

# Modelovanie oblastí vzniku lavín s využitím GIS

Eva Stopková

Katedra geodetických základov,  
Stavebná fakulta,  
Slovenská technická univerzita,  
Radlinského 11,  
813 68 Bratislava,  
Slovenská republika  
[eva.stopkova@gmail.com](mailto:eva.stopkova@gmail.com)

Vedúci práce: Ing. Tibor Lieskovský

**Abstrakt.** Práca pojednáva o vplyve topografických vlastností reliéfu na vznik lavínového nebezpečenstva. Zaoberá sa skúmaním vplyvu sklonu, expozície, horizontálnej krivosti, drsnosti povrchu a nadmorskej výšky na lavinóznosť terénu. Na výpočet morfometrických parametrov bol použitý digitálny model reliéfu odvodený z fotogrametricky získaných údajov.

Pomocou programu ArcGIS a jeho nadstavieb Spatial a 3D Analyst boli vytvorené mapy skúmaných parametrov. Výsledkom reklasifikácie a prepočítania pomocou Raster Calculatora je mapa zobrazujúca oblasti vzniku lavín v Žiarskej doline a okolí. Túto mapu je možné vytvoriť aj použitím nástroja (modelu vytvoreného v Model Builderi), ktorý vyjadruje matematicke vzťahy medzi morfometrickými parametrami reliéfu.

**Kľúčové slová:** lavína, digitálny model reliéfu, morfometrické vlastnosti reliéfu

**Abstract.** This thesis treats of issue, how do topographic attributes of relief influence its status to become avalanche dangerous. It is concerned with influences of slope, exposition, plan curvature, roughness of terrain and of altitudes. For computation of morphometrical parameters was used digital model of relief made of datas obtained photogrammetrically.

Maps of researched attributes of relief were created by using tools of Spatial and 3D Analyst. Attributes were reclassified and recounted in Raster Calculator, final product of these operations is map of regions with possibility of avalanches` occurrence in region of Žiar Valley. This map could be also created as product of tool (model built up in Model Builder), which expresses mathematical relationships between morphometrical parameters of relief.

**Keywords:** avalanche, digital model of relief, morphometric properties of relief

## 1 Úvod

Lavína (z latinského labi - klzať sa dolu, angl. avalanche, nem. die Lawine) je jednorazové spontánne gravitačné premiestnenie snehu po horskom svahu [2]. Teória o lavínach sa zaoberá príčinami vzniku, popisom priebehu javu, štúdiom padnutých

lavín a stáva sa podkladom pre prevenčnú prípravu, v krajnom prípade pre lavínovú záchranu.

Napriek tomu, že lavíny zaraďujeme medzi miernejšie prírodné katastrofy, sú z histórie známe viaceré tragické prípady, od 18 000 Hanibalových vojakov, ktorých usmrtili lavíny počas prechodu cez Alpy pri útoku na antický Rím, cez lavínu, ktorá v roku 1924 zasypala veľkofatranskú osadu Rybô, až po individuálne tragédie, ktorým by sa dalo zabrániť. Lavíny sú jav, ktorý je možné relatívne úspešne predpovedať a skúmanie vplyvov na vznik lavínového nebezpečenstva si kladie za cieľ aj táto práca.

## 2 Podmienky vzniku lavín

Zemepisná poloha, celková priestorová výstavba a členitosť horstva sú vážnymi a často rozhodujúcimi okolnosťami, ktoré vo väčšej alebo menšej miere podmieňujú dispozíciu na vznik lavín [1]. Vznik lavín je ovplyvnený topografickými vlastnosťami terénu a momentálnymi meteorologickými podmienkami.

Z vlastností terénu má najväčší význam jeho sklon. Závisia od neho vlastnosti snehovej pokrývky ako napríklad veľkosť, poloha, štruktúra napätí, okrem toho má vplyv na priebeh ukladania a metamorfózu snehu, trenie medzi podkladom a snehovou pokrývkou aj medzi vrstvami navzájom. Odrhnutie lavíny v teréne so sklonom do  $20^\circ$  je zriedkavé, za nebezpečné sa pokladajú hodnoty v intervale  $\langle 30-50^\circ \rangle$ . Nebezpečenstvo vzniku lavín klesá pri väčšom sklone, lebo sneh sa zosypáva priebežne, a pri zmenách sklonu.

Ďalším dôležitým činiteľom pri vzniku lavín je orientácia svahu na svetové strany. Dôsledkom expozície sú rozdiely v množstve dopadajúceho slnečného žiarenia, čo súvisí s rozdielnymi teplotnými režimami, a v prevládajúcom smere vetra, ktorý ovplyvňuje nesúmerné rozloženie snehovej pokrývky na náveterných a záveterných stranách. V našich podmienkach sú potenciálne nebezpečné svahy orientované na východ a na západ.

Z expozícií a sklonov svahov vyplýva tvar terénu, jeho členitosť (mezoreliéf) a drsnosť povrchu. K topografickej dispozícii na tvorbu lavín prispieva morfológia lavínových žľabov, múld a kotlov, ale aj rovnomerných súvislých svahov. Z hľadiska drsnosti povrchu je kritický hladký skalnatý terén, prípadne nízky trávnatý porast, menej náchylné na vznik lavín sú skalné sute, zlomiská, kosodrevinové porasty a terasovité svahy. Minimálne lavínové nebezpečenstvo hrozí v hustých ihličnatých lesoch.

Vzhľadom na to, že charakter terénu je pomerne stály, sa dá povedať, že lavínové nebezpečenstvo vo všeobecnosti stúpa s nadmorskou výškou a juhozápadnou a juhovýchodnou expozíciou [1].

### 3 ANALÝZY V GEOINFORMAČNÝCH SYSTÉMOCH

Predpoveď lavínového nebezpečenstva čerpá informácie z údajov o morfológických vlastnostiach terénu a o meteorologických vplyvoch v danej oblasti. Základom analýz je kvalitný digitálny model reliéfu, zostrojený vektorizáciou vrstevnic máp veľkých mierok, v ideálnom prípade odvodený z podkladov získaných leteckou fotogrametriou. Informácie o drsnosti povrchu sa dajú vyčítať z topografických máp na základe vegetácie, prípadne z leteckých snímok. Údaje o klimatických podmienkach v danej oblasti poskytujú pracoviská Slovenského hydrometeorologického ústavu.

Žiarsku dolinu sme si ako záujmové územie zvolili na základe odporúčania pracovníkov Strediska lavínovej prevencie. Pri tvorbe digitálneho modelu reliéfu sme vychádzali z podkladov získaných digitálnou fotogrametriou, ktoré boli poskytnuté katedre na študijné účely. Rastre s veľkosťou bunky 10mX10m sme zeditovali v Microstatione (kvôli ďalšiemu spracovaniu bolo potrebné pospájať terénne hrany), finálny digitálny model reliéfu bol vypočítaný v Surferi metódou kriging s nulovým nugget efektom. Na znázornenie skalnatého terénu s relatívne veľkými prevýšeniami je vhodnejší formát TIN (Triangulated Irregular Network), ale použili sme formát raster, ktorý má jednoduchšiu štruktúru ako TIN, a tým príslušnému softvéru umožňuje rýchlejšie získanie výsledkov. Pri analýzach topografických vlastností terénu sme vychádzali z rovnice [1]:

$$Av = (Al + Ex + Fx) \cdot S \cdot Rg , \quad (1)$$

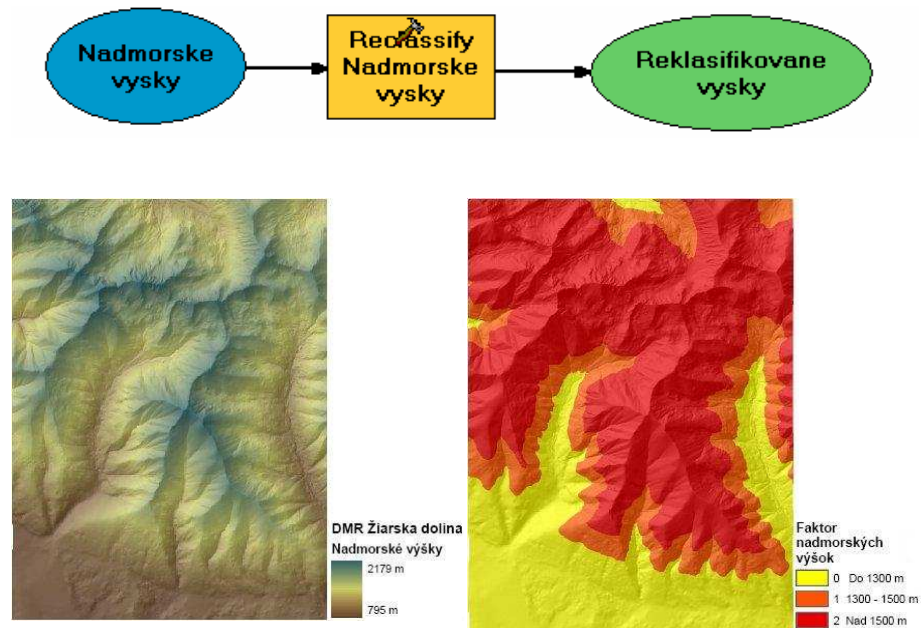
kde Av – hrozba vzniku lavíny, Fx – faktor horizontálnej krivosti,  
 Al – faktor nadmorskej výšky, S – faktor sklonu reliéfu,  
 Ex – faktor expozície, Rg – faktor drsnosti povrchu.  
 Konkrétne hodnoty jednotlivých faktorov sme získali z tabuľky (Tab.1).

**Tabuľka 1.** Hodnoty faktorov pre model určenia miest vzniku lavín [6]

Faktor nad. výšky	Výška (m n. m.)	Faktor Orientácie	Orientácia (S=0°, V=90°)	Faktor horizontálnej krivosti	Horizontálna krivosť
0	do 1300	1	0° – 90°, 270,1° – 360°	0	1 – 0,001
1	1300-1500	2	90,1° - 270°	1	0,001 - -0,001
2	nad 1500			2	-0,001 - -1
Faktor sklonu	Sklon (v stupňoch)	Faktor drsnosti povrchu	Typ povrchu		
0	0° - 10°, 70° - 90°	0,5	les (ihličnatý, listnatý, zmiešaný)		
0,4	10° - 19°, 60° - 70°	1,2	nesúvislý les zmiešaný s kosodrevinou, hrubá balvanitá sut a svahy s menšími blokmi		
0,8	19° - 25°, 55° - 60°		krovinatý porast		
1,2	25° - 30°, 50° - 55°	1,4	riedky les (tráva a stromy)		
1,6	30° - 35°, 45° - 50°	1,5	súvislá kosodrevina, svahy s výčnelkami skalného podložia do 50 cm		
2	35° - 45°	2,5	nesúvislá kosodrevina, drobné úlomkovité sutinové svahy		
		2,8	trávnatý porast, kremencové skalné moria, skalné platne		
		3			

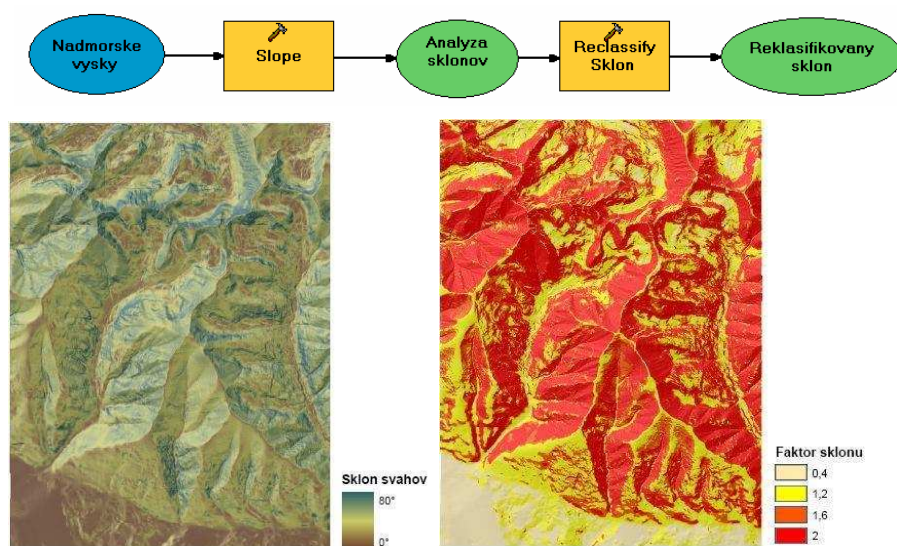
Údaje o nadmorskej výške zahŕňal priamo digitálny model reliéfu. Za účelom analýz sme pomocou funkcie Reclassify existujúcim hodnotám buniek priradili hodnoty faktora nadmorských výšok, čím sme zjednotili oblasti s rovnakými faktormi. Tento

postup sa dá vyjadriť názornejšie pomocou modelu vytvoreného v súčasnosti ArcGISu, v Model Builderi (Obr.1). Analogicky sme vytvorili modely na analýzu ostatných vlastností terénu.



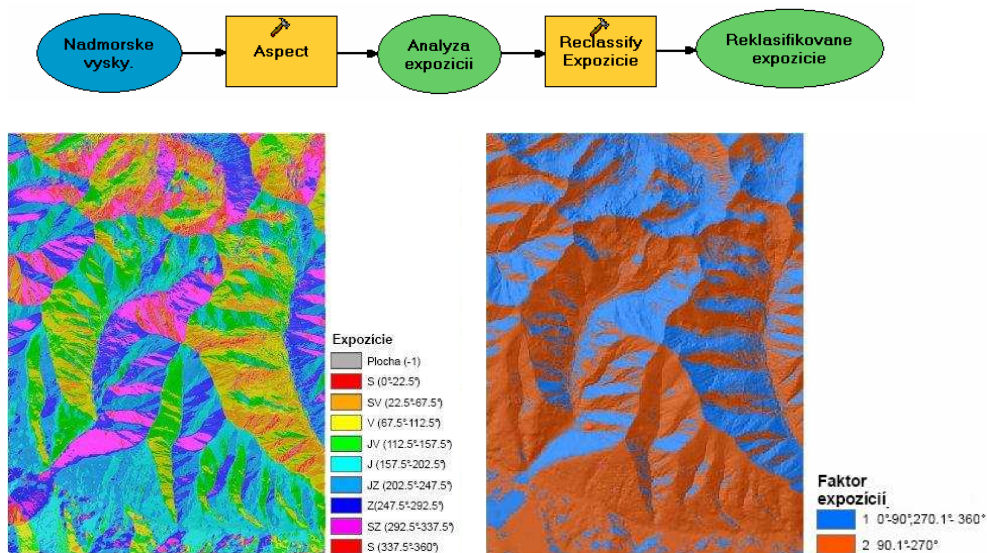
**Obr.1.** Model analýzy nadmorských výšok a výsledok jeho aplikácie

Analýzami digitálneho modelu reliéfu pomocou funkcií nadstavby ArcGISu Spatial Analyst sme získali údaje o morfológických vlastnostiach reliéfu. Sklon reliéfu je zmena nadmorských výšok v smere spádovej krivky, býva vyjadrený v stupňoch. Výsledku výpočtov funkcie Slope (Surface Analysis) sme pri reklasifikácii priradili desaťnásobok faktora sklonu (funkcia Reclassify neakceptovala hodnoty reálnych čísel), k správnym hodnotám faktora sme sa potom dopracovali vydelením hodnôt rastra reálnym číslom 10.0 v nástroji Raster Calculator nadstavby Spatial Analyst (Obr. 2).



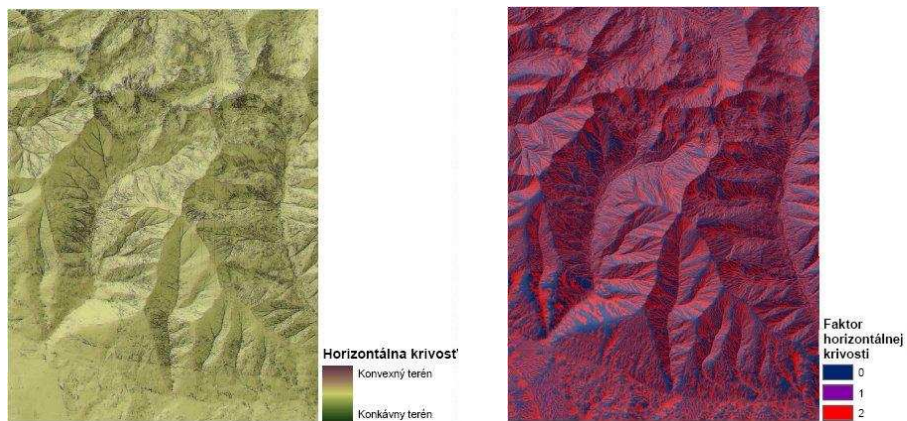
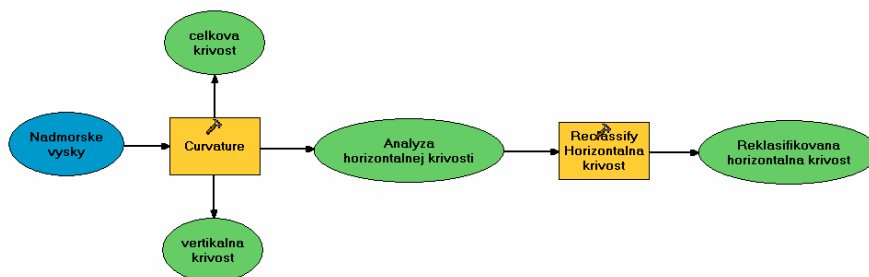
**Obr. 2.** Model analýzy sklonov svahov a výsledok jeho aplikácie

Expozícia reliéfu predstavuje orientáciu reliéfu voči svetovým stranám. Vyjadrená je v stupňoch v rozpätí 0° - 360°, sever má hodnotu 0°, ostatné sú priradované v smere chodu hodinových ručičiek vzostupne. Mapu expozície sme získali použitím funkcie Aspect, následnou reklasifikáciou sme získali analýzy na základe hodnôt faktorov z tabuľky (Tab. 1, resp. Obr. 3).



**Obr. 3.** Model analýzy expozícií svahov a výsledok jeho aplikácie

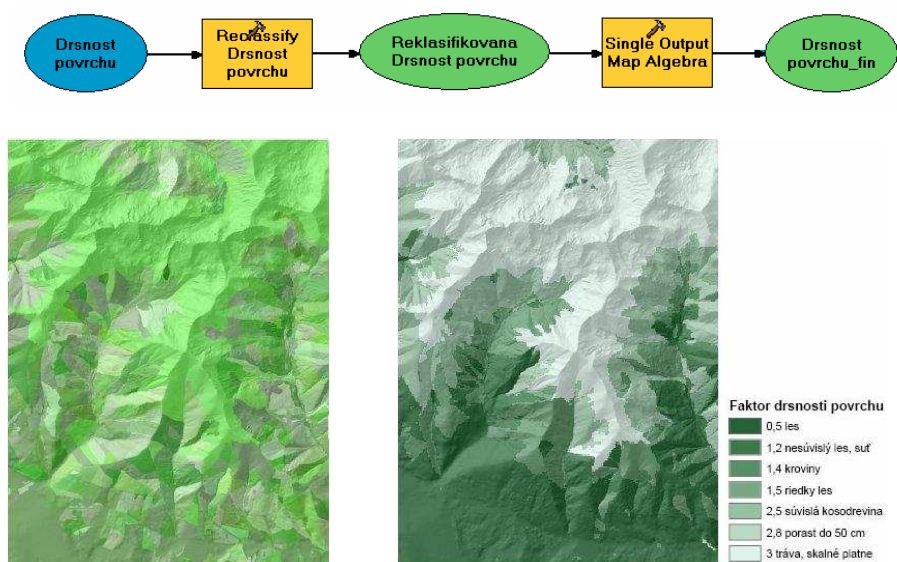
Horizontálnu krivosť reliéfu predstavuje zakrivenie reliéfu v smere vrstevnice (normálová krivosť v smere dotyčnice k vrstevnici). Zakrivenie môže byť buď kladné, alebo záporné. Kladné hodnoty označujú konvexné (vypuklé) tvary reliéfu, záporné hodnoty konkávne (vduté) tvary. Horské chrbty sú zvyčajne konvexné a doliny konkávne. Hodnoty krivosti sú v  $m^{-1}$ . Primárnym výsledkom funkcie Spatial Analystu Curvature je celková krivosť, vypočítaná ako druhá derivácia terénu, ale funkcia zároveň počíta aj horizontálnu a vertikálnu krivosť. Hodnoty horizontálnej krivosti sa v miernom teréne pohybujú v rozmedzí -0,5 až 0,5, v hornatom teréne (ako v našom prípade) patria do intervalu  $\langle -4;4 \rangle$ . Postup analýz znázorňuje obrázok (Obr.4).



**Obr. 4.** Model analýzy horizontálnej krivosti a výsledok jeho aplikácie

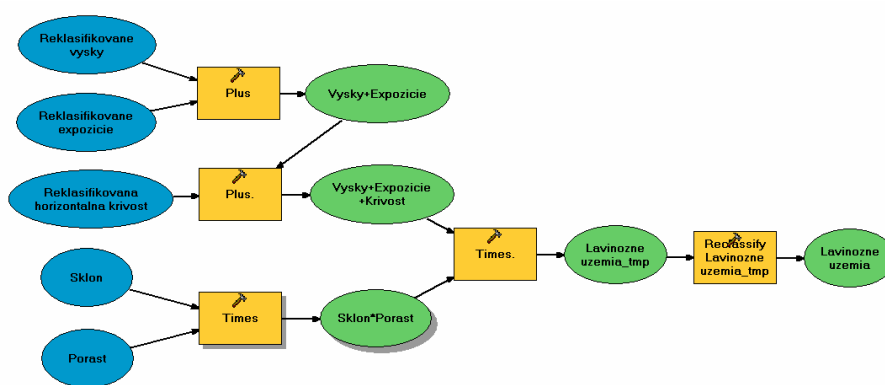
Pri analýzach drsnosti povrchu sme použili mapy zobrazujúce vegetáciu, ktoré nám poskytla horská služba. Každý oblasti bolo potrebné v tabuľke atribútov priradiť číslo podľa faktora drsnosti povrchu. Tieto hodnoty sme reklasifikovali podľa desaťnásobku príslušného faktora a následne sme raster pomocou funkcie Raster Calculator predelili konštantou 10,0 (Obr. 5).





Obr. 5. Model analýzy drsnosti povrchu a výsledok jeho aplikácie

Po spracovaní výsledkov analýz jednotlivých vlastností terénu sme vytvorili model (Obr. 6), ktorý na základe funkčných vzťahov z rovnice (1) vygeneroval oblasti potenciálne ohrozené vznikom lavín. Túto mapu sme podobne ako predchádzajúce reklasifikovali podľa tabuľky (Tab.2).



Obr.6. Model analýzy lavinóznych území

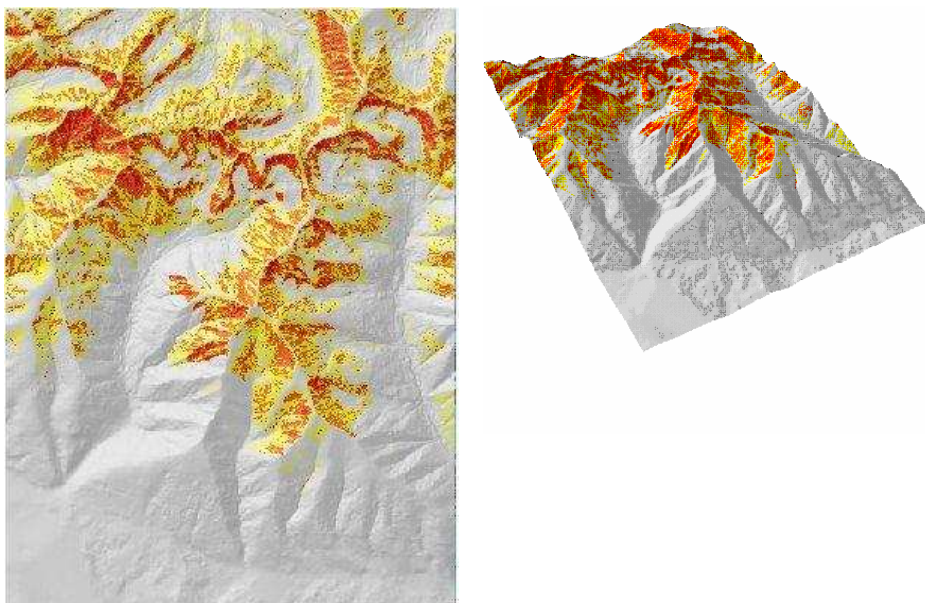
Tabuľka 2. Reklasifikácia výsledkov

Výsledok rovnice	Hrozba vzniku lavíny
(0 – 15>	Malá
(15 – 22,5>	Stredná
(22,5 – 30>	Veľká
(30 - 36>	Katastrofická

Alternatívny spôsob na získanie analýzy lavínového nebezpečenstva predstavuje vytvorenie modelu v nadstavbe ArcGISu Model Builder. V tomto prípade sme vychádzali z digitálneho modelu reliéfu a z údajov o drsnosti povrchu. Analýzy sklonu, nadmorských výšok, expozícií a horizontálnej krivosti boli, podobne ako ich reklasifikované a prepočítané hodnoty, medzivýsledkami činnosti naprogramovaných funkcií. Model je riešiteľný viacerými spôsobmi, buď priamo, alebo ako sústava hlavných a vedľajších funkcií.

#### 4 ZÁVER

Výsledkom práce je mapa lavínóznych oblastí v Žiarskej doline (Obr. 7) a nástroj na jej vytvorenie. Ich správnosť bude možné overiť po získaní máp lavínového katastra zo Strediska lavínovej prevencie Jasná. S prácou plánujeme v budúcnosti pokračovať, radi by sme ju rozšírili o analýzy vplyvov počasia, ktoré sme sa rozhodli vynechať pre nedostatok relevantných meteorologických údajov. Takisto chceme doplniť terénne hrany, ktoré boli pre výpočet v Surferi nepoužiteľné.



**Obr.7.** Mapa lavínóznych oblastí v Žiarskej doline a 3D pohľad



Podľa nášho názoru majú geoinformačné systémy uplatnenie aj v skúmaní lavínového nebezpečenstva. Perspektívu by mohol mať napríklad špecializovaný softvér, ktorý by bol na základe najnovších meteorologických údajov schopný vypočítať aktuálnu mapu lavínového nebezpečenstva pre ľubovoľnú lokalitu.

## Referencie

1. Konček, M. a kol.: *Klíma Tatier*. VEDA, vydavateľstvo SAV, Bratislava, 1974, 1. vydanie, 856 strán (K. Chomitz – L. Kňazovický: Lavíny, s.581-600)
2. Milan, L.: *Lavíny v horstvách Slovenska*. VEDA, vydavateľstvo SAV, Bratislava, 2006, 152 strán
3. Crosier, S. a kol.: *Getting started with ArcGIS*. ESRI, New York, 2004, 265 strán
4. Bratt, S., Booth, B.: *Using ArcGIS 3D Analyst*. ESRI, New York 2002, 374 strán
5. McCoy, J. a kol.: *Using ArcGIS Spatial Analyst*. ESRI, New York 2002, 232 strán
6. [http://www.fns.uniba.sk/~kke/info\\_PRE/prednasky\\_cvicenia/hrozby/09\\_lavinova\\_hrozba.htm](http://www.fns.uniba.sk/~kke/info_PRE/prednasky_cvicenia/hrozby/09_lavinova_hrozba.htm)
7. <http://www.geomodel.sk/sk/projekty/ucelmapy.htm#hkr>