

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

KATEDRA GEOINFORMATIKY



Milan HALAŠTA

**DETEKCE ÚZEMÍ POTENCIÁLNĚ
OHROŽENÝCH SESUVY V OBLASTI
VIZOVICKÉ VRCHOVINY**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. Michal BÍL, Ph.D.

Olomouc 2009

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci řešil sám a že jsem uvedl veškerou použitou literaturu.

Přerov 29.7.2009

.....

Děkuji vedoucímu práce RNDr. Michalu Bílovi, PhD. za odborné vedení, konzultace, a dobré rady a také za pomoc při zaměřování a poskytnutí potřebných dat.

1 Úvod.....	5
2 Cíle práce.....	6
3 Zájmové území	7
3.1 Vymezení	7
3.2 Geomorfologie.....	9
3.3 Geologie	10
3.4 Klimatické a hydrologické poměry	11
3.5 Ochrana přírody a vegetace	11
3.6 Půdní poměry	13
4 Faktory podmiňující sesuvy.....	14
5 Vznik a charakteristika sesuvů na zájmovém území	17
6 Metodika a postup.....	18
6.1 Data.....	18
6.2 Terénní práce	18
6.3 Využití GIS k získání dalších parametrů.....	20
6.4 Analýzy v GIS.....	20
6.5 Výpočet potenciálního ohrožení sesuvy	23
6.6 Váhy faktorů	25
7 Výsledky.....	27
7.1 Sklon svahů.....	27
7.2 Landuse.....	30
7.3 Typy půd.....	31
7.4 Skeletovitost.....	32
7.5 Vzdálenost od rozvodnic a umístění sesuvů na svahu.....	33
7.6 Expozice vůči světovým stranám	35
7.7 Výsledky – předpovědní mapa pro výskyt mělkých sesuvů.....	37
7.8 Ověření výsledků.....	37
8 Diskuse	39
9 Závěr.....	42
10 Summary.....	43
11 Přehled citované literatury a internetových zdrojů.....	44
Přílohy.....	47

1 Úvod

Sesuvy patří mezi středně rychlé svahové pohyby. Sesuvy vznikají v důsledku gravitace, která působí na materiál na svahu. Ten můžeme rozdělit na zvětralinový plášť a skalní podloží. K pohybu svahových hmot dochází, pokud je narušena stabilita svahu. Ta je dána rovnováhou dvou sil působících na svahový materiál, a to smykového odporu, který brání pohybu, a smykového napětí, které je naopak silou generující pohyb po svahu. Na poměru těchto dvou sil závisí, jaká bude stabilita svahu. V případě, že svahové napětí je větší než svahový odpor, svah se stává nestabilním. Na tyto dvě síly působí několik faktorů, nejdůležitějšími ovšem jsou sklon svahu a množství vody ve svahovém materiálu (Zdroj 3).

Vizovická vrchovina patří mezi pahorkatiny a vrchoviny flyšového pásma nacházejícího se na východní Moravě a na Slovensku, kde jsou sesuvy hojně rozšířeny (Czudek, 1997). Při zvýšeném množství srážek a tání velkého množství sněhu na přelomu března a dubna 2006 zde vzniklo extrémní množství sesuvů, které byly vybrány a zařazeny do výzkumu (Bíl, Müller, 2008).

2 Cíle práce

Hlavním cílem bakalářské práce je vytvořit předpovědní mapu pro výskyt mělkých sesuvů v oblasti Vizovické vrchoviny. Tato mapa je tvořena na základě získaných poznatků o sesuvech, které byly v zájmové oblasti zjištěny. Prvním dílčím cílem je upřesnit území, které bude podrobena analýzám, tj. území 26 obcí ve Vizovické vrchovině (viz tabulka 1). Zájmové území je v práci popsáno v kapitole 3 Zájmové území.

Dalším cílem je zpřesnění a doplnění dat o dostupných sesuvech. Byla poskytnuta data o 56 sesuvech od České geologické služby a vedoucího práce. U těchto sesuvů nebyla uvedena přesná lokalizace a důležité parametry svahů, na kterých se nachází, proto bylo nutné provést terénní měření za účelem zpřesnění polohy a doplnění těchto parametrů. Část parametrů získaných z terénu bylo třeba doplnit o další, které byly získány z analýz v GIS software. Všechny parametry byly shrnuty do tabulky I (Volná příloha II). Na základě získaných parametrů byly vytvořeny vrstvy pro celé zájmové území, což je popsáno v kapitole 6 Metodika a postup, podkapitola 6.3 a podkapitola 6.4. Dále jsou parametry již nazývány jako faktory ovlivňující vznik sesuvů.

Výsledná předpovědní mapa byla vytvořena pomocí analýz nad jednotlivými vrstvami faktorů. K tomu byla použita vícekriteriální analýza popsaná v kapitole 6.5.

3 Zájmové území

3.1 Vymezení

Sledované území se nachází v geomorfologickém celku Vizovická vrchovina (Demek, 2006). Z administrativního hlediska leží ve Zlínském kraji mezi městy Zlín a Uherský Brod, přesněji na katastru 26 obcí. Celková výměra území činí 211,89 km².

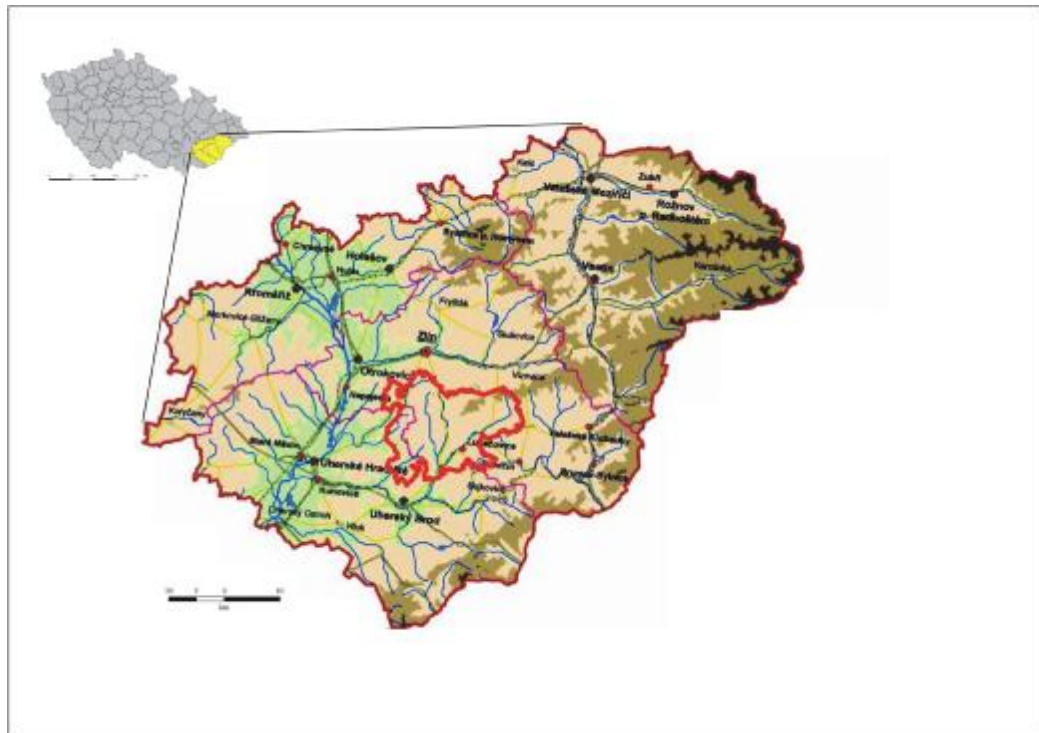
Tabulka 1: Seznam obcí

- | | |
|-----------------------|-----------------|
| • Biskupce | • Ludkovice |
| • Bohuslavice u Zlína | • Luhačovice |
| • Březnice | • Pašovice |
| • Březůvky | • Podhradí |
| • Částkov | • Pozlovice |
| • Dobrkovice | • Prakšice |
| • Dolní Lhota | • Provodov |
| • Doubravy | • Sehradice |
| • Horní Lhota | • Slopné |
| • Hřivínův Újezd | • Svárov |
| • Kaňovice | • Šarovy |
| • Kelníky | • Velký Ořechov |
| • Lhota | • Zlámanec |

Území náleží do povodí Moravy, nejvýznamnější toky, které tudy protékají, jsou Březnice a Šťávnice (Vlček a kol., 1984). Nejvyšší bodem je vrch Komonec (672 m n. m.) ležící na katastru obce Provodov. Částečně na území zasahuje CHKO Bílé Karpaty.

Reliéf je velmi členitý a z velké části zalesněný. Lesy jsou většinou smíšené, největší zastoupení má dub, buk a smrk. Ve zkoumané části Vizovické vrchoviny převládá extenzivní typ zemědělství a pastevectví dobytka. Pro region je velmi důležité město Luhačovice, které je známé díky lázeňství a s tím spojeným turistickým ruchem.

Vzhledem k velké členitosti a také geologické stavbě je území velmi náchylné k tvorbě sesuvů a z tohoto hlediska patří mezi nejhroženější oblasti v České republice.



Obr. 1: Zájmového území (Zdroj 8 – upraveno pomocí ArcView 3.2 a CorelDraw 12)

3.2 Geomorfologie

Rozdíl nadmořských výšek na zájmovém území je 462 metrů. Nejnižší bod, 210 m n. m., se nachází na východě mezi obcemi Částkov a Nedachlebice nedaleko soutoku Zlámaneckého a Částkovského potoka. Nejvyšším bodem je již zmíněný vrch Komonec (672 m n. m.), který se nachází na severu území asi 2,5 km od obce Provodov. Nejvyšší nadmořské výšky se nacházejí na severu a východě území, na jihu a západě je území nižší, svažuje od SV k JZ. Průměrná nadmořská výška území je podle dat digitálního modelu reliéfu (dále DMR) 358 m n. m..

Zařazení zájmového území Vizovická vrchoviny do geomorfologického členění (Demek, Mackovčín, 2006):

Systém: Alpsko – himalájský

Subsystem: Karpaty

Provincie: Západní Karpaty

Subprovincie: Vnější západní Karpaty

Oblast: Slovensko – moravské Karpaty

Celek: Vizovická vrchovina

Podcelky: Zlínská vrchovina

Komonecká hornatina

Luhačovická vrchovina

Hlucká pahorkatina

Vizovické vrchy se nacházejí ve vnějších západních Karpatech, které zabírají 9,1 % území ČR. Karpaty se začaly se vyvíjet až v době, kdy Český masiv byl již z morfostrukturního hlediska vyvinut. Vyznačují se velkou vertikální i horizontální členitostí (Czudek, 2005).

Zájmové území se vyznačuje velkou vertikální i horizontální členitostí reliéfu. Základními rysy regionu jsou rozvodní části, které tvoří ploché a široké, nepříliš dlouhé hřbety. Údolí jsou otevřená, nemají příliš příkré svahy a jejich hloubka se pohybuje mezi 80–150m. Výjimku tvoří Komonecká hornatina, kde

jsou strmé svahy a průlomová údolí hluboká i 200m. Území lze charakterizovat převážně jako plochou vrchovinu s převýšením 150-200 m, na západě, který se blíží Vněkarpatským sníženinám se jedná o členitou pahorkatinu s převýšením 100 – 150 m. Větší převýšení najdeme pouze v Komonecké hornatině, kterou můžeme označit za plochou hornatinu s převýšením 300–400 m. (Culek, 1995)

3.3 Geologie

Vizovické vrchy patří geologicky do západních Karpat, přesněji do regionálně – geologického celku: flyšové pásmo, které tvoří příkrovový alochton, ve kterém jsou vyčleněna magurská a vnější skupina příkrovů. Celé zájmové území je tvořeno magurskou skupinou příkrovů. Ta se vyznačuje flyšovou sedimentací s rytmickým střídáním psamitů a pelitů. Je členěna od SZ k JV na tři faciálně – tektonické jednotky: 1. račanskou, 2. bystrickou, 3. bělokarpatskou. V těchto jednotkách lze sledovat směrem k vnějšímu okraji orogenu postupný trend mládnutí v ukončování sedimentace (Čtyroký, Stráník, 1995). Zájmové území se celé nachází na račanské jednotce.

Račanská jednotka – zahrnuje sedimenty albu až spodního oligocénu, které se vyznačují velkou faciální proměnlivostí. Spolu s bystrickou jednotkou má výraznou pásemnou stavbu (Čtyroký, Stráník, 1995).

Z litologického hlediska jde o střídání jílovců, prachovců, jílovců a slepenců. Většina sedimentů se uložila v paleogénu a eocénu (Šajgalík, 1986). Dále se na území vyskytují dva největší zlomy, první v SZ – JV směru přibližně od Doubrav k Luhačovicím a druhý v S – J směru přibližně od Hřivínova Újezdce k Biskupicím (Cháb, et al., 2007).

V předkvartérním období byly zvrásněné flyšové horniny nasunuty na spodnomiocenní a na středomiocenní sedimenty předkarpatské předhlubně. Nejčastější jsou zde svahové sedimenty, které většinou dosahují mocnosti dva metry (Czudek, 2005).

3.4 Klimatické a hydrologické poměry

I když zkoumané území není příliš velké, zasahuje do čtyř klimatických regionů (Quitt, 1975)

Tabulka 2: Klimatické charakteristiky území

Region	Počet letních dnů	Teplota leden (°C)	Teplota červenec (°C)	Srážky/rok	Počet sněh. dnů
T 2	50 - 60	-2 - -3	18 - 19	700 - 800	40 - 50
MT 10	40 - 50	-2 - -3	17 - 18	800 - 900	50 - 60
MT 9	40 - 50	-3 - -4	17 - 18	800 - 900	60 - 80
MT 7	30 - 40	-2 - -3	16 - 17	800 - 900	60 - 80

Nejteplejší je Z a JZ území, kam zasahuje teplý region T 2. Na něj navazuje region mírně teplý MT 10, který zabírá pás od SZ po JV území. Na S a částečně JV území zabíhá mírně teplý region MT 9 a malou část na SV zabírá nejchladnější z těchto čtyř regionů, mírně teplý region MT 7.

I přesto, že území patří do čtyř regionů, nejsou klimatické charakteristiky příliš rozdílné. Území je v podstatě rozděleno na několik pásu. Od nejteplejšího JZ po nejstudenější SV.

Rozdíl mezi regiony u průměrných teplot vzduch je max. 2 C°, rozdíl průměrných srážek 100 mm/rok, rozdíl letních dnů a sněhových dnů je nejvíce 20, resp. 30 dní.

Srážky jsou tedy poměrně vydatné díky tomu, že území má návětrnou polohu v západní části Karpat. Jejich množství se zvětšuje od Z k V, tedy stoupá s nadmořskou výškou (Culek, 1995).

3.5 Ochrana přírody a vegetace

Do zájmového území zasahují tři velkoplošná chráněná území a nachází se zde několik maloplošných chráněných území. Na V území sem zasahuje CHKO Bílé Karpaty vyhlášená r. 1980, od r. 1996 má statut biosferické rezervace UNESCO s programem „Man and Biosphere“ (MAB) (Mackovčín,

Jatiová, 2002). Na SV území zasahuje přírodní park Vizovické vrchy a na JZ území zasahuje přírodní park Prakšická vrchovina.

Z pohledu biogeografického členění spadá území do Západokarpatské podprovincie a Zlínského bioregionu a patří do oblasti mezofytika (Culek, 1995).

Podle fyto geografického hlediska náleží území do okresu Zlínské vrchy a částečně také do okresu Bílé Karpaty lesní. Objevují se zde suprakolinní až submontánní vegetační stupně. V nižších nadmořských výškách ve Zlínském bioregionu a tedy i na zájmovém území jsou velmi rozšířeny dubohabřiny, na příkřejších svazích kyselých substrátů také ostrůvkovitě acidofilní doubravy, ve vyšších nadmořských výškách přicházejí bučiny. Květena je zde vcelku jednotvárná, vyskytují se běžné druhy pro tuto oblast. Mezi zajímavější druhy patří v lesích rostoucí ostřice chlupatá či ostřice převislá, dále hvězdnatec čemeřicový, ojediněle se mohou objevit druhy hercynského háje jako např. ptačinec velkokvětý nebo jaterník dvojlaločný. Fauna je pro tento region v západní části Karpat ve zkulturněné krajině značně ochuzená. Ze savců zde žije ježek východní, z ptáků strakapoud jižní, kos horský, z obojživelníků skokan štíhlý, mlok skvrnitý nebo z měkkýšů řasnatka nadmutá, trojzubka stepní (Culek, 1995).

Chráněná území: (Mackovčín, Jatiová, 2002)

Přírodní památka Čertův kámen – skalní útvar na úbočí kóty Rýsov. Je to izolovaný výchoz mocných, strmě ukloněných lavic pískovců až slepenců.

Přírodní památka Uhlisko – jedná se o nivu Černého potoka, lokalitu ohrožených druhů rostlin a živočichů vázaných na nivní mokřadní louky.

Přírodní památka U Petrůvky – pastvina na břehu levého přítoku Olšavy. Je to krajinářsky hodnotné, členité a svažité území s výskytem vstavače obecného.

Přírodní park Vizovické vrchy – maloplošné chráněné území, které je charakterizováno souvisle zalesněnou hornatinou a charakteristickým osídlením a hospodařením na svazích a v údolích.

Přírodní park Prakšická vrchovina – jsou zde charakteristické doubravy a dubohabřiny. Četné jsou staré extenzivně využívané sady, teplomilné louky a pastviny.

3.6 Půdní poměry

Půdy jsou těžké jílovité, naprosto převládají slabě oglejené typické kambizemě na nevápnitém, jílovitém flyši. Směrem k západu přecházejí v pseudoglejové luvizemě, luvizemní hnědozemě až typické hnědozemě na spraši. V Komonecké hornatině přecházejí až v dystrické kambizemě (Culek,1995).

4 Faktory podmiňující sesuvy

Sesuvy jsou produktem sesouvání, které je jedním ze svahových pohybů. Jedná se o pohyb materiálu dolů po svahu účinky gravitace, bez působení tekoucí vody, ledu nebo větru (Zdroj 3).

Faktory způsobující svahové pohyby představují jak přírodní anomální procesy, tak umělé zásahy do ustáleného dlouhodobého režimu vývoje svahu (Nemčok, 1982).

Lze je rozdělit do několika skupin z několika hledisek. Z hlediska geneze na přirozené a umělé, z hlediska charakteru a délky trvání na permanentní a epizodické (Zdroj 1). Problematikou faktorů se zabývá více autorů, každý používá jiné dělení, ovšem v tom, které faktory jsou nejdůležitější se shodují. Např. Záruba (1987) uvádí jako nejdůležitější změnu sklonu svahu, změnu výšky svahu, přetížení povrchu, otřesy a vibrace, změna obsahu vody, působení podzemní vody, mrazu, zvětrávání hornin a změna vegetačního krytu. Pašek (Zdroj 1) faktory dělí na antropogenní a přírodní, které více rozvádí a dále dělí na geologické, geomorfologické, hydrogeologické a klimatické. Ze zahraničních autorů např. Varnes (Zdroj 1) rozděluje a popisuje faktory působící na svahové pohyby ve čtyřech skupinách:

- a) morfologické poměry – změna sklonu svahu, která může být způsobena odnosem materiálu z paty svahu; změna výšky svahu způsobená prohlubováním údolí, čímž dochází k uvolňování bočních napětí ve svazích a vzniku puklin, do kterých vniká voda a napomáhá rozrušování svahu
- b) geologická stavba – geologicko-tektonická stavba ovlivňuje geomorfologické a hydrogeologické poměry daného svahu, a může být proto určující podmínkou pro vznik sesuvu. Nemčok (1982) vymezuje základní geologicko – tektonické struktury pro vznik svahových pohybů v Západních Karpatech, kam zájmová oblast patří.
 - Povrchové zóny – geologická struktura vytvořená zvětrávacími, erozními a akumulačními procesy v kvartéru, na které působí sezónní klimatické vlivy.

- Podpovrchové zóny – geologické struktury, u nichž byly při vzniku svahu nařezány oslabené zóny v masivu. Nemčok (1982) dále rozlišuje tři hlavní typy těchto struktur. Po srovnání litologické stavby s Šajgalíkem (1986) (viz kap. 3.3) pro zájmové území odpovídá druhý typ, pro který jsou typické svahy se střídáním vrstev nebo poloh hornin pevnějších a méně odolných s rozdílnou propustností (např. pískovce, jílovce). Smykovou plochu často předurčují vrstevní plochy ve směru svahu. Tyto poměry jsou typické pro flyšové pásmo.
- c) Fyzikální faktory – podle zdroje 1 se dále dělí na klimatické faktory (teplota vzduchu, množství srážek, tání sněhu, expozici svahu) a ostatní fyzikální faktory (působení podzemní vody, zvětrávání, promrzání, vulkanické erupce, zemětřesení).
- Klimatické faktory – vliv vydatnosti srážek je všeobecně uznáván. Důležité jsou především extrémní srážky, které vyvolávají přívalové deště, neboť urychlují krajinné pochody, jako je eroze půdy nebo sesuvy, a vyvolávají extrémní průtoky na vodních tocích. Z pohledu expozice nejvíce srážek při stejné nadmořské výšce spadne na SZ svahy a hřebeny. K dešťovým srážkám se může přidat i rychlé tání sněhu, které je způsobeno zvýšenou teplotou vzduchu (Zdroj 1).
 - Ostatní fyzikální faktory – hladina podzemní vody se může rychle měnit v závislosti na srážkách nebo výšce hladiny řek a vodních nádrží, kde nejčastěji působí na vznik sesuvů. Zvětrávání je další významný faktor, který má charakter mechanického rozrušování i chemického rozkladu. Porušuje horninovou strukturu i texturu a jeho intenzita, hloubka a rychlost závisí také na srážkových a teplotních poměrech nebo vegetačním krytu. Vliv promrzání je velmi známý, voda po zmrznutí zvětšuje svůj objem a vznikají pukliny v horninách, které po rozmrznutí vody má menší soudržnost (Zdroj 1). Další uvedené faktory jako je sopečná činnost a zemětřesení nejsou v zájmové oblasti pozorovány.
- d) Antropogenní faktory – mezi tyto faktory patří stavební činnost, umělé vibrace, odstranění vegetačního krytu a hlubinné a povrchové dobývání. Stavební činnost ovlivňuje geometrii svahu při odstranění a odlehčení dolní

části svahu při tvoření zářezu např. při stavbě komunikací. Dalším problémem je změna geometrie způsobená zatížením horní části svahu násypem nebo stavební konstrukcí. Při výstavbě, při práci v lomu, průjezdech těžké mechanizace mohou vzniknout sesuvy díky umělé vibraci. Dalším faktorem je změna vegetačního pokryvu. Kořeny především stromů mechanicky udržují stabilitu svahu a dále spotřebovávají část vody a tím vysoušejí svah. Při odstranění vegetace se zvýší povrchová eroze a změní se vodní režim v povrchových vrstvách. Těžba také mění ráz krajiny. Kromě poklesů nadložních vrstev v poddolovaném území může dojít k sesouvání i v povrchových dolech (Zdroj 1).

5 Vznik a charakteristika sesuvů na zájmovém území

Zájmové území je často postihováno sesuvy. Poslední velké sesuvy se udály na přelomu března a dubna 2006. Vyskytují se zde především mělké sesuvy, které zasahují pouze horní vrstvu sedimentů, průměrná hloubka je 1 m. Typické mělké sesuvy jsou 35–100 m dlouhé, 20–70 m široké a vyskytují se na svazích s průměrným sklonem 12° (Bíl, Müller, 2008). Tyto statistiky byly potvrzeny i v terénu.

Velké sesouvání půdy bylo zapříčiněno extrémními klimatickými podmínkami, především velkými srážkami, oteplením a táním sněhové pokrývky.

Klimatické charakteristiky:

Období tání sněhu – období kdy průměrná denní teplota neklesá pod bod mrazu a končí 7 dní po odtátí posledního sněhu.

Míra tání sněhu (STR) – průměrná hodnota (mm/den) vodního ekvivalentu sněhu (SWE) od začátku po konec období tání sněhu.

Totální úhrn srážek (TCP) – suma SWE a dešťových srážek (mm).

Z měření během období tání sněhu meteorologické stanice v Luhačovicích v letech 1988 - 2006 vyplývá, že v r. 2006 se sešlo více extrémních podmínek. Úhrn srážek byl 65,1 mm, v předchozích letech byl přitom největší úhrn 39 mm v r. 1999. Výška sněhové pokrývky byla na začátku období tání 33 cm. Hodnota SWE byla 78,4 mm, což je druhá nejvyšší hodnota během doby měření, ovšem pro srovnání, kdy v r.2005 byla hodnota SWE 93,1 mm, byly srážky pouze 6,7 mm. Totální úhrn srážek (TCP) tak dosáhl hodnoty 143,5 mm. To je o 50 % více než v r.2005, kdy byl TCP druhý nejvyšší, 99,8 mm. Ostatní nejvyšší hodnoty překročil tento úhrn o více než 1400 %, když další největší hodnoty dosahovaly 60 - 65 mm v letech 1992, 1999 a 2000 (Bíl, Müller, 2008).

6 Metodika a postup

6.1 Data

Pro tvorbu předpovědní mapy sesuvů bylo vybráno území, které bylo na jaře 2006 nejvíce zasaženo sesuvy. Bylo sem zahrnuto území 26 obcí.

Výchozí data byla poskytnuta vedoucím práce na základě údajů ČGS, v podobě bodové vrstvy, kde jednotlivé body představovaly zjištěné sesuvy. Ke každému sesuvu byly poskytnuty informace o přístupnosti a poloze sesuvu, u některých dále sklon svahu, landuse a rozměry. Tato data ovšem nebyla přesná a úplná. Polohu sesuvů bylo potřeba opětovně zaměřit pomocí GPS a upřesnit některé důležité informace o sesuvech, především doměřit sklon svahu. Dále byl vedoucím práce poskytnut DMR s velikostí pixelu 20 m a data BPEJ.

6.2 Terénní práce

Na zájmovém území bylo provedeno terénní zaměřování a dokumentace sesuvů na základě poskytnutých dat. Práce probíhaly od léta 2007 do jara 2008 za pomoci přístroje GPS a PDA zařízení Trimble a poznámkového bloku pro zapisování dalších informací a parametrů sesuvů. Vzhledem ke stáří sesuvů nebyly všechny v terénu nalezeny. Bylo zaměřeno pouze 25 z 56 sesuvů. O dalších 16 sesuvech z dřívějšího zaměřování poskytl data vedoucí práce. Celkově bylo tedy využito k analýzám 41 sesuvů. Z těchto sesuvů se jich nejvíce nachází na území obcí Biskupice (8), Bohuslavice (8) a Částkov (6). Rozmístění sesuvů je zaznamenáno v příloze 2, obr. 7.

Vyhledávání sesuvů probíhalo na základě dostupných informací z bodové vrstvy sesuvů od ČGS a dokumentační tabulky. Sesuvy byly rozpoznány podle těchto vlastností – podle tří hlavních částí (Záruba, Mencl, 1987):

1. odlučná oblast – je oddělena odlučnou stěnou od neporušeného svahu, má zpravidla tvar podkovovité deprese, ze které se horniny sesunuly po svahu dolů.

2. zóna transportní – střední část sesuvu, ve které jsou sesouvající se hmoty přemísťovány z odlučné oblasti do akumulací.

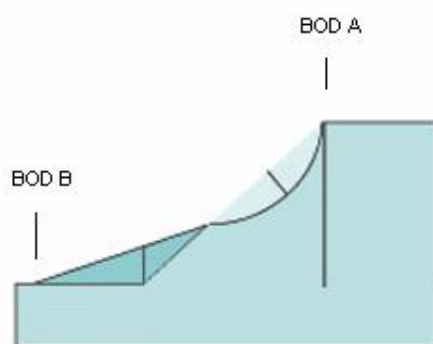
3. akumulční oblast, ve které se hromadí sesunutý materiál.

Akumulční oblast lze jednoduše rozpoznat podle nakupeného materiálu bočníkového tvaru, odlučnou oblast poznáme podle odlučné hrany – trhliny ve svahu. Odlučné hrany jsou u některých sesuvů dobře rozpoznatelné i na okrajích. V transportní zóně můžeme pozorovat přesouvající se materiál, který tvoří velmi nerovný povrch.

Vyhledané sesuvy byly poté zaměřeny a zdokumentovány. Pomocí GPS byla zaměřena poloha pomocí dvou bodů.

Bod A... nejvýše položený bod sesuvu na svahu, bod odlučné stěny

Bod B... nejnižší položený bod sesuvu, nejnižší bod akumulční oblasti



Obr. 2: Označení sesuvu (zdroj 4 – upraveno)

K zaznamenávání bodů v terénu byl využit software Terrasync v.2.30. Kromě polohy byl v terénu zjišťován i sklon svahu za užití optického sklonoměru Silva. Dále bylo zaznamenáno využití území – landuse, na kterém se sesuvy nachází a provedena fotodokumentace (Příloha 1).

6.3 Využití GIS k získání dalších parametrů

Pro přesnější předpověď ohrožení území sesuvy bylo třeba získat další parametry sesuvů, resp. informace o lokalitě, na které se zaměřené sesuvy nacházejí. K tomu byl využit GIS software ArcView 3.2. V terénu tedy byla zjištěna přesná poloha pomocí GPS, dále sklon svahu a landuse. Nejdříve byla bodová vrstva vytvořená v terénu přetransformována pomocí software Pathfinder Office do formátu *.shp podporovaného ArcView 3.2. Jednotlivé sesuvy byly očíslovány čísly 1–41, mapa zaměřených sesuvů se nachází v příloze 2, obr. 7. V GIS byly poté vytvořeny vrstvy dalších parametrů, na které byla naložena bodová vrstva zaměřených sesuvů a odečteny hodnoty parametrů, které byly zaznamenány do tabulky (Volná příloha II).

Byly vytvořeny tyto vrstvy (kapitola 6.4):

- vzdálenost od rozvodnic
- skeletovitost půdy
- expozice vůči světovým stranám
- půdní typy

Díky těmto vytvořeným vrstvám byly získány čtyři další parametry sesuvů, které spolu se sklonem svahu a landuse byly posléze využity k analýzám ohroženého území.

Mezi nejdůležitější faktory u podobných analýz patří také geologie a množství srážek. Geologie je velmi homogenní a srážky jsou také na celém území stejné.

6.4 Analýzy v GIS

K tvorbě mapy a získání ohrožených oblastí byla použita získaná data o sesuvech. Pro parametry vzdálenost od rozvodnice, skeletovitost půdy, expozice a půdní typy byly využity již vytvořené vrstvy, poté byly pomocí GIS software ArcView 3.2 dotvořeny vrstvy pro sklon svahu a landuse. Tyto parametry již zaměřených sesuvů tedy byly statisticky zhodnoceny. Tyto hodnoty byly samozřejmě získány pro celé území, proto dále byly parametry

vzdálenost od rozvodnice, skeletovitost půdy, expozice a půdní typy nazývány jako **faktory** ovlivňující vznik sesuvů.

V každé vrstvě byly hodnoty rozděleny do kategorií. Poté bylo, vždy pro každý faktor zvlášť, celé území rozděleno na polygony tak, že každý polygon byl homogenní a náležel celý do jedné z kategorií. Důležité pro výpočty analýz poté bylo, jak velkou rozlohu polygony náležející do každé skupiny zabírají a kolik ze zaměřených sesuvů na polygonech jednotlivých kategorií leží.

Sklon svahu – z původní vrstvy digitálního modelu reliéfu (dále DMR) zájmového území byla vytvořena vrstva sklonů svahů pomocí extenze 3D Analyst a příkazu Surface – Derive Slope. Vrstva byla převedena na celá čísla, reklasifikována a vytvořeny kategorie. Vzhledem k tomu, že největší množství sesuvů se nacházelo do 18° sklonu, byly vytvořeny kategorie po 2° a poté kategorie > 18° (Příloha 2 – Obr. 1).

Landuse – jako podkladová data pro tvorbu této vrstvy sloužila vrstva využití půdy Corine 2000 (Zdroj 5) v konzultaci s ortofotomapou. Na podkladových rastrových datech proběhla digitalizace, kdy pomocí extenze Image Analysis a nástroje Align Tool byl podklad transformován do požadované podoby a následně byla vytvořena polygonová vrstva. Polygony byly rozděleny do čtyř kategorií (Příloha 2 – Obr. 2):

- lesní plochy
- orná půda (pole, sady, zahrady)
- louky a pastviny
- ostatní plochy (urbanizované plochy, průmyslové areály, vodní plochy)

Typy půd – vrstva byla vytvořena z podkladových dat BPEJ. Data byla reklasifikována a vytvořeno bylo 6 kategorií půdních typů + speciální kategorie zalesněných ploch (Příloha 2 – Obr. 3):

- černozemě
- hnědozemě

- rendziny
- hnědé půdy
- oglejené půdy
- nivní a glejové půdy
- zalesněné plochy

Zalesněné plochy byly uvedeny samostatně proto, že nezahrnují data BPEJ.

Skeletovitost půdy – vrstva byla vytvořena na základě dat BPEJ. Vrstva byla reklasifikována a byly vytvořeny 4 kategorie podle množství skeletu v půdě v relativních hodnotách + speciální kategorie zalesněných ploch (Příloha 2 – Obr. 4):

- 0–10 %
- 11–25 %
- 26–50 %
- 51–100 %
- zalesněné plochy

Zalesněné plochy byly uvedeny samostatně proto, že nezahrnují data BPEJ.

Vzdálenost od rozvodnic a umístění sesuvů na svahu – nejdříve byly vytvořeny linie nad DMR, které představují rozvodnice. Poté byla pomocí příkazu Analysis – Find Distance vytvořena vrstva vzdáleností, kde každé místo na území mělo udanou vzdálenost od rozvodnice. Ta byla poté reklasifikována a byly vytvořeny vzdálenostní pásy, které tvoří 8 kategorií (Příloha 2 – Obr. 5):

- | | |
|--------------|-------------------|
| • 0–300 m | • 1201–1500 m |
| • 301–600 m | • 1501–1800 m |
| • 601–900 m | • 1801–2100 m |
| • 901–1200 m | • více než 2100 m |

Pro **umístění sesuvů na svahu** byla vytvořena z DMR vrstva pomocí příkazu FlowLenght. Tento příkaz přiřadí každému bodu na území vzdálenost od horní hrany svahu. Poté byla na tuto vrstvu naložena bodová vrstva sesuvů a podle bodu A a bodu B každého sesuvu zjištěno umístění sesuvu na svahu a graficky zpracováno v grafu 2 (kapitola 6.5).

Expozice vůči světovým stranám – vrstva byla vytvořena z DMR území pomocí nadstavby programu 3D analyst a příkazu Surface – Derive Aspect. Vrstva byla opět reklasifikována a rozdělena na 8 kategorií podle světových stran na S, SV, V, JV, J, JZ, Z, SZ vždy po 45° (Příloha 2 – Obr. 6).

6.5 Výpočet potenciálního ohrožení sesuvy

Pro vytvoření předpovědní mapy bylo třeba vypočítat velikost pravděpodobnosti výskytu mělkých sesuvů. Nejdříve bylo třeba určit váhu jednotlivých faktorů a zjistit tím, které faktory nejvíce působí na vznik potenciálních sesuvů. Následně byly vypočteny i hodnoty pro kategorie (kapitola 6.4) v rámci každého faktoru.

K výpočtům byly využity metody **vícekritériálního rozhodování**. K určení vah faktorů (u výpočtů nazývaných kritéria) byla využita **Saatyho metody** (Brožová et al., 2003). Jde o metodu kvantitativního párového porovnávání kritérií. K porovnávání se používá 9-ti bodová stupnice:

- 1 – rovnocenná kritéria i a j
- 3 – slabě preferované kritérium i před j
- 5 – silně preferované kritérium i před j
- 7 – velmi silně preferované kritérium i před j
- 9 – absolutně preferované kritérium i před j

(pro jemnější hodnocení se využívají mezistupně 2, 4, 6,8)

Vždy se porovná dvojice kritérií a hodnota se zapíše do matice $S = (s_{ij})$.

Vzorec 1:

$$S = \begin{pmatrix} 1 & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ 1/s_{12} & 1 & \dots & s_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/s_{1k} & 1/s_{2k} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

Matice je vždy čtvercová řádu $n \times n$, reciproční, tj. platí, že $s_{ij} = 1/s_{ji}$. Na diagonále matice jsou vždy hodnoty 1, jelikož každé kritérium je samo sobě rovné.

Prvky této matice nebývají většinou dokonale konzistentní tzn. že neplatí $s_{hj} = s_{hi} \cdot s_{ij}$ pro všechna $h, i, j = 1, 2, \dots, n$. Proto se zjišťuje míra konzistence matice např. pomocí **indexu konzistence**, který je definován takto:

Vzorec 2: $I_s = (I_{\max} - n)/(n - 1)$

I_{\max} - největší vlastní číslo matice
 n - počet kritérií

Matice bývá považována za konzistentní, pokud $I_s < 0,1$.

Existuje více možných způsobů, jak vypočítat váhy kritérií ze Saatyho matice. Nejčastěji se používá pro výpočet vah postup, kdy zjistíme **geometrický průměr řádků** v matici. (Brožová et al, 2003)

Výpočet geometrického průměru b_i :

Vzorec 3:
$$b_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n s_{ij}}$$

Váhy se pak vypočtou normalizací hodnot b_i :

Vzorec 4:
$$v_i = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^n b_i}$$

Po výpočtu vah jednotlivých faktorů je třeba přiřadit hodnoty také kategoriím v rámci každého faktoru. K tomu byla využita jedna z nejnámějších a nepoužívanějších vícekritériálních metod v GIS, metoda **váženého lineárního průměru** (Weighted Linear Combination WLC). K této metodě je nutné, aby součet vah kritérií byl jedna. Dále je třeba určit stupnici hodnot pro kategorie kritérií (Malczewski, 2000). Nejčastěji se používá stupnice 0 - 100, kde hodnoty ukazují důležitost kategorie v rámci každého kritéria a vždy nejdůležitější kategorie má hodnotu 100.

Důležitost jednotlivých kategorií se poté určuje na základě množství sesuvů a rozlohy kategorie a přiřadí se jim číslo pořadí $X = 1 \dots n$, kde n je nejdůležitější kategorie. Výpočet hodnot pak proběhne takto:

Vzorec 5: $H = X_i / X_n * 100$

X_i – číslo pořadí i – té kategorie

X_n – číslo pořadí nejdůležitější kategorie (Zdroj 6)

Pro tento případ byla metoda upravena a hodnoty jednotlivých kategorií byly vypočteny přímo na základě počtu sesuvů a rozlohy kategorie a nebylo jim přiřazeno číslo pořadí, místo toho bude hodnota X vypočítána takto:

Vzorec 6: $X_i = \text{počet sesuvů v \%} / \text{rozloha kategorie v \%}$

V závěrečné fázi výpočtů je třeba zjistit hodnotu tzv. **LSI – Landslide Susceptibility Index**.

Vzorec 7: $LSI = \sum v_i * H$ (Zdroj 6)

Na základě tohoto indexu se vypočítá míra ohrožení sesuvy pro každý bod (resp. pixel) na celém zájmovém území. Ta bude vyjádřena hodnotami, které mohou nabývat hodnot 0–100, kde 0 je minimální ohrožení a 100 maximální. Škála bude poté rozdělena na pět zón podle míry ohrožení.

6.6 Váhy faktorů

Každý faktor ovlivňuje náchylnost svahu k sesuvům různou měrou. Proto bylo třeba přiřadit každému z nich váhu. Váhy byly vypočítány pomocí Saatyho metody (kapitola 6.5). Pro tuto metodu je potřeba porovnat důležitost jednotlivých kritérií. Podle Tran in Bromhead (1985) ovlivňuje vznik sesuvů z 50 % sklon svahu, 28 % srážky, 14 % landuse a 8 % ostatní. Podle Selcuka Reise, Ph.D. z Nigde University a Tahsina Yomraliogla, Ph.D. z Karadeniz Technical University (Zdroj 2), kteří za pomoci GIS softwaru vytvářeli mapu míst potenciálně ohrožených sesuvy v oblasti Trabzonu, ovlivňuje vznik sesuvů po přepočtu (udávají hodnoty, jejichž celkový součet je 220) z 45,4 %

sklon svahu, z 27,3 % litologie, z 18,2 % landuse a z 9,1 % lidská činnost a činnost vody.

Pro zjištění, které faktory nejvíce ovlivňují vznik sesuvů a pro výpočet vah byla využita velmi podobná studie (Zdroj 5), která používá také párové porovnávání kritérií. Zde byla také kritéria porovnávána pomocí hodnot 9-ti bodové stupnice (kapitola 6.5). Kritéria (resp. faktory) byly buď stejná nebo podobná a na tomto základě byla vyplněna Saatyho matice pro výpočet vah.

Tabulka 3 – Váhy stanovené Saatyho metodou

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	b_i	v_i
Sklon (a)	1	3	4	4	5	6	3,360	0,415
Landuse (b)	1/3	1	3	3	3	5	1,886	0,233
Půdní typy (c)	1/4	1/3	1	1	2	5	0,970	0,120
Skeletovitost (d)	1/4	1/3	1	1	2	5	0,970	0,120
Vzd. od rozvodnic (e)	1/5	1/3	1/2	1/2	1	5	0,661	0,081
Expozice (f)	1/6	1/5	1/5	1/5	1/5	1	0,254	0,031

$I_s = 0,07$

Vzhledem k pracnosti výpočtů u vícekriteriálních analýz byl k výpočtu využit freeware MCA 7 ver. 2.6, který umožňuje provádět výpočet u mnoha typů víkriteriálních analýz včetně Saatyho metody (Zdroj 7).

Z tabulky 3 vyplývá, že nejdůležitějším faktorem je sklon svahu a poté landuse. Index konzistence $I_s = 0,07$. Matice tedy může být považována za konzistentní.

7 Výsledky

Závěrečná část prací byla vytvářena pouze v GIS. Pro všech 6 faktorů byly zpracovány dílčí tématické mapy (Příloha 2), které zobrazují vždy celé zájmové území rozdělené na kategorie. Výsledná předpovědní mapa tvořená na základě reklasifikovaných dílčích map je k nahlédnutí ve volné příloze I.

Jako topografický podklad všech map byla zvolena říční síť a obce nad 1000 obyvatel.

7.1 Sklon svahů

Území bylo podle sklonitosti svahů rozděleno do 10 kategorií. Ze zmapovaných a zaměřených sesuvů bylo zjištěno, že v oblasti se vyskytují sesuvy na svazích o sklonu větším než 6°. Dále se většina zaměřených sesuvů nachází na svazích, jejichž sklon nepřesahuje 18°. Bezvodová (1987) uvádí rozdělení svahů podle sklonitosti takto: 0–2°, 3–5°, 6–15°, 16–35°, 36–55°, 56–90°. Vzhledem k tomu, že většina sesuvů se nachází ve druhé, resp. na počátku třetí kategorie, zvolil jsem jiné, podrobnější rozdělení: 0–2°, 3–4°, 5–6°, 7–8°, 9–10°, 11–12°, 13–14°, 15–16°, 17–18°, 18° a více. Bylo počítáno pouze s celými stupni.

Bylo zjištěno, že 32 ze 41 sesuvů, což činí 78 %, se nachází v intervalu 9–16°. Podrobněji, nejvíce jsou zastoupeny kategorie 11–12°, kde se nachází 11 sesuvů, to je 26,8 %, a 13–14° s 9 sesuvy, což je 22 %. Dále jsou zastoupeny kategorie 9–10° a 15–16° se 6 sesuvy, resp. 14,6 %, kategorie 7–8 ° a 17–18 °, každá po 4 sesuvech, resp. 9,8 %. V kategorii nad 18° byl nalezen jeden sesuv, na svazích o sklonu 0–6°, jak je uvedeno dříve, se sesuvy nenacházejí. I přesto byla většina ploch se sklonem menším než 6° pro analýzy ponechána, jelikož i na takových svazích mohou vzniknout sesuvy.

Tabulka 4 – Sklony sesuvů

Lokalita	Číslo	Sklon (°)	Lokalita	Číslo	Sklon (°)
Biskupice	1	11	Ludkovice	22	15
Biskupice	2	11	Biskupice	23	13
Biskupice	3	12	Hřivínův Újezd	24	27
Biskupice	4	16	Hřivínův Újezd	25	13
Biskupice	5	9	Hřivínův Újezd	26	13
Kaňovice	6	10	Sehradice	27	18
Kaňovice	7	8	Kelníky	28	16
Březůvky	8	12	Ludkovice	29	8
Pašovice	9	15	Svárov	30	18
Částkov	10	15	Svárov	31	12
Biskupice	11	14	Zlámanec	32	13
Biskupice	12	7	Bohuslavice	33	13
Biskupice	13	9	Bohuslavice	34	13
Částkov	14	12	Bohuslavice	35	13
Částkov	15	12	Bohuslavice	36	9
Částkov	16	11	Bohuslavice	37	11
Částkov	17	12	Bohuslavice	38	9
Bohuslavice	18	9	Bohuslavice	39	11
Březůvky	19	7	Bohuslavice	40	17
Horní Lhota	20	14	Bohuslavice	41	18
Horní Lhota	21	16			

Odstraněny byly pouze plochy se sklonem 0–2° a toto území nebude dále zahrnuto do analýz u žádného dalšího faktoru. Plocha území pro výpočty analýz činí po zmenšení **197,64 km²**.

Bylo provedeno srovnání sklonu svahu zaměřeného v terénu sklonoměrem a sklon svahu odečtený z vrstvy sklonů vytvořené z DMR v GIS. U 26 ze 41 sesuvů byl sklon buď stejný nebo byla odchylka maximálně 2°. U 12 sesuvů byla odchylka 3–5°, pouze u třech byla větší.

Tabulka 5 - Sesuvy s největší odchylkou měření sklonu

Lokalita	Číslo sesuvu	Sklon (°) - terén	Sklon (°) - DMR
Hřivínův Újezd	24	27	5
Biskupice	11	14	5
Svárov	30	18	5

U většiny sesuvů se nejedná o velký rozdíl. Proto nebyla vrstva sklonů dále nijak upravována. K tomu přispělo i to, že u některých sesuvů byl zjištěn v terénu větší, u některých menší sklon než v GIS. Velký rozdíl u tří sesuvů (Tabulka 5) je dán kombinací velikosti sesuvů a nedostatečné přesnosti DMR, z kterého byla vrstva sklonů tvořena, rozměr pixelu je 20 m. Svahy, na kterých se tyto sesuvy nacházely byly velmi krátké, tudíž byly v DMR zgeneralizovány. Odchytky u ostatních sesuvů mohou být také částečně způsobeny nedostatečnou přesností DMR. Dalším problémem je, že sklon svahu se u některých svahů, kde leží sesuvy mění a zaměřován byl obecný trend svahu.

Poté byly jednotlivým kategoriím v rámci faktoru sklon svahu přiřazeny na základě výpočtu hodnoty podle důležitosti. K tomuto výpočtu bylo třeba zjistit plochu každé kategorie a počet sesuvů v relativních číslech, výsledné hodnoty byly pak zaokrouhleny na celá čísla.

Tabulka 6 – Kategorie vrstvy sklon svahu

Sklon svahu (°)	Plocha (km ²)	Plocha (%)	Počet sesuvů	Počet sesuvů (%)	X (počet sesuvů / plocha)	Hodnota (H)
3–4	15,99	8,09	0	0	0	0
5–6	29,05	14,70	0	0	0	0
7–8	35,95	18,19	4	9,76	0,537	21
9–10	35,09	17,76	6	14,63	0,824	32
11–12	30,40	15,38	11	26,83	1,744	67
13–14	21,50	10,88	9	21,95	2,017	78
15–16	13,78	6,97	6	14,63	2,099	81
17–18	7,46	3,77	4	9,76	2,589	100
> 18	8,42	4,26	1	2,44	0,573	22

Z tabulky 6 vyplývá, že největší hodnotu má kategorie o sklonu 17–18°. Kategorie se sklonem 13–14° a 15–16° mají hodnotu 78, resp. 81. Nejvíce sesuvů se nacházelo na svazích se sklonem 11–12°, ovšem vzhledem

k největší ploše této kategorie je její hodnota 67 % kategorie s největší hodnotou. Nejmenší hodnotu z kategorií, kde se nachází alespoň jeden sesuv, mají svahy se sklonem 7–8°. Mapa sklonů je k nahlédnutí v příloze 2, obr. 1.

Tento faktor je vzhledem k potenciálnímu vzniku sesuvu nejdůležitější, jeho váha $v_i = 0,415$.

7.2 Landuse

Landuse, neboli využití půdy, je další z důležitých faktorů ovlivňující sesouvání půdy. Území bylo rozděleno do 4 kategorií podle využití půdy na lesní plochy, ornou půdu, louky a pastviny a ostatní plochy.

Tabulka 8 - Landuse

Landuse	Plocha (km ²)	Plocha (%)	Počet sesuvů	Počet sesuvů (%)	X (počet sesuvů / plocha)	Hodnota
Lesní plochy	86,34	43,69	4	9,76	0,223	6
Orná půda	83,41	42,20	22	53,65	1,271	33
Louky a pastviny	18,80	9,51	15	36,59	3,848	100
Ostatní plochy	9,09	4,60	0	0	0	0

Jednoznačně největší plochu ze zájmového území zabírají lesní plochy (43,69 %) a orná půda (42,20 %), což je vidět i v příloze 2, obr. 2. Náchylnější ke vzniku sesuvům je jednoznačně orná půda, kde se nachází přes 50 % všech sesuvů. Váha této kategorie je 33. Největší váhu ovšem má kategorie louky a pastviny, kde se nachází 15 sesuvů. Ovšem plocha luk a pastvin je pouze 9,51 % a hodnota kategorie je tedy maximální, 100.

Faktor landuse je druhým nejdůležitějším faktorem ovlivňující sesuvy, jeho váha $v_i = 0,233$.

7.3 Typy půd

Tato vrstva byla vytvořena z dat BPEJ a rozdělena na 6 kategorií půdních typů a kategorií zalesněných ploch. Na území jsou tyto půdní typy: černozem, hnědozem, rendziny, hnědé půdy, oglejené půdy, nivní a glejové půdy.

Tabulka 12 – Typy půd

Typ půdy	Plocha (km ²)	Plocha (%)	Počet sesuvů	Počet sesuvů (%)	X (počet sesuvů / plocha)	Hodnota
Černozemě	5,88	2,98	4	9,77	3,279	100
Hnědozemě	6,98	3,53	1	2,44	0,691	21
Rendziny	25,86	13,08	10	24,39	1,865	57
Hnědé půdy	51,88	26,25	13	31,71	1,208	37
Oglejené půdy	19,20	9,72	9	21,94	2,257	67
Nivní a glejové půdy	6,23	3,15	1	2,44	0,775	24
Zalesněné plochy	81,61	41,29	3	7,31	0,177	5

Největší plochu zabírají lesní plochy, ovšem vzhledem k malému počtu sesuvů má tato kategorie malou hodnotu, pouze 5. Druhou největší kategorií jsou hnědé půdy (26,25 %).

U tohoto faktoru je zajímavé, že největší hodnotu má plošně nejmenší kategorie s pouze 2,98 % zájmového území, černozemě. Nachází se na něm ale 4 sesuvy, což po výpočtu dává hodnotu 100. Největší množství sesuvů se nachází na hnědých půdách (13), potom na rendzinech (10) a oglejených půdách (9). Z těchto tří kategorií mají největší váhu oglejené půdy a to 74. Z mapy (Příloha 2, obr. 3) je patrné že kvalitnější půdy, jako jsou černozemě a hnědozemě se nachází na západní části zájmového území s nižší nadmořskou výškou. Východní část území s větší nadmořskou výškou zabírají především lesní plochy a hnědé půdy.

Faktor půdní typy má váhu $v_i = 0,120$.

7.4 Skeletovitost

Tento faktor udává množství skeletu v půdě. Území bylo opět rozděleno, tentokrát do 5 kategorií. Vrstva tohoto faktoru byla tvořena z dat BPEJ, z kterých bylo převzato rozdělení kategorií relativního množství skeletu v půdě.

Tabulka 11 - Skeletovitost

Skeletovitost (%)	Plocha (km ²)	Plocha (%)	Počet sesuvů	Počet sesuvů (%)	X (počet sesuvů / plocha)	Hodnota
0–10	1,70	0,86	0	0	0	0
11–25	75,55	38,23	23	56,10	1,467	76
26–50	37,40	18,92	15	36,59	1,934	100
> 50	1,38	0,70	1	0	0	0
Zalesněné plochy	81,61	41,29	3	7,31	0,177	9

Tento faktor byl rozdělen do pěti kategorií a dvě z nich jsou plošně velmi rozsáhlé. Nejrozsáhlejší jsou lesní plochy se 42,73 % a plochy se skeletovitostí 11–25 % (38,06 %). V této kategorii se také nachází nejvíce sesuvů, 23, ale váhu má druhou největší, 71. Na druhém místě co se týče počtu sesuvů je kategorie 26–50 %, kde se jich nachází 15. Vzhledem k tomu že plocha zabírá pouze 17,62 % území a leží na ní poměrně velké množství sesuvů, má u tohoto faktoru největší váhu, 100. Naopak již zmiňované lesní plochy mají váhu 8, jelikož se zde nachází pouze 3 sesuvy. Mapa skeletovitosti se nachází v příloze 2, obr. 4.

Skeletovitost má váhu $v_i = 0,120$.

7.5 Vzdálenost od rozvodnic a umístění sesuvů na svahu

Faktor vzdálenost od rozvodnic má spojitost se srážkami, jelikož čím větší vzdálenost od rozvodnice, tedy od hřebenu, tím větší množství podzemní a srážkové vody může působit svah. Plocha území byla v tomto případě rozdělena na 8 kategorií, každá kategorie reprezentuje vždy rozpětí 300 metrů vzdálenosti od rozvodnice. Každý sesuv byl zařazen do kategorie podle bodu A (nejvyšší bod sesuvu – bod odlučné hrany sesuvu).

Tabulka - 9 Vzdálenost od rozvodnic

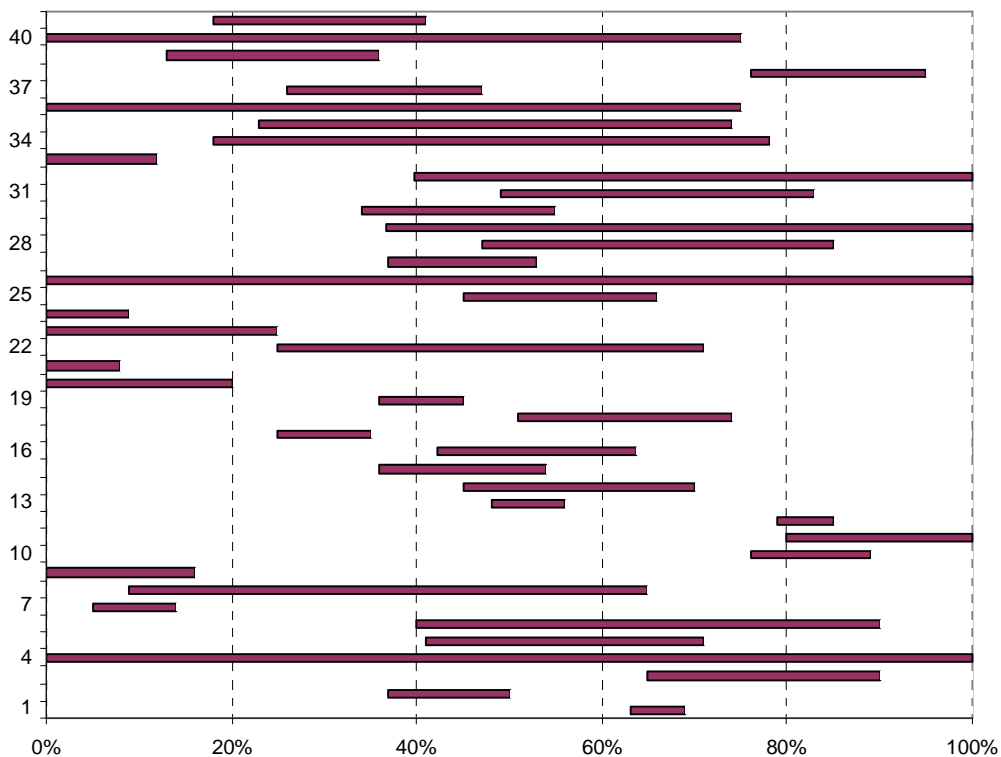
Vzdálenost od rozvodnice (m)	Plocha (km ²)	Plocha (%)	Počet sesuvů	Počet sesuvů (%)	X (počet sesuvů / plocha)	Hodnota
0–300	43,43	21,97	7	17,07	0,777	29
301–600	40,84	20,66	6	14,63	0,708	26
601–900	36,96	18,70	8	19,51	1,043	38
901–1200	29,48	14,92	8	19,51	1,308	48
1201–1500	22,05	11,16	4	9,77	0,875	32
1501–1800	12,40	6,27	7	17,07	2,722	100
1801–2100	7,11	3,60	1	2,44	0,678	25
2101 a více	5,37	2,72	0	0	0	0

Z tabulky 9 lze pozorovat, že sesuvy jsou rozmístěny velmi rovnoměrně v každé kategorii do 1800 m. Ve větší vzdálenosti se jim vyskytuje pouze jeden sesuv, který patří do kategorie 1800–2100 m. Ve větší vzdálenosti se již nevyskytl žádný sesuv. To, že vzdálenosti nejsou větší je zapříčiněno velkou členitostí území. Největší hodnotu v této vrstvě mají vzdálenosti od rozvodnice 1501–1800 m. Ostatní kategorie mají o hodně menší ohodnocení, kategorie 901–1200 m 45 % a kategorie 601–900 m 38% z hodnoty kategorie, kde je sesuv nejpravděpodobnější. Tabulka tedy dokazuje, že větší vzdálenosti od rozvodnic se vyskytují sesuvy zhruba ve stejném množství jako v menší vzdálenosti, ale vzhledem k ploše těchto vzdáleností jsou hodnoty těchto kategorií větší.

Tento faktor má váhu $v_i = 0,081$.

Také bylo pomocí GIS vyhodnoceno umístění sesuvů na svahu. Tento faktor lze ovšem vyhodnotit pouze pro jednotlivé sesuvy, nikoliv pro celé zájmové území a nelze tento faktor zařadit do závěrečného výpočtu předpovědní mapy. V grafu 2 lze tedy pozorovat umístění jednotlivých sesuvů na svahu. Pata svahu má v grafu na ose x hodnotu 0 % a horní hrana 100 %.

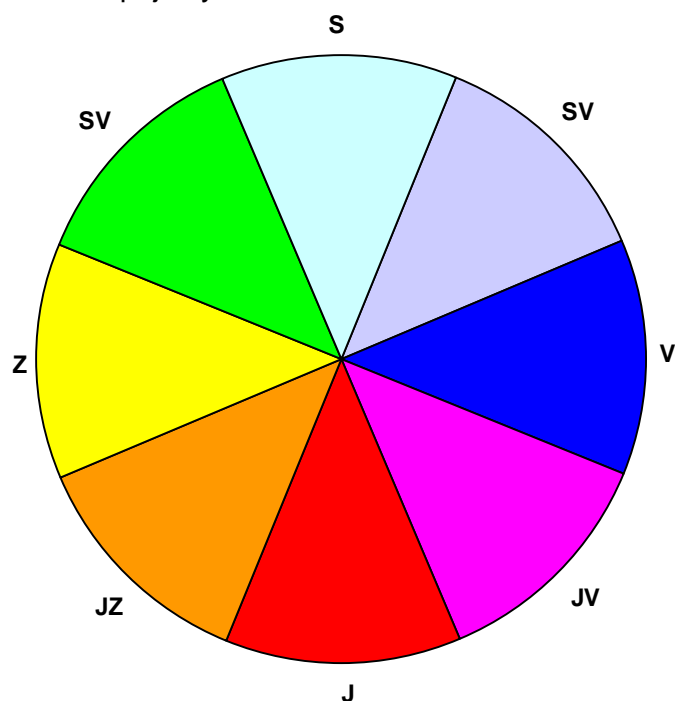
Graf 2: Poloha sesuvů na svahu



Graf ukazuje, ve které části svahu se sesuvy nacházejí. Nejvíce zasaženou oblastí jsou střední části svahů, do oblastí 40–60 % zasahuje 26 sesuvů, do oblastí 20–40 % a 60–80 % zasahuje 19 resp. 22 sesuvů. Celou délku svahu zabírají dva sesuvy a to Biskupice – 4 a Hřivínův Újezd – 26. Nejvíce odlučných hran, tedy horních bodů a míst, kde sesuv vzniká, se nachází v horních částech svahu v oblasti 60–100 %. V tomto rozpětí se nachází 24 z 41 horních částí sesuvů. Podle tohoto zhodnocení jsou horní a případně střední části svahů nejvíce náchylné na vznik sesuvů.

7.6 Expozice vůči světovým stranám

Podle expozice ke světovým stranám bylo území rozděleno na 8 kategorií. Každá kategorie zastupuje výseč kruhu o hodnotě 45°.



Obr. 3 - Expozice

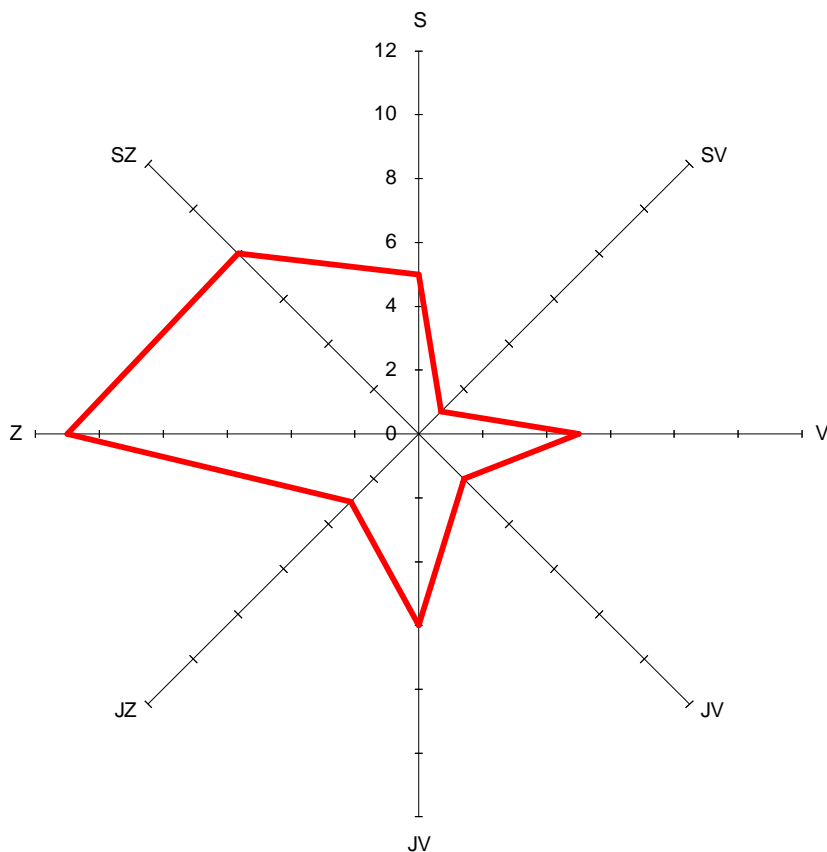
Rozložení počtu sesuvů a plochy každé kategorie popisuje Tabulka 7.

Tabulka 7 – Expozice

Expozice svahu	Plocha (km ²)	Plocha (%)	Počet sesuvů	Počet sesuvů (%)	X (počet sesuvů / plocha)	Hodnota (H)
S	19,51	9,87	5	12,20	1,236	77
SV	16,91	8,55	1	2,44	0,285	18
V	23,23	11,75	5	12,20	1,038	65
JV	25,73	13,02	2	4,88	0,375	23
J	22,11	11,19	6	14,63	1,307	82
JZ	28,14	14,24	3	7,31	0,513	32
Z	33,10	16,75	11	26,83	1,602	100
SZ	28,91	14,63	8	19,51	1,334	83

Rozdělení svahů podle expozice je velmi rovnoměrné, nejmenší plochu zabírají severovýchodní svahy (8,55 %) a největší západní svahy (16,75 %). Sesuvy se nacházejí na svazích orientovaných na všechny světové strany, ovšem největší množství sesuvů se nachází na západních svazích (11 sesuvů, tedy 26,83 %) a na severozápadních svazích (8 sesuvů, což je 19,51 %). Tyto dvě kategorie mají ve vrstvě faktoru expozice největší hodnoty, 100 resp. 84. Dále největší hodnotu mají jižní svahy, 82, a severní, 75. Nejvíce srážek spadne na severozápadní svahy a hřebenové polohy, méně na jihozápadní svahy při stejné nadmořské výšce (do 1000 m n.m.) (Zdroj 1), což může být jedna z příčin největšího množství sesuvů na západních a severozápadních svazích na zájmovém území. Rozložení sesuvů uvádí i graf 1:

Graf 1 - Rozložení sesuvů podle světových stran



Faktor expozice má váhu $v_i = 0,031$

7.7 Výsledky – předpovědní mapa pro výskyt mělkých sesuvů

Pro výpočet míry ohrožení ve výsledné předpovědní mapě byly v ArcView 3.2 nejdříve reklasifikovány všechny vrstvy a jednotlivým kategoriím přiděleny vypočítané hodnoty. Poté bylo využito nástroje Map Calculator a každá vrstva byla vynásobena příslušnou vahou faktoru, který příslušná vrstva reprezentuje. Nakonec bylo všech 6 vrstev sečteno. Každému bodu ve výsledné mapě byla tedy vypočítána hodnota v rozmezí 0–100, poté byly hodnoty ještě převedeny na celá čísla. Hodnoty byly rozděleny na 5 kategorií podle míry ohrožení sesuvy podle histogramu četnosti.

Tabulka 13 - Stupně ohrožení sesuvy

Stupeň ohrožení	Výsledné hodnoty	Plocha v km ²	Plocha v %
Velmi mírné	0–22	45,88	23,21
Mírné	23–32	30,31	15,34
Střední	33–43	65,32	33,05
Vysoké	44–62	46,63	23,59
Velmi vysoké	63–100	9,50	4,81

Z výsledné vrstvy vyplývá, že žádné místo na mapovaném území není 100% ohroženo sesuvem, tzn. žádné místo nespadá zároveň do kategorie s nejvyšší vahou u všech faktorů. Nejvyšší hodnotou je 93. Na většině území je alespoň zanedbatelné ohrožení, nejvíce je zastoupena kategorie středního ohrožení a to na 33,05 % území. Velmi silně ohroženo je pouze 4,81 % území. Více je ohrožena východní část území s větší nadmořskou výškou a většími sklony.

Do výsledné předpovědní mapy (Volná příloha I) byly zahrnuty i území, které nabyly zahrnuty do výpočtů u jednotlivých faktorů, tj. území se sklonem 0–2°. Toto území bylo přiřazeno do kategorie s nejmenším ohrožením.

7.8 Ověření výsledků

V této části proběhlo srovnání zaměřených sesuvů, zda se opravdu nacházejí podle výsledné mapy v ohrožených oblastech či nikoliv. Na velmi

mírně a mírně ohrožených územích se nacházejí pouze 4 z celkového počtu 41 sesuvů. Na středně ohroženém území se nachází 6 sesuvů, na vysoce a velmi vysoce ohroženém území se nachází 15, resp. 16 sesuvů. Umístění většiny (76 %) sesuvů na kategoriích vysokého a velmi vysokého ohrožení potvrdilo správnost výpočtů.

8 Diskuse

Literatura se svahovými pochody, především sesuvy zabývá ve velké míře. Velmi dobře je zpracována problematika popisu a dělení sesuvů. Autoři se zabývají především problematikou sesuvů vzniklých při antropogenní činnosti jako je výstavba, dolování atd. V literatuře je i dostatečně popsána sanace a předcházení sesuvů. Po roce 1997, kdy vzniklo po vydatných srážkách množství sesuvů ve flyšových oblastech Západních Karpat, začalo se opět zabývat hodně autorů touto problematikou. Dále jsou popisovány a rozdělovány faktory působící na vznik sesuvů. To bylo důležité pro tuto práci. Několik zdrojů zmiňuje i relativní rozdělení resp. váhy jednotlivých faktorů působících na vznik sesuvů. K určení vah u konkrétního případu bylo potřeba výpočtu, přesněji byla využita vícekriteriální analýza.

Přesné zaměřování sesuvů probíhalo podle podkladových dat, kde byly sesuvy zakresleny pouze orientačně. V terénu tedy bylo třeba najít, jak uvádí Czudek (1997), podle charakteristického bočníkovitého tvaru a zvlněného terénu, přesnou polohu sesuvu. Bohužel ne všechny předem naplánované sesuvy bylo možné zaměřit a posléze s nimi počítat při analýzách, jelikož některé nebyly v terénu nalezeny. Dva sesuvy byly v době měření již sanovány. Jedná se o sesuv Biskupice – 23 (Příloha I, obr.14, 15 a 16) a sesuv Zlámanec – 32 (Příloha I, obr. 23 a 24). Oba tyto sesuvy, jak je patrné i z fotodokumentace, poničilo komunikace. Některé ze zaměřených sesuvů byly již porostlé vegetací, z čehož se dalo odvodit, že již nejsou aktivní. Z fotodokumentace je to dobře patrné u sesuvů Částkov – 16, Bohuslavice – 33, Bohuslavice – 36, Bohuslavice – 37 nebo Bohuslavice – 38 (Příloha 1).

U některých ovšem byla stále vidět aktivita, což bylo rozpoznatelné podle poměrně čerstvých nezarostených puklin v půdě. Jedná se např. o sesuvy Březůvky – 8, Horní Lhota – 20, Svárov - 31, Bohuslavice – 34 a Bohuslavice – 35. U těchto sesuvů je to opět dobře patrné z fotodokumentace. Tato aktivita by mohla být samozřejmě při dalších větších srážkách či tání sněhu opět nebezpečná především pro lidská obydlí pod takovými sesuvy.

Polohy zaměřených sesuvů byly přeneseny a vizualizovány v GIS software. V terénu byla dále provedena fotodokumentace a zaměřen sklon pomocí optického sklonoměru a zaznamenán landuse.

Kromě odečtení délky sesuvů z GIS nebyly v terénu zaznamenávány jejich rozměry. Rozdíly mezi velikostmi sesuvů podle subjektivního pohledu nebyly příliš velké, proto bylo při analýzách počítáno pouze s počty sesuvů nikoliv jejich plochou. Výsledky by tímto neměly být nijak ovlivněny.

Většina sesuvů se nachází na orné půdě a lukách (37 ze 41). To značí vysokou závislost vzniku sesuvů na krajinném pokryvu. Sesuvy téměř bez výjimky vznikají na nezarostených nebo málo zarostených plochách. Ze čtyř sesuvů, které se navíc nacházely v lese, byly tři v oblastech, kde rostly méně vzrostlé stromy. Z toho vyplývá, že mělké sesuvy na svazích zpevněných kořeny vznikají výjimečně.

Z hlediska geologie se území nachází ve flyšové oblasti. Na flyších vzniká velké množství sesuvů. U podobných studií bývá faktor geologie velmi důležitý, ovšem v tomto případě je pro celé zájmové území velmi homogenní a to je pro vytváření předpovědní mapy, kde je třeba najít rozdíly mezi jednotlivými plochami na území, nepoužitelné.

Na území se nacházejí především hnědé půdy, které jsou většinou kyselé a podzolové. Dále ve velkém zastoupení jsou rendziny. Tyto půdy se podle dat BPEJ řadí mezi středně těžké. Skeletovitost půdy se nejčastěji pohybuje od 11 do 25 %. Zde se nachází i největší množství sesuvů.

Srážky jsou pro vznik sesuvů velmi důležitým faktorem, ovšem platí zde to samé jako u faktoru geologie. Území je příliš malé a srážky všude velmi podobné.

Vliv vydatnosti srážek na četnosti sesuvů je všeobecně uznáván, ale projevuje se různě podle klimatických poměrů i podle reliéfu území, geologické stavby, propustnosti horniny atd. (Záruba, Mencl, 1987). Z pohledu hydrologie byla pro předpovědní mapu využita pouze vrstva vzdálenost od rozvodnic. Jelikož území je velmi členité, vzdálenosti od rozvodnic nebyly příliš velké a větší vzdálenosti se vyskytovaly méně. Sesuvy byly rozmístěny poměrně rovnoměrně, ovšem díky menším plochám pásu více vzdálených od rozvodnic měly tyto pásy (kategorie) podstatně větší váhu. U více vzdálených míst od

rozvodnic je větší ovlivnění stékajícími srážkami a podzemní vodou, které ovlivňují pevnost půdy a sedimentů.

9 Závěr

Sesuvné pohyby patří v České republice mezi nejničivější geologické pochody (Janoška, 2000). Flyšové oblasti, kam patří i zájmové území, jsou k těmto pochodům velmi náchylné. K tomu přispívá i střídání jílovců a pískovců. Nepropustné jílovce zabraňují hlubšímu vsaku srážkové vody a způsobují tak zvodnění nadložních vrstev, které se stávají skluznou plochou. Sesuvy nejvíce vznikají při větších jarních srážkách doprovázených rychlým táním sněhové pokrývky, což byl případ i jara 2006.

Zájmovou oblastí se stalo území 26 obcí ve Vizovické vrchovině a cílem bylo na základě zaměřených sesuvů vytvořit předpovědní mapu pro výskyt mělkých sesuvů. Tato mapa byla tvořena pomocí GIS softwaru ArcView 3.2.. V zájmovém území bylo zjištěno a zaměřeno 41 sesuvů, u kterých byly zjištěny základní charakteristiky. Na základě těchto charakteristik byla zjištěna místa, která jsou potenciálně nejvíce ohrožena. Bylo zjištěno, že sesuvy nejvíce vznikají na svazích se sklonem 9–16° a na málo zarostených plochách jako jsou orná půda a louky a pastviny.

Území Vizovické vrchoviny je jedním z míst v České republice, kde nejvíce vznikají sesuvy a to se opět potvrdilo i na jaře 2006. Proto je území třeba pečlivě sledovat a sesuvy zaznamenávat, aby se předešlo dalším katastrofám.

10 Summary

The landslides are one of the most destructive geological processes (Janoška, 2000). Place of interest lies there, where bedrock is Tertiary flysch and it's predisposed to landslides. Landslides are very frequent in the spring, if rainfalls are strong and snow cover is thawing too fast. This situation was happened in spring 2006 too.

For place of interest were chosen areas of 26 municipalities in Vizovice upland. The principal aim was creating map of landslide prone areas. For creating of map and analysis was used GIS software ArcView 3.2. In place of interest were located 41 landslides. The characteristics of these landslides were very important for analysis and for location of the most prone areas. The most prone areas are place, where slope gradient is 9–16° and where is arable land or meadows.

11 Přehled citované literatury a internetových zdrojů

1. Bezvodová, B. a kol. (1985): Metody kvarterně geologického a geomorfologického výzkumu. SPN, Praha, 211 s.
2. Bíl, M., Müller I. (2008): The origin of shallow landslides in Moravia (Czech Republic) in the spring of 2006, *Geomorphology* 99, s. 246 - 253.
3. Bromhead, E. (ed.) a kol. (2000): Landslides in research, theory and practice, Volume 3. Thomas Telford Publishing, London, 1479 – 1482 s. a 1501 - 1508 s.
4. Brožová, H., Houška, M., Šubrt, T. (2003): Modely pro vícekritériální rozhodování. Credit, Praha, 178 s.
5. Culek, M. (ed.) a kol. (1995): Biogeografické členění České republiky, Enigma, Praha, 345 s.
6. Czudek, T. (1997): Reliéf Moravy a Slezska v kvartéru. Sursus, Tišnov, 213 s.
7. Czudek, T. (2005): Vývoj reliéfu krajiny České republiky v kvartéru. Moravské zemské muzeum, Brno, 238 s.
8. Čtyroký, P., Stráník, Z. (1995.) Zpráva pracovní skupiny české stratigrafické komise o regionálním dělení Západních Karpat. - *Věst. Čes. geol. Úst.* 70, 3, Praha, str. 67-72.
9. Demek, J., Mackovčín, P. (2006): Zeměpisný lexikon ČR: Hory a nížiny. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Brno, 582 s.
10. Cháb, J., Eliáš M., Stráník, Z. (2007): Geologická mapa ČR 1:500000. Česká geologická služba, Praha.
11. Janoška, M. (2000): Valašsko očima geologa. Univerzita Palackého, Olomouc, 72 s.
12. Mackovčín, P., Jatiová, M. a kolektiv (2002): Zlínsko. Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky. Brno, 374 s.

13. Malczewski, J., 2000. On the use of Weighted Linear Combination Method in GIS: common and best practice approaches. Transactions in GIS, 4(1): 5-22.
14. Nemčok, A. (1982): Zosuvy v Slovenských Karpatoch. Veda, SAV Bratislava, 320 s.
15. Quitt, E. (1975): Klimatické oblasti ČSR, 1 : 500 000, Geografický ústav ČSAV, Brno.
16. Šajgalík, J. (1986): Geológia. Alfa, Bratislava, 568 s.
17. Vlček V. a kol. (1984): Zeměpisný lexikon ČSR – vodní toky a nádrže, Academia, nakladatelství ČSAV, Praha, 326 s.
18. Záruba, Q., Mendl, V. (1987): Sesuvy a zabezpečování svahů. Academia, Praha, 340 s.

Internetové zdroje:

19. Svahové deformace - výukové multimediální texty, dostupné z <http://geologie.vsb.cz/svadef/>, poslední revize 9.1. 2004 (Zdroj 1).
20. ArcNews Summer 2005 Issue - In Trabzon Province, Turkey, Potential Landslide Areas Are Detected with GIS, dostupné z <http://www.esri.com/news/arcnews/summer05articles/in-trabzon.html>, poslední revize 17.8.2008 (Zdroj 2).
21. Přírodní katastrofy a enviromentální hazardy, dostupné z <http://www.sci.muni.cz/~herber/slide.htm>, poslední revize 19.5.2006 (Zdroj 3).
22. Chasm Software, dostupné z http://chasm.info/structure/landslide_runout.htm, poslední revize 9.6.2008 (Zdroj 4).
23. Portál veřejné správy České republiky, dostupné z http://geoportal.cenia.cz/mapsphere/MapWin.aspx?M_Site=cenia&M_Lang=cs, poslední revize 29.7.2009 (Zdroj 5).

24. Labtect, dostupné z <http://labtect.geol.uoa.gr/pages/fountoulis/PDF%20Files/116-2007-GIS%20Multicriteria%20DSS%20Landslide%20sucseptibility%20color.pdf>, poslední revize 13.12.2005 (Zdroj 6).

25. MCA7 – popis programu – vícekriteriální rozhodování, dostupné z <http://mca7.wz.cz/mca7.php>, poslední revize 29.7.2009 (Zdroj 7).

26. Mapy a grafy – ČSÚ Zlínský kraj, dostupné z [http://www2.czso.cz/xz/redakce.nsf/i/geograficka_mapa_kraje/\\$File/13-720108m41.jpg](http://www2.czso.cz/xz/redakce.nsf/i/geograficka_mapa_kraje/$File/13-720108m41.jpg), poslední revize 10.8. 2009 (Zdroj 8).

Přílohy

Příloha 1 – Fotodokumentace

Příloha 2 – Dílčí mapy

Volná příloha I – Předpovědní mapa území potenciálně ohrožených sesuvy

Volná příloha II – Tabulka parametrů sesuvů

Volná příloha III – CD – ROM