

Využitie inovatívnych metód na monitorovanie, mapovanie a modelovanie snehových lavín

Biskupič, M., Richnavský, J.: Innovative Methods in Snow Avalanche Monitoring, Mapping and Modelling. *Životné prostredie*, 2016, 50, 3, p. 149 – 154.

Snow avalanches present serious problems for visitors and dwellers in mountainous terrain and they also significantly affect the environment. Here, we present a brief overview of innovative methods based on geo-information technology (GIT) tested in the mountain areas of Slovakia. Partial results were applied from on-going work of the expert Norwegian Geotechnical Institute team (NGI); and this article presents the object-oriented mapping algorithm developed in eCognition which automatically identifies and digitally maps avalanche deposits. In addition, we employ the Global Navigation Satellite System (GNSS) mapping tools and procedures to precisely measure avalanche run-outs and fracture lines, and describe the numerical models which simulate the dynamics of geophysical motion of mass from its activation up to its run-outs in three-dimensional terrain. The appropriately calibrated model can subsequently predict avalanche run-outs and potential avalanche effects. This combined technology enables continual update of cadastral avalanches and provides a highly professional basis for decision-making and planning of human activities in Slovakian mountain areas.

Key words: snow avalanche, winter 2009, Tatra Mountains, GNSS, impact pressure

Snehové lavíny sú charakteristickým a zákonitým javom každej vysokohorskej oblasti s výskytom snehu. Lavína je prírodný jav, ktorý vo veľkej miere ovplyvňuje horské prostredie, a tým aj akékoľvek plánovanie ľudských aktivít v tomto prostredí. Zároveň však predstavuje jedno z najväčších nebezpečenstiev pre lyžiarov, turistov a horolezcov pohybujúcich sa v zimnom horskom teréne a často ohrozuje aj prírodné zdroje, sídla a infraštruktúru. Snaha o pochopenie všetkých procesov spojených s nestabilitou snehovej pokrývky a s tým súvisiace úsilie o minimalizáciu negatívnych dôsledkov, ktoré lavíny so sebou prinášajú, je teda samozrejماً. Mapovanie a monitorovanie lavín sa v súčasnosti zdokonaľuje najmä využitím rôznych geoinformačných technológií. Potenciál inovatívnych technológií na riešenie aspektov lavínovej problematiky je značne veľký a ich využitie v tejto oblasti zaznamenáva v poslednej dobe pomerne veľký progres.

Lavína – rýchly proces s dlhotrvajúcimi následkami

Pod pojmom lavína sa najčastejšie rozumie náhly pohyb snehu a jeho gravitačné premiestnenie po horskom svahu z odtrhového cez transportné až po akumulčné pásma. V každom tomto pásme dokážu za sebou lavíny zanechať na krajine výrazné zmeny. V odtrhovom pásme dochádza k značnej deštrukcii pôdneho a vegetačného krytu často až na skalný podklad. Podobné procesy zrýchlenej erózie sa dajú pozorovať najmä v transportnom pásme lavíny. Tam sa často stretávame až s obrusovaním skalného podložia a očividná je aj odlišná veková a druhová skladba vegetácie (vek stromov zodpovedá

návratovej perióde lavín v danej dráhe). V akumulčnom pásme, naopak, prevláda proces nahromadenia materiálu, tvoria sa nánosy a odlišná je aj vegetačná skladba (absencia lesného porastu – hlavne starších stromov). Pri detailnom štúdiu vegetačnej skladby v akumulčných zónach lavín sa dokonca potvrdil výskyt drobnej flóry typickej pre vyššie vegetačné stupne (odtrhové zóny lavín). Je zrejmé, že najmä základové lavíny strhávajú s pôdnym krytom aj časti vegetácie (korene, semená aj celé rastliny), ktoré tak následne druhovo obohacujú nižšie polohy v zóne dosahu lavín.

Snehové lavíny dokážu do značnej miery ovplyvniť aj hydrologické pomery daného povodia. Akumulovaním lavínových nánosov na dne dolín môže byť ovplyvnený proces topenia snehu. Môže dôjsť k zrýchleniu, ale aj spomaleniu topenia snehu v závislosti od podmienok. Dochádza k časovým posunom prietokového maxima na tokoch napájaných z týchto dolín. Pri lavínach sa podstatná masa snehu premiestni z vyšších nadmorských výšok do nižších. Dostane sa do všeobecne teplejšieho prostredia (v dôsledku teplotného gradientu), ako je to, z ktorého táto masa snehu pochádza. Lavínový nános môže navyše obsahovať rôzne prímеси a nečistoty, ktoré sa pri topení postupne akumulujú na povrchu nánosov. Tmavší povrch dokáže absorbovať väčšie množstvo slnečnej radiácie, čo proces topenia ešte zrýchľuje. Výsledkom je posunutie prietokového maxima na skoršiu dobu. Ak má sneh v lavínovom nánose príliš veľkú hustotu, jeho topenie to môže, naopak, značne spomaliť. Efektívna plocha lavínového nánosov je podstatne menšia, ako je plocha, na ktorej by bol daný sneh, ak by nebol strhnutý lavínou.



Obr. 1. Zničený porast pod nánosom lavíny v Žiarskej doline – následok lavínovej aktivity v marci 2009 v Západných Tatrách. Zdroj: Archív SLP HZS



Obr. 2. Zameriavanie lavínového odtrhu pomocou GNSS prijímača so submetrovou presnosťou v Kumštovej doline v Nízkych Tatrách (január 2012). Zdroj: Archív SLP HZS

To sú faktory, ktoré spomaľujú proces topenia a posúvajú prietokové maximá do neskoršej doby. V niektorých prípadoch dochádza pri lavínach k prehradeniu toku na dne doliny. Aj tento jav môže výrazne ovplyvniť až pozmeniť hydrologické podmienky danej oblasti (McLung, Schaerer, 2006).

Vplyv snehových lavín na okolitú krajinu sa prejavuje najmä v chronických lavínových dráhach, čiže na svahoch, kde sa lavíny objavujú často a niekedy aj viackrát za rok. Na krajine však zanechávajú najväčšie a najbadateľnejšie znaky veľké lavíny s veľkou návratovou periódou (30-, 50-, prípadne 100- a viacročnou). Takéto

lavíny dokážu vyvinúť obrovskú silu a tlak a ich nánosy často zasiahnu až hlboko do doliny, pričom dochádza aj k najväčším škodám na lesných porastoch. Takéto veľké lavíny sa na Slovensku vyskytli naposledy koncom marca 2009 (25. – 31. marca 2009) hlavne v Západných, Belianskych a Vysokých Tatrách. Veľké lavíny boli pozorované takmer vo všetkých žľaboch a na mnohých svahoch. Poškodili lesné cesty, viacero mostov a horských chát a zničili aj dve automatické meteorologické stanice Horskej záchranej služby (obrázok na str. 4 obálky). Veľké škody spôsobili aj na starších lesných porastoch (odhadom 100 ha; obr. 1).

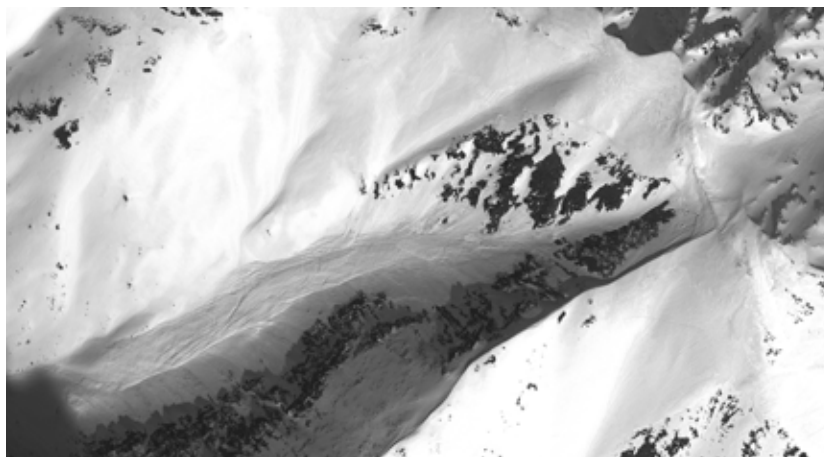
Cieľom lavínovej prevencie je zaznamenávať dôležité parametre (nános, odtrh, lavínovú dráhu) práve takýchto veľkých lavín. Tieto údaje slúžia najmä na tvorbu a spresňovanie lavínového katastra (územie potenciálne ohrozené lavínami). Čím viac takýchto údajov bude zaznamenaných, tým bude aj proces modelovania lavín presnejší a využiteľnejší v praxi (Richnavský, 2011).

Monitorovanie a mapovanie lavín pomocou globálneho navigačného satelitného systému

Zaznamenávanie lavínových odtrhov a nánosov prebieha najčastejšie pomocou kvalitného prístroja s prijímačom signálu globálneho navigačného satelitného systému (*Global Navigation Satellite System* – GNSS). Na GNSS prístroji sa nastaví aktívny záznam trasy s vhodne zvoleným intervalom záznamu. Pri zameriavaní sa s prístrojom obíde celý viditeľný obvod lavínového nánosu, prípadne celá viditeľná

lúnia lavínového odtrhu (obr. 2.). Lavínový odtrh aj nános sa často nachádzajú na príliš exponovanom mieste, prípadne na mieste, ktoré je stále ohrozované potenciálnymi lavínami. V takom prípade je najdôležitejšia vlastná bezpečnosť a ako ideálne sa javí využitie laserového diaľkomeru prepojeného na GNSS prístroj. Lavínový odtrh tak môže byť pomerne presne zameraný z bezpečnej vzdialenosti. Naše testovania dokazujú, že prepojenie kvalitného globálneho pozičného systému (*Global Positioning System* – GPS) GNSS prístroja s laserovým diaľkomerom umožňuje rýchle, bezpečné a pomerne presné zameranie lavínových odtrhov a nánosov. Pomocou takéhoto

dialkomeru je navyše možné zistiť aj výšku odtrhu, prípadne sklon terénu. Dobré výsledky boli dosiahnuté aj pri dialkovom zameriavaní bodov v teréne blízko pod okolitými skalnými bralami, kde je priamy signál GNSS v dôsledku tienenia veľmi slabý. Dosah, pri ktorom prístroj generoval spoľahlivé výsledky, bol však iba 600 m pri použití trojnožky – statívu (Chrustek et al., 2010). Všetky údaje získané GNSS meraniami sa dodatočne spracujú a spresnia (*postprocessing*) prostredníctvom služby Slovenskej priestorovej observačnej služby (SKPOS), ktorej správcom je Geodetický a kartografický ústav v Bratislave. Tým sa dosiahne požadovaná presnosť meraní. Uvedený postup získavania údajov síce spĺňa potrebu presnosti, avšak potrebu komplexnosti už zďaleka nie. Ručné GNSS meranie je časovo veľmi náročné a lavínová aktivita má navyše nárazový charakter, čiže väčšina spontánnych lavín sa uvoľní v krátkom časovom intervale. Každé ďalšie sneženie a silnejší vietor veľmi rýchlo zahľadzia viditeľné obrysy lavínových odtrhov aj lavínových nánosov. Pomocou popísaného ručného merania tak fyzicky nie je možné zaznamenať potrebné údaje ani len všetkých významnejších lavín.



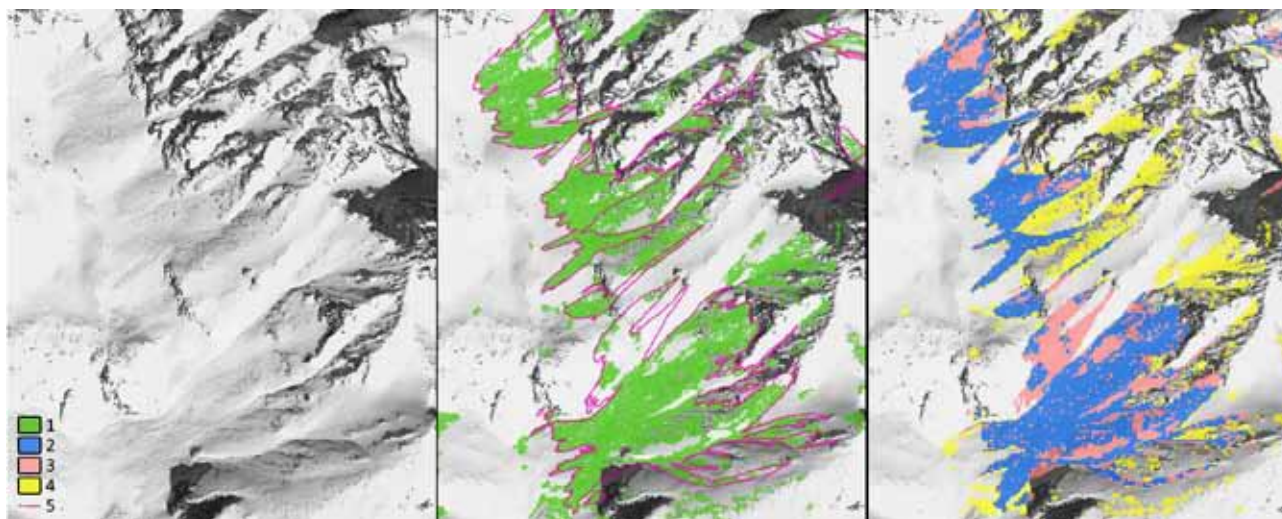
Obr. 3. Lavínová aktivita koncom marca 2009 zachytená v Bobroveckej doline-Podvážovci v Západných Tatrách na družicovej snímke WorldView-1. Zdroj: Archív SLP HZS, ©DigitalGlobe/WorldView-1

Monitorovanie a mapovanie lavín metódami dialkového prieskumu Zeme

Možným riešením problému komplexného zameriavania lavínových nánosov je inovatívny prístup pri využití družicových snímok s veľmi vysokým rozlíšením. Takéto snímky, ktoré boli zosnímané krátko po významnejšej lavínovej aktivite, sa stali významným zdrojom informácií na mapovanie a monitorovanie lavín (Frauenfelder et al., 2015). Význam nadobúdajú najmä pri mapovaní a monitorovaní lavín v odľahlých dolinách a oblastiach, ktoré sú nedostupné pre odborné tímy.

Stredisko lavínovej prevencie Horskej záchranej služby (SLP HZS) získalo pre potreby testovania takehoto prístupu k monitorovaniu lavínovej aktivity snímky Vysokých a Západných Tatier z 2. apríla 2009, čiže iba pár dní po mimoriadnej lavínovej aktivite koncom marca (obr. 3). Snímok pochádza zo snímača umiestneného na satelite WorldView-1, ktorý spravuje spoločnosť DigitalGlobe. Snímač pracuje vo výške 496 km nad zemským povrchom a panchromatické (čierno-biele) snímky vytvára v priestorovom rozlíšení 0,5 m ($0,5 \text{ m.px}^{-1}$). Keďže priemerný čas jeho schopnosti zosnímať to isté územie je 1,7 dní, je ideálny na detekciu krátkodobých zmien v krajine. Na uvedenej snímke je zachytené veľké množstvo malých, stredne veľkých aj veľkých lavín. Kým v Západných Tatrách je kvôli zväčšenej oblačnosti v dobe expozície viditeľná iba

časť týchto lavín, oblasť Vysokých Tatier bola v tom čase úplne bez oblačnosti a tým pádom je na snímke zachytená v podstate celá lavínová aktivita k danému dňu. Manuálna detekcia lavín (identifikácia a následná manuálna digitalizácia) z tejto snímky je možná, ale pre potreby operatívneho rozhodovania je taktiež pomerne zdĺhavá. Navyše tu miestami narážame na problém schopnosti ľudského oka rozlíšiť niekedy len minimálne odtiene bielej farby, ktoré už môžu detekovať zmenu spektrálnej odrazivosti, a tým pádom aj možnú zmenu povrchu (zmena v zmysle neporušenej snehovej pokrývky – lavínového nánosov). Tento problém, ako aj urýchlenie celého procesu mapovania lavínových nánosov na družicových snímkach s vysokým rozlíšením, sa dá vyriešiť použitím algoritmu automatickej metódy detekcie lavínových nánosov, ktorý vyvíja vedecký tím z Nórskeho geotechnického inštitútu (*Norwegian Geotechnical Institute* – NGI). Tento algoritmus, implementovaný v programe eCognition, bol pôvodne navrhnutý tak, aby fungoval na snímkach palubného opto-elektronického skenera ADS40-SH52 od výrobcu Leica Geosystems (Bühler et al., 2009) a na snímkach s veľmi vysokým rozlíšením zo snímača satelitu QuickBird (Lato et al., 2012). Po aplikácii tohto pôvodného algoritmu na vybrané sektory snímky WorldView-1 z Vysokých Tatier sa ukázalo, že algoritmus bude musieť byť čiastočne upravený a prispôbosený. Kým pri analýze malej časti územia boli výsledky pomerne uspokojivé, pri analýze väčšej plochy bol výsledok zaťažený viacerými chybami. Automaticky rozpoznané lavínové nánosy boli často prerušované malými otvormi (vynechanie detekcie), a ako lavínové nánosy boli vo výsledku často falošne označené aj nafúkané snehové vankúše a preveje okolo skalných blokov (chybné vyhodnotenie detekcie). Najväčšie chyby však algoritmus vykazoval v nižších polohách (približne pod 1 700 m n. m.), kde sa v dôsledku topenia vytvoril na snehovej pokrývke „zvrásnený“ vzor. Takýto povrch snehovej pokrývky bol pri automatickej detekcii taktiež chybné vyhodnotený ako



Obr. 4. Kvalitatívne a kvantitatívne porovnanie metódy expertného mapovania a automatického klasifikačného algoritmu. Zdroj: Frauenfelder et al. (2015), ©DigitalGlobe/WorldView-13

Vysvetlivky: 1 – výsledok automatickej klasifikácie, 2 – lavínový nános identifikovaný oboma metódami, 3 – lavínový nános identifikovaný iba expertným mapovaním, 4 – lavínový nános identifikovaný iba automatickou klasifikáciou, 5 – výsledok expertného mapovania

Tab. 1. Presnosť použitého klasifikačného algoritmu

Klasifikačný algoritmus	Presnosť [%]
Celková miera korektnej automatickej detekcie	84,1
• plocha bez lavín (transparentná plocha)	69,4
• plocha s lavínami (lavínový nános identifikovaný oboma metódami)	14,7
Vynechaná detekcia (lavínový nános identifikovaný iba expertným mapovaním)	7,3
Chybná detekcia (lavínový nános identifikovaný iba automatickou klasifikáciou)	8,6

Zdroj: Frauenfelder et al. (2015)

Vysvetlivky: jednotlivé plochy a nánosy identifikované podľa obr. 4

lavínový nános. Z tohto dôvodu sa algoritmus automatickej detekcie musel upraviť a prispôbiť na túto konkrétnu prípadovú štúdiu (Frauenfelder et al., 2015). Na obr. 4 je zobrazený príklad použitia tohto upraveného algoritmu, ktorý už dokáže rozoznať lavínový nános aj snehovú pokrývku, ktorej povrch je poznačený procesom topenia. Výsledky upraveného algoritmu sa následne podrobili nevyhnutnej validácii, čiže kvalitatívnemu a kvantitatívnemu zhodnoteniu miery zhody s reálnym stavom. Reálny stav v tomto prípade predstavoval expertné zmapovanie všetkých lavínových nánosov v testovacích polygónoch formou manuálnej digitalizácie (vektorizácie). Aj pri takomto expertnom mapovaní však dochádzalo k nejasnostiam, najmä v prípade identifikácie lavín s bodovým odtrhom a v prípade, že lavína zasahovala do terénu, ktorý bol v čase snímkovania v tieni. Táto identifikácia si tak vyžaduje veľké skúsenosti, znalosť miestnej topografie a miestami taktiež dobrý odborný odhad toho, kto ju vykonáva. Pre potreby tejto štúdie sme však výsledok tohto expertného mapovania považovali za skutočný, reálny stav.

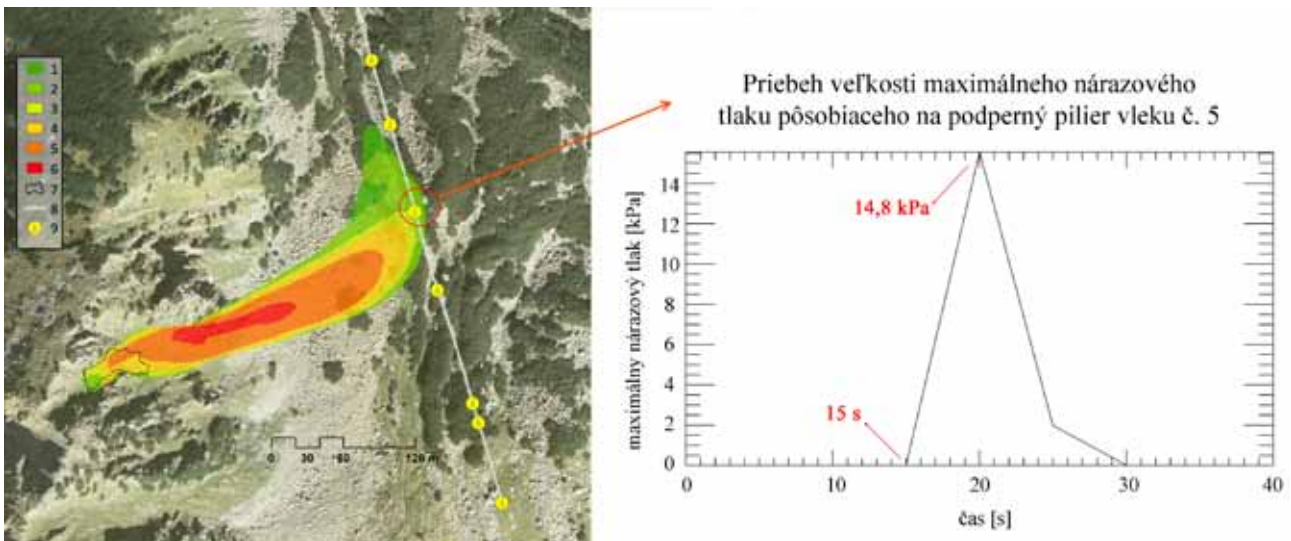
Kvantitatívne porovnanie expertného mapovania a algoritmu automatickej detekcie lavínových nánosov poukazuje na celkovo dobrý výkon algoritmu. Celková

miara korektnej automatickej detekcie dosiahla 84,2 % (obr. 4). Aj percento výskytu chýb (chybná detekcia, vynechaná detekcia) je porovnateľné s predchádzajúcimi štúdiami (tab. 1). Treba však dodať, že testovaná plocha bola relatívne malá a celkové zhodnotenie

algoritmu bude možné až po jeho odskúšaní na celom testovanom území Vysokých a Západných Tatier. Pri kvalitatívnom porovnaní expertného mapovania a automatickej klasifikácie pomocou algoritmu sa ukázalo, že najväčšie disproporcie sú na plochách, kde dosahovali jednotlivé obrazové body (pixle) veľkú sýtosť farby (saturáciu). Toto zistenie nebolo prekvapujúce, nakoľko tento istý problém bol pozorovaný a popísaný aj v predchádzajúcich štúdiách. Zistilo sa však, že takéto presýtenie pixlov (hlavne bielou, nakoľko sa jedná o panchromatickú snímku) je pre snímky WorldView-1, podobne ako aj pre snímky WorldView-2, oveľa typickejšie ako pre skôr analyzované snímky z družice QuickBird a z opto-elektronického palubného skenera. Niektoré časti snímok WorldView-1 a WorldView-2 tak vôbec nie sú vhodné na analýzu pomocou algoritmu automatickej detekcie lavínových nánosov (Frauenfelder et al., 2015).

Modelovanie a simulácia deštruktívneho účinku lavín

Systematické monitorovanie a mapovanie lavínovej aktivity má veľký význam aj pre následné modelovanie a simuláciu potenciálnych lavín. Výsledky každej takej-



Obr. 5. Výsledok simulácie maximálneho nárazového tlaku lavíny na podperný stĺp lyžiarskeho vleku v Derešskom kotle v Nízkych Tatrách (2011). Zdroj: Jozef Richnavský (2011)

Vysvetlivky: 1 – do 5,0 kPa; 2 – 5,1 – 30,0 kPa; 3 – 30,1 – 50,0 kPa; 4 – 50,1 – 100,0 kPa; 5 – 100,1 – 200 kPa; 6 – 200,1 – 278,5 kPa; 7 – hranica lavínového odtrhu; 8 – línia vleku; 9 – podperný stĺp vleku

to simulácie sa totiž dajú v praxi využiť iba po dôslednej kalibrácii a verifikácii modelu. Kalibračné koeficienty sa niekedy diametrálne líšia aj v rámci jednotlivých lavínových dráh. Čím bude mapovanie lavín v rámci jednotlivých dráh systematickejšie a dôkladnejšie, tým bude aj následná verifikácia a kalibrácia modelu presnejšia. Najväčší potenciál pri riešení lavínovej problematiky majú v súčasnosti dynamické numerické modely. Využitie takýchto modelov sa javí ako najvhodnejšie, nakoľko do výpočtu je možné zahrnúť dynamiku tečúceho snehu v komplexnom teréne a taktiež procesy, ktoré tento tok bezprostredne ovplyvňujú (nabaľovanie snehu, akumulácia snehu a pod.). Príkladom takéhoto moderného numerického simulačného nástroja je RAMMS (*RApid Mass MovementS*). Tento nástroj slúži na modelovanie geofyzikálnych pohybov hmoty od spustenia až po jej dosah v trojdimenzionálnom teréne (Christen et al., 2010). Dynamika lavíny je proces, ktorý v konečnom dôsledku určuje maximálny dosah lavíny a rýchlosť jej pádu. Predikcia lavínových dosahov spolu s odhadom rýchlosti lavíny pozdĺž jej dráhy sú dva najdôležitejšie aspekty v krajinom plánovaní vo vysokohorskom teréne ohrozovanom lavínami. Modelovaním dynamiky lavín dokážeme navyše odhadnúť aj ničivý potenciál lavíny, čím nadobúda hodnotenie lavínového rizika úplne nový rozmer.

Z hľadiska priamych ničivých účinkov lavín sú smerodajné najmä tlak a rýchlosť snehu v lavíne, ako aj jej nárazová sila, ktorou môže deštruktívne pôsobiť na pevnú prekážku, prípadne lesné porasty. Lavíny dokážu na objekty, ktoré im stoja v ceste, vyvíjať značne veľké sily. Znalosť týchto síl je veľmi dôležitým kritériom pri návrhu a stavbe akýchkoľvek objektov v potenciálnej lavínovej dráhe (obr. 5).

Dynamický tlak vyvinutý lavínami môže nadobúdať charakter neškodného závanu sprevádzajúceho menšie prachové lavíny. Avšak môže mať aj podobu vysoko deštruktívnej sily veľkých tečúcich lavín zo suchého, resp. mokrého snehu, schopnú zničiť ocelové aj spevnené betónové štruktúry. Prúdiaca masa snehu nadobúda po uvoľnení lavíny veľkú dynamickú energiu s potenciálne veľkými ničivými účinkami. Táto energia sa zvyšuje s rastúcim sklonom terénu a klesá v miestach, kde sa svah vyrovnáva. Vo všeobecnosti sa za najnebezpečnejšie považujú tečúce lavíny zo suchého snehu v dôsledku kombinácie vysokej hustoty a veľkej rýchlosti lavínového prúdu (McLung, Schaerer, 2006). Avšak akákoľvek lavína, v ktorej je prítomná kombinácia vysokej hustoty a rýchlosti, má vysoký deštruktívny potenciál.

Pri hodnotení potenciálnych deštruktívnych následkov lavín je dôležité poznať najmä nárazový, maximálny tlak. Ten môže byť totiž 2- až 5-krát väčší ako je priemerný dynamický tlak lavíny. Merania dokazujú, že najväčšie sily sú dosahované v blízkosti čela lavíny, väčšinou počas prvých sekúnd nárazu. V niektorých prípadoch však bolo jasne identifikovaných viacero tlakových vln, ktoré sprevádzali vysokotlakové impulzy (McLung, Schaerer, 2006). Najčastejším prípadom hodnotenia nárazového tlaku lavíny je analýza zlomených a vyvrátených stromov v lavínových dráhach. Spodný limit dynamického tlaku poskytuje prítomnosť stromov, ktoré sa zlomili v dôsledku vysokých ohýbajúcich tlakov. Horný limit tohto tlaku je daný prítomnosťou stromov, ktoré týmto silám odolali (McLung, Schaerer, 2006). Z tab. 2 vyplýva, že energia potrebná na zničenie smrekového lesa je veľmi malá v porovnaní s kinetickou energiou, ktorú dosiahne väčšia lavína. Veľkorozmerné lavíny dosahujú obrovskú

Tab. 2. Priemerné hodnoty dynamického tlaku a jeho potenciálne škody

Potenciálne škody	Dynamický tlak [kPa]
rozbité okná	1
vytlačenie dverí	5
poškodenie drevených konštrukcií a múrov	30
poškodenie oceľových stĺpov vysokého elektrického napätia	50
vyvrátenie dospelého ihličnatého stromu z koreňov	100
pohyb a poškodenie spevnených betónových konštrukcií	1 000

Zdroj: McLung, Shaerer (2006)

energiu a ich deštruktívnej sile vo väčšine prípadov neodolajú ani najstaršie lesné porasty s hojným zastúpením hrubých dimenzií kmeňov stromov (Midriak, 1977).

Už vzduchová vlna sprevádzajúca mohutnú prachovú lavínu dokáže prelámať koridor v lesnom poraste alebo ho rozširovať pri okrajoch lavínových žlabov. Jej účinok môže byť v niektorých prípadoch dokonca silnejší, ako je účinok samotného lavínového prúdu. V horských podmienkach Slovenska sa však veľké prachové lavíny vyskytujú len zriedkavo, aj to väčšinou na strmých svahoch Vysokých Tatier vysoko nad hornou hranicou lesa. Účinky takejto tlakovej vlny však môžeme pozorovať aj pri iných typoch lavín s veľkou rýchlosťou a dostatočnou veľkosťou. Deštruktívny vplyv lavín na lesné porasty v oblasti hornej hranice lesa sa najvýraznejšie prejavuje na formovaní lavínovej hranice lesa. Tá je charakteristická veľkými vertikálnymi výkyvmi v miestach lavínových dráh. Typická je pre všetky pohoria na Slovensku, kde sa lavíny počas zimy pravidelne a často vyskytujú, teda vo Vysokých Tatrách, Západných Tatrách, Belianskych Tatrách, v Nízkych Tatrách, Malej Fatre a vo Veľkej Fatre.

* * *

Používanie inovatívnych geoinformačných technológií otvára nové perspektívy mapovania a posudzovania prírodných rizík aj v oblasti lavínovej prevencie. Ich hlavným cieľom je zhodnotenie lavínového nebezpečenstva s ohľadom na plánovanie ľudských aktivít v horských oblastiach. Závety štúdie automatickej detekcie lavínových nánosov z družicových snímok dokazujú, že popísaná metóda je značne flexibilná a pomerne ľahko použiteľná na snímky rôznych horských území s rôznou obrazovou kvalitou a z rôznych senzorov. Predtým je však nevyhnutné použiť algoritmus testovať na vybraných tréningových oblastiach (náhodne zvolené malé výrezy snímky) a následne ho validovať. Až potom je možné výsledky takejto automatickej detekcie použiť v praxi. Aj dynamický numerický simulačný nástroj RAMMS bol testovaný na viacerých prípadových štúdiách v Tatrách a vo Fatrách.

Výsledky testovania popísaných technológií potvrdili oprávnenosť ich nasadenia do lavínovej prevencie aj v horských podmienkach Slovenska. Podmienkou je však dôsledný a neustály zber potrebných údajov o lavínach aj o prostredí, v ktorom sa vyskytujú. Čím viac takých-

to údajov bude zozbieraných, tým presnejšie budú aj výsledky uskutočnených simulácií. To, že sa testovanie najnovších technológií v oblasti modelovania a mapovania lavín uskutočňuje aj na území slovenských hôr, je výsledkom spolupráce Strediska lavínovej prevencie

Horskej záchranej služby s uznávanými inštitúciami, ako sú Nórsky geotechnický inštitút, Inštitút na výskum snehu a lavín v Davose (*Institute for Snow and Avalanche Research*), Jagelonská univerzita v Krakove a Univerzita Karlova v Prahe.

Literatúra

- Bühler, Y., Hüni, A., Christen, M., Meister, R., Kellenberger, T.: Automated Detection and Mapping of Avalanche Deposits Using Airborne Optical Remote Sensing Data. *Cold Regions Science and Technology*, 2009, 57, 2 – 3, p. 99 – 106.
- Frauenfelder, R., Lato, M., Biskupič, M.: Using eCognition to Automatically Detect and Map Avalanche Deposits from the Spring 2009 Avalanche Cycle in the Tatra Mts., Slovakia. In: Schreier, G., Skrovseth, P. E., Staudenrausch, H. (eds.): *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 36th International Symposium on Remote Sensing of Environment*. Berlin: Copernicus Publications, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2015, p. 791 – 795.
- Christen, M., Kowalski, J., Bartelt, P.: RAMMS: Numerical Simulation of Dense Snow Avalanches in Three-Dimensional Terrain. *Cold Regions Science and Technology*, 2010, 63, 1 – 2, p. 1 – 14.
- Chrustek, P., Biskupič, M., Kolecka, N.: Comparison of Different Methods for Obtaining Snow Avalanche Data. In: Ostapowicz, K., Kozak, J. (eds.): *Integrating Nature and Society towards Sustainability. Conference Proceedings of the 1st Forum Carpathicum*. Krakow: Institute of Geography and Spatial Management, Jagiellonian University, 2010, p. 111 – 116.
- Lato, M., Frauenfelder, R., Bühler, Y.: Automated Detection of Snow Avalanche Deposits: Segmentation and Classification of Optical Remote Sensing Imagery. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2012, 12, p. 2893 – 2906.
- McLung, D., Schaerer, P.: *Avalanche Handbook*. Seattle: The Mountaineers Book, 2006, 344 p.
- Midriak, R.: Prtilavínová ochrana lesa. Lesnícke štúdie, 1977, 27, s. 15 – 22.
- Richnavský, J.: Stanovenie lavínových dosahov s využitím dynamického numerického modelovania a GIT. Dizertačná práca. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Hornícko-geologická fakulta, Inštitút geoinformatiky, 2011, 174 s.

Mgr. Marek Biskupič, *biskupic@hzs.sk*
Ing. Mgr. Jozef Richnavský, PhD., *slp@hzs.sk*
Stredisko lavínovej prevencie Horskej záchranej služby, Dr. J. Gašperíka 598, 033 01 Liptovský Hrádok