

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyzické geografie a geoekologie



**HODNOCENÍ RIZIKA VZNIKU SVAHOVÝCH DEFORMACÍ
NA SOLÁŇSKÉM HŘBETU**

(Diplomová práce)

**LANDSLIDE RISK ASSESSMENT
IN THE SOLÁŇSKÝ HŘBET RIDGE**

(Diploma thesis)

Radomír Cáb

Vedoucí práce: RNDr. Marek Křížek Ph.D.

Praha 2008

Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou práci řešil sám a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje.

Praha 20. 8. 2008

.....
Cáb R.

Za cenné rady a ochotné vedení práce děkuji mému školiteli RNDr. Marku Křížkovi Ph.D. a neméně mému konzultantovi RNDr. Janu Klimešovi Ph.D. Bez jejich podnětných připomínek by tato práce nevznikla.

ABSTRACT

The thesis deals with evaluation of landslide risk assessment in a territory situated in the Outer Western Carpathians. They are generally very susceptible to creation of landslides thanks to the flysch bedrock.

Landslide susceptibility maps were created for the purpose of risk analysis. They were defined as maps depicting spatial distribution of areas with suitable conditions for landslide formation (Glade, Crozier, 2005b). The risk analysis was carried out on the basis of an inventory map of landslides and an expert map defining levels of susceptibility of an area based on known landslides and maps of slopes. The last model used for the risk analysis was a physical model of susceptibility created by the SINMAP programme. The landslide hazard for individual susceptibility maps was defined as well, which means inclusion of time probability of landslide creation.

The risk analysis based on mentioned susceptibility maps was carried out by means of qualitative method which determines the final risk level combining qualitative measure of likelihood and its potential consequences on elements potentially at risk. The analysis results in landslide risk maps of elements potentially at risk in the studied territory.

KEY WORDS

- **Landslide** – the downward falling or sliding of a mass of soil, detritus, or rock on or from a steep slope;
- **Risk** – a measure of the probability and severity of an adverse effect to health, property or the environment;
- **Elements at Risk** – meaning the population, buildings and engineering works, economic activities, public services utilities, infrastructure and environmental features in the area potentially affected by landslides.
- **Hazard** – a condition with the potential for causing an undesirable consequence (the landslide).

OBSAH

1 ÚVOD	8
2 VYMEZENÍ ZÁKLADNÍCH POJMŮ A REŠERŠE METOD NÁCHYLNOSTI A RIZIKA VZNIKU SVAHOVÝCH DEFORMACÍ	10
2.1 Svahové deformace a příčiny jejich vzniku.....	11
2.2 Náchylnost území ke vzniku svahových deformací, sesuvné ohrožení a riziko ...	13
2.3 Metody používané pro tvorbu náchylnosti území ke vzniku svahových deformací.....	14
2.3.1 Kvalitativní přístup.....	15
2.3.2 Kvantitativní přístup.....	16
2.4 Základní rozdělení metod používaných pro analýzu rizika vzniku svahových deformací.....	20
3 VÝZKUM SVAHOVÝCH DEFORMACÍ VE STUDOVANÉM ÚZEMÍ A JEHO OKOLÍ	22
4 CHARAKTERISTIKA STUDOVANÉHO ÚZEMÍ	24
4.1 Geologická charakteristika	24
4.2 Geomorfologická charakteristika	26
4.3 Klimatické poměry včetně charakteristiky extrémních srážkových událostí v roce 1997	28
4.4 Hydrologická charakteristika.....	32
4.5 Půdní a vegetační poměry	34
5 METODIKA	36
5.1 Tvorba map náchylnosti studovaného území ke vzniku svahových deformací	36
5.1.1 Inventarizační mapa svahových deformací	36
5.1.2 Expertní mapa náchylnosti studovaného území ke vzniku svahových deformací.....	39
5.1.3 Fyzikální model náchylnosti studovaného území ke vzniku svahových deformací (model SINMAP).....	40
5.1.4 Definice jednotlivých tříd náchylnosti	42
5.2 Sesuvné ohrožení.....	43
5.2.1 Sesuvné ohrožení definované pro inventarizační mapu svahových deformací.....	43

5.2.2	Sesuvné ohrožení definované pro expertní mapu a fyzikální model náchylnosti území ke vzniku svahových deformací	44
5.3	Analýza rizika vzniku svahových deformací ve studovaném území.....	46
5.3.1	Potenciálně ohrožené objekty.....	46
5.3.2	Určení zranitelnosti potenciálně ohrožených objektů	48
5.3.3	Kvalitativní analýza rizika na základě inventarizační mapy	50
5.3.4	Kvalitativní analýza rizika na základě expertní mapy náchylnosti	54
5.3.5	Kvalitativní analýza rizika na základě fyzikálního modelu náchylnosti.....	55
5.4	Použitá vstupní data a software	56
6	VÝSLEDKY	59
6.1	Mapy náchylnosti studovaného území ke vzniku svahových deformací	59
6.1.1	Inventarizační mapa svahových deformací	59
6.1.2	Expertní mapa náchylnosti území ke vzniku svahových deformací	62
6.1.3	Fyzikální model náchylnosti	64
6.2	Potenciálně ohrožené objekty.....	66
6.3	Zranitelnost budov.....	68
6.4	Analýza rizika vzniku svahových deformací na základě inventarizační mapy	71
6.4.1	Budovy	71
6.4.2	Dopravní infrastruktura.....	74
6.4.3	Ostatní potenciálně ohrožené objekty	77
6.5	Analýza rizika vzniku svahových deformací na základě expertní mapy náchylnosti.....	79
6.5.1	Budovy	79
6.5.2	Dopravní infrastruktura	82
6.5.3	Ostatní potenciálně ohrožené objekty	85
6.6	Analýza rizika vzniku svahových deformací na základě fyzikálního modelu náchylnosti	87
6.6.1	Budovy	87
6.6.2	Dopravní infrastruktura	89
6.6.3	Ostatní potenciálně ohrožené objekty	92

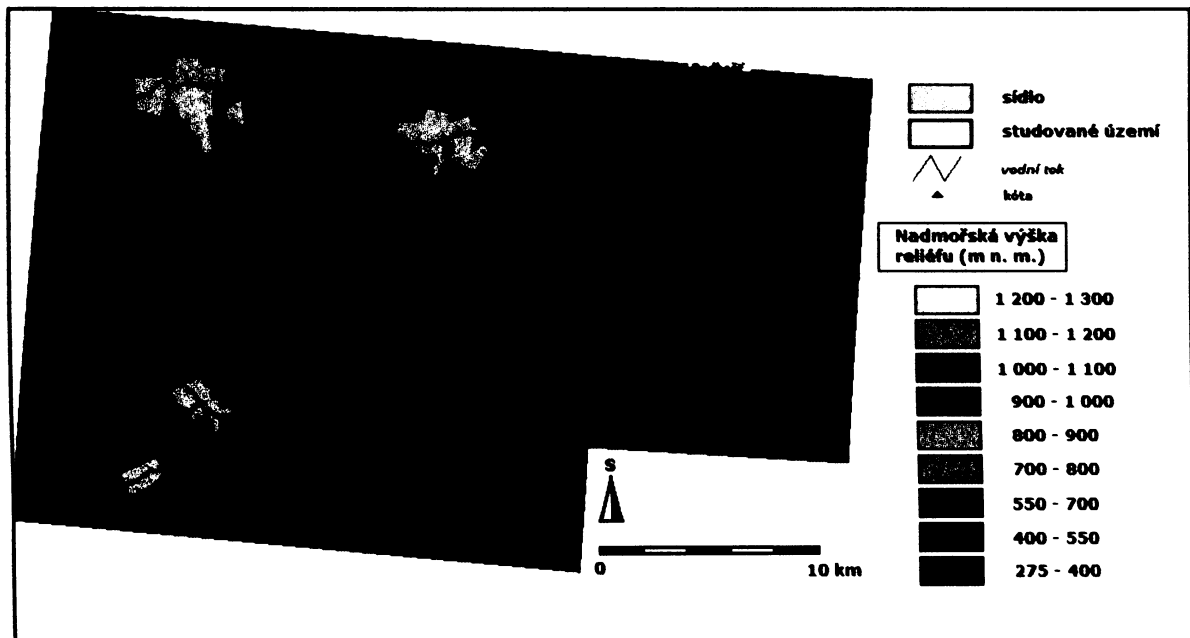
7 DISKUSE	94
7.1 Srovnání výsledků vytvořených modelů náchylnosti území ke vzniku svahových deformací.....	94
7.2. Srovnání výsledků analýz rizika vzniku svahových deformací na základě jednotlivých modelů náchylnosti území ke vzniku svahových deformací.....	96
7.2.1 Budovy	97
7.2.2 Dopravní infrastruktura.....	100
7.2.3 Ostatní potenciálně ohrožené objekty	102
7.3 Zhodnocení využitelnosti získaných výsledků.....	104
8 ZÁVĚR	106
LITERATURA	108
PŘÍLOHY	112

1 ÚVOD

Pro území, jehož geologický podklad je tvořen flyšovými horninami, představují svahové pohyby závažné přírodní riziko (Baroň a kol., 2004). Tento fakt se projevil v oblasti karpatského flyše především v červenci 1997, kdy byl okres Vsetín následkem mimořádných srážkových událostí postižen nejen ničivými povodněmi, ale také vznikem svahových deformací nebývalého rozsahu. Tyto svahové deformace v mnoha případech způsobily významné hmotné škody na majetku a představují jistý stupeň rizika až do dnešní doby.

Cílem předložené práce je kvalitativní metodou analyzovat možné riziko vzniku svahových deformací pro potenciálně ohrožené objekty studovaného území rozdělené dle jejich zranitelnosti vůči svahovým deformacím. Dílčím úkolem je vytvoření modelů náchylnosti území ke vzniku svahových deformací, na jejichž základě bude analýza rizika prováděna. Výsledkem analýzy rizika pro potenciálně ohrožené objekty studovaného území jsou mapy, zobrazující prostorové rozmístění potenciálně ohrožených objektů a jejich zařazení do daného stupně rizika.

K tomuto účelu bylo vymezeno studované území ve Vsetínských vrších, nacházející se z největší části v geomorfologickém okrsku Soláňský hřbet. Studované území se nachází mezi obcemi Hutisko – Solanec a Velké Karlovice, od nichž se směrem do středu území zvyšuje nadmořská výška, jelikož přibližně jeho středem prochází hlavní hřbet Vsetínských vrchů. Jedná se o území s vysokou energií horského reliéfu s relativně velkými nadmořskými výškami kulminační oblasti hlavního hřbetu na straně jedné a hluboce zaříznutými erozními údolími na straně druhé (Cáb, 2006). Studované území bylo v červenci roku 1997 následkem extrémních srážkových událostí postiženo vznikem celé řady rozličných typů svahových deformací o různé velikosti. Nacházejí se zde ovšem také staré stabilizované svahové deformace, které dokládají aktivitu svahových pohybů z dřívějších dob.



Obr. 1: Vymezení studovaného území

2 VYMEZENÍ ZÁKLADNÍCH POJMŮ A REŠERŠE METOD NÁCHYLNOSTI A RIZIKA VZNIKU SVAHOVÝCH DEFORMACÍ

Svahový pohyb je různotvárný geodynamický proces v přírodě, který přemísťuje horninový materiál gravitační silou po svahu z vyšších poloh do nižších. Většina autorů (např. Penck 1924, Vitásek 1958, Hutchinson 1968, Nemčok 1974 a 1982) z této definice vylučuje pohyby, při kterých materiál vlivem gravitace odnášejí transportační média (voda, sníh, led, vítr). Hranice mezi svahovým pohybem a transportem horninového materiálu se však určuje velmi obtížně, jelikož se tyto procesy v krajině vzájemně mísí a doplňují (Nemčok a kol., 1974). Pro klasifikaci svahových pohybů je obtížné stanovit jednotné, všeobecně platné zásady. Z hlediska typu procesu (pohybu) se vyčleňují čtyři základní skupiny svahových pohybů – ploužení, sesouvání, stékání, řícení (např. Nemčok a kol. 1974, Matula 1979). Všechny tyto skupiny svahových pohybů lze lokalizovat ve studovaném území.

Ploužení („creep“) definuje Záruba, Mencl (1969) jako plastické přetváření svahů, při nichž pohyb nenastává podél jedné zřetelné smykové plochy, ale probíhá v mohutné smykové zóně, v níž se vytváří celý systém dílčích smykových hmot. Nemčok a kol. (1974) uvádí, že hranice vůči pevnému podloží je u takového pohybu ve většině případů nezřetelná. Z hlediska rychlosti se jedná o pomalý dlouhodobý pohyb horninových hmot, který se zpravidla nezrychluje. Pokud však ano, přechází ploužení do procesu sesouvání, tečení nebo řícení (viz níže) (Nemčok, 1982). **Sesouvání** („sliding“) je naproti tomu krátkodobý, avšak relativně rychlý klouzavý pohyb horninových hmot na svahu podél jedné nebo více smykových ploch (Nemčok a kol., 1974). Rychlost takového svahového pohybu může dosahovat hodnot řádově v $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Demek, 1987b). V literatuře (spíše neodborné) je často zaměňován (resp. slučován) proces sesouvání s pojmem sesuv. Také Záruba, Mencl (1969) uvádí, že v české terminologii se pod pojmem sesuv rozumí jak vlastní pohyb hornin, tak výsledný morfologický tvar, neboli **svahová deformace**. V této práci je ale **sesuv** („landslide“) chápán podobně jako v práci Nemčok a kol. (1974), tedy jako výsledek procesu sesouvání. Svahová deformace je tedy vůči sesuvu nadřazený termín, jelikož svahová deformace může vzniknout i jinými procesy než sesouváním. **Tečení** („flow“) je rychlý krátkodobý pohyb, přičemž horninové hmoty jsou ve viskózním stavu. Z odlučné oblasti vyteče značná část materiálu a po povrchu reliéfu se přemístí na velkou vzdálenost. Proces je charakteristický ostrým oddělením stékajících hmot od neporušeného podloží. **Řícením** („fall“) se rozumí krátký, náhlý pohyb horninového materiálu na strmých svazích, kdy se postižené hmoty rozvolní a při svém pohybu ze svahu dolů krátkodobě ztrácejí kontakt s podložím (Nemčok a kol., 1974).

2.1 Svahové deformace a příčiny jejich vzniku

Jak již bylo zmíněno výše, pojmem svahový pohyb se rozumí proces, zatímco výslednou formu (produktem) tohoto procesu v reliéfu jsou **svahové deformace** (Špůrek, 1966). Jedná se o morfologické tvary reliéfu, které jsou výsledkem působení mnoha přírodních nebo antropogenních procesů a faktorů prostředí, které se nazývají **příčiny vzniku svahových deformací** nebo také **faktory podmiňující vznik svahových deformací** (Klimeš, 2007).

Příčiny vzniku svahových deformací je ale nutno chápat a posuzovat ve dvou rovinách (skupinách).

1) První skupina příčin vzniku svahových deformací se odvíjí od samotného vzniku hornin určující jejich základní fyzikální vlastnosti a jejich následný vývoj působením endogenních a exogenních procesů (Schuster, Krizek eds., 1978). Takto definované příčiny vzniku svahových deformací nazývají jako **podmínky** (např. Záruba, Mencl 1982). V určitém časovém úseku jsou tyto podmínky chápány jako konstantní. Jak již bylo dříve řečeno, ve studovaném území je tou nejhlavnější podmínkou chápána flyšová skladba sedimentů Vnějších Západních Karpat, obecně k tvorbě svahových deformací velice náchylná.

2) Nad tuto skupinu příčin vzniku svahových deformací bývá často kladena druhá skupina faktorů, která sesuvnou událost bezprostředně způsobila. Jsou označovány jako **spoušťové faktory (impulsy)** a jedná se o skupinu procesů vyvolávající okamžitou, resp. téměř okamžitou změnu reliéfu (vznik svahové deformace) (Ondrášik, Rybář 1991).

Podmínky a spoušťové faktory vzniku svahových deformací vyskytující se ve studovaném území shrnuje tab. 1 a 2.

Tab. 1: Možné podmínky vzniku svahových deformací ve studovaném území /upraveno dle Nemčok a kol. (1974), Ondrášik, Rybář (1991), Iverson (2000), Schuster, Wiczorek (2002), Schuster, Krizek eds. (1978), Záruba, Mencl (1982), Krejčí a kol. (2002), Klimeš (2007)/

Podmínky	Typ a charakteristika podmínky
Geologické poměry	podloží svahů ze skalních hornin s příznivým poměrem orientace a sklonu systému nespojivosti rychlé střídání rigidní (pevné) a plastické horniny (např. flyšová souvrství Vnějších Západních Karpat)
Geomorfologické poměry	výška a sklon svahu
Hydrogeologické poměry	pramenné oblasti boční eroze vodních toků (odlehčení paty svahů)
Klimatické poměry	sezónní i dlouhodobé kolísání srážek a teplot

Tab. 2: Možné spoušťové faktory vzniku svahových deformací ve studovaném území /upraveno dle Nemčok a kol. (1974), Ondrášik, Rybář (1991), Iverson (2000), Schuster, Wiczorek (2002), Schuster, Krizek eds. (1978), Záruba, Mencl (1982), Krejčí a kol. (2002), Klimeš (2007)/

Spoušťové faktory	Mechanismus působení
Srážky a tání sněhu	dočasné zvýšení pórových tlaků způsobuje snížení smykové pevnosti; přetížení svahu vahou dešťové vody nebo sněhu; významné zvýšení infiltrace vody do horninového prostředí při tání sněhu
Antropogenní faktory	stavební činnost (zpříkření svahu, přetížení/odlehčení svahu, atd.)
Biogenní faktory	změna vegetačního krytu (po odstranění vegetačního krytu dojde ke zvýšení infiltrace; u druhů s méně intenzivní transpirací může vegetace vést také k přetížení svahu – např. jehličnany)
Eroze vodního toku, obraze břehů	zvýšení strmosti svahu odlehčením a podkopáním paty svahu

Obě výše zmíněné skupiny příčin vzniku svahových deformací spolu souvisí a prolínají se. Proto je jejich rozlišení mnohdy velmi obtížné a v některých případech nemožné. To lze zpozorovat např. v případě podmínky, resp. spoušťového faktoru vzniku svahové deformace způsobené činností vodních toků, resp. jejich boční eroze, která se vyskytuje v tab. 1 i 2.

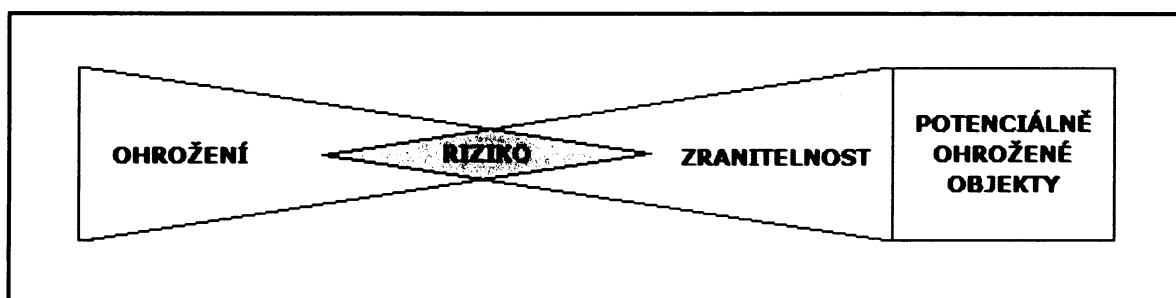
Dle Záruba, Mencl (1982) nebo Schuster, Wiczorek (2002) jsou nejčastějším spoušťovým faktorem vzniku svahových deformací **srážky**. Svahové deformace vyvolané tímto spoušťovým faktorem vznikají v místech koncentrace povrchového i podpovrchového odtoku nebo tam, kde je dostatečná mocnost materiálu náchylného k sesouvání (Glade, Crozier 2005b). Co se týče vztahu délky a intenzity srážek k množství a typu vzniklých svahových deformací, mají dle Rybáře (1999a) hlavní zásluhu na vzniku svahových deformací ve flyšové oblasti Česka především **prudké krátkodobé srážky**. Při hodnocení sesuvných událostí způsobenými srážkami je třeba počítat také s tzv. **ukazatelem předchozích srážek**. Předchozí srážky jsou definovány jako úhrn srážek za určité období před významnou, většinou intenzivní srážkovou událostí, která je zodpovědná za zvýšený výskyt svahových deformací. Předchozí srážky významně ovlivňují vznik svahových deformací především v oblastech se střední až nízkou propustností, což jsou právě pohoří s flyšovým podložím Vnějších Západních Karpat (Tsaparas a kol., 2002).

2.2 Náchylnost území ke vzniku svahových deformací, sesuvné ohrožení a riziko

Náchylnost území ke vzniku svahových deformací (dále náchylnost) je funkcí míry vlastní, současné stability svahu a přítomnosti faktorů schopných snížit stabilitu svahu do takové míry, že dojde ke vzniku svahové deformace (Glade, Crozier 2005b). Van Westen a kol. (2006) hodnotí náchylnost jako relativní ukazatel prostorové pravděpodobnosti výskytu svahové deformace v rámci studovaného území. Jednotlivé metody tvorby map náchylnosti popisuje kap. 2.3. **Přírodní ohrožení** („natural hazard“) je pravděpodobnost výskytu potenciálně škodlivých přírodních fenoménů (v tomto případě svahových deformací) v určitém období v dané oblasti. Procházková (2004) definuje ohrožení jako potenciálně škodlivý proces (např. sesouvání o dané velikosti a rychlosti pohybu) nebo situaci (např. složité základové poměry) o určité pravděpodobnosti vzniku v určitém studovaném území během definovaného časového období.

Mapa obsahující informace o prostorové pravděpodobnosti vzniku svahových deformací je **mapou náchylnosti území ke vzniku svahových deformací** („landslide susceptibility map“). Zobrazuje prostorové rozmístění oblastí s vhodnými podmínkami ke vzniku svahových deformací (Glade, Crozier 2005b). Pokud taková mapa zahrnuje také informace o pravděpodobnosti vzniku svahových deformací během určitého časového období, jedná se o **mapu sesuvného ohrožení** („landslide hazard maps“).

Pojem **potenciálně ohrožené objekty** („elements at risk“) zahrnuje budovy, stavby, ekonomické aktivity, veřejné služby, infrastrukturu, životní prostředí a také populaci v oblasti potenciálně zasažitelné svahovými pohyby. **Zranitelnost** („vulnerability“) lze jednoduše definovat jako náchylnost daného potenciálně ohroženého objektu ke vzniku škod (Procházková, 2004). Při hodnocení rizika je určení zranitelnosti pro každý potenciálně ohrožený objekt nutné.



Obr. 2: Vztah pojmů při hodnocení rizika (upraveno dle Glade, Crozier, 2005a)

Riziko („risk“) je v obecné rovině pravděpodobnost výskytu určitého jevu, který je nepříznivý pro společnost, infrastrukturu, ekonomiku nebo životní prostředí. Plyne ze vzájemné interakce extrémního přírodního procesu s potenciálně ohroženými objekty (viz výše) a jejich zranitelností. **Hodnocení sesuvného rizika** („landslide risk assessment“) je tedy posouzení sesuvného ohrožení lidské společnosti. Zhodnocení rizika výskytu svahových deformací na daném území zahrnuje:

- 1) zhodnocení pravděpodobnosti vzniku svahové deformace nebo přímo sesuvné události v určitém časovém období (ohrožení);
- 2) zhodnocení předpokládaných škod způsobených těmito svahovými deformacemi na potenciaálně ohrožených objektech a náchylnost k těmto škodám (zranitelnost).

Postup hodnocení sesuvného rizika lze stručně shrnout do následujících kroků (Klimeš, 2007):

- 1) zhodnocení míry nebezpečí jednotlivých svahových deformací;
- 2) předpověď lokality, kde může dojít ke vzniku nebo aktivaci svahových deformací;
- 3) na základě frekvence výskytu jednotlivých typů svahových deformací nebo jejich spouštěcích faktorů stanovit pravděpodobnost jejich vzniku pro studované území;
- 4) identifikace potenciálně ohrožených objektů, které mohou být svahovými deformacemi poškozeny;
- 5) odhad škod, které mohou vzniknout na těchto objektech daným svahovým pohybem.

2.3 Metody používané pro tvorbu náchylnosti území ke vzniku svahových deformací

Volba a možnosti použití jednotlivých níže popsaných metod závisí především na měřítku, na dostupných datech a typu hodnocených svahových deformací (Klimeš, 2007).

Velmi efektivní a přesný je průzkum daného území pomocí inženýrské geologie. Používá se při analýzách stability svahů území do měřítek cca 1:2 000 a větších. Pro menší měřítka (1:10 000 a menší) je však tento přístup finančně příliš nákladný, čímž postrádá pro studie rozsáhlejších území praktickou využitelnost (Klimeš, 2007). Je totiž nutné vycházet z podrobných podmínek a mechanismu vzniku konkrétní svahové deformace, což velmi často vyžaduje kromě detailních informací o litologii, zvodnění geologického prostředí a

sklonitostních poměrech, také laboratorní testy a uskutečnění vrtných prací. Z tohoto důvodu byl postupně vytvořen soubor metod hodnotících náchylnost území ke svahovým deformacím, které se zpracovávají v prostředích GIS nebo využívají dálkového průzkumu země. Určením vhodné použitelné metody, při znalosti rozsahu (a potažmo měřítka) studovaného území, se zabývá např. studie Glade, Crozier (2005b).

Metody náchylnosti území ke vzniku svahových deformací (dále jen metody náchylnosti) lze obecně rozdělit na kvalitativní a kvantitativní. Jejich stručný přehled shrnuje tab. 3.

2.3.1 Kvalitativní přístup

Použitím kvalitativních metod je výsledné náchylnosti daného území ke svahovým deformacím dosaženo pomocí subjektivních kritérií (na rozdíl od kvantitativních metod, kde se využívají kritéria objektivní) znalostí a zkušeností zpracovatele. Patří zde **heuristické metody**, které lze dále dělit na metody přímé a nepřímé (Glade, Crozier, 2005b).

Při použití **přímé heuristické metody** je míra náchylnosti území určena expertem buď přímo v terénu, nebo pomocí podrobné geomorfologické mapy. **Nepřímé heuristické metody** výslednou mapu náchylnosti odvozují z kombinace několika parametrických (indexových) map, které jsou seřazeny a klasifikovány na základě expertních znalostí hodnotícího pracovníka.

Vždy jsou ale výsledky hodnocení podmíněny prací hodnotícího pracovníka, což je současně kladem i záporem těchto metod. V prvním případě lze těmito metodami, díky individuálnímu přístupu k jednotlivým částem zájmové oblasti, dosáhnout komplexních výsledků hodnocení stabilitních poměrů svahů, ke kterým by se jen obtížně dospělo metodami jinými. Naopak klasifikace částí reliéfu do jednotlivých tříd náchylnosti je věcí velice subjektivní a její výsledky jsou jen těžko identifikovatelné a dále interpretovatelné dalšími osobami (Klimeš, 2007).

Někteří autoři řadí k heuristickým metodám také **inventarizační mapy svahových deformací**, přestože neobsahují informace o postižení území svahovými deformacemi v budoucnu (Glade, Crozier, 2005b). Inventarizační mapy jsou základem každého hodnocení sesuvného ohrožení. Mohou však být používány i jako mapy náchylnosti neobsahující informace o náchylnosti těch území, o kterých nemáme informace, že by byly svahovými deformacemi postiženy (Klimeš, 2007). Inventarizační mapy lze rozdělit na dva typy. První skupinu tvoří ty, které zachycují existující svahové deformace vzniklé v důsledku jedné

sesuvné události (např. Rybář, 2001). Druhým typem jsou historické inventarizační mapy, které zachycují sesuvnou aktivitu za určité období (např. databáze svahových deformací Geofondu) (Klimeš, 2007). Míry nejistot spojené se zakreslováním svahových deformací do inventarizačních map jsou zmíněny dále.

2.3.2 Kvantitativní přístup

Kvantitativní metody jsou založeny na objektivních kritériích, které lze dále reprodukovat. Dle Petley a kol. (2005) jsou základem těchto metod tři přístupy:

- 1) výpočet indexu stability (IS), který je číselným hodnocením poměru destabilizujících a stabilizujících sil působících na svah;
- 2) v hydrologickém systému, který v tomto případě představuje svah, je cílem identifikovat místa vzniku vysokých pórových tlaků potenciálně narušujících stabilitu svahu;
- 3) na základě informací o rozmístění již existujících svahových deformací (inventarizační mapy) určit rozhodující podmínky a faktory ovlivňující stabilitu svahů v budoucnu.

První dva přístupy, nebo jejich kombinaci, používají tzv. **fyzikální (deterministické) metody**. Jejich nevýhodou je nutnost existence velmi podrobných dat, která by realisticky popisovala hydrologické podmínky a mechanické vlastnosti zvětralinového pláště, ve kterém vzniká většina svahových deformací, jež jsou touto metodou zkoumány. Čím více jsou vstupní data zobecňována a zjednodušována, tím více se stává fyzikální model nerealistickým a nepřesným.

Na třetím přístupu jsou založeny **metody statistické**, jejichž hlavním omezením je existence určité míry nejistoty prostorového rozmístění svahových deformací při jejich zpracování v inventarizačních mapách. Podrobněji se problematikou lokalizace svahových deformací v inventarizačních mapách zabýval např. Carrara (1995) nebo Klimeš (2003).

Tab. 3: Stručný přehled metod k hodnocení náchylnosti území ke svahovým deformacím (dle Carrara a kol. 1995, van Westen, Soeters 1997, Klimeš 2003)

Teoretické metody	Deterministické (fyzikální) metody "whitebox"		mapa náchylnosti je odvozena na základě znalosti fyzikálních a chemických pochodů, které vedou ke vzniku svahových deformací; často se jedná o aplikaci inženýrskogeologického přístupu v regionálním měřítku (např. modely SINMAP, SHALSTAB, SHETRAN, TRIGRS)
		Pravděpodobnostní metody	kombinace fyzikálního modelu s pravděpodobnostními metodami odhadu hodnot vstupních parametrů (např. model DELISA)
Empirické metody	Statistické metody "data driven"	Dvourozměrné	každý faktor je hodnocen odděleně (hodnocení jedné závislé a jedné nezávislé proměnné); jednotlivé faktory jsou hodnoceny na základě hustoty výskytu svahových deformací v jednotlivých třídách faktorů
		Vícerozměrné	snaha metody předpovědět vznik svahových deformací (závisle proměnná) na základě souboru známých faktorů (nezávisle proměnná) - diskriminační analýza, logistická regrese
Heuristické metody "knowledge-driven"	Heuristické metody "knowledge-driven"	Přímé	mapa náchylnosti je přímo odvozena z geomorfologické mapy a inventarizační mapy sesuvů na základě expertní znalosti hodnotícího pracovníka
		Nepřímé	mapa náchylnosti je odvozena z kombinace několika typů map, které jsou seřazeny a klasifikovány na základě expertní znalosti hodnotícího pracovníka

Deterministické metody vycházejí ze znalostí fyzikálních a chemických procesů, které vedou k nestabilitě svahů. Na rozdíl od statistických metod nejsou závislé na mapách podmínek vztažené ke dni mapování, ale vytváří scénáře stability svahů na základě předpokládané změny těchto podmínek (změna landuse nebo chodu meteorologických prvků, van Beek, 2002). K rajonizaci území vzhledem k náchylnosti ke vzniku svahových deformací používá model hodnoty **indexu stability (IS)**, který je nejčastěji počítán kombinací modelu stability svahu a hydrologického modelu zaměřeného na odhad rozložení pórových tlaků (úroveň hladiny podzemní vody). Hydrologický model je dvojího typu. Používá se buď jednoduchý statický (např. Pack a kol., 1998) nebo dynamický (např. Baum a kol., 2005), který uvažuje horizontální změnu pórových tlaků v půdě během srážkové události.

S hydrologickým modelem úzce souvisí hlavní nevýhody deterministických metod. Jak již bylo řečeno, jejich věrohodnost je omezena značným zobecněním nebo nedostatečným množstvím potřebných vstupních dat. Především je to problém odhadu výšky hladiny podzemní vody a její změny v případě srážkových událostí. Některé modely se tento problém snaží eliminovat, jako např. model TRIGRS (Baum a kol., 2005), do jehož algoritmu byla zahrnuta rovnice Iversona (2000). Tato rovnice na základě délky a intenzity srážek popisuje horizontální a vertikální změnu pórových tlaků.

Statistické modely (tzv. „data driven“) se člení na dvourozměrné a vícerozměrné (viz tab. 3). Při tvoření **dvourozměrného modelu** se využívají tematické mapy, znázorňující např. geologické nebo půdní jednotky studované oblasti. Ty jsou následně porovnávány s inventarizační mapou svahových deformací. Pro každou plošnou jednotku tematické mapy je spočítána hustota výskytu svahových deformací a na jejím základě získá každá plošná jednotka bodové hodnocení. Plošné jednotky se stejným nebo vyšším počtem bodů než kde se vyskytují známé svahové deformace (avšak bez známek dřívějších nebo současných svahových deformací) jsou označeny za náchylné ke vzniku svahových deformací v budoucnu (Klimeš, 2003).

Mnohem realističtěji vystihují náchylnost území ke svahovým deformacím **vícerozměrné statistické analýzy**, které pracují s mnohem větším spektrem podmínek a faktorů, které vznik svahových deformací ovlivňují. V rámci těchto metod se provádí např. diskriminační analýza nebo logistická kongrese, a to převážně mimo prostředí GIS (Carrara a kol. 2005, Klimeš 2003).

Závislost výsledků statistických analýz na inventarizačních mapách svahových deformací je zřejmá a rozhodující. Carrara a kol. (1995) dokázal, že míra nejistoty vymezení

svahových deformací v inventarizačních mapách při analýze stejného území různými kolektivy pracovníků může dosáhnout 55 – 90%. Ještě vyšší hodnotu (97%) zaznamenal Klimeš (2002) na základě srovnání dvou inventarizačních map téhož území zpracovaných pomocí leteckých snímků. Tato závislost výsledků statistických metod na inventarizačních mapách svahových deformací může být částečně zmírněna správnou volbou tzv. terénních jednotek („terrain-units“). Jsou to nejmenší homogenní části reliéfu, pro které je vypočítána konkrétní hodnota náchylnosti ke vzniku svahových deformací (Klimeš, 2007). Nejpoužívanější terénní jednotkou je pixel, avšak Carrara a kol. (1995) naopak navrhuje použití tzv. svahové jednotky („slope-unit“). Pro porovnání obou zmíněných jednotek slouží tab. 4.

Tab. 4: Srovnání charakteristik dvou vybraných terénních jednotek (Carrara a kol. 1995, Klimeš 2003) („+“ zn. pozitivní vlastnost, „-“ zn. negativní vlastnost)

pixel ("grid-cell")		svahová jednotka ("slope-unit")	
+	jednoduše definovatelné hranice	-	definice hranic je bez specializovaného programu obtížná a zatížená subjektivní chybou
+	mnohem podrobnější prostorové rozlišení mapy náchylnosti	-	málo podrobné rozlišení výsledné mapy
-	jednotlivé jednotky jsou v terénu obtížně identifikovatelné	+	snadná identifikace jednotlivých jednotek v terénu
-	citlivost na přesnost vstupních dat (zejména inventarizačních map svahových deformací) - snížení efektu podrobnějšího prostorového rozlišení	+	citlivost na nepřesnosti v inventarizačních mapách svahových deformací je výrazně potlačena
-	umělé rozdělení reálného světa	+	přirozené rozdělení reálného světa odpovídající charakteristice svahových pohybů
-	velké objemy dat (z důvodu vysokého počtu pixelů) způsobují problémy při jejich zpracování statistickými programy	+	počet jednotek závisí na průměrné ploše studovaných svahových deformací

Carrara a kol. (1995) definuje svahovou jednotku jako levou, resp. pravou část dílčího povodí libovolného řádu. Hranici svahové jednotky tvoří rozvodnice, údolnice a jejich spojnice probíhající po svahu. Aby se omezila možnost vzniku subjektivních chyb při vymezení svahových jednotek v praxi, je nutno použít specializovaný program (např. Baccini, Klimeš 2003, Umbrie - Itálie), který vymezení homogenní svahové jednotky automatizovaně. Míra nejistoty v inventarizační mapě svahových deformací způsobená rozdílným (subjektivním) vnímáním reliéfu jednotlivce nebo pracovního týmu je potlačena tím, že informace o přítomnosti svahové deformace je vztažena k celé svahové jednotce. Podíl svahové deformace na ploše svahové jednotky však musí přesahovat určitou hranici

(Klimeš, 2007). V případě, že se jako terénní jednotka použije pixel, je nutné, aby každý pixel obsahoval informace o souboru podmínek, které mohou způsobovat svahové deformace. Pro tento záměr je potřeba zkombinovat několik rastrových vrstev, čímž vzniknou tzv. “unique conditional units“ (neboli jedinečné prostorové jednotky, van Westen a kol., 2006).

2.4 Základní rozdělení metod používaných pro analýzu rizika vzniku svahových deformací

Pro základní rozdělení metod analýzy rizik lze jako hlavní hledisko použít způsob vyjádření veličin s nimiž se v analýze rizik pracuje. Stejně jako u metod hodnocení náchylnosti území ke svahovým deformacím se i při analýze rizik používají dva základní přístupy: kvalitativní a kvantitativní.

Zatímco hlavním cílem kvantitativního odhadu rizika je odvození standardů míry rizika, které je možno dále reprodukovat a které mohou být porovnávány a vyhodnocovány spolu s dalšími podobně odhadnutými riziky, není to vždy zcela možné. Omezené zdroje a nedostatek vstupních dat mohou způsobit, že kvantitativní odhad rizika (viz níže) není možný. V takových případech může být riziko určováno na základě posouzení zpracovatele a vyjádřeno pomocí **kvalitativní metody** (Glade, Crozier 2005a). Intuice, zkušenosti a odborné posouzení zpracovatele jsou již dlouhou dobu považovány za legitimní přístup při hodnocení rizika. Příklad výpočtu rizika touto metodou pomocí kvalitativního posouzení míry frekvence, následků a výsledného rizika ve vztahu k majetku je uveden níže v tabulkách 10, 11, 12, a 13 (kap. 5.3.3), a to v konkrétním použití kvalitativního přístupu analýzy rizika v této práci.

Kvalitativní analýza rizika je ve většině případů rychlejší a jednodušší. Vzhledem k tomu, že zde hraje velkou roli subjektivní úsudek a zkušenost zpracovatele, může být tato metoda velice účinná a v některých případech lze dokonce pomocí tohoto přístupu hodnocení rizika dosáhnout nejlepších výsledků (Glade, Crozier 2005a). Subjektivnost je ale zároveň největší slabinou této metody, jelikož výsledky takových analýz rizik jsou velice individuální a těžko interpretovatelné dalšími stranami (Glade, Crozier 2005a).

Kvantitativní metody jsou založeny na matematickém výpočtu rizika z frekvence výskytu ohrožení a jeho následků. Pro příklad je uveden vzorec kvantitativního výpočtu rizika určitého majetku (potenciálně ohroženého objektu) (upraveno dle Australian Geomechanics Society, 2000):

$$\mathbf{R_{(M)} = P_{(O)} * P_{(P:O)} * Z_{(M:P)} * POO}$$

kde: $R_{(M)}$ je riziko majetku;
 $P_{(O)}$ je pravděpodobnost výskytu ohrožení (svahového pohybu) za jeden rok;
 $P_{(P:O)}$ je prostorová pravděpodobnost vzniku ohrožení (tzn. např. zasažení budovy sesuvem; pro dopravní prostředky se jedná o časovou pravděpodobnost);
 $Z_{(M:P)}$ je zranitelnost majetku;
 POO je potenciálně ohrožený objekt.

Termín „prostorová pravděpodobnost vzniku ohrožení $P_{(P:O)}$ “ je do výše uvedené rovnice zaveden proto, že plocha území použitá k hodnocení ohrožení a rizika není vždy totožná s územím konkrétně postiženým svahovými pohyby. Prostorová pravděpodobnost je tedy součin poměru plochy území postiženého svahovými deformacemi k ploše studovaného území a poměru území se zájmovými prvky (zvolenými potenciálně ohroženými objekty) k ploše studovaného území (Glade, Crozier, 2005a). Dále je potřeba uvažovat některé potenciálně ohrožené objekty jako mobilní (pohybující se), takže se v oblasti ohrožené svahovými pohyby nacházejí pouze přechodnou dobu. Kromě prostorové pravděpodobnosti výskytu hrozby je tedy třeba vzít v úvahu také pravděpodobnost časovou (např. osoba se v ohrožené budově nachází pouze po určitou část dne nebo automobil se může v ohroženém území vyskytovat pouze určitý časový úsek). Dále je třeba zdůraznit, že kvantitativní přístup (jak je ukázáno v rovnici výše) poskytuje jen omezený odhad rizika, který se zabývá pouze jednou složkou, a to ekonomickou stránkou škody na majetku. Existují ale mnohé další, nepřímé následky spojené se vzniklou škodou. Např. v případě poškození průmyslového závodu se může jednat o ušlý zisk, ztrátu klientů, ztrátu zaměstnání a s tím spojených výdělků zaměstnanců atd. (Glade, Crozier, 2005a).

3 VÝZKUM SVAHOVÝCH DEFORMACÍ VE STUDOVANÉM ÚZEMÍ A JEHO OKOLÍ

První zaznamenanou svahovou deformací ve flyšových pohoří Západních Karpat byl v roce 1905 sesuv v Hostýnských vrších na svahu Kelčského Javorníku (Špůrek, 1972). Dle Záruby (1922 – 1923) první podrobně zdokumentovaná svahová deformace vznikla v roce 1919 u obce Hoštálková, kde zničila šest obytných domů a přehrazením potoka vytvořila malé dočasné jezero. V první polovině 20. století byly další informace o svahových deformacích získávány během budování vodních nádrží a železnic nebo např. při průzkumu v okolí Zlína, který organizovala firma Baťa (Krejčí, 1943). Systematická registrace a výzkum sesuvů v tehdejší Československu však začal až po katastrofálních dopadech rozsáhlé sesuvné události v Handlové (Slovenská republika) z let 1960 – 1961 (Rybář, Nemčok 1968). Bylo zničeno 260 domů a vážně byl ohrožen provoz na železniční trati. Následovala inventarizace sesuvných území na celém území Československa, která byla zahájena v roce 1962 a trvala dva roky. Na území Vsetínských vrchů bylo identifikováno 163 svahových deformací (Klimeš, 2007), které byly zaneseny do map 1:25 000 a následně do Registru sesuvů Geofondu. V pozdějším období (přibližně 1970 – 1997) byla inventarizována řada dalších sesuvných území, a to díky geologickému mapování ČGÚ (Českého geologického ústavu). Tato sesuvná území jsou zakreslena v mapách 1:25 000 a 1:50 000, ale ne všechna se stala součástí Registru sesuvů Geofondu.

Novým impulsem pro výzkum svahových deformací mj. také ve Vsetínských vrších byly mimořádné srážkové události v červenci roku 1997 (kap. 4.3). Kirchner, Krejčí (1997, 1998) po těchto událostech evidovali v okrese Vsetín okolo 250 svahových deformací. V jejich důsledku muselo být vydáno 30 demoličních výměrů. Vzniklé svahové deformace způsobovaly také dopravní komplikace, když na mnoha místech byla přerušena doprava včetně provozu železničního koridoru Valašské Meziříčí – Vsetín – Horní Lideč. Skutečný počet svahových deformací vzniklých v tomto období se však ukázal být vyšší než zaznamenala první šetření, a proto byl rok 1999 počátkem dalšího systematického registrování svahových deformací, na němž se podílela brněnská pobočka ČGS (Klimeš, 2007). Inventarizace a výzkum svahových deformací probíhal nejdříve v rámci studií s názvem „Geologická stavba území Moravy jako podmiňující fenomén sesuvných pohybů“ a později „Svahové deformace v ČR“, jenž byly financovány MŽP ČR. Od roku 2004 navázal na tyto práce program „ISPROFIN č. 215124 – 1 Dokumentace a mapování svahových pohybů v ČR“. Jedním z výsledků těchto studií jsou inventarizační mapy svahových

deformací 1:10 000, které byly použity i v této práci. Popisy mapových listů použité pro studované území uvádějí, že se na mapování podíleli především pracovníci P. Roštinský, T. Nýdl, J. Klimeš a V. Jánoš. První souhrnné analýzy svahových deformací vzniklých v roce 1997 publikovali ve svých pracích Krejčí a kol. (2002) a Klimeš (2002a).

Z dalších prací lze uvést Nemčok a kol. (1974) nebo Nemčok (1982) popisující svahové deformace Západních Karpat. Rybář, Novosad (1989) ve své studii hodnotí ekonomický dopad svahových deformací v tehdejším Československu. Grafický přehled výzkumů svahových deformací v Československu do poloviny 80. let zpracoval Ondrášek, Rybář (1991). Bibliografický přehled publikací, které se zabývají výzkumem a sanacemi svahových deformací na území Československa publikoval Špůrek (1979, 1985). Svahovými deformacemi v oblasti Rusavské hornatiny (Hostýnské vrchy) se zabýval Křížek (2005), který v rámci tohoto území vymezil 157 sesuvů a 56 sesuvných území.

Geomorfologické aspekty svahových deformací na východní Moravě po roce 1997 zpracovali např. Kirchner a kol. (2003) nebo Kirchner, Roštinský (2005). Autoři v těchto studiích poukázali na to, že některé tvary, které byly dříve považovány pouze za produkt mrazových procesů, jsou součástí komplexních svahových deformací. Touto problematikou se zabýval rovněž Czudek (2005). Komplexní svahové deformace studoval také Baroň (2004), který ve své práci využil řadu geomorfologických, geologických a také geofyzikálních metod. K měření dynamiky současných svahových pohybů využil dilatometrická měření pohybů ve vybraných puklinových jeskyních, jejichž vztah ke komplexním svahovým deformacím publikoval např. Pavelka, Trezner eds. (2001). Ve studovaném území předložené práce se Baroň (2004) zabýval komplexní svahovou deformací Kobylská, kde je pět puklinových jeskyní vázaných na akumulaci pod hlavní odlučnou stěnou. Nejstarší sesuvná aktivita v této lokalitě byla stanovena na $9\ 080 \pm 95$ ^{14}C let (Baroň, 2004). V neposlední řadě několik studií svahových deformací ve Vsetínských vrších (popř. ve studovaném území předložené práce) provedl také Klimeš (Klimeš 2000, 2002a, 2002b, 2007; Klimeš, Rothová 2001 nebo Klimeš, Vilímek 2004). V práci Klimeš (2007) bylo vytvořeno několik modelů náchylnosti Vsetínských vrchů k tvorbě svahových deformací, analyzovány podmínky vzniku svahových deformací v tomto území a v neposlední řadě byl zhodnocen vliv svahových deformací na erozi a denudaci Vsetínských vrchů.

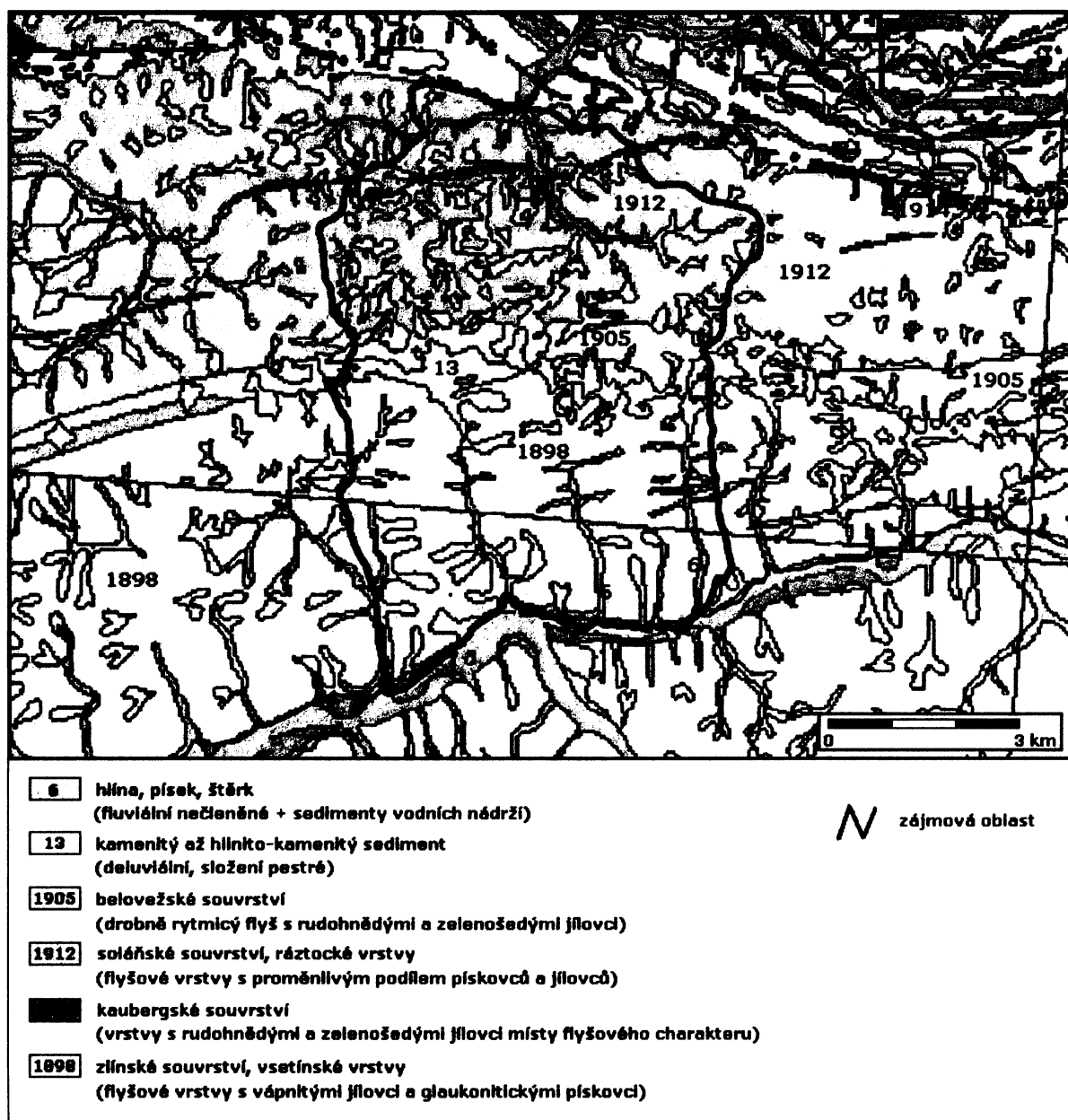
4 CHARAKTERISTIKA STUDOVANÉHO ÚZEMÍ

4.1 Geologická charakteristika

Studované území je součástí Vnějších Západních Karpat, což znamená, že leží v tzv. flyšovém pásmu. Flyš označuje rytmické střídání usazených pískovců a jílovců ve velkých mocnostech, místy s polohami slepenců, prachovců nebo vzácněji vápenců. Sedimentace probíhala značnou rychlostí a za orogenního neklidu. Značně se na ni také podílely husté turbiditní (bahenní) proudy /Stráník et al. in Přichystal, Obstová, Suk (1993)/. Proto je ve flyšové oblasti (s výjimkou mikrofosilií) nedostatek zkamenělin (Zapletal in ed. Demek, 1992). Vrásové příkrovy vznikly během alpínské orogeneze na rozhraní eocénu a oligocénu (Lukniš, 1964).

Pro celé zájmové území je z hlediska geologického určující račanská jednotka. Ta spolu s bělokarpatskou a bystrickou jednotkou tvoří tzv. magurskou skupinu příkrovů (Zapletal in ed. Demek, 1992). Ve své severní části je račanská jednotka nasunuta na jednotku slezskou (součást vnější skupiny příkrovů), která však do studovaného území nezasahuje a nachází se asi 4,5 km na sever od něj. Račanskou jednotku lze rozdělit na dvě části, a to spodní a svrchní. Spodní část račanské jednotky tvoří soláňské souvrství a dále pak flyšový sled s převahou jílovců souvrství belovežského (Zapletal in ed. Demek, 1992).

Pestré vrstvy soláňského souvrství vznikly sedimentací, která započala ve svrchní křídě (Zapletal in ed. Demek, 1992). Kromě Chřibů a Hostýnských vrchů je toto souvrství značně rozšířeno také ve Vsetínských vrších, kde se studovaná oblast nachází. Soláňské souvrství se člení na spodní (ráztocké) a svrchní (lukovské) soláňské vrstvy. Pro studované území jsou podstatné pouze ráztocké vrstvy soláňského souvrství. Vyznačují proměnlivým podílem drobových pískovců a převážně šedých až zelenošedých jílovců /Stráník et al. in Přichystal, Obstová, Suk (1993)/. Ráztocké vrstvy tvoří dominantní většinu geologického podkladu severní části studovaného území (obr. 3).



Obr. 3: Geologické poměry studované oblasti (zdroj: ČGS)

Naopak jižní část studovaného území je tvořena převážně vsetínskými vrstvami. Ty jsou spolu s vrstvami újezdskými, luhačovickými a rusavskými součástí zlínského souvrství, které vystupuje především ve vnitřní části magurského příkrovu a tvoří svrchní část račanské a bystrické jednotky. Vznikalo ve středním eocénu až spodním oligocénu (Zapletal in Demek ed., 1992) a je opět tvořeno flyšovými sedimenty. Charakteristickým rysem tohoto souvrství je střídání lavicovitých a deskovitých glaukonitických pískovců s jílovcí se specifickým rozpadem vsetínských vrstev (Stráník et al. in Přichystal, Obstová, Suk (1993)). V samotných vsetínských vrstvách (spodní oligocén až svrchní eocén) převažují šedé vápnité jílovce nad

převážně glaukonitickými pískovci v poměru 2:1 až 10:1 (Stráník et al. in Přichystal, Obstová, Suk (1993)).

Předěl mezi vrstvami ráztockými na severu a vsetínskými na jihu studovaného území tvoří belovežské souvrství. Vzniklo obnovením sedimentace pestrých jílovců na rozhraní paleocén/spodní eocén a vystupuje v kulminačních částech hlavního hřbetu Vsetínských vrchů, který územím prochází západovýchodním směrem. Vyznačuje se flyšovým střídáním jílovců a pískovců, přičemž převažují jemnozrné horniny, převážně rudé a zelené jílovce. Pískovce jsou jemnozrné, glaukonitické, zelenošedé, místy obsahují vápnitý tmel (Zapletal in Demek ed., 1992).

Minimální zastoupení má kaubergské souvrství, vyskytující se současně s tektonickými liniemi v severní části území. Převládají v něm jílovce rudohnědé a zelenošedé barvy, místy s vložkami prachovců a prachových jílovců.

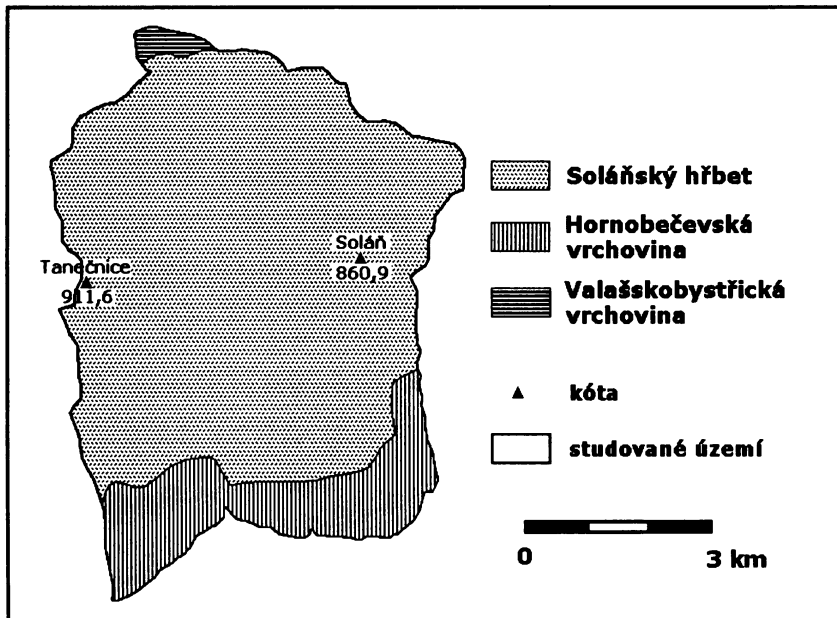
Studované území je pokryto kvartérními deluviálními a fluviálními sedimenty. Pomocí 66 vrtů uložených v databázi Geofondu byla mezi obcemi Hutisko-Solanec a Velké Karlovice zjištěna průměrná mocnost kvartérních sedimentů 4,2 m, přičemž v 6 vrtech se mocnost pohybovala mezi 10 a 15 m (Klimeš, 2007). Dle Krejčího a kol. (2002) vzniklo 84% svahových deformací, které byly zdokumentovány během let 1997–1998, právě v deluviálních uloženinách.

4.2 Geomorfologická charakteristika

Studované území je součástí podcelku Vsetínské vrchy, náležící do soustavy Vnější Západní Karpaty. Dle geomorfologického rozdělení (Zapletal in ed. Demek, 1992) je podcelek Vsetínské vrchy tvořen třemi geomorfologickými okrsky, a to Hornobečevskou hornatinou, Soláňským hřbetem a Valaškobytrčickou hornatinou (tab. 5). Největší podíl (83,5 %) zaujímá okrsek Soláňský hřbet, který tvoří většinu území a pouze jižní a zanedbatelný podíl severní okrajové části studovaného území tvoří Hornobečevská hornatina (15,4 %) resp. Valaškobytrčická hornatina (1,1%). Prostorové rozmístění jednotlivých okrsků zobrazuje mapa na obr. 4.

Tab. 5: Zasazení studovaného území do geomorfologických jednotek (dle Demek et al. /ed./, 1992)

OPCÍNEK	Západní Karpaty
STAVA	Vnější Západní Karpaty
SOUSTAVA	Západní Beskydy
OPCÍNEK	Hostýnsko – vsetínská hornatina
OPCÍNEK	Vsetínské vrchy
OPCÍNEK	Hornobečevská hornatina
OPCÍNEK	Soláňský hřbet
OPCÍNEK	Valašskobystřická hornatina



Obr. 4: Vymezení geomorfologických okrsků studovaného území (součást geomorfologického celku Hostýnsko – vsetínská hornatina) (upraveno dle Demek et al. /ed./, 1992)

Přibližně středem území prochází hlavní hřbet Vsetínských vrchů a nacházejí se zde nejvyšší nadmořské výšky studovaného území. Nejvyšším vrcholem je Tanečnice (911,6 m n. m.), jejíž vrchol a přilehlé svahy přibližně severojižního směru tvoří část západní hranice území. Další významné vrcholy hlavního hřbetu jsou Leští (899,6 m n. m.) a Soláň (860,9 m n. m.). Celý hlavní hřbet studovaného území leží nad výškovou úrovní 800 m n. m. Na obě strany tohoto hřbetu vybíhají rozsochy. Obzvláště výrazné jsou tři rozsochy na jižní polovině studovaného území, které od sebe dělí údolí potoků (od z.) Brodská, Kobylská, Raťkov a Bzový. Nejnižší bod zájmového území (460 m n. m.) leží v jeho jihozápadním cípu na úpatnici svahu, kde se střetává údolí Vsetínské Bečvy s údolím potoku Brodská. Rozdíl maximální a minimální nadmořské výšky je tedy přibližně 452 m n. m.

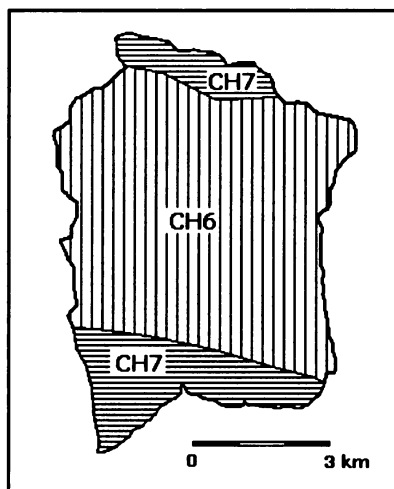
Demek (1987a) uvádí, že Vsetínské vrchy z hlediska relativní výškové členitosti tvoří členitá vrchovina až plochá hornatina. Morfometrická analýza Vsetínských vrchů (Cáb, 2006) popisuje Vsetínské vrchy z hlediska relativní výškové členitosti jako území tvořené převážně

plochou hornatinu (83%). Nejinak je tomu ve studovaném území, kde plochá hornatina tvoří dle výsledků zmiňované práce 100% území. Poměrně vysoký stupeň relativní výškové členitosti souvisí s hluboce zaříznutými erozními údolními či roklemi na straně jedné a s vrcholy horského hřbetu (Soláň – Tanečnice) na straně druhé. Dle morfometrické analýzy práce Cáb (2006) se studované území, díky relativní výškové členitosti a značně sklonitým svahům, vyznačuje velkou energií reliéfu.

4.3 Klimatické poměry včetně charakteristiky extrémních srážkových událostí v roce 1997

Převážná část studovaného území spadá dle Quitt (1971) do chladné klimatické oblasti CH6. Pouze severní a jižní okraje území odpovídají jen o něco teplejší klimatické oblasti CH7, a to především díky nižší nadmořské výšce údolních oblastí. Studované území se nachází ve východní (chladnější) části Vsetínských vrchů. Západní část Vsetínských vrchů je relativně teplejší a průměrné roční srážkové úhrny jsou zde průměrně o 150 mm nižší (klimatická oblast CH7) (Quitt, 1971).

Léto je ve studovaném území charakterizováno jako krátké, mírně chladné a vlhké s průměrnou teplotou v červenci 14 – 16 °C. Zima je naopak dlouhá, mírná, mírně vlhká. Průměrné teploty v měsíci lednu jsou 3 - 5 °C pod nulou. Srážkové úhrny ve vegetačním období činí 500 – 700 mm (častěji 600 – 700 mm – v klimatické oblasti CH6). Průměrný roční úhrn srážek se pohybuje od 850 mm až po 1200 mm. Vymezení jednotlivých klimatických oblastí zobrazuje obr. 5, detailní charakteristiku jednotlivých oblastí pak tab. 6.

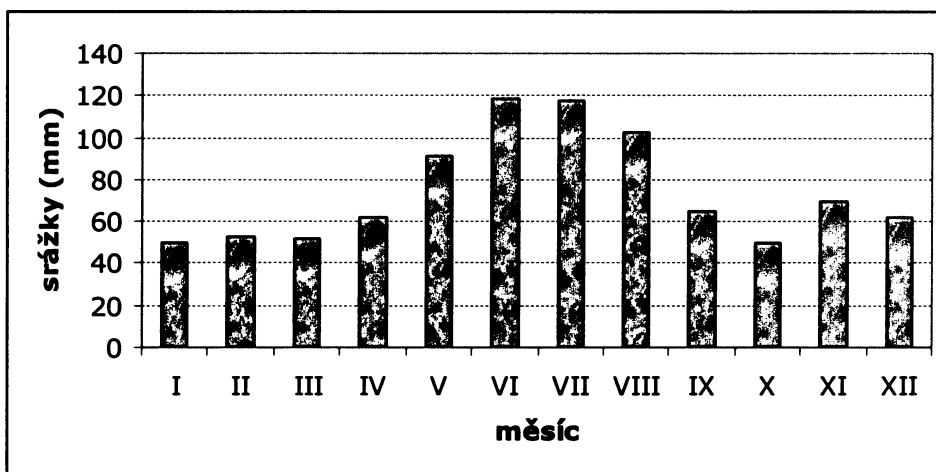


Obr. 5: Vymezení klimatických oblastí studovaného území (upraveno dle Quitt, 1971)

Tab. 6: Charakteristika klimatických oblastí ve studovaném území (upraveno dle Quitt, 1975)

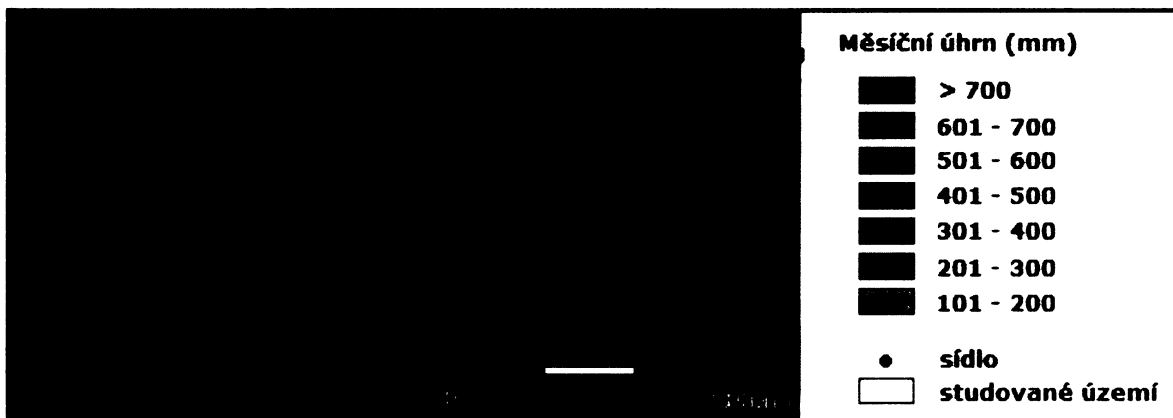
Charakteristika klimatické oblasti / klimatické oblasti	CH6	CH7
počet mrazových dnů	10 - 30	
počet dnů s průměrnou teplotou 10 °C a více	120 - 140	
počet mrazových dnů	140 - 160	
počet ledových dnů	60 - 70	50 - 60
průměrná teplota v lednu	-4 - -5	-3 - -4
průměrná teplota v červenci	14 - 15	15 - 16
průměrná teplota v dubnu	2 - 4	4 - 6
průměrná teplota v říjnu	5 - 6	6 - 7
průměrný počet dnů s srážkami > 1 mm / více	140 - 160	120 - 130
průměrný počet dnů s srážkami v období	600 - 700	500 - 600
průměrná úhla slunečního záření	400 - 500	350 - 400
průměrná roční úhlová pohyblivost	120 - 140	100 - 120
průměrná úhlová pohyblivost	150 - 160	
průměrná úhlová pohyblivost	40 - 50	

Roční chod srážek v Rožnově pod Radhoštěm za období 1961 – 90 zobrazuje obr. 6. Dle těchto údajů jsou nejvyšší úhrny srážek v červnu a červenci, a to necelých 120 mm v každém z těchto měsíců, což je způsobeno častější a intenzivnější bouřkovou činností. Minimum srážek nastává v prvních třech měsících roku a v říjnu.



Obr. 6: Průměrné měsíční úhrny srážek v Rožnově p. R. za období 1961 – 90 (zdroj: ČHMÚ)

V červenci 1997 došlo ve východní polovině České republiky k mimořádným meteorologickým událostem (srážky), které vedly ve studovaném území ke vzniku mnoha svahových deformací. Právě srážky jsou ve studovaném území hlavním spouštějícím faktorem vzniku svahových deformací. Extrémní srážky proběhly ve dvou epizodách, z nichž první byla hlavní a významnější, proběhla 4. až 8. 7. 1997. Druhá etapa (17. až 21. 7.) byla již srážkově méně výrazná.



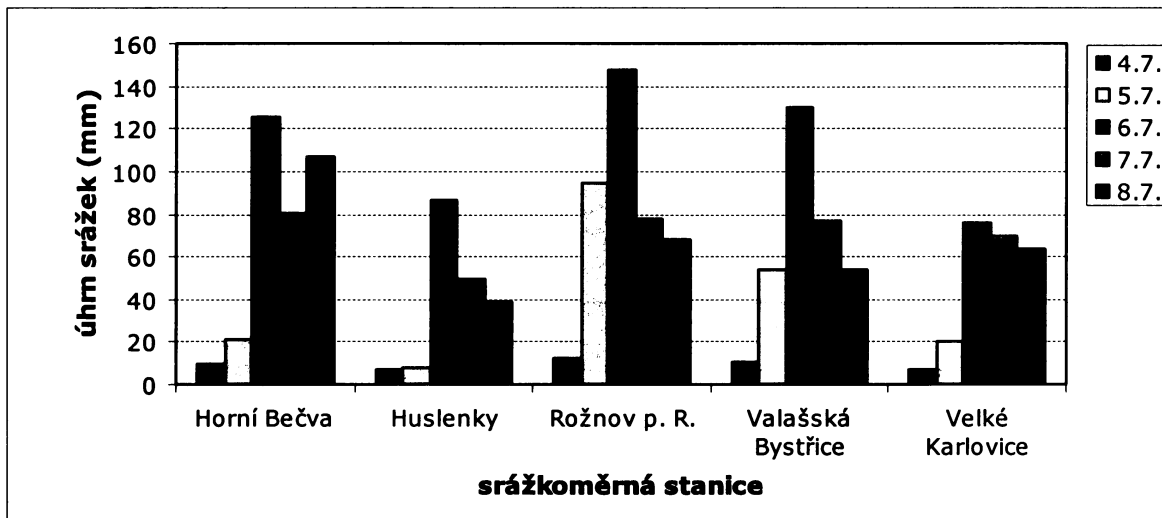
Obr. 7: Měsíční úhrny srážek ve studovaném území a jeho okolí za měsíc červenec 1997 (zdroj: ČHMÚ)

Příčinné srážky byly charakteru dlouhotrvajících dešťů z vrstevnaté oblačnosti s místně i časově proměnlivými zesíleními konvektivního typu. Návětrné efekty se projevovaly především v horských oblastech severní Moravy a Slezska (Šálek a kol., 1997).

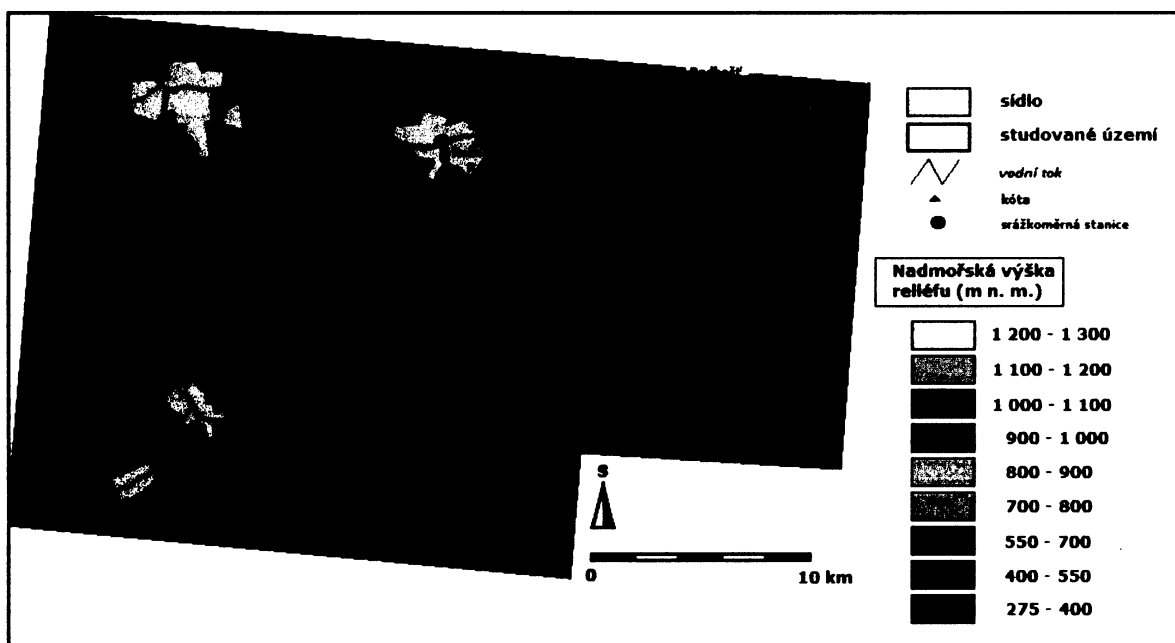
Z obr. 7 je patrné, že největší množství srážek spadlo v pohoří Moravskoslezských Beskyd, především v jeho vrcholových partiích (oblast Lysá hora – Šance měsíční úhrn nad 700 mm). Podružné ohnisko nejvyšších srážek v relativní blízkosti studovaného území je v centrálních částech Hostýnských vrchů.

Graf na obr. 8 zobrazuje srážkové úhrny pěti studovanému území nejbližších srážkoměrných stanic na začátku července 1997 (hlavní srážková epizoda). Je patrné, že úhrny byly nižší v jižnějších stanicích (Huslenky, Velké Karlovice), ležících v údolí Vsetínské Bečvy, než tomu bylo v severněji položených stanicích (Rožnov p. R., Horní Bečva). Posledně jmenované srážkoměrné stanice leží na sever od hlavního hřbetu Vsetínských vrchů (Vysoká – Vsacký Cáb), takže lze předpokládat, že severní polovina studovaného území byla zasažena srážkami více. Maximum srážek spadlo ve všech stanicích 6. 7., přičemž po tomto dni následoval poměrně rychlý pokles denních úhrnů. Střední opakovací interval nejvyšších jednodenních úhrnů srážek (v tomto případě srážek z 6. 7.) činí

na většině studovaného území 51 – 100 let, pro třídní úhrny dosahuje tento ukazatel hodnot 251 – 500 let (zdroj: ČHMÚ) (obr. v kap. 5.2).



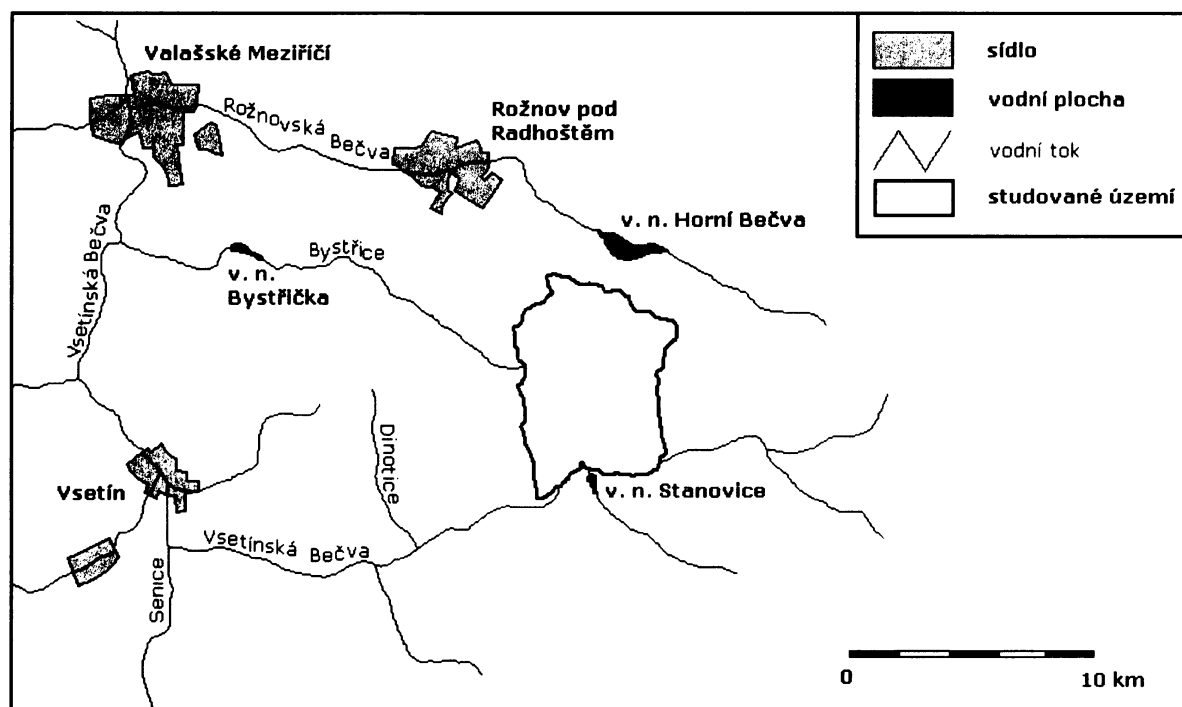
Obr. 8: Srážkové úhrny (v mm) ve dnech 4. – 8. 7. 1997 v pěti nejbližších srážkoměrných stanicích (zdroj: ČHMÚ); celková suma úhnů srážek za uvedené období v uvedených stanicích je: Horní Bečva 342,8 mm, Huslenky 189,4 mm, Rožnov p. R. 401,1 mm, Valašská Bystřice 325,5 mm, Velké Karlovice 237,3 mm



Obr. 9: Rozmístění srážkoměrných stanic z obr. 8 v okolí studovaného území

4.4 Hydrologická charakteristika

Studované území rozděluje přibližně východozápadním směrem hlavní hřbet Vsetínských vrchů, což znamená, že každá polovina území náleží jinému povodí. Konkrétně severní část území spadá do povodí Rožnovské (též zvané jako „Dolní“) Bečvy, jižní část do povodí Bečvy Vsetínské („Horní“). Ani jedna z těchto řek však na studované území svým tokem přímo nezasahuje.

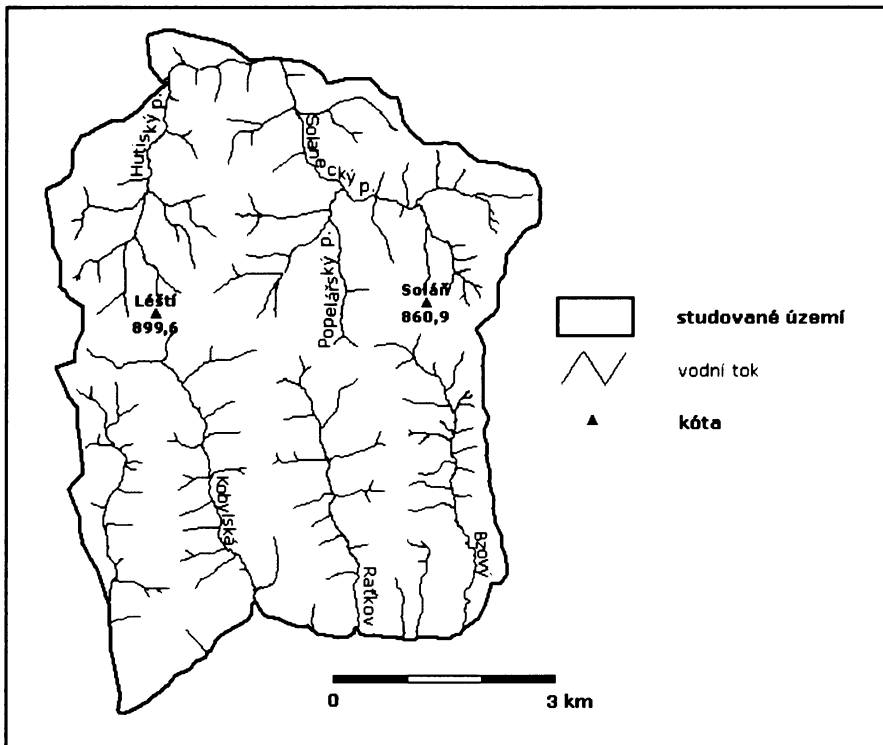


Obr. 10: Studované území v povodí Rožnovské a Vsetínské Bečvy

Severní část studovaného území odvodňuje Solanecský potok (délka ve studovaném území cca 4,5 km)¹ pramenící na severním svahu vrcholu Soláň. Do něho se z levé strany vlévá další významnější tok studovaného území, a to Popelářský (2,5 km). Ten odvodňuje střední část severní poloviny studovaného území. Západ severní části území spadá do povodí potoku Hutiského. Ten se vlévá taktéž do Solanecského potoku, avšak asi 250 m severně od studovaného území. Hutiský potok (ve starších literaturách označován jako potok Leští) teče zprvu směrem přímo severním, zhruba ve 2/3 svého toku, těsně za soutokem s levostranným přítokem potoku Mísná, se však zprudka stáčí o téměř 90° doprava a teče k východu až severoseverovýchodu.

¹ Pozn.: Hodnoty délek jednotlivých vodních toků (v km) byly naměřeny v prostředí GIS z podkladových dat databáze ZABAGED

Jižní část je díky výrazným rozsochám vybíhajícím kolmo z hlavního hřbetu odvodňována několika menšími toky převážně severojižního směru, jejichž povodí vytváří pravoúhlou říční síť. Směrem od východu jsou to jmenovitě potoky Bzový (4,9 km), Rařkov (4,1 km) a Kobylská (4,1 km). Všechny tyto tři potoky se vlévají do Vsetínské Bečvy několik desítek, resp. stovek metrů jižně od hranice studovaného území. Nejzápadnějším tokem je potok v údolí Malá Brodská.



Obr. 11: Vodní toky ve studovaném území

Toky mají charakter horských bystřin. Vyznačují se značným spádem a nevyrovnaným profilem, což ukázaly také podélné profily toků v práci Cáb (2006). V nižších nadmořských výškách dolních částí toků jsou jejich koryta mnohdy antropogenně upravena. Údolí říční sítě jsou často hluboce zaříznutá. Dle Šindlar (1999) převažuje u těchto toků hloubková eroze. Boční eroze toků je aktivní především za zvýšených průtoků, což způsobuje časté nátrže a drobné sesuvy. Všechny zdrojnice v horních částech hlavních toků se zpětnou erozí zařezávají do hlavního hřbetu, čímž se jeho liniový tvar postupně deformuje (Cáb, 2006).

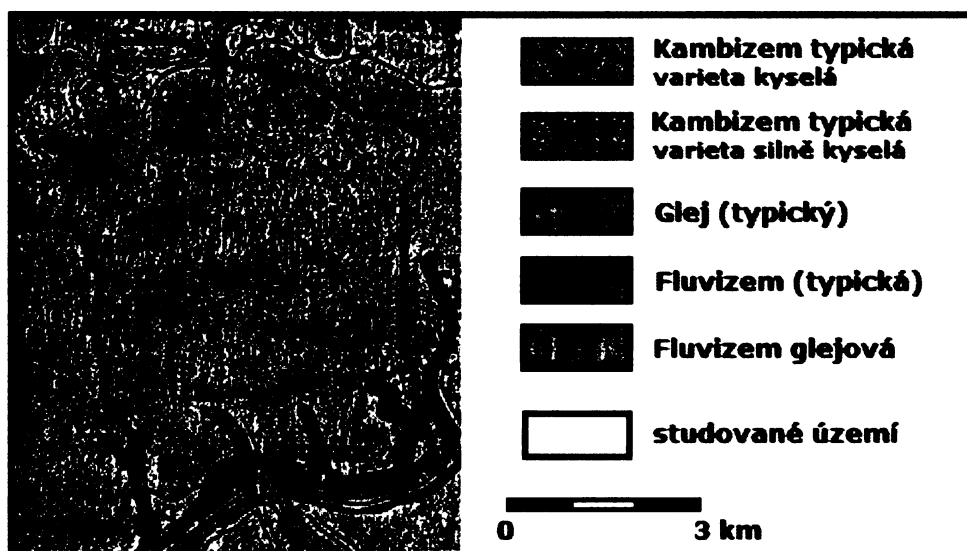
Vodní režim během roku je typický pro řeky střední Evropy. Na ročním chodu obou Bečev lze však pozorovat charakteristické opožďování zvýšených jarních průtoků spojených s pozdějším táním sněhové pokrývky horských oblastí ve srovnání s odtokovým režimem

menších toků v níže položených oblastech. Druhotné maximum Bečev nastává v období červen až červenec a je podmíněno nástupem vytrvalejších dešťů (Vlček in Demek ed., 1992).

Srážkové události v červenci 1997 se projeví zvýšením hladin vodních toků nejen ve studovaném území. Z dostupných dat Vsetínské a Rožnovské Bečvy kulminovala Bečva ve Valašském Meziříčí (profil Krásno) 7. července 1997 odtokem $489 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ což odpovídá v tomto profilu 150-ti leté vodě. Vsetínská Bečva dosáhla v profilu Vsetín úroveň 20-ti leté vody (zdroj: ČHMÚ).

4.5 Půdní a vegetační poměry

Dle Tomáška (2000) dominují ve studovaném území hnědé lesní půdy, přesněji kambizem typická – varieta silně kyselá. Pouze severozápadní část území pokrývá kyselá varieta kambizemě typické, což je typické pro nižší nadmořské výšky. Kambizemě vznikly zvětráváním karbonátových flyšových břidlic a pískovců, při kterém se po vyluhování karbonátů vytvořily sekundární jílové minerály a uvolňovaly se sesquioxidy. Vytvořil se tak o jílu obohacený iluviální kambický horizont. Určujícím pedogenetickým procesem je sialitizace spojená s hnědnutím. Kambizemě jsou zrnitostně většinou hlinité až jílovitohlinité, místy obsahují menší množství štěrku (Pavelka, Trezner 2001).



Obr. 12: Půdní poměry studovaného území dle Tomášek (2000)

Tok Vsetínské Bečvy lemují fluvizemě (fluvizem typická, fluvizem glejová). Vznikly akumulací humusu, která byla rušena periodicky se opakujícími fluviálními akumulacemi vlivem záplav (Tomášek, 2000). Údolí menších toků převážně v jižní části území se vyznačují

přítomností glejových půd (glej typický). Gleje spadají do skupiny hydromorfních půd. Vznikly na nivních bezkarbonátových sedimentech a díky stagnaci podzemní vody se u nich vytvořil glejový redukční horizont přímo pod svrchním hydrogenním ochrnickým humusovým horizontem (Tomášek, 2000).

Z hlediska flóry tvoří potenciální přirozenou vegetaci smrková bučina (vyšší nadmořská výška, oblast hlavního hřbetu Vsetínských vrchů), v ostatních částech studovaného území pak bučina s kyčelnicí devítilistou (Neuhäuslová a kol. 1998). Potenciální přirozená vegetace je však vytlačována smrkovou monokulturou.

Studované území náleží celou svou plochou k CHKO Beskydy, z čehož vyplývá příslušný stupeň ochrany přírody. Přibližně mezi údolími Raťkov a Kobylská se nachází I. zóna CHKO Beskydy, spolu se třemi maloplošně zvláště chráněnými územími. Jedná se o přírodní památky Smradlavá, Vachalka a Skálí. Motivem ochrany v těchto lokalitách je především ochrana dochované části přirozeného, převážně bukového porostu, místy až pralesovitého charakteru, který je typický pro horský stupeň Západních Karpat (Pavelka, Trezner 2001). Vyskytují se zde vzácné a ohrožené druhy rostlin a živočichů, jenž jsou vázány na proměnlivá stádia a formy dřevinného patra.

V dřevinném patře lze v takových oblastech nalézt např. buk lesní (*Fagus sylvatica*), javor klen (*Acer pseudoplatanus*), v nepůvodním porostu smrk ztepilý (*Picea abies*), zastoupena je také jedle bělokorá (*Abies alba*). Bylinné patro tvoří např. kyčelnice cibulkonosná (*Dentaria bulbifera*), kyčelnice devítilistá (*Dentaria enneaphyllos*), kyčelnice žláznatá (*Dentaria glandulosa*), pitulník horský (*Galeobdolon montanum*), pitulník žlutý (*Galeobdolon luteum*), svízel vonný (*Galium odoratum*), ječmenka lesní (*Hordelymus europaeus*) aj. Mezi vzácnější druhy rostlin patří např. ostřice převislá (*Carex pendula*), pcháč bělohlavý (*Cirsium eriophorum*), lýkovec jedovatý (*Daphne mezereum*), lilie zlatohlavá (*Lilium martagon*), prvosenka vyšší (*Primula elatior*), pryšec mandloňovitý (*Tithymalus amygdaloides*) nebo rozrazil horský (*Veronica montana*) (Pavelka, Trezner 2001).

5 METODIKA

5.1 Tvorba map náhylnosti studovaného území ke vzniku svahových deformací

5.1.1 Inventarizační mapa svahových deformací

Inventarizační mapa svahových deformací studovaného území byla vytvořena jak na základě práce v terénu, tak pomocí souboru inventarizačních map svahových deformací (ČGS) pro studované území v měřítku 1:10 000.

V mapovém výstupu (obr. 19, kap. 6.1.1) jsou klasifikovány zjištěné svahové deformace ve studovaném území do několika kategorií. Základní rozdělení svahových deformací je dle převládajícího pohybu (typu procesu) hmot. Dále je u těchto tříd (s výjimkou ploužení) znázorněna pomocí semaforových barev jejich současná aktivita tak, jak byla zjištěna při práci v terénu.

Svahové deformace byly rozděleny na základě převažujícího mechanismu jejich vzniku (typu pohybu) do níže uvedených kategorií s uvedenými kritérii jejich identifikace v terénu:

1) Dělení svahových deformací z hlediska převládajícího typu pohybu:

- **ploužení** – zvlněný, místy zamokřený reliéf s možností výskytu „opilých stromů“;
- **sesouvání** – lze rozlišit odlučnou, transportní a akumulaci část svahové deformace;
- **sesouvání s přechodem k tečení** – především se jedná o tečení horninových hmot velmi zvodnělých akumulací některých sesuvů;
- **tečení** – tečení horninových hmot vlivem vysokého nasycení materiál vodou; ve studovaném území tento proces nejčastěji vytváří svahové deformace typu zemních proudů;
- **skalní řícení** – část pohybu materiálu je uskutečňována vzduchem bez kontaktu s podložím; ve studovaném území se tento proces nejčastěji vyskytuje odpadáváním horninového materiálu ze skalních výchozů odlučných stěn některých komplexních svahových deformací.

Některé sesuvné jevy byly v mapě vymezeny zvlášť v samostatných kategoriích. Jedná se o kategorie:

- **svahy s četnými drobnými sesuvy (erozní údolní svahy a zářezy cest)**

Jestliže byly v některých lokalitách studovaného území zaznamenány ve zvýšené míře drobné sesuvy (např. nátrže erozních břehů potoků nebo sesuvy v zářezech cest), je toto území (část údolí nebo úsek cesty) hypoteticky ohraničeno polygonem. Jestliže se v takto vymezených územích vyskytují významnější sesuvné jevy větších měřítek, jsou v rámci těchto území znázorněny mapovým symbolem.

- **komplexní svahové deformace**

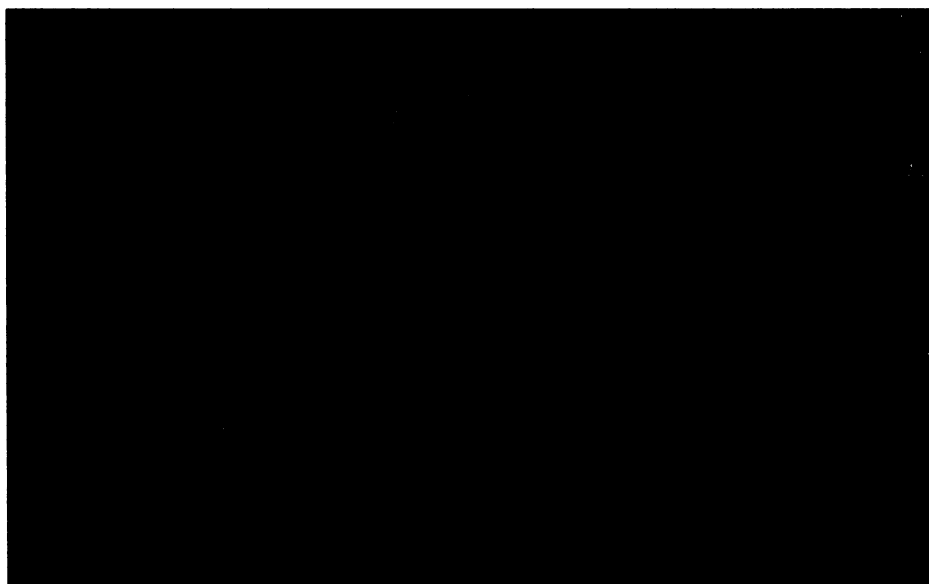
Ve většině případů se jedná o staré stabilizované svahové deformace, jejichž polygonální vymezení ve vytvořené mapě náchylnosti bylo převzato z použitých inventarizačních map svahových deformací. Dle Baroně a kol. (2004) vznikaly komplexní svahové deformace během několika fází i různých pohybů (sesouvání, tečení, řícení, vznik skalních lavin), dále rozvolňováním svahů a blokovými pohyby. Vyznačují se rozsáhlými půdorysnými rozměry a značnou hloubkou smykové plochy. Hloubku smykové plochy komplexní svahová deformace v Kobylišké je odhadována na 110 m (Baroň, 2004).

2) Dělení svahových deformací z hlediska současné aktivity pohybů:

- **aktivní** (červená barva) – tvary svahové deformace jsou relativně čerstvé, zřetelné; bezpečně lze rozlišit odlučnou a akumulární část sesuvu, která tvoří zřetelnou elevaci ve srovnání s okolním reliéfem; zahrnuje především svahové deformace vzniklé při srážkově extrémních událostech v červenci 1997, jejichž morfologické tvary jsou stále čerstvé;
- **dočasně uklidněná/potenciální** (oranžová barva) – svahová deformace není v současné době aktivní, morfologické znaky svahové deformace se stírají, ale v terénu jsou patrné a za vhodných podmínek se pohyby mohou oživit;
- **stabilizovaná** (zelená barva) – staré svahové deformace, jejichž tvary jsou zastřené; pohyby se za současných klimatických podmínek nemohou oživit.

Obě kritéria dělení svahových pohybů jsou věci do značné míry subjektivní. I přes výše popsané definice jsou hranice mezi jednotlivými kategoriemi typů pohybů v některých případech nezřetelné (např. ploužení/potenciální sesouvání) a jejich zařazení do klasifikačního schématu obtížné a individuální. Autor v této studii vycházel z výsledků terénních prací, dále bylo využito popisů sesuvných jevů k inventarizačním mapám svahových deformací. V některých případech (např. aktivní sesuv na louce) bylo možné pro lepší ilustraci situace využít leteckých snímků (zdroj: server Mapy.cz) (jedná se např. o svahovou deformaci č. 30 mapovaná ČGS v inventarizační mapě svahových deformací na mapovém listě 25–23–19 Hutisko – Solanec, obr. 13).

Z důvodu relativně rozsáhlého studovaného území (ve srovnání s velikostí některých svahových deformací) bylo nutné ve snaze o co nejlepší čitelnost mapy použít bodové značky. Hranice mezi plošnou značkou (polygonem) a bodovým znázorněním v mapě byla stanovena na 4 000 m². V případě některých svahových deformací (např. dlouhý úzký proudový sesuv) může být při nečitelnosti plošné značky tato hranice vyšší (až 5 000 m²). Stejně jako plošná značka, tak také bodová vrstva informuje pomocí barevné škály o současné aktivitě a charakteru svahových pohybů.



Obr. 13: Letecký snímek svahové deformace č. 30 (inventarizační mapa svahových deformací ČGS, list 25–23–19) (zdroj: [www.Mapy.cz])

5.1.2 Expertní mapa náchylnosti studovaného území ke vzniku svahových deformací

Expertní mapa náchylnosti byla vytvořena kombinací mapy sklonů, kterou doplňují reklasifikované svahové deformace inventarizační mapy (viz níže). Pro vytvoření modelu náchylnosti území ke vzniku svahových deformací je mapa sklonů spolu s inventarizační mapou svahových deformací nejdůležitější vstupní informací a mnoho studií ji přisuzuje zcela zásadní význam (Glade, Crozier 2005b). Klimeš (2003) dokazuje, že v některých případech může sklonitostní mapa lépe vystihovat rozmístění svahových deformací, než výsledky jiných modelů náchylnosti. V práci Klimeš (2007) však mapa sklonů pro Vsetínské vrchy nedosahuje uspokojivých výsledků. V této studii se autor snaží tento fakt zmírnit spojením mapy sklonů s reklasifikovanou inventarizační mapou svahových deformací, čímž se podíly jednotlivých tříd náchylnosti modifikovaly. Byla tak definována náchylnost území ke svahovým deformacím i pro zbylou část území, kde dosud žádné svahové deformace zaznamenány nebyly.

Intervaly sklonů svahů byly pro vytvoření modelu náchylnosti převzaty z práce Klimeš (2007) (tab. 7). Inventarizační mapa svahových deformací byla reklasifikována jednoduchým způsobem (tab. 8), a to dle stupně aktivity jednotlivých svahových deformací tak, jak byl definován v předchozí kapitole. Nutno dodat, že typ pohybu, definovaný v předchozí kapitole jako ploužení (u něhož nebyla aktivita v inventarizační mapě svahových deformací uvažována), byl zařazen do kategorie náchylnosti území ke vzniku svahových deformací „podmínečně stabilní“.

Tab. 7.: Kategorie náchylnosti území ke vzniku svahových deformací pro mapu sklonů (Klimeš 2007) (s. d. – svahová deformace)

Stabilní	0°-6°
Podmínečně stabilní	6°-9°, 21°-27°
Nestabilní	9°-21°, více než 27°

Tab. 8: Způsob reklasifikace svahových deformací z inventarizační mapy pro potřeby mapy náchylnosti (s. d. – svahová deformace)

	Inventarizační
stabilní	stabilizované s. d.
podmínečně stabilní	dočasně uklidněné/potenciální s. d. (vč. ploužení)
nestabilní	aktivní s. d.

5.1.3 Fyzikální model náchylnosti studovaného území ke vzniku svahových deformací (model SINMAP)

Program **SINMAP** (Stability Index MAPing) je extenze programu ArcView 3.X, která provádí výpočty a mapování indexu stability na základě geografických informací ve formě DMR. Je určen k tvorbě fyzikálního modelu náchylnosti území ke vzniku mělkých svahových deformací a zemních proudů, které vznikly akumulací vody ve zvětralinovém plášti a nejsou zásadním způsobem ovlivněny strukturou (Pack a kol., 1998).

Právě mělké sesuvy proudového a plošného charakteru spolu se zemními proudy tvořily značnou část svahových deformací, které vznikly na území Vsetínských vrchů během povodňových událostí v červenci 1997 (Rybář 1999, Kirchner, Krejčí 1997, 1998). Dle Krejčího a kol. (2002) vzniklo až 84% svahových deformací nasycením svahových sedimentů srážkovou vodou. Proto byl SINMAP využit k tvorbě fyzikálního modelu náchylnosti území ke vzniku svahových deformací i v této práci. Správnost aplikace tohoto modelu na studované území potvrzuje i Klimeš (2007).

SINMAP se zakládá na předpokladu, že mělké svahové deformace jsou od podloží odděleny rozhraním definovaným jako smyková plocha svahové deformace. Materiál nad touto plochou je považován za homogenní. Tento předpoklad závisí především na jednoduchém (statickém) hydrologickém modelu (Pack a kol., 1998), který, jak už bylo řečeno, nepočítá se změnou rychlosti infiltrace v závislosti na hloubce, jako je tomu v případě dynamického hydrologického modelu (např. Baum a kol., 2005). Ačkoliv se tento fakt řadí mezi hlavní nedostatky SINMAPu, přesto se jedná o nejčastěji používaný model k určení stability svahu a jeho náchylnosti ke vzniku svahových deformací (Hammond a kol., 1992, Zaitchik a van Es, 2003, Jelínek, 2004).

SINMAP využívá krom hydrologického modelu (založeného na DMR) také výpočet stability svahu na základě nekonečného svahového modelu (Pack a kol., 1998). Výpočtem hydrologického modelu je získán tzv. topografický index vlhkosti (w), který dává informaci o tom, jaká část půdního profilu je nasycena vodou, čímž nahrazuje informace o pórových tlacích, a tedy o hloubce hladiny podzemní vody. Na hydrologický model navazuje výpočet nekonečného svahového modelu, jehož výsledkem je hodnota indexu stability (IS), která je vypočítána pro každý pixel výsledné rastrové mapy studovaného území.

Náchylnost studovaného území ke svahovým deformacím závisí na výsledných hodnotách indexu stability (IS) jednotlivých pixelů rastrové mapy. Obecně řečeno, jestliže je

výsledná hodnota indexu stability konkrétního pixelu $IS < 1$, je tento pixel považován za nestabilní s vysokou pravděpodobností vzniku svahové deformace v budoucnu.

Výsledné hodnoty IS se klasifikují do předem zvolených intervalů. Výchozí nastavení modelu SINMAP vymezuje 6 intervalů hodnot IS s krajními hodnotami $IS > 1,5$ pro stabilní svahy a $SI = 0$ pro svahy zcela nestabilní. Lépe je ovšem vymezit pro určité studované území zcela individuální intervaly vycházející ze zkušeností zpracovatele konkrétní studie. Proto jsou i v této práci zvoleny intervaly (viz tab. 9), které byly použity pro území Vsetínských vrchů v práci Klimeš (2007).

Tab. 9: Definice tříd náchylnosti území ke vzniku svahových deformací studovaného území pro model SINAM (dle Klimeš, 2007)

Náchylnost území	Hodnota indexu stability (IS)
Stabilní	$IS > 1,25$
Podmínečně stabilní	$1,25 > IS > 1$
Nestabilní	$IS < 1$

Vstupní data modelu SINMAP

Základem pro tvorbu fyzikálního modelu náchylnosti území k sesouvání je digitální model reliéfu (DMR) a inventarizační mapa svahových deformací (Pack a kol., 1998). DMR byl vytvořen z výškopisných podkladových dat ZABAGED (měřítko 1:10 000) a základním vrstevnicovým intervalem 5 m. Z inventarizačních map poskytnutých ČGS Brno a z výsledků terénních prací (při nichž byl odhadován dle vzniklých tvarů svahových deformací určující mechanismus pohybu a na základě měření výšky odlučné stěny odhadována hloubka smykové plochy) byly pro tvorbu fyzikálního modelu vybrány ty svahové deformace, pro které je program SINMAP přednostně určen. Jak již bylo zmíněno, dle Pack a kol. (1998) se jedná o mělké svahové deformace (sesuv, popř. zemní proud), vznikající v půdě v důsledku jejího nasycení podzemní vodou. Tyto svahové deformace jsou definovány na základě typu procesu, jakým vznikly a nezahrnují ty svahové deformace, které byly významně ovlivněny strukturálními poměry nebo erozí vodních toků. Vytvořená databáze sesuvů v prostředí GIS byla použita jako inventarizační mapa pro tvorbu fyzikálního modelu náchylnosti.

Výpočet IS fyzikálního modelu náchylnosti není závislý pouze na DMR (sklon svahu a specifická infiltrační oblast, tj. plocha infiltrace vztažená na délku hrany pixelu), ale vstupní data modelu jsou podmíněna také mechanickým vlastnostem zemín, které jsou definovány a zadávány uživatelem. Jedná se o specifickou hmotnost půdy, koeficient filtrace, soudržnost a úhel vnitřního tření. Poslední dvě jmenované veličiny mohou být zadávány také ve formě

intervalu (Pack a kol., 1998). Mechanické vlastnosti zemin byly převzaty z práce Klimeš (2007), ve které byly zjištěny pomocí zpráv o inženýrsko-geologických průzkumech zpracovaných pro nejvíce postižené lokality ve Vsetínských vrších po roce 1997, a také na základě rozborů vzorků zemin odebraných na území listu 25–23–24. Tento mapový list je součástí studovaného území také této práce.

Specifická hmotnost půdy byla tedy stanovena na 2732 kg.m^{-3} , průměrný úhel vnitřního tření na 25° s tolerancí 5° a hodnota efektivní soudržnosti zemin v rozmezí 5 – 25 KPa (data z laboratorních zkoušek, Klimeš 2007). Posledně jmenovaný parametr se v programu SINMAP značí písmenem „c“ a zadává se v podobě intervalu jako bezrozměrná hodnota soudržnosti. Zmíněné hodnoty efektivní soudržnosti zemin v KPa odpovídají intervalu hodnot parametru „c“ programu SINMAP 0,09 až 0,46. Nutné je do jisté míry počítat se stabilizujícím efektem kořenového systému. Ten je těžko odhadnutelný jelikož závisí na celé řadě vlastností vegetačního krytu (druh dřeviny, stáří, zdravotní stav, morfologie a pevnost kořenového systému) a také na faktu, zda-li se jedná o porost přirozené skladby nebo uměle vysázené monokultury (Hammond a kol., 1992, Schmidt a kol., 2001). Schmidt a kol. (2001) uvádí hodnoty soudržnosti zemin působením kořenových systémů 26 – 94 KPa pro lesní společenstva přirozená, výrazně menší jsou stanovena pro monokultury (0,2 – 23 KPa). Z těchto důvodů byla při tvorbě fyzikálních modelů horní hranice parametru „c“ nastavována stejně jako v práci Klimeš (2007) o několik desetín výše. Dále je potřeba zadat parametr T/R (T je propustnost, R jsou srážky, jednotka je metr). Ten lze taktéž kalibrovat v podobě intervalu. Na základě výsledků práce Klimeš (2007) byly nastavovány jeho hodnoty jako velmi nízké, tak aby ukazovaly plné nasycení profilu. Zprávy z laboratoří totiž ukazují na nízké hodnoty koeficientu filtrace (10^{-7} až 10^{-9} m.s^{-1}), což v poměru s vysokými denními úhrny srážek v červenci 1997, dává velmi malé hodnoty parametru T/R (Klimeš, 2007).

5.1.4 Definice jednotlivých tříd náchylnosti

V této práci byly vytvořeny dva modely náchylnosti, které studované území separují do trojice tříd náchylnosti. Expertní mapa náchylnosti, která vznikla syntézou mapy sklonů svahů a inventarizační mapy, používá k definování hranic jednotlivých tříd náchylnosti dvojí kritérium. V případě mapy sklonů se jedná o vymezení hranic tříd náchylnosti pomocí hodnot sklonitostních intervalů svahů, u inventarizační mapy jde o heuristické vymezení tříd náchylnosti pro již existující svahové deformace.

Ve fyzikálním modelu náchylnosti jsou jednotlivé třídy stanoveny rozpětím predikčních hodnot vypočítaného indexu stability (IS). V práci Klimeš (2007), ze které byly intervaly IS pro jednotlivé třídy náchylnosti převzaty, byly tyto intervaly hodnot IS odvozeny, vedle subjektivního názoru zpracovatele, také zkušenostmi inženýrských geologů, jaká hodnota IS odpovídá dané třídě náchylnosti.

Jednotlivé třídy náchylnosti jsou ve studovaném území definovány takto (dle Klimeš, 2007):

- 1) stabilní** (zelená barva) – vznik svahových deformací je téměř vyloučen, v některých případech sem mohou zasahovat akumulární oblasti svahových deformací;
- 2) podmíněčně stabilní** (oranžová barva) – vznik svahových deformací nelze vyloučit;
- 3) nestabilní** (červená barva) – území s nevhodnějšími podmínkami pro vznik svahových deformací v rámci posuzovaného území, jejich vznik je otázkou časového horizontu.

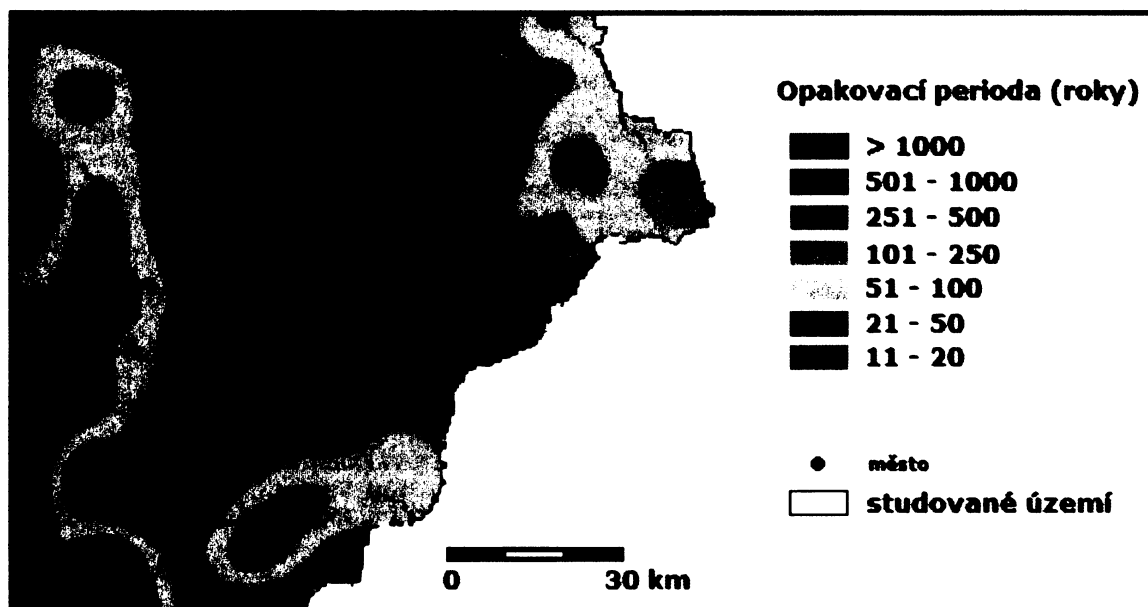
5.2 Sesuvné ohrožení

5.2.1 Sesuvné ohrožení definované pro inventarizační mapu svahových deformací

Zahrnutím časové pravděpodobnosti vzniku svahových deformací do vytvořené inventarizační mapy svahových deformací bylo stanoveno sesuvného ohrožení pro jednotlivé svahové deformace ve studovaném území. Pro hodnocení časové pravděpodobnosti vzniku svahových deformací bylo využito informací o periodě opakování spouštěvé události – srážek. K tomuto účelu byla v této práci použita data, zobrazující střední opakovací interval nejvyšších třídenních úhrnů srážek v České republice z doby povodňových událostí v červenci 1997 (obr. 14).

Z obr. 14 je patrné, že studované území bylo v roce 1997 postiženo srážkami s periodou opakování třídenních úhrnů srážek 251 – 500 let. Při hodnocení sesuvného ohrožení autor pracuje s hypotézou, že drobné sesuvy (např. nátrže na březích vodních toků nebo sesuvy v zářezech cest či staveb) mohou vznikat při významných, avšak krátkodobých (několikahodinových) srážkových událostech (bouřková činnost, přivalové deště). Ty mohou mít periodou opakování pouhých několika let, popř. desítek let. Autor dále předpokládá, že větší část svahových pohybů, které byly vyvolány během mimořádných meteorologických událostí 4. – 7. července 1997, mohou být způsobeny pouze podobně významnou srážkou činností, jejíž střední interval opakování ukazuje obr. 14. Komplexní svahové deformace,

kteře nebyly způsobeny ani reaktivovány srážkovou činností v roce 1997, byly klasifikovány jako procesy s menší pravděpodobností opakování než svahové pohyby vzniklé v roce 1997.



Obr 14: Střední opakovací interval nejvyšších tří denních úhrnů srážek v červenci 1997 (zdroj: ČHMÚ, upraveno)

Na základě těchto hypotetických předpokladů byly pro mapu sesuvného ohrožení vymezeny tři časové horizonty možného opakování vzniku svahových deformací ve studovaném území:

- **méně než 10 let** → vznik drobných sesuvů v zářezech cest nebo nátrží na březích vodních toků během intenzivní bouřkové činnosti nebo přívalových dešťů;
- **10 až 500 let²** → pravděpodobnost opakování srážkových úhrnů podobných těm jako v roce 1997 s následnou sesuvnou činností;
- **500 a více let** → komplexní svahové deformace a jiné stabilizované svahové deformace, které nebyly v roce 1997 aktivovány.

5.2.2 Sesuvné ohrožení definované pro expertní mapu a fyzikální model náchylnosti území ke vzniku svahových deformací

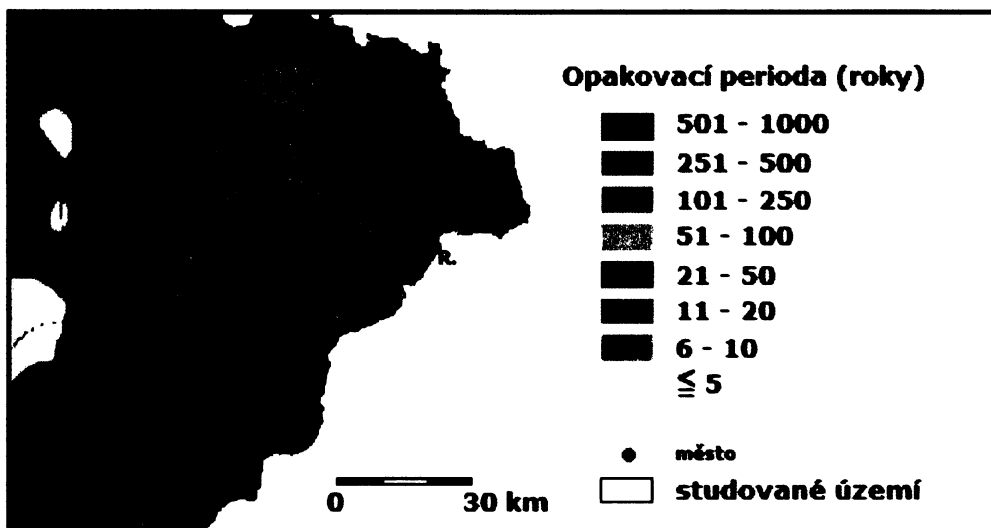
V případě expertní mapy náchylnosti autor předpokládá, že nejčastější svahová deformace, vznikající ve studovaném území, má také nejvyšší pravděpodobnost vzniku. Na základě výsledků inventarizační mapy bylo zjištěno, že nejčastější svahovou deformací je

² Dle obr. 14. by měl být tento interval vymezen hodnotami 251 – 500 let. Ve snaze o spojitost všech intervalů a vzhledem k nejistotě spojené s časovou predikcí, byla tato hodnota upravena na 10 – 500 let.

sesuv (svahová deformace vzniklá procesem sesouvání), a to do velikosti 500 m². Dále autor předpokládá, že tento typ svahové deformace malé velikosti může vznikat prakticky každoročně během intenzivní bouřkové činnosti, přívalových dešťů nebo jarním táním sněhové pokrývky.

Podobně byla časová pravděpodobnost vzniku svahové deformace odhadována pro fyzikální model náchylnosti území SINMAP. Tento model, jak bylo řečeno v kap. 5.2.3, je určen k tvorbě fyzikálního modelu náchylnosti území ke vzniku mělkých svahových deformací, které vznikly akumulací vody ve zvětralinovém plášti a nejsou zásadním způsobem ovlivněny strukturou (Pack a kol., 1998). Autor předpokládá, že i tyto mělké svahové deformace mají vyšší časovou pravděpodobnost vzniku, jelikož jsou podmíněny především srážkami.

Stejně jako v případě tvorby sesuvného ohrožení pro inventarizační mapu, bylo i zde využito středního opakovacího intervalu nejvyšších úhrnů srážek z dat ČHMÚ. Tentokrát se však jedná o střední opakovací interval nejvyšších úhrnů srážek jednodenních z července 1997 (obr. 15), konkrétně ze dne 6. 7., kdy byly v nejbližších srážkoměrných stanicích úhrny srážek nejvyšší (kap. 4.3). Bylo tak učiněno z důvodu autorova předpokladu, že pro vznik mělkých svahových deformací (s hloubkou smykové plochy do 3 metrů – fyzikální model) a sesuvů o menší velikosti (expertní mapa náchylnosti) jsou pro odhad časové pravděpodobnosti jejich vzniku jednodenní úhrny srážek dostačující.



Obr. 15.: Střední opakovací interval nejvyšších jednodenních úhrnů srážek v červenci 1997 (zdroj: ČHMÚ, upraveno)

S cílem určit sesuvné ohrožení pro expertní mapu a fyzikální model náchylnosti byly pro jednotlivé třídy náchylnosti území ke vzniku svahových deformací zvoleny tyto časové intervaly:

- **0 – 10 let** → možnost vzniku svahové deformace ve třídě náchylnosti definované jako **nestabilní**;
- **10 – 100³ let** → možnost vzniku svahové deformace ve třídě náchylnosti definované jako **podmínečně stabilní**;
- pro **stabilní** třídu náchylnosti byl vznik svahových deformací vyloučen.

5.3 Analýza rizika vzniku svahových deformací ve studovaném území

V této práci byla použita kvalitativní analýza rizika vzniku svahových deformací, a to především z důvodu nedostupnosti dostatečného množství dat pro analýzu kvantitativní. Při hodnocení rizika potenciálně ohrožených objektů se práce zaměřuje na možný stupeň (1 až 5) vzniklých škod. V případě trvale obydlených budov je uvažován počet ohrožených obyvatel v budově. Výpočet možných finančních ztrát nebo hodnocení sekundárních následků není předmětem této práce.

5.3.1 Potenciálně ohrožené objekty studovaného území

K hodnocení rizika ve studovaném území bylo nejprve nutné vytvořit mapu potenciálně ohrožených objektů ve studovaném území („elements at risk“). Primárním zdrojem dat byly podklady geografické databáze ZABAGED.

Potenciálně ohrožené objekty ve studovaném území byly rozděleny takto:

- budovy;
- dopravní infrastruktura;
- ostatní potenciálně ohrožené objekty – trasa elektrického vedení vysokého napětí, lyžařské vleky.

³ Stejně jako v předchozím případě byl z důvodu spojitosti intervalu a časové nejistoty interval opraven.

Budovy

Aby bylo možné jednotlivé budovy hodnotit konkrétněji a pokud možno k některým budovám přistupovat mnohem individuálněji, bylo potřeba v prostředí GIS vrstvu s budovami pomocí dalších možných dostupných dat reklasifikovat. Nejprve byla vytvořena databáze popisných a evidenčních čísel jednotlivých budov ve studovaném území, protože bez těchto informací by nebylo možné sehnat z Českého statistického úřadu (ČSÚ) o budovách potřebná data pro určení jejich zranitelnosti (viz níže). Tohoto prvotního rozčlenění bylo dosaženo pomocí tzv. „mapy adresních bodů“ (ČSÚ), kde je v bodové vrstvě (GIS) zobrazena geografická poloha jednotlivých budov a mj. také informace, zda se v konkrétním případě jedná o budovu s číslem popisným nebo evidenčním. Porovnáním a kontrolou těchto dat s online katastrálními mapami bylo možné klasifikovat z homogenní vrstvy budov (ZABAGED) níže uvedené tři kategorie budov. V této fázi práce byly využity také dostupné letecké snímky (server Mapy.cz), které se ukázaly být dobrým nástrojem pro vyřešení některých sporných situací při klasifikaci (např. rozdělení „obytných budov“ od „ostatních budov“). Některé stavební objekty musely být v prostředí GIS do vrstvy budov databáze ZABAGED doplněny. Tato aktualizace byla provedena pomocí výše uvedených zdrojů dat.

Potenciálně ohrožené budovy byly rozděleny takto:

- **obytné budovy** (č. p.; ve většině případů jsou tyto budovy trvale obydleny a jsou tak pro ně dostupná data ČSÚ z SLBD 2001⁴; tato data byla využita při hodnocení zranitelnosti budov; pro obydlené budovy v této kategorii byl na místních obecních úřadech – Hutisko-Solanec, Karolinka, Nový Hrozenkov, Velké Karlovice – zjištěn počet obyvatel);
- **chaty** (ev. č., trvale neobydlené rekreační objekty; další informace k těmto budovám neexistují);
- **ostatní budovy** (budovy bez popisného, popř. evidenčního čísla, ke kterým nelze sehnat doplňující informace – jedná se o hospodářská stavení, garáže, strojovny vleků a další zaznamenané významnější neobytné budovy).

⁴ SLBD 2001 – Sčítání lidí, domů a bytů (data poskytnuta ČSÚ)

Dopravní infrastruktura

Silnice a cesty ve studovaném území byly klasifikovány prostředím GIS dle databáze ZABAGED a jeho atribučních tabulek jednotlivých vrstev. Konečné rozdělení komunikací vypadá takto:

- **silnice II. a III. tř.;**
- **cesty udržované** – ve studovaném území odpovídají také cestám zpevněným;
- **cesty neudržované** – ve studovaném území odpovídají cestám nezpevněným (lesním).

Ostatní potenciálně ohrožené objekty

U zbylých objektů bylo opět využito podkladových dat ZABAGED a pro hodnocení rizika byly použity následující liniové vrstvy:

- **trasa elektrického vedení** – jedná se o vedení vysokého napětí, jehož trasa se nachází v databázi ZABAGED;
- **lyžařské vleky.**

Uvažována byla celá liniová trasa příslušného potenciálně ohroženého objektu (el. vedení, lyžařského vleku) a nikoli pouze jednotlivé sloupy. Bylo tak učiněno z důvodu neúplného počtu sloupů v databázi ZABAGED, a to především ve vedlejších větvích elektrického vedení.

5.3.2 Určení zranitelnosti potenciálně ohrožených objektů

V případě určení zranitelnosti potenciálně ohrožených budov autor vycházel z dostupných dat ČSÚ. Určení zranitelnosti jednotlivých potenciálně ohrožených komunikací bylo provedeno v prostředí GIS pomocí databáze ZABAGED, jehož atributové tabulky poskytují informace o daném typu komunikace. Výhodou byla také znalost studovaného území nejen z terénních prací, prováděných v rámci této práce, ale také z dřívější doby.

Budovy

Rodinné domy a jiná obytná stavení mají pro lidskou společnost mnohdy nejvyšší, zcela zásadní hodnotu. Proto byla obytným budovám věnována vyšší pozornost. Určení zranitelnosti bylo možné zpřesnit pomocí poskytnutých dat z ČSÚ. Z tohoto informačního zdroje byly sledovány především informace týkající se stáří budov, materiálu nosných zdí a celkové plochy domu, které odhad přibližné zranitelnosti budovy usnadňují.

Dle těchto dat bylo zjištěno, že ve studovaném území se nachází rodinné domy ze dvou druhů materiálu, a to ze dřeva nebo z cihel (popř. tvárnic). Jako odolnější materiál nosných zdí obytných budov bylo určeno dřevo, pro svou schopnost se svahovým pohybům do jisté míry přizpůsobit, což má za následek nižší případné škody. Budovy z cihel a tvárnic mají zranitelnost vyšší (např. snáze může dojít k popraskání zdí atd.). Z hlediska stáří budov byla zvolena věková hranice 25 let. Autor předpokládá, že mladší domy byly stavěny pokročilejšími pracovními metodami a jsou kvalitněji založené. Jiné kritérium, sledující kvalitu založení budov nebylo možné z důvodu absence dat sledovat. Výsledné určení zranitelnosti jednotlivých budov vypadá takto:

- **nízká zranitelnost** → domy ze dřeva s maximálním stářím 25 let;
- **střední zranitelnost** → ostatní trvale obydlené budovy a také chaty, ke kterým neexistují žádná data, pomocí kterých by byla zranitelnost určena.
- **vysoká zranitelnost** → domy z cihel nebo tvárnic starší než 25 let; také zde náleží kategorie „ostatní budovy“, u nichž se předpokládá náchylnost ke škodám vyšší z důvodu méně kvalitního založení, popř. materiálu nosných zdí, než je tomu u ostatních kategorií;

Takto definovaná zranitelnost budov je založena na dvou charakteristikách, a to stáří budovy a materiálu nosných zdí. Při zpracovávání výsledků byla však zranitelnost ještě dodatečně upravována prostřednictvím hodnoty celkové plochy domu (pokud byla známa). Jestliže byla celková plocha budovy vyšší než 150 m², byla zranitelnost budovy o jeden stupeň snížena. Tím byly zvýhodněny rozměrnější budovy (např. také bytové domy, ubytovací zařízení), které mohou být sice starší a postavené z materiálu určeného jako náchylnější ke škodám, avšak vzhledem ke své velikosti jsou vůči působení potenciálních svahových pohybů odolnější.

Dopravní infrastruktura

Zranitelnost jednotlivých komunikací byla jednoduše určena následujícím způsobem, a to pomocí mapy potenciálně ohrožených objektů (obr. 25 a 26, kap. 6.2).

- **nižší zranitelnost** → silnice II. A III. tř.;
- **střední zranitelnost** → cesty zpevněné, udržované;
- **vyšší zranitelnost** → cesty nezpevněné, neudržované.

Délky jednotlivých komunikací roztríděných dle jejich zranitelnosti tedy odpovídají ve studovaném území délkám komunikací jednotlivých kategorií.

Ostatní potenciálně ohrožené objekty

V kategorii ostatních potenciálně ohrožených objektů byly vymezeny dva stupně zranitelnosti, a to střední a vysoký. Při určování zranitelnosti této kategorie objektů byla zranitelnost odhadnuta na základě charakteru daného objektu, při níž bylo využito autorovy znalosti studovaného území. Rozdělení zranitelnosti potenciálně ohrožených objektů této kategorie je následující:

- **střední zranitelnost** – elektrické vedení vysokého napětí a lyžařský vlek typu „kotva“, který se odlišuje od ostatních typů vleků ve studovaném území mohutnějšími a lépe založenými sloupy;
- **vysoká zranitelnost** – všechny ostatní typy lyžařských vleků.

Ve všech případech analýzy rizika bylo zranitelnosti potenciálně ohrožených objektů využito k odhadu možných materiálních škod. Stupeň materiální škody (viz tab. 11 dále) byl nejprve odhadnut pro střední zranitelnost a jestliže danému objektu byla tato zranitelnost určena, byl objekt v tomto stupni škod ponechán. Pokud však danému objektu byla určena zranitelnost vysoká, resp. nízká, byl objekt ve stupnici škod (tab. 11) přeřazen o jednu úroveň níže, resp. výše.

5.3.3 Kvalitativní analýza rizika pro inventarizační mapu

Kvalitativní analýza rizika, která byla v této práci použita, spočívá ve vzájemném porovnání **pravděpodobnosti vzniku sesuvné události** (tab. 10) a jejími **možnými následky na potenciálně ohrožených objektech** (budovy, infrastruktura, atd.) (viz předchozí kapitola a tab. 11). Kombinací těchto dvou tabulek byl určen stupeň rizika pro konkrétní potenciálně ohrožený objekt a tyto výsledky byly zobrazeny v mapě rizika..

Tab. 10 zobrazuje šest stupňů (A – F) pravděpodobnosti vzniku sesuvné události. Aby bylo možné jednotlivé stupně pravděpodobnosti přiřadit ke svahovým deformacím, resp. k vytvořené inventarizační mapě, je zde třeba započítat ohrožení (časovou pravděpodobnost vzniku události, která svahové pohyby může vyvolat) (kap. 5.2).

Tab. 10: Kvalitativní měřítko pravděpodobnosti vzniku události na základě středního intervalu opakování třídních úhrnů srážek z července 1997 (ČHMÚ) (upraveno dle Australian Geomechanics Society, 2000)

	Střední interval opakování srážek (roky)
Událost se stane za nepříznivých okolností	< 10
Událost se pravděpodobně stane za nepříznivých podmínek	< 10
Událost se může stát za nepříznivých podmínek	10 – 500
Událost se možná stane za velmi nepříznivých okolností	10 – 500
Událost lze uvažovat, ale jen za velmi nepříznivých okolností	> 500
Událost je nemyslitelná	> 500

Přiřazování jednotlivých stupňů ke svahovým deformacím probíhalo za následujících předpokladů. U stupňů A a B se předpokládá, že vznik události má pravděpodobnost vysokou. Proto byly k těmto stupňům přiřazovány drobné svahové deformace jako nátrže erozních údolí nebo zářezy staveb a cest. Ty mohou vznikat při krátkodobých vysokých srážkových úhrnech (bouře, přivalový déšť) a jejich doba opakování je poměrně malá. Ke stupňům A a B byly tedy zařazeny svahové deformace, které byly zaříděny do kategorie s periodou opakování 0 – 10 let, která byla definována v kapitole 5.2.1. Konkrétně ke stupni A byly přiřazeny ty drobné svahové deformace, které byly v terénu určeny jako stále aktivní (viz mapa náchylnosti) a následně ke stupni B tytéž převážně drobné svahové deformace, které ale v současné době aktivní nejsou, jejich tvary se stírají, avšak mohou být při vydatné srážkové události opět aktivovány.

Stupeň C zahrnuje převážně svahové deformace, které vznikly v červenci 1997. Jedná se o svahové deformace zapříčiněné několikedenními vydatnými srážkami, které mají periodu opakování až 500 let. Byly zde uvažovány především aktivní svahové deformace. Obecně lze však říci, že autor nepostupoval při začleňování do jednotlivých stupňů pravděpodobnosti zcela automatizovaně, ale každá svahová deformace byla uvažována a posuzována samostatně. To znamená, že v tomto případě některé aktivní sesuvy mohly být přeřazeny z kategorie C do B. Například se jedná o svahové deformace, které nebyly po roce 1997 sanovány a k jejich další významnější reaktivaci není potřeba extrémních srážek, jako těch v roce 1997.

Kategorie D byla vyhrazena především pro dočasně uklidněné sesuvy, které mohly vzniknout v roce 1997 nebo dříve, ale jejich další vývoj (např. z důvodů sanačních opatření) není příliš pravděpodobný. Tento stupeň zahrnuje také potenciální svahové deformace, které za nepříznivých okolností dle geofyzikálních průzkumů (zdroj: Závěrečné zprávy o geologických průzkumech sesuvů), povahy reliéfu nebo známek dřívějších pohybů mohou

rozšířit významné stávající svahové deformace (např. svahová deformace nazývaná Hutisko – Solanec – Zákopčí, nebo Hutisko – Solanec – les).

Do stupně E byly zahrnuty staré stabilní svahové deformace, které v roce 1997 nebyly aktivovány a ani v témže roce nevznikly.

Tab. 11: Kvalitativní odhad materiálních škod (upraveno dle Australian Geomechanics Society, 2000)

Stupeň	Popis
1	Struktura objektu/stavby je kompletně zničena
2	Velká část objektu je významně poškozena, nutná rozsáhlá rekonstrukce
3	Střední poškození objektů/staveb (např. popraskané zdi budov, trhliny v pozemních komunikacích)
4	Malé poškození částí staveb
5	Poškození je malé až zanedbatelné

Při odhadu možných vzniklých škod (na budovách, komunikacích atd.) bylo částečně vycházeno z prací Kirchner, Krejčí (1997, 1998), která popisuje sesuvné jevy popř. jimi působené škody nedlouho po jejich vzniku v roce 1997. Některé svahové deformace ve studovaném území jsou součástí této studie také. Korelace podobných sesuvných jevů a způsobených škod pomohla ve zvolení jednoho z pěti možných stupňů materiálních škod zobrazených v tab. 11.

Při zařazování do jednoho z pěti stupňů možných materiálních škod bylo nutné uvažovat velikost sesuvu, hloubku založení (pokud byla známa) a také skutečnost, jaká část svahové deformace potenciálně ohrožený objekt ohrožuje. Např. malý mělký sesuv (s hloubkou smykové plochy 1 – 2 m), který zahrne komunikaci svou akumulací, způsobí tímto pouze malou škodu, jelikož nenaruší strukturu komunikace a horninový materiál akumulace je odstraněn rozhrnutím (stupeň 5 až 4). Na druhou stranu, i menší vzniklá svahová deformace může lesní nezpevněnou, popř. i zpevněnou cestu, která se nachází v jeho odlučné části, do určité míry poškodit a její strukturu narušit (stupeň 4 až 3).

Stejně jako u komunikací, bylo také u budov sledováno kritérium velikosti svahové deformace, hloubka jejího založení (pokud byla zjištěna v terénu nebo byla známa) a poloha budovy vůči ní. Předpokládá se, že nejmenší, resp. minimální škody může způsobit akumulace drobného sesuvu např. v zárezu stavby (dle tab. 11 výsledný stupeň 4 nebo 5). Ovšem akumulace větší svahové deformace /např. lokalita nazývaná Hutisko – Solanec – Zákopčí; v práci Kirchner, Krejčí (1997) lokalita č. 7/, jejíž akumulace může mít charakter až bahnotoku, může tlakem sesouvajících se hmot ve spojení s podmáčením budovy způsobit narušení struktury celé budovy (stupeň 2). U podobných, plošně větších a hlouběji založených svahových deformací již na polohu budovy vůči sesuvu nebyl brán příliš velký zřetel a ani

zranitelnosti budovy se nedá přisuzovat příliš velká váha, jelikož s přihlédnutím k rozměrům svahové deformace a množství transportovaného horninového materiálu, může být stupeň škod na budovách (popř. i jiných potenciálně ohrožených objektech) prakticky shodný /viz např. lokalita Hutisko – Solanec – les, v práci Kirchner, Krejčí (1997) pod č. 107, která by stavbu pravděpodobně totálně zničila jak ve své odlučné, transportní, tak akumulární části/.

Vztah mezi pravděpodobností vzniku události a možnými materiálními škodami potenciálně ohrožených objektů určuje stupeň rizika (tab. 12). Definice těchto stupňů rizika zobrazuje tab. 13. Barvy jednotlivých stupňů rizika použité tab. 12, odpovídají zvoleným barvám ve vzniklých mapových výstupech, popř. grafech. Mapové výstupy byly vytvořeny v prostředí GIS programem ArcView 3.1. Pro stupeň rizika komunikací bylo použito liniové znázornění, pro ostatní potenciálně ohrožené objekty byly zvoleny bodové značky.

Tab. 12: Tabulka pro kvalitativní výpočet rizika (upraveno dle Australian Geomechanics Society, 2000)

Stupeň zranitelnosti budovy		Stupeň potenciálních škod		
1	2	1	2	3
1	2			S
2	1		S	N-S
2	2	S	N-S	
1	1	S		

Tab. 13: Definice stupně rizika (upraveno dle Australian Geomechanics Society, 2000)

Stupeň rizika	Popis
3	Vyžaduje podrobný a rozsáhlý výzkum a sanace vedoucí ke snížení rizika na přijatelnou úroveň; mohou být příliš nákladné.
2	Podobné šetření, plánování a provádění sanací ke snížení rizika na přijatelnou úroveň.
1	Riziko je přípustné za předpokladu, že sanační plán je prováděn s cílem zachovat nebo snížit riziko; může být akceptovatelné.
0	Obvykle přijatelné riziko; definice požadavků na snížení nebo zachování rizika.
	Přijatelné riziko, je ale nutné řídit běžnou údržbu svahů.

Autor ve všech případech analýzy rizika postupoval tak, že na základě výše popsaných předpokladů odhadl potenciální škody na konkrétním objektu a ten byl zařazen do stupnice materiálních škod. Pokud zranitelnost budovy byla označena jako střední, byl objekt ve zvoleném stupni ponechán. Pokud byla zranitelnost dané stavby nižší, resp. vyšší, byl stupeň škod v tab. 11 zvýšen, resp. snížen o jeden stupeň. Tím se pro daný potenciálně ohrožený objekt změnil také stupeň rizika dle tab. 12. Jestliže se pro danou skupinu potenciálně ohrožených objektů (budovy, komunikace atd.) určitý stupeň rizika ve výsledcích nevyskytoval, nebyl v grafech, mapách popř. tabulkách uvažován.

5.3.4 Kvalitativní analýza rizika na základě expertní mapy náchylnosti

Při analýze rizika na základě expertní mapy náchylnosti bylo postupováno stejně jako v předchozí kapitole, tzn. za využití tabulek 10, 11, 12, 13. Pouze sloupec „střední interval opakování“ v tab. 10 byl změněn dle odhadu sesuvného ohrožení v kap. 5.2.2.

Tab. 14: Kvalitativní měřítko pravděpodobnosti vzniku události pro expertní mapu náchylnosti a fyzikální model (upraveno dle Australian Geomechanics Society, 2000)

	Střední interval opakování (roky)
Událost se stane za nepříznivých okolností	< 10
Událost se pravděpodobně stane za nepříznivých podmínek	< 10
Událost se může stát za nepříznivých podmínek	10 – 100
Událost se možná stane za velmi nepříznivých okolností	10 – 100
Událost lze uvažovat, ale jen za velmi nepříznivých okolností	> 100
Událost je nemyslitelná	> 100

Pro část expertní mapy, kterou tvoří existující svahové deformace, byly výsledky analýzy rizika provedeného na základě inventarizační mapy byly převzaty.

Pro zbylé území, u kterého byla náchylnost definována pomocí sklonitostních intervalů, bylo třeba odhadnout, jaký typ svahové deformace a o jaké velikosti může v dané třídě náchylnosti vzniknout nejpravděpodobněji, aby bylo možné odhadnout možné škody potenciálně ohrožených objektů. Podle analýzy výsledků (kap. 6.6.1) jsou ve studovaném území nejčastější svahové deformace typu „sesuv“ (proces sesouvání), a to do velikosti 500 m². Tento fakt platí jak pro svahové deformace aktivní, tak dočasně uklidněné/potenciální. Riziko bylo tedy počítáno pro sesuvy do velikosti 500 m².

Z hlediska časového vzniku události autor předpokládá, že takto drobné sesuvy mohou vznikat v nestabilních částech svahů častěji, a to v řádu několika let (např. v důsledku krátkodobých přívalových dešťů). To znamená, že pro svahy určené sklonitostním intervalem jako nestabilní byla pravděpodobnost v tab. 12 určena jako stupeň A, dále svahy podmíněně stabilní byly řazeny do stupně C. Stabilní svahy stanovené sklonitostí svahů byly určeny jako stabilní za všech podmínek, byly tak zařazeny pod písmeno F.

Vzhledem k malé velikosti sesuvů byly možné materiální škody na potenciálně ohrožených objektech se střední zranitelností zařazeny v tab. 11 (resp. tab. 12) do stupně 4. Při určování možných materiálních škod pro potenciálně ohrožené objekty se zranitelností vyšší nebo nižší bylo postupováno stejně jako v předchozí kapitole, tzn. přesunutím

potenciální škody daného objektu v tab. 11 (resp. tab. 12) dle jeho zranitelnosti o jednu úroveň výše, resp. níže. Uvedený postup shrnuje tab. 15.

Tab. 15: Způsob tvorby rizika pro část expertní mapy náchylnosti definované na základě sklonitosti svahů

Nestabilní	A
Podmínečně stabilní	C
Stabilní	F
Vysoká	3
Střední	4
Nízká	5

5.3.5 Kvalitativní analýza rizika na základě fyzikálního modelu náchylnosti

Podobně jako v předchozím případě analýzy rizika pro expertní mapu náchylnosti, bylo nutné přistupovat k jednotlivých třídám náchylnosti zcela automatizovaně a určit reprezentativní svahovou deformaci, od které se budou vyvíjet možné škody na potenciálně ohrožených objektech dle jejich zranitelnosti. Jelikož fyzikální model SINMAP je určen k předpovědi svahů náchylných k tvorbě mělkých svahových deformací (sesuvů a zemních proudů) způsobených akumulací vody v deluviích, byla určující svahovou deformací určena právě tato.

V případě odhadu ohrožení byla převzata tab. 14 kvalitativní pravděpodobnosti vzniku události z předchozí kapitoly, včetně určení středního intervalu opakování. Svahy určené modelem SINMAP jako nestabilní, byly řazeny do stupně B a podmínečně stabilní do stupně D. V případě kategorie stabilních svahů bylo zjištěno, že dle vytvořených fyzikálních modelů se nacházejí svahové deformace také v této třídě náchylnosti. Autor však předpokládá, že jejich vznik nebude tak častý jako v předchozích případech a z tohoto důvodu byl pro tuto třídu stanoven stupeň E.

Vzhledem k charakteru mělkých (do 3 m) svahových deformací, k jejichž predikci je model SINMAP určen, autor předpokládá, že materiální škody nebudou příliš vysoké. Pro střední zranitelnost potenciálně ohrožených objektů byl v tab. 11 stanoven opět stupeň 4, pro ostatní zranitelnosti byl postup stejný jako v předchozích dvou případech analýzy rizika. Pro nižší zranitelnost tedy vychází stupeň 5 (minimální poškození), pro zranitelnost vyšší stupeň 3 (střední poškození).

Tab. 16: Způsob tvorby rizika pro fyzikální model náchylnosti

Nestabilní	B
Podmínečně stabilní	D
Stabilní	E
Vysoká	3
Střední	4
Nízká	5

5.4 Použitá vstupní data a software

Terénní práce

Jednotlivé svahové deformace v terénu byly lokalizovány na základě inventarizační mapy svahových deformací (ČGS, viz níže). U jednotlivých svahových deformací byla odhadována jejich současná aktivita. Svahové deformace pak byly rozděleny do kategorií: aktivní, dočasně uklidněná/potenciální a stabilizovaná svahová deformace. Způsob, jakým byly svahové deformace do těchto stupňů aktivity na základě terénních prací začleňovány je uveden v kap. 5.1.1, která se zabývá tvorbou inventarizační mapy svahových deformací studovaného území.

Dále, pokud to bylo možné, byla zjišťována výška odlučné stěny svahových deformací, díky čemuž bylo možné odhadnout přibližnou hloubku smykové plochy svahových deformací. Zjišťování hloubky smykových ploch pomohlo k výběru svahových deformací do databáze sesuvů pro vyhotovení fyzikálního modelu náchylnosti (model SINMAP). Jak již bylo řečeno, je tento model určen k vytvoření mapy náchylnosti pro mělce založené sesuvy a zemní proudy vzniklé v důsledku akumulace podzemní vody v půdě či zvětralinovém plášti (Pack a kol., 1998). Z vytvořené inventarizační mapy svahových deformací byly tedy vybrány ty, které tuto podmínku splňují a nejsou ve svém vzniku významně ovlivněny strukturálními poměry geologického prostředí, popř. erozí vodních toků.

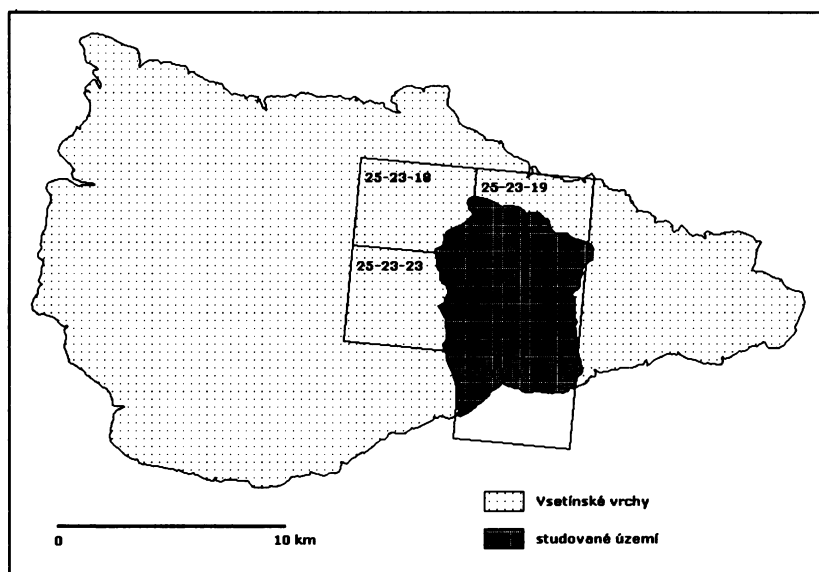
Pro hrubé odhadnutí potenciálních škod (část analýzy rizika), které svahové deformace dané velikosti mohou způsobit svými akumulacemi, byla měřena také akumulací oblast jednotlivých svahových deformací, pokud to však bylo možné. Akumulace dočasně uklidněných svahových deformací jsou totiž v postupně denudovány a jejich změření je nemožné. Akumulace bylo tedy možno měřit především v rámci aktivních svahových deformací, i tak ale v mnohých případech ztěžoval měření mladý vegetační porost. Pokud

měření bylo možné, byla měřena šířka, délka a výška akumulace. Při znalosti přibližné velikosti dané svahové deformace bylo možné při analýze rizika lépe odhadnout potenciální škody.

Při práci v terénu byly lokalizovány některé svahové deformace, které se v inventarizační mapě ČGS zaznamenány nebyly. Ve většině případů se jednalo o menší svahové deformace vzniklé např. v zářezech cest, v jednom případě šlo o sesuv větších rozměrů. Tyto svahové deformace byly popsány a zaneseny do vytvořené inventarizační mapy této práce.

Inventarizační mapa svahových deformací sestavená ČGS Brno

Jedná se o mapu vzniklou systematickou inventarizací svahových deformací v měřítku 1:10 000 na základě terénního mapování pracovníky ČGS Brno. Zachycuje aktivní, potenciální i staré, v současné době z větší části stabilizované nebo dočasně uklidněné svahové deformace (Krejčí a kol., 2002). V inventarizační mapě jsou znázorněny plošnou značkou svahové deformace s alespoň jedním rozměrem nad 50 m. Menší svahové deformace nesplňující tuto podmínku jsou z důvodu měřítka mapy a velkého množství mapovaných jevů zaznačeny bodově, a to šipkou udávající směr pohybu.



Obr. 16: Použité listy (1:10 000) inventarizační mapy svahových deformací ČGS

K jednotlivým mapovým listům inventarizační mapy ČGS existují také popisy a charakteristika jednotlivých svahových deformací. Těchto popisů bylo využito při sporných situacích v terénu např. při určování hlavního typu procesu, kterým daná svahová deformace vznikla. Řada svahových deformací (např. menších zemních proudů, které vznikly následkem

srážkových událostí v červenci 1997) se v reliéfu stírá a zarůstá hustou vegetací. Určující proces, kterým některé svahové deformace vznikly, bylo tak po 11 letech od doby jejich vzniku obtížné odhadnout a muselo být využito poznatků z inventarizace z dřívější doby.

Software

Veškeré výsledky modelů náchylnosti a analýzy rizika byly zpracovávány v prostředí GIS, a to v programu ArcView 3.1 společnosti ESRI. K tvorbě digitálního modelu reliéfu (DMR) byla použita výškopisná data geografické databáze ZABAGED (1:10 000) se základním intervalem vrstevnic 5 m. DMR byl vytvořen pomocí extenze 3D Analyst.T10. Pro tvorbu fyzikálního modelu náchylnosti území byl použit model SINMAP fungující jako extenze programu ArcView 3.X.

Data Českého statistického úřadu (ČSÚ)

Data ČSÚ byla použita především k určení zranitelnosti budov ve studovaném území. K základnímu rozdělení budov ve studovaném území (dle popisných a evidenčních čísel) byla využita v prostředí GIS vrstva adresních bodů. Dále byla poskytnuta data o budovách (materiál nosných zdí, stáří budovy, celková plocha budovy) získaná ČSÚ z SLBD 2001. Vzhledem ke sčítání obyvatelstva v roce 2001 bylo možné sehnat výše zmíněné informace o budovách pouze pro trvale obydlené budovy v roce sčítání obyvatelstva.

Informace z obecních úřadů jednotlivých obcí

Studované území zasahuje do čtyř katastrů. Jedná se o obce Hutisko – Solanec, Nový Hrozenkov, Karolinka a Velké Karlovice. Z mapy adresních bodů (ČSÚ) byla vytvořena databáze budov s číslem popisným, ke kterým bylo z obecních úřadů možné získat počet obyvatel v těchto budovách.

6 VÝSLEDKY

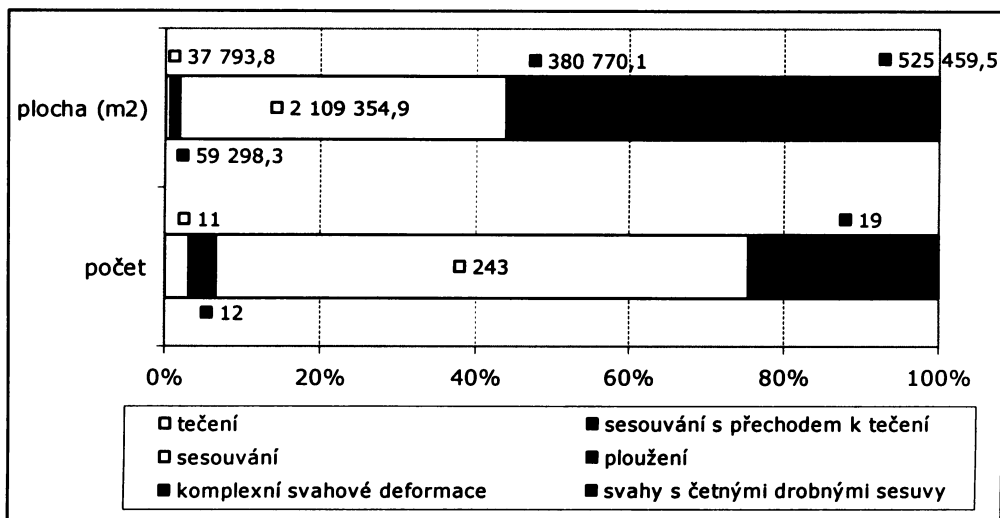
6.1 Mapy náchylnosti studovaného území ke vzniku svahových deformací použité pro hodnocení rizika

6.1.1 Inventarizační mapa svahových deformací

Dle vytvořené inventarizační mapy (obr. 19) se ve studovaném území nachází celkem 353 svahových deformací o celkové ploše 5,03 km², což je 11,7% plochy studovaného území. Z grafu na obr. 17 je zřejmé, že nejpočetnější kategorií jsou svahové deformace vzniklé procesem sesouvání (243 svahových deformací). Započítání jednotlivých svahových deformací z kategorie „svahy s četnými drobnými sesuvy⁵“, která v inventarizační mapě obsahuje 36 polygonů, by tento počet ještě navýšilo. Dále bylo zaznamenáno 32 území postižených ploužením, 19 komplexních svahových deformací. Další kategorie, které jsou zastoupeny méně, jsou zobrazeny v grafu obr. 17.

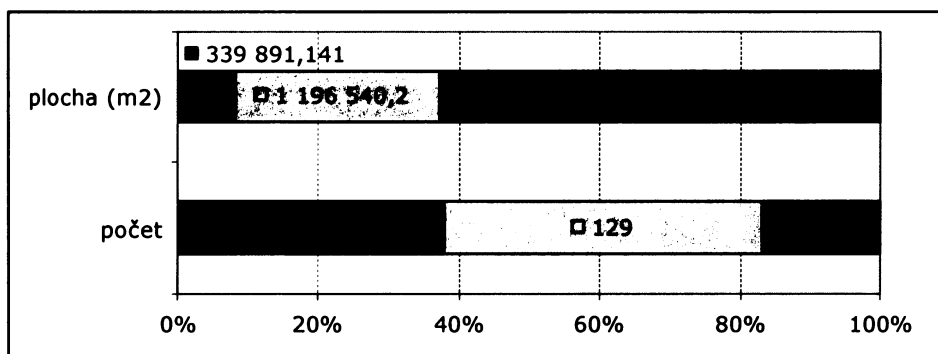
Jinak je tomu při srovnání plochy jednotlivých kategorií. Největší část studovaného území zabírají také svahové deformace vzniklé sesouváním (42% plochy svahových deformací). Ovšem komplexní svahové deformace navzdory malému počtu zaujímají bezmála 1,92 km² (38,1%). Průměrná plocha komplexních svahových deformací ve studovaném území činí 100 817,1 m². Ostatní kategorie jsou ve studovaném území zastoupeny podobným podílem co se týče počtu i plochy svahových deformací. Při pohledu na zastoupení svahových deformací vzniklých procesem tečení horninových hmot (zemní proudy) lze zpozorovat, že vzniklé deformace se vyznačují malou plochou, jelikož podíl počtu deformací je vyšší než podíl plochy. Jedná se tedy o opačný jev než u komplexních svahových deformací. Podobně je tomu u kategorie „sesouvání s přechodem k tečení“. Prostorové rozmístění svahových deformací zobrazuje inventarizační mapa na obr. 19.

⁵ Celý název kategorie, který je v textu a grafech zkracován zní „svahy s četnými drobnými sesuvy (erozní údolní svahy, zářezy cest)“. Celý tento název je použit také v inventarizační mapě.

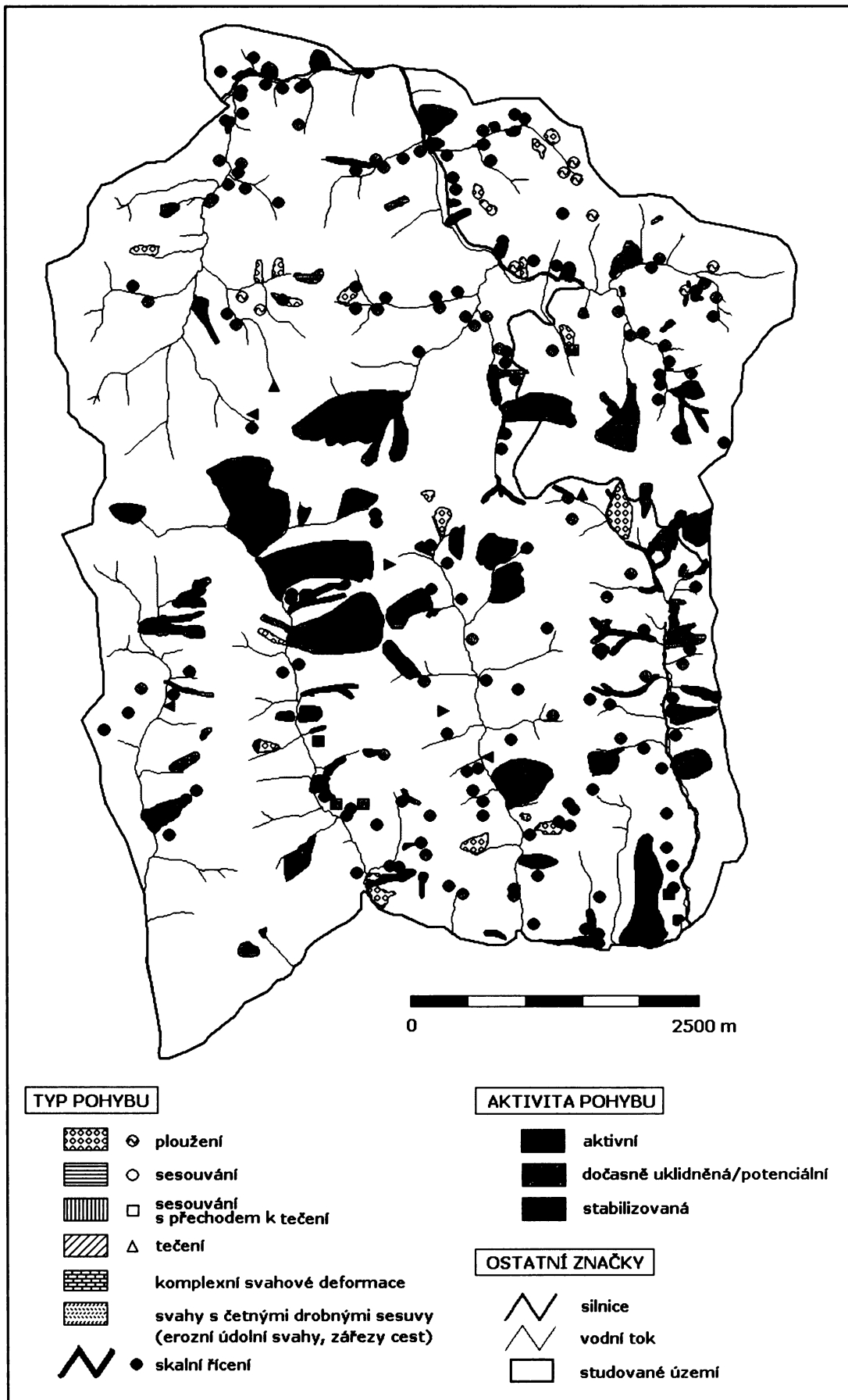


Obr. 17: Podíl svahových deformací dle jejich typu procesu na celkové ploše všech svahových deformací ve studovaném území (jsou zahrnuty také komplexní svahové deformace a území označené jako svahy s četnými drobnými sesuvy)

Velikost komplexních svahových deformací se promítá také do následujícího grafu na obr. 18. Jelikož byly tyto svahové deformace z hlediska aktivity definovány jako stabilizované, zaujímá tato kategorie 62,7% ze všech svahových deformací, u nichž byla aktivita v inventarizační mapě určena (kap. 5.2.1). Aktivní svahové deformace jsou sice početné (108, tj. 37,9% hodnocených svahových deformací z hlediska aktivity), avšak po srovnání s poměrem plochy lze konstatovat, že aktivní svahové deformace dosahují velikostí menších. Jejich průměrná plocha je 3 147,1 m². Dočasně uklidněné svahové deformace dosahují vyšších průměrných velikostí a ve studovaném území bylo do této kategorie zahrnuto nejvyšší počet území postižených svahovými pohyby, a to 129.



Obr. 18: Zastoupení svahových deformací dle jejich aktivity (barvy grafu odpovídají jednotlivým stupňům aktivity svahových deformací v inventarizační mapě: červená – aktivní, oranžová – dočasně uklidněné/potenciální, zelená – stabilizované)

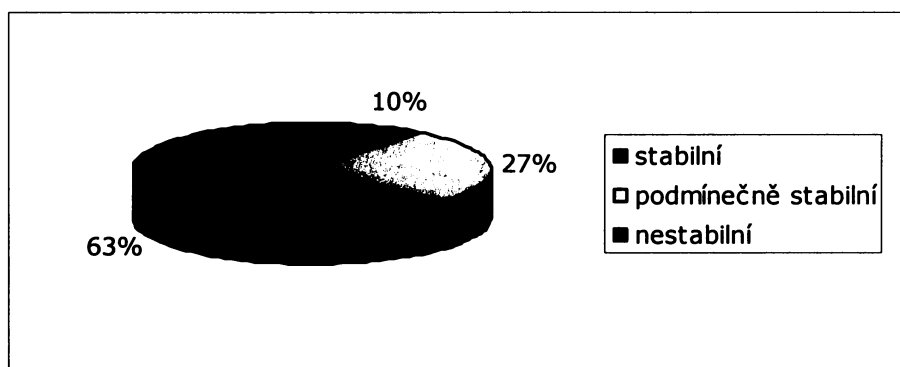


Obr. 19: Inventarizační mapa svahových deformací studovaného území

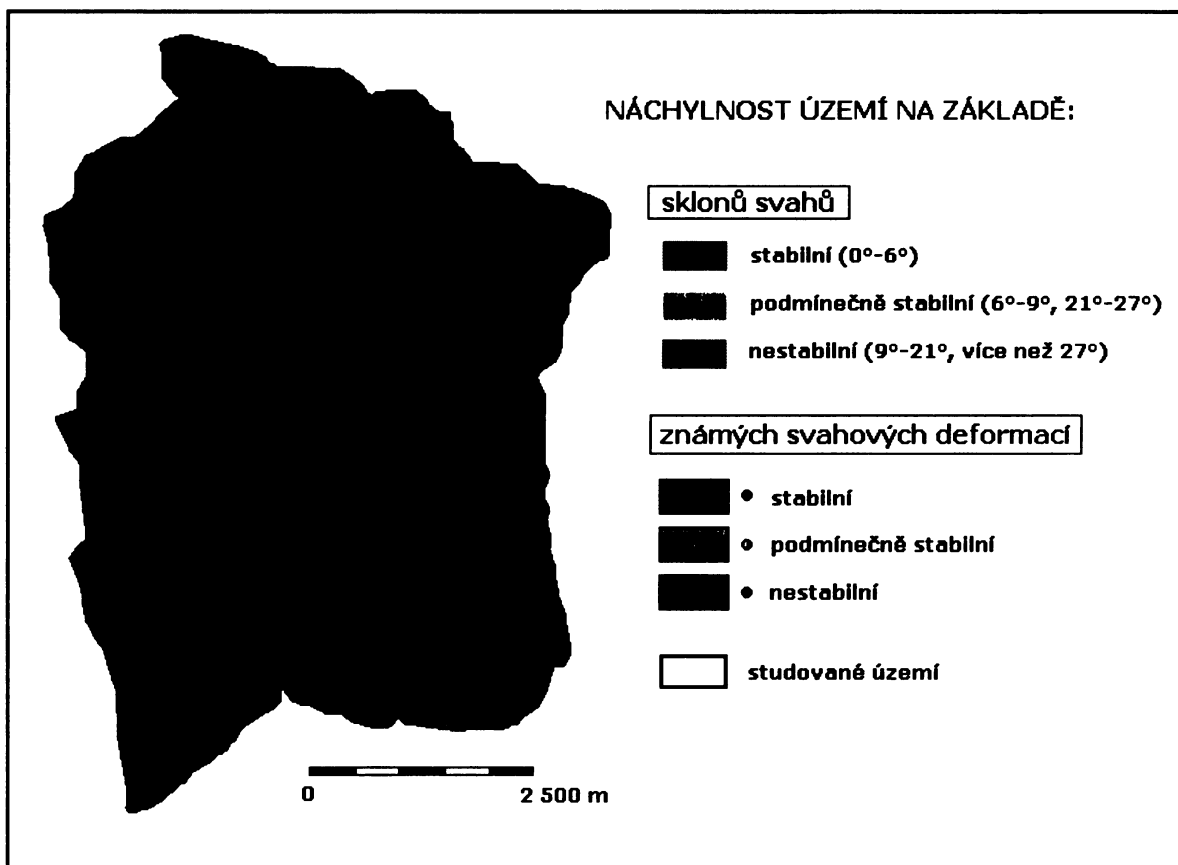
Inventarizační mapě svahových deformací dominují plošně rozsáhlé komplexní svahové deformace v jižní části studovaného území. Často je u nich výrazná také odlučná stěna s potenciálním skalním říčením. Jako příklad může sloužit údolí potoka Kobylská a další komplexní svahové deformace v jižní části studovaného území. Značným množstvím rozličných typů svahových deformací je postiženo údolí potoků Rařkov a Bzový. Severní část studovaného území se vyznačuje, až na výjimky, plošně menšími svahovými deformacemi s častějším výskytem ploužení, než je tomu v jižní části území. Četné svahové deformace se nacházejí v povodí Popelářského, Solaneckého potoka a v dolní části Hutiského potoka. Drobné, často také aktivní svahové deformace jsou vázány především na hluboká erozní údolí a zářezy lesních cest a dalších komunikací.

6.1.2 Expertní mapa náchylnosti území ke vzniku svahových deformací

Ve vytvořené expertní mapě náchylnosti (obr. 21), která obsahuje tři kategorie náchylnosti, převažují nestabilní svahy (63% studovaného území, obr. 20). Tato třída náchylnosti se v hojné míře vyskytuje na celém studovaném území, výrazněji jsou nestabilní svahy pozorovatelné v jednotlivých hlavních údolích, především v jižní části a také v oblasti hlavního hřbetu (pokud tyto svahy nejsou překryty svahovými deformacemi jiné třídy náchylnosti pocházející inventarizační mapy). Svahy podmíněčně stabilní (27% studovaného území) jsou nepravidelně rozesety po celé ploše studovaného území. Stabilní svahy, mající v expertní mapě podíl 10%, jsou zastoupeny především známými stabilními svahovými deformacemi. Zbylou část této třídy náchylnosti tvoří údolní dna a ploché části hřbetů. Expertní mapu náchylnosti ukazuje obr. 21.

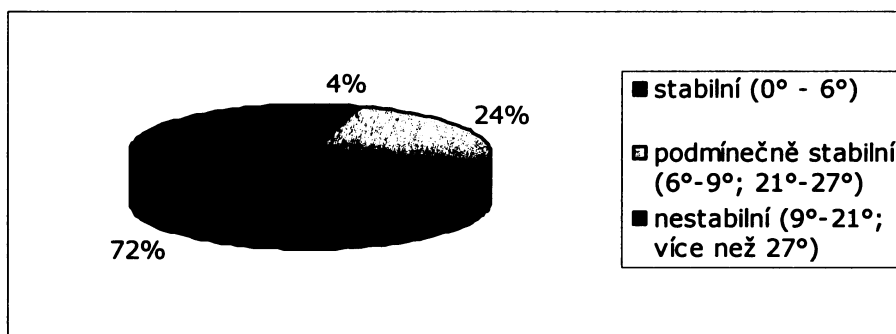


Obr. 20: Podíly jednotlivých tříd náchylnosti expertní mapy náchylnosti



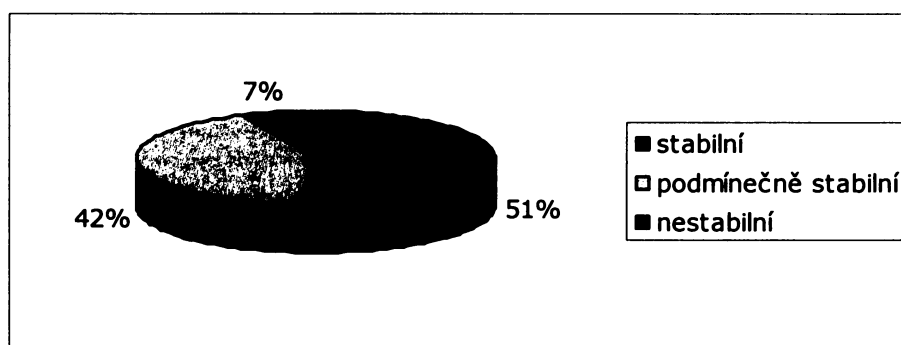
Obr. 21: Expertní mapa náchylnosti území k tvorbě svahových deformací vytvořená na základě mapy sklonů a inventarizační mapy

Následující obr. 22 zobrazuje zastoupení jednotlivých tříd náchylnosti v případě, že by k hodnocení náchylnosti byla použita samotná mapa sklonů svahů. Podíl nestabilních svahů v této mapě by činil vysokých 72%, na podmíněčně stabilní svahy by zbyl podíl 24%. Svahy stabilní by byly zastoupeny pouze 4% plochy studovaného území, jelikož tvoří pouze údolní dna a hřbetnice vrcholových partií. Model náchylnosti definovaný pouze na základě sklonů svahů však pro výpočet rizika nebyl použit.



Obr. 22: Zastoupení jednotlivých tříd náchylnosti na základě mapy sklonů

V případě analýzy náchylnosti, vytvořené na základě inventarizační mapy, nastává situace zcela opačná, než tomu bylo v případě předchozím. Jednoznačně dominuje stabilní třída náchylnosti podílem 51% (obr. 23). Největší zásluhu má na tom fakt, že do této třídy byly zařazeny komplexní svahové deformace určené jako stabilní. Nezanedbatelnou část tvoří svahy podmíněčně stabilní (42%), kterou tvoří dočasně uklidněné, popř. potenciální svahové deformace z inventarizační mapy. Podíl nestabilní třídy náchylnosti je v rámci všech svahových deformací, vymezených ve studovaném území na základě inventarizační mapy, pouze 7%.



Obr. 23: Zastoupení jednotlivých tříd náchylnosti na základě inventarizační mapy

6.1.3 Fyzikální model náchylnosti území ke vzniku svahových deformací

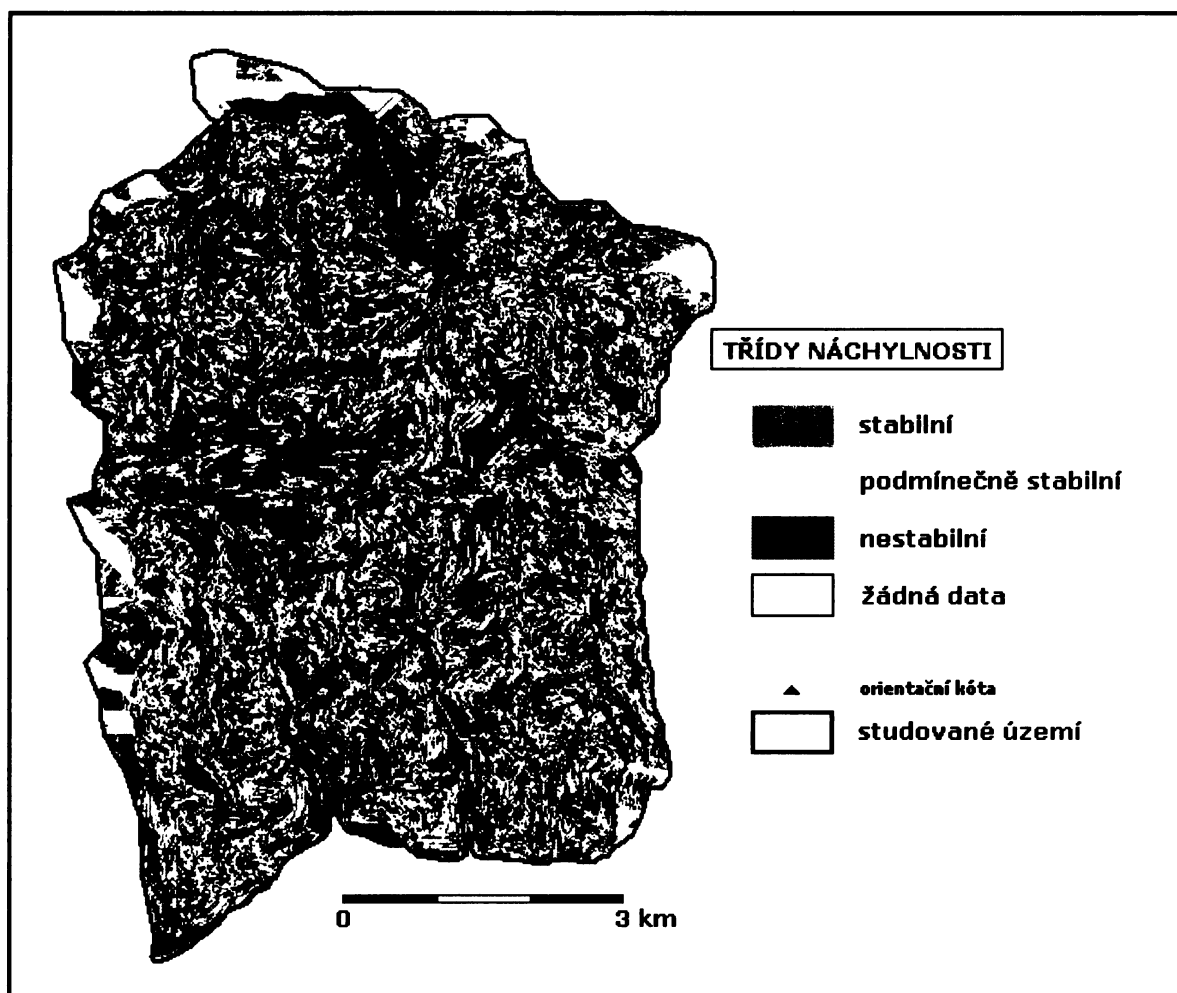
Při tvorbě fyzikálního modelu náchylnosti programem SINMAP (založeného na výpočtu indexu stability IS) byly jednotlivé volitelné parametry nastaveny tak, aby dosáhly co nejlepších výsledků a odpovídaly prostorovému rozmístění sesuvů při plném nasycení modelového profilu (3 m). Parametr T/R byl tedy nastaven na hodnotu 0 a byl považován za konstantní. Určujícím proměnným parametrem byl úhel vnitřního tření (φ). Ostatní parametry byly nastaveny na základě znalostí mechanických vlastností zemin (kap. 5).

Tab. 17: Výsledky použitého fyzikálního modelu náchylnosti území k sesouvání použitého pro kvalitativní analýzu rizika

Stabilní	45,9	22,1
Podmínečně stabilní	25,9	23,6
Nestabilní	28,2	54,3

Z celé řady vytvořených fyzikálních modelů náchylnosti byl jako nejlepší model zvolen ten, ve kterém byl úhel vnitřního tření nastaven na $\varphi = 23^\circ - 27^\circ$. Takto nastavený

model zařadil 28,2% studovaného území a 55,3% sesuvů použité inventarizační mapy do třídy nestabilních svahů. Do třídy náchylnosti definované jako stabilní bylo zařazeno 45,9% území a 20,8% sesuvů (tab. 17). Jelikož lze tyto výsledky považovat ve srovnání s prací Klimeš (2007) za uspokojivé, byl pro kvalitativní analýzu rizika použit fyzikální model náchylnosti s touto kalibrací. Konečnou vizuální podobu mapy fyzikálního modelu náchylnosti studovaného území k sesouvání zobrazuje obr. 24.



Obr. 24: Mapa fyzikálního modelu náchylnosti území k tvorbě svahových deformací vytvořená modelem SINMAP

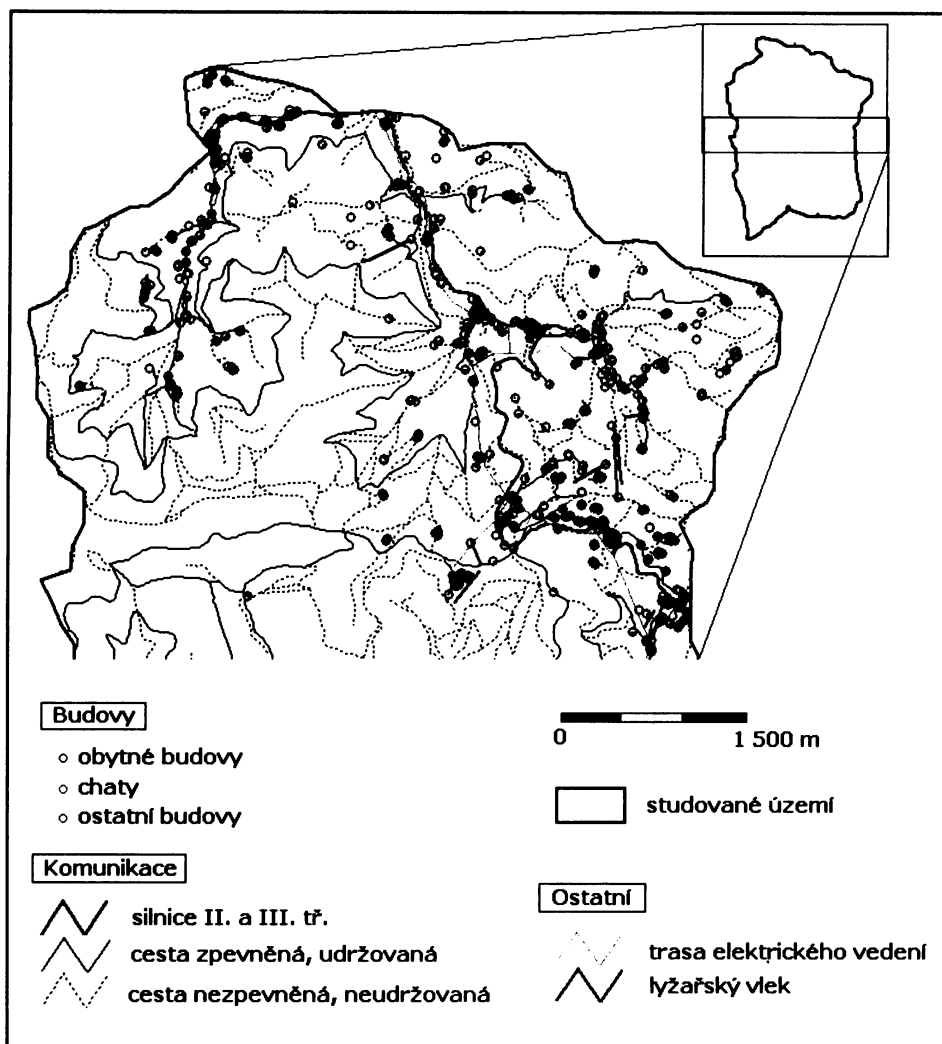
6.2 Potenciálně ohrožené objekty

Jak uvádí tab. 18, z hlediska počtu budov je ve studovaném území nejvíce „budov ostatních“ a „obytných“. Jejich podíl vůči celkovému počtu budov ve studovaném území je 38,8%, resp. 40,1%. Jelikož se ve studovaném území uplatňuje také rekreační činnost, je nezanedbatelný také podíl chat (21,1%). Obyvatelstvo trvale bydlí pouze v některých objektech kategorie „obytné budovy“. Celkový počet ve studovaném území činí 721 obyvatel, bydlících ve 189 domech. Všechny tyto domy jsou v potenciálně ohrožených objektech zařazeny.

Tab. 18: Zastoupení potenciálně ohrožených objektů ve studovaném území

Obytné budovy	308	38,8
Chaty	168	21,1
Ostatní budovy	319	40,1
Celkem	795	100
Silnice II. a III. tř.	12,4	4,3
Cesta zpevněná, udržovaná	77,4	26,5
Cesta nezpevněná, neudržovaná	202,1	69,2
Celkem	291,9	100
Elektrické vedení	19,7	-
Lyžařský vlek	3,2	-

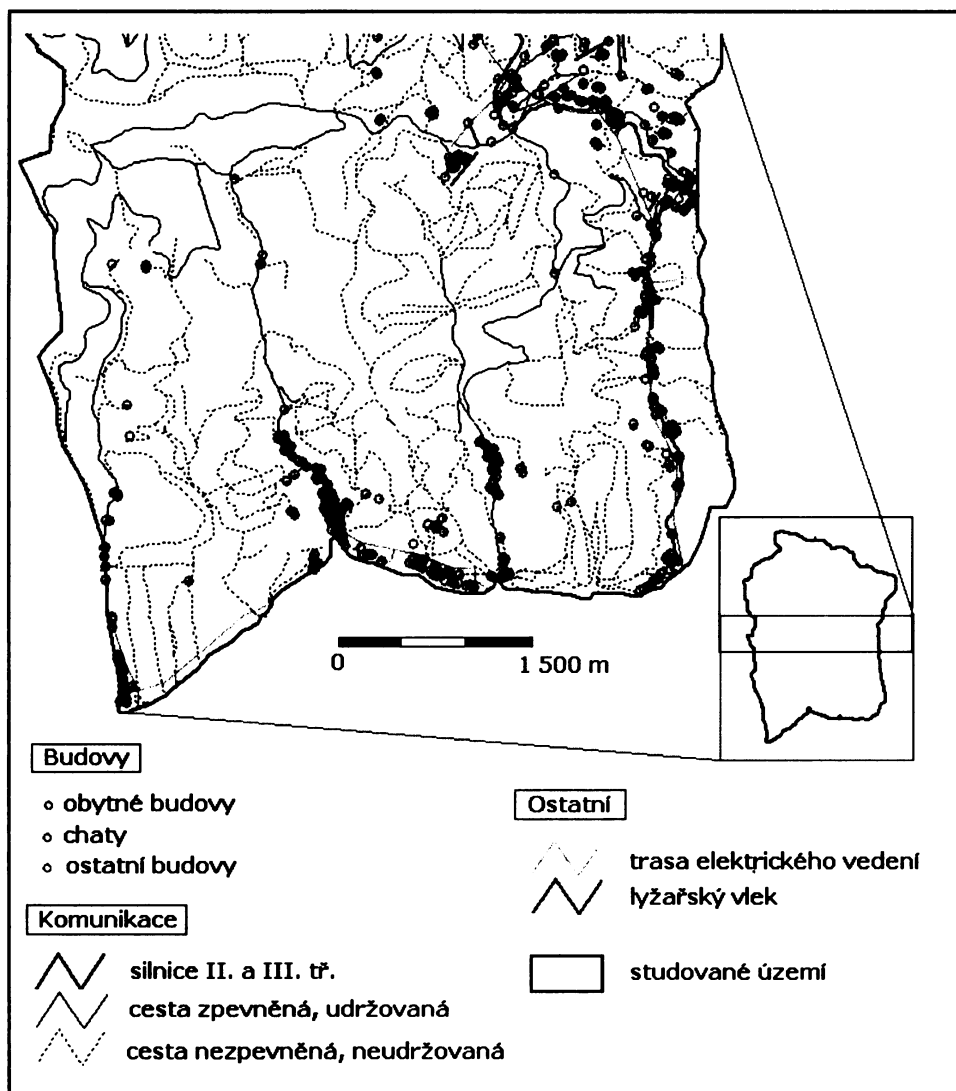
Prostorové rozmístění budov ukazuje, že obyvatelstvo je soustředěno především do údolních oblastí studovaného území. Výraznou výjimkou tohoto faktu je ale relativně hustě zastavěná oblast poblíž vrcholu Soláň, soustředěná kolem nejdůležitější komunikace studovaného území, a to II/481. Nachází se zde řada jak rekreačních objektů, tak trvale obydlených rodinných domů. Součástí této oblasti jsou rovněž sjezdové tratě pro lyžaře a s nimi související vleková zařízení a účelové budovy. Četné rekreační objekty (chaty) lze nalézt také pod severním svahem vrcholu Soláň v sz. části studovaného území. V jižní části studovaného území je relativně čteněji zastavěno údolí potoka Bzový (katastr Velké Karlovice a Karolinka) a také dolní část údolí potoka Kobylská, které je součástí obce Karolinka.



Obr. 25: Mapa potenciálně ohrožených objektů (severní část studovaného území)

Silnice II. a III. tř. tvoří minimum (4,3%) z celkové délky všech komunikací ve studovaném území. Jak ukazuje obr. 25 a 26, hlavní komunikace (II/481) vede ze severní části území přibližně jz. směrem, kde po překonání hlavního hřbetu Vsetínských vrchů studované území opouští. Silnice III. tř. se nacházejí v údolích Hutiského potoka (severní část studovaného území, obr. 25) a potoka Bzový (obr. 26). Vysoký, bezmála 70% je podíl nezpevněných lesních cest, které se nacházejí především v odlehlejších oblastech o vyšší nadmořské výšce a jsou využívány především pro lesnické, popř. turistické účely. Zbylý podíl (26%) zbývá pro zpevněné, zpravidla udržované cesty.

Trasa elektrického vedení sleduje všechny nejhustěji zastavěné oblasti studovaného území. Jeho celková délka činí 19,7 km. Ve studovaném území se také lyžařské vleky o celkové délce 3 160 m.



Obr. 26: Mapa potenciálně ohrožených objektů (jižní část studovaného území)

6.3 Zranitelnost budov

Z hlediska zranitelnosti jednotlivých budov převažují ve studovaném území jednoznačně budovy vysoké (48,1%) a střední zranitelnosti (47,5%). Nízký stupeň zranitelnosti byl určen pouze pro některé objekty kategorie „obytné budovy“ (viz. kap. 5.4.3), z čehož vyplývá nízké zastoupení budov v této kategorii (35 budov, 4,4%). Zmíněné statistické charakteristiky přehledně shrnuje tab. 19.

Tab. 19: Rozdělení budov dle jejich zranitelnosti

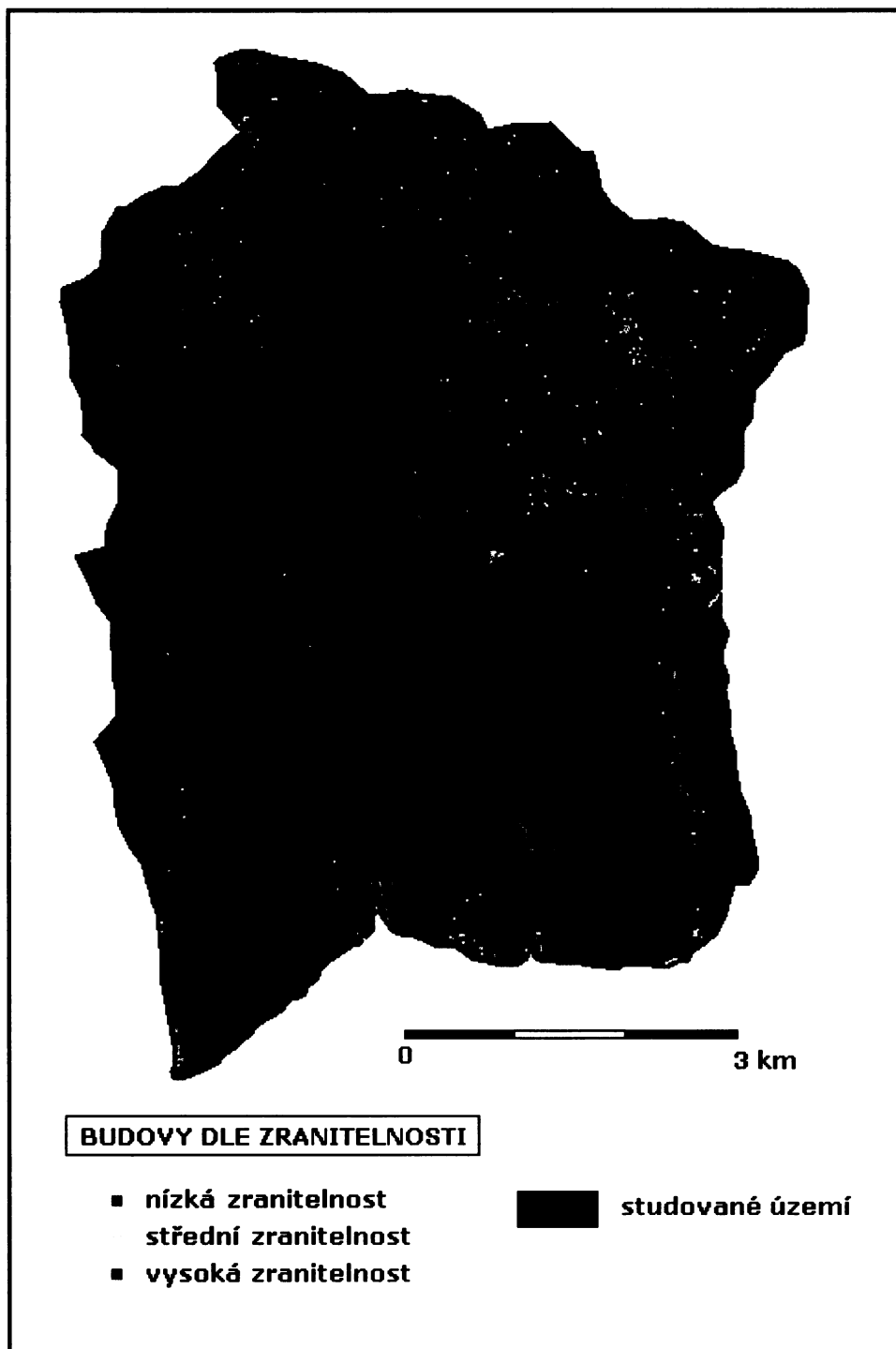
Stupeň zranitelnosti	Počet budov	Podíl (%)
Nízká	35	4,4
Střední	378	47,5
Vysoká	382	48,1
Celkem	795	100

Z dříve uvedených důvodů byla zvlášť posuzována kategorie obytných budov (tab. 20). Nízký stupeň zranitelnosti tvoří opět nejmenší podíl, avšak ten v rámci této kategorie budov vzrostl na 11,4%. Nejvíce obytných budov je ve středním stupni zranitelnosti, a to 210, což více než 2/3 všech budov této kategorie. Nejčastěji se ve studovaném území jedná o domy starší 25 let zhotovené ze dřeva (viz kap. 5.3.2). Obytné budovy s vyšší zranitelností tvoří 20,4% budov této kategorie a jedná se především o domy zhotovené z cihel, popř. tvárnice, staré kolem 50-ti let.

Tab. 20: Počet obyvatel v jednotlivých stupních zranitelnosti kategorie obytných budov

Stupeň zranitelnosti	Počet budov	Podíl (%)	Počet obyvatel	Podíl (%)
Nízká	35	11,4	228	31,6
Střední	210	68,2	307	42,6
Vysoká	63	20,4	186	25,8
Celkem	308	100	721	100

Z hlediska počtu obyvatel bydlí nejvíce obyvatel v budovách se střední zranitelností. Na první pohled je překvapující vysoký podíl obyvatel bydlící v budovách s nižším stupněm zranitelnosti. Projevuje se zde nižší zranitelnost budov větších půdorysných rozměrů (kap. 5.3.2). Jako příklad lze uvést 91 přihlášených obyvatel do domova důchodců poblíž jv. okraje studovaného území, jehož budova byla zařazena právě do kategorie nižší zranitelnosti. Přibližně 1/4 obyvatel studovaného území bydlí v budovách vyšší zranitelnosti. Prostorové rozmístění budov dle stupně jejich zranitelnosti znázorňuje obr. 27.



Obr. 27: Prostorové rozmístění budov rozdělených podle jejich zranitelnosti⁶

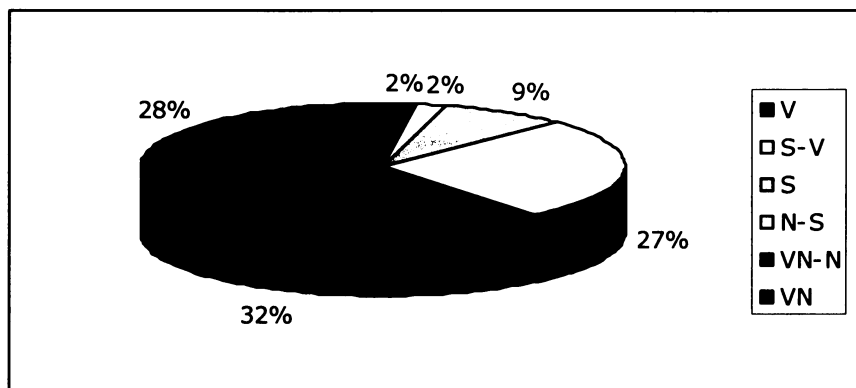
⁶ Z důvodu lepší čitelnosti legendy byly jednotlivé bodové značky v legendě oproti mapě zvětšeny. Tmavá barva podkladu studovaného území byla zvolena z důvodu zřetelně lepších zobrazovacích schopností v případě použití drobných bodových symbolů. Stejně pravilo platí také u dalších podobně koncipovaných tematických map.

6.4 Analýza rizika vzniku svahových deformací na základě inventarizační mapy

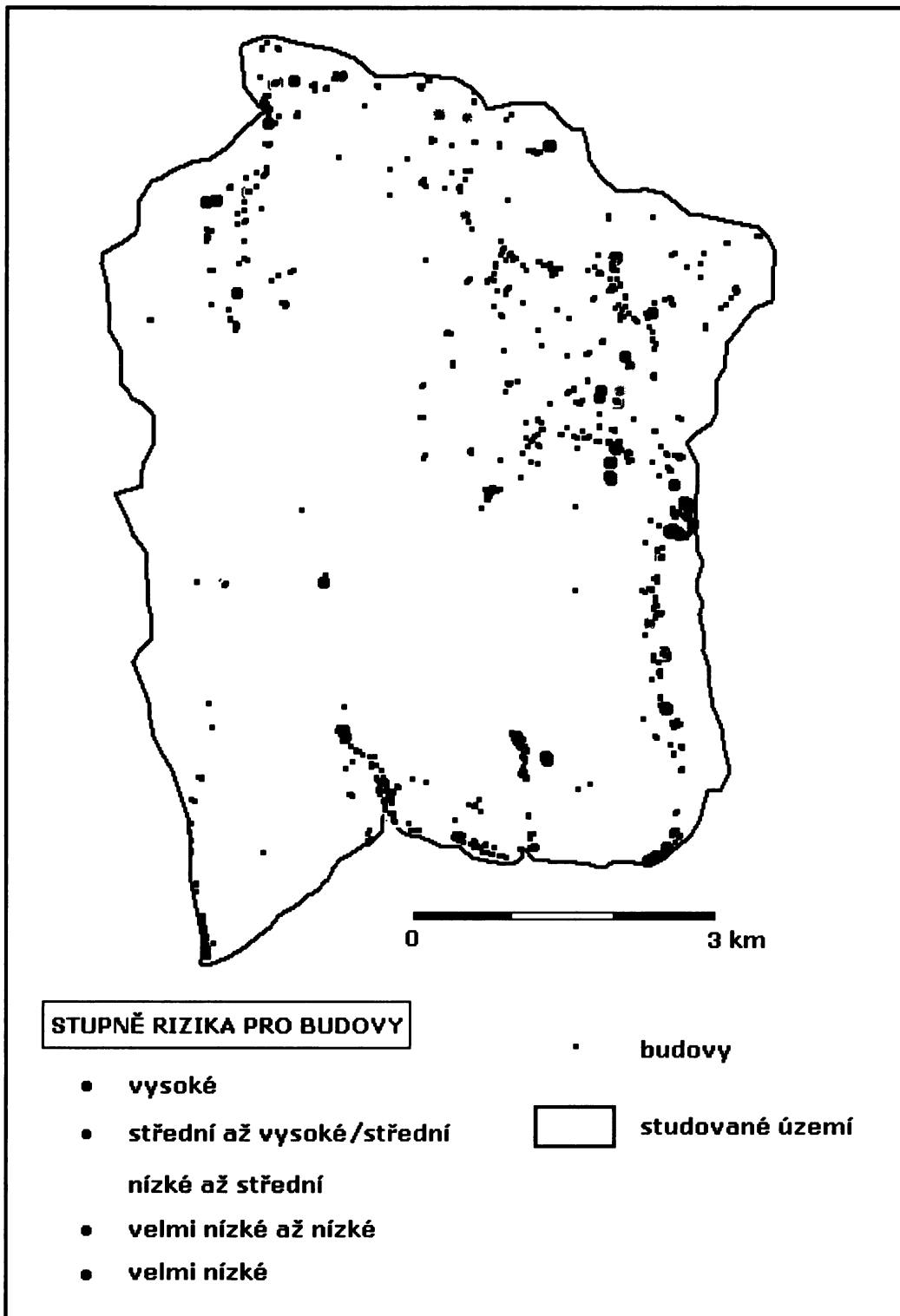
V případě analýzy rizika na základě inventarizační mapy bylo riziko hodnoceno pouze v místech, kde již došlo ke vzniku svahové deformace. Jisté riziko bylo uvažováno také pro potenciálně ohrožené objekty nacházející se v bezprostřední blízkosti existující svahové deformace (např. akumulace svahové deformace nad budovou).

6.4.1 Budovy

Kvalitativní analýza rizika provedená na základě vytvořené inventarizační mapy zařadila 94 budov (což je 11,8% všech budov ve studovaném území) do jednoho ze stupňů rizika. V souhrnu všech budov bez ohledu na jejich typ (obytné budovy, ostatní budovy atd.) převažují nízké stupně rizika, a to VN-N, VN, a N-S, do kterých bylo zahrnuto (postupně) 32%, 28% a 27% budov z 94 možných (obr. 28). Do středního rizika bylo zaneseno 9% budov. Nejmenší podíl ohrožených budov se nachází ve stupních rizika S-V a V, v obou kategoriích je po dvou budovách. Mapa zobrazující budovy v jednotlivých stupních rizika je na obr. 29.



Obr. 28: Zastoupení jednotlivých stupňů rizika pro budovy celkem dle analýzy rizika provedené na základě inventarizační mapy (stupně rizika: V – vysoké, S – střední, N – nízké, VN – velmi nízké)



Obr. 29: Výsledná mapa analýzy rizika na základě inventarizační mapy pro budovy

Po rozdělení budov dle jejich typu (tab. 21) je v součtu budov v jednotlivých stupních rizika nejpočetněji zastoupena kategorie „ostatní budovy“. V rámci tohoto typu budov je z celkových 40 ohrožených nejvíce budov začleněno do stupně rizika N-S (nízké až střední). Ve stupních rizika VN-N a VN je zastoupeno 10, resp. 9 objektů této kategorie. Druhou nejvíce ohroženou kategorií budov jsou „obytné budovy“ (celkem 29 objektů, což je 30,9% všech budov ohrožených na základě inventarizační mapy). V této kategorii budov jsou nejvíce zastoupeny objekty ve stupních rizika VN-N (11 budov) a VN (10 budov). V kategorii chat je celkový počet ohrožených budov nejnižší (25), avšak podíl této kategorie budov na všech ohrožených budovách je nezanedbatelných 26,6%. Také v této kategorii budov má největší zastoupení riziko stupně VN-N (10 budov), následované stupněm VN (7 budov). Nejvyšší stupeň rizika je pro tuto kategorii budov stupeň S-V, do kterého jsou zařazeny 2 budovy.

Tab. 21: Výsledky analýzy rizika na základě inventarizační mapy pro jednotlivé typy budov

Stupeň rizika	Typ budov					
	Obytné budovy		Chaty		Ostatní budovy	
	Počet	Podíl (%)	Počet	Podíl (%)	Počet	Podíl (%)
V	2	6,9	-	-	-	-
S-V	-	-	2	8,0	-	-
S	2	6,9	1	4,0	5	12,5
N-S	4	13,8	5	20,0	16	40,0
VN-N	11	37,9	10	40,0	10	25,0
VN	10	34,5	7	28,0	9	22,5
celkem	29	100	25	100	40	100

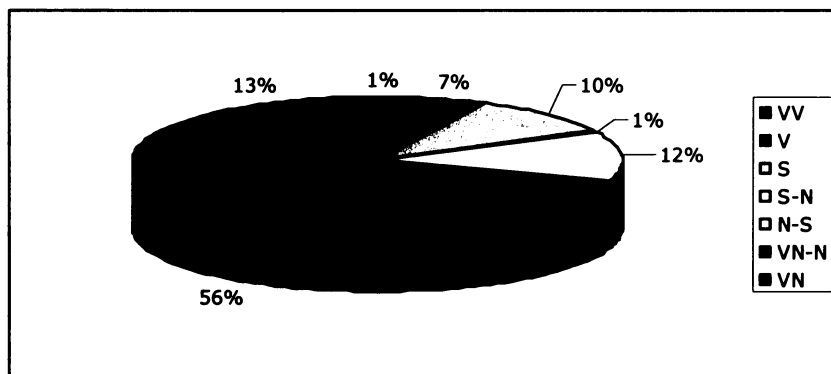
Z hlediska počtu obyvatel v budovách, které se nacházejí v jednom ze stupňů rizika, je příznivé, že nejvyšší počet domů, a zároveň také potenciálně ohrožených obyvatel, bydlí v budovách nacházejících se ve dvou nejnižších stupních rizika (VN-N a VN). V případě VN-N je to 18 obyvatel v 8 domech, stupeň VN zahrnuje 5 domů s celkem 13-ti obyvateli. Ve stupni N-S byla zaznamenána jedna obytná budova s šesti trvale přihlášenými obyvateli. V nejvyšším (v rámci obytných budov) vyměřeném stupni rizika V (vysoké) žádné trvale obydlené domy zaznamenány nebyly. Počty obyvatel obydlených budov v jednotlivých stupních rizika shrnuje tab. 22.

Tab. 22: Počet obyvatel trvale přihlášených v obytných budovách v jednotlivých stupních rizika

Stupeň rizika	Počet obyvatel	Počet domů
V	-	-
S-V	-	-
S	1	1
N-S	6	1
VN-N	18	8
VN	13	5
celkem	38	15

6.4.2 Dopravní infrastruktura

V souhrnu všech typů komunikací jednoznačně dominuje (56%) stupeň rizika VN-N (velmi nízké až nízké riziko, obr. 30). Druhý největší, ale zároveň výrazně menší podíl zaujímají komunikace ve stupni rizika VN (13%). Méně jsou zastoupeny kategorie N-S, S a V, které jsou zaujímají podíl 12%, 10% a 7% na celkové délce všech ohrožených komunikací ve studovaném na základě inventarizační mapy. Stupeň rizika VV (velmi vysoký) byl v analýze rizika na základě inventarizační mapy použit ve dvou případech a podílí se na délce ohrožených komunikací 1%.



Obr. 30: Podíly jednotlivých stupňů rizika pro komunikace celkem dle analýzy rizika provedené na základě inventarizační mapy

Výsledky analýzy rizika pro jednotlivé typy komunikací zobrazuje souhrnně tab. 23. V případě silnic II. a III. třídy je z největší části zastoupen stupeň rizika N-S (nízké až střední). Druhým stupněm rizika v pořadí co do délky ohrožené komunikace je stupeň V (vysoké riziko). V tomto stupni rizika se nalézají 320,3 m silnic II. a III. třídy, což je 24,5% délky všech ohrožených silnic na základě inventarizační mapy.

Ve třídě zpevněných cest je nejčastěji zastoupeno riziko stupně VN-N, které bylo určeno pro 57,3% délky všech ohrožených zpevněných cest. Následují stupně rizik VN

(13%), N-S (12,9%) a S (11,1%). Stupně rizika vzniku svahových deformací pro zpevněné cesty jsou zastoupeny menšími podíly.

Podobných výsledků bylo dosaženo u cest nezpevněných. Také zde je vysoký podíl stupně rizika VN-N (60,9%), což je 10,6 km nezpevněných cest ohrožených svahovými deformacemi. Ostatní stupně rizika jsou v případě nezpevněných cest zastoupeny výrazně méně.

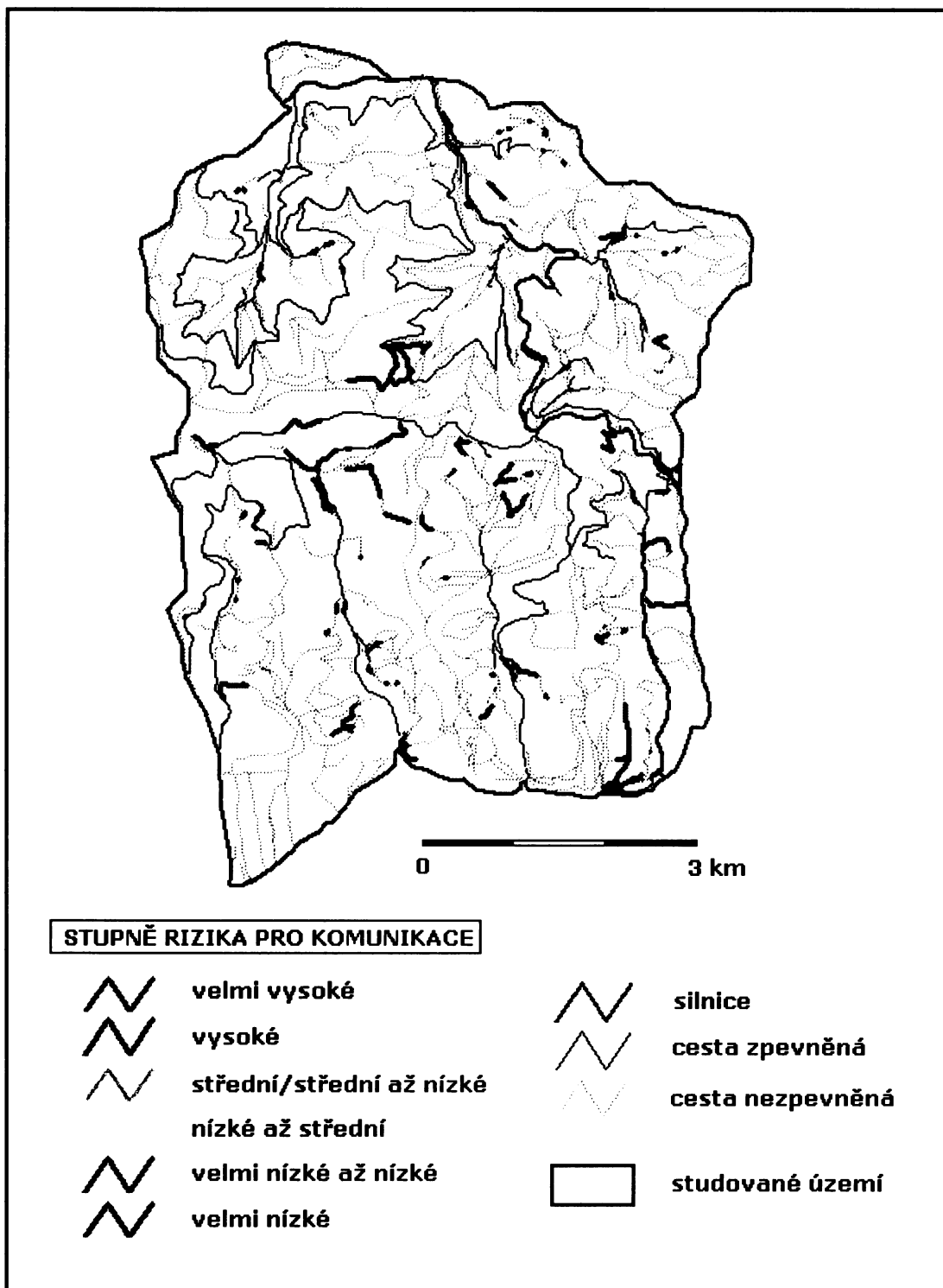
Celkově bylo na základě inventarizační mapy určeno riziko pro 24,9 km všech komunikací, což je 8,5% délky všech komunikací, které se ve studovaném území nacházejí (tab. 24).

Tab. 23: Výsledky analýzy rizika na základě inventarizační mapy pro jednotlivé typy komunikací

Stupeň rizika	Typ komunikace					
	Silnice II. a III. tř.		Zpevněné cesty		Nezpevněné cesty	
	Délka (m)	Podíl (%)	Délka (m)	Podíl (%)	Délka (m)	Podíl (%)
VV	-	-	57,8	0,9	89,7	0,5
V	320,3	24,5	296,5	4,8	1 051,4	6,0
S	247,8	19,0	685,9	11,1	1 533,5	8,8
S-N	-	-	-	-	153,6	0,9
N-S	579,2	44,4	794,6	12,9	1 725,3	9,9
VN-N	56,9	4,4	3 527,8	57,3	10 635,2	60,9
VN	101,2	7,7	799,0	13,0	2 262,9	13,0
Celkem	1 305,5	100	6 161,6	100	17 451,6	100

Tab. 24: Podíl délky komunikací pro něž bylo určeno riziko na celkové délce komunikací daného typu

	Délka (m)	Podíl (%)
Silnice II. a III. tř.	12 392,8	10,5
Zpevněné cesty	77 416,2	8,0
Nezpevněné cesty	202 102,0	8,6
Celkem	291 911,0	8,5



Obr. 31: Výsledná mapa analýzy rizika na základě inventarizační mapy pro dopravní infrastrukturu

6.4.3 Ostatní potenciálně ohrožené objekty

Trasa vedení vysokého napětí je dle rizika vypracovaného na základě inventarizační mapy ohrožena celkem na 1 607,1 m své délky (tab. 25). Z této délky zaujímá největší část stupeň rizika S (40,6 %), což představuje 653,2 m délky elektrického vedení (tab. 26). O něco menší podíly mají stupně VN-N (30,2%) a N-S (23,4%). Nejkratší délka elektrického vedení (92,7 m) je ohrožena stupněm rizika V, podíl tohoto stupně je pouze 5,8%.

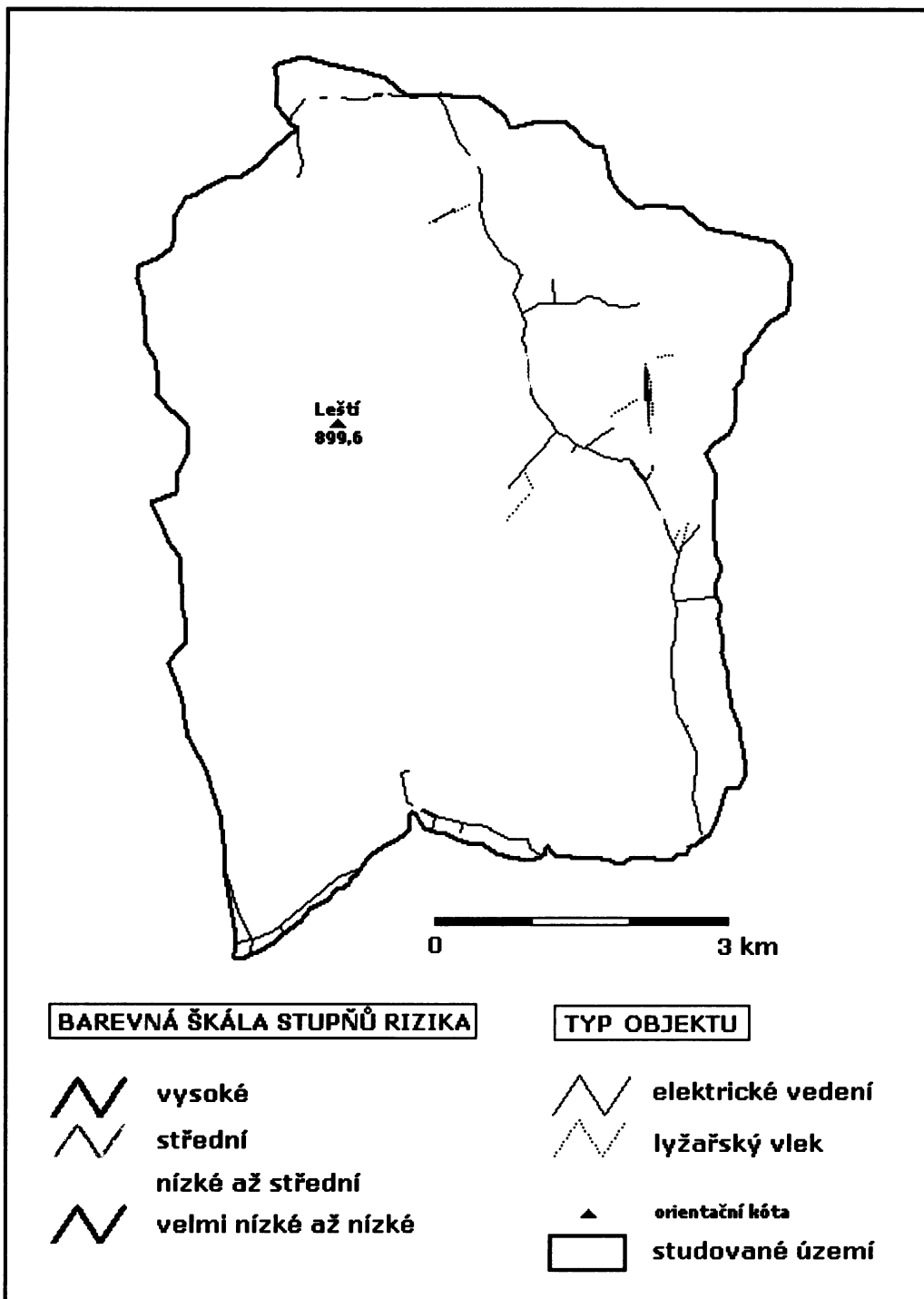
Tab. 25. Podíl délky ohrožených úseků elektrického vedení a lyžařských vleků na jejich celkové délce ve studovaném území

Celková délka ohrožených úseků el. vedení (m)	1 607,1	Celková délka ohrožených úseků lyžařských vleků (m)	1 179,7
Podíl na celkové délce el. vedení (%)	8,2	Podíl na celkové délce lyžařských vleků (%)	37,3

Lyžařské vleky byly při analýze rizika na základě inventarizační mapy zahrnuty do tří stupňů rizika (V, S a VN-N) na 1179,7 m své délky. To je dle tab. 25 37,3% délky všech vleků ve studovaném území. Největší zastoupení má stupeň S (44,7%), za ním následuje stupeň V (35,2%). Nejmenší podíl zbývá v rámci analýzy rizika pro stupeň velmi nízkého až nízkého rizika (VN-N), a to přibližně 1/5. Prostorové vymezení těchto výsledků ve studovaném území zobrazuje obr. 32.

Tab. 26: Výsledky analýzy rizika na základě inventarizační mapy pro elektrické vedení a lyžařské vleky

V	92,7	5,8	414,9	35,2
S	653,2	40,6	527,2	44,7
N-S	375,7	23,4	-	-
VN-N	485,5	30,2	237,6	20,1
Celkem	1 607,1	100	1 179,7	100

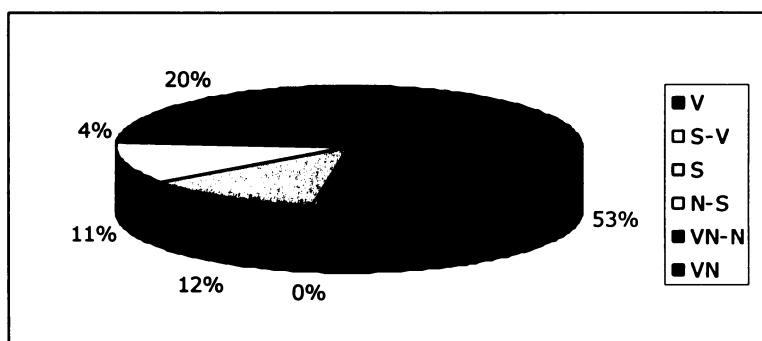


Obr. 32: Výsledná mapa analýzy rizika na základě inventarizační mapy pro elektrické vedení a lyžařské vleky

6.5 Analýza rizika vzniku svahových deformací na základě expertní mapy náchylnosti

6.5.1 Budovy

Výsledky analýzy rizika vzniku svahových deformací pro budovy, provedené na základě expertní mapy, ukazují jako dominantní stupeň rizika V. Celkový podíl tohoto stupně v případě budov ve studovaném území je 53% (obr. 33). Kromě toho lze také pozorovat vysoké podíly tohoto stupně rizika u jednotlivých typů budov (tab. 27). Hlavní příčinou je dle expertní mapy náchylnosti již zmíněný vysoký podíl (63%) studovaného území s nestabilními svahy. Z tohoto důvodu je možná překvapující skutečnost, že druhým nejvíce zastoupeným stupněm rizika je ten nejnižší, tedy VN (20%). Podobné zastoupení mají stupně S (12%) a N-S (11%). Do stupně velmi nízkého až nízkého rizika byly zařazeny pouze 4% budov.



Obr. 33: Podíly jednotlivých stupňů rizika pro všechny typy budov celkem

Již bylo řečeno, že u všech jednotlivých typů budov převažuje stupeň rizika V. Největší podíl budov (68,5%) byl do tohoto stupně zařazen v kategorii chat (tab. 27). Absolutně nejvyšší počet budov v tomto stupni rizika však tvoří objekty kategorie „ostatní budovy“. Celkem bylo z této kategorie zařazeno do vysokého stupně rizika 166 budov (52%).

Do středního stupně rizika bylo začleněno 10,7% obytných budov, 0,6% chat a 20,1% objektů kategorie „ostatní budovy“. V případě posledně jmenované kategorie budov mají nejvyšší zastoupení dva nejvyšší stupně rizika (V a S), když dohromady určují riziko 72,1% objektů této kategorie. Nejnižší podíly v rámci jednotlivých typů budov jsou ve stupni VN-N, v případě chat se jedná také stupeň středního až vysokého rizika, který byl určen pouze pro tuto kategorii budov.

Prostorové rozmístění budov ve studovaném území v rámci zmíněných stupňů rizika je zobrazeno na obr. 34. Vysoký stupeň rizika je především vázán na nestabilní svahy dané sklonem svahů, nižší stupně rizika jsou především v údolních oblastech.

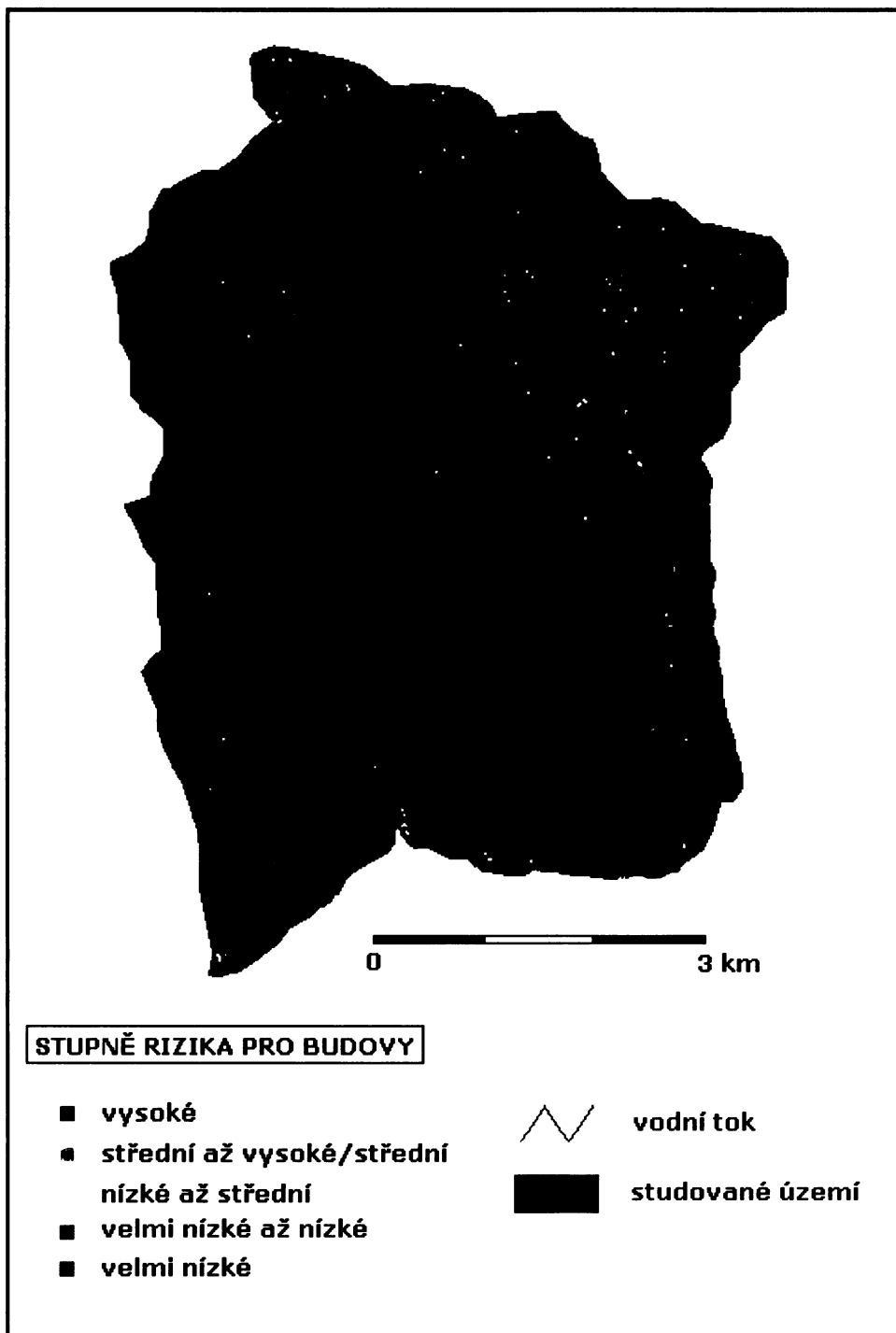
Tab. 27: Výsledky analýzy rizika na základě expertní mapy náchylnosti pro jednotlivé typy budov

Stupeň rizika	Typ budovy					
	Obytné budovy		Chráty		Ostatní budovy	
	Počet	Podíl (%)	Počet	Podíl (%)	Počet	Podíl (%)
V	134	43,5	115	68,5	166	52,0
S-V	-	-	2	1,2	-	-
S	33	10,7	1	0,6	64	20,1
N-S	53	17,2	21	12,5	17	5,3
VN-N	15	4,9	10	5,9	10	3,1
VN	73	23,7	19	11,3	62	19,5
celkem	308	100	168	100	319	100

Vysoký podíl vysokého stupně rizika (V) u obytných budov (43,7% objektů) se odráží také v počtu obyvatel, bydlících v domech s tímto stupněm rizika (tab. 28). Z výsledků analýzy rizika na základě expertní mapy náchylnosti, bydlí v 78 domech vysokého stupně rizika 241 obyvatel. Střední riziko představuje potenciální ohrožení pro 182 obyvatel. V objektech nejnižšího stupně rizika (VN) bydlí celkem 153 obyvatel ve 45 obytných domech.

Tab. 28. Počet obyvatel v budovách v jednotlivých stupních rizika

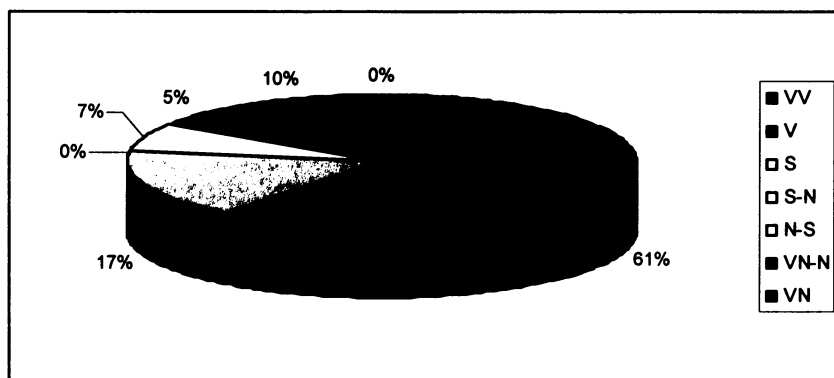
Stupeň rizika	Počet obyvatel	Počet domů
V	241	78
S	182	27
N-S	99	27
VN-N	46	12
VN	153	45
celkem	721	189



Obr. 34: Výsledná mapa analýzy rizika na základě expertní mapy náchylnosti pro budovy

6.5.2 Dopravní infrastruktura

Z hlediska dopravní infrastruktury převažuje, stejně jako v případě budov, zcela dominantním podílem 61% vysoký stupeň rizika (V) (obr. 35). Zbylé stupně rizika mají podíly svého zastoupení daleko nižší. Střední riziko bylo určeno pro 17% délky komunikací, stupeň VN pro 10%. Zbýlých 7% a 5% délky komunikací spadá pod stupně rizika N-S, resp. VN-N.



Obr. 35: Podíly jednotlivých stupňů rizika pro komunikace celkem dle analýzy rizika na základě expertní mapy náchylnosti

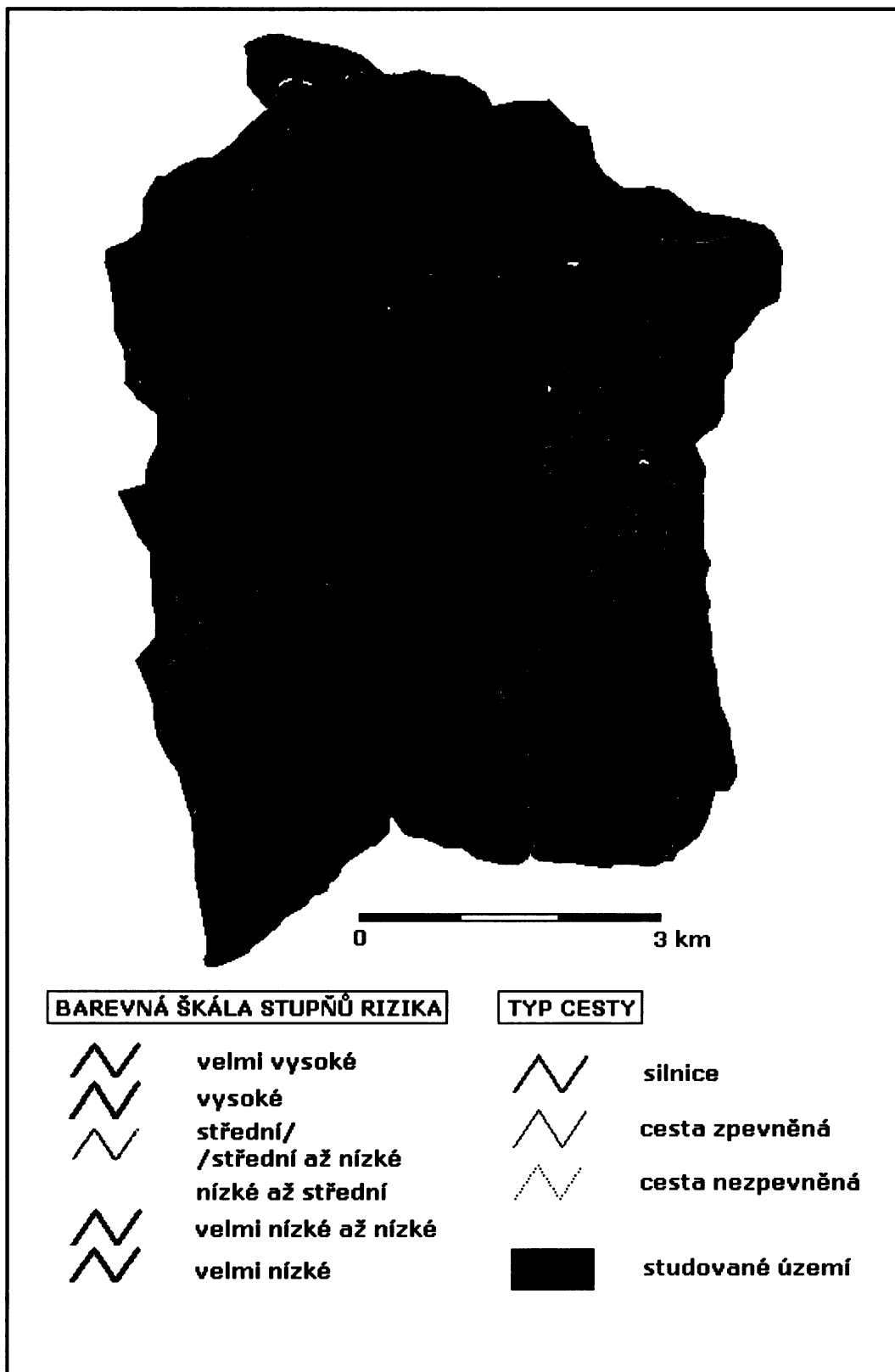
Tab. 29 znázorňuje na zastoupení stupňů rizik jednotlivých kategorií komunikací. V rámci silnice II. a III. třídy je nejčastějším rizikem stupeň S, který byl stanoven pro 48,6% délky těchto komunikací. Druhým největším podílem se vyznačuje pro tento druh komunikací stupeň velmi nízkého rizika (29%), následovaný stupněm VN-N (15,1%).

V případě zbylých dvou kategorií komunikací převažuje již jednoznačně stupeň V. V případě zpevněných cest je ohroženo tímto stupněm 58% délky komunikací, u cest nezpevněných dokonce 65,1% jejich délky, což je 131,6 km. Po stupni V je v rámci zpevněných cest nejvíce zastoupen stupeň N-S, který byl určen pro 23,7% jejich celkové délky. Ostatní stupně rizika jsou v této kategorii komunikací zastoupeny výrazně méně. U cest nezpevněných je druhým nejčastějším stupněm střední riziko (S), které je na základě určující pro 20,7% jejich délky. Ostatní stupně jsou zastoupeny co do podílu ještě méně, než tomu bylo v předchozím případě.

Tab. 29: Výsledky analýzy rizika na základě expertní mapy náchylnosti pro jednotlivé typy komunikací

Stupeň rizika	Typ komunikace		Zpevněné cesty		Nezpevněné cesty	
	Silnice (m)	Podíl (%)	Délka (m)	Podíl (%)	Délka (m)	Podíl (%)
VV	-	-	57,8	0,1	89,7	0,0
V	325,3	2,9	44 923,9	58,0	131 620,2	65,1
S	6 018,1	48,6	693,9	0,9	41 784,6	20,7
S-N	-	-	-	-	153,6	0,1
N-S	585,2	4,7	18 318,3	23,7	1 725,3	0,8
VN-N	1 865,9	15,1	3 544,8	4,5	10 620,2	5,3
VN	3 598,3	29,0	9 877,6	12,8	16 108,4	8,0
Celkem	12 392,8	100	77 416,2	100	202 102,0	100

Prostorové zobrazení jednotlivých typů komunikací dle jejich stupně rizika zobrazuje mapa na obr. 36. Lze na ni dobře zpozorovat vysoké zastoupení stupně rizika V pro zpevněné a nezpevněné cesty, stejně tak převažující stupeň S u kategorie silnic. V případě silnic lze ještě vyzpozorovat skutečnost, že silnice vedoucí údolní nivou (např. údolí potoka Bzový v jihovýchodní části území) má riziko v těchto oblastech, díky menším sklonům, nízké a zahrnuje převážně stupně VN až VN-N. Naopak v oblasti, kde silnice přechází hlavní hřbet studovaného území, tedy území se svahy větších sklonů (a tím na základě expertní mapy náchylnější k tvorbě svahových deformací) se riziko viditelně stupňuje a převažuje zde střední stupeň S (obr. 36).



Obr. 36: Výsledná mapa analýzy rizika na základě expertní mapy náchylnosti pro dopravní infrastrukturu

6.5.3 Ostatní potenciálně ohrožené objekty

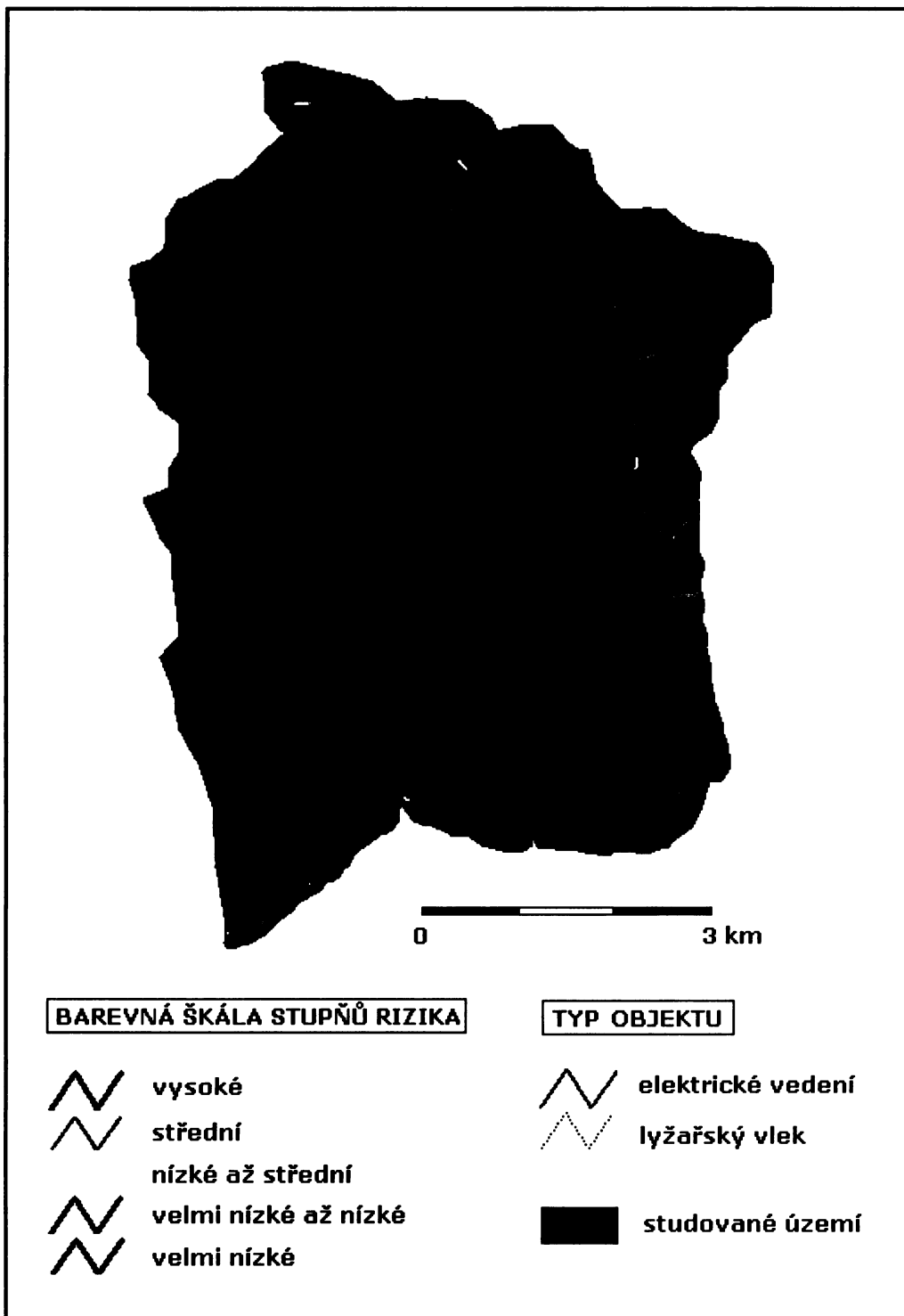
Dle analýzy rizika na základě expertní mapy náchylnosti je elektrické vedení na své trase nejčastěji zařazeno do stupně středního rizika, který zaujímá podíl 66,6% délky elektrického vedení, což je 13,1 km. Především v údolních oblastech bylo pro tento potenciálně ohrožený objekt určeno riziko velmi nízké až nízké, které má podíl 19,3%.

Tab. 30: Výsledky analýzy rizika na základě expertní mapy náchylnosti pro elektrická vedení a lyžařské vleky

V	92,7	0,5	1 915,5	60,6
S	13 121,4	66,6	631,5	20,0
N-S	375,7	1,9	319,9	10,1
VN-N	3 805,5	19,3	246,6	7,8
VN	2 310,9	11,7	46,8	1,5
Celkem	19 706,2	100	3 160,3	100

U lyžařských vleků převažuje stupeň V, zaujímající 60,6% délky lyžařských vleků studovaného území. Ostatní podíly stupňů rizika se postupně snižují se snižujícím se rizikem. Střední stupeň rizika byl vyměřen pro 20% tras lyžařských vleků, stupeň N-S pro 10,1%. Absolutní i relativní zastoupení ostatních stupňů rizika uvádí tab. 30.

Prostorové znázornění jednotlivých stupňů rizika těchto potenciálně ohrožených objektů zobrazuje mapa na obr. 37.

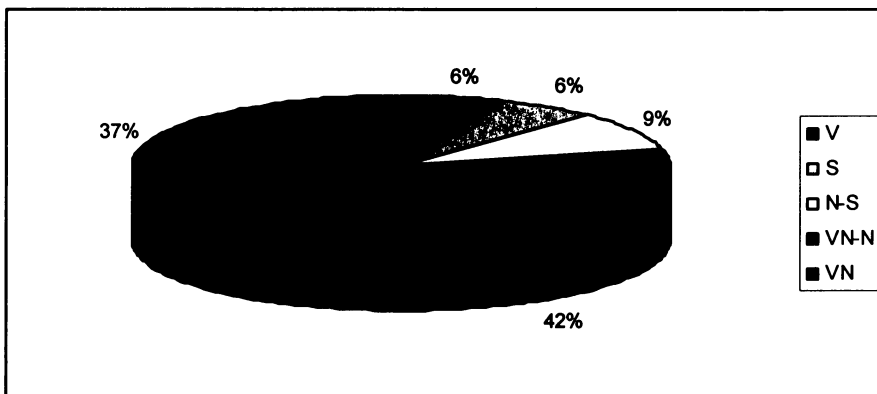


Obr. 37: Výsledná mapa analýzy rizika na základě expertní mapy náchylnosti pro elektrické vedení a lyžařské vleky

6.6 Analýza rizika vzniku svahových deformací na základě fyzikálního modelu náchylnosti

6.6.1 Budovy

Dle analýzy rizika budov provedené na základě fyzikálního modelu náchylnosti mají největší zastoupení nejnižší stupně rizika VN a VN-N (obr. 38). Dohromady činí podíl budov v těchto stupních rizika 79%. Podíly počtu budov ve stupních rizik N-S, S a V jsou menší (9%, 6% a 6%). Rozmístění budov v uvedených stupních rizika je znázorněno v mapě na obr. 39.

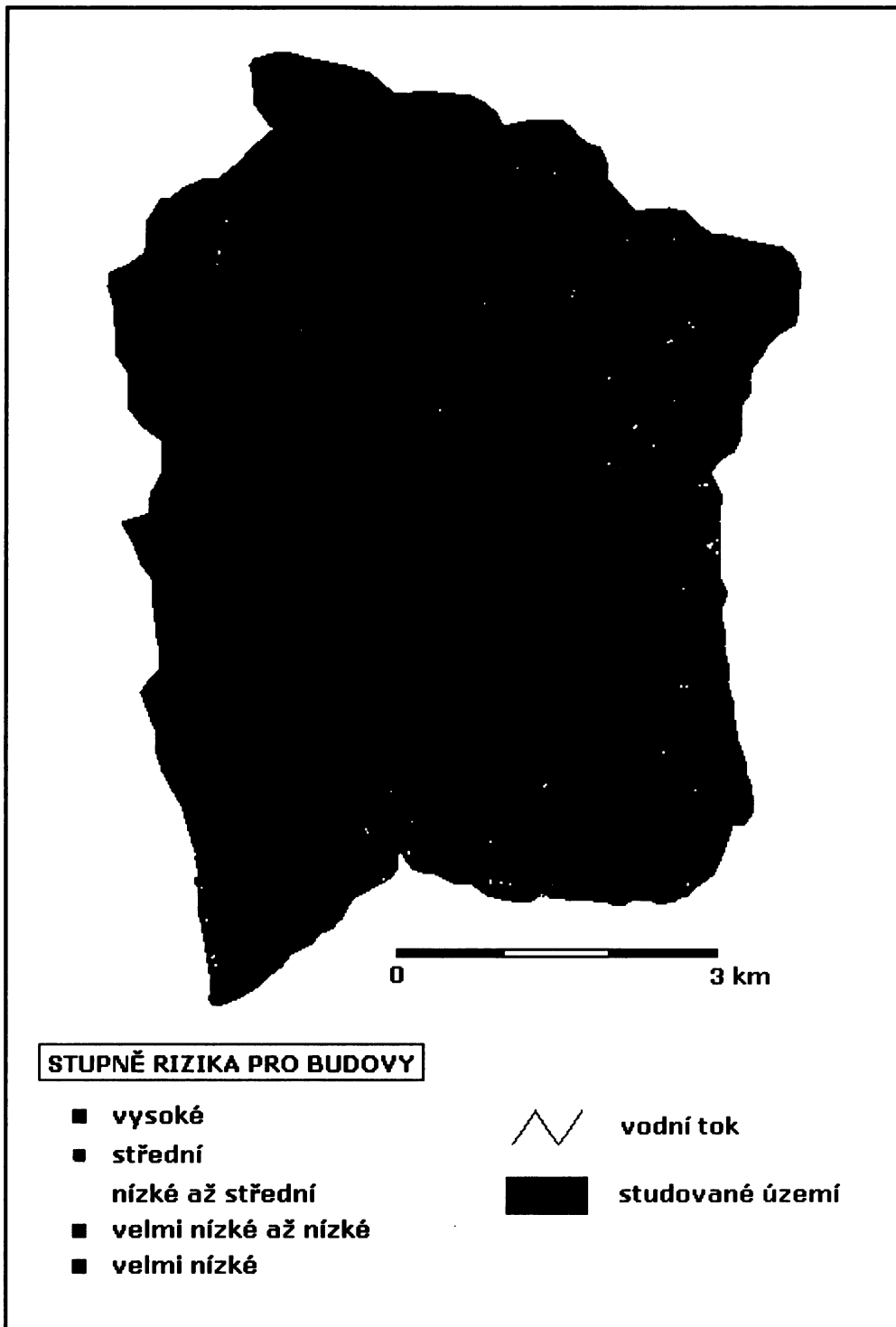


Obr. 38: Podíly jednotlivých stupňů rizika pro všechny typy budov celkem

Uvedené výsledky se odrážejí také v zastoupení stupňů rizik pro jednotlivé typy budov zvláště (tab. 31). Obytné budovy byly ze 60,1% zařazeny do nejnižšího stupně VN, do stupně VN-N bylo zařazeno dalších 66 budov (20,3%). Z ostatních stupňů lze zmínit ještě střední stupeň rizika, ke kterému náleží 32 obytných budov, což je 11,3%. Také v případě chat je nejvyšší podíl objektů ve stupni VN a VN-N (67,3%, resp. 24,7%). Pro kategorii „ostatní budovy“ je určující stupeň VN-N, ve kterém je zařazeno 202 budov (67,3%).

Tab. 31: Výsledky analýzy rizika na základě expertní mapy náchylnosti pro jednotlivé typy budov

Stupeň rizika	Obytné budovy		Chaty		Ostatní budovy	
	Počet	Podíl (%)	Počet	Podíl (%)	Počet	Podíl (%)
V	4	1,4	-	-	43	14,4
S	32	11,3	13	8,0	-	-
N-S	11	3,9	-	-	55	18,3
VN-N	66	23,3	40	24,7	202	67,3
VN	170	60,1	109	67,3	-	-
celkem	283	100	162	100	300	100



Obr. 39: Výsledná mapa analýzy rizika na základě fyzikálního modelu náchylnosti pro budovy

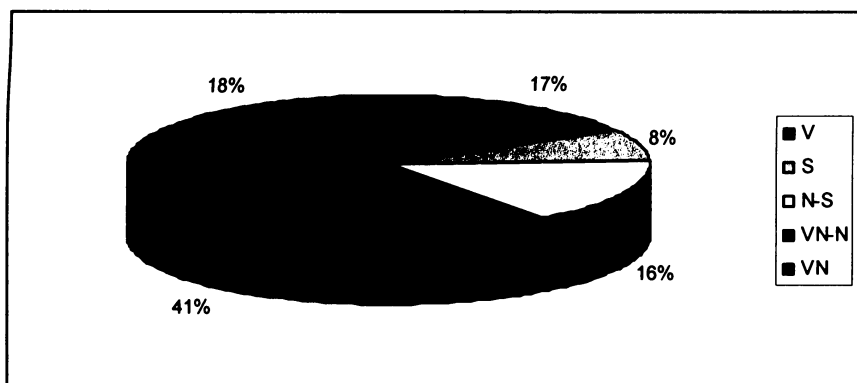
Podílům jednotlivých stupňů rizika obytných budov odpovídá také počet obyvatel v nich (tab. 32). Nejvíce obyvatel (427) bydlí v 94 domech zařazených do stupně VN. Do velmi nízkého až nízkého stupně rizika náleží 50 obydlených budov se 160-ti obyvateli. Nejmenší počet obyvatel (13) bydlí ve 4 domech zařazených do stupně V.

Tab. 32. Počet obyvatel v budovách v jednotlivých stupních rizika

Stupň	Číslo budov	Číslo obyvatel
V	13	4
S	41	13
N-S	25	10
VN-N	160	50
VN	427	94
celkem	666	171

6.6.2 Dopravní infrastruktura

Podobně jako u budov také v případě analýzy rizika pro dopravní infrastrukturu převažují nízké stupně rizika. Největší podíl komunikací náleží do stupně VN-N, a to 41% (obr. 40). Následují vyrovnané podíly délek komunikací ve stupních VN (18%), V (17%) a N-S (16%). Nejmenší zastoupení mají komunikace ve středním stupni rizika (8%).



Obr. 40: Podíly jednotlivých stupňů rizika pro komunikace celkem dle analýzy rizika na základě fyzikálního modelu náchylnosti

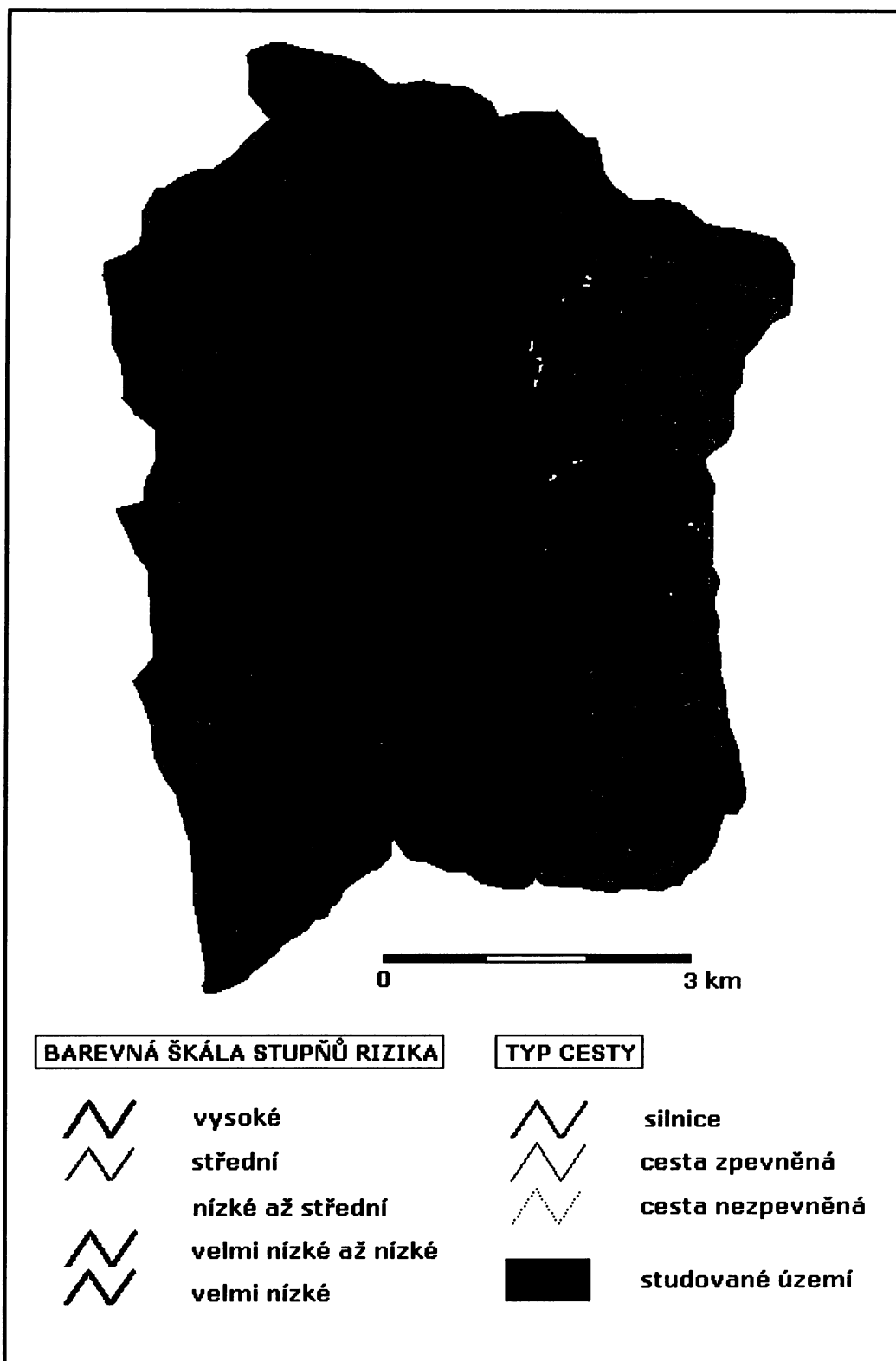
Pro kategorii silnic (silnice II. A III. tř.) byly stanoveny pouze dva stupně rizik (VN a N-S, tab. 33). Zcela dominuje zařazení těchto komunikací do stupně VN (92,6%, což je 9,85 km). Ve stupni N-S je zahrnuto pouze 7,4% délky této kategorie komunikací.

V případě zpevněných a nezpevněných cest již byly vymezeny stupně rizika tři. V kategorii zpevněných cest převažuje taktéž stupeň VN (52,8%), avšak ostatní stupně zaujímají větší podíly než tomu bylo u kategorie silnic. Do stupně S náleží 28,3% zpevněných

cest, do stupně VN 18,9%. Nebezpečné cesty jsou zastoupeny ve stupni velmi nízkého až nízkého rizika podílem 53,6%. Podíly ostatních stupňů rizik nebezpečných cest jsou uvedeny v tab. 33, jejich prostorové vymezení znázorňuje mapa na obr. 41.

Tab. 33: Výsledky analýzy rizika na základě fyzikálního modelu náchylnosti pro jednotlivé typy komunikací

Stupeň rizika	Výsledky analýzy rizika				Nebezpečné cesty	
	Podíl (%)	Podíl (%)	Délka (m)	Podíl (%)	Délka (m)	Podíl (%)
V	-	-	-	-	46 477,2	24,0
S	-	-	21 082,4	28,3	-	-
N-S	788,8	7,4	-	-	43 308,3	22,4
VN-N	-	-	14 107,9	18,9	103 738,1	53,6
VN	9 848,5	92,6	39 436,9	52,8	-	-
celkem	10 637,3	100	74 627,2	100	193 523,6	100



Obr. 41: Výsledná mapa analýzy rizika na základě fyzikálního modelu náchylnosti pro dopravní infrastrukturu

6.6.3 Ostatní potenciálně ohrožené objekty

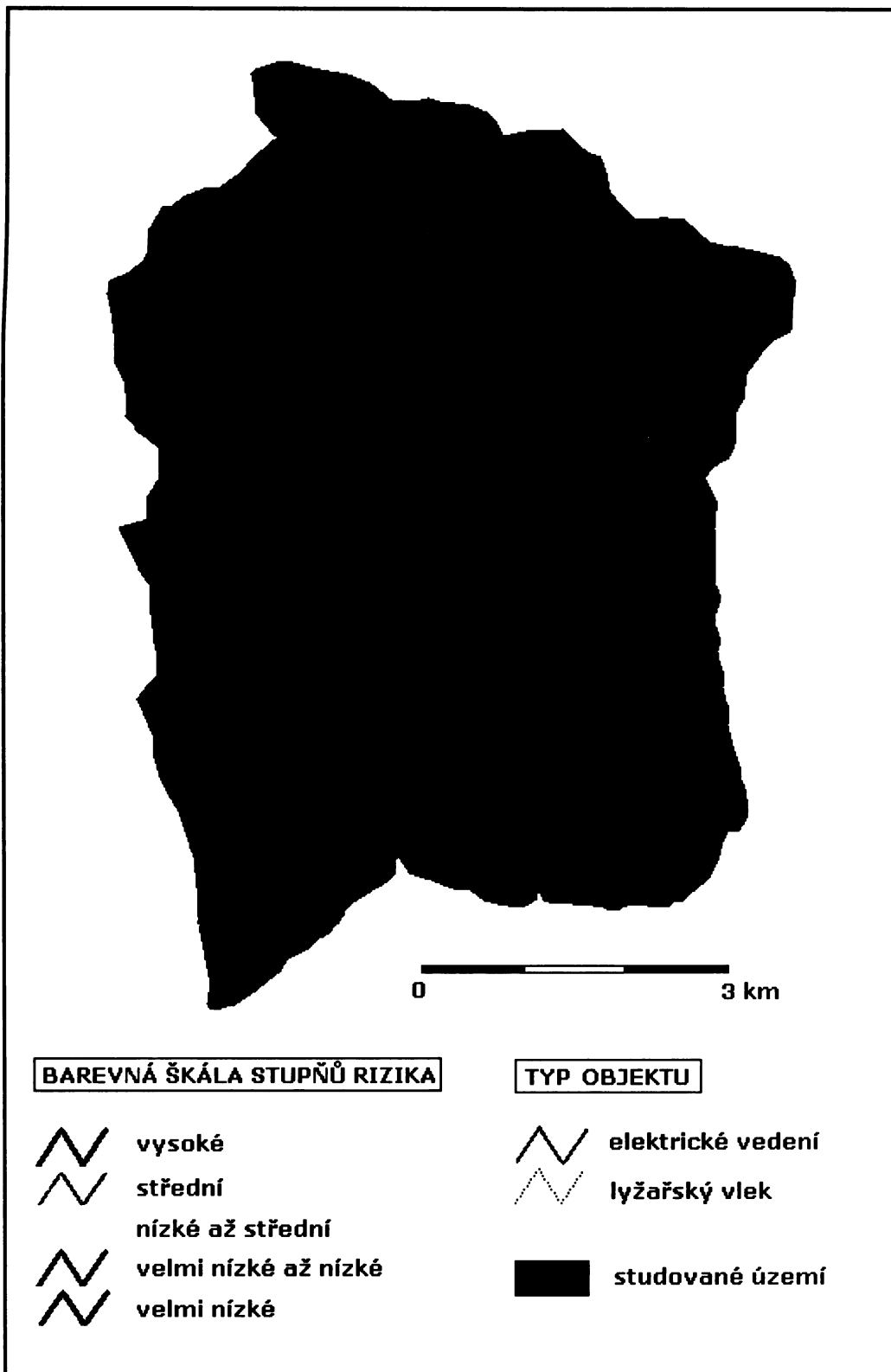
Výsledky analýzy rizika na základě fyzikálního modelu náchylnosti zobrazuje tab. 34 a mapa na obr. 42.

Analýza rizika na základě fyzikálního modelu pro elektrické vedení stanovila pro tento potenciálně ohrožený objekt tři stupně rizika. Nejdlejší část vedení (70,1%) náleží do stupně rizika VN. Zbylé stupně (VN-N s N-S) jsou zastoupeny 18,4%, resp. 11,5%.

Největší délka lyžařských vleků (podíl 56,1%) spadá do stupně rizika VN-N. Výrazně menší podíly zaujímají stupně N-S, V a VN. Střední stupeň rizika S zahrnuje podíl nejmenší (3,2%).

Tab. 34: Výsledky analýzy rizika na základě fyzikálního modelu náchylnosti pro elektrická vedení a lyžařské vleky

V	-	-	420,2	13,3
S	2 024,6	11,5	99,9	3,2
N-S	-	-	519,4	16,4
VN-N	3 244,7	18,4	1 771,8	56,1
VN	12 335,6	70,1	348,9	11,0
Celkem	17 604,9	100	3160,2	100

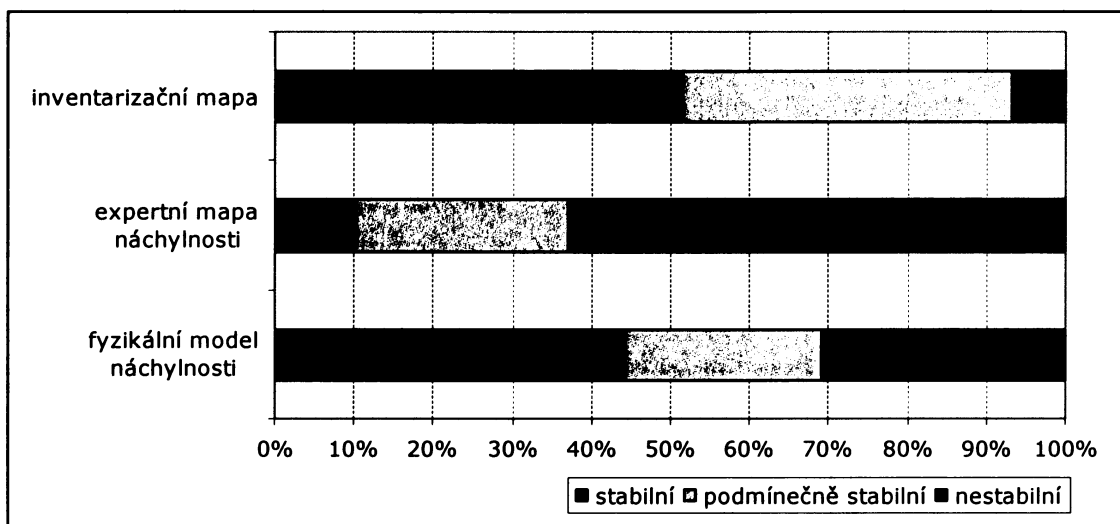


Obr. 42: Výsledná mapa analýzy rizika na základě fyzikálního modelu náchylnosti pro elektrické vedení a lyžařské vleky

7 DISKUSE

7.1 Srovnání výsledků vytvořených modelů náchylnosti území ke vzniku svahových deformací

Srovnávat inventarizační mapu svahových deformací s ostatními modely náchylnosti není tak zcela jednoduché. Svahové deformace totiž celkem zabírají pouze 11,8% studovaného území, zatímco ostatní vytvořené modely náchylnosti charakterizují náchylnost pro celé studované území. Inventarizační mapa je do srovnávacího grafu modelů náchylnosti na obr. 43 zařazena tím způsobem, že jednotlivé kategorie aktivity svahových deformací inventarizační mapy byly reklasifikovány stejným způsobem jako tomu bylo při tvorbě expertní mapy a zbytek studovaného území není uvažováno. Toto srovnání mohlo být provedeno z toho důvodu, že se analýza rizika na zbylém území, kde se známé svahové deformace nevyskytují, také neprováděla.



Obr. 43: Porovnání zastoupení jednotlivých tříd náchylnosti vytvořených modelů náchylnosti

Jistá chyba při tvorbě inventarizační mapy studovaného území mohla být zanesena v podobě nesprávně určeného hlavního procesu vzniku svahových deformací. Mnohdy těžké a velice subjektivní je např. oddělení potenciálních svahových deformací od těch, které vznikly procesem ploužení. Morfologické znaky jsou v těchto případech mnohdy podobné a zařazení do té či oné kategorie svahových deformací se může v rámci různých pracovníků v terénu lišit. Podobné sporné situace mnohdy nastávají při určení aktivity svahové deformace. Ta musela být určena pouze pomocí morfologických tvarů (čerstvých, popř. zastřených), jelikož

žádné podrobné měření aktivity nebylo k dispozici. Autor využíval také porovnání s popisy jednotlivých svahových deformací k inventarizačním mapám ČGS.

Jistou chybou, co se týče plochy zaznamenaných svahových deformací v inventarizační mapě, může vnést její zákres do DMR v prostředí GIS. Také lokalizace svahové dané svahové deformace se může od skutečné polohy v reliéfu mírně lišit. Zásahu na tom má odlišnost DMR od reálného reliéfu a také podkladová data ZABAGED nejsou vždy uspokojivě přesná. V mnoha případech např. menší tok nevedl dle vrstevnicové vrstvy údolnicí, ale po svahu. V případě, že se nacházela svahová deformace blízko takového vodního toku, byla dána přednost zákresu svahové deformace výškopisné vrstvě před polohopisnou, aby poloha svahové deformace odpovídala morfologii DMR.

Fyzikální model náchylnosti se zastoupením jednotlivých tříd náchylnosti blíží k inventarizační mapě nejvíce. Výraznější odchylka ve srovnání s inventarizační mapou je způsobena větším podílem náchylné třídy ke svahovým deformacím na úkor podmíněně stabilní třídy. Podobnost v zastoupení jednotlivých tříd fyzikálního modelu a inventarizační mapy se odráží také ve srovnatelných výsledcích kvalitativní analýzy rizika na základě těchto dvou modelů (viz dále).

To, že výsledek fyzikálního modelu náchylnosti je závislý na kvalitě vstupních dat, pojednává kap. 2.3.2. Chybu modelu rovněž způsobuje rozdílnost DMR od skutečného reliéfu, místních geologických a hydrologických podmínek a odlišnost geotechnických parametrů. Zmíněné rozdíly mohou být např. výsledkem toho, že mechanické vlastnosti zemín v místě smykové plochy mohou být odlišné od těch, které byly zjištěny laboratorními zkouškami (Klimeš, 2007).

Expertní mapa náchylnosti vytvořila nejpesimističtější prognózu náchylnosti studovaného území ke vzniku svahových deformací. 63% území je zahrnuto v nestabilní třídě náchylnosti, což je především způsobeno sklonitým charakterem reliéfu studovaného území. Nestabilní třída náchylnosti pokrývá velkou část území, kde svahové deformace v minulosti nikdy nevznikly nebo nebyly zaznamenány. Mapa sklonů byla sice v rámci vzniku expertní mapy doplněna známými svahovými deformacemi, i tak se však jedná o jednoznačně rozdílné zastoupení jednotlivých tříd náchylnosti, než v případě inventarizační mapy a fyzikálního modelu náchylnosti. Použití modelu náchylnosti definovaného na základě intervalů sklonů svahů pro území Vsetínských vrchů vyloučil také Klimeš (2007).

7.2 Srovnání výsledků analýz rizika vzniku svahových deformací na základě jednotlivých modelů náchylnosti území ke vzniku svahových deformací

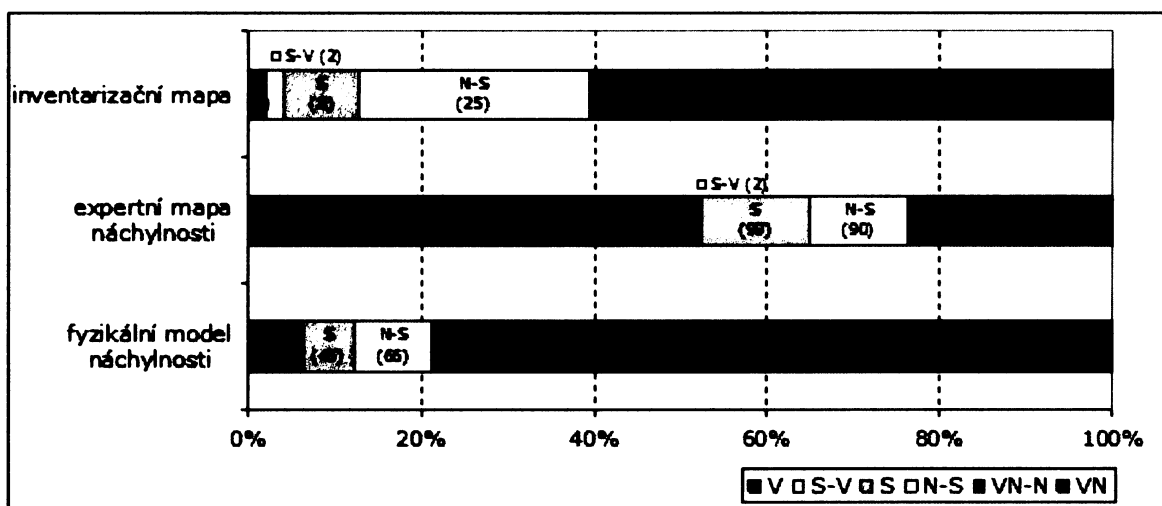
Výsledky analýzy rizika jsou značně závislé na zvolených modelech náchylnosti území ke vzniku svahových deformací. Srovnání výsledných analýz rizik je mnohdy obtížné a spíše orientační, jelikož tyto analýzy jsou založeny na třech různých modelech náchylnosti. Inventarizační mapa analyzuje riziko na základě známých existujících svahových deformací a ostatní území pokládá za stabilní a riziko pro něj počítáno není. Expertní mapa náchylnosti a fyzikální model určují náchylnost území ke vzniku určitého konkrétního typu svahové deformace (z tohoto důvodu se různí také možné škody a časová pravděpodobnost vzniku události), a to na rozdíl od inventarizační mapy pro celé studované území.

Také sesuvné ohrožení bylo pro inventarizační mapu zvoleno odlišné než tomu bylo v případě sesuvného ohrožení pro expertní mapu a fyzikální model náchylnosti (viz kap. 5.2). Ve všech případech se vychází ze středního intervalu opakování srážek (ČHMÚ), které by mohly zapříčinit vznik daného typu svahové deformace. Sesuvné ohrožení inventarizační mapy bylo odhadnuto na základě středního opakovacího intervalu nejvyšších třídních srážek z července 1997, které způsobily vznik velkého množství svahových deformací nejen ve studovaném území. Pro expertní mapu a fyzikální model náchylnosti byl použit střední interval opakování nejvyšších jednodenních srážek, které autor považuje pro vznik sesuvů o velikosti do 500 m² (expertní mapa náchylnosti) a mělkých svahových deformací (fyzikální model náchylnosti) za dostačující. Je nutno brát v úvahu, že jednotlivé časové intervaly sesuvného ohrožení, do kterých byly svahové deformace při analýze rizika rozděleny, jsou pouze orientační a slouží k přibližnému časovému odhadu vzniku svahové deformace, jejíž vznik je podmíněn vysokými srážkovými úhrny za určité časové období. Sice se jedná o údaje na základě dat ČHMÚ, avšak i ty byly vytvořeny pouze na základě jedné takto významné srážkové události (červenec 1997) a mohou se tedy ve skutečnosti lišit.

Přes výše uvedené odlišnosti modelů náchylnosti území byly výsledky analýz rizika, provedené na základě jednotlivých modelů náchylnosti, vzájemně porovnány a výsledná zastoupení jednotlivých stupňů rizika u daných modelů náchylnosti odůvodněny.

7.2.1 Budovy

Z porovnávacího grafu výsledků analýzy rizika pro budovy (obr. 44) je ve dvou případech patrná převaha nízkých stupňů rizika (VN a VN-N). Jedná se o analýzy rizik vzniku svahových deformací provedených na základě inventarizační mapy svahových deformací a fyzikálního modelu náchylnosti. V případě inventarizační mapy převažují nízké stupně rizika VN a VN-N více než 60% podílem, u fyzikálního modelu je to dokonce podíl 79%. Analýza na základě expertní mapy naopak zahrnuje 53% budov do stupně rizika vysokého (V).



Obr. 44: Porovnání výsledků analýz rizika vzniku svahových deformací pro budovy (čísla v závorkách udávají počet budov v daném stupni rizika pro výsledky analýz rizik na základě jednotlivých modelů náchylnosti)

Důvod zařazení vysokého podílu nízkých stupňů rizik na základě inventarizační mapy je ten, že se jedná o objekty ohrožené stabilizovanými, popř. dočasně uklidněnými svahovými deformacemi, které mohou na potenciálně ohrožených budovách způsobit nanejvýš střední škody a pravděpodobnost vzniku události je relativně nízká (stupeň dle tab. 10 a 12 D až E). Tyto svahové deformace jsou plošně rozsáhlejší, což způsobuje, že se na nich nachází více potenciálně ohrožených budov, než je tomu v případě aktivních, zpravidla menších svahových deformací. Tato zdůvodnění výsledků platí rovněž budovy zařazené do stupně nízkého až středního rizika (N-S).

Stupeň středního rizika (S) zahrnuje ve studovaném území budovy, které jsou ohroženy dočasně uklidněnými, popř. potenciálními svahovými deformacemi, které by způsobily větší škody (ve škále možných materiálních škod stupeň 2), anebo se jedná o budovy ohrožené aktivnějšími sesuvy, které mohou způsobit škody střední až menší.

Stupeň rizika S-V je zastoupen pouze ve dvou případech budov. Jedná se o objekty střední zranitelnosti (v tomto případě chaty) nacházející se v bezprostřední blízkosti mohutné svahové deformace, známé pod názvem Hutisko–Solánek–les (na listu 25-23-19 inventarizační mapy svahových deformací ČGS pod č. 62). Na základě závěrečných zpráv o provedení geotechnického průzkumu v této lokalitě bylo dle geofyzikálních anomálií zjištěno, že za nepříznivých okolností hrozí rozšíření stávající svahové deformace o 100 m do délky a o 80 m po obou stranách, čímž by při podobných ničivých následcích, jako v roce 1997 hrozila destrukce těchto budov.

V případě dvou obytných domů ve stupni rizika V se jedná o ohrožení objektů vysoké zranitelnosti, jejichž ohrožení způsobují akumulace aktivních, relativně větších svahových deformací.

Z důvodu výrazné převahy stupňů rizika VN a VN-N (79%) ve výsledcích analýzy rizika na základě fyzikálního modelu autor pracuje s hypotézou, že pokud model SINMAP zařadil 45,9% studovaného území do stabilní třídy náchylnosti, bude podíl domů v této třídě náchylnosti ještě vyšší. Při kvalitativní analýze rizika na základě fyzikálního modelu náchylnosti totiž naleží stupně rizika VN a VN-N především ke stabilním svahům, kde je výskyt svahových deformací ojedinělý (viz kap. 5.3.5). Porovnání procentuálního zastoupení stabilní třídy náchylnosti ve studovaném území a počet budov v této třídě náchylnosti udává tab. 35.

Tab. 35: Srovnání podílu stabilní třídy náchylnosti studovaného území na základě fyzikálního modelu a podílu počtu budov v ní

	45,9%
	69,3%

Tab. 35 potvrzuje hypotézu a ve studovaném území se dle fyzikálního modelu náchylnosti nachází 69,3% budov ve stabilní třídě náchylnosti. Naopak nestabilní třídě odpovídají budovy zařazené do stupňů rizika V, S a částečně N-S (viz tab. 12 pro kvalitativní výpočet rizika). Vysoké podíly nízkých stupňů rizika spolu s nízkými podíly stupňů vyššího rizika souvisí také s menšími předpokládanými škodami, které mohou mělké svahové deformace způsobit.

⁷ Vzhledem ke skutečnosti, že výsledná mapa fyzikálního modelu náchylnosti studované území v některých okrajových zónách deformuje, je celkový počet budov ve všech třídách náchylnosti na základě fyzikálního modelu menší (745 namísto 795). Podíl v tab. 35 je tedy podílem zmíněné menší hodnoty počtu budov.

Na rozdíl od předešlých výsledků analýz rizika pro budovy založených na inventarizační mapě a fyzikálním modelu náchylnosti je v případě expertní mapy náchylnosti dominantním způsobem zastoupen stupeň V (vysoké riziko). Jak již bylo řečeno, 63% studovaného území bylo na základě expertní mapy náchylnosti zařazeno do nestabilní třídy, a tak vysoký podíl budov ve stupni rizika V je způsoben především tímto faktem.

Pro analýzu rizika části expertní mapy náchylnosti, kterou tvoří třídy náchylnost definovaná sklonem svahů, byla zvolena určující svahová deformace typu sesuv do velikosti 500 m². Přestože stupeň odhadovaných materiálních škod není vzhledem k rozměrům sesuvu velký, jedná o svahovou deformaci, u které byla pravděpodobnost vzniku v nestabilní třídě náchylnosti nastavena na nejvyšší úroveň (stupeň A v tab. 10). Znamená to, že dle tab. 12 je pro potenciálně ohrožené objekty (v tomto případě budovy) se střední a vysokou zranitelností riziko jejího vzniku vysoké (stupeň rizika V).

Pro potenciálně ohrožené budovy (a také všechny ostatní potenciálně ohrožené objekty), které jsou lokalizovány na existujících svahových deformacích expertní mapy náchylnosti, byly výsledky převzaty z analýzy rizika provedené na základě inventarizační mapy. Autor tak nepřistupoval k třídám náchylnosti existujících svahových deformací stejně jako k třídám náchylnosti definovaných na základě sklonů svahů. Bylo tak učiněno z důvodu zamezení vzniku velké chyby při analýze rizika, která by vznikla stejným přístupem k oběma částem expertní mapy. Při analýze rizika na základě inventarizační mapy bylo totiž přistupováno k jednotlivých vzniklým svahovým deformacím mnohem individuálněji, a těchto výsledků bylo pro část expertní mapy, kterou tvoří známé svahové deformace, využito.

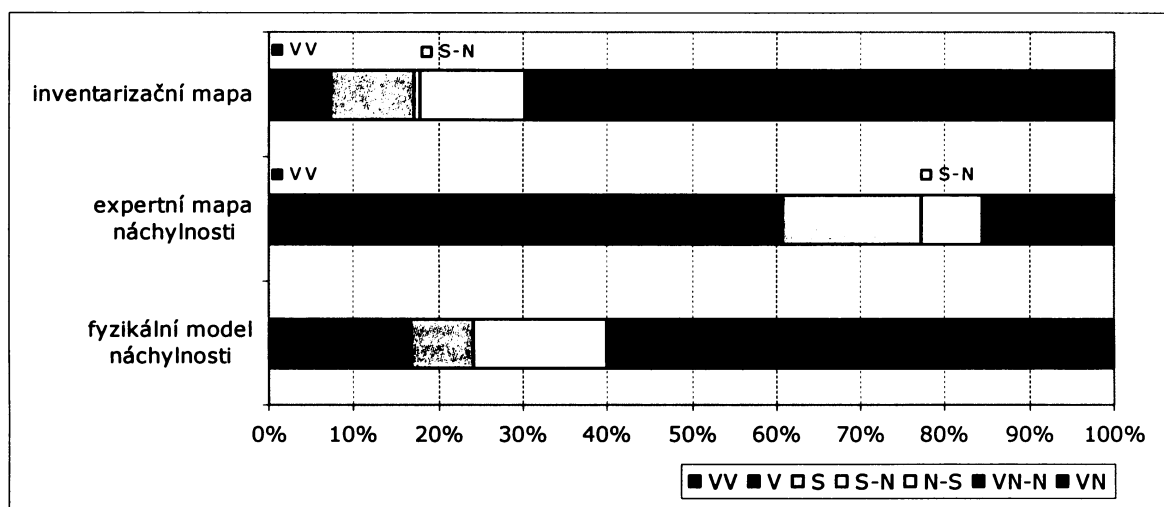
Stupeň VN má po stupni rizika V druhé nejvyšší procentuelní zastoupení, což je způsobeno tím, že pro stabilní třídu náchylnosti části expertní mapy, definované na základě sklonů svahů, byl vznik svahových deformací vyloučen (stupeň F). Tyto stabilní třídy náchylnosti tvoří hřbetnice a dna údolí, ve kterých se nachází nemalý podíl potenciálně ohrožených budov.

Třída podmíněčně stabilních svahů tvoří ve většině případů obalové zóny svahů stabilní třídy náchylnosti (definované na základě sklonů svahů) a pro budovy nízké zranitelnosti představuje riziko vzniku svahových deformací velmi nízké až nízké. Takto ale byly zařazeny pouze čtyři budovy z celkových 35, které se v tomto stupni rizika nacházejí. 31 budov bylo totiž do tohoto stupně zařazeno dle výsledků analýzy rizika pro známé svahové deformace na základě inventarizační mapy. Je to nejvyšší podíl výsledků analýzy rizika na základě inventarizační mapy pro budovy na výsledcích celé expertní mapy (viz srovnávací graf počtu budov v jednotlivých stupních rizika na obr. 44).

Zbylé stupně rizika N-S a S jsou určeny pro budovy střední a vysoké zranitelnosti, které se nacházejí na základě sklonů svahů v podmíněčně stabilních částech studovaného území. V případě rizika S se jedná také o budovy nízké zranitelnosti, které se nacházejí v nestabilní třídě definované sklony svahů. Výsledky analýzy rizika na základě inventarizační mapy se na zastoupení budov v těchto stupních rizika expertní mapy náchylnosti podílejí 8,1%, resp. 27,7%.

7.2.2 Dopravní infrastruktura

Ve srovnání zastoupení jednotlivých stupňů rizik v rámci dopravní infrastruktury se stejně jako v případě budov od sebe odlišují dva druhy výsledků. U analýzy rizika na základě inventarizační mapy a fyzikálního modelu náchylnosti opět zcela převažují nízké stupně rizika (VN a VN-N). Také zastoupení ostatních stupňů je v případě obou analýz rizika pro dopravní infrastrukturu nápadně podobné. V kontrastu těchto dvou modelů vystupují výsledky analýzy rizika provedené na základě expertní mapy. Stejně jako v případě budov, tak také v rámci dopravní infrastruktury převažuje stupeň rizika V, v tomto případě dokonce více než 60% podílem.



Obr. 45: Porovnání výsledků analýz rizika vzniku svahových deformací pro dopravní infrastrukturu

V případě analýzy rizika na základě inventarizační mapy je velký podíl stupně VN-N (který doplňuje druhým největším podílem stupeň VN) způsoben tím, že tyto cesty vedou přes rozsáhlé stabilizované komplexní svahové deformace, které pro tyto cesty vzhledem ke své aktivitě (resp. neaktivitě) pohybu příliš velké riziko nepředstavují, a to ani přes relativně vyšší zranitelnost těchto komunikací ve srovnání se silnicemi.

Stupeň N-S, který je zastoupen výrazně méně, byl nejčastěji určen pro komunikace vedoucí přes dočasně uklidněné, popř. potenciální svahové deformace, které na nich mohou způsobit střední škody. Střední stupeň rizika odráží v největším počtu případů svahové deformace menších rozměrů, vznikající v zářezech cest. Ty díky své velikosti způsobí pouze malé škody avšak při jejich relativně častějším vzniku je riziko vyšší než předchozím případě. Ještě méně zastoupený stupeň V značí nejčastěji ohrožení cest aktivními svahovými deformacemi, které mohou způsobit střední, v některých případech i významnější škody na dané komunikaci. Stupeň rizika označován jako VV (velmi vysoký) byl v analýze rizika na základě inventarizační mapy použit ve dvou případech, a to dle metodiky (kap. 5.3.3) pro aktivní svahové deformace, jenž cestu úplně zničily. Jedná se např. komunikaci vedoucí přes relativně velký zemní proud v údolí Malé Brodské (na listu 25–23–24 inventarizační mapy ČGS pod č. 49), která nebyla dodnes obnovena a nenachází se již ani v podkladech databáze ZABAGED (GIS). Jako příklad totální škody komunikace (zcela zničeného potenciálně ohroženého objektu) je však do této analýzy zanesena.

V případě analýzy rizika na základě fyzikálního modelu jsou předpokládané materiální škody plně závislé na zranitelnosti jednotlivých typů komunikací. Po zvolení metodiky se stejně jako v případě budov neuplatňuje žádné subjektivní kritérium a výsledky analýzy odpovídají zranitelnosti potenciálně ohrožených komunikací v jednotlivých třídách náchylnosti.

Výsledky analýzy rizika fyzikálního modelu pro komunikace se nejvíce podobají výsledkům rizika založených na inventarizační mapě. Stupně rizika VN a VN-N totiž převažují a zastoupení ostatních, vyšších stupňů rizika je menší. Převaha nízkých stupňů rizika v případě komunikací je způsobena zahrnutím 45,9% území do stabilní třídy náchylnosti. Pro tuto náchylnost byl v kvalitativní analýze rizika zvolen stupeň pravděpodobnosti E, který pro všechny stupně zranitelnosti komunikací znamená riziko VN, popř. VN-N. Právě stupeň VN-N platí pro vysoce zranitelné nezpevněné cesty, které jsou ve studovaném území nejvíce zastoupeny. Proto stupeň VN-N převažuje i v konečném zastoupení jednotlivých stupňů rizik. Nejnižší stupeň pravděpodobnosti F nebyl pro stabilní třídu náchylnosti zvolen z toho důvodu, že model SINMAP zahrnul 22,1% sesuvů použitých pro tvorbu fyzikálního modelu do stabilní třídy, čímž autor tvorbu svahových deformací v této třídě náchylnosti nevyklučuje.

Stupně rizik N-S odpovídají dle zvolené metodiky buď cestám vysoké zranitelnosti v podmíněčně stabilní třídě, nebo silnicím (nízká zranitelnost) ve třídě nestabilní. Počtem

kilometrů však převažuje jednoznačně první varianta, jelikož nezpevněných cest s vysokou zranitelností je ve studovaném území mnohonásobně více. Stupeň V, který je v tomto případě nejvyšší, zahrnuje nezpevněné cesty v nestabilní třídě náchylnosti.

Výsledky analýzy rizika na základě expertní mapy jsou opět pro potenciálně ohrožené objekty (v tomto případě komunikace) pesimistické, když jednoznačně převládá stupeň rizika V. Je to způsobeno zvolenou vysokou pravděpodobností vzniku svahové deformace (stupeň A) v nestabilní třídě náchylnosti, která převažuje bezmála 2/3 podílem. To znamená, že cesty nezpevněné (vysoká zranitelnost) a zpevněné (střední zranitelnost), které mají v studovaném území největší podíl a vedou územími v nestabilní třídě náchylnosti, jsou zařazeny právě do stupně vysokého rizika V. Stejně tedy jako případě analýzy rizika na základě fyzikálního modelu, se i v tomto případě do výsledku odráží zranitelnost potenciálně ohrožených objektů.

Stupeň rizika S, který má druhý největší podíl, je opět zapříčiněn především nezpevněnými cestami, které vedou přes podmíněčně stabilní oblasti studovaného území v případě expertní mapy.

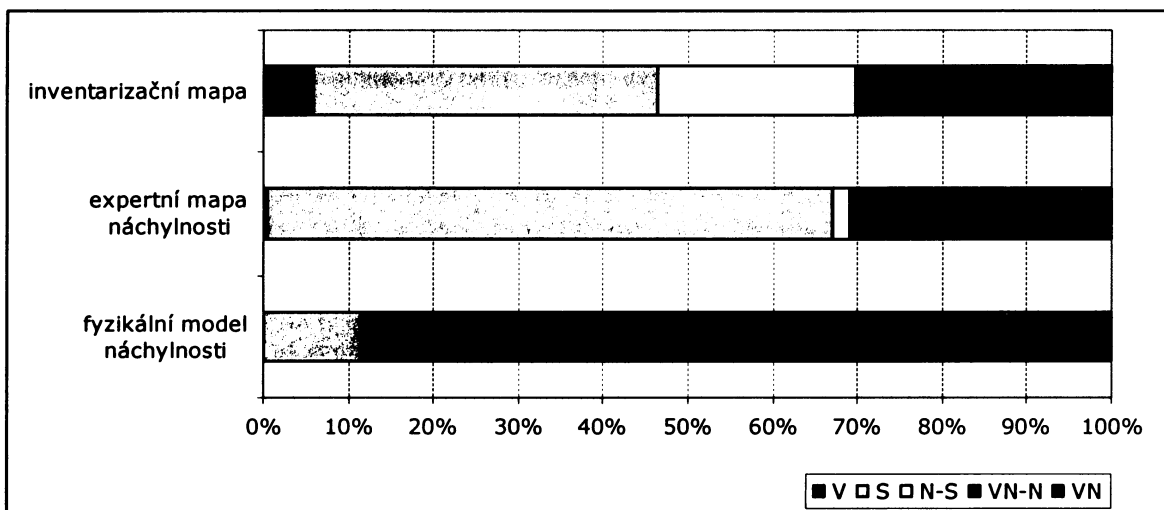
Ve stupni VN jsou z největší části zahrnuty cesty, které vedou stabilními územími (především údolními dny) na základě části expertní mapy definované sklony svahů. Na druhém nejnižším stupni rizika (VN-N) se podílejí především cesty vedoucí přes stabilizované komplexní svahové deformace. Tyto výsledky tedy byly převzaty z analýzy rizika provedené na základě inventarizační mapy.

7.2.3 Ostatní potenciálně ohrožené objekty

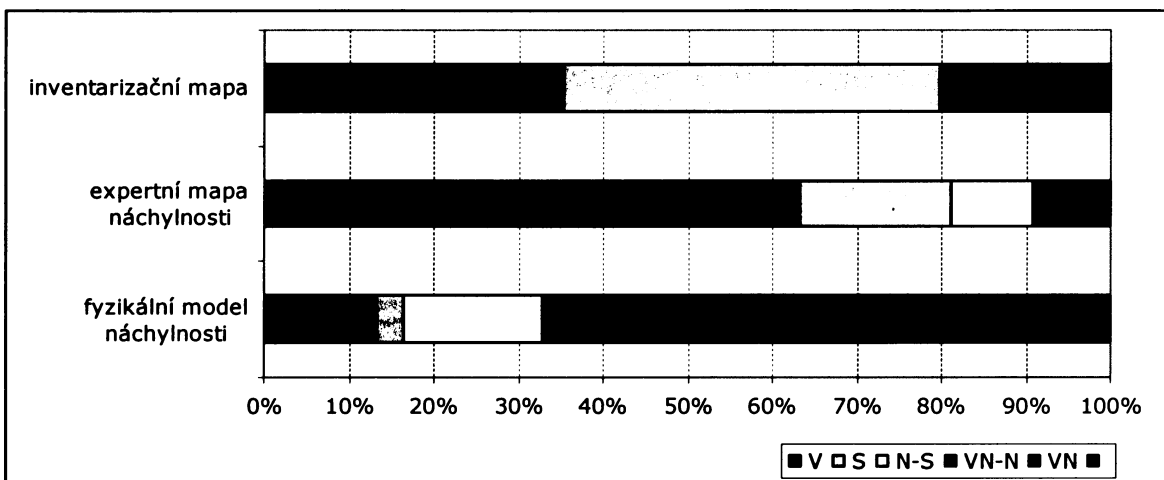
Nejpříznivěji pro trasu elektrického vedení vychází riziko určené na základě fyzikálního modelu náchylnosti (obr. 46). Tentokrát se ovšem neprojevuje podobné zastoupení podílů jednotlivých rizik ve srovnání s výsledky rizika pro inventarizační mapu, jako tomu bylo v případě budov a dopravní infrastruktury. Díky střední zranitelnosti tohoto potenciálně ohroženého objektu je riziko vzniku svahových deformací pro elektrické vedení z více než 70% jeho délky velmi nízké. Je to dobře patrné v severní části studovaného území, kde elektrické vedení probíhá údolím Solaneckého potoka, jenž bylo modelem SINMAP vyhodnoceno jako území stabilní. Pokud vede trasa elektrického vedení přes podmíněčně stabilní, popř. nestabilní území (definované modelem SINMAP), riziko se úměrně tomuto faktu zvyšuje na stupně VN-N, resp. S. Tento jev se projevuje např. ve stoupání trasy

elektrického vedení na hlavní hřbet studovaného území poblíž vrcholu Soláň, kde prochází střídavě jednotlivými třídami náchylnosti.

Podobných výsledků v případě analýzy rizika na základě fyzikálního modelu bylo dosaženo také pro lyžařské vleky (obr. 47). Došlo pouze k posunu jednotlivých stupňů rizik směrem nahoru, především z důvodu vyšší zranitelnosti, která byla pro lyžařské vleky určena.



Obr. 46: Porovnání výsledků analýz rizika vzniku svahových deformací pro trasu elektrického vedení



Obr. 47: Porovnání výsledků analýz rizika vzniku svahových deformací pro lyžařské vleky

Analýza rizika na základě expertní mapy náchylnosti pro ostatní potenciálně ohrožené objekty je ve srovnání ostatními analýzami opět nejpesimističtější. Stejně jako u předcházejících potenciálně ohrožených objektů se i zde projevuje vysoké zastoupení nestabilní třídy náchylnosti dané především sklonem svahů.

V rámci analýzy rizika provedené na základě inventarizační mapy pro ostatní potenciálně ohrožené objekty, byly opět posuzovány pouze ty části elektrického vedení a lyžařských vleků, které se nacházejí na některé z existujících svahových deformací. Střední stupeň rizika, který v případě elektrického vedení převažuje, byl nejčastěji použit pro potenciální svahovou deformaci (stupeň pravděpodobnosti D), která však může způsobit významné škody (stupeň materiálních škod 2). Příkladem tohoto rizika může být potenciální svahová deformace v lokalitě Hutisko–Solánek–Zákopčí, která za nepříznivých okolností může rozšířit existující svahovou deformaci vzniklou v roce 1997 (na listě 25–23–19 inventarizační mapy ČGS pod č. 59) a ohrozit tak vedení vysokého napětí.

V případě lyžařských vleků jsou tyto potenciálně ohrožené objekty ohroženy především v lyžařském areálu na severním svah vrcholu Soláň. Do stupně S byly zařazeny vleky, které se nacházejí na rozsáhlé dočasně uklidněné svahové deformaci, stupeň V pak pro lyžařské vleky, které se nacházejí ve spodní části této dočasně uklidněné svahové deformace, která byla v roce 1997 aktivována. V roce 1997 v tomto prostoru došlo k poškození tratí, obslužných zařízení (stožáry vleků, ovládací kabely, vodovodní potrubí, aj.) a k posunu jedné strojovny (Kirchner, Krejčí, 1997).

7.3 Zhodnocení využitelnosti získaných výsledků

Dle autorova názoru je nejlépe přistupovat k jednotlivým potenciálně ohroženým objektům individuálně a zhodnotit tak reálné riziko na základě existujících svahových deformací. Toto kritérium splňuje analýza rizika na základě inventarizační mapy. Inventarizační mapa, chápána jako heuristický model náchylnosti území ke vzniku svahových deformací (např. Glade, Crozier, 2005b) umožňuje individuální přístup ke každé známé svahové deformaci a dovoluje posoudit míru jejího rizika vůči potenciálně ohroženým objektům. I tato analýza rizika má však několik nedostatků:

- samotná tvorba inventarizační mapy je do značné míry subjektivní a závislá na zkušenostech zpracovatele a měřítku studie (viz kap. 2.3.2), stejně tak jako hodnocení aktivity, popř. nebezpečnosti jednotlivých svahových deformací;
- neobsahuje informace o náchylnosti těch území, o kterých neexistují informace, že by byly svahovými deformacemi postiženy;
- tzn., že ani riziko vzniku svahové deformace nemůže být analyzováno tam, kde se svahové deformace v současné době nevyskytují;

- stejně jako v případě tvorby inventarizační mapy, tak také zvolená kvalitativní analýza rizika je věcí subjektivní a získané výsledky jsou těžko interpretovatelné jinými stranami.

V případě analýzy rizika pro budovy a dopravní infrastrukturu vykazovala podobných výsledků (podílů zastoupení jednotlivých stupňů rizik), jako v případě inventarizační mapy, analýza rizika na základě fyzikálního modelu. Tento fakt ovšem zdaleka nelze brát jako pravidlo. Fyzikální model náchylnosti je určen pro modelování náchylnosti pouze specifického typu svahových deformací a jeho jiná kalibrace (nastavení jednotlivých volitelných parametrů) může výsledek náchylnosti zcela změnit, čímž se následně změní i výsledky rizika vzniku svahových deformací pro potenciálně ohrožené objekty. Stejně tak odhad potenciálních škod, které mohou způsobit svahové deformace predikované modelem SINMAP, se můžou na základě různých zpracovatelů lišit. Jelikož ale ve studovaném území vzniká velké množství svahových deformací, které vyhovují podmínkám fyzikálního modelu, je možné na základě srovnatelných výsledků inventarizační mapy v této práci, model pro přibližný odhad rizika vzniku svahových deformací pro potenciálně ohrožené objekty použít.

Ve srovnání analýzy rizika na základě inventarizační mapy a fyzikálního modelu náchylnosti naopak zcela opačných výsledků dosahovala ve většině případů analýza rizika na základě expertní mapy. Značná relativní výšková členitost studovaného území a sklonitý reliéf určuje vysokou náchylnost definovanou sklony svahů pro velkou část studovaného území a také riziko vzniku svahových deformací je následně pro většinu potenciálně ohrožených objektů vysoké. Tento fakt výrazně neovlivnilo ani zahrnutí známých svahových deformací do expertní mapy náchylnosti. Dle autora se kvalitativní analýza rizika vzniku svahových deformací na základě expertní mapy ve srovnání s ostatními provedenými analýzami rizik osvědčila nejméně.

8 ZÁVĚR

Předložená práce se zabývá hodnocením rizika vzniku svahových deformací ve studovaném území, které je součástí geomorfologického okrsku Soláňský hřbet ve Vsetínských vrších. Studované území je součástí Vnějších Západních Karpat a jeho flyšové podloží je velice náchylné k tvorbě svahových deformací, což se potvrdilo v roce 1997, kdy červencové extrémní srážky vyvolaly vznik celé řady svahových deformací nejen ve studovaném území. Studium rizika vzniku svahových deformací vůči potenciálně ohroženým objektům je v podobně náchylných územích ke vzniku svahových deformací důležité.

K tomuto účelu byly vytvořeny tři modely náchylnosti území ke vzniku svahových deformací, na jejichž základě byly analýzy rizika prováděny. Prvním modelem byla inventarizační mapa svahových deformací. Ta sice neobsahuje informace o postižení území svahovými deformacemi v budoucnu (Glade, Crozier, 2005b), může však být použita jako mapa náchylnosti neobsahující informace o náchylnosti těch území, o kterých neexistují informace, že by byly svahovými deformacemi postiženy (Klimeš, 2007). Inventarizační mapa svahových deformací byla v této práci vytvořena na základě terénních prací a inventarizačních map sestavených ČGS Brno v měřítku 1:10 000. Svahové deformace byly v této mapě členěny podle typu procesu, jakým s největší pravděpodobností vznikly. Zároveň také zobrazují odhadnutý stupeň současné aktivity.

Druhou vytvořenou mapou náchylnosti byla tzv. expertní mapa náchylnosti území ke vzniku svahových deformací. Je vytvořena kombinací inventarizační mapy a mapy sklonů svahů, která definuje jednotlivé třídy náchylnosti na základě sklonitostních intervalů v těch částech studovaného území, kde se dle inventarizační mapy žádné známé svahové deformace dosud nevyskytují.

Třetím vytvořeným modelem náchylnosti byl fyzikální model vytvořený programem SINMAP. Ten vymezuje na základě DMR a specifické inventarizační mapy území náchylné ke vzniku mělkých svahových deformací, které nejsou výrazně podmíněny strukturou nebo erozní činností vodních toků (Pack a kol., 1998).

V porovnání výsledků těchto modelů vykazovaly srovnatelná zastoupení jednotlivých tříd náchylnosti inventarizační mapa a fyzikální model. Expertní mapa náchylnosti se neukázala být vhodným modelem studovaného území ke vzniku svahových deformací, jelikož značně sklonitý reliéf území řadí velkou většinu studovaného území do třídy nestabilní

náchylnosti. Nemožnost použití mapy sklonů jako modelu náchylnosti pro Vsetínské vrchy potvrzuje i Klimeš (2007).

Na základě těchto tří modelů byla provedena kvalitativní analýza rizika vzniku svahových deformací pro definované potenciálně ohrožené objekty. Pro tyto objekty byla převážně na základě dat ČSÚ (budovy) a databáze ZABAGED (silnice, cesty) odhadnuta jejich zranitelnost vůči svahovým pohybům. Sesuvné ohrožení (zahrnutí časové pravděpodobnosti vzniku svahové deformace) bylo určeno pomocí středního opakovacího intervalu nejvyšších úhrnů srážek z července 1997 (ČHMÚ), které svahové deformace v daném časovém horizontu mohou vyvolat.

Jako nejvyužitelnější analýza rizika byla zvolena ta na základě inventarizační mapy. Dovoluje subjektivně přistupovat k jednotlivým svahovým deformacím a odhadovat lépe možné materiální škody. Subjektivnost je ale zároveň slabinou této analýzy, jelikož výsledek takové analýzy rizika velkou měrou závisí na zkušenostech zpracovatele. Navíc analýza rizika nemůže být provedena v těch částech území, kde se žádné svahové deformace v současné době nevyskytují. Co se týče zastoupení jednotlivých stupňů rizika dosahovala ve většině případů podobných výsledků jako inventarizační mapa analýza rizika na základě fyzikálního modelu náchylnosti. Ten je sice určen pouze pro modelování náchylnosti území k mělkým sesuvům vyvolaných nasycením půdního profilu srážkami, avšak tento druh svahové deformace se ve studovaném území vyskytuje velmi často. Analýza rizika na základě expertní mapy dosahovala zcela jiných výsledků, což je především dáno vysokým zastoupením nestabilní třídy náchylnosti expertní mapy náchylnosti. Tento model náchylnosti nebyl zvolen jako vhodný podklad pro analýzu rizika ve studovaném území.

LITERATURA

- AUSTRALIAN GEOMECHANICS SOCIETY (2000): Landslide risk management concepts and guidelines. *Australian Geomechanics*, March, 35(1), s. 49-92.
- BAROŇ, I., CÍLEK, V., KREJČÍ, O., MELICHAR, R., HUBATKA, F. (2004): Structure and dynamics of deep-seated slope failures in the magura flysch nappe, Outer Western Carpathians (Czech Republic). *Natural Hazards and Earth System Science*, 4, EGU, s. 549–562.
- BAROŇ, I. (2004): Structure, dynamics and history of deep-seated slope failures. Ph.D. Thesis, Institute of Geological Sciences, Faculty of Science, Masaryk University Brno, Brno, 98 s.
- BAUM, R. L., SAVAGE, W. Z., GODT, J. W. (2005): TRIGRS – A fortran program for transient rainfall infiltration and grid based regional slope-stability analysis. Open-File Report 02-424, 2005, USGS, <http://pubs.usgs.gov/of/2002/ofr-02-424/>, (last visited february 18, 2007).
- CÁB, R. (2006): Morfometrická analýza Vsetínských vrchů. Ročníková práce. Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha, 60 s.
- CARRARA, A. CARDINALI, M., GUZZETTI, F., REINBACH, P. (1995): GIS technology in mapping landslide hazard. In: Carrara, A., Guzzetti, F. (eds.): *Geographical information systems in assessing natural hazards*, Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, s. 135–176.
- CZUDEK, T. (1997): Reliéf Moravy a Slezska v kvartéru. Brno, 1. vydání, Sursum, 213s.
- CZUDEK, T. (2005): Vývoj reliéfu krajiny České republiky v kvartéru. *Moravské Zemské Muzeum*, Brno, 238 s.
- DEMEK, J. a kol. (1987a): *Zeměpisný lexikon ČSR. Hory a nížiny*. Praha, Academia, 584 s.
- DEMEK, J. (1987b): *Obecná geomorfologie*. Praha, Academia, 476 s.
- DEMEK, J. – NOVÁK, V. a kol. (1992): *Vlastivěda moravská: Země a lid: Neživá příroda*. 1. vydání, Muzejní a vlastivědná společnost, Brno, 242 s.
- GLADE, T., CROZIER, M. J. (2005a): Landslide Hazard and Risk: Issues, Concepts, and Approach. In: Glade, T., Anderson, M., Crozier, M., J. (eds.): *Landslide hazard and risk*. Wiley, Chichester, s. 1–42.
- GLADE, T., CROZIER, M. J. (2005b): The nature of landslide hazard impact. In: Glade, T., Anderson, M., Crozier, M., J. (eds.): *Landslide hazard and risk*. Wiley, Chichester, s. 43–74.
- HAMMOND, C., HALL, D., MILLER, S., SWETIK, P. (1992): Level I stability analysis (LISA) documentation for version 2.0. Gen. Tech. Rep., INT-285., U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station, Ogden, UT, 190 s.
- IVERSON, R. M. (2000): Landslide triggering by rain infiltration. *Water Resources Research*, Vol. 36, s. 1897–1910.
- JELÍNEK, R. (2004): Niektoré problémy vstupných parametrov deterministickej analýzy zosuvného hazardu. In: Klukanová, A., Frankovská, J. (eds.): *Zborník vedeckých prác z konferencie Geológia a životné prostredie*, Bratislava, ŠGÚDŠ, Bratislava, s. 40–45.
- KIRCHNER, K., KREJČÍ, O. (1997): Předběžná zpráva o studiu sesuvů aktivovaných během extrémní srážkové události v červenci 1997 na okrese Vsetín. ČGÚ – Ústav geoniky AV ČR, Brno, 105 s.
- KIRCHNER, K., KREJČÍ, O. (1998): Předběžná zpráva o studiu sesuvů aktivovaných během extrémní srážkové události v červenci 1997 na okrese Vsetín. ČGÚ – Ústav geoniky AV ČR, Brno, 27 s.

- KIRCHNER, K., ROŠTÍNSKÝ, P., KREJČÍ, O. (2003): Geomorphological aspects of slope deformations in Outer Western Carpathians (Eastern Moravia). In: „Laciak, J. (ed.): Abstracts of the Carpatho-Balkan Conference on Geomorphology, Bratislava, 8.–12.9. 2003, Geomorphologica Slovaca, Vol. 1/2003, Bratislava, 38 s.
- KLIMEŠ, J. (2000): Analýza faktorů podmiňující vznik sesuvů na okrese Vsetín. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, Katedra geografie. Olomouc, 110 s.
- KLIMEŠ, J., ROTHOVÁ, H. (2001): Svahové deformace na Vsetínsku – pokus o zavedení GIS pro terenní mapování listu 25–23–24. In: Létal, A. (ed.): Sborník příspěvků z výroční konference České geografické společnosti: „Česká geografie v období rozvoje informačních technologií“, Olomouc, 25.–27. 9. 2001, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, s. 175–180.
- KLIMEŠ, J. (2002a): Analýza faktorů podmiňujících vznik sesuvů na okrese Vsetín. Praha, Geografie – sborník ČGS, roč. 107, č. 1, s. 40–49.
- KLIMEŠ, J. (2002b): Mapování svahových deformací v okrese Vsetín na listě mapy 25–23–24. Praha, Zprávy o geologických výzkumech v roce 2001, ČGS, Praha, s. 162–163.
- KLIMEŠ, J. (2003): Statistické metody tvorby modelů náchylnosti území ke vzniku svahových deformací. In: Mentlík, P. (ed.): Geomorfologický sborník 2 – sborník příspěvků z mezinárodního semináře Geomorfologie 03, Nečtiny, 22.–23. 4. 2003, Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň, s. 279–285.
- KLIMEŠ, J., VILÍMEK, V. (2004): Geomorfologický výzkum faktorů podmiňujících vznik svahových deformací v povodí Vsetínských Bečvy. Podrobná závěrečná zpráva ke grantu GA UK č. 224/2001/B–GEO/PRF, MS, Př. F. UK Praha, Praha, 63 s.
- KLIMEŠ, J. (2007): Analýza podmínek vzniku svahových deformací ve Vsetínských vrších. Disertační práce. Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha, 151 s.
- KREJČÍ, J. (1943): Sesuvná území na Zlínsku. Práce Moravské přírodovědecké společnosti, sv. XV., spis 10, Brno, s. 1–22.
- KREJČÍ, O., BAROŇ, I., BÍL, M., JUROVÁ, Z., HUBATKA, F., KICHNER, K. (2002): Slope movements in the Flysch Carpathians of Eastern Czech Republic triggered by extreme rainfalls in 1997: a case study. Physics and Chemistry of the Earth, 27, 2002, Pergamon, s. 1567–1576.
- KŘÍŽEK, M. (2005): Morfostruktury a morfoskulptury Rusavské hornatiny. Disertační práce. Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha, 211 s.
- LUKNIŠ, M. (1964): Pozůstatky starších povrchov zarovnávaní reliéfu v Československých Karpatoch. Geografický časopis, roč. 16, č. 3, s. 289–298.
- NEMČOK, A., PAŠEK, J., RYBÁŘ, J. (1974): Dělení svahových pohybů. Sborník geologických věd – řada HIG 11, Praha, s. 77–93.
- NEMČOK, A., (1982): Zosuvy ve Slovenských Karpatoch. Bratislava, Veda, 320 s.
- NEUHÄUSLOVÁ, Z. a kol. (1998): Mapa potenciální přirozené vegetace České republiky. Textová část a mapa 1:500 000. Praha, 1. vydání Academia, 341 s.
- ONDRÁŠIK, R., RYBÁŘ, J. (1991): Dynamická inženýrská geologie. SPN, Bratislava, 267 s.
- PACK, R. T., TARBOTON, D. G., GOODWIN, C. N. (1998): Terezin Stability Mapping with SINMAP. Technical Description and Users Guide for version 1.00. Report No. 4114–0, Erratech Consulting Ltd., Salmon Arm, Canada, 76 s.
- PAVELKA, J., TREZNER, J. (eds.) (2001): Příroda Valašska (okres Vsetín). Orchidea, Český svaz ochránců přírody, Vsetín, 568 s.

- PETLEY, D. N., HIGUCHI, T., Ng, K-Y., DUNNING, S. A., ROSSER, N. J., PETLEY, D. J., BULMER, M. H. K. (2005): Towards a new framework for the analysis of slope movements in weathered materials. Geophysical Research Abstracts, Vol. 7, Abstracts of the contributions of the EGU General Assembly Vienna, Austria, 24.–29. 4. 2005. CD ISSN: 1029–7006, European Geosciences Union.
- PROCHÁZKOVÁ, D. (2004): Pojmy. Odborná zpráva č. 1 z projektu „Metodika pro odhad nákladů na obnovu majetku v územích postižených živelnou nebo jinou pohromou a návrh nouzových systémů komunikace mezi orgány veřejné správy při obnově.“ MS, Cityplan spol. s r. o. Praha, Ministerstvo pro místní rozvoj Praha, Praha, 45 s.
- PŘICHYSTAL, A., OBSTOVÁ, V., SUK, M. (1993): Geologie Moravy a Slezska. 1. vydání. Brno: Moravské zemské muzeum ve spolupráci se Sekcí geol. věd PŘF MU, 172 s.
- QUITT, E. (1971): Klimatické oblasti Československa. Brno, 1. vydání, Československá akademie věd – Geografický ústav, Studia Geographica, 88 s.
- RYBÁŘ, J. (1999a): Rozbor příčin zvýšeného výskytu svahových deformací v České republice v červenci 1997. Geotechnika, 2, s. 7–14.
- RYBÁŘ, J. (1999b): Vliv klimatu na vývoj sesuvů a jiných nebezpečných svahových deformací. In: Sborník přednášek k semináři „Quido Záruba 1899–1993, zakladatel československé inženýrské geologie“, Inf. centrum ČKAIT, Praha, s. 36–45.
- RYBÁŘ, J., NEMČOK, A. (1968): Landslide investigations in Czechoslovakia. Proceedings of the 1st Session of the I.A.E.G., Prague, p. 183–198.
- RYBÁŘ, J., NOVOSAD, S. (1989): Coping with landslide problems in Czechoslovakia. In: Brabb, E. E., Harrod, B. L. (eds.): „Landslide – Extent and Economic Significance“, A. A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, s. 203–211.
- SCHUSTER, R. L., KRIZEK, J. R. (eds.) (1978): Landslides analysis and control. Special Report 176. National Academy of Science, Washington D.C., 234 s.
- SCHUSTER, R. L., WIECZOREK, G. F. (2002): Landslide triggers and types. In: Rybář, J., Stemberk, J., Wagner, P. (eds.): Proceedings of the first European conference on landslides, Prague, Czech Republic, June 24. – 26. 2002, A. A. Balkema, s. 59–75.
- ŠÁLEK, M., KRÁČMAR, J., NOVÁK, P., SERVÁK, M. (1997): Využití metod dálkové detekce při povodňových událostech v červenci 1997. Meteorologické zprávy, Vol. 50, s. 177–178.
- ŠINDLAR, M. (1999): Revitalizace toků a jejich niv jako součást protipovodňové ochrany. Příbram, občanské sdružení Voda a krajina, 5 s.
- ŠPŮREK, M. (1966): Problém terminologie svahových jevů. Manuskript. Ústav inženýrské geologie ČSAV, Praha, 99 s.
- ŠPŮREK, M. (1972): Historical catalogue of slide phenomena. Stud. Geographica, 19, Geografický Ústav ČSAV, Academia, Brno, 178 s.
- ŠPŮREK, M. (1979): Československá bibliografie svahových deformací. Geofond, ODIS, Praha, 139 s.
- ŠPŮREK, M. (1985): Československá bibliografie svahových deformací – dodatky I. Geofond, Praha, 105 s.
- TOMÁŠEK, M. (2000): Půdy České republiky. Praha, 2. vydání, ČGÚ, 68 s.
- TSAPARAS, I., RAHARDJO, H., TOLL, D. G., LEONG E. C. (2002): Controlling parameters for rainfall-induced landslides. Computers and geotechnics 29, Elsevier, s. 1–27.
- VAN BEEK, R. (2002): Assessment of the influence in changes in land use and climate on landslide activity in a Mediterranean environment. Netherlands Geographical Studies, NGS 294, Utrecht, 363 s.

- VAN WESTEN, C. J., VAN ASCH, T. W. J., SOETERS, R. (2006): Landslide hazard and risk zonation – why is still so difficult? Bull. Eng. Geol. Env. 65, Springer-Verlag, s. 167-184.
- ZAITCHIK, B. F., van ES, H. M. (2003): Applying a GIS slope-stability model to site-specific landslide prevention in Honduras. Journal of Soil and Water Conservation, Vol. 58, no. 1, s. 45–53.
- ZÁRUBA, Q. (1922–1923): Studie o sesuvných terénech na Vsatsku a Valašsku. Brno, Čas. Morav. mus. zem., č. 20–21, s. 170–180.
- ZÁRUBA, Q., MENCL, V. (1969): Sesuvy a zabezpečování svahů. Praha, 1. vydání, Academia, 224 s.
- ZÁRUBA, Q., MENCL, V. (1982): Landslides and their kontrol. Praha, 2nd edition, Academia, 324 s.

Ostatní zdroje

JAVORNÍKY západ. Soubor turistických map 1 : 50 000. 1. vydání, KTČ Praha, VKÚ, š.p., Harmanec, 1994. Edice KTČ; č. 95.

Vyhodnocení povodňové situace v červenci 1997. Souhrnná zpráva [online]. URL: <<http://www.chmi.cz/hydro/souhrn/uvod.html>> [cit. 20-06-2008].

Česká geologická služba [online]. URL: <<http://www.cgu.cz/>> [cit. 19-03-2008].

Dictionary.com [online]. URL: <<http://www.dictionary.com/>> [cit. 23-08-2008].

PŘÍLOHY

Příloha 1: Seznam grafických prvků v textu

Obrázky:

- Obr. 1: Vymezení studovaného území
Obr. 2: Vztah pojmů při hodnocení rizika (upraveno dle Glade, Crozier, 2005a)
Obr. 3: Geologické poměry studované oblasti (zdroj: ČGS)
Obr. 4: Vymezení geomorfologických okrsků studovaného území (součást geomorfologického celku Hostýnsko – vsetínská hornatina) (upraveno dle Demek et al. /ed./, 1992)
Obr. 5: Vymezení klimatických oblastí studovaného území (upraveno dle Quitt, 1971)
Obr. 6: Průměrné měsíční úhrny srážek v Rožnově p. R. za období 1961 – 90 (zdroj: ČHMÚ)
Obr. 7: Měsíční úhrny srážek ve studovaném území a jeho okolí za měsíc červenec 1997 (zdroj: ČHMÚ)
Obr. 8: Srážkové úhrny (v mm) ve dnech 4. – 8. 7. 1997 v pěti nejbližších srážkoměrných stanicích (zdroj: ČHMÚ); celková suma úhnů srážek za uvedené období v uvedených stanicích je: Horní Bečva 342,8 mm, Huslenky 189,4 mm, Rožnov p. R. 401,1 mm, Valašská Bystřice 325,5 mm, Velké Karlovice 237,3 mm
Obr. 9: Rozmístění srážkoměrných stanic z obr. 8 v okolí studovaného území
Obr. 10: Studované území v povodí Rožnovské a Vsetínské Bečvy
Obr. 11: Vodní toky ve studovaném území
Obr. 12: Půdní poměry studovaného území dle Tomášek (2000)
Obr. 13: Letecký snímek svahové deformace č. 30 (inventarizační mapa svahových deformací ČGS, list 25–23 – 19) (zdroj: [www.Mapy.cz])
Obr. 14: Střední opakovací interval nejvyšších třídních úhrnů srážek v červenci 1997 (zdroj: ČHMÚ, upraveno)
Obr. 15.: Střední opakovací interval nejvyšších jednodenních úhrnů srážek v červenci 1997 (zdroj: ČHMÚ, upraveno)
Obr. 16: Použité listy (1:10 000) inventarizační mapy svahových deformací ČGS
Obr. 17: Podíl svahových deformací dle jejich typu procesu na celkové ploše všech svahových deformací ve studovaném území (jsou zahrnuty také komplexní svahové deformace a území označené jako svahy s četnými drobnými sesuvy)
Obr. 18: Zastoupení svahových deformací dle jejich aktivity (barvy grafu odpovídají jednotlivým stupňům aktivity svahových deformací v inventarizační mapě: červená – aktivní, oranžová – dočasně uklidněné/potenciální, zelená – stabilizované)
Obr. 19: Inventarizační mapa svahových deformací studovaného území
Obr. 20: Podíly jednotlivých tříd náchylnosti expertní mapy náchylnosti
Obr. 21: Expertní mapa náchylnosti území k tvorbě svahových deformací vytvořená na základě mapy sklonů a inventarizační mapy
Obr. 22: Zastoupení jednotlivých tříd náchylnosti na základě mapy sklonů
Obr. 23: Zastoupení jednotlivých tříd náchylnosti na základě inventarizační mapy
Obr. 24: Mapa fyzikálního modelu náchylnosti území k tvorbě svahových deformací vytvořená modelem SINMAP
Obr. 25: Mapa potenciálně ohrožených objektů (severní část studovaného území)
Obr. 26: Mapa potenciálně ohrožených objektů (jižní část studovaného území)
Obr. 27: Prostorové rozmístění budov rozdělených podle jejich zranitelnosti
Obr. 28: Zastoupení jednotlivých stupňů rizika pro budovy celkem dle analýzy rizika provedené na základě inventarizační mapy (stupně rizika: V – vysoké, S – střední, N – nízké, VN – velmi nízké)
Obr. 29: Výsledná mapa analýzy rizika na základě inventarizační mapy pro budovy
Obr. 30: Podíly jednotlivých stupňů rizika pro komunikace celkem dle analýzy rizika provedené na základě inventarizační mapy
Obr. 31: Výsledná mapa analýzy rizika na základě inventarizační mapy pro dopravní infrastrukturu
Obr. 32: Výsledná mapa analýzy rizika na základě inventarizační mapy pro elektrické vedení a lyžařské vleky
Obr. 33: Podíly jednotlivých stupňů rizika pro všechny typy budov celkem
Obr. 34: Výsledná mapa analýzy rizika na základě expertní mapy náchylnosti pro budovy
Obr. 35: Podíly jednotlivých stupňů rizika pro komunikace celkem dle analýzy rizika na základě expertní mapy náchylnosti

Obr. 36: Výsledná mapa analýzy rizika na základě expertní mapy náchylnosti pro dopravní infrastrukturu
 Obr. 37: Výsledná mapa analýzy rizika na základě expertní mapy náchylnosti pro elektrické vedení a lyžařské vleky
 Obr. 38: Podíly jednotlivých stupňů rizika pro všechny typy budov celkem
 Obr. 39: Výsledná mapa analýzy rizika na základě fyzikálního modelu náchylnosti pro budovy
 Obr. 40: Podíly jednotlivých stupňů rizika pro komunikace celkem dle analýzy rizika na základě fyzikálního modelu náchylnosti
 Obr. 41: Výsledná mapa analýzy rizika na základě fyzikálního modelu náchylnosti pro dopravní infrastrukturu
 Obr. 42: Výsledná mapa analýzy rizika na základě fyzikálního modelu náchylnosti pro elektrické vedení a lyžařské vleky
 Obr. 43: Porovnání zastoupení jednotlivých tříd náchylnosti vytvořených modelů náchylnosti
 Obr. 44: Porovnání výsledků analýz rizika vzniku svahových deformací pro budovy (čísla v závorkách udávají počet budov v daném stupni rizika pro výsledky analýz rizik na základě jednotlivých modelů náchylnosti)
 Obr. 45: Porovnání výsledků analýz rizika vzniku svahových deformací pro dopravní infrastrukturu
 Obr. 46: Porovnání výsledků analýz rizika vzniku svahových deformací pro trasu elektrického vedení
 Obr. 47: Porovnání výsledků analýz rizika vzniku svahových deformací pro lyžařské vleky

Tabulky:

Tab. 1: Možné podmínky vzniku svahových deformací ve studovaném území /upraveno dle Nemčok a kol. (1974), Ondrášik, Rybář (1991), Iverson (2000), Schuster, Wiczorek (2002), Schuster, Krizek eds. (1978), Záruba, Mencl (1982), Krejčí a kol. (2002), Klimeš (2007)/
 Tab. 2: Možné spoušťové faktory vzniku svahových deformací ve studovaném území /upraveno dle Nemčok a kol. (1974), Ondrášik, Rybář (1991), Iverson (2000), Schuster, Wiczorek (2002), Schuster, Krizek eds. (1978), Záruba, Mencl (1982), Krejčí a kol. (2002), Klimeš (2007)/
 Tab. 3: Stručný přehled metod k hodnocení náchylnosti území ke svahových deformacím (dle Carrara a kol. 1995, van Westen, Soeters 1997, Klimeš 2003)
 Tab. 4: Srovnání charakteristik dvou vybraných terénních jednotek (Carrara a kol. 1995, Klimeš 2003) („+“ zn. pozitivní vlastnost, „-“ zn. negativní vlastnost)
 Tab. 5: Zasazení studovaného území do geomorfologických jednotek (dle Demek et al. /ed./, 1992)
 Tab. 6: Charakteristika klimatických oblastí ve studovaném území (upraveno dle Quitt, 1975)
 Tab. 7.: Kategorie náchylnosti území ke vzniku svahových deformací pro mapu sklonů (Klimeš 2007) (s. d. – svahová deformace)
 Tab. 8: Způsob reklasifikace svahových deformací z inventarizační mapy pro potřeby mapy náchylnosti (s. d. – svahová deformace)
 Tab. 9: Definice tříd náchylnosti území ke vzniku svahových deformací studovaného území pro model SINAM (dle Klimeš, 2007)
 Tab. 10: Kvalitativní měřítko pravděpodobnosti vzniku události na základě středního intervalu opakování třídních úhrnů srážek (ČHMÚ) (upraveno dle Australian Geomechanics Society, 2000)
 Tab. 11: Kvalitativní odhad materiálních škod /upraveno dle Australian Geomechanics Society (2000)/
 Tab. 12: Tabulka pro kvalitativní výpočet rizika (upraveno dle Australian Geomechanics Society, 2000)
 Tab. 13: Definice stupně rizika (upraveno dle Australian Geomechanics Society, 2000)
 Tab. 14: Kvalitativní měřítko pravděpodobnosti vzniku události pro expertní mapu náchylnosti a fyzikální model (upraveno dle Australian Geomechanics Society, 2000)
 Tab. 15: Způsob tvorby rizika pro část expertní mapy náchylnosti definované na základě sklonitosti svahů
 Tab. 16: Způsob tvorby rizika pro fyzikální model náchylnosti
 Tab. 17: Výsledky použitého fyzikálního modelu náchylnosti území k sesouvání použitého pro kvalitativní analýzu rizika
 Tab. 18: Zastoupení potencionálně ohrožených objektů ve studovaném území
 Tab. 19: Rozdělení budov dle jejich zranitelnosti
 Tab. 20: Počet obyvatel v jednotlivých stupních zranitelnosti kategorie obytných budov
 Tab. 21: Výsledky analýzy rizika na základě inventarizační mapy pro jednotlivé typy budov
 Tab. 22: Počet obyvatel trvale přihlášených v obytných budovách v jednotlivých stupních rizika
 Tab. 23: Výsledky analýzy rizika na základě inventarizační mapy pro jednotlivé typy komunikací
 Tab. 24: Podíl délky komunikací pro něž bylo určeno riziko na celkové délce komunikací daného typu
 Tab. 25. Podíl délky ohrožených úseků elektrického vedení a lyžařských vleků na jejich celkové délce ve studovaném území

Tab. 26: Výsledky analýzy rizika na základě inventarizační mapy pro elektrické vedení a lyžařské vleky

Tab. 27: Výsledky analýzy rizika na základě expertní mapy náchylnosti pro jednotlivé typy budov

Tab. 28: Počet obyvatel v budovách v jednotlivých stupních rizika

Tab. 29: Výsledky analýzy rizika na základě expertní mapy náchylnosti pro jednotlivé typy komunikací

Tab. 30: Výsledky analýzy rizika na základě expertní mapy náchylnosti pro elektrická vedení a lyžařské vleky

Tab. 31: Výsledky analýzy rizika na základě expertní mapy náchylnosti pro jednotlivé typy budov

Tab. 32: Počet obyvatel v budovách v jednotlivých stupních rizika

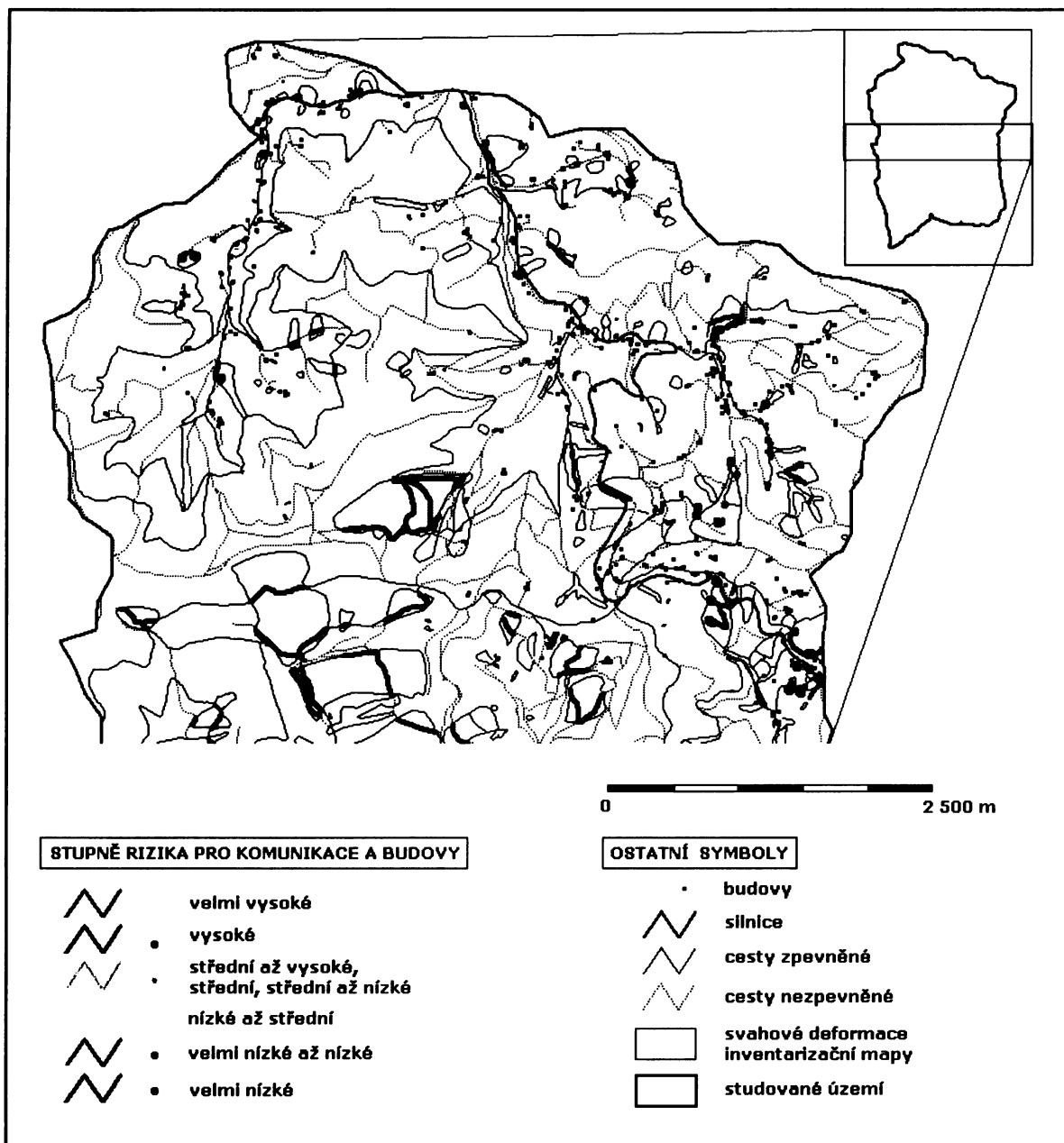
Tab. 33: Výsledky analýzy rizika na základě fyzikálního modelu náchylnosti pro jednotlivé typy komunikací

Tab. 34: Výsledky analýzy rizika na základě fyzikálního modelu náchylnosti pro elektrická vedení a lyžařské vleky

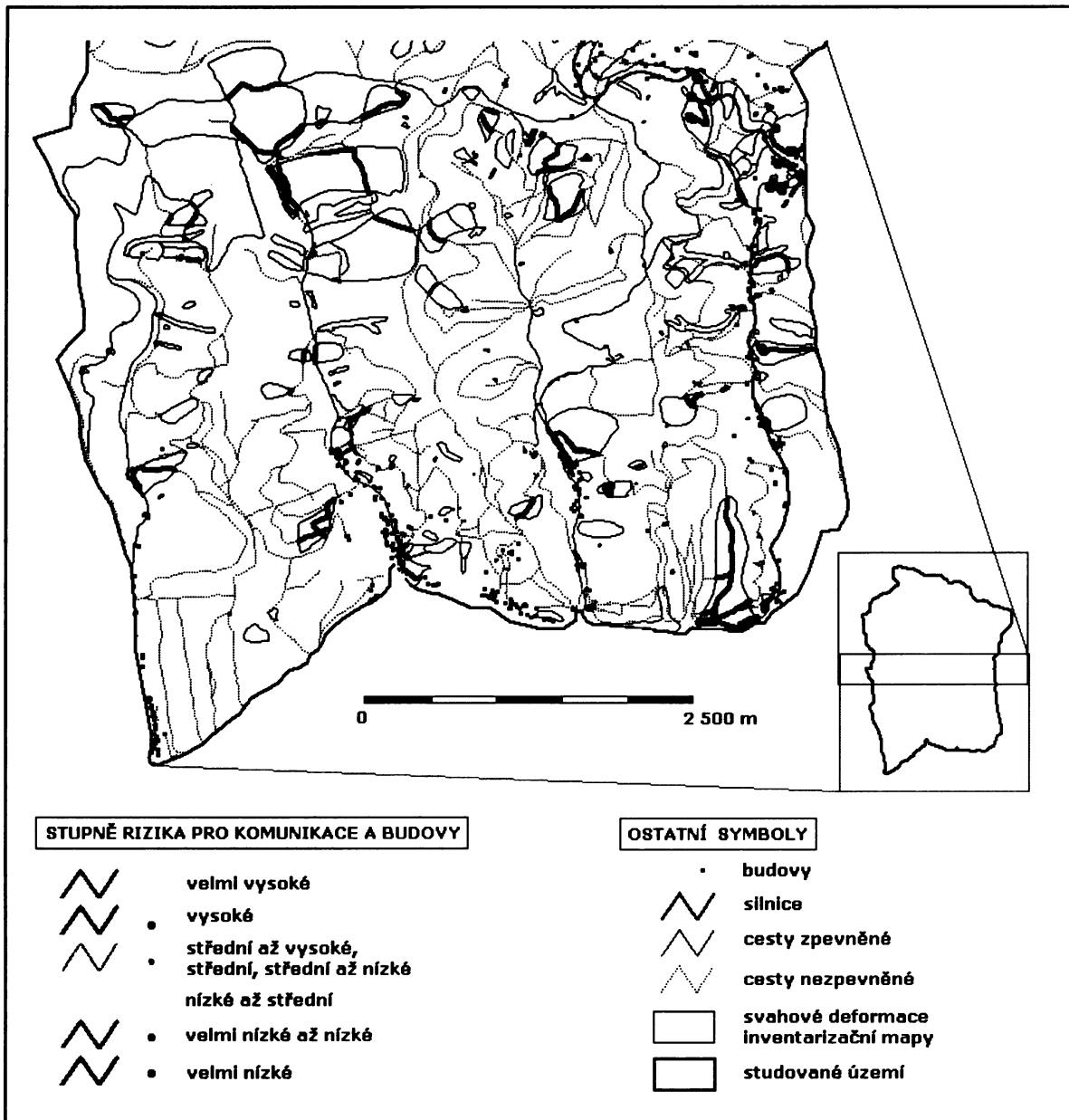
Tab. 35: Srovnání podílu stabilní třídy náchylnosti studovaného území na základě fyzikálního modelu a podílu počtu budov v ní

Příloha 2: Zastoupení aktivních a dočasně uklidněných/potenciálních sesuvů ve studovaném území

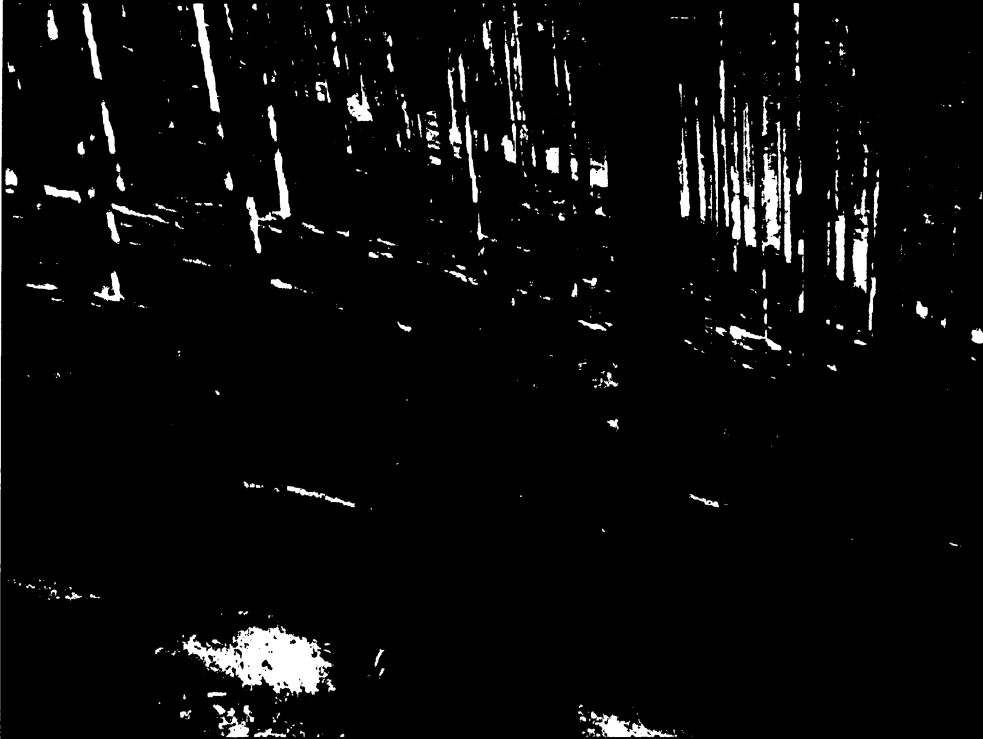
do 500	36	37,5
500 – 1 000	17	17,7
1 000 – 1 500	7	7,3
1 500 – 2 000	8	8,3
2 000 – 5 000	14	14,6
nad 5 000	14	14,6
celkem	96	100
do 500	44	37,6
500 – 1 000	15	12,8
1 000 – 1 500	7	6,0
1 500 – 2 000	4	3,4
2 000 – 5 000	15	12,8
nad 5 000	32	27,4
celkem	117	100



Příloha 3: Výsledky analýzy rizika vzniku svahových deformací na základě inventarizační mapy pro budovy a komunikace ve vztahu k existujícím svahovým deformacím – severní část studovaného území



Příloha 4: Výsledky analýzy rizika vzniku svahových deformací na základě inventarizační mapy pro budovy a komunikace ve vztahu k existujícím svahovým deformacím – jižní část studovaného území



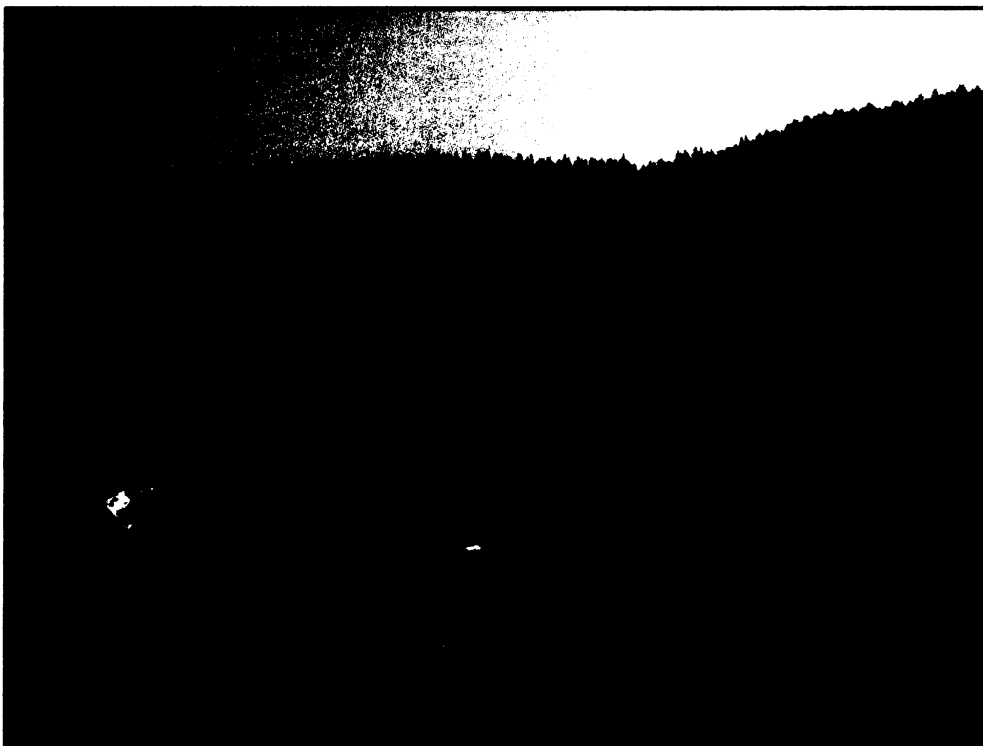
Příloha 5: Příklad svahové deformace, která byla použita díky své genezi a morfologii k tvorbě inventarizační mapy vytvořené pro potřeby vzniku fyzikálního modelu náchylnosti studovaného území k sesouvání (foto: autor, říjen 2007)



Příloha 6: Dočasně uklidněný až stabilizovaný sesuv s amfiteatrální zarostlou odlučnou stěnou o výšce až 4 m (lokality Hutisko – Solanec, Za Hutí) (foto: autor, říjen 2007)



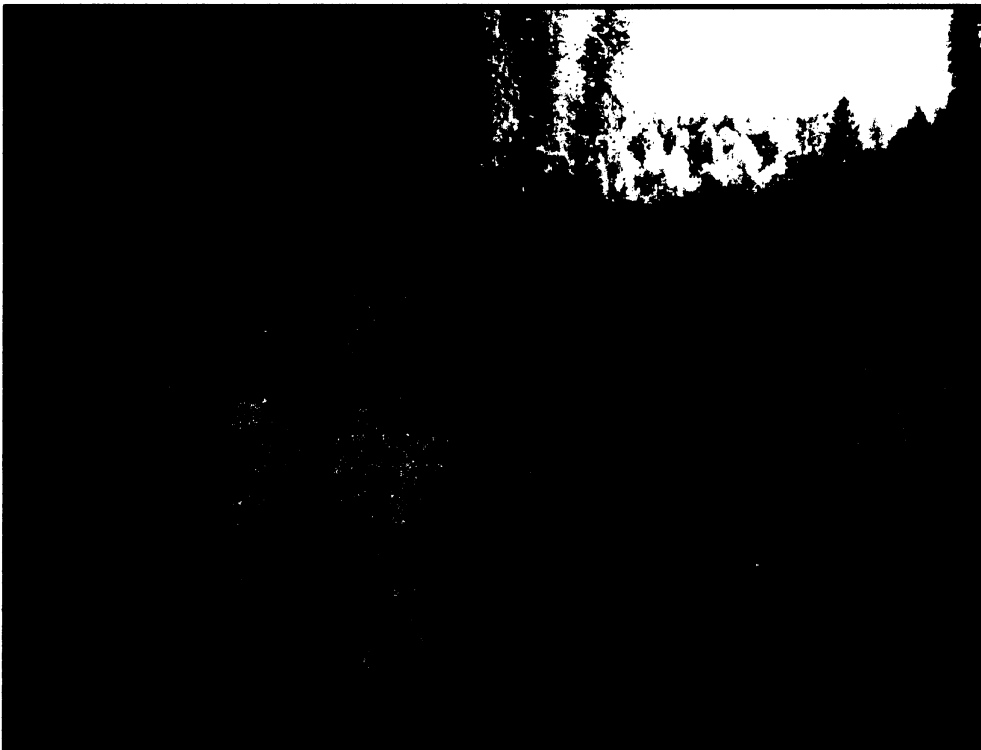
Příloha 7: Potenciální sesuvné území v údolí bezejmenného pravostranného přítoku Solaneckého p. projevující se povrchových ploužením, což lze mj. pozorovat na deformacích mladého březového porostu. Hrozí ohrožení lesní přístupové cesty k obytným budovám. (foto: autor, listopad 2007)



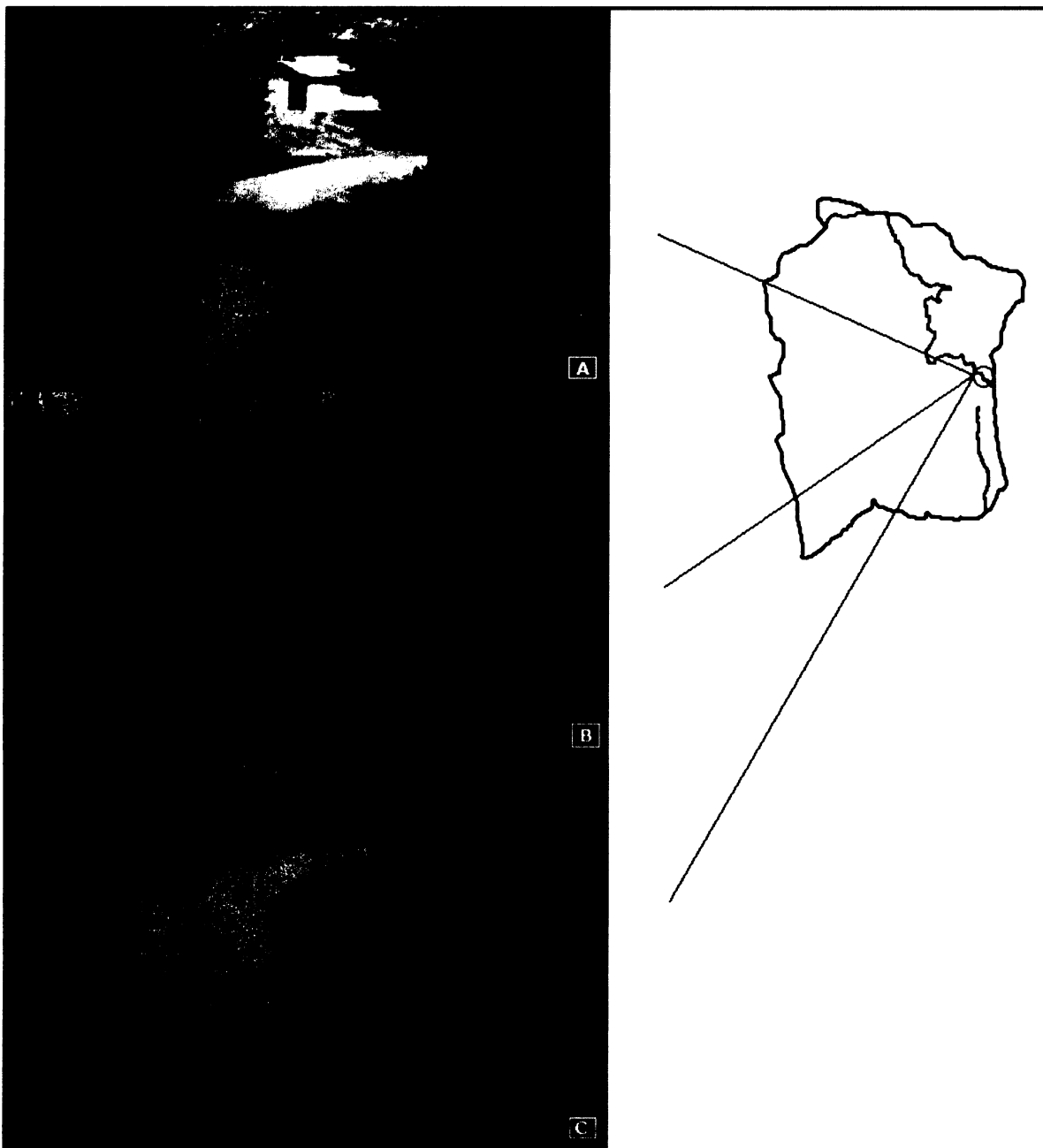
Příloha 8: Odlučné linie potenciální svahové deformace na louce v údolí Bzového potoka. Při aktivizaci pohybů jsou ohrožena obytná stavení v údolí. (foto: autor, červenec 2008)



Příloha 9: Plošný sesuv na severovýchodním svahu vrcholu Kopencová (762,4 m n. m.), s výraznými, až 13 m vysokými odlučnými bočními stěnami po obou stranách. Vznikl v roce 1997 a zničil lesní porost i lesní cestu. Ta již nebyla obnovena a byla vyježděna nová cesta v akumulaci sesuvu. (foto: autor, červenec 2008)



Příloha 10: Mohutná, 250 m dlouhá a 110 m široká svahová deformace z roku 1997 (v práci Kirchner, Krejčí, 1997 pod. č. 107), která svou 4 – 5 m mocnou akumulací poškodila zpevněnou komunikaci, ohrozila obytná stavení a hrozila také možností přehrazení vodního toku. Dle geofyzikálních anomálií hrozí, že za nepříznivých okolností by se svahová deformace mohla dále rozšířit o cca 100 m do délky a 80 m po obou stranách, čímž by při podobných ničivých následcích pravděpodobně zničila rekreační objekt nad ní. (foto: vpravo - UNIGEO, a. s., 1997; vlevo – autor, červenec 2008)



Příloha 11: Deformace silnice č. II/481 jako následek povodňových událostí v červenci 1997
A – pohled směrem na Velké Karlovice, deformace, poklesy trhliny; B, C – pohled směrem na Čarták – sedlo, detail deformací a trhlin (foto: GEO-ING Jihlava spol. s r. o.)