

Modelovanie fluvialnej erózie na území CHKO Strážovské vrchy

Róbert Komoráš

Institut geoinformatiky, Hornicko-geologická fakulta, VŠB - TUO, 17. Listopadu 15/2172,
708 33, Ostrava-Poruba, Česká republika
kom117@vsb.cz

Abstrakt. Hlavnou témou tejto diplomovej práce je modelovanie fluvialnej erózie použitím fyzikálneho, zrážkoodtokového modelu LISEM. Prvá časť tejto práce sa zaoberá charakteristikou záujmového územia. Nasleduje teoretický rozbor problematiky modelovania erózie a popis zrážkoodtokového modelu LISEM. V praktickej časti tejto práce je popísaný postup, ktorý bol použitý pre tvorbu vstupných vrstiev do tohto modelu. Nasleduje časť zaoberajúca sa spustením analýzy, zhodnotením výsledkov analýzy a overením výsledkov týkajúcich sa lineárnych foriem erózie v teréne. Posledná časť tejto práce sa zaoberá modelovaním plytkých zosuvov pomocou modelu SINMAP. V tejto časti je rozpísaná problematika tvorby vstupov, zhodnotenie analýzy a overenie jej výsledkov v teréne. Súčasťou tejto práce sú aj mapové výstupy z oboch modelov.

Kľúčová slova: LISEM, SINMAP, CHKO Strážovské vrchy, erózia.

Abstract. Main thesis of this diploma work is modelling of fluvial erosion by using physical precipitation-runoff model LISEM. First part of this work deals with the characteristics of the examination area. Subsequent theoretical analysis of the erosion modelling problematics and description of the precipitation-runoff model LISEM. In the work's application part is described the progress, which was used for creation of the input layers onto this model. Next part deals with the initialization of the analysis, reviewing results of the analysis and verification of the results relative to the linear forms of terrain erosion. The last part of this work deals with the modelling of the shallow landslides by using SINMAP model. In this part is written out the problematics of the entries creation, analysis reviewing and results verification in the terrain. Both map outputs are the part of this work.

Keywords: LISEM, SINMAP, CHKO Strážovské vrchy, erosion

1 Úvod

V súvislosti s výskumom erózie u nás a v zahraničí sa do popredia dostalo množstvo metód, postupov a aplikácií, ktoré dokážu eróziu hodnotiť a predpovedať z dlhodobého, alebo krátkodobého hľadiska. Tento trend nastal hlavne v druhej polovici minulého storočia. Súviselo to i s paralelne prebiehajúcim výskumom zameraným na vlastnosti a správanie sa erózie v čase a s tým súvisiacimi vlastnosťami pôd.

Na základe týchto poznatkov sa jednotlivé modely spresňovali a spresňujú až do súčasnej doby. Jedným z modelov, ktorý je produktom tohto ľudského snaženia je LISEM. Jedná sa o jeden z prvých zástupcov fyzikálne založených modelov. Jeho funkčnosť spočíva v matematickom popise vzťahov medzi jednotlivými vlastnosťami daného územia. Veľká časť tejto práce sa zameriava práve na tento model. Zameriava sa na postup pri zhotovovaní jednotlivých vstupných vrstiev, potrebných pre analýzu pomocou tohto modelu a následne sa pokúša zhodnotiť výsledok tohto procesu.

V súvislosti s narastajúcim výskytom prívalových zrážok má čoraz väčší význam taktiež zhodnotenie náchylnosti krajiny na plytké zosuvy, ako najkatastrofickejšej formy erózie pôdy. Tá je rozobraná v ďalšej praktickej časti tejto práce. Jedná sa o problematiku, ktorej nie je venovaná taká pozornosť, ako v prípade erózie. Na základe analýzy pomocou modelu SINAMP som dospel k pomerne dobrým výsledkom, ktoré sú prezentované v ďalších častiach tejto práce.

Hlavným účelom tejto práce je preskúmanie možností a postupu zhotovovania vstupných vrstiev pre model LISEM. Pre záujemcov, ktorý by s týmto modelom v budúcnosti pracovali, môže táto práca predstavovať významný zdroj užitočných informácií.

2 Cieľ Práce

Hlavným cieľom mojej práce je analýza územia CHKO Strážovské vrchy použitím zrážkoodtokového modelu LISEM, s využitím možnosti modelovania lineárnych foriem erózie. Samotná práca má nasledujúce ciele:

1. V prípravnej fáze tejto práce zhromaždiť dostupnú literatúru z domácich i zahraničných zdrojov, ktorá by mi pomohla zoznámiť sa s problematikou fluviaľnej erózie a mohla byť teoreticko-metodologickým východiskom a prostriedkom overovania správnosti zvoleného pracovného postupu.
2. V ďalšej časti tejto práce analyzovať územie pomocou nástrojov GIS a zhotoviť vstupné vrstvy, potrebné pre analýzu pomocou zrážkoodtokového modelu LISEM a modelu na výpočet indexu stability, SINMAP. Táto časť projektu patrí medzi najnáročnejšie z dôvodu náročnosti modelu LISEM na vstupné údaje.
3. Ďalším cieľom tejto práce je analyzovať možnosti programových prostriedkov LISEM, PC Raster a SINMAP, ktorý nadväzuje na druhý cieľ a bude uskutočňovaný súbežne.
4. Primárny cieľ je modelovanie plošnej a výmolinej erózie pomocou spomenutých modelov.
5. Predposledným cieľom práce je zhodnotiť záujmové územie z hľadiska jeho náchylnosti k zosuvom.
6. Posledným cieľom tejto práce je vizualizácia a zhodnotenie výsledkov analýz z použitých modelov.

3 Vymedzenie územia

CHKO Strážovské vrchy bola vyhlásená od roku 1989, predovšetkým za účelom zabezpečenia ochrany a optimálneho využívania najzachovalejších častí prírodného prostredia Strážovských a Súľovských vrchov. Oprávnenosť vyhlásenia Súľovských a Strážovských vrchov za veľkoplošné chránené územie potvrdila aj skutočnosť, že práve toto územie bolo zaradené do sústavy chránených území členských krajín Európskej únie, tzv. NATURA 2000. Sústavu NATURA 2000 tvoria chránené vtáčie územia, vyhlasované s cieľom ochrany vtáctva a územia európskeho významu s cieľom zabezpečenia ochrany ostatných vzácnych a ohrozených rastlinných a živočíšnych druhov a ich biotopov[6].

Keďže v rámci modelu LISEM nie je možné previesť analýzu v rámci celého územia CHKO Strážovské vrchy, za záujmové územie som zvolil oblasť Zliechovskej doliny.

Analýza na plytké zosuvy pomocou modelu SINMAP bola prevedená v rámci celého územia CHKO Strážovské vrchy (použitá bola administratívna hranica).



Obr. 1. Schematické vymedzenie Zliechovskej doliny v rámci CHKO Strážovské vrchy

4 LISEM

4.1 Projekt LISEM

LISEM simuluje eróziu a transport sedimentov počas a následne po jednotlivých zrážkových udalostiach na území daného povodia. Tento model je bežne využívaný na povodia o ploche od 10 do 300 ha. Tento model dokáže simulovať efekt využitia zeme a ochrany alebo obhospodarovania pôdy [4]. V prípade samotného modelu sa jedná o aplikáciu, ktorú si každý môže bezplatne stiahnuť z internetu a následne ju

bezplatne využívať. Filozofia LISEMu spočíva v tom, že nič nepredpokladá. Ako príklad autor uvádza situáciu, že pokiaľ je simulovaný efekt využitia zeme, nie je žiadna možnosť prikázať LISEMu, aby sa zmenili všetky vstupné premenné, pretože v tomto prípade musí užívateľ zmeniť všetky príslušné premenné sám, ako vstupy týkajúce sa infiltrácie, drsnosť povrchu, Manningov koeficient drsnosti, atď. To v skutočnosti znamená, že užívateľ toho modelu má väčšiu slobodu a je viac jasné, čo sa deje pri simulácii. Nevýhodou však je veľká náročnosť tohto modelu na potrebné informácie ohľadom vstupov a tiež skúsenosti používateľa [4]. Ako už bolo v predchádzajúcej časti tejto práce zmienené, tento model je jeden z prvých príkladov fyzikálne založeného modelu. Ten je kompletne integrovaný v rastrovom geografickom informačnom systéme PCRaster. Zdrojový kód je kombinácia C++ kódu, GIS operácií, matematických operácií a hydrologických funkcií. Medzi modelom a PCRastrom nie sú potrebné žiadne prevody. Všetky vstupné a výstupné vrstvy sú v rastrovom formáte, ktoré môžu byť zobrazované a spracovávané v softvéri PCRaster.

LISEM potrebuje minimálne 24 vstupných vrstiev, v závislosti na počiatočnom nastavení modelu v prostredí programu. Aktivovanie rôznych dodatočných nastavení si samozrejme žiada potrebu nových, dodatočných vrstiev. Jedná sa napríklad o vstupné vrstvy týkajúce sa infiltrácie vody do pôdy, alebo simulácia erózných rýh. Tieto možnosti si predvedieme v nasledujúcom postupe prípravy vstupných dát do LISEMu a na konci prevedieme simuláciu.

Manuál LISEMu uvádza, že v prípade potreby všetkých vstupných vrstiev môžeme tieto odvodiť zo štyroch základných vrstiev. Jedná sa o:

- DEM
- Vrstva Land Use
- Vrstva pôdných typov na danom území
- Vrstva cestných komunikácií

Pravdepodobne sa ale jedná iba o situáciu, kedy nemáme možnosť zhotoviť mapové vstupy i z iných zdrojov. K týmto zdrojom môžeme zaradiť rôzne geoštatistické interpolácie alebo tiež diaľkový prieskum Zeme.

Vstupné vrstvy pre LISEM môžeme rozdeliť do nasledovných kategórií:

- vrstvy vlastností povodia
- vrstvy vegetácie
- vrstvy týkajúce sa vlastností pôd
- vrstvy infiltrácie (je možné zvoliť jednu z viacerých metód)
- eróžno-sedimentačné vrstvy
- vrstvy výskytu erózných rýh

Ďalším dôležitým vstupom sú údaje týkajúce sa zrážkovej epizódy. V rámci tohto vstupu je dôležité, aby bola zrážka meraná v čo najmenšom časovom intervale. Údaje o zrážkach sú zapísané v textovom súbore. Použitá rážka je zo 14.6.2009.

Spracovávaníu jednotlivých vrstiev vstupujúcich do modelu sa podrobnejšie venujem v mojej diplomovej práci.

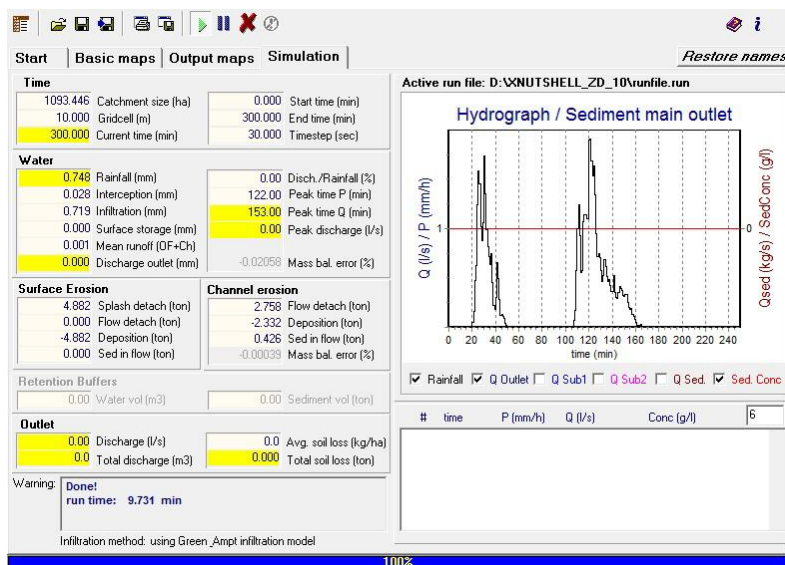
4.2 Výsledky analýzy

Jedným zo základných výstupov LISEMu je okno simulácie, v ktorom sú zobrazené základné parametre. Je zobrazené na nasledujúcom obrázku.

V časti Time sú základné charakteristiky týkajúce sa veľkosti povodia, veľkosti bunky (10 m) a dosiahnutý čas simulácie (300 min). V tejto časti sú ešte zobrazené časové údaje simulácie ako počiatočný čas (0 min), koncový čas (300 min) a časový krok (30 s).

V časti Water sú základné charakteristiky, týkajúce sa samotnej zrážky. Prvý údaj Rainfall dosiahol hodnoty 0,74 mm. V tomto prípade by sa malo jednať o zrážkový úhrn a toto číslo nezodpovedá realite, pretože v skutočnosti napršalo 53,69 mm. Nasledovné údaje týkajúce sa intercepcie a infiltrácie sa zdajú byť taktiež veľmi nízke a nedosahujú ani jeden mm. Zrážka dosiahla maxima v 122. minúte (Peak time P) a kulmináčny prietok (Peak time Q) dosiahol maxima v 153. minúte. Tieto údaje sa dajú porovnať z grafom v pravej časti okna, kde je zaznamenaný priebeh zrážky.

V časti Channel erosion sú zaznamenané údaje vzhľadom na ryhovú eróziu. Už na prvý pohľad je zrejmé, že táto erózia bola omnoho intenzívnejšia. Odnos materiálu dosiahol 2,75 ton, čo je viac ako polovica z plošnej erózie. Plocha vygenerovaných erózných rýh je však vzhľadom na plochu Zliechovskej doliny zanedbateľná. V rámci ryhovej erózie sa z pôvodných 2,75 ton uložilo 2,33 ton a záverovým profilom prešlo 0,42 ton.

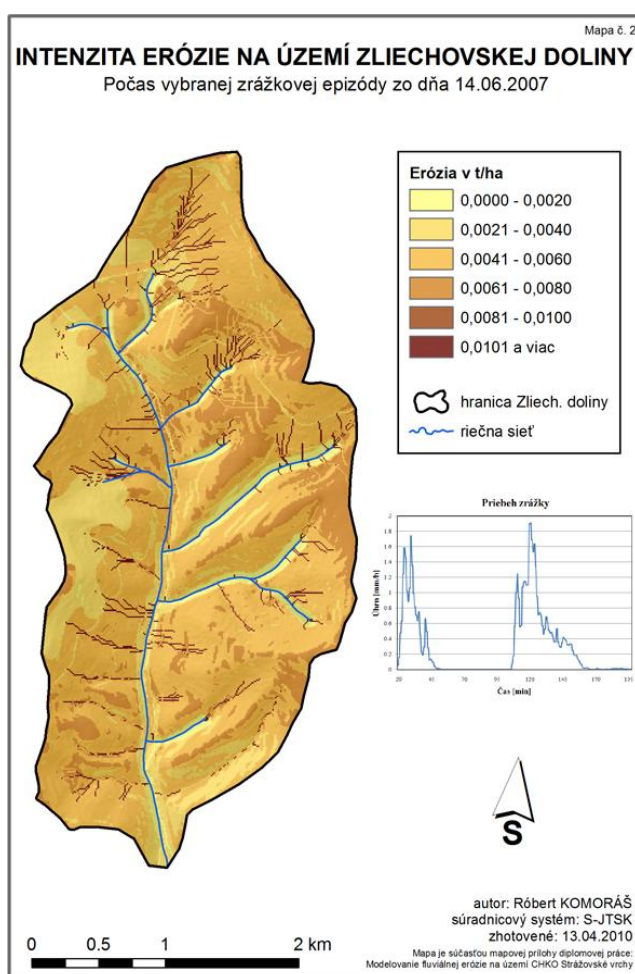


Obr. 2. Výstupné simulačné okno modelu LISEM

V časti Surface Erosion sú zaznamenané súhrnné údaje týkajúce sa plošnej erózie z danej epizódy. Celkovo bolo uvoľnených 4.88 ton materiálu. Tento istý objem sa zároveň uložil (v rámci plošnej erózie). Z údajov Sed in flow, ktorý dosiahol 0 ton,

môžeme konštatovať, že nenastal odnos materiálu z povodia cez záverový profil (pravdepodobne nebola zrážka pre vznik tohto javu silná. Pri kontrolnej simulácii s vymyslenou intenzívnejšou zrážkou však k tomuto javu došlo).

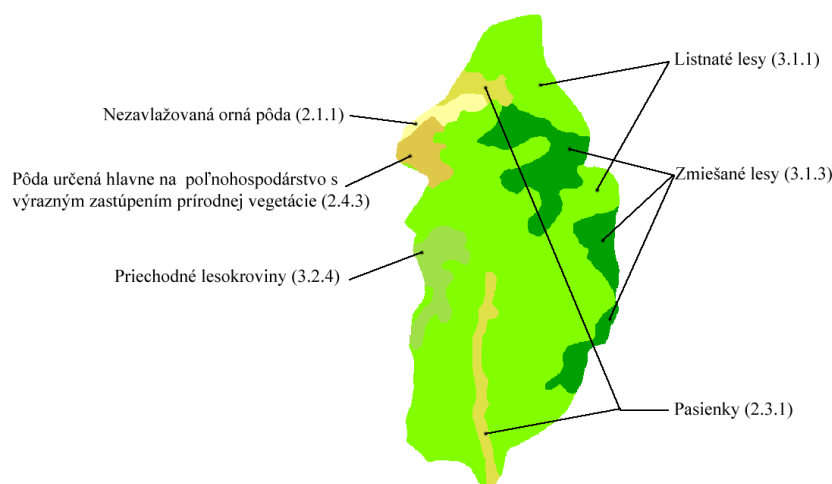
V časti Channel erosion sú zaznamenané údaje vzhľadom na ryhovú eróziu. Už na prvý pohľad je zrejmé, že táto erózia bola omnoho intenzívnejšia. Odnos materiálu dosiahol 2,75 ton, čo je viac ako polovica z plošnej erózie. Plocha vygenerovaných erózných rýh je však vzhľadom na plochu Zliechovskej doliny zanedbateľná. V rámci ryhovej erózie sa z pôvodných 2,75 ton uložilo 2,33 ton a záverovým profilom prešlo 0,42 ton.



Obr. 3. Výsledná mapa intenzity erózie

4.3 Porovnanie a zhodnotenie výsledkov analýzy v teréne

Jedným z výstupov, na ktoré sa v tejto časti práce zameriame, je mapa erózie, ktorá je na obrázku č. 3. V prvom rade treba podotknúť, že sa jedná o intenzitu erózie vzhľadom na danú zrážkovú epizódu, nie za obdobie v rozsahu niekoľkých rokov. Na skúmanom území existuje niekoľko typov využitia zeme. Vo všeobecnosti sa tu nachádza poľnohospodárska pôda, pasienky, kroviny a lesné porasty. Pokiaľ sa pozrieme na výslednú mapu intenzity erózie na obrázku č. 3, vidíme, že v prípade plošnej erózie je najmenšia intenzita na území, ktoré je využívané ako pasienky, alebo sa tu vyskytuje trávny porast. Pre lepšiu orientáciu je na nasledujúcom obrázku rozdelenie skúmaného územia na jednotlivé druhy využitia zeme.



Obr. 4. Krajinný pokryv na území Zliechovskej doliny

Tento výsledok pokladám za správny, pretože trávny porast je jedným z najúčinnějších protieróznych opatrení. Ďalej treba pripomenúť, že sa tieto plochy nachádzajú na miernejších svahoch, takže tu zohráva významnú úlohu faktor morfológie územia. V prípade plošnej erózie na nezavlažovanej ornej pôde vyšiel výsledok zaradený do rovnakej intenzity, ako napríklad veľká časť listnatých alebo zmiešaných lesov, ktoré sa nachádzajú väčšinou na veľmi strmých svahoch, na rozdiel od poľnohospodársky obrábanej pôdy, ktorá je situovaná na miernych svahoch. To znamená, že v prípade ornej pôdy na základe uskutočnenej analýzy skutočne dochádza ku zvýšenému nárastu erózie pôdy.

Výsledky tejto analýzy však môžu byť ovplyvnené niektorými zo vstupných vrstiev, pretože v niektorých prípadoch bolo náročné nájsť vyhovujúci zdroj a v prípade niektorých vstupov sme sa museli spoľahnúť na odhad. Preto som použil na analýzu viacej variant niektorých vstupných vrstiev. V týchto prípadoch som použil odhadované minimálne a následne maximálne hodnoty. Po reklasifikácii

výstupov, ktorá je na interpretáciu výsledkov z LISEMu nutná, som dospel k podobným výsledkom.

4.4 Zhodnotenie výsledkov týkajúcich sa lineárnych foriem erózie

V prípade lineárnych foriem erózie, ktorá je v pokročilejšom stave a vytvára hlbšie erózne ryhy, je táto pri prieskume ľahšie rozpoznateľná. Na mape intenzity erózie z danej zrážkovej epizódy je zaznamenaná i intenzita erózie v prípadných lineárnych formách, ktoré boli vygenerované. Tieto výsledky som šiel overiť do terénu.

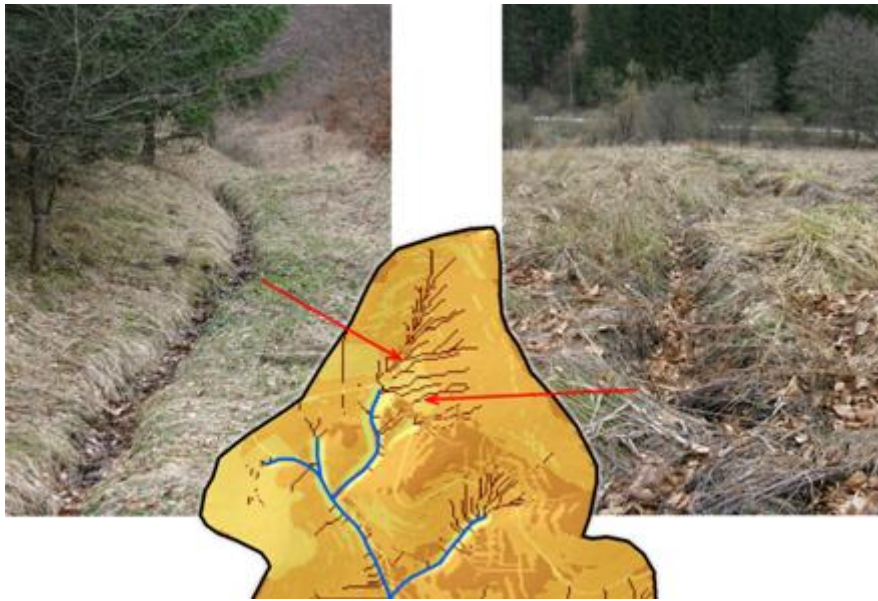
Počas prieskumu som overoval miesta, kde bol potencionálny výskyt týchto foriem najpravdepodobnejší. Jedná sa napríklad o severnú časť územia, v ktorej sa nachádza strmý svah vrchu Strážov. V týchto miestach sa na výstupnej mape nachádza pomerne hustá spleť erózných rýh. V skutočnosti však táto spleť nebola nájdená a v realite sa prejav tejto formy erózie sústredil do niekoľkých širších, rozerodovaných línií, smerujúcich priamo k údolnici. V tomto prípade však bola erózia zapríčinená i podpovrchovým zmáčaním pôdnej vrstvy, pretože sa do týchto miest sústreďoval i podpovrchový odtok. Existencia výskytu tohto príkladu môže byť zapríčinená i zvýšeným odtokom, vplyvom topenia snehovej pokrývky. Príklad tejto situácie je zobrazený na nasledovnom obrázku. Celkovo bolo na území lesných porastov obťažnejšie rozoznať existenciu lineárnych foriem erózie, pretože bola pôda pokrytá vysokou vrstvou opadaného lístia.



Obr. 5. Vznik odtokového kanálu vplyvom sústredeného odtoku

Pomerne dobrý výsledok som zaznamenal na zatrávnených areáloch v severnej časti územia. Skutočný stav je na nasledujúcom obrázku. Úspechom je fakt, že sa

výskyt týchto rýh naozaj potvrdil. Samotné rozloženie týchto rýh v teréne a ich počet ale nie je úplne totožný s vygenerovaným výsledkom. Na základe analýzy by sa malo jednať o štyri súbežne ležiace erózne ryhy. Na modelovanie tohto javu je však potrebný veľmi presný digitálny výškový model, čo sa prejavilo pri generovaní masky erózných rýh. Ďalším faktorom, ktorý mohol výsledok ovplyvniť, je hodnota počtu buniek, ktoré sa nachádzajú proti prúdu daného odtokového územia, použitá pri tvorbe masky erózných rýh. Situácia je zobrazená na nasledujúcom obrázku.



Obr. 6. Lineárne formy erózie na zatravněných plochách Zliechovskej doliny

Vo všeobecnosti môžem konštatovať, že analýza územia na výskyt lineárnych foriem erózie pomocou modelu LISEM je zaujímavým doplnkom tohto modelu. Pokiaľ však chceme dostať výsledok, ktorý by bol porovnateľný so skutočnosťou, je potrebné použiť na simuláciu čo najpresnejšie údaje. Pre analyzovanie územia na výskyt lineárnych foriem erózie hrá veľmi dôležitú úlohu digitálny výškový model územia, ktorý by mal byť čo najpresnejší, pretože v tomto prípade sa výsledok prejaví zreteľnejšie, ako v prípade modelovania plošnej erózie.

5 Modelovanie plytkých zosuvov

V ďalšej časti mojej diplomovej práce som sa zaoberal modelovaním pravdepodobnosti výskytu plytkých zosuvov na celom území CHKO Strážovské vrchy. Dôvodom začlenenia modelovania pravdepodobnosti výskytu plytkých zosuvov v tejto práci je fakt, že v prípade plytkých zosuvov sa jedná o negatívny

fenomén, príčinou ktorého je aj erózia. Jedná sa najmä o prípady v kombináciami s prívalovými zrážkami, kedy k týmto zosuvom dochádza najčastejšie.

Rozhodujúcim momentom pre vznik väčšiny zaznamenaných svahových deformácií na prírodných svahoch je podzemná a povrchová voda [2]. Tento výskyt úzko súvisí s klimatickými pomermi danej oblasti. Toto plne potvrdili aj údaje z ankety o výskyte zosuvov a podmienkach ich vzniku, ktoré boli získané od obecných úradov (362 obcí) v SR. Hodnotenie ich vplyvu zložité, pretože často vystupujú skryto, alebo v kombinácii s niektorým z uvedených prírodných faktorov [3].

5.1 SINMAP

SINMAP (Stability Index Mapping) je nadstavba softvérového balíka ArcGIS, ktorá implementuje výpočet a mapovanie indexu stability sklonu, založeného na dátach geografických informačných systémov, primárne na výškových údajoch. Tento softvér bol vyvinutý za účasti organizácií Terratech Consulting Ltd., štátnej univerzity v Utahu a C. N. Fluvial System Consulting, za podpory Forest Renewal British Columbia. Jedná sa o bezplatný softvér, ktorý je možné distribuovať za podmienok dodržiavania podmienok stanovených licenciou GNU GPL verzie 2, ktorá bola publikovaná inštitúciou Free Software Foundation. SINMAP má teoretický základ v modeli stability svahu úplnej roviny s vlhkosťou získanou z topograficky založeného ustáleného hydrologického modelu [5]. Na získanie potrebných vstupných informácií, najmä sklonu, sú využité údaje z digitálneho výškového modelu daného územia. Čo sa týka vstupných údajov, ktoré do modelu vstupujú, môžu byť tieto v priestore premenlivé a nie vždy predstavujú homogénnu štruktúru v rámci stanovených hraníc. Tieto parametre môžu byť nastavené a kalibrované použitím geografických kalibračných regiónov, ktoré sú založené na údajoch týkajúcich sa vlastností pôd, vegetácie a na geologických údajoch. Použitá metodológia v sebe zahŕňa i interaktívnu vizuálnu kalibráciu, ktorá spočíva v porovnaní výsledku s pozorovanými zosuvmi. Táto kalibrácia sa vykonáva v priebehu, nadväzujúc na mapu indexu stability daného územia a na diagram špecifickej zbernej oblasti [5].

SINMAP odvodzuje klasifikáciu stability terénu zo vstupov topografického sklonu a špecifikácie záujmovej oblasti a z parametrov kvantifikujúcich fyzikálne vlastnosti (ako pevnosť) a vlastnosti klímy (jedná sa najmä o parameter hydrologickej vlhkosti). Každý z týchto parametrov je vymedzený na numerickom rastru daného záujmového územia. Hlavným výsledkom tohto modelovacieho prístupu je index stability, numerická hodnota, ktorá je následne použitá na klasifikáciu stability terénu každej bunky študovaného územia. Topografické veličiny sú automaticky vypočítavané z údajov digitálneho výškového modelu. Ostatné vstupné parametre sú veľmi neurčité (problém s týmito hodnotami nastal pri získavaní niektorých vstupných vrstiev do modelu LISEM). Preto vstupujú do modelu v štýle zadávania ich hornej a spodnej hranice, ktorých by mohli dosiahnuť. Index stability je definovaný ako pravdepodobnosť, že dané územie je stabilné za predpokladu homogénneho rozdelenia parametrov v rámci týchto nejednoznačných rozsahov hodnôt. Tieto rozsahy hodnôt indexu stability sú medzi 0 (najnestabilnejší) a 1 (menej nestabilný). Index stability je definovaný ako faktor bezpečia (pomer stabilizujúcich síl k

destabilizujúcim) na tejto pozícii pod najkonzervatívnejšou skupinou parametrov. To dáva hodnotu vyššiu ako 1[5].

Tab. 1. Vlastnosti hraničných hodnôt indexu stability v modeli SINMAP [5]

Situácia	Trieda	Predpovedaný stav	Rozsah parametrov	Pravdepodobný vplyv Faktorov
$SI > 1,5$	1	Stabilný svah	Rozsah nemôže modelovať nestabilitu	K nestabilite sú nutné významné destabilizujúce faktory
$1,5 > SI > 1,25$	2	Stredne stabilný svah	Rozsah nemôže modelovať nestabilitu	K nestabilite sú nutné mierne destabilizujúce faktory
$1,25 > SI > 1,0$	3	Takmer stabilný svah	Rozsah nemôže modelovať nestabilitu	K nestabilite sú nutné nepatrné destabilizujúce faktory
$1,0 > SI > 0,5$	4	Dolný prah svahu	Pesimistická polovica rozsahu potrebná k nestabilite	K nestabilite nie sú nutné destabilizujúce faktory
$0,5 > SI > 0,0$	5	Horný prah svahu	Optimistická polovica rozsahu potrebná k nestabilite	Stabilizujúce faktory môžu byť dôležité pre stabilitu
$0,0 > SI$	6	Náchylný svah	Rozsah nemôže modelovať nestabilitu	Pre stabilitu sú nutné stabilizujúce faktory

Výber hraničných hodnôt indexu stability (1.5, 1.25, 1, 0.5, 0.0) je subjektívny a vyžaduje nasledovné posúdenie a interpretáciu v zmysle posúdenia ich definície a vlastností daného územia. Napríklad v prípade výsledných tried indexu stability sú použité názvy ako „stabilný“, „mierne stabilný“ a „takmer stabilný“ pre klasifikáciu území, ktoré by podľa modelu nezlyhali za použitia konzervatívnych hodnôt jednotlivých parametrov v špecifikovanom rozsahu parametrov. Index stability je v tomto prípade faktorom bezpečia, ktorý dáva odhad veľkosti destabilizujúcich faktorov (napríklad zvýšená vlhkosť spôsobená cestnou drenážou) požadovaných pre existenciu nestability. Tento model používa označenia ako „dolný prah“ a „horný prah“ pre charakterizovanie regiónov, kde vzhľadom na nejasné rozsahy parametrov kvantifikovaných modelom, pravdepodobnosť nestability je menšia, respektíve väčšia ako 50%. Poslednú možnosť tvorí kategória „náchylný svah“, ktorá charakterizuje regióny, pre ktoré vzhľadom na model platí, že svah je náchylný na zosuv pre akékoľvek hodnoty zadané do vstupných intervalov [5].

5.2 Vyhodnotenie náchylnosti územia na plytké zosuvy

Územie CHKO Strážovské vrchy bolo vo vstupnej vrstve kalibračných regiónov rozdelené do piatich kategórií, ktorých zastúpenie je zobrazené v nasledujúcej tabuľke.

Tab. 2. Zastúpenie jednotlivých druhov regiónov tvoriacich vrstvu kalibračných regiónov

Druh územia	Rozloha [km ²]	Zastúpenie [%]
Hlinito - piesočnatá pôda	11.602	2.564
Piesočnato - hlinitá pôda	12.909	2.853
Hlinitá pôda	377.206	83.361
Ílovito - hlinitá pôda	31.324	6.923
Poľnohospodársky využívaná pôda	19.454	4.299

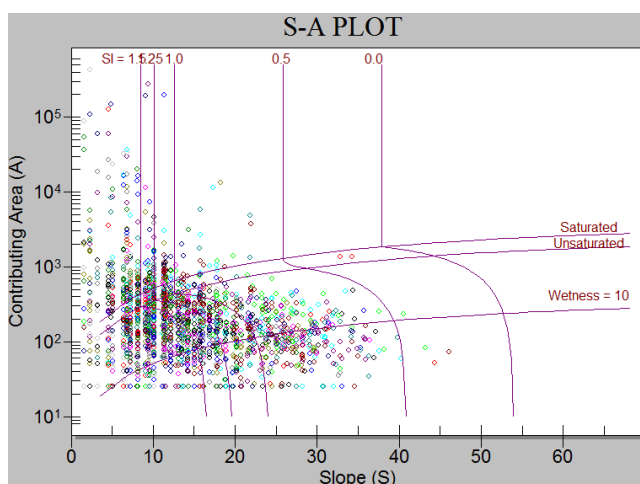
Na základe analýzy výsledkov v nasledujúcej tabuľke č. 3 možno konštatovať, že väčšina územia bola ohodnotená ako stabilná, pričom zaberá takmer 43 % z rozlohy územia. Do kategórie indexu stability hodnotenej ako stredne stabilný pripadá 14,5 % a do takmer stabilnej kategórie 18,8 % rozlohy územia CHKO Strážovské vrchy. Pomerne vysoký podiel má index stability hodnotený ako horný prah s podielom 23,2 %. V tomto prípade sa jedná o druhú najväčšiu kategóriu. Na tomto území riziko plytkého zosuvu nie je zanedbateľné. Avšak územie v rámci indexu stability prislúchajúce hornému prahu zaberá pomerne malú rozlohu (0,6 %). Územia spadajúce do kategórie označenej ako náchylný svah zaberajú približne jednu stotinu percenta.

Tab. 3. Podiel jednotlivých kategórií indexu stability pre územie CHKO Stráž. Vrchy

Index Stability	Rozloha [km ²]	Zastúpenie [%]
Stabilný svah	193.370	42.732
Stredne stabilný	65.641	14.506
Takmer stabilný	85.188	18.825
Dolný prah	105.423	23.298
Horný prah	2.833	0.627
Náchylný svah	0.050	0.012

Na nasledujúcom obrázku č. 7 je grafický výsledok analýzy. Jedná sa o graf, v ktorom sú umiestnené náhodne vybrané body zo skúmaného územia. Z tohto grafu

je vidieť, že najhustejšie zastúpenie je za čiarou, ktorá označuje index stability väčší ako 1,5. Hustota týchto bodov sa postupne so zvyšujúcim sa sklonom klesá a v intervale medzi 0,5 až 0,0 (horný prah) sa ich nachádza už iba niekoľko málo. Znamená to, že väčšina územia bola ohodnotená ako stabilná. Pomerne významné zastúpenie majú územia hodnotené indexom stability dolného prahu (0,5 – 1), ktoré zaberajú zo skúmaného územia 23,2 %.



Obr. 7: Grafický výstup z analýzy indexu stability CHKO Strážovské vrchy

Čo sa týka výsledkov analýzy vzhľadom na jednotlivé druhy kalibračných regiónov, najväčšie riziko sa potvrdilo v regiónoch s hlinito-piesočnatými (dolný prah: 40,3 %, horný prah: 0,8 %) a piesočnato-hlinitými pôdami (dolný prah: 36,8 %, horný prah: 1,2 %). Regióny s hlinitými (dolný prah: 24,1 %, horný prah: 0,7%) a ílovito-hlinitými pôdami (dolný prah: 13,7 %, horný prah: 0,2 %) majú v rámci týchto kategórií indexu stability menšie zastúpenie. V rámci výsledkov tejto skupiny regiónov sa potvrdil fakt, že zastúpenie pôdných druhov má vplyv na priebeh hodnôt. Dôvodom sú výsledky, podľa ktorých percentuálne zastúpenie ohrozených území klesá so zvyšujúcim sa obsahom ílu v pôde.

V rámci poľnohospodársky využívaných území pripadá necelých 95 % prvým trom kategóriám indexu stability. Dolný prah dosiahol 4,2 % a horný prah iba 0,005 %. V tomto prípade sa jedná o vynikajúci výsledok. Dôvodom môže byť fakt, že sú tieto územia lokalizované na miernych svahoch, kvôli dostupnosti poľnohospodárskej techniky.

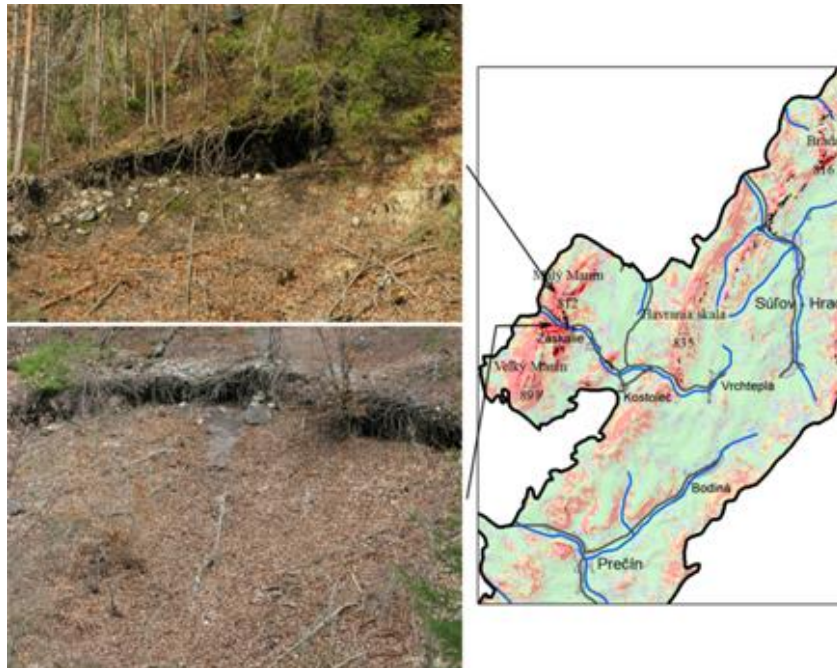
5.3 Overenie výsledkov v teréne

Na základe mapových výstupov analýzy náchylnosti územia na plytké zosuvy som sa tieto pokúsil overiť v teréne. Bolo zrejmé, že najväčší význam pri vyhodnocovaní

náchylnosti pomocou modelu SINMAP má sklon svahu územia, pretože do kategórie „horný prah“ patria svahy s najväčším sklonom. Ostatné parametre, ktoré sú do modelu zadávané pomocou kalibračných regiónov, ako napr. kohézia alebo hustota pôdy, sú potrebné na dodatočnú reguláciu a spresnenie tohto modelu.

V prvom rade si treba uvedomiť, že sa jedná o modelovanie pravdepodobnosti voči zosuvu. To znamená, že v rámci prieskumu nemožno predpokladať, že na ohrozených miestach tieto zosuvy nájdeme. Je to z časti aj preto, že model neráta s rastlinným pokryvom, ktorý má na týchto územiach nezastupiteľnú úlohu. Ďalej je potrebné počítať s nepresnosťou digitálneho výškového modelu, ktorý mohol do určitej miery ovplyvniť výsledok modelovania.

Na základe grafického výstupu modelu SINMAP a obhliadky niektorých situácií v teréne možno konštatovať, že model dáva pomerne dobré výsledky. Z hľadiska týchto výsledkov sa javí ako naozaj vhodná voľba deliť modelované územie na kategórie bez ohrozenia (kategórie 1 až 3) a ohrozené kategórie (4 a 5) v tabuľke č. 1.

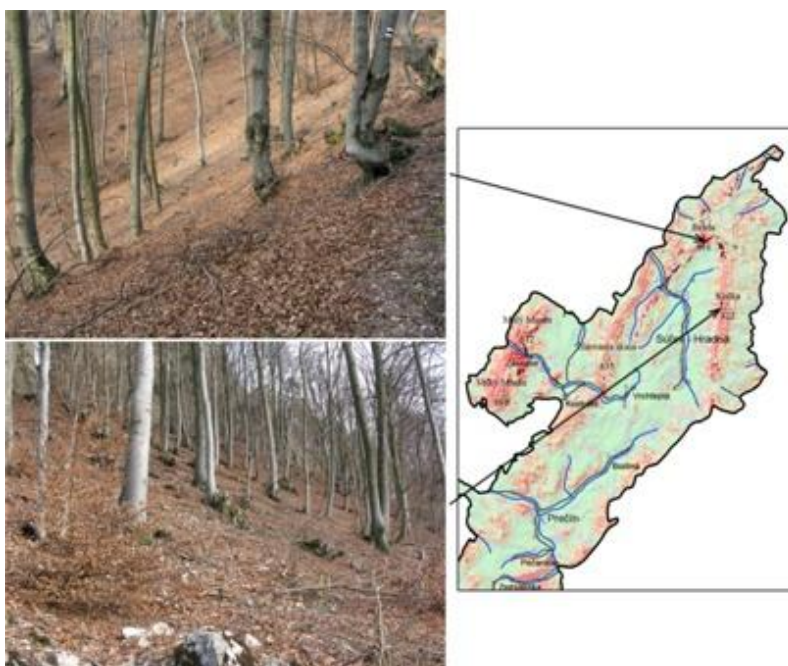


Obr. 8: Zosunutá časť pôdneho horizontu na svahu Malého Manína (hore) a v blízkosti obce Záskanie (dole)

V rámci týchto dvoch ohrozených kategórií boli zistené situácie, kde by za určitých podmienok naozaj mohlo dôjsť k zosunutiu vrchnej časti pôdnej vrstvy. Na týchto územiach mal veľmi dôležitú úlohu stromový porast, ktorý svojou koreňovou sústavou spevňoval pôdnu vrstvu. Jeden z prípadov odtrhnutej časti pôdnej vrstvy

som našiel na svahu Malého Manína. Toto územie bolo v rámci analýzy zaradené do kategórie „horný prah“. Situácia je zobrazená vo vrchnej časti obrázku č. 8.

Pri obhliadke na území blízko obce Záskanie, v rámci územia zaradeného do kategórie „horný prah“, som narazili na prípad, kde došlo k takémuto zosunutiu vrchnej časti pôdnej vrstvy. V tomto prípade nie je isté, či došlo k tomuto zosuvu vplyvom výrubu stromového porastu, alebo sa jednalo o spontánnu udalosť. Tento prípad je zobrazený v spodnej časti obrázku č.8.



Obr. 9: Príklady území tvoriacich kategórie dolného a horného prahu ohrozenosti územia na plytké zosuvy

Čo sa vo všeobecnosti týka území zaradených do kategórií dolný prah a horný prah, jedná sa o strmé svahy. Túto ohrozenosť nasledovne čiastočne ovplyvňujú dodatočné parametre týkajúce sa vlastností pôdy. Tieto kategórie pozostávajú zo strmých svahov, ktorých príklady sú na obrázku č. 9. Z tohto obrázku je zrejmé, že v týchto miestach dochádza k pôsobeniu gravitačných svahových procesov, konkrétne dochádza k plazeniu. Plazenie je pomalé tečenie hmoty, kedy napätie v hornine, alebo v zemine neprekročí medzu pevnosti, ale i tak dochádza k deformáciám [1]. V tomto prípade je dôkazom ohýbanie stromov a vznik tzv. opitého lesa, čo je vidieť na doleuvedených fotografiách.

V rámci území ohodnotených stupňami 1 až 3 sa jedná o prípady, kde je svah daného územia menej strmý, čím sa jeho náchylnosť na zosuv znižuje. V našom prípade spadá do týchto kategórií približne 76 % územia.

Na záver môžem konštatovať, že SINMAP je model, ktorý by sa mohol uplatniť v rôznych profesiách, napríklad v lesnej správe, alebo v správe CHKO SV. Pozitívom tohto modelu je pomerne malá náročnosť a jednoduchosť tohto modelu. V prípade použitia kalibračných regiónov už je však nutné poznať niektoré hodnoty zamerané na vlastnosti pôd. Tento problém je však minimalizovaný použitím rozmedzí v rámci týchto hodnôt. Ďalšou výhodou tohto modelu je možnosť kalibrácie, ktorá sa prevádza na základe existujúcej bodovej vrstvy zaznamenaných zosuvov na danom území. Túto možnosť som však v tomto prípade nemal možnosť overiť, pretože informácie tohto typu neboli k dispozícii.

6 Záver

Hlavným cieľom tejto práce bolo preskúmať možnosti zrážkooodtokového modelu LISEM. V tomto prípade sa jedná o výkonný model, ktorý simuluje hydrologické a pôdno-erózne procesy počas jednotlivých zrážkových udalostí na území vybraného povodia. A tým je jedným z mála čo to dokázu. Použitím tohto modelu je možné simulovať dopad zmien vzhľadom na využitie zeme a preskúmať ich scenáre. Jedná sa o hodnotný nástroj pre plánovanie efektívnych opatrení, k zmierneniu efektu povrchového odtoku a erózie. Výhodou LISEMu je aj to, že produkuje detailné mapy pôdnej erózie a povrchového odtoku. Medzi veľkú výhodu patrí možnosť modelovania lineárnych foriem erózie, čo je medzi eróznymi modelmi pomerne ojedinelý prípad.

Keďže sa jedná o model, ktorý nič nepredpokladá, dochádza tu k situáciám, ktoré pre začiatočníka vyústia do rady nevýhod. Problém je v tom, že sa jedná o model, ktorý by mal byť používaný skupinou odborníkov, alebo výskumníkov, majúcich k dispozícii laboratórium na získavanie potrebných údajov. Dôvodom je fakt, že pre niektoré vstupné vrstvy je prakticky nemožné získať zodpovedajúce hodnoty.

Počas zhotovovania jednotlivých vstupných vrstiev som sa stretol s viacerými analýzami, ktoré použili práve tento model. Boli zhotovené v rôznych častiach Zeme. Väčšinou sa zaoberali analýzou v rámci povodia. Na základe týchto výsledkov, ktoré síce neboli zlé, avšak mohli by byť lepšie, by som odporučil zhotovovať túto analýzu pre menšie územia (napríklad v rámci svahu, a nie celého povodia). Dôvodom je obrovský nárast laboratórnych testov z jednotlivých vzoriek pri analýze väčšieho územia. Ako hlavnú prioritu pri zhotovovaní vstupných vrstiev je mať čo najpresnejší digitálny výškový model (zhotovený napríklad pomocou LIDARu a pod.), pretože jeho presnosť sa odzrkadlí pri skúmaní erózných rýh v teréne. Pri zhotovovaní jednotlivých vstupov pre túto prácu takéto možnosti neboli k dispozícii, čo sa nakoniec odzrkadlilo v samotnom výsledku. Preto odporúčam do budúcnosti prípadným záujemcom zvážiť fakt, či by nebolo vhodnejšie na podobné účely využiť niektorý z iných modelov.

Ďalšia časť tejto práce sa zaoberala modelovaním plytkých zosuvov, využitím modelu SINMAP. Na základe mojich skúseností môžem konštatovať, že SINMAP patrí medzi využiteľné modely. Síce je pravda, že vstupných údajov požadovaných na spustenie základnej analýzy nie je mnoho, je tu ale možnosť spresnenia využitím kalibračných regiónov. Niektoré vstupné údaje síce nie je jednoduché získať, no tento

problém je ošetrený zadávaním hornej a dolnej hranice jednotlivých hodnôt. Medzi profesie, v rámci ktorých by tento model mohol nájsť využitie, patria napr. lesné správy, alebo správy chránených území, kde by mohol byť používaný v rámci plánovania výrubov niektorých území. Tu by mohol tento model predpovedať efekt, ku ktorému by mohlo dôjsť pri poškodení rovnováhy na rizikovom území.

Verím, že táto diplomová práca priniesla do tejto problematiky niečo nové a bude aspoň z časti nápomocná pre správu CHKO Strážovské vrchy a pre záujemcov, ktorí sa budú v budúcnosti venovať problematike modelovania fluviaálnej erózie.

Reference

1. DEMEK, J; PAŠEK, J; RYBÁŘ, J. *Principy působení eroznědenudačních pochodů*. Brno: Studia Geographica 51, 1975.
2. MARSCHALCO, Marián; IDEŠ, David. *Vliv zvodnění na gravitační pohyby sesuvného typu ve svazích Karpatského flyše*. In *Sborník ref. Konference Recyklace odpadů V*, Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2001.
3. VLČKO, Ján; VOJTAŠKO, Ivan. *Engineering geology and urban environment: a contribution to two problems*. Acta geologica et geogr. Univ. Com., Geologica Nr. 46, 1991
4. LISEM. <http://www.itc.nl/lisem/>. The input maps
5. SINMAP 2. <http://hydrology.neng.usu.edu/sinmap2/sinmap2.PD>. *A Stability Index approach to Terrain Stability Hazard mapping*.
6. Štátna ochrana prírody Slovenskej republiky. <http://www.sopsr.sk/strazovskevrchy/natura.html>. NATURA 2000