

## Avalance and debris flow modelling in the chosen location of the Moravskoslezské Beskydy Mountains

*Modelovanie lavín vo vybraných lokalitách Moravskoslezských Beskyd*

Jozef RICHNAVSKÝ<sup>a</sup>, Marek BISKUPIČ<sup>b</sup>, Boris ŠÍR<sup>a</sup>, Peter BOBÁL<sup>a</sup>, Jan UNUCKA<sup>a</sup>, Martin ĎURICHA<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Vysoká škola Báňská Technická Univerzita Ostrava, [jozef.richnavsky@vsb.cz](mailto:jozef.richnavsky@vsb.cz)

<sup>b</sup>Univerzita Karlova, Praha

---

### Abstract

The result of the development of ski tourism (off-piste skiing) in combination with inappropriate snow and climatic conditions is the increasing number of snow avalanches. Moreover, dangerous avalanches occur also in the areas where they have never been registered before. Unfortunately, casualties have been registered, too. The use of GIS tools for the modelling of slope movements (including avalanches) has shown quite a great progress. The evidence of this is the development of many modelling tools aimed on the simulation and prediction of movements down a slope. First part of the study is focused on the modeling of avalanche release zones, where the probability of avalanche triggering is the highest. In the second part of the study, RAMMS model was used at the modelling of avalanche paths and avalanche depositions in the specific region of the Moravskoslezské Beskydy Mountains.

**Keywords:** avalanche, RAMMS, release zone, modelling

**Kľúčové slova:** lavína, RAMMS, odtrhová zóna, modelovanie

---

### 1. Úvod

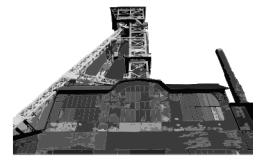
Na úvod tohto príspevku treba poznamenať, že lavíny sú zákonitý jav horského prostredia. Lavína, ako jednorazové, spontánne gravitačné premiestnenie snehu po horskom svahu, je prirodzeným horským fenoménom, ktorý však často ohrozuje prírodné zdroje, sídla, infraštruktúru a bohužiaľ veľmi často aj ľudské životy. Ľudskou snahou by malo byť čo najväčšie pochopenie všetkých procesov, ktoré vedú k uvoľneniu lavín a tým súvisiacia snaha o minimalizáciu týchto negatívnych dôsledkov. Veľmi dôležitá je preto najmä schopnosť predvídať lavínové riziko a rozoznať podmienky, ktoré vedú k jeho zvýšeniu. Využitie nástrojov GIS na modelovanie svahových pohybov zaznamenáva pomerne veľký progres. Dôkazom toho je vývoj viacerých modelovacích nástrojov, zameraných práve na simuláciu a predikciu pohybu hmoty po svahu. Modelovanie a mapovanie lavín môže aspoň čiastočne pomôcť pri pochopení správania sa lavín a tým pádom aj pri zredukovaní lavínového rizika v horskom teréne.

### 2. Vlastnosti pozorovaných beskydských lavín

Moravskoslezské Beskydy nie sú typickou lavínóznou oblasťou ČR, ako napríklad Krkonoše, či Jeseníky. Ani klasický stupeň lavínového nebezpečenstva (5-dielna medzinárodná stupnica), ako ho poznáme z Tatier, Fatry, Krkonoš, či Jeseníkov sa v Beskydách nevyhlasuje. V tomto pohorí sa totiž nevyskytujú typické lavínové svahy. Pre Beskydy nie sú typické rozsiahle

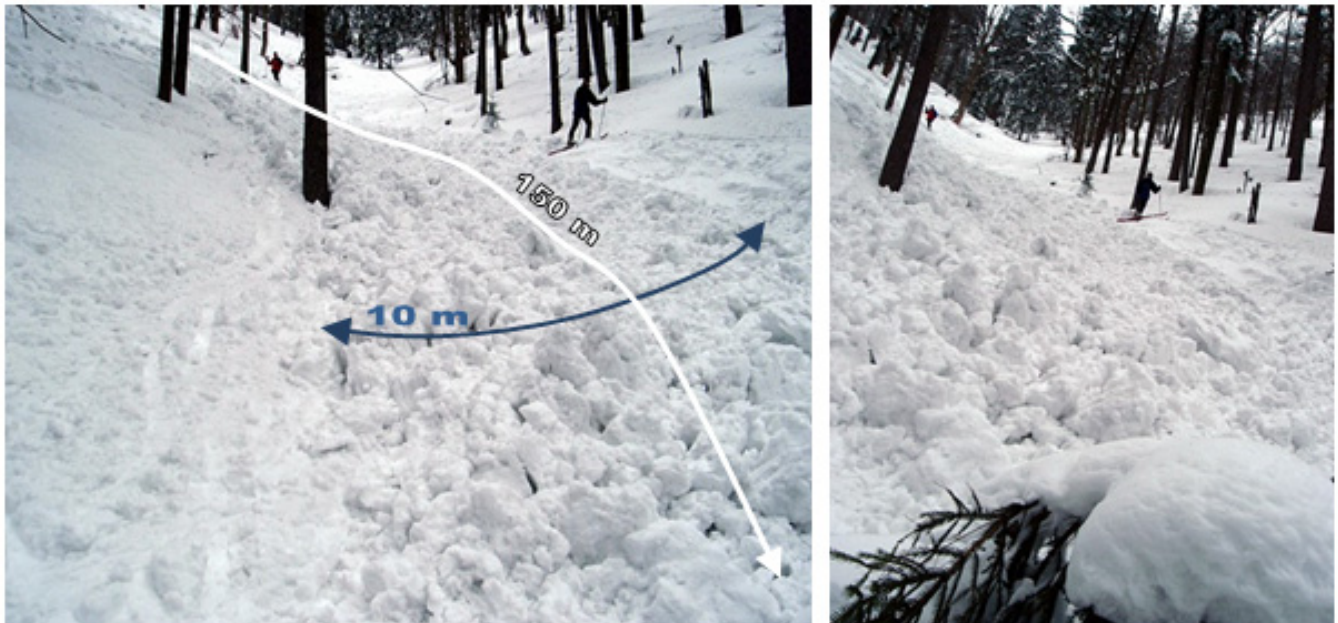
a nezalesnené snehové pláne, ktoré predstavujú klasické lavínové svahy. Avšak značný rozvoj lyžiarskeho cestovného ruchu, najmä skialpinizmu, v kombinácii s nevhodnými snehovými a klimatickými podmienkami, majú za následok nárast výskytu nebezpečných lavín aj v miestach, kde dovtedy lavíny zaznamenané nikdy neboli. V Beskydách bol zaznamenaný nárast počtu lavín práve vo vrchných strmých korytách potokov a v strmých úžľabinách. Tie sa navyše nachádzajú často krát v pomerne husto zalesnenom teréne, ktorý tak vyvoláva ilúziu bezpečného zjazdu v hlbokom prašane. A práve takéto lokality lákajú vyznávačov lyžovania vo voľnej prírode najviac. V prípade, že sa nový sneh nedostatočne spojí s podkladovou vrstvou sa však takéto lokality vyznačujú značným lavínovým rizikom.

Lavínová situácia v Beskydách je tak navyše nebezpečná hlavne v tom, že zosuvy snehu sa môžu vyskytnúť aj v takých miestach, kde by to potenciálny lyžiar vôbec nečakal. Najviac lavín pozorovaných v Moravskoslezských Beskydách nesie znaky žľabových, alebo plošno-žľabových lavín. Pre žľabové lavíny platí, že minimálna šírka lavínovej dráhy má len jednu tretinu z dĺžky jej odtrhu (Milan 2006). Charakteristická dráha žľabovej lavíny je tak pomerne úzka a dlhá (obr. 1). Vyskytuje sa najmä v terénoch s výrazne konkávnym profilom. Odtrh väčšiny zaznamenaných lavín bol čiarový, ale vyznačoval sa minimálnou dĺžkou. Pri väčšine lavín tvorila sklzný povrch niektorá iná vnútorná vrstva a jedná sa teda o lavíny povrchové. Na jar, keď dochádza k topeniu



snehu a podmáčaníu podložia, predstavuje hladký povrch s napadanými listami listnatých stromov ideálnu sklznú plochu. V tomto období bol zaznamenaný väčší výskyt základových lavín. Najviac lavín bolo zaznamenaných na južných, juhovýchodných a juhozápadných svahoch a

najčastejšie sa jednalo o lavíny mokrého, ťažkého snehu. V strmých konkávných žľaboch dochádza k značnej akumulácii suchého naviateho snehu, čo bolo taktiež dôvodom iniciácie niekoľkých zaznamenaných lavín.



**Obr. 1:** Typická žľabová lavína na zalesnenom svahu Lysej hory (Mazácky kotol). Jej šírka dosahuje 10 m a dĺžka približne 150 m.

Zdroj: upravené podľa <http://www.horskesporty.cz/knehyne-smrk-lysa-hora/>

### 3. Modelovanie lavínového rizika

Celý proces modelovania lavínového rizika môžeme rozdeliť na tri čiastkové procesy:

- Modelovanie odtrhových zón
- Modelovanie lavínových dráh
- Modelovanie dosahu lavín

#### 3.1 Modelovanie odtrhových zón

Modelovanie potenciálnych odtrhových zón, slúži na identifikáciu lokalít, kde je pravdepodobnosť vzniku lavíny najväčšia. Vo švajčiarskom výskumnom stredisku pre lavíny a sneh v Davose boli na základe známych lavínových dráh s vysokou frekvenciou lavín určené topografické parametre, ktoré najviac prispievajú ku vzniku lavín (Gruber 2001). Modely z týchto dobre zdokumentovaných lavínových dráh, môžu byť následne prenesené do miest, kde takáto dokumentácia chýba (Delparte et al. 2004).

Na Slovensku sa tejto problematike stanovenia odtrhových zón venoval Hreško (1998), ktorý odvodil rovnicu na určovanie odtrhových zón lavín. Pri jej zostavovaní vychádzal zo štatistického rozboru topografických charakteristík zaznamenaných lavín. Táto rovnica bola na základe porovnávaní s lavínovým

katastrom upravená Bárkom a Rybárom (2003) a Biskupičom (2008). Jej výsledný tvar je nasledujúci:

$$Av = (Al + Ex + Fx + Fy) * S * Rg$$

**Av** - je výsledná hrozba vzniku lavíny

**Al** - faktor nadmorskej výšky

**Ex** - faktor orientácie reliéfu

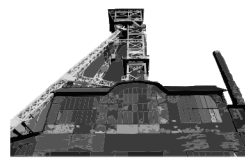
**Fx** - faktor horizontálnej krivosti

**Fy** - faktor vertikálnej krivosti

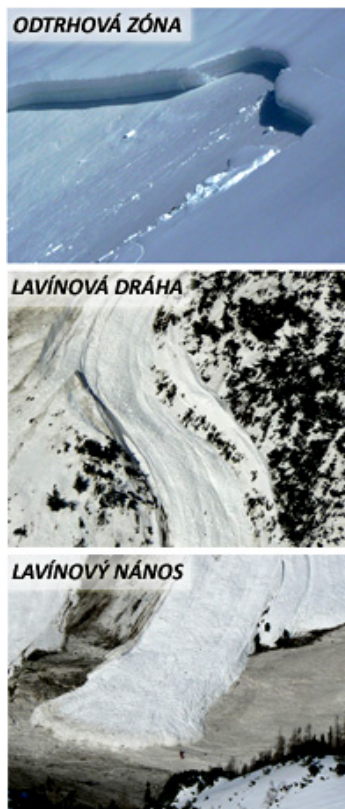
**S** - faktor sklonu reliéfu

**Rg** - faktor drsnosti povrchu

Do výpočtu teda vstupuje digitálny model reliéfu a z neho odvodené parametre terénu (sklon, nadmorská výška, vertikálna a horizontálna krivosť a orientácia reliéfu) a vrstva CORINE Land cover, ktorá nesie informácie o type povrchu. Pred samotným výpočtom je nutné uskutočniť potrebnú reklasifikáciu jednotlivých faktorov, ktoré do rovnice vstupujú. Vyššou hodnotou budú ohodnotené svahy, ktoré majú väčší predpoklad pre vznik lavínového odtrhu z hľadiska nadmorskej výšky, expozície, sklonu, krivosti reliéfu a drsnosti povrchu. Jednotlivé hodnoty boli určené na základe dlhodobých pozorovaní, skúseností a štatistického rozboru reálnych



lavínových udalostí v Beskydách, Západných Tatrách a Malej Fatre.



**Obr. 2: Tri základné oblasti modelovania lavínového rizika**

Zdroj: archív SLP

Výsledkom tejto rovnice je vrstva identifikujúca miesta s najväčším potenciálom pre vznik lavíny. Najrizikovejšie miesta predstavujú približne **0.46 %** územia Moravskosliezskych Beskýd, čo je približne **300 ha**. Avšak zaberajú pomerne veľké oblasti práve na svahoch vrcholov, ktoré sú častým cieľom vyznávačov lyžovania vo voľnom teréne. Nájdeme ich najmä na svahoch Lysej Hory, Smrku a Kněhyně. Malé lokality sa nachádzajú aj na svahoch vrchov Javorový, Ropice a Travný. Na obr. 3 je zachytená obľúbená skialpinistická trasa, ktorá prechádza cez vrcholy Kněhyně, Smrk a Lysá Hora. Veľmi obľúbené sú však aj zjazdy na strmých severných svahoch Smrku a Lysej Hory. Vyznačené je aj miesto, kde sa stala prvá beskydská lavína s tragickými následkami. Je zrejme, že daná lokalita výrazne spadá, podľa použitého modelu, do oblasti s výrazným predpokladom terénu pre vznik lavíny.

Na modelovanie lavínových dráh a dosahov lavín sa najvhodnejším javí použitie dynamického modelu, ktorý dokáže simulovať dynamiku tečúceho snehu v komplexnom teréne a procesy, ktoré tento tok bezprostredne ovplyvňujú (nabaľovanie snehu a pod.).

Na identifikáciu lavínových dráh, dosahu lavín a samotného priebehu lavíny bol použitý model RAMMS. Na to, aby sme toto modelovanie mohli uskutočniť, je potrebný práve výsledok predchádzajúceho modelu na identifikáciu odtrhových zón. Potenciálne polygóny odtrhu, ktoré model vyžaduje, boli identifikované práve v miestach, ktoré z predchádzajúceho modelu vyšli ako lokality so značným predpokladom pre vznik odtrhu (obr. 4). Ich tvar, spolu s vlastnosťami snehu značne ovplyvňujú výsledný tvar lavínovej dráhy a taktiež maximálny dosah lavíny.

### 3.2 Modelovanie lavínových dráh a dosahu lavín

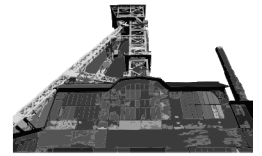
#### 3.2.1 Popis modelu RAMMS

**RAMMS** (*Rapid Mass MovementS*) je moderný numerický simulačný model, ktorý slúži na modelovanie pohybu geofyzikálnych pohybov hmoty od spustenia, až po jej dosah v trojdimenzionálnom teréne (Christen et al. 2010). V súčasnosti je k dispozícii verzia 1.3.08, ktorá umožňuje modelovanie pohybu lavín. Do budúcnosti sa predpokladá, že model bude doplnený taktiež o možnosť modelovania plytkých zosuvov, kamenných lavín, či sutinových prúdov. Model RAMMS bol vyvinutý vývojovou skupinou lavínových expertov pod názvom "Avalanche, Debris Flow and Rockfall", ktorá pôsobí vo WSL Institute for Snow and Avalanche research, SLF v Davose (Švajčiarsko). Je to komerčný model, cena za jeho licenciu sa pohybuje od 900 CHF za polročnú vzdelávaciu licenciu pre vedecké pracoviská a univerzity. Výsledky modelu umožňujú odborníkom, ktorí sa touto problematikou zaoberajú predpovedať rýchlosť, tlak a hlavne množstvo hmoty, ktorá sa môže zosunúť po svahu. To je zvlášť užitočné pri navrhovaní umiestnenia a tvaru protilavínových zábran, ako sú lavínové hrádze, či protilavínové galérie. Vhodne kalibrovaný a verifikovaný model, ktorý by pracoval s dostatočne presnými vstupnými dátami, by sa mohol použiť aj pri tvorbe, aktualizácii a spresňovaní lavínového katastra v ČR.

Pohyb uvoľnenej masy snehu po teréne je simulovaný využitím Voellmyho rovnice trenia. Tento model rozdeľuje treciu odolnosť povrchu do dvoch zložiek. Suchý (Coulombový) typ trenia (koeficient  $\mu$ ) v modeli RAMMS označovaný ako  $\mu$ . Druhý koeficient  $\xi$ , v modeli RAMMS označovaný ako  $X$ , je koeficient odporu v závislosti na kvadráte rýchlosti udávaný v  $[m/s^2]$ . Pohyb lavíny je popísaný ako pohyblivý blok snehu, ktorý je brzdený silou, priamo úmernou štvorci rýchlosti tohto toku. Odpor trenia ( $S$ ) v  $[Pa]$  je potom definovaný nasledovne:

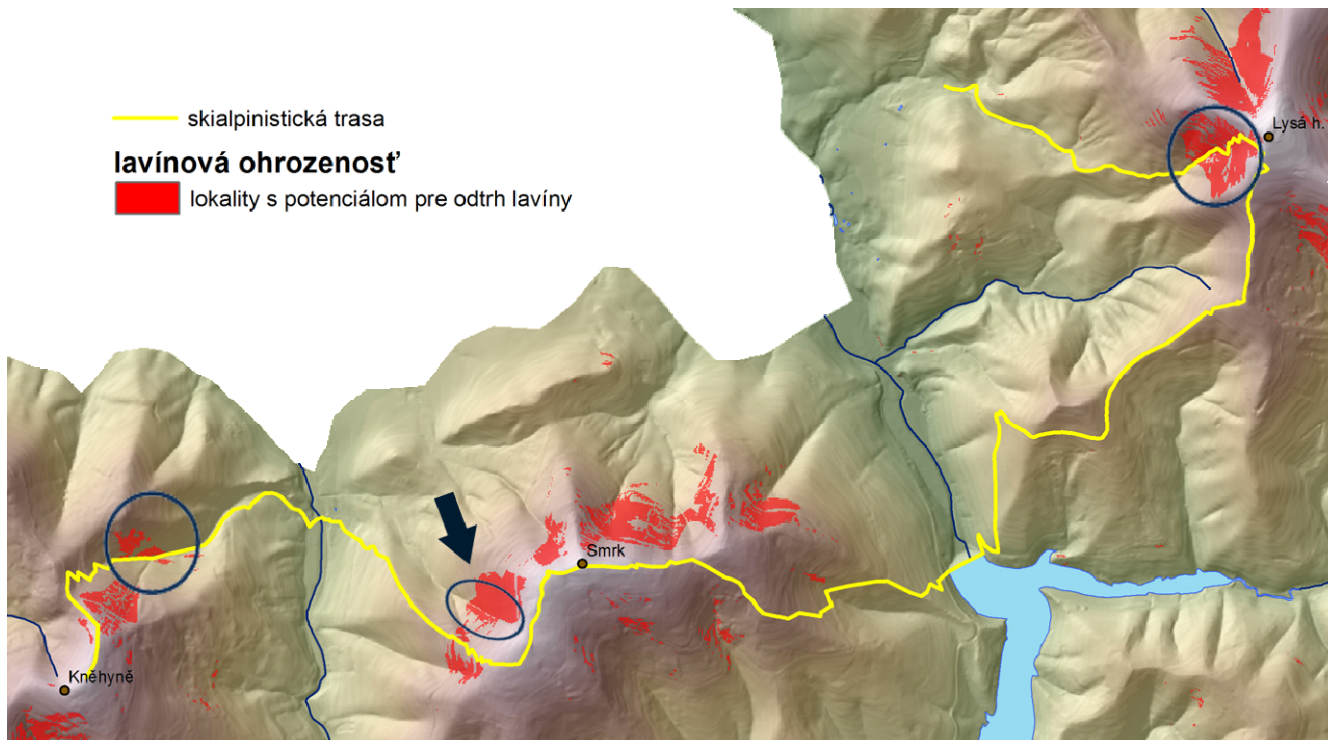
$$S = \mu \rho H g \cos \phi + \rho g U^2 \xi$$

kde  $\rho$  je hustota toku,  $g$  je gravitačné zrýchlenie,  $\phi$  je uhol sklonu svahu,  $H$  je výška toku a  $U$  je rýchlosť toku. Táto rovnica našla uplatnenie v mnohých aplikáciách pre



pohyb hmoty po teréne, najmä snehu. Voellmyho model bol používaný dlhú dobu vo Švajčiarsku a existuje k nemu súbor kalibračných parametrov. Koeficienty  $\mu$  a  $\xi$  závisia taktiež aj na globálnych parametroch simulácie v RAMMS (návratovej periódy a veľkosti kategórie objemu lavíny). Treba však spomenúť, že Voellmyho model má isté ťažkosti pri modelovaní malých lavín, pre ktoré je charakteristické, že sa zastavia

a vytvoria nános bezprostredne po ich spustení. Pri modelovaní malých lavín, ktoré sú typické aj pre skúmané územia pohoria Moravskosliezskych Beskyd, sa pri modelovaní odporúča použitie vyšších hodnôt koeficientov  $\mu$  a  $\xi$ . V procese kalibrácie modelu boli teda hodnoty frikčných parametrov mierne zvýšené.



**Obr. 3: Známa skialpinistická trasa a miesta, kde prechádza cez lokality s veľkým lavínovým rizikom. Vyznačené je aj miesto, kde došlo k prvej beskydskej lavíne s tragickými následkami.**

### 3.2.2 Vstupné dáta do modelu RAMMS

Model RAMMS požaduje na vstupe najmä 2 povinné vrstvy. Prvou je digitálny model reliéfu, ktorý charakterizuje vlastnosti terénu, v ktorom sa simulovaná lavína pohybuje. Práve presnosť a rozlíšenie topografických dát najviac vplýva na celkovú presnosť modelovania. Odporúčané priestorové rozlíšenie je 5 m. Pri detailnom simulovaní sa dá ísť aj do veľkosti pixla 2 x 2 m. Výrazne to však spomaľuje čas potrebný na simuláciu. Tým druhým je odtrhová zóna, čo je polygón charakterizujúci veľkosť a lokalizáciu počiatočnej masy snehu, ktorá sa zosúva po svahu a ku ktorej sa pri jej pohybe nadol nabaľuje ďalší sneh. Odtrh lavíny sa definuje ako polygón s určitou výškou odtrhu. Model umožňuje zadanie hustoty snehu, ktorá taktiež výrazne ovplyvňuje správanie sa a najmä dosah lavíny. Vymedzenie lavínového odtrhu by malo byť presné a podľa možnosti čo najpresnejšie. V tomto prípade bola zvolená výška odtrhu 0,5 m, nakoľko len niekoľko z

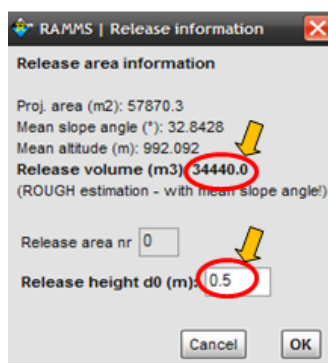
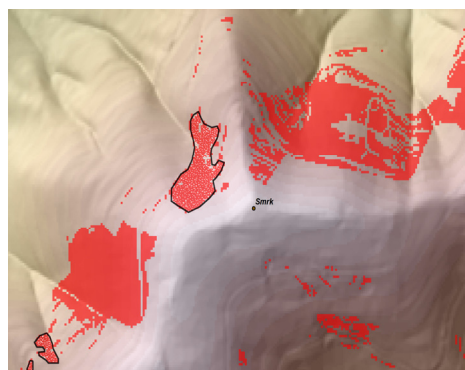
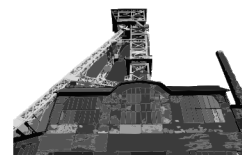
pozorovaných beskydských lavín malo výšku odtrhu vyššiu.

Celkové trenie povrchu je možné automaticky vypočítať pomocou procedúry modelu RAMMS na základe vstupných dát (sklonu terénu, nadmorskej výšky, zakrivenia terénu a informácií o zalesnení skúmanej lavínovej dráhy). V prípade že disponujeme presnejšími údajmi o trecích parametroch povrchu, môže sa do výpočtu vložiť aj existujúca vrstva. Parametre trecieho povrchu sa pred samotnou simuláciou dajú kalibrovať zmenou hodnoty koeficientov  $\mu$  a  $\xi$ .

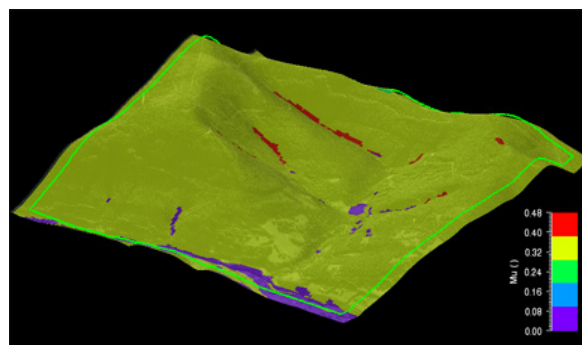
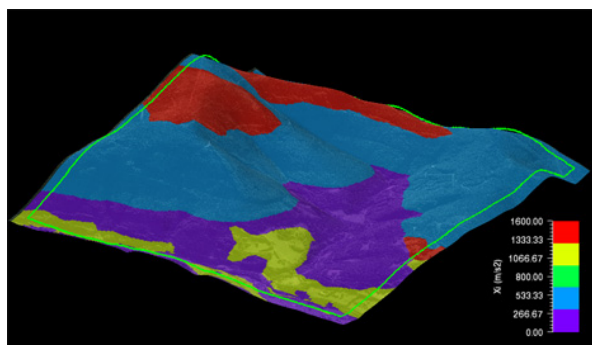
### 3.2.3 Výsledky simulácie v modeli RAMMS

Model RAMMS poskytuje 3 základné výstupy:

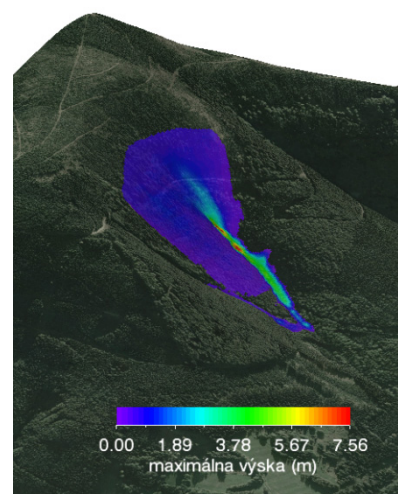
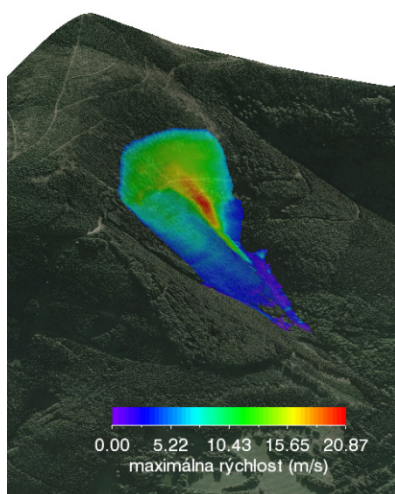
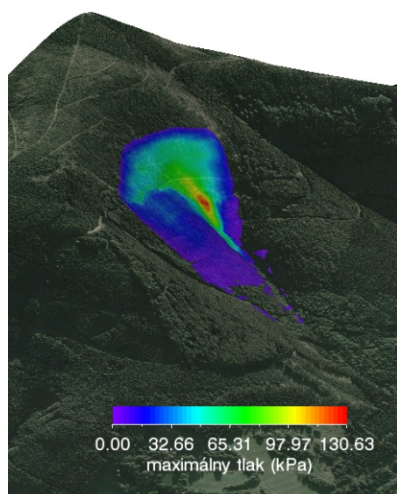
- maximálna výška snehovej pokrývky [m],
- maximálna rýchlosť prúdenia (tečenia) lavíny [m/s]
- maximálny vyvinutý tlak pri páde lavíny [kPa].



Obr. 4: Identifikácia odtrhovej zóny na svahu s vysokým potenciálom pre vznik lavín a zadávanie výšky odtrhu v prostredí modelu RAMMS.



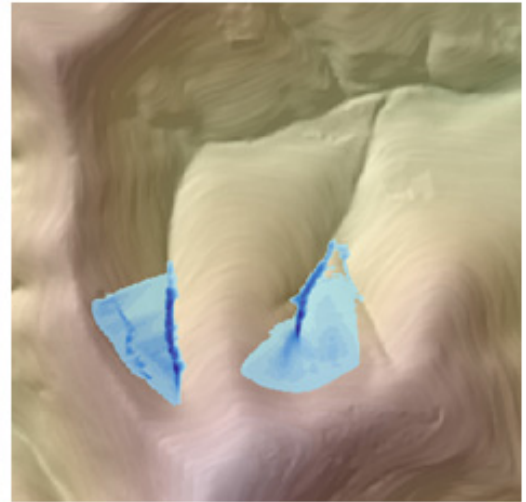
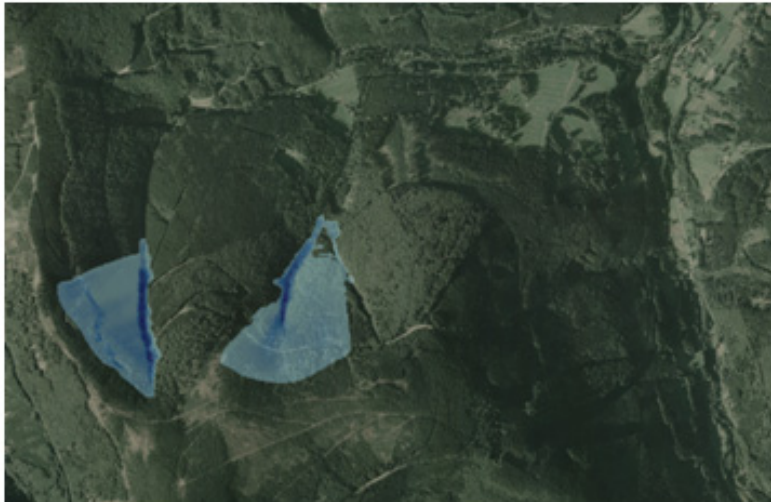
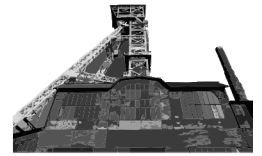
Obr. 5: Trecie koeficienty v modeli RAMMS (vľavo koeficient Xi, vpravo koeficient Mu)



Obr. 6: Výstupy z modelu RAMMS simuláciou lavíny na severnom svahu Lysej hory nad obcou Jestřábí.

Výsledky sa dajú jednoducho exportovať do formátu ESRI ASCII grid a pracovať tak s nimi v prostredí ArcGISu. Pre identifikáciu lavínových dráh a lavínových dosahov je možné využiť výstup s hodnotami

maximálnej výšky snehu. Kombináciou výstupov zo simulácií jednotlivých odtrhových zón tak môžeme postupne vytvoriť potenciálny lavínový kataster a identifikovať tak miesta s lavínovým rizikom (obr. 7).



**Obr. 7: Návrh lavínového katastra na základe výsledkov z modelu RAMMS**

#### 4. Záver

Faktom je, že lavíny začínajú predstavovať objektívne nebezpečenstvo už aj v pohoriach, akými sú Moravskosliezske Beskydy. Neustály nárast vyznávačov lyžovania vo voľnom teréne znamená zvyšujúcu sa pravdepodobnosť, že sa niektorí z nich vyskytnú v nesprávny čas na nesprávnom mieste – čiže na lavínovom svahu pri nepriaznivých klimatických podmienkach. Aj s použitím všetkých dostupných pomôcok je šanca na prežitie pádu lavíny veľmi malá. Najlepšia ochrana, pred touto hrozbou je teda vedieť, ako sa pádu lavíny vyhnúť. Práve použitie nástrojov GIS, v prepojení s dynamickými modelmi akým je RAMMS, sa dá vhodne využiť pri tvorbe máp lavínovej ohrozenosti územia. Využiť sa však dajú aj pri vytváraní lesných hospodárskych plánov, či pri určovaní protilavínovej ochrany lesa, ako aj celej horskej krajiny. Doteraz dosiahnuté výsledky zo Švajčiarska aj zo Slovenska dokazujú, že nasadenie takýchto modelov je opodstatnené a pri správnej kalibrácii sú získané výsledky dostatočne presné a využiteľné v praxi. Je na mieste pripomenúť aj to, že prevencia je nielen najúčinnnejší, ale zároveň aj najlacnejší prostriedok v boji proti lavínam. Treba si však uvedomiť aj to, že lavínové prípady sa na horách nikdy nedajú vylúčiť, vždy sa vyskytnú a často krát nepríjemne prekvapia.

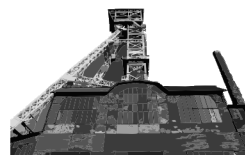
#### Použitie zdroje

- BÁRKA, I., RYBÁR, R. (2003): Identifikácia miest vzniku lavín pomocou GIS. In *Nové trendy v krajinskej ekológii*. Bratislava, UK.
- BISKUPIČ, Marek. (2008): *Modelovanie dosahu lavín s použitím GIS*. Diplomová práca. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, 87 s.

- DELPARTE, D., JAMIESON, B., WATERS, N. (2004): Statistical runout modeling of snow avalanches using GIS in Glacier National Park, Canada. In *Cold Regions Science and Technology*, s. 45.
- GRUBER, U. (2001): Using GIS for avalanche hazard mapping in Switzerland. *Proceedings of the 2001 ESRI International User Conference*, San Diego, s. 21.
- HREŠKO, J. (1998): Ohrozenosť vysokohorskej krajiny v oblasti Tatier. In *Acta Facultatis Stud. Hum. et Naturae Univ. Prešoviensis : geographica 2, roč. XXIX.*, s. 326-332.
- CHRISTEN, Marc, et al. (2010): *RAMMS User manual v 1.01 : A modeling system for snow-avalanches in research and practice*. Davos, Švajčiarsko, 109 s.
- CHRISTEN, Marc, et al. (2008): Calculation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain with the numerical simulation program RAMMS. In *International Snow Science Workshop*. Whistler, BC, CAN, s. 709-716.
- CHRISTEN, M., BARTELT, P., GRUBER, U. (2007): Modelling Avalanches. In *GEOconnexion International 6.*, s 38-39.
- MILAN, Ladislav. (2006): *Lavíny v horstvách Slovenska*. Bratislava, VEDA, Slovenská akadémia vied, 152 s. ISBN 80-224-0894-8.
- MCLUNG, D., SCHAERER, P. (2006): *The avalanche handbook*. 3rd ed., Seattle, USA, The mountaineers book, 342 s. ISBN 978-0-89886-809-8.
- SPOUSTA, Valerian, et al. (2006): *Lavíny v Krkonoších*. Vrchlabí, ČR, Správa KRNP, 32 s. ISBN 80-86418-45-6.



XXII SJEZD  
ČESKÉ GEOGRAFICKÉ SPOLEČNOSTI  
OSTRAVA 2010



---

**Adresa autora:**

Mgr. Ing. Jozef Richnavský  
Institut geoinformatiky  
Hornicko-geologická fakulta, VŠB TU-Ostrava  
17. listopadu 15/2172  
708 33 Ostrava - Poruba  
jozef.richnavsky@vsb.cz