

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

KATEDRA GEOINFORMATIKY



Ondřej VOMOČIL

**VLIV KVALITY DMR NA PŘEDPOVÍDÁNÍ
EROZE A MĚLKÝCH SESUVŮ**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Mgr. Jana Svobodová

Olomouc 2010

Prohlášení

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

Vstupní ani výsledná digitální data nebudu poskytovat bez souhlasu školy.

Olomouc, 1. srpna 2010

.....

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucí své bakalářské práce za odborné vedení a pomoc při realizaci.

ÚVOD	5
1. CÍLE	6
2. TEORETICKÝ ÚVOD	7
2.1 EROZE.....	7
2.2 MODELOVÁNÍ EROZE	10
2.3 RUSLE.....	11
2.4 SVAHOVÉ POHYBY	15
2.5 MODELOVÁNÍ SESUVŮ	17
2.6 SINMAP 2.....	18
3. TESTOVACÍ ÚZEMÍ A VSTUPNÍ DATA	22
3.1 TESTOVACÍ ÚZEMÍ.....	22
3.2 VSTUPNÍ DATA	24
4. POUŽITÉ METODY A POSTUP ZPRACOVÁNÍ	25
4.1 STUDIUM LITERÁRNÍCH PRAMENŮ	25
4.2 METODY PRO TVORBU PODKLADOVÝCH DMR	25
4.3 METODY PRO ZPRACOVÁNÍ DAT.....	25
4.4 POSTUP ZPRACOVÁNÍ.....	28
5. VLIV KVALITY DMR	29
5.1 VLIV KVALITY DMR NA TVORBU EROZE	29
5.1 VLIV KVALITY DMR NA TVORBU MĚLKÝCH SESUVŮ.....	35
6. DISKUZE	43
7. ZÁVĚR	44
8. POUŽITÁ LITERATURA	46
SUMMARY	48
PŘÍLOHY	

Úvod

Vlivem eroze je zemědělská půda ochuzována o nejúrodnější část – ornici. Tento geohazard ohrožuje v České republice značnou část území, proto jsou důležité snahy o modelování a o predikci tohoto procesu. Díky implementaci GIS do počítačové techniky můžeme řešit daný problém komplexně pro celá území. V současnosti existuje celá řada modelů eroze, které usnadňují ochranu jednotlivých pozemků (území).

Sesuvy řadíme mezi nejznámější a nejrozšířenější svahové pohyby po celém světě. V naší republice je evidováno řádově deset tisíc sesuvů, což nás zařazuje mezi relativně bezpečné země. Největší počet rizikových oblastí se nachází v mladých vrásných pohořích s pestrými sedimentálními obaly. Přesto je důležité sesuvy pečlivě monitorovat a předcházet možným rizikům, která mohou vést i ke ztrátám na lidských životech.

Digitální modelování reliéfu je velkým přínosem pro monitorování geohazardů. Digitální modely a z nich odvozené morfometrické statistiky hrají důležitou roli ve výpočtech, predikcích, identifikaci, popisu a mapování enviromentálních problémů.

1. Cíle

Cílem bakalářské práce je určit ovlivnění předpovídání eroze a mělkých sesuvů kvalitou DMR.

První část práce se věnuje problematice eroze a svahových pohybů. Zabývá se i běžně používanými metodami pro jejich určení. Konkrétně se jedná o model RUSLE (pro výpočet eroze) a SINMAP 2,0 (pro sesuvy).

Ve druhé části se sleduje vliv kvality vstupních digitálních modelů (DMR) na výsledky předpovědi eroze a mělkých sesuvů. Ověřovány jsou faktory závislé na reliéfu, ostatní vhodně zvolené zůstávají konstantní. Zájmová území reprezentují různé typy reliéfu.

2. Teoretický úvod

2.1 Eroze

Rozrušování zemského povrchu (litosféry respektive pedosféry) se nazývá eroze. Při tomto procesu dochází k odnosu a ukládání půdních hmot, sněhu a ledu na jiné místo. Jak uvádí Holý (1994) podle činitele, který způsobuje vznik a působí na průběh erozních procesů, rozeznáváme erozi: vodní, ledovcovou, sněhovou, větrnou, zemní a antropogenní. Tyto druhy se mohou vyskytovat jednotlivě nebo v kombinaci, což způsobuje různou intenzitu erozních procesů. V České republice – stejně jako v celosvětovém měřítku – působí největší škody vodní a větrná. Podle Zprávy o životním prostředí České republiky (2009) je ohroženo vodní erozí 42, 2 procent zemědělské půdy a větrnou 7, 5 procent. Tato práce se zaměřuje pouze na vodní erozi.

2.1.1 Vodní eroze

Podle Dostála (1996) působení vodní eroze je vyvoláno nejčastěji přívalovými srážkami. K největším nebezpečím patří extrémní přívalové deště s úhrnem větším jak 20 mm. Dešťové kapky působí erozivním účinkem především díky své kinetické energii. Dalším činitelem je mechanická síla povrchově stékající vody.

Jak uvádí Podhrázková a Dufková (2005) morfologie území ovlivňuje vodní erozi. Zejména se jedná o sklon, délku a tvar svahu. Stékající voda dosahuje větší rychlosti se zvětšováním sklonu, a tím roste i destrukční účinek na půdní povrch. Naopak při zmenšování sklonu dojde k poklesu rychlosti, a tím nastane usazování půdních částic transportovaných po povrchu.

Půdními poměry označujeme fyzické vlastnosti půdy (textura, struktura, obsah organické hmoty, vlhkost). Tyto faktory ovlivňují zejména infiltraci vody do půdy a tvorbu povrchového odtoku. Podle zrnitosti patří písčité půdy k nejméně náchylným druhům tvorby vodní eroze, a to díky své velké propustnosti. Dále jsou to

jílovité půdy, které nemají vysokou náchylnost vzhledem ke své soudržnosti. Naopak hlinité půdy s velkým obsahem prachových částic a spraše mají větší dispozice ke vzniku eroze.

Podle Pechouškové (2006) jsou klimatické a hydrologické poměry charakterizovány zeměpisnou polohou, nadmořskou výškou, teplotou ovzduší, srážkami, výparem, vlhkostí vzduchu, směrem i silou větru a povrchovým odtokem. Pro účely protierozní ochrany je nutno vyšetřovat zejména výskyt, rozdělení a intenzitu srážek, utváření i průběh povrchového odtoku.

Geologické poměry působí buď přímo, nebo nepřímo. Přímý vliv se obvykle projevuje v místech, kde dochází ke zvětvávání podloží. Obnažený geologický podklad je vystaven styku s tekoucí vodou a dochází ke vzniku rýh, výmolů a strží, které se mohou rozšiřovat a prohlubovat. Nepřímým rozumíme ovlivnění půdních vlastností geologickým podkladem.

Vegetační kryt půdy tvoří důležitou ochranu půdního povrchu před přímým dopadem srážek. Dále přímo působí na podporu vsaku vody ze srážek do půdy a její zpevnění kořenovým systémem vegetace.

Podle projevů vodní eroze na povrchu půdy se rozlišují tyto formy:

1. Plošná eroze
2. Výmolová eroze
3. Proudová eroze

Plošná eroze:

Tento jev je možno charakterizovat tím, že půda je erodovaná víceméně rovnoměrně po celé ploše daného území. Erozi způsobují kapky a povrchový odtok.

Jejím prvním stupněm je, jak uvádí Holý (1994), eroze selektivní, při níž povrchový odtok odnáší jemné půdní částice a na ně vázané chemické látky. Dochází ke změně půdní textury a obsahu živin v půdě. Půdy podléhající selektivní erozi se stávají hrubozrnnějšími a mají výrazně snížený obsah živin, půdy obohacené smyvem jsou jemnozrnnější a bohaté na živiny.

Za určitých podmínek může vzniknout na celé ploše svahu nebo v širokých pruzích eroze vrstevná. Je způsobena větší kinetickou energií povrchově stékající vody a nepříznivému utváření půdního profilu (střídání málo odolných a odolných vrstev). Častým příznakem je ztráta celé orniční vrstvy.

Výmolová eroze:

Podle Zachara (1970) vzniká při déle trvajících srážkách soustředováním povrchové vody, která postupně v půdním povrchu vytváří hustou síť úzkých zářezů, v nichž transportuje rozrušené půdní částice. Tato fáze vytváření zářezů se označuje jako rýžková eroze. Další je tzv. brázdová eroze, která se vyznačuje mělkými širšími zářezy, jejichž hustota na svahu je menší, než je tomu u eroze rýžkové. Jak uvádí Holý (1994), z rýžek a brázd vznikají pokračujícím soustředováním povrchově stékající vody hlubší rýhy, které se směrem po svahu postupně spojují a prohlubují; jsou výsledkem rýhové eroze. Rýhová eroze přechází ve vyšší stupeň – erozi výmolovou – ta v nebezpečnou, území devastující erozi stržovou. Výsledkem výmolové a stržové eroze jsou hluboké výmoly a strže. Jsou-li v postiženém území podorniční půdní vrstvy a zejména je-li geologické podloží odolnější proti účinkům vody než vrchní vrstvy, vznikají výmoly a strže s příčným profilem ve tvaru písmene V s různým sklonem svahů, při stejně odolných vrstvách v celém profilu, např. v aluviálních hlínách nebo v mocných sprašových navátinách, výmoly a strže s přímými až svislými stěnami s příčným profilem ve tvaru písmene U.

Proudová eroze:

Jak uvádí Dostál (1996) při proudové vodní erozi dochází působením vodního proudu k rozrušování dna nebo břehů. Dnová eroze probíhá směrem podélné osy toku, proto je označována jako eroze podélná. Naopak břehová eroze je formou příčnou, protože probíhá kolmo na osu toku. Nejvíce proudová eroze působí v bystřinách, neboť nesou obvykle velké množství splavenin.

2.2 Modelování eroze

Jak uvádí Kliment a Langhammer (2005), při hodnocení přírodních rizik hraje stále významnější úlohu matematické modelování využívající prostředí geografických informačních systémů. Výjimku nepředstavuje ani oblast hodnocení erozních procesů. Pro odhad erozního zatížení území a transportu plavenin z povodí existuje v současnosti velké množství postupů. Výpočetní metody a modely lze rozdělit podle různých kritérií (koncepte výpočtu, velikost zájmového území, dostupnost datových podkladů, účel výzkumu). Podle koncepte výpočtu je modely možné dělit na empirické a fyzikálně založené.

2.2.1 Empirické modely

Empirické modely jsou založeny na pozorování erozních jevů od jejich vzniku až po konečný průběh eroze. Výsledky jsou statisticky získávány z terénního pozorování a laboratorních experimentů. Mezi největší výhody těchto modelů patří snadná použitelnost, velká rozšířenost, malá náročnost na výpočetní techniku a relativně malý objem vstupních dat. Naopak mezi nevýhody náleží velké množství působících činitelů, odvození nejrozšířenějších modelů v podmínkách pro USA, a to že výsledky jsou dlouhodobými průměrnými odhady. Mezi nejpoužívanější patří modely USLE, RUSLE a USPED.

2.2.2 Fyzikálně podložené modely

Fyzikálně podložené neboli simulační modely erozního procesu vycházejí z fyzikální definice eroze. Erozi rozumíme uvolňování, transport a ukládání půdních částic za působení erozních činitelů. Největší výhodou je, že model vytváří teoreticky správnější reprezentaci erozního procesu. Dále je to podle Janečka (2002) přímé zahrnutí procesu eroze způsobeného soustředným odtokem (výmolové a proudové eroze) a určení intenzity. Naopak fyzikálně podložené modely mají vyšší nároky na výpočetní techniku, hůře se získávají vstupní data a ve většině případů je nutná

kalibrace modelu. Pro podmínky České republiky byl odvozen model SMODERP. Další používané modely jsou např. WEPP a EROSION 2D / 3D.

2.3 RUSLE

Celistvý model pro určení průměrné ztráty půdy byl sestaven v 90. letech v USA na základě revize a aktualizace USLE (Universal Soil Loss Equation – Universální rovnice ztráty půdy). Byly změněny postupy pro jednotlivá stanovení jednotlivých faktorů rovnice. Tím se zvýšila přesnost předpovídání eroze a ukládání sedimentů.

Jak uvádí Jakubíková (2004), RUSLE je erozní model určený pro predikci dlouhodobé průměrné ztráty způsobené odtokem z pozemku ležícího v určité klimatické oblasti, s danými půdními poměry, o určitém sklonu a délce, při určitém systému pěstování plodin, obdělávání půdy s uplatňováním protierozních opatření. Lze ho však použít i pro plochy s nezemědělským využitím, jako jsou staveniště či lesní pozemky. Jeho předností je jednoduchost, účelnost, rychlost výpočtu a možnost využití velkého množství vstupních údajů zahrnující všechny faktory, které mají vliv na erozní proces.

Rovnice se hodí především pro predikci dlouhodobých průměrů, protože proměnné vstupující do rovnice se liší u každé přívalové srážky.

Univerzální rovnice ztráty půdy:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

kde:

A = průměrná roční ztráta půdy

R = faktor erozní účinnosti deště

K = faktor erodovatelnosti půdy

L = faktor délky svahu

S = faktor sklonu svahu

C = faktor ochranného účinku vegetace

P = faktor protierozního opatření

A – průměrná roční ztráta půdy

Výslednou hodnotu celkové dlouhodobé ztráty půdy stanovíme nahrazením každého faktoru v rovnici tak, aby byly vystiženy všechny podmínky na daném územním celku. Nejčastěji se výsledek v praxi vyjadřuje v SI jednotkách $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ nebo v angloamerických jednotkách $ton \cdot acre^{-1} \cdot year^{-1}$.

Podle Jakubíkové (2004) je třeba vzít v úvahu, že hodnota průměrné roční ztráty půdy představuje v RUSLE dlouhodobou průměrnou ztrátu půdy ze sklonitého svahu a její velikost může být výrazně odlišná v různých částech svahu. Na dlouhém přímém svahu s jednotkovým sklonem je ztráta z horní části svahu nižší než průměrná hodnota ztráty půdy z celého svahu, naopak ztráta v dolní části je výrazně vyšší.

R – faktor erozní účinnosti deště

Hodnota R faktoru v rovnici představuje vliv dopadu dešťových kapek na povrch. Určuje se jako součet roční erozní účinnosti jednotlivých přívalových srážek. Srážky s úhrnem menším než 12, 5 mm, pakliže v průběhu patnácti minut nespadlo alespoň 6, 25 mm, se vynechávají. Nejvhodnější údaje průměrné roční hodnoty faktoru R dávají podklady za období více jak dvacet let.

Součinem celkové kinetické energie deště a jeho maximální třiceti minutové intenzity získáme erozní účinnost jednotlivého deště. Z toho vyplývá, že R faktor závisí na četnosti srážek, kinetické energii, intenzitě a úhrnu. Jak uvádí Renard (1997), lze faktor R vyjádřit rovnicí:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^j (EI_{30})_i}{N} \quad [MJ \cdot mm \cdot (ha \cdot hod \cdot rok)^{-1}]$$

kde:

$(EI_{30})_i$ - erozní účinnost jednotlivého deště pro i-tou srážku

j - počet srážek v N-leté periodě

K – faktor erodovatelnosti půdy

K faktor je určován vlastnostmi půdy a půdního profilu. Tyto vlastnosti určují náchylnost půdy erozi. Vyjadřuje ztrátu půdy na jednotku erozního indexu deště měřenou na jednotkovém pozemku se standardní odtokovou plochou. Jednotkový pozemek je definován délkou 22, 13 m, 9 % sklonem, a jeho povrch je mechanicky kultivován ve směru sklonu po dobu minimálně dvou roků.

Existuje řada metod stanovení hodnoty K faktoru. V praxi je nejpoužívanější metodou stanovení hodnot pomocí nomogramu erodovatelnosti půdy podle Wischmeiera. Jedná se o grafické vyjádření rovnice:

$$K = [2,1 \cdot 10^{-4} (12 - OM)M^{1,4} + 3,25(s - 2) + 2,5(p-3)]/100$$

kde:

OM – procento organické hmoty

M – součin [% jemné frakce (0,002 - 0,1 mm)] · [100 - % jílu (<0,01 mm)]

- s – kód třídy pro strukturu
- p – kód třídy pro permeabilitu

- s – třída pro strukturu: 1 – zrnitá
- 2 – drobkovitá
 - 3 – hrudkovitá
 - 4 – deskovitá, slitá

p – třída pro permeabilitu:

- 1 – rychlá
- 2 – mírná až rychlá
- 3 – mírná
- 4 – pomalá až mírná
- 5 – pomalá
- 6 – velmi pomalá

Je nutné dodat, že nejpřesnějších výsledků při stanovování K faktoru dosáhneme přímým měřením na přírodních odtokových plochách nebo simulací podmínek na zkusných plochách.

L a S – faktor délky a sklonu svahu

Jak uvádí Renard (1997), kombinovaný LS faktor představuje v RUSLE poměr ztráty půdy ze svahu o dané délce a sklonu ke ztrátě půdy ze svahu, který má délku 22, 13 m a sklon 9 %, přičemž ostatní podmínky jsou v obou případech stejné. Hodnoty faktoru LS nejsou absolutní, ale jsou vztaženy k hodnotě 1, 0 pro délku svahu 22, 13 m a sklon 9 % .

Hickey (2000) uvádí, že predikce ztráty půdy v modelu RUSLE jsou odvozeny pro jednotný sklon svahu, jež je stejný po celé délce a dále pro proměnný sklon svahu, který může být konkávní, konvexní nebo kombinovaný. Na konvexních

svazích je ztráta půdy největší díky tomu, že na konci délky svahu jsou strmější, a tím se vytváří větší odtok. Naopak u konkávních svahů je ztráta menší, protože část s největším sklonem je na horním konci svahu.

C – faktor ochranného vlivu vegetace

C faktor představuje vliv pěstování plodin a způsobu jejich obdělávání na míru eroze. Je založen na konceptu odchylek od standardních podmínek. Nejčastěji se využívá při návrzích protierozní ochrany, protože jeho hodnotu lze nejsnadněji měnit.

Podle Janečka (2007) ochranný vliv vegetace je přímo úměrný pokryvnosti a hustotě porostu v době výskytu přívalových dešťů (měsíce duben – září). Proto dokonalou protierozní ochranu představují porosty trav a jetelovin, zatímco běžným způsobem pěstované širokořádkové plodiny (kukuřice, okopaniny, sady a vinice) chrání půdu nedostatečně.

P – faktor protierozního opatření

Faktor popisuje vliv protierozních opatření (vrstevnicový a pásovitý způsob hospodaření, záchytné travní pásy, protierozní orba, příkopy, terasy, terénní urovnávky apod.).

Dále sem patří vegetační opatření, které jsou reprezentovány ve faktoru C. Úkolem protierozních opatření je korigovat intenzitu eroze změnou směru odtoku i jeho snížením, a tím mají vliv na potlačení erozní účinnosti odtoku.

2.4 Svahové pohyby

Jak uvádí Summerfield (1991), svahové pohyby patří ke skupině nejrozšířenějších enviromentálních hazardů. Označuje se tak pohyb pevných materiálů po svahu účinky gravitace, a to bez ohledu na rychlost pohybu, nebo zda k pohybu dochází za sucha či působením vody.

2.4.1 Podmínky a příčiny vzniku svahových pohybů

Svahové deformace vznikají porušením rovnováhy hmot na svahu. Tato situace nastává při převaze aktivních sil (gravitace, hydrodynamický tlak) nad silami pasivními, které se snaží pohybu zabránit (pevnost hornin, tření). Příčinami svahových pohybů jsou umělé zásahy do přirozeného vývoje svahu a přírodní podmínky, jež jsou dané geologickými, klimatickými, hydrogeologickými a geomorfologickými poměry.

Bryant (2005) uvádí, že umělými zásahy rozumíme zejména změnu geometrie svahu. Jedná se o antropogenní vlivy, jako je například výstavba nových komunikací, výstavba domů na svahu, nebo rychlé vypouštění vody z přehrad.

Geologickou stavbu svahu většinou tvoří skalní podloží a zvětralinový plášť. Podložní hornina se chová jako kompaktní masa. Plášť je naopak tvořen vrstvou zvětralin. Poměr obou částí určuje důležité charakteristiky svahových procesů.

Přívalové deště a následný vsak vody patří mezi hlavní faktory působící na urychlování krajinnotvorných pochodů. Vsak vody je ovlivněn propustností, teplotou vzduchu, táním sněhu a výparem. Největší vliv mají klimatické poměry na jaře po výrazném oteplení a rychlém taní sněhové pokrývky.

K dalším příčinám řadíme také působení podzemní vody, zvětrávání, promrzání, vulkanické erupce a zemětřesení.

2.4.2 Klasifikace a druhy svahových pohybů

Klasifikaci můžeme rozdělit do dvou skupin – podle rychlosti a měřítka území. Měřítkem rozumíme rozsah postiženého území a objem transportovaného materiálu. Z hlediska rychlosti procesů podle Kukala (1983) rozdělujeme svahové pohyby na pomalé, středně rychlé a rychlé pohyby.

Pomalé většinou nepředstavují reálný hazard, jejich rychlost totiž můžeme počítat v desítkách centimetrů za rok. Pomalé pohyby jsou zcela přirozeným přírodním úkazem, který v různé intenzitě probíhá na všech svazích. Tyto pochody

zahrnují jednak ploužení (creep), jakési popolézání zvětralin dolů po svahu, a dále pak soliflukci a geliflukci, procesy související se saturací regolitu. Nebezpečí pomalých pohybů tkví pouze v tom, že postupně mohou zvyšovat svou rychlost i intenzitu, a nakonec přerůst v reálnou katastrofu.

Většina sesuvů se řadí mezi středně rychlé, jejichž rychlost dosahuje v průměru několik metrů za hodinu nebo za den. Tato kategorie představuje rizika spojená s ničením komunikací a lidských sídel, především kvůli nesnadné možnosti předpovědi.

Největší hrozbou jsou rychlé svahové pohyby, které dosahují rychlosti v desítkách až stovkách kilometrů za hodinu. Při těchto rychlostech je evakuace nebo útek skoro nemožný. Do této skupiny můžeme zařadit řícení a všechny druhy tečení.

2.5 Modelování sesuvů

K tvorbě modelů náchylnosti nebo stability území existují dva přístupy v závislosti na velikosti studované oblasti: plošně omezená a plošně rozsáhlá území. Plošně omezená vycházejí z podrobné studie podmínek svahové deformace, což vyžaduje znalosti o litologii, sklonitostních poměrech a zvodnění geologického prostředí. Pro skupinu plošně rozsáhlých území je studie neproveditelná z kapacitních a finančních důvodů. Tabulka 1 uvádí stručný přehled metod pro rajonizaci území podle J. Klimeše.

Dále můžeme rozdělit metody tvorby modelů podle založení. Statisticky podložený model nazýváme tzv. black box, fyzikálně tzv. white box, nebo popřípadě model kombinovaný tzv. grey box.

Dalším kritériem je výběr typu terénní jednotky, který určuje, zda bude model tvořen v rastrovém nebo vektorovém prostředí geografického informačního systému. Kombinace rastrových a vektorových systémů může vést k velkým nepřesnostem modelu.

Teoretické modely	Deterministické/ Fyzikální modely		Mapa náchylnosti je odvozena na základě znalosti fyzikálních a chemických pochodů vedoucích ke vzniku deformací, často se jedná o aplikaci inženýrsko-geologického přístupu v regionálním měřítku – například modely SINMAP, SHALSTAB, DELISA, SHETRAN.
Empirické metody	"data-driven"/ statistické metody	dvourozměrné analýzy	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 analýzy	Metoda se snaží předpovědět vznik svahových deformací (závisle proměnná) na základě souboru známých faktorů (nezávislých proměnných) – diskriminační analýza, logická regrese.
	"knowledge-driven"/ heuristické metody	přímé	Mapa náchylnosti je odvozena přímo 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.

Tabulka 1: Přehled metod rajonizace území vzhledem ke vzniku svahových deformací (převzato: J. Klimeš 2003)

2.6 SINMAP 2

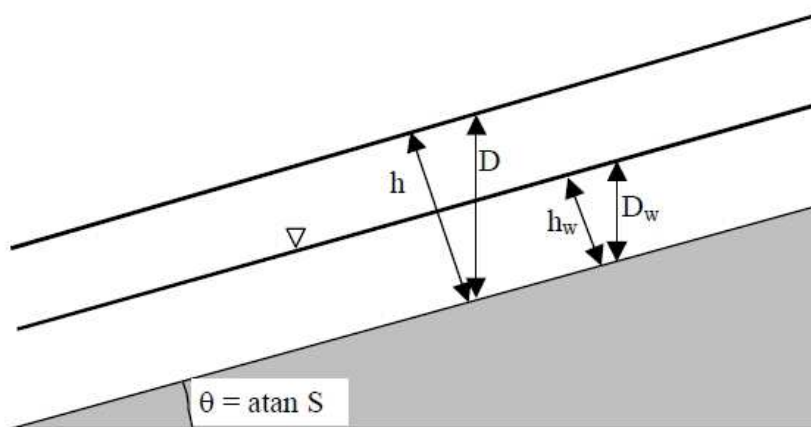
Model SINMAP 2,0 je stanoven pro výpočet indexu stability na základě geografických informací. Metodika se zakládá na neurčitém modelu stability svahu. Model je vytvořen jako extenze pro ArcGIS 9,0 a vyšší verze, a vyžaduje mít nainstalovaný Spatial Analyst. Pro výpočet jsou vyžadována vstupní data: DEM v rastrovém formátu, mechanické a hydraulické vlastnosti půdy a seznam oblastí sesuvů v bodovém vektorovém formátu. Vlastnostmi půdy rozumíme rozsah koheze,

hodnotu hustoty půdy, rozsah hodnot úhlu vnitřního tření, rozsah poměru R/T (poměr efektivních srážek a transmisivity).

Neurčitý model stability svahu je dán vztahem:

$$FS = \frac{C_r \pm C_s \pm \cos^2 \theta [\rho_s g (D - D_w) \pm (\rho_s g - \rho_w g) D_w] \tan \phi}{D \rho_s g \sin \phi \cos \phi},$$

kde C_r [N/m²] je původní koheze, C_s [N/m²] je půdní koheze, θ [°] je úhel sklonu, ρ_s [kg/m³] je hustota půdy za vlhka, ρ_w [kg/m³] je hustota vody, g je gravitační zrychlení (9,81 m/s²), D [m] vertikální výška vodního sloupce v půdní vrstvě a ϕ [°] úhel vnitřního tření půdy. Následující obr. 1 ilustruje geometrii předpokládanou v rovnici.



Obr. 1 Předpokládaná geometrie modelu SINMAP (převzato z SINMAP 2 User's manual)

Výslednou rovnici indexu stability, která simuluje podmínky, které jsou pro vznik sesuvů nejpříznivější, můžeme vyjádřit jako (převzato z SINMAP 2 User's manual) :

$$SI = FS_{\min} = \frac{C_1 + \cos \theta \left[1 - \min \left(x_2 \frac{a}{\sin \theta}, 1 \right) r \right] t_1}{\sin \theta},$$

kde C_1 je nejmenší hodnota koheze, x_2 je největší hodnota R/T (poměr efektivních srážek a transmisivity) a t_1 je nejmenší hodnota $\tan \phi$.

Po zadání digitálního modelu a hodnot vlastnosti půdy extenze nejdříve zajistí hydrologickou korektnost odstraněním chyb vzniklých při tvorbě modelu. Poté je proveden výpočet sklonu svahů a směry odtoků. Na základě tohoto výpočtu je vytvořena mapa spádových oblastí v daném území. Výsledky modelování jsou graficky vyjádřeny jako následující mapy: pravděpodobná stabilita reprezentovaná jako index stability rozdělený do šesti kategorií viz tabulka 2, topografický wetness index do čtyř tříd, graf výskytu sesuvů v závislosti na sklonu svahu a souhrnná tabulka se statistickými údaji.

Podmínka	Předpokládaný stav	Možný vliv faktorů
$SI > 1,5$	Stabilní svahová zóna	Pro nestabilitu jsou potřeba významné destabilizační faktory
$1,5 > SI > 1,25$	Mírně stabilní zóna	Pro nestabilitu jsou potřeba mírné destabilizační faktory
$1,25 > SI > 1,0$	Kvazistabilní svahová zóna	Pro nestabilitu jsou potřeba nepatrné destabilizační faktory
$1,0 > SI > 0,5$	Nižší práh svahové zóny	Pro nestabilitu nejsou potřeba žádné destabilizační faktory
$0,5 > SI > 0,0$	Vyšší práh svahové zóny	Stabilizační faktory mohou vést ke stabilitě
$0,0 > SI$	Chráněná svahová zóna	Stabilizační faktory jsou potřeba ke stabilitě

Tabulka 2: Definice hodnot indexu stability

Metoda výpočtu sklonu svahu v SINMAP 2,0

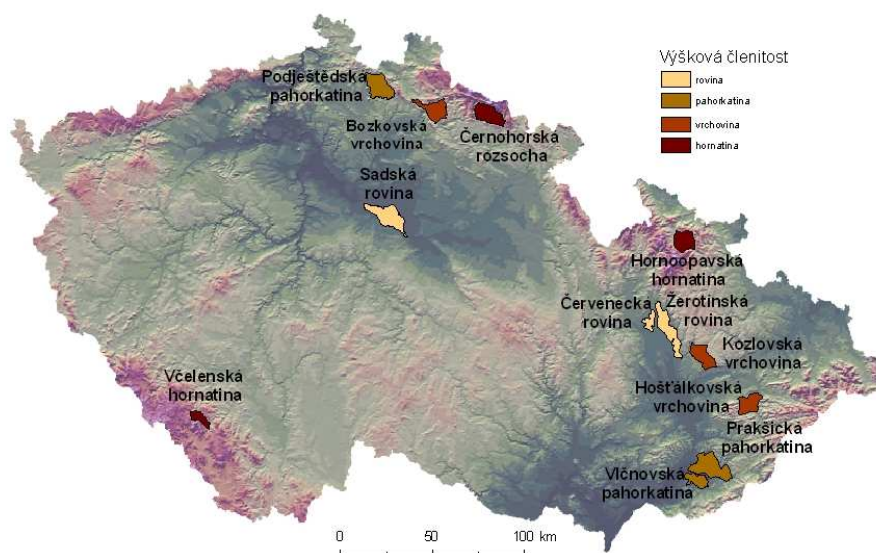
Sklon svahu představuje míru změny nadmořské výšky ve směru spádové křivky. Jedná se o úhel, který svírá v libovolném bodě tečna k rovině reliéfu s rovinou horizontální. Výpočet sklonu z digitálního modelu je poměrně jednoduchý, ale velmi záleží na výběru optimálního algoritmu.

V prostředí ArcGIS 9.3, ve kterém byly vypočítány sklony pro určení sesuvných oblastí, je implementována Hornova metoda. Jedná se o fokální funkci počítající hodnotu sklonu pro každý pixel z hodnot nadmořských výšek okolních osmi pixelů. Výsledný povrch je poměrně shlazený, což je způsobeno nezahrnutím hodnoty středové buňky. Výpočet také záleží na kvalitě počátečního gridu. Dosazení méně přesného vede ke ztrátě lokální proměnlivosti v gridu sklonu.

3. Testovací území a vstupní data

3.1 Testovací území

Pro testování sesuvných oblastí bylo vybráno dvanáct území v České republice o rozloze 4 x 4 km. Tři území pro každý typ reliéfu – rovina, členitá pahorkatina, členitá vrchovina a členitá hornatina dle relativní výškové členitosti. Od testování rovin bylo upuštěno z důvodu malé pravděpodobnosti výskytu sesuvů.



Obrázek 2. Vybrané geomorfologické okrsky pro testovací území

Typ reliéfu	Relativní výšková členitost [m]	Testovací území		
Rovina	0 - 30	Sadská rovina	Červenecká rovina	Žerotínská rovina
Členitá pahorkatina	76 - 150	Podještědská pahorkatina	Vlčnovská pahorkatina	Prakšická pahorkatina
Členitá vrchovina	226 - 300	Bozkovská vrchovina	Kozlovská vrchovina	Hošťálkovská vrchovina
Členitá vrchovina	451 - 600	Hornoopavská hornatina	Černoorská rozsocha	Včelenská hornatina

Tabulka 3: Testovací území

Pro výpočty eroze bylo určeno v daných devíti území šest ploch reprezentující půdní bloky podle ortofotomapy. Pro vybrané plochy v rovinách nebylo možné vytvoření vhodných digitálních modelů reliéfu, proto výsledky nebyly vyhotoveny. Digitalizace půdních bloků proběhla nad ortofotomapou s rozlišením 1 m dostupná jako WMS služba poskytovaná Českou informační agenturou životního prostředí. Při výběru jednotlivých ploch bylo dbáno na to, aby půdním blokem vhodně procházely vrstevnice. Velikost byla ovlivněna výškovou členitostí v geomorfologickém okrsku. Průměrná rozloha půdního bloku pro pahorkatiny je 37, 6 ha, 20, 5 ha pro vrchoviny a pro hornatiny 8, 4 ha. Všechna nadigitalizovaná území jsou přiložena ve formátu *.shp na DVD.



Obrázek 3: Ukázka výběru půdních bloků pro Hošťálkovskou vrchovinu

3.2 Vstupní data

- DMÚ 25 – vrstevnice
- Polygonová vrstva geomorfologických okrsků
- Hlavní půdní jednotky poskytnuté Výzkumným ústavem meliorací a ochrany půdy

Pro tvorbu digitálních modelů reliéfu byly použity vrstevnice z Digitálního modelu území v měřítku 1 : 25000 v souřadnicovém systému S-JTSK. Pro aplikaci modelu SINMAP 2 byly ořezány územím 4 x 4 km se 100 m bufferem, pro model RUSLE půdními bloky. Následně proběhla konverze vrstevnic na bodové pole doplněné o vrcholové body a body údolnic.

Z každého zájmového území bylo odebráno 10 % bodů pro výpočet kvality modelu pomocí chyby RMSE. Metody a parametry nastavení interpolace proběhly v programu ArcGIS 9.3. podle výsledků bakalářské práce Jitky Ondráčkové (viz tabulka vysledky.xls na DVD). Pro další zpracování byl vybrán jeden nejkvalitnější a jeden nejméně kvalitní digitální model. Kvalita pro dané území byla ověřena chybou RMSE.

4. Použité metody a postup zpracování

4.1 Studium literárních pramenů

Základní literární zdroje pro rešeršní část jsou uvedeny v seznamu literatury na konci této práce. Pro vyhotovení praktické části bylo potřeba nastudovat manuál pro SINMAP 2,0 a interaktivní nápovědu pro model RUSLE v IDRISI Taiga. Pro nastavení vstupních hodnot pro výpočet eroze byla použita metodika Ochrana zemědělské půdy před erozí od Miloslava Janečka a kolektivu. Nedílnou součástí se staly osobní konzultace s odborníky na danou problematiku.

4.2 Metody pro tvorbu podkladových DMR

Metody tvorby podkladových DMR vycházely z bakalářské práce Jitky Ondráčkové (2009). Vstup bodů a následná interpolace se provedla v programu ArcGIS 9.3. Parametry pro tvorbu jednotlivých modelů byly nastaveny pro každé území individuálně podle výsledků výše zmíněné bakalářské práce. Použité metody a jejich přesné parametry jsou vyznačeny v tabulce *vysledky.xls* na příloženém DVD. Ověření přesnosti bylo provedeno podle rozptylu rozdělení četností odchylek mezi původními výškovými daty a daty DMR (RMSE).

4.3 Metody pro zpracování dat

4.3.1 Model RUSLE

Pro výpočet eroze bylo nutné převedení vytvořených DMR do textového souboru *.asc v prostředí ArcView 3.2a. Tento software se použil z důvodu

vygenerování kompatibilního ASCII souboru s IDRISI Taiga. Půdní bloky byly digitalizovány ve formátu *.shp a následně importovány do IDRISI příkazem *SHAPEIDR*. Model RUSLE v IDRISI vyžaduje rastrové vrstvy představující hodnoty faktorů vystupující do výpočtu. Příkazem *RASTERVEKTOR* byla uskutečněna konverze importovaných *.shp souborů na rastrové vrstvy. Jako podkladový obraz pro tento příkaz se použil reklasifikovaný DMR na hodnotu 0. Poté nastala reklasifikace hodnot tak, aby odpovídaly jednotlivým faktorům. Na území každého půdního bloku se stanovila jedna konstantní hodnota pro každý vstupující faktor. Pro faktor erozní účinnosti deště R byla určena hodnota $20 MJ \cdot mm \cdot (ha \cdot hod \cdot rok)^{-1}$, která udává průměrnou hodnotu pro území České republiky. Faktor erodovatelnosti půdy K se odvodil na základě znalosti HPJ (hlavní půdní jednotky) podle metodiky Ochrana zemědělské půdy před erozí (viz tabulka HPJ.xls na DVD). Hodnota K faktoru byla zastoupena hodnotou HPJ, která měla v daném půdním bloku největší zastoupení. Pro faktor ochranného krytu vegetace byla zvolena podle výše uvedené metodiky hodnota 0,08 reprezentující nejčastější plodiny – obiloviny. Protierozní opatření faktor K byl nastaven na 1. Dále se musely stanovit prahové hodnoty pro sklon svahů a jejich expozici, maximální délka svahu a minimální velikost pole. Prahová hodnota sklonu byla nastavena na 2° a expozice na 0°. Maximální délka činila pro většinu testovaných území 1000 m. Tyto hodnoty odpovídají standardnímu nastavení pro výpočet.

Výsledek tvoří rastrová vrstva zobrazující vytvořená pole v rámci půdních bloků, další vrstva představuje celkové hodnoty ztráty půdy z těchto polí a výpis výsledných hodnot v textovém dokumentu.

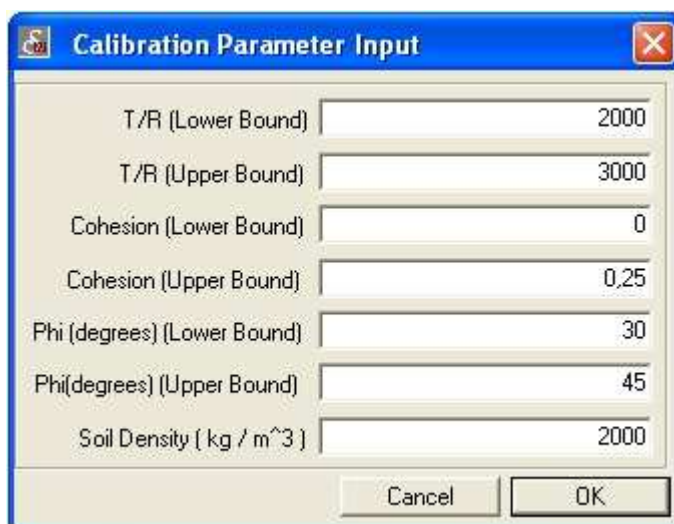
4.3.2 Model SINMAP 2

Všechny výpočty pro sesuvy se realizovaly v softwarovém prostředí ArcGIS 9.3 dohromady s volně stažitelnou extenzí SINMAP 2.0 dostupnou z <http://hydrology.neng.usu.edu/sinmap2/>. DMR byly vytvořeny s rozlišením pixelu 2,5 m. Pro každé testovací území byl interpolován jeden kvalitní a jeden nekvalitní model.

Prvním krokem po zahájení extenze bylo přepracování digitálního modelu reliéfu pit-filling modulem. Dále bylo nutné nastavit data vlastnosti půdy: rozsah hodnot koheze, hodnota hustoty půdy, rozsah hodnot úhlu vnitřního tření, rozsah

poměru R/T (poměr efektivních srážek a transmisivity). Tyto hodnoty pro účel této práce zůstaly v předdefinovaném nastavení (viz obrázek x) z důvodu nedostupnosti dat pro území České republiky. Po nastavení parametrů proběhl výpočet topografických parametrů, jako je sklon a specifická plocha povodí.

Výsledky jsou prezentovány jako mapy: pravděpodobná stabilita vyjádřená jako index stability rozdělený do šesti tříd, topografický wetness index rozdělený do čtyř tříd, graf výskytu sesuvů v závislosti na sklonu a specifické ploše povodí, souhrnná tabulka. V tabulce jsou údaje o velikosti vypočteného území a rozdělení jeho částí podle zastoupení rozlohy v daných indexech stability vyjádřené v procentech nebo v absolutních hodnotách.



Parameter	Value
T/R (Lower Bound)	2000
T/R (Upper Bound)	3000
Cohesion (Lower Bound)	0
Cohesion (Upper Bound)	0,25
Phi (degrees) (Lower Bound)	30
Phi(degrees) (Upper Bound)	45
Soil Density [kg / m ³]	2000

Obrázek 4: Nastavení vstupních parametrů vlastností půdy

4.4 Postup zpracování

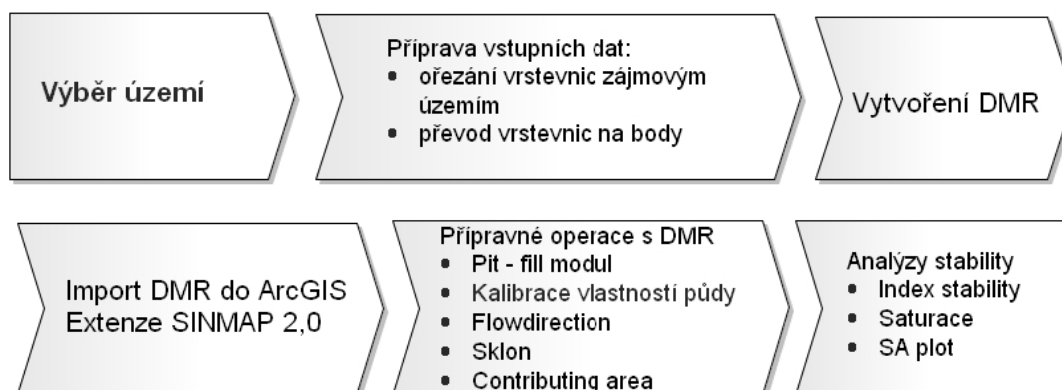


Schéma 1: Postup výpočtu indexu stability

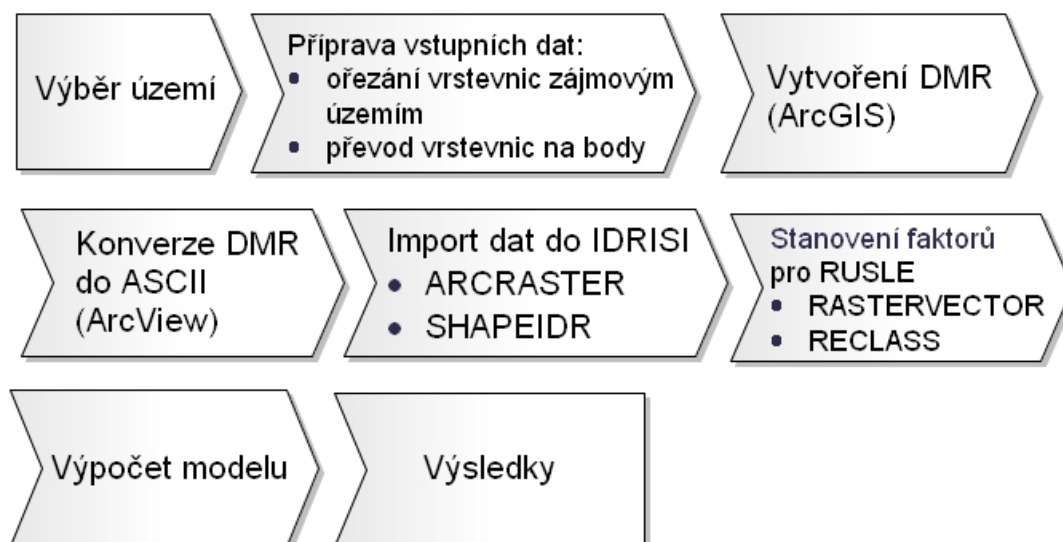


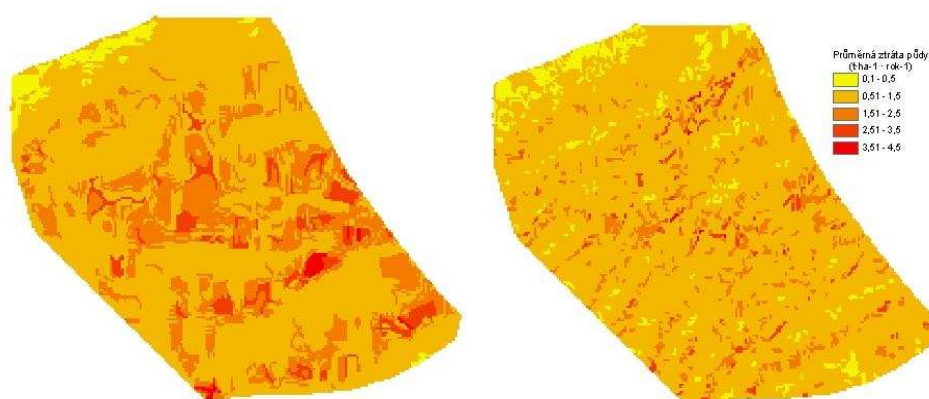
Schéma 2: Postup výpočtu modelu RUSLE

5. Vliv kvality DMR na tvorbu eroze a mělkých sesuvů

5.1 Vliv kvality DMR na tvorbu eroze

Hodnocení vlivu kvality digitálního modelu dosazeného do modelu RUSLE v softwaru IDRISI je založeno na porovnání výsledků průměrné ztráty půdy v jednotlivých půdních blocích ($t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$). Výsledné hodnoty nelze brát jako skutečné ztráty půdy v daných území. Tento fakt je způsobený méně přesným stanovením jednotlivých faktorů vstupujících do výpočtu. Praktická použitelnost výsledků je proto velmi malá, ale pro posouzení vlivu kvality podkladového digitálního modelu reliéfu je dostačující.

Vybraná testovací území tzv. půdní bloky přímo nerepresentují svůj výškovou členitostí daný typ reliéfu. Velikosti vybraných území se v daných geomorfologických okrscích liší. Je logické, že více zemědělsky obdělávaných ploch s větší rozlohou nalezneme v méně členitých okrscích. Na výslednou hodnotu průměrné ztráty půdy nemá velikost území vliv, protože je vypočtena jako podíl celkové ztráty půdy ($t \cdot rok^{-1}$) a celkové výměry půdního bloku.



dosazení kvalitního DMR

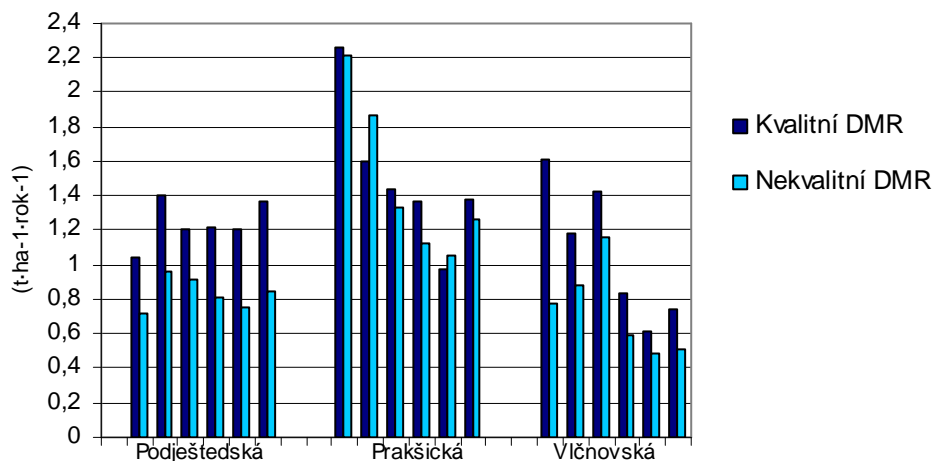
dosazení nekvalitní DMR

Obrázek 5: Grafické porovnání průměrné ztráty půdy v půdním bloku rozděleného na vypočtená pole

Název	Rozloha [ha]	Průměrná ztráta půdy [t·ha-1 · rok-1]	
		Kvalitní DMR	Nekvalitní DMR
Podještědká			
1	57,749	1,042	0,719
2	21,913	1,399	0,966
3	16,209	1,209	0,911
4	30,579	1,213	0,808
5	33,416	1,203	0,758
6	45,455	1,371	0,847
Prakšická			
1	39,614	2,257	2,212
2	33,565	1,601	1,870
3	26,398	1,441	1,334
4	37,867	1,373	1,127
5	25,683	0,973	1,053
6	27,823	1,381	1,262
Vlčnovská			
1	15,812	1,608	0,772
2	6,909	1,184	0,886
3	97,267	1,431	1,154
4	61,615	0,835	0,590
5	34,985	0,613	0,483
6	63,741	0,741	0,513

Tabulka 4: Průměrná ztráta půdy pro pahorkatiny

PRŮMĚRNÁ ZTRÁTA PŮDY Pahorkatiny



Graf 1: Porovnání průměrné ztráty půdy půdních bloků ležících v pahorkatinách

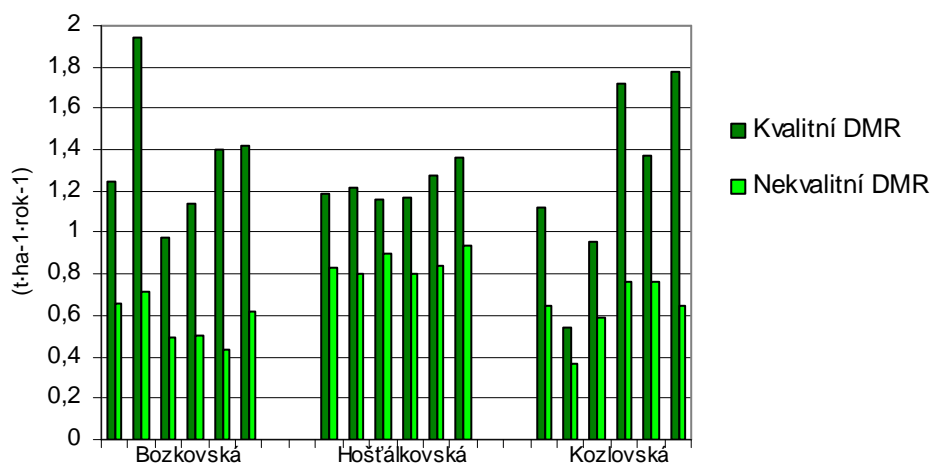
Z grafu lze vyčíst, že vypočtená průměrná ztráta půdy je po dosažení kvalitního, kromě dvou půdních bloků, větší než po použití méně kvalitního DMR. Rozdíly mezi kvalitním a nekvalitním modelem jsou průměrně $0,30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Největší odchylky $0,41 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ jsou v rámci Podještědské, naopak nejmenší $0,14 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ pro půdní bloky vybrané z Prakšické pahorkatiny. Při porovnání hodnot s průměrem pro Českou republiku ($2,27 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$) spadají všechna tato území do malé erozní ohroženosti.

Název	Rozloha [ha]	Průměrná ztráta půdy [t·ha-1 · rok-1]	
		Kvalitní DMR	Nekvalitní DMR
Bozkovská			
1	43,529	1,248	0,653
2	15,163	1,942	0,717
3	19,821	0,976	0,493
4	10,300	1,142	0,498
5	28,705	1,401	0,439
6	6,623	1,420	0,615
Hošťálkovská			
1	13,590	1,189	0,835
2	35,913	1,217	0,803
3	12,400	1,161	0,898
4	19,796	1,167	0,801
5	8,195	1,276	0,842
6	22,177	1,364	0,937
Kozlovská			
1	5,967	1,123	0,651
2	4,970	0,539	0,368
3	28,643	0,953	0,586
4	55,426	1,723	0,763
5	33,898	1,373	0,761
6	4,086	1,782	0,648

Tabulka 5: Průměrná ztráta půdy pro vrchoviny

PRŮMĚRNÁ ZTRÁTA PŮDY

Vrchoviny



Graf 2: Porovnání průměrné ztráty půdy půdních bloků ležících ve vrchovinách

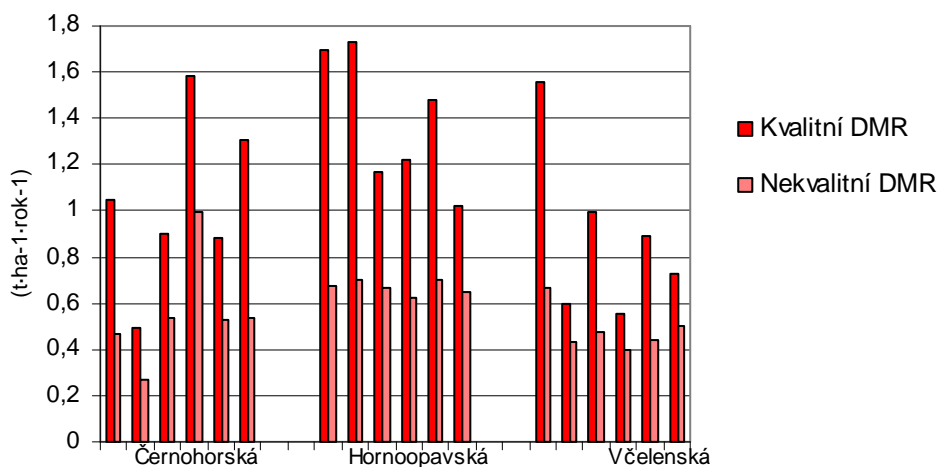
Jak ukazuje graf, rozdíly mezi hodnotami vypočítaných z kvalitních a méně kvalitních modelů reliéfů dosahují větších rozdílů než u pahorkatin. Průměrně se liší o $0,59 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Vypočtená hodnota ztráty u kvalitnějších modelů je ve všech případech vyšší než ztráta po dosazení nekvalitního gridu. Největší výkyvy vykazuje Bozkovská, a to $0,79 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ oproti Hošťálkovské vrchovině, kde průměrný rozdíl ztráty půdy činí $0,38 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$.

Název	Rozloha [ha]	Průměrná ztráta půdy [t·ha-1 · rok-1]	
		Kvalitní DMR	Nekvalitní DMR
Černoorská			
1	2,662	1,043	0,471
2	1,995	0,494	0,269
3	2,798	0,898	0,533
4	1,048	1,581	0,996
5	1,433	0,886	0,530
6	8,120	1,310	0,536
Hornoopavská			
1	11,654	1,697	0,672
2	7,578	1,728	0,705
3	3,693	1,171	0,669
4	1,601	1,216	0,625
5	4,495	1,479	0,704
6	2,147	1,020	0,650
Včelenská			
1	3,339	1,556	0,666
2	18,328	0,598	0,435
3	11,333	0,996	0,474
4	48,730	0,554	0,402
5	3,172	0,893	0,441
6	17,081	0,729	0,501

Tabulka 6: Průměrná ztráta půdy pro hornatiny

PRŮMĚRNÁ ZTRÁTA PŮDY

Hornatiny



Graf 3: Porovnání průměrné ztráty půdy půdních bloků ležících v hornatinách

Graf průměrné ztráty půdy pro území hornatin v porovnání s předchozími dokazuje, že ztráty vypočítané dosazením kvalitnějších DMR nabývají větších hodnot. Rozdíl mezi hodnotami ztrát u vrchovin a u hornatin je podobný. U hornatin je rozdíl mezi použitím kvalitního a nekvalitního modelu $0,53 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Nejvíce se liší ztráty u Hornoopavské ($0,71 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$) a nejméně u Včelenské hornatiny ($0,40 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$). Při porovnání s republikovým průměrem jsou výsledné hodnoty menší a erozní riziko je malé.

5.1 Vliv kvality DMR na tvorbu mělkých sesuvů

Po dosazení kvalitního a nekvalitního DMR do výpočtu indexu stability testovacího území se odlišnost projevila na velikosti klasifikovaného území. Do výpočtu vstupoval grid o rozloze 16 km^2 , ale výsledná rozloha klasifikovaného území dle stability se pohybovala od $10,03 \text{ km}^2$ do $15,32 \text{ km}^2$. Tato skutečnost je způsobena absencí hodnot pixelů saturace pro výpočet indexu stability zejména v okrajových zónách gridu. V následující tabulce je zobrazeno porovnání klasifikovaných území rozdělených podle výškové členitosti.

PAHORKATINY		
Podještědská	vypočteno	nevypočteno
kvalitní DMR	14,27	1,73
nekvalitní DMR	14,91	1,09
Prakšická		
kvalitní DMR	12,34	3,66
nekvalitní DMR	12,67	3,33
Vlčnovská		
kvalitní DMR	10,03	5,97
nekvalitní DMR	13,59	2,41
VRCHOVINY		
Bozkovská	vypočteno	nevypočteno
kvalitní DMR	15,03	0,97
nekvalitní DMR	14,88	1,12
Hošťálkovská		
kvalitní DMR	15,32	0,68
nekvalitní DMR	14,43	1,57
Kozlovská		
kvalitní DMR	14,97	1,03
nekvalitní DMR	15,22	0,78
HORNATINY		
Černoohorská	vypočteno	nevypočteno
kvalitní DMR	15,01	0,99
nekvalitní DMR	15,2	0,8
Hornoopavská		
kvalitní DMR	15,14	0,86
nekvalitní DMR	15,23	0,77
Včelenská		
kvalitní DMR	12,31	3,69
nekvalitní DMR	11,66	4,34

Tabulka 7: Klasifikovaná území rozloha v km²

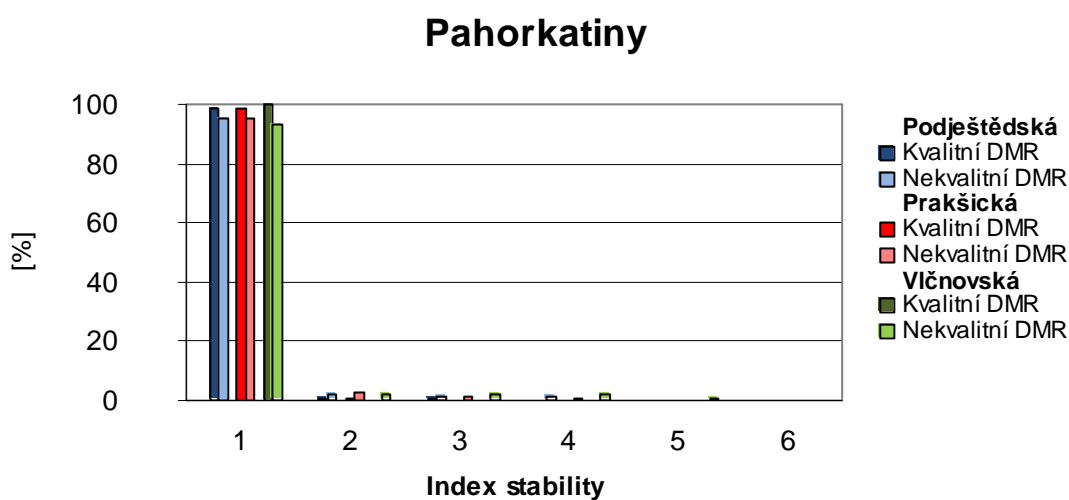
Z tabulky lze vyčíst, že velikost klasifikovaného území pro pahorkatiny dosahuje v porovnání s vrchovinami a hornatinami nejmenších hodnot. Vrchoviny a hornatiny se v průměru od sebe neliší, což je způsobeno nízkými hodnotami klasifikovaného území Včelenské hornatiny, které se výrazně odlišují od zbylých dvou hornatin. Co se týká kvality digitálního modelu největší rozdíl je mezi kvalitním a nekvalitním u Vlčnovské pahorkatiny (3,56 km²) a nejmenší u Hornoopavské hornatiny (0,09 km²). Průměrný rozdíl mezi gridy s různou kvalitou činí 0,75 km².

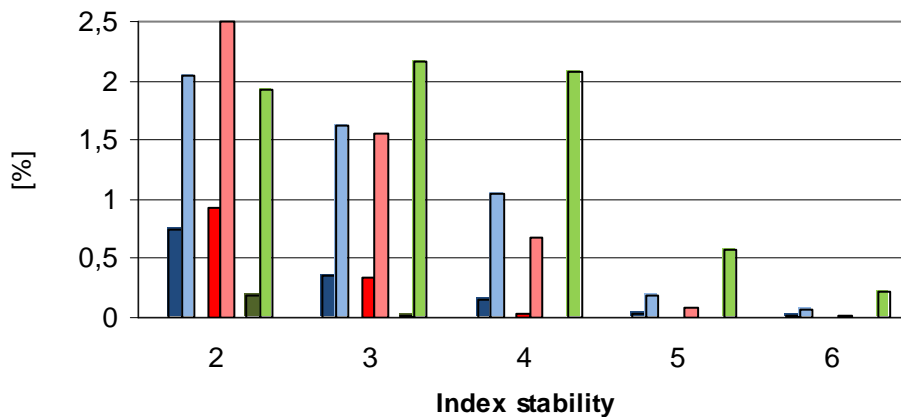
Pro další porovnávání bylo pracováno s relativními daty v procentech. Hodnoty udávají zastoupení rozlohy v šesti indexech stability z celkové klasifikované rozlohy pro dané území. Kategorie indexu stability jsou rozděleny

do skupin podle výsledků modelu SINMAP 2,0 následovně: 1 stabilní zóna, 2 mírně stabilní zóna, 3 kvazistabilní, 4 nižší práh svahové zóny, 5 vyšší práh a 6 chráněná svahová zóna. V tabulce 5 je znázorněn přehled všech zájmových lokalit s výslednými daty.

Pahorkatiny						
Třída	1	2	3	4	5	6
Podještědská						
Kvalitní DMR	98,69	0,75	0,35	0,16	0,04	0,01
Nekvalitní DMR	95,03	2,05	1,63	1,04	0,19	0,06
Prakšická						
Kvalitní DMR	98,7	0,93	0,33	0,04	0,00	0,00
Nekvalitní DMR	95,18	2,50	1,56	0,67	0,08	0,01
Vičnovská						
Kvalitní DMR	99,81	0,18	0,01	0,00	0,00	0,00
Nekvalitní DMR	93,03	1,93	2,16	2,08	0,58	0,22

Tabulka 8: Index stability vyjádřený v procentech z klasifikované plochy





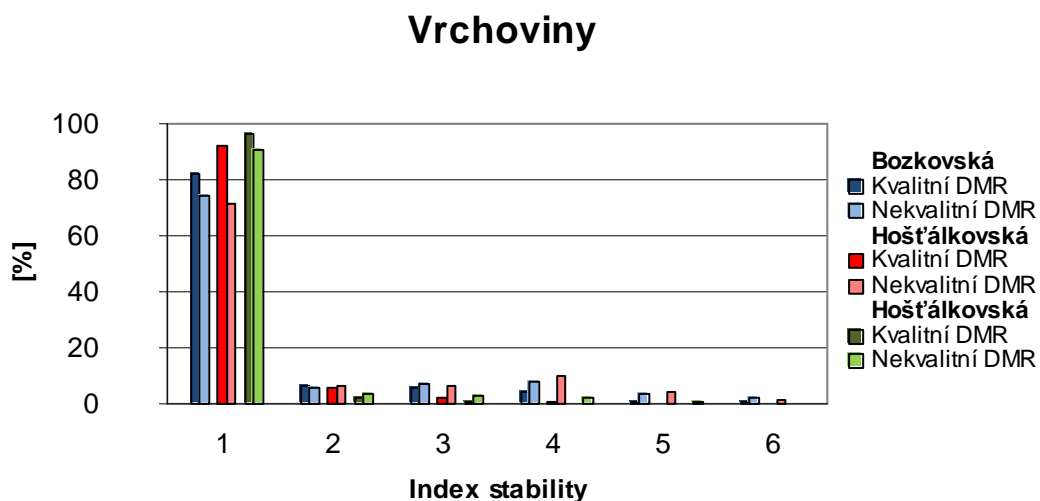
Graf 4: Porovnání hodnot – pahorkatiny

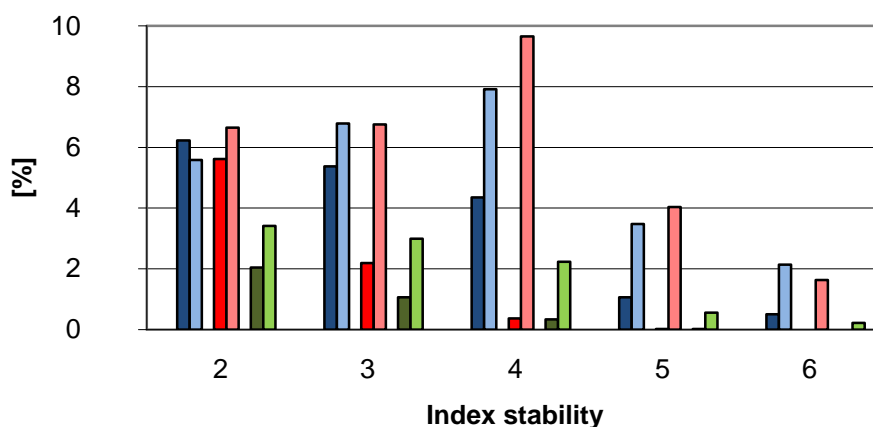
Z grafů porovnání výsledků analýzy při volbě kvalitního a nekvalitního modelu reliéfu pro pahorkatiny vyplývá, že převážná většina vyhodnoceného území spadá do třídy 1 (stabilní zóna). Tento fakt je dán malou výškovou proměnlivostí v daných územích. Při použití kvalitního DMR procentuelní zastoupení v třídě 1 je vždy vyšší než při aplikaci nekvalitního. V třídách indexu stability 2 až 6 proto logicky dochází k nárůstu procent zastoupení u nekvalitních modelů. Nejedná se však o nějaké velké nárůsty, protože hodnoty v těchto třídách jsou velmi malé oproti zastoupení v třídě 1.

Vliv na celkové výsledky mají také použité interpolační metody. Pro případ pahorkatin byla pro vytvoření kvalitních modelů vybrána metoda spline s tenzí ve všech třech případech, pro nekvalitní metoda IDW kromě Prakšické, kde byla použita geostatistická metoda kriging. Metody a nastavení parametrů mají vliv na sklon svahu, který je základem pro výpočet indexu stability. Vliv sklonu svahu se v pahorkatinách projevil méně, protože při menší relativní výškové členitosti se snižuje rozdíl v hodnotách sklonu svahů mezi kvalitním a méně kvalitním digitálním modelem reliéfu. Graf četností sklonů a grafické porovnání vytvořených sklonů je přiloženo v příloze číslo 1 a 4.

Vrchoviny						
Třída	1	2	3	4	5	6
Bozkovská						
Kvalitní DMR	82,48	6,23	5,37	4,35	1,06	0,51
Nekvalitní DMR	74,09	5,59	6,79	7,91	3,48	2,14
Hošťálkovská						
Kvalitní DMR	91,80	5,62	2,19	0,37	0,02	0,00
Nekvalitní DMR	71,28	6,65	6,75	9,65	4,04	1,63
Kozlovská						
Kvalitní DMR	96,54	2,04	1,06	0,34	0,02	0,00
Nekvalitní DMR	90,59	3,41	2,99	2,23	0,56	0,22

Tabulka 9: Index stability vyjádřený v procentech z klasifikované plochy





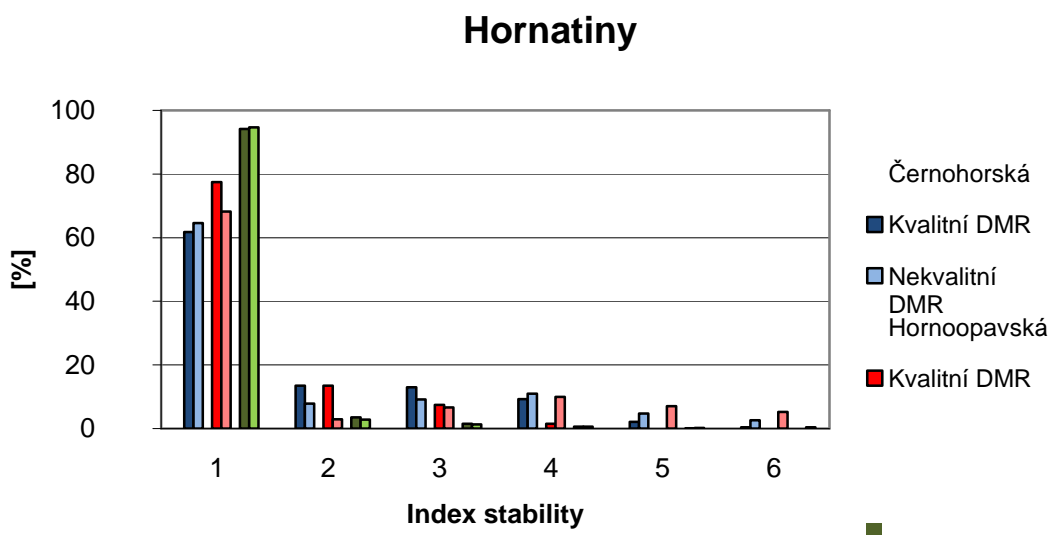
Graf 5: Porovnání hodnot – vrchoviny

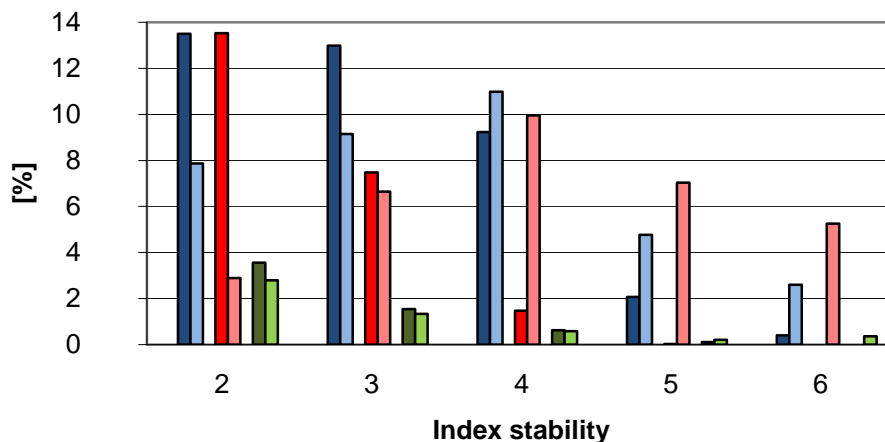
Podíl území spadajícího do třídy stability 1 (stabilní zóna) se pro všechny vrchoviny pohybuje v rozmezí 82, 48 % – 96, 54 % při použití kvalitních DMR jako podkladových dat. Při použití méně kvalitních podkladových DMR však dochází k poklesu rozlohy území v této třídě a podíl se snižuje na 71, 28 % – 90, 59 %. Tento fakt má za následek větší zastoupení procentuelních hodnot v kategoriích 2 až 6 pro méně kvalitní modely. Největších rozdílů nabývá porovnání v rámci Hošťálkovské vrchoviny, kde se hodnoty liší o 20, 52 procentních bodů v třídě 1 a o 9, 28 ve třídě 4. V tomto případě se jedná o porovnání kvalitního modelu vytvořeného interpolační metodou spline s tenzí a méně kvalitního, kde byl použit kriging. Nejmenší odlišnosti vykazuje srovnání v rámci Kozlovské vrchoviny, pro kterou byl vytvořen kvalitní grid metodou spline s tenzí a nekvalitní pomocí IDW.

Při celkovém zhodnocení lze říct, že na území vrchovin je více procent území ve třídách 2 – 6 při porovnání s pahorkatinami. Projevil se zde i větší vliv kvality DMR na tvorbu sklonu svahu v porovnání s pahorkatinami. Tímto se potvrdilo, že s rostoucí výškovou členitostí jsou rozdíly mezi kvalitním a méně kvalitním modelem větší při tvorbě sklonu svahu, který má silnou váhu při výpočtu výsledného indexu stability. Rozdíly jsou patrné v grafu rozložení četností sklonu svahů uvedeného v příloze 2.

Hornatiny						
Třída	1	2	3	4	5	6
Černoohorská						
Kvalitní DMR	61,80	13,50	12,99	9,23	2,07	0,41
Nekvalitní DMR	64,63	7,87	9,15	10,98	4,77	2,60
Hornoopavská						
Kvalitní DMR	77,49	13,53	7,48	1,47	0,03	0,00
Nekvalitní DMR	68,22	2,89	6,65	9,95	7,04	5,25
Včelenská						
Kvalitní DMR	94,17	3,56	1,54	0,62	0,11	0,00
Nekvalitní DMR	94,71	2,80	1,33	0,59	0,21	0,36

Tabulka 10: Index stability vyjádřený v procentech z klasifikované plochy





Graf 6: Porovnání hodnot – hornatiny

Z grafů lze vyčíst, že díky větší členitosti území nastal úbytek zastoupení plochy území ve třídě 1 oproti pahorkatinám a vrchovinám. Území hornatin má logicky největší náchylnost na tvorbu sesuvů. Velké odlišnosti vykazuje Včelenská hornatina oproti ostatním testovaným územím. Podkladová data pro tuto hornatinu byla interpolována metodou kriging pro kvalitní DMR a pro méně kvalitní byla zvolena metoda spline s tenzí. Pro zbylé dvě území byla vybrána metoda spline s tenzí pro kvalitní a IWD pro nekvalitní model.

U hornatin můžeme vidět změnu pro třídu 1, kde narozdíl od vrchovin a pahorkatin dochází k opačnému zastoupení procent z vypočítaného území. Jedná se o větší podíl na území nekvalitního modelu. Tato změna se projevila ve třídách stability 2 až 4, ve kterých jasně převládá větší rozloha kvalitnějšího.

Při celkovém pohledu na výsledná data lze vyvodit jasné odlišnosti v rámci hornatin. Rozdíly mezi kvalitním a nekvalitním modelem se nejvíce projevily v kategoriích 2 až 6. Největší rozdíly jsou vidět ve srovnání u Hornoopavské hornatiny, kde pro nižší práh svahové zóny po dosažení kvalitního modelu bylo vypočteno 1,47 % území a pro nekvalitní 9,95 %, dále pro vyšší práh 0,03 % u kvalitního a 7,04 % pro méně kvalitní. U chráněné svahové zóny (třída 6) u kvalitního nebyla vypočtena žádná hodnota naopak u nekvalitního spadalo do této třídy 5,25 % z vypočteného území. Vliv sklonu svahů je znázorněn v přílohách 3 a 4.

6. DISKUZE

Rešeršní část se zabývá vodní erozí, svahovými pohyby a jejich modelování v prostředí GIS. Jedná se o velmi obsáhlou tematiku, proto tato práce podrobně popisuje pouze modely, které byly použity v praktické části (SINMAP 2,0 a RUSLE).

Praktická část je zaměřena na porovnání vlivu kvality DMR na tvorbu eroze a mělkých sesuvů. Tvorba kvalitních a nekvalitních vycházela z výsledků bakalářské práce Jitky Ondráčkové (2009), v níž porovnávala vytvořené modely pomocí různých interpolačních metod a nastavení parametrů s povrchem vytvořeným lineární triangulací zdrojových dat. Výsledky výše zmíněné práce se ukázaly jako vhodné pro porovnávání vlivu kvality vstupujících DMR do modelů pro výpočet eroze a mělkých sesuvů.

Ovlivnění výsledků pro sesuvy bylo dokázáno podle odlišnosti hodnot indexu stability po dosazení kvalitního a méně kvalitního modelu. Hodnoty indexu se měnily v rámci různé výškové členitosti, což je také výsledkem kvality DMR, která má s rostoucí výškovou členitostí větší vliv na tvorbu gridu sklonů. Sklon svahu má vysokou váhu na výslednou hodnotu indexu stability.

Vlivu kvality DMR na tvorbu eroze byl ukázán na porovnání průměrné ztráty půdy pro vybrané půdní bloky. Dá se říct, že ve většině případů po dosazení kvalitního digitálního modelu reliéfu byly výsledné hodnoty vyšší než u méně kvalitního modelu. Bylo by dobré porovnat tyto hodnoty s reálnou ztrátou půdy.

Výsledky této práce jsou pouze určené pro názornou ukázkou toho, jak je důležitý výběr dosazeného DMR do vstupních výpočtů při modelování eroze a mělkých sesuvů. Pro lepší vyhodnocení dané problematiky by bylo vhodné srovnání s reálnými výsledky a větší množství vybraných území.

7. ZÁVĚR

Bakalářská práce Vliv kvality DMR na tvorbu eroze a mělkých sesuvů byla provedena pro vedením Mgr. Jany Svobodové na Katedře geoinformatiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci. Práce má dvě hlavní části: rešeršní část zabývající se erozí, svahovými pohyby a jejich modelováním a praktickou část, která hodnotí vliv kvality DMR na tvorbu eroze a mělkých sesuvů použitím modelů RUSLE a SINMAP 2,0.

V teoretické části jsou popsány ve stručnosti vodní eroze a svahové pohyby. Modelování těchto geohazardů je ukázáno na modelech RUSLE a SINMAP 2,0. U jednotlivých modelů jsou popsány jednotlivé faktory vstupující do výpočtu.

Praktické části předcházelo studium literatury zejména uživatelských manuálů pro oba modely. Prvním krokem bylo vybrání testovacích území. Pro erozi byly vybrány půdní bloky v geomorfologických okrscích a pro testování sesuvů území 4 x 4 km s odpovídající výškovou členitostí. Z vrstevnic vybraných území byly vytvořeny v prostředí ArcGIS 9.3 DMR na základě výsledků práce Jitky Ondráčkové. Každý model vyžaduje kromě dosazení DMR i další vstupní faktory. Pro výpočet průměrné ztráty půdy se zvolily faktory podle metodiky M. Janečka (2007). Vstupující hodnoty pro výpočet indexu stability svahu byly ponechány v předdefinovaném formátu.

Vyhodnocení bylo provedeno na základě porovnání výsledků po dosazení kvalitního a nekvalitního digitálního modelu. Pro erozi se jednalo o porovnání průměrné roční ztráty půdy v půdních blocích a pro sesuvy procentuelní zastoupení tříd stability v daném území. U výsledků modelu RUSLE se vliv kvality DMR projevil tím, že výsledné hodnoty po dosazení kvalitnějšího DMR převyšovaly ty, které byly vypočteny z méně kvalitního modelu. Průměrný rozdíl činil 0,461 tun na hektar za rok. Na výsledcích pro sesuvy se projevila kvalita podkladového digitálního modelu jak na rozloze klasifikovaného území, tak i procentuelním zastoupením v jednotlivých třídách stability. Většina klasifikovaného území spadala do první třídy (stabilní zóna), procentuelní zastoupení v ostatních třídách rostlo s vyšší výškovou členitostí. Hodnocení bylo rozšířeno o porovnání gridu sklonů (viz

přílohy 1 až 4), protože mezi vypočteným sklonem svahu a indexem stability je silná vazba. Můžeme říci, že s rostoucí výškovou členitostí rostly také rozdíly mezi kvalitním a nekvalitním DMR.

8. Použitá literatura

- BRYANT, E.: *Natural Hazards*. 2. vyd. Cambridge University Press, Cambridge, 2005. 312 s.
- DOSTÁL T. et al.: *Vodní eroze*, účelová publikace ČVUT, BOKU, Praha Wien, 1996
- HICKEY R., 2000, *Slope Angle and Slope Length Solutions for GIS*. Cartography, v. 29, no. 1
- HOLÝ, M.: *Protierozní ochrana*. Praha, SNTL 1978, 288 s.
- HOLÝ, M.: *Eroze a životní prostředí*. Praha. Vydavatelství ČVUT, 1994, 264 s.
- JAKUBÍKOVÁ, A.: *Použití programu RUSLE pro určení erozního ohrožení v podmínkách České republiky*. Disertační práce, ČVUT v Praze, 2004, 225 s.
- JANEČEK, M. et al.: *Ochrana zemědělské půdy před erozí*, ISV nakladatelství, Praha 2002
- JANEČEK, M. et al.: *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha: VÚMOP, v.v.i, 2007, 76 s.
- KLIMENT, Z., LANGHAMMER, J. (2005): *Modelování erozního ohrožení ve velkých územních celcích*. Geomorfologický sborník 4, ČAG, JČU České Budějovice, 75-81.
- KLIMEŠ, J.: *Statistické metody tvorby modelů náchylnosti území ke vzniku svahových deformací*. In Geomorfologický sborník, 2003, Plzeň, Západočeská univerzita v Plzni
- KUKAL, Z.: *Přírodní katastrofy*. Horizont Praha, 1983, 264 s.
- ONDRÁČKOVÁ, J.: *Analýza morfometrických charakteristik různých typů reliéfu*. Bakalářská práce, Univerzita Palackého v Olomouci, 2009, 40 s.
- PECHOUŠKOVÁ, V.: *Modelování mělkých sesuvů a eroze v prostředí GIS GRASS*. Diplomová práce, Univerzita Palackého v Olomouci, 2006, 76 s.

PODHRÁZSKÁ, J., DUFKOVÁ, J. *Protierozní ochrana půdy*. Brno: MZLU v Brně, 2005, 95 s.

RENARD, K.G., et al. *Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*, Agricultural Handbook, 703. U.S. Government printing office, Washington, D.C.,1997, 404 s.

ROBERT, T. Pack, et al.: *SINMAP User's Manual* [online]. Utah : Forest Renewal B.C.,2005.Dostupné z WWW:
<<http://hydrology.neng.usu.edu/sinmap2/sinmap2.PDF>>.

SUMMERFIELD, M. A.: *Global Geomorphology: An Introduction to the Study of Landforms*. Pearson Prentice Hall, Harlow, 1991. 573 s. ISBN 0582301564

VOŽENÍLEK, V.: *Diplomové práce z geoinformatiky*. Olomouc, UP, 2002, 61 s.

ZACHAR, D. *Erozia pôdy*. 2. vyd. Bratislava: Slovenská akadémia vied, 1970. 528 s.

Summary

My bachelor thesis “Quality effect of DEM on prediction of erosion and shallow landslides“ was written with the help of Mgr. Jana Svobodová at Department of Geoinformatics of Faculty of Natural Sciences at Palacký University in Olomouc.

The work is divided into two parts: the first part deals with the water erosion, the slope movements and their modeling. The second part assesses the quality effect of DEM on the prediction of the shallow landslides and the erosion using the same models as in the first part (RUSLE and SINMAP 2,0).

For the input data the contour lines from DMÚ 25 (S – JTSK) were used. For the testing of the shallow landslides were chosen nine areas: three areas for three different types of relief. For the erosion six digitized areas from specific geomorphological district were chosen.

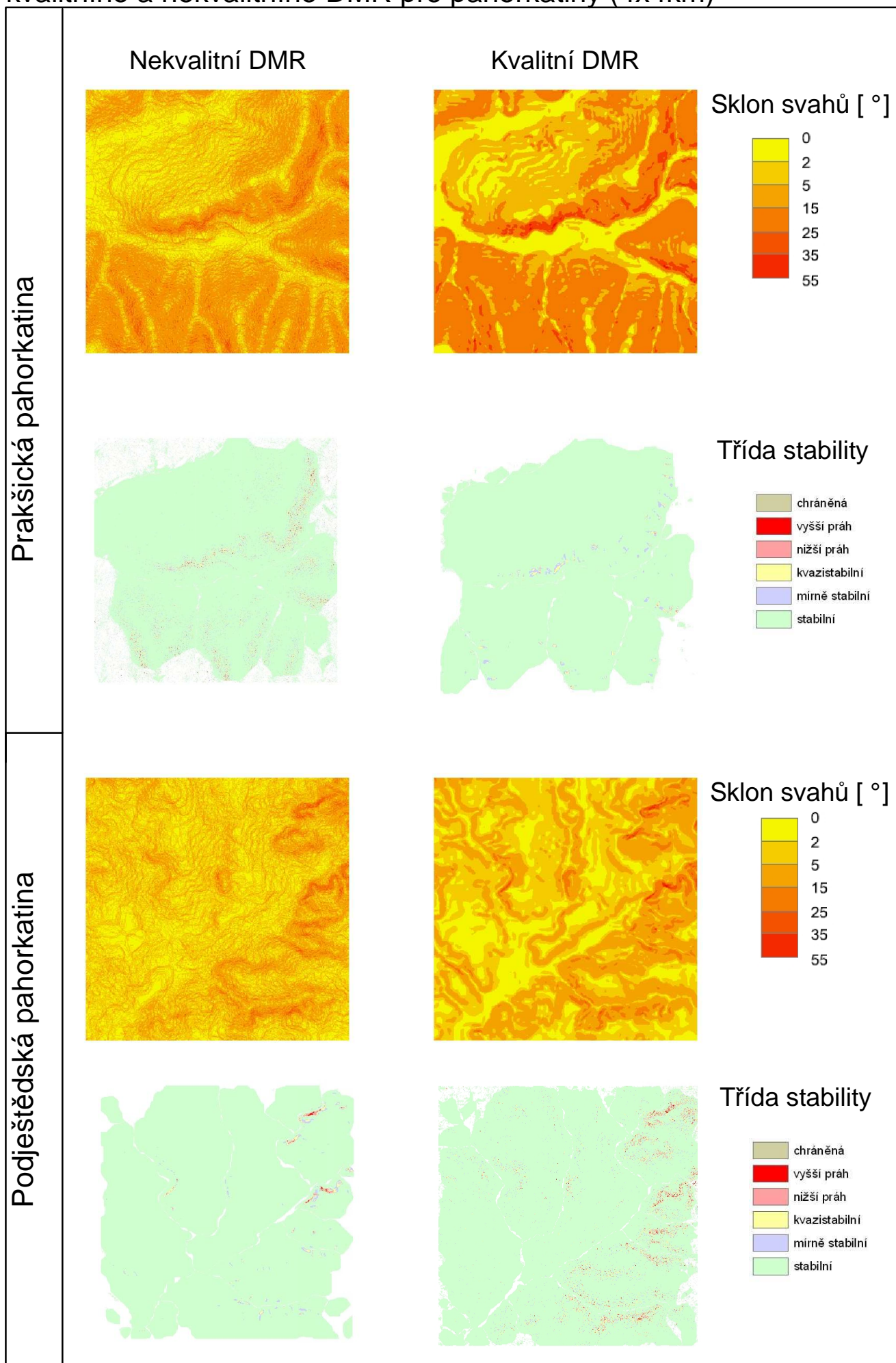
The final evaluation was done by comparing the results using high-quality and lower-quality DEM. For erosion we used comparison of average soil loss and for landslides the percentage of ratio classified area in classes of stability index. In most cases, the results of the RUSLE model proved that after using high-quality DEM the average soil loss is higher than while using lower-quality DEM. For SINMAP 2,0 the quality of digital elevation model displays on the size of classified area as well as on the percentil represantion in each class of stability index. The evaluation was extended of comparison of the grid slopes, because of relationship between the calculated slope and stability index. We can say that with increasing difference of altitude in the relief, the distinction between high-quality DEM and lower-quality DEM increases.

Přílohy

Seznam příloh

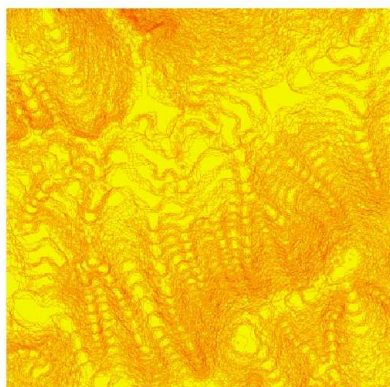
- Příloha 1:** Porovnání sklonu svahů a indexu stability při použití kvalitního a nekvalitního DMR pro pahorkatiny
- Příloha 2:** Porovnání sklonu svahů a indexu stability při použití kvalitního a nekvalitního DMR pro vrchoviny
- Příloha 3:** Porovnání sklonu svahů a indexu stability při použití kvalitního a nekvalitního DMR pro hornatiny
- Příloha 4:** Porovnání četností sklonu svahů při použití kvalitního a nekvalitního DMR
- Příloha 5:** Vstupní a výsledná data, metadata, data webové stránky o bakalářské práci, vysledky.xls, HPJ.xls, textová část práce v digitální podobě (DVD-ROM)

Příloha 1: Porovnání sklonu svahů a indexu stability při použití kvalitního a nekvalitního DMR pro pahorkatiny (4x4km)

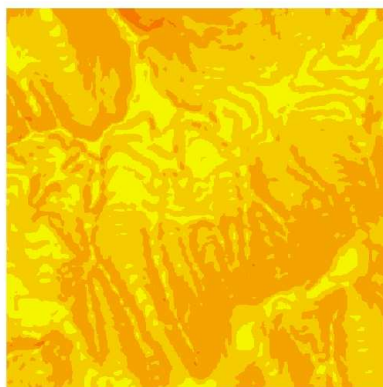


Vlčnovská pahorkatina

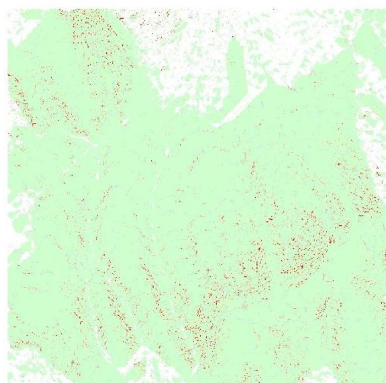
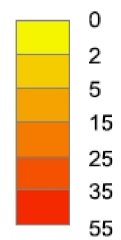
Nekvalitní DMR



Kvalitní DMR



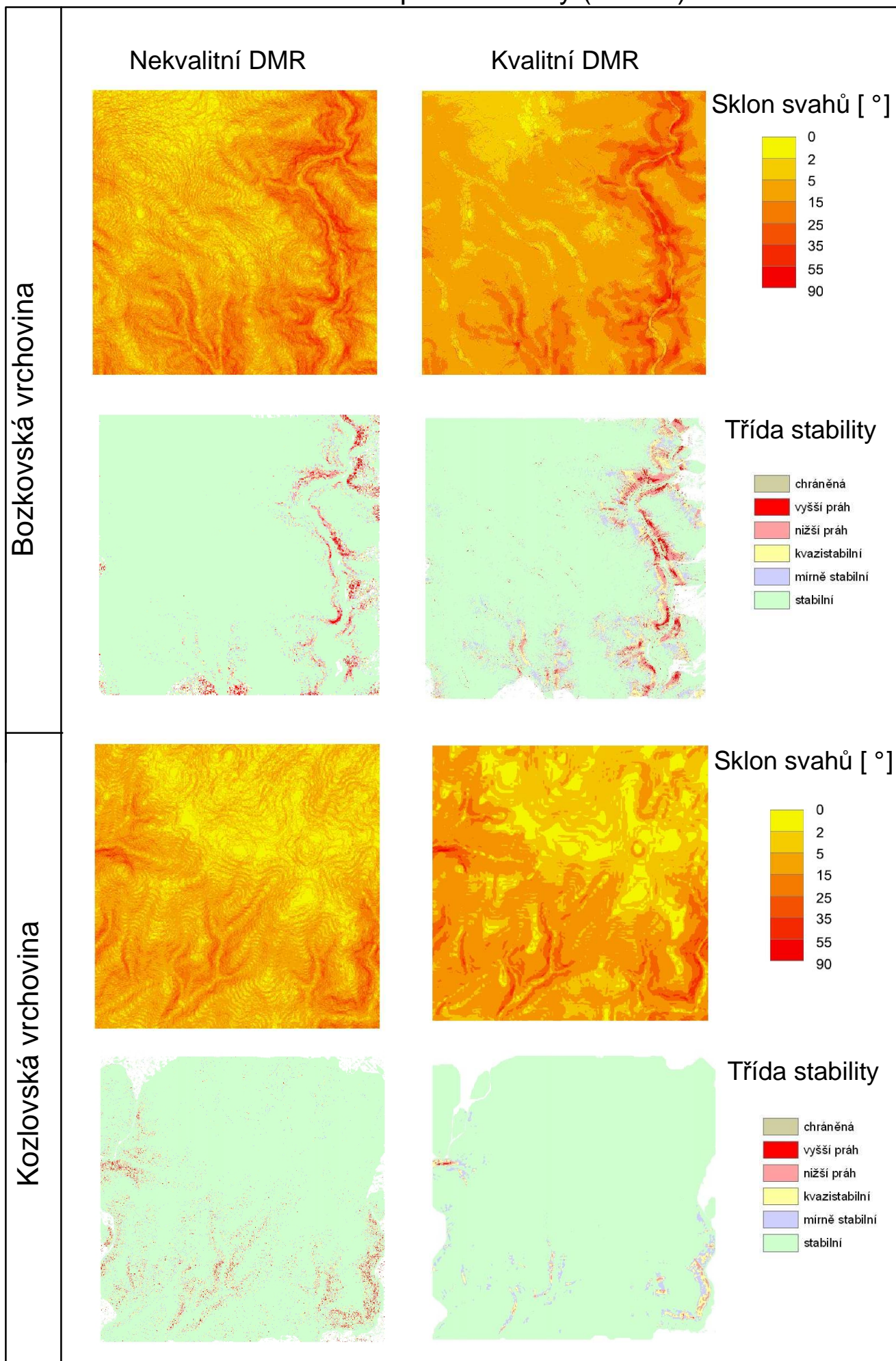
Sklon svahů [°]



Třída stability

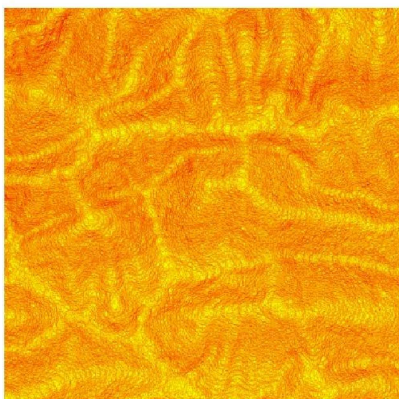


Příloha 2: Porovnání sklonu svahu a indexu stability při použití kvalitního a nekvalitního DMR pro vrchoviny (4x4km)

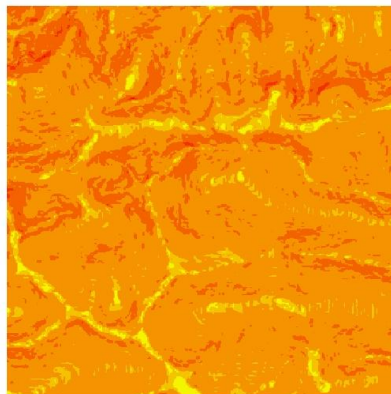


Hošťálkovská vrchovina

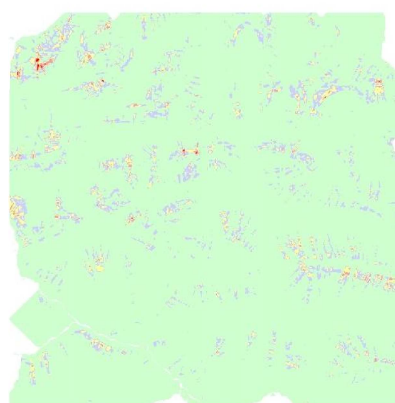
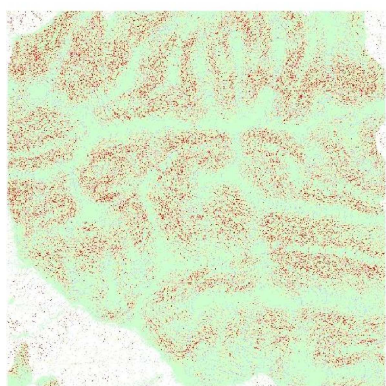
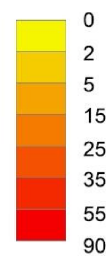
Nekvalitní DMR



Kvalitní DMR



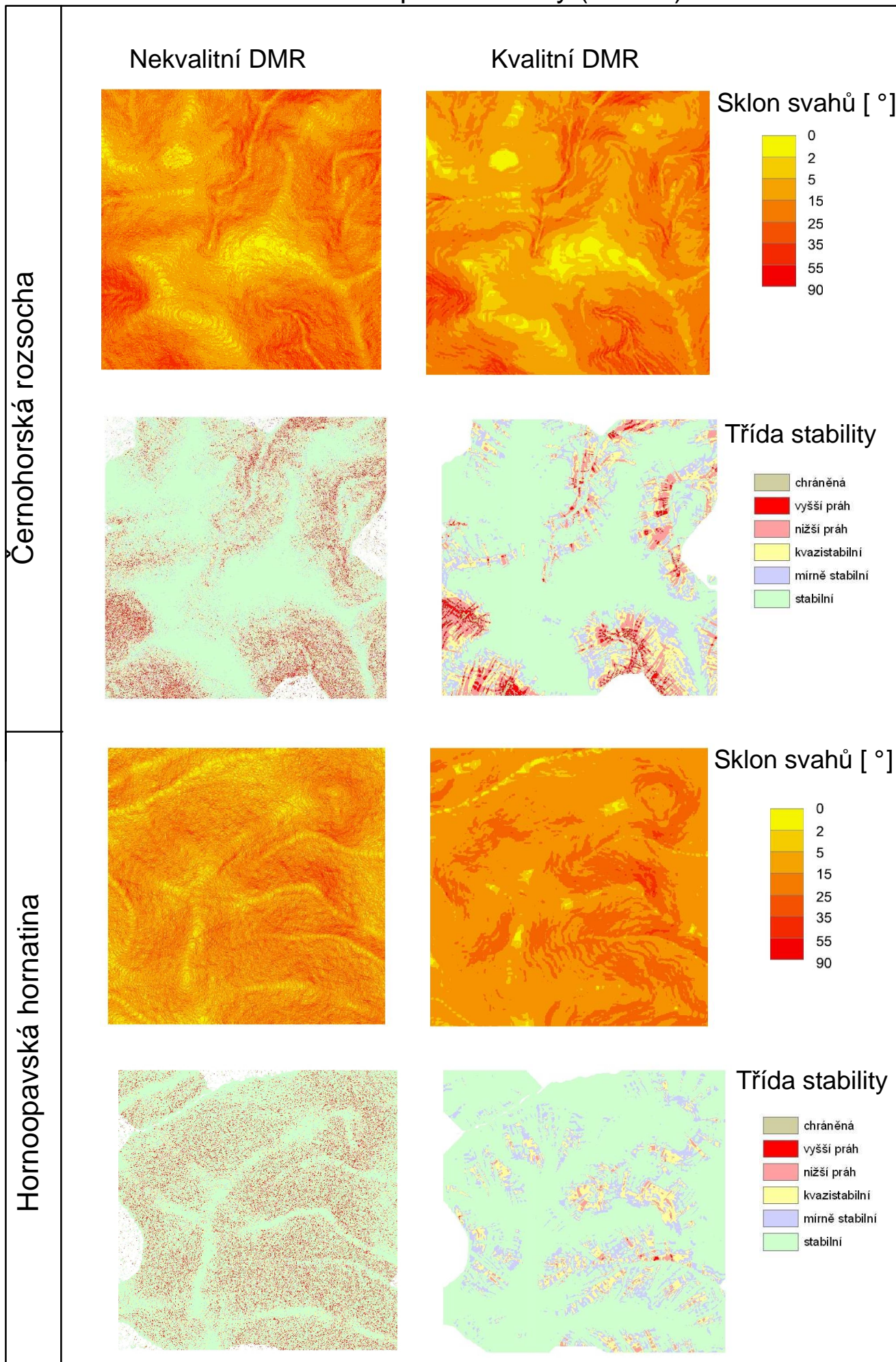
Sklon svahů [°]



Třída stability

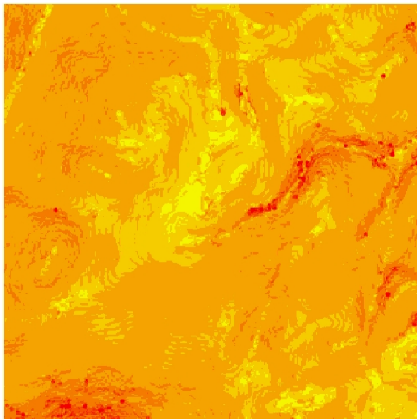


Příloha 3: Porovnání sklonu svahů a indexu stability při použití kvalitního a nekvalitního DMR pro hornatiny (4x4km)

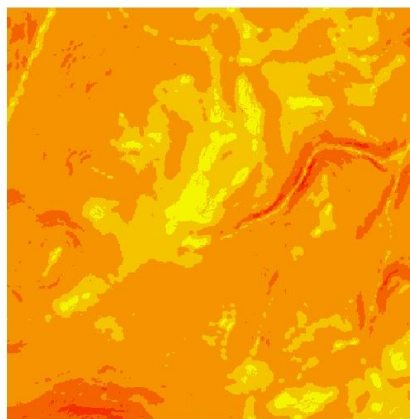


Včelenská hornatina

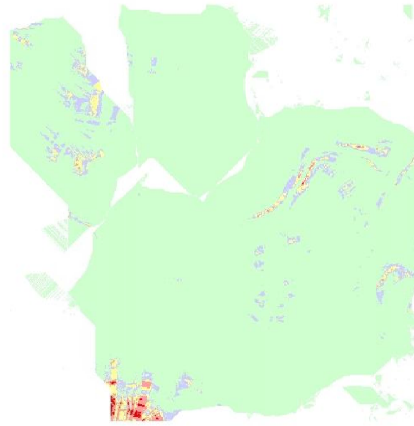
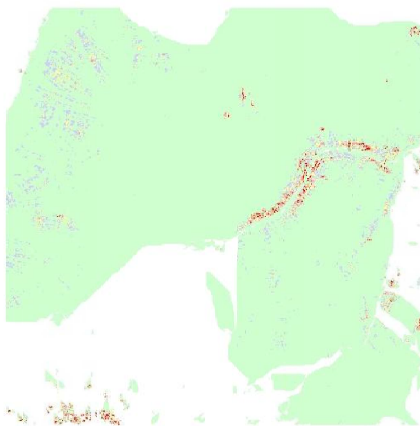
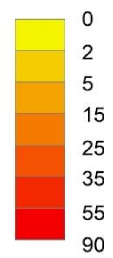
Nekvalitní DMR



Kvalitní DMR



Sklon svahů [°]



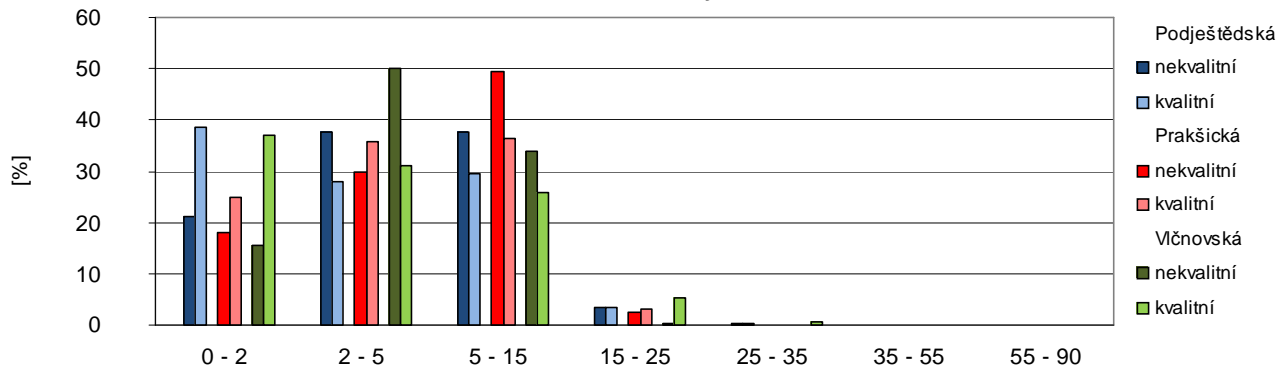
Třída stability



Příloha 4: Porovnání četností sklonu svahů při použití kvalitního a nekvalitního DMR

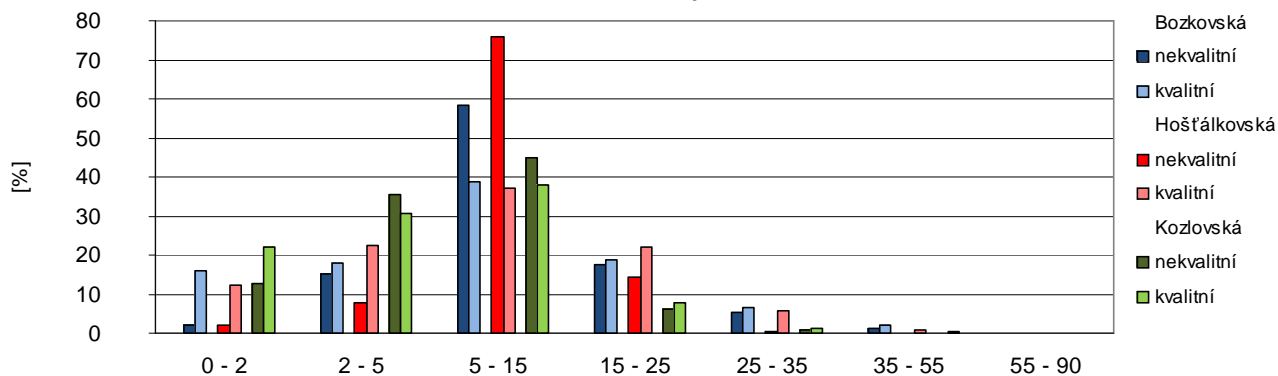
SKLON SVAHŮ

Pahorkatiny



SKLON SVAHŮ

Vrchoviny



SKLON SVAHŮ

Hornatiny

