tried a plochách zosuvov v týchto triedach, o váhach, o reklassifikáciách, výslednej rovnici a tie automaticky ukladá. Používateľ má k ním prístup, ich obsah môže čítať, editovať a ďalej používať. Jedným z výstupov je grafické znázornenie ROC krivky, ktorá hovorí o úspešnosti modelu. Používateľ dokáže dynamicky hľadať optimálne hranice intervalov pre triedy vstupných parametrov, pričom môže, ale nemusí použiť prostredie GRASS GIS. Pri záverečnej reklassifikácii spojitého intervalu vo výslednej prognóznej mape môže použiť iné softvéry, napríklad ArcGIS, kde sa dá aplikovať metóda prirodzených hraníc namiesto kvantilu. Reklassifikačnú tabuľku vo forme textového súboru na základe toho edituje a ďalej použije v programe. Všetky rastrové aj vektorové mapy ostávajú uložené vo vytvorenej

lokáciu databanky GRASS GIS v mapsete PERMANENT a možno s nimi ďalej pracovať.

Ide o prvú plne funkčnú verziu. Všetko sa dá zlepšovať. V budúcnosti by bolo možné softvérový nástroj zefektívniť, prípadne vylepšíť o ďalšie funkcie vyplývajúce z problematiky. Nástroj môže byť podnetom aj pre iné oblasti. Existuje široké spektrum riešení v oblasti GIS, kde by sa dala vytvoriť podobná, voľne dostupná pomôcka. Na rozdiel od zahraničia, u nás (odbor geodézia a kartografia, zameranie geoinformatika) ide celkovo o jednu z prvých prác s téhou GRASS GIS a Python. Nielen z dôvodu približovať sa zahraničným trendom, ale aj pre široké možnosti, ktoré GRASS GIS ponúka, navrhujem zaradiť jeho aplikácie aj do výuky na našej škole.

Riešenie je realizované v prostredí softvérov s dostupným zdrojovým kódom z dôvodu podpory open source programov a ich výhody oproti komerčným bratom, ktoré sú priblížené v časti 2.2.1 predkladanej diplomovej práce. Slobodný softvér sa stáva synonymom pre inováciu a pokrok, keďže umožňuje voľnú výmenu myšlienok medzi užívateľmi a vývojármi a zaručuje tak slobodu spustenia, modifikácie, šírenia programov vrátane voľne dostupného zdrojového kódu. Pre geografický informačný systém GRASS GIS to znamená neustály, celosvetovo organizovaný a užívateľsky orientovaný vývoj, v rámci ktorého možno vytvárať dostupné softvérové nástroje aj v takých dôležitých oblastiach, akou je modelovanie a prognózovanie náchylnosti územia na zosúvanie.

Zoznam použitej literatúry

- [1] Anaconda: Completely free enterprise-ready Python distribution for large-scale data processing, predictive analytics, and scientific computing. [online]. [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: <https://store.continuum.io/cshop/anaconda/>
- [2] BEDNÁR, J. Open Source – prehľad. [online]. [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: <http://juraj.bednar.sk/work/prace/computer/opensource/>
- [3] BEDNÁRIK, M. Štatistické metódy pri hodnotení zosuvného hazardu a rizika. Bratislava, 2011. Habilitačná práca. Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra inžinierskej geológie. 88 s.
- [4] BONK, R. Geografický informačný systém GRASS. [online]. [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/geograficky-informacny-system-grass-1/>
- [5] CLERICI, A. A GRASS GIS based shell script for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method. *Proceedings of the Open source GIS - GRASS users conference 2002* [online]. 2002, - [cit. 2014-11-11]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.19.9005&rep=rep1&type=pdf>
- [6] ČEPEK, L., LANDA, M. Prednášky z predmetu „Úvod do zpracování prostorových dat“. Dostupné z: <http://geo.fsv.cvut.cz/~gin/uzpd/uzpd.pdf>
- [7] ČEPICKÝ, J., LANDA, M. Školení GeoPython [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://training.gismentors.eu/letaky/skoleni-geopython.pdf>
- [8] ČEPICKÝ, J., LANDA, M. Školení GRASS GIS [online]. 2014-2015 [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: <http://training.gismentors.eu/grass-gis-zacatecnik/index.html#>
- [9] Fedora Documentation Project. [online]. [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: http://docs.fedoraproject.org/sk-SK/Fedora/8/pdf/Release_Notes/Fedora-8-Release_Notes-sk-SK.pdf
- [10] Free Software Foundation. Categories of free and nonfree software [online]. [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: <http://www.gnu.org/philosophy/categories.html>
- [11] Free Software Foundation. What is free software?: The Free Software Definition [online]. [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: <http://www.gnu.org/philosophy/words-to-avoid.html>
- [12] Free Software Foundation. Words to Avoid (or Use with Care) Because They Are Loaded or Confusing [online]. [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: <http://www.gnu.org/philosophy/words-to-avoid.html>

-
- [13] FURTKEVIČOVÁ, L. *Modelovanie svahových deformácií v prostredí GIS*. Bratislava, 2010. Bakalárská práca. Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra geodetických základov. Vedúca práce Eva Stopková. 36 s.
 - [14] *Geoinformačné minimum v oblasti ochrany prírody a krajiny: Používateľský manuál určený na prácu s geoinformačnými technológiami: Stručná história GIS* [online]. 2011-01-17 [cit. 2014-11-11]. Dostupné z: <http://www.envirovzdelanie.sk/geominimum/index.php/theoretickasekcia/uvoddogis/3-struna-historia-gis.html>
 - [15] GRASS Development Team. *GRASS GIS 7 Programmer's Manual*. Dostupné z: <http://grass.osgeo.org/programming7/>
 - [16] GRASS-Wiki. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2014-08-14 [cit. 2014-11-11]. Dostupné z: http://grasswiki.osgeo.org/wiki/Main_Page
 - [17] GRMAN, D. et al. *Inžinierskogeologické mapovanie svahových deformácií v najohrozenejších územiach flyšového pásma v M 1:10 000: orientačný inžinierskogeologický prieskum*. Záverečná správa. 30.11.2011. Košice, 2011.
 - [18] JESENSKÝ, M. *Slovensko, krajina zosuvov* [online]. 2014 [cit. 2014-12-11]. Dostupné z: <http://www.sme.sk/c/7078446/slovensko-krajina-zosuvov.html>
 - [19] KEKEROVÁ, S. *Open source software*. Bratislava, 2005. Odborná esej. Slovenská technická univerzita v Bratislave, Fakulta informatiky a informačných technológií. Dostupné z: <http://www2.fiit.stuba.sk/~bielik/courses/msi-slov/kniha/2005/group3/essay/7.pdf>
 - [20] KOČO, Š. *Modelovanie vzniku výmolovej erózie v okolí Bardejova pomocou geografických informačných systémov*. Prešov, 2006. Diplomová práca. Prešovská univerzita v Prešove, Fakulta humanitných a prírodných vied, Katedra geografie a regionálneho rozvoja. Vedúci práce Jaroslav Hofierka.
 - [21] LANDA, M. *Vektorová architektura systému GRASS GIS*. Praha, 2013. Dizertačná práca. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra mapování a kartografie. Vedúci práce Aleš Čepek. 150 s.
 - [22] LANNI, C., PRETTO, I. *Landslide risk assessment: EURAC geoframe presentation* [online]. 02.10.2010. University of Trento, 2010, 24.02.2010 [cit. 2014-11-11]. Dostupné z: <http://www.slideshare.net/guestca23f5/eurac-geoframe-presentation>
 - [23] MAGULOVÁ, B. *Pužtie GIS pre tvorbu máp geohazardov ako podklad pre urbanizačné plánovanie*. ACTA GEOLOGICA SLOVACA. Katedra inžinierskej geológie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave, Mlynská dolina G, 842 15 Bratislava, 2009, roč. 1, č. 1, s. 25-32.
 - [24] *Návrh na úhradu výdakov súvisiacich so záchrannými prácami počas mimoriadnej situácie na územiach územných obvodov obvodných úradov Košice, Svidník, Galanta, Prievidza, Námestovo, Čadca, Stará Lubovňa, Považská Bystrica, Banská Bystrica, Žilina,*

- Košice - okolie a Poprad: Materiál programu rokovania [online]. 25.07.2012. [cit. 2014-11-11]. Dostupné z: <http://www.rokovania.sk/Rokovanie.aspx/BodRokovaniaDetail?idMaterial=21337>
- [25] ONDRÁŠIK, R. et al. Vybrané termíny z oblasti geológie a životného prostredia. *Mineralia Slovaca(Geovestník)*. 2002, č. 13.
- [26] PAUDITŠ, P. *Hodnotenie náchylnosti územia na zosúvanie s využitím štatistických metód v prostredí GIS*. Bratislava, 2005. Dizertačná práca. Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra inžinierskej geológie. Vedúci práce Peter Wagner. 136 s.
- [27] *Rokovanie vlády Slovenskej republiky: Program prevencie a manažmentu zosuvných rizík (2014 – 2020)* [online]. 2013 [cit. 2014-11-11]. Dostupné z: http://www.rokovania.sk/File.aspx/ViewDocumentHtml/Mater-Dokum-161227?prefixFile=m_
- [28] Štátny geologický ústav Dionýza Štúra [online]. 2014 [cit. 2014-11-11]. Dostupné z: <http://www.geology.sk/new/>
- [29] 3/99-3. Smernica MŽP SR na zostavovanie a vydávanie inžinierskogeologických máp v mierke 1 : 50 000. 25. júna 1999. Bratislava: MŽP, 1999. Dostupné z: <http://www.minzp.sk/files/sekcia-geologie-prirodnych-zdrojov/smernica33.pdf>
- [30] TORMYAI, R. *Kvantitatívne hodnotenie zosuvného hazardu pre región Kysúc*. Bratislava, 2012. Diplomová práca. Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra inžinierskej geológie. Vedúci práce Martin Bednárik. 74 s.
- [31] TORMYAI, R., DUNČKO, M. Puženie bivariačnej a multivariačnej analýzy na hodnotenie zosuvného hazardu Kysuckého regiónu (Západné Karpaty). *ACTA GEOLOGICA SLOVACA*. Katedra inžinierskej geológie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave, Mlynská dolina G, 842 15 Bratislava, 2013, roč. 5, č. 2. s. 179-193.
- [32] VAN WESTEN, Cees J., Enrique CASTELLANOS, Sekhar L. KURIAKOSE, L. CASCINI, J.-P. MALET, S. FOTOPOULOU, F. CATANI, M. VAN DEN EECKHAUT, O. MAVROULI, F. AGLIARDI, K. PITILAKIS, M. G. WINTER, M. PASTOR, S. FERLISI, V. TOFANI, J. HERVÁS a J. T. SMITH. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. *Engineering Geology* [online]. 2008, vol. 102, 3-4, s. 112-131 [cit. 2015-01-01]. DOI: 10.1016/j.enggeo.2008.03.010. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0013795208001786>
- [33] VEREŠ, M. *Vývoj open source GIS nástrojov a ich využitie*. Brno, 2013. Bakalárska práca. Masarykova univerzita, Prírodovedecká fakulta, Geografický ústav. Vedúci práce Karel Staněk. 47 s. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/375833/prif_b/Bakalarska_praca_-_Miroslav_Veres.txt

Prílohy

Príloha A

Kombinácia parametrických máp s mapou zosuvov: tabuľky

Tabuľka A.1: Plošná distribúcia prvotne reklassifikovaných parametrických máp (prvá časť)

recl1	Parametrická mapa litologickej stavby			
	P_t (km^2)	P_t (%)	P_{sd} (km^2)	P_{sd} (%)
1	39.392768	7.14	0.014001	0.03
2	0.228310	0.04	0.006100	0.01
3	8.536783	1.55	0.127806	0.23
4	0.127806	0.02	0.027201	0.05
5	183.030114	33.17	21.445762	38.89
6	4.446800	0.81	0.014301	0.03
7	0.405118	0.07	0.119905	0.22
8	143.731150	26.05	15.603200	28.30
9	42.585111	7.72	0.222010	0.40
10	106.498379	19.30	17.195572	31.19
11	6.038271	1.09	0.011601	0.02
12	15.344789	2.78	0.132706	0.24
13	1.037247	0.19	0.218210	0.40
14	0.341115	0.06	0.000000	0.00
Spolu	551.743761	100.00	55.138375	100.00

recl1	Parametrická mapa hypsografických stupňov			
	P_t (km^2)	P_t (%)	P_{sd} (km^2)	P_{sd} (%)
1	149.163894	27.03	7.332829	13.30
2	166.847188	30.24	18.311622	33.21
3	154.890951	28.07	19.716785	35.76
4	51.685920	9.37	4.484501	8.13
5	14.761862	2.68	2.225600	4.04
6	6.235480	1.13	1.310659	2.38
7	4.098984	0.74	1.144451	2.08
8	2.712422	0.49	0.482822	0.88
9	1.398563	0.25	0.130506	0.24
Spolu	551.795264	100.00	55.139775	100.00

recl1	Parametrická mapa strednej krvosti reliéfu			
	P_t (km^2)	P_t (%)	P_{sd} (km^2)	P_{sd} (%)
1	179.277545	32.49	27.981756	50.75
2	160.897521	29.16	6.891909	12.50
3	211.619897	38.35	20.266109	36.75
Spolu	551.794963	100.00	55.139774	100.00

Tabuľka A.2: Plošná distribúcia prvotne reklassifikovaných parametrických máp (druhá časť)

Parametrická mapa sklonu svahov				
recl1	P_t (km^2)	P_t (%)	P_{sd} (km^2)	P_{sd} (%)
1	87.113109	15.79	0.399618	0.72
2	30.627874	5.55	0.617828	1.12
3	57.780193	10.47	2.341405	4.25
4	61.106442	11.07	4.439199	8.05
5	119.102245	21.58	15.113578	27.41
6	126.098759	22.85	21.217452	38.48
7	34.248537	6.21	5.387342	9.77
8	34.327441	6.22	5.354840	9.71
9	1.390662	0.25	0.268512	0.49
Spolu	551.795262	100.00	55.139774	100.00

Parametrická mapa orientácie voči svetovým stranám				
recl1	P_t (km^2)	P_t (%)	P_{sd} (km^2)	P_{sd} (%)
0	0.319814	0.06	0.003800	0.01
1	76.262622	13.82	7.903555	14.33
2	67.948049	12.31	6.694100	12.14
3	62.051785	11.25	5.084228	9.22
4	55.411487	10.04	4.418898	8.01
5	57.475779	10.42	5.583451	10.13
6	69.052999	12.51	5.917466	10.73
7	83.911366	15.21	10.153156	18.41
8	79.361361	14.38	9.381121	17.01
Spolu	551.795262	100.00	55.139775	100.00

Parametrická mapa dĺžky svahov				
recl1	P_t (km^2)	P_t (%)	P_{sd} (km^2)	P_{sd} (%)
1	59.739281	10.83	5.451245	9.89
2	266.802773	48.35	30.105451	54.60
3	160.997925	29.18	14.632457	26.54
4	47.719341	8.65	3.171042	5.75
5	11.796329	2.14	1.160252	2.10
6	4.739613	0.86	0.619328	1.12
Spolu	551.795262	100.00	55.139775	100.00

Parametrická mapa prispievajúcich plôch				
recl1	P_t (km^2)	P_t (%)	P_{sd} (km^2)	P_{sd} (%)
1	497.843242	90.22	49.653428	90.05
2	28.718389	5.20	4.018680	7.29
3	6.243980	1.13	0.623628	1.13
4	2.909031	0.53	0.250411	0.45
5	1.765279	0.32	0.132006	0.24
6	14.315342	2.59	0.461621	0.84
Spolu	551.795263	100.00	55.139774	100.00

Parametrická mapa súčasnej krajinnej štruktúry				
recl1	P_t (km^2)	P_t (%)	P_{sd} (km^2)	P_{sd} (%)
1	3.321649	0.60	0.144306	0.26
2	18.594534	3.37	0.733333	1.33
3	70.891381	12.85	11.749227	21.31
4	148.544366	26.92	13.213193	23.96
5	275.863780	50.00	28.775291	52.19
6	6.777704	1.23	0.515223	0.93
7	27.787047	5.04	0.008100	0.01
Spolu	551.780461	100.00	55.138673	100.00

Tabuľka A.3: Určenie váhy a druhotná reklassifikácia parametrických máp (prvá časť)

Parametrická mapa litologickej stavby								
recl1	p_{ij}	(p_{ij})	H_{ij}	$H_j \max$	\bar{p}_{ij}	I_j	W_i	recl2
1	0.000355	0.000304						1
2	0.026718	0.022886						7
3	0.014971	0.012824						6
4	0.212830	0.182309						12
5	0.117171	0.100368						9
6	0.003216	0.002755						3
7	0.295975	0.253530	2.772644	3.807355	0.083387	0.271766	0.024321	13
8	0.108558	0.092990						8
9	0.005213	0.004466						4
10	0.161463	0.138308						10
11	0.001921	0.001646						2
12	0.008648	0.007408						5
13	0.210374	0.180205						11
14	0.000000	0.000000						0

Parametrická mapa hypsografických stupňov								
recl1	p_{ij}	(p_{ij})	H_{ij}	$H_j \max$	\bar{p}_{ij}	I_j	W_i	recl2
1	0.049160	0.038273						1
2	0.109751	0.085446						4
3	0.127295	0.099104						5
4	0.086764	0.067550						2
5	0.150767	0.117378	3.015211	3.169925	0.142717	0.048807	0.006966	6
6	0.210194	0.163645						8
7	0.279204	0.217372						9
8	0.178004	0.138584						7
9	0.093314	0.072649						3

Parametrická mapa sklonu svahov								
recl1	p_{ij}	(p_{ij})	H_{ij}	$H_j \max$	\bar{p}_{ij}	I_j	W_i	recl2
1	0.004587	0.004883						1
2	0.020172	0.021472						2
3	0.040523	0.043134						3
4	0.072647	0.077328						4
5	0.126896	0.135073	2.803102	3.169925	0.104385	0.115720	0.012079	5
6	0.168261	0.179103						8
7	0.157301	0.167438						7
8	0.155993	0.166045						6
9	0.193082	0.205524						9

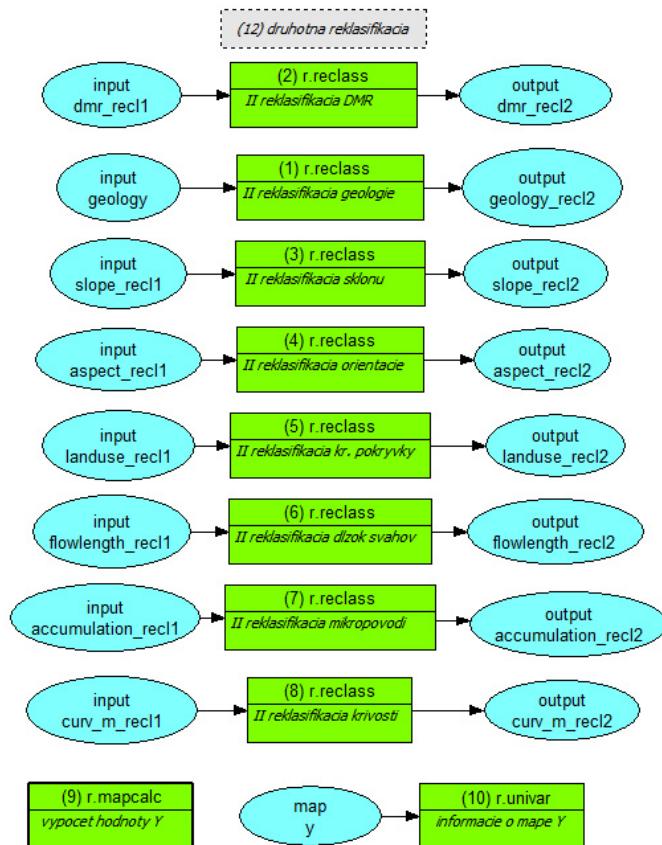
Parametrická mapa orientácie voči svetovým stranám								
recl1	p_{ij}	(p_{ij})	H_{ij}	$H_j \max$	\bar{p}_{ij}	I_j	W_i	recl2
0	0.011882	0.014894						0
1	0.103636	0.129908						6
2	0.098518	0.123493						5
3	0.081935	0.102706						2
4	0.079747	0.099963	2.961014	3.000000	0.088640	0.012995	0.003314	1
5	0.097144	0.121771						4
6	0.085695	0.107419						3
7	0.120999	0.151672						8
8	0.118208	0.148174						7

Tabuľka A.4: Určenie váhy a druhotná reklassifikácia parametrických máp (druhá časť)

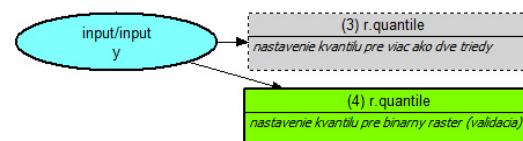
Parametrická mapa strednej krivosti reliéfu								
recl1	p_{ij}	(p_{ij})	H_{ij}	$H_j \ max$	\bar{p}_{ij}	I_j	W_i	recl2
1	0.156081	0.529659						3
2	0.042834	0.145358	1.417038	1.584963	0.098227	0.105949	0.010407	1
3	0.095767	0.324983						2
Parametrická mapa dĺžky svahov								
recl1	p_{ij}	(p_{ij})	H_{ij}	$H_j \ max$	\bar{p}_{ij}	I_j	W_i	recl2
1	0.091251	0.154543						3
2	0.112838	0.191104						5
3	0.090886	0.153926	2.555090	2.584963	0.098409	0.011556	0.001137	2
4	0.066452	0.112544						1
5	0.098357	0.166579						4
6	0.130671	0.221305						6
Parametrická mapa prispievajúcich plôch								
recl1	p_{ij}	(p_{ij})	H_{ij}	$H_j \ max$	\bar{p}_{ij}	I_j	W_i	recl2
1	0.099737	0.187245						4
2	0.139934	0.262711						6
3	0.099877	0.187508	2.479554	2.584963	0.088776	0.040778	0.003620	5
4	0.086081	0.161607						3
5	0.074779	0.140390						2
6	0.032247	0.060539						1
Parametrická mapa súčasnej krajinnej štruktúry								
recl1	p_{ij}	(p_{ij})	H_{ij}	$H_j \ max$	\bar{p}_{ij}	I_j	W_i	recl2
1	0.043444	0.083839						3
2	0.039438	0.076108						2
3	0.165736	0.319837						7
4	0.088951	0.171658	2.422865	2.807355	0.074027	0.136958	0.010139	5
5	0.104310	0.201297						6
6	0.076017	0.146698						4
7	0.000292	0.000563						1

Príloha B

Tretí a štvrtý model



Obr. B.1: Tretí model



Obr. B.2: Štvrtý model

Príloha C

Zoznam priečinkov a súborov na konci výpočtu

Priečinok vypocet na konci pozostáva z týchto priečinkov a súborov :

- info: výstupy modulu `r.univar`
 - `info_DMR.txt`: štatistické informácie o parametrickej mape digitálneho modelu reliéfu
 - `info_DS.txt`: štatistické informácie o parametrickej mape dĺžky svahu
 - `info_E.txt`: štatistické informácie o parametrickej mape expozície
 - `info_G.txt`: štatistické informácie o parametrickej mape litologických celkov
 - `info_K.txt`: štatistické informácie o parametrickej mape krivosti reliéfu
 - `info_M.txt`: štatistické informácie o parametrickej mape prispievajúcich plôch
 - `info_S.txt`: štatistické informácie o parametrickej mape sklonu
 - `info_VK.txt`: štatistické informácie o parametrickej mape súčasného využitia krajiny
- recl1: súbory potrebné pre prvotnú reklasifikáciu (moduly `r.recode` a `r.reclass`) vytvorené v rámci druhej záložky
 - `recl1_DMR.txt`: pravidlá pre prvotnú reklasifikáciu digitálneho modelu reliéfu
 - `recl1_DS.txt`: pravidlá pre prvotnú reklasifikáciu dĺžky svahu
 - `recl1_E.txt`: pravidlá pre prvotnú reklasifikáciu expozície
 - `recl1_G.txt`: pravidlá pre prvotnú reklasifikáciu litologických celkov
 - `recl1_K.txt`: pravidlá pre prvotnú reklasifikáciu krivosti reliéfu
 - `recl1_M.txt`: pravidlá pre prvotnú reklasifikáciu prispievajúcich plôch
 - `recl1_S.txt`: pravidlá pre prvotnú reklasifikáciu sklonu
 - `recl1_VK.txt`: pravidlá pre prvotnú reklasifikáciu súčasného využitia krajiny
- recl2: súbory potrebné pre druhotnú reklasifikáciu (modul `r.reclass`) automaticky vytvorené v rámci tretej záložky
 - `recl2_DMR.txt`: pravidlá pre druhotnú reklasifikáciu digitálneho modelu reliéfu
 - `recl2_DS.txt`: pravidlá pre druhotnú reklasifikáciu dĺžky svahu
 - `recl2_E.txt`: pravidlá pre druhotnú reklasifikáciu expozície
 - `recl2_G.txt`: pravidlá pre druhotnú reklasifikáciu litologických celkov
 - `recl2_K.txt`: pravidlá pre druhotnú reklasifikáciu krivosti reliéfu
 - `recl2_M.txt`: pravidlá pre druhotnú reklasifikáciu prispievajúcich plôch
 - `recl2_S.txt`: pravidlá pre druhotnú reklasifikáciu sklonu
 - `recl2_VK.txt`: pravidlá pre druhotnú reklasifikáciu súčasného využitia krajiny
- report: výstupy modulu `r.report`
 - `report_DMR.txt`: plocha v km^2 a percentuálne zastúpenie tried pre digitálny model reliéfu
 - `report_DMR_z.txt`: plocha v km^2 a percentuálne zastúpenie zosuvov v triedach pre digitálny model reliéfu
 - `report_DS.txt`: plocha v km^2 a percentuálne zastúpenie tried pre dĺžky svahu
 - `report_DS_z.txt`: plocha v km^2 a percentuálne zastúpenie zosuvov v triedach pre dĺžky svahu
 - `report_E.txt`: plocha v km^2 a percentuálne zastúpenie tried pre expozíciu
 - `report_E_z.txt`: plocha v km^2 a percentuálne zastúpenie zosuvov v triedach pre expozíciu
 - `report_G.txt`: plocha v km^2 a percentuálne zastúpenie tried pre litologické celky
 - `report_G_z.txt`: plocha v km^2 a percentuálne zastúpenie zosuvov v triedach pre litologické celky
 - `report_K.txt`: plocha v km^2 a percentuálne zastúpenie tried pre krivost reliéfu
 - `report_K_z.txt`: plocha v km^2 a percentuálne zastúpenie zosuvov v triedach pre krivost reliéfu
 - `report_M.txt`: plocha v km^2 a percentuálne zastúpenie tried pre prispievajúce plochy
 - `report_M_z.txt`: plocha v km^2 a percentuálne zastúpenie zosuvov v triedach pre prispievajúce plochy

- **report_S.txt**: plocha v km^2 a percentuálne zastúpenie tried pre sklon
- **report_S_z.txt**: plocha v km^2 a percentuálne zastúpenie zosuvov v triedach pre sklon
- **report_VK.txt**: plocha v km^2 a percentuálne zastúpenie tried pre súčasné využitie krajiny
- **report_VK_z.txt**: plocha v km^2 a percentuálne zastúpenie zosuvov v triedach pre súčasné využitie krajiny
- **info_y.txt**: štatistické informácie o rastrovej mape „y“
- **plot.png**: grafické znázornenie ROC krivky
- **recl_COV1.txt, recl_COV2.txt, recl_COV3.txt**: pravidlá pre reklassifikáciu rastrovej mapy „y“ pre tri rôzne hranice („cutoff vaules“) pre verifikáciu výsledku, vykreslenie ROC krivky a výpočet plochy pod ňou (AUC)
- **recl_y.txt**: pravidlá pre reklassifikáciu rastrovej mapy „y“ do viac ako dvoch tried
- **rovnica.txt**: vzťah pre výpočet hodnoty „y“
- **stats_COV1.txt, stats_COV2.txt, stats_COV3.txt**: štatistické informácie o kombinácii binárnych rastrov s existujúcou mapou zosuvov potrebné pri verifikácii výsledku a vykreslení ROC krivky (počet buniek pre štyri rôzne prípady)
- **y.png**: orientačné grafické znázornenie prognóznej mapy zosuvov
- **y_stats_COV1.txt, y_stats_COV2.txt, y_stats_COV3.txt**: štatistické informácie o binárnych rastroch (celková plocha so zosuvmi a bez zosuvov v prognóznej mape)

Príloha D

Compact Disk (CD)

D.1 Text a prílohy diplomovej práce v elektronickej podobe

- DP_text.pdf
- DP_prilohy.pdf
- LaTeX

D.2 Vstupné dátá

- geology.dbf/.sbn/.sbx/.shp/.shx
- polohopis.dbf/.sbn/.sbx/.shp/.shx
- vyskopis.dbf/.sbn/.sbx/.shp/.shx
- zosuvy.dbf/.sbn/.sbx/.shp/.shx
- zu.dbf/.sbn/.sbx/.shp/.shx

D.3 Softvérový nástroj PLGP

- files
- 1_import&PM.gxm
- 2_recl1.gxm
- 3_recl2&Y.gxm
- 4_quantile.gxm
- 5_reclY&val.gxm
- PLGP.py
- PLGP_postup.mp4
- PLGP.pdf

D.4 Dáta z výpočtu

- DP_LF
- 1_import&PM.png
- 2_recl1.png
- 3_recl2&Y.png
- 4_quantile.png
- 5_reclY&val.png

D.5 Poster

- DP_poster.pdf
- LaTeX