

Rekonštrukcia historickej lavíny v Magurke s využitím moderných nástrojov GIS

Biskupič, M., Kyzek, F., Lizuch, M., Richnavský, J., Žiak, I., Mudroň, I., Devečka, B.: Using Modern GIS Tools to Reconstruct the Historical Avalanche in Magurka. Životné prostredie, 2011, 45, 2, p. 83 – 88.

A huge avalanche released on 14th March 1970 from the saddleback of Ďurková below the Low Tatras mountain ridge, which ran down through the whole valley and stopped close to the settlement of Magurka. The length and height of the avalanche path was enormous reaching 2,2 km and 22 m high respectively. Taking other parameters into consideration (the length of the avalanche, the height of the avalanche release zone, total volume of snow) it can be categorised among the greatest avalanches ever observed in Slovakia. The major causes for such a big avalanche were unfavourable long-lasting snow and weather conditions. However, the starting mechanism was, as in most cases, a man. RAMMS model was used for avalanche reconstruction. It allows modelling the height of avalanche deposition, the speed of an avalanche flow and also the maximum pressure that was reached. All the required input data were derived from historical information, photographs and maps. The avalanche has been successfully simulated and reconstructed. The total volume of deposited snow (relative deviation 0,16 %) revealed that the simulated released area and other input parameters were precisely approximated. Small deviation between simulated and measured avalanche runout zone refers to good calibration of friction parameters. The results can be also applied to planning and constructing of anti-avalanche structures and to minimizing the negative consequences of similar avalanche in the future.

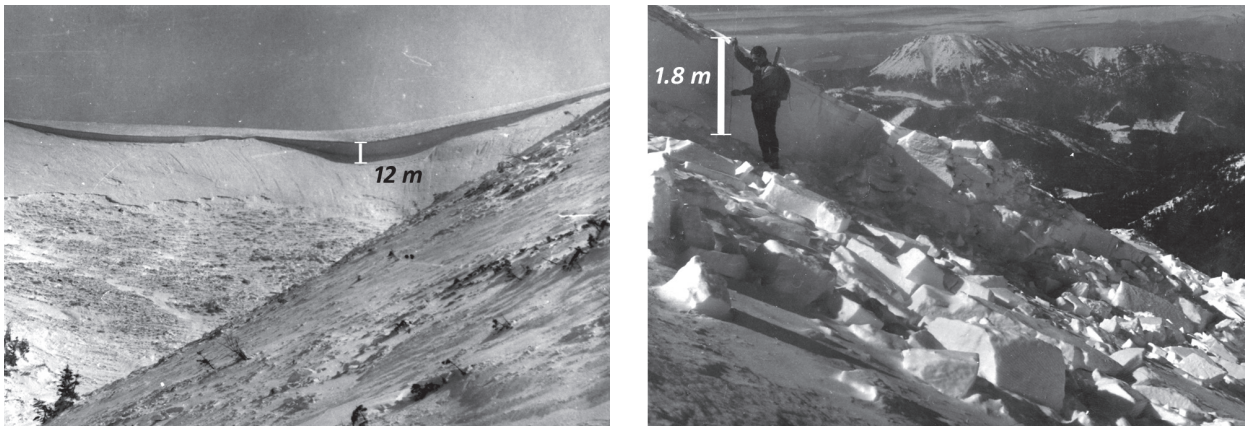
Key words: avalanche, modelling, RAMMS model, Low Tatras Mts.

14. marca 1970 sa spod nízkotatranského hrebeňa v sedle Ďurková odtrhla obrovská lavína, ktorá sa zosunula cez celú dolinu až k chatovej osade Magurka. Lavínová dráha dosiahla 2,2 km a výška jej čela miestami neuvěřiteľných 22 m. Spolu s ostatnými parametrami (dĺžka odtrhu, výška odtrhu, celkový objem snehu) ju zaraďujú medzi najväčšie pozorované lavíny na Slovensku. Príčinou vzniku tejto lavíny boli dlhodobo nepriaznivé snehové a klimatické pomery, avšak spúšťacím mechanizmom bol, ako v mnohých prípadoch, človek. Na rekonštrukciu tejto lavíny sme použili moderné numerické simulačné modelovacie prostriedky, najmä nástroj RAMMS, ktorý umožňuje simulovať výšku snehového nánosu, rýchlosť

prúdenia lavíny a tiež maximálny dosiahnutý tlak. Všetky potrebné vstupné dáta boli odvodené z dobových informácií, historických fotografií, historických a súčasných máp. Výsledok modelovania umožní lepšie pochopiť celkový priebeh a správanie sa tejto lavíny počas pádu. Získané výsledky sa dajú uplatniť aj pri plánovaní a budovaní protilavínových opatrení a môžu tak minimalizovať negatívne dôsledky podobnej lavíny v budúcnosti.

Stručný opis lavínovej udalosti

Celá zimná sezóna 1969/1970 sa vyznačovala mimoriadne nepriaznivými podmienkami a veľkým



Obr. 1. Výrazné rozdiely vo výške tržnej steny v rozsahu 1,8 – 12 m. Zdroj: archív SLP

počtom spadnutých lavín. Posledné dni februára a začiatok marca sa vyznačovali intenzívnym snežením, ktoré sprevádzalo prevažne južné prúdenie vetra. To malo za následok vznik nestabilnej snehovej pokrývky s mimoriadne nepriaznivým a nerovnomerným uložením. Na severných svahoch sa nachádzala 2-metrová a v žľaboch dokonca 8 – 10 metrová vrstva previateho snehu, ktorý v čase pádu lavíny vytváral mäkkú dosku z mierne vlhkého, jemného firnu (Milan, Kresák, 1970). Podkladová vrstva bola navyše sformovaná 4 cm hrubým ľadom a zľadovateným firnom, ktorý tak tvoril ideálnu sklznú plochu. Od 10. marca 1970 sa počasie zlepšovalo, prestalo snežiť a snehová pokrývka sa začala staticky spevňovať. V deň pádu lavíny bolo počasie pokojné, takmer bezvetrie, bez zrážok, s maximálnou teplotou $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a minimálnou $-7,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (údaj z najbližšej meteorologickej stanice Luková, 1 620 m n. m.). Lavína sa uvoľnila v dôsledku porušenia kritického bodu rovnováhy snehovej pokrývky pri jej zaťažení skupinou štyroch lyžiarov. Tí zostupovali z Durkovského sedla v západnej časti hlavného hrebeňa Nízkyh Tatier medzi Ďurkovou (1 839 m n. m.) a Zámotskou hoľou (1 626 m n. m.) na sever, smerom k chatovej osade Magurka.

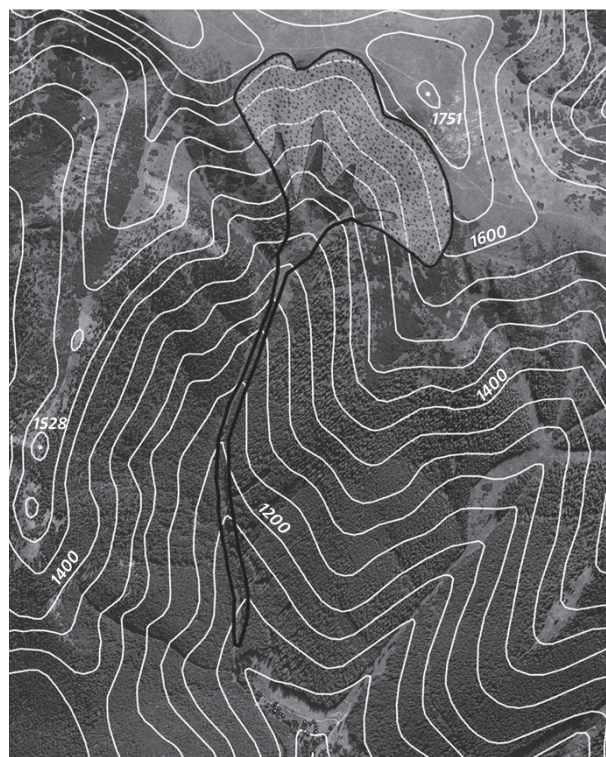
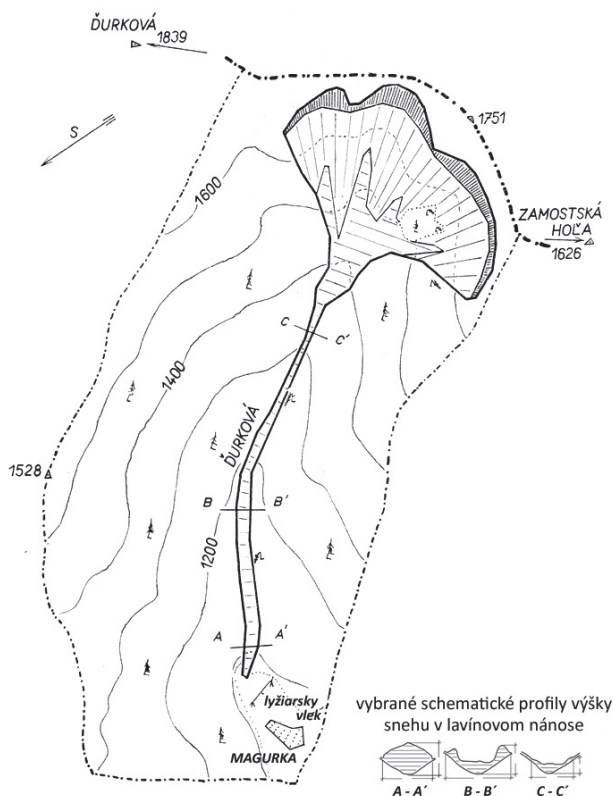
Simulácia lavíny

Na simuláciu lavíny sme použili numerický simulačný nástroj RAMMS (*R*APID *M*ASS *M*OVEMENTS). Model RAMMS možno použiť na výpočet a predikciu geofyzikálnych pohybov hmoty (vrátane snehových lavín) od ich iniciácie až po ich dosah (Christen et al., 2011). Vyvíja ho skupina lavínových expertov pod názvom *Avalanche, Debris Flow and Rockfall*, ktorá pôsobí v Inštitúte pre výskum snehu a lavín (SLF) v Davose. Model dokáže predpovedať tvar lavínových

dráh, maximálny dosah a výšku nánosov, rýchlosť a dosiahnutý tlak snehových lavín v trojdimenzionálnom teréne (Bühler et al., 2011). To je zvlášť užitočné pri navrhovaní umiestnenia a tvaru protilavínových zábran, ako sú lavínové hrádze, či protilavínové galérie. V budúcnosti sa do tohto nástroja implementuje aj možnosť modelovania plytkých zosuvov, kamenných lavín, či sutinových prúdov. Dostatočné množstvo presných vstupných údajov je nevyhnutné na správne nastavenie a kalibráciu modelu. V tomto prípade bolo potrebné všetky údaje vstupujúce do modelu odvodiť z dobových záznamov, topografických máp, situačných náčrtov a historických fotografií. Pre správne namodelovanie lavíny sú nevyhnutné najmä údaje o lokalizácii a vlastnostiach odtrhovej zóny, údaje o vlastnostiach snehovej pokrývky, údaje o výskyte lesného porastu a dostatočne presný digitálny model reliéfu.

Odvodenie parametrov odtrhovej zóny

Poloblúk tržnej steny sa tiahol v šírke 1 500 m od druhého východného žľabu (po obvode kotla až na západnú stenu) po súvislý smrekový porast. Tržná stena mala formu zvlnenej oblúkovej čiary a prebiehala vo výške 1 680 – 1 620 m n. m. Hrúbka steny sa pohybovala od 1,8 m v miestach plochejších chrbtov až po 12 m v hlbokých spádnícových žľaboch (obr. 1). Dostatočne presná lokalizácia a odvodenie parametrov odtrhovej zóny sú pre výsledok modelovania veľmi dôležité. Odvodené charakteristiky odtrhu priamo podmieňujú najmä celkový objem snehu lavíny, ktorý spolu s terénnymi a vegetačnými pomermi určuje následne celkovú dosiahnutú rýchlosť, kinetickú energiu aj deštruktívny potenciál lavíny. Tvar a lokalizácia odtrhovej zóny boli od-



Obr. 2. Schematický situačný náčrt lavíny a jeho prezentácia v programe ArcMap

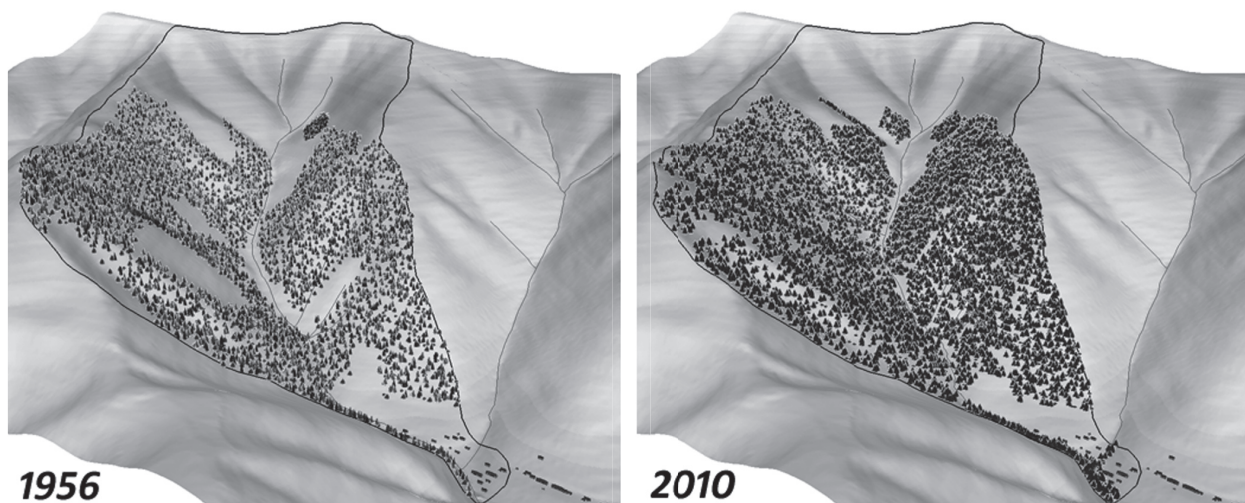
vodené zo situačného náčrtu (obr. 2), historických záznamov a fotografií.

Odvodenie terénnych parametrov

Presná digitálna reprezentácia reliéfu je kľúčová pre presnosť výstupov simulácie. Presnosť by mala byť dodržaná najmä v kľúčových miestach, ako sú horské chrbty a údolné partie posudzovaného územia (Haeberli et al., 2004). Tvar reliéfu môžeme považovať za stacionárny faktor v lavínovej predikcii. Nepredpokladá sa, že by sa reliéf danej lokality v priebehu 40-tich rokov podstatne zmenil. Súčasnú reprezentáciu tvaru reliéfu teda môžeme použiť aj pri modelovaní lavín z roku 1970. Digitálny model reliéfu sme odvodili z vrstevnicového plánu základnej mapy SR v mierke 1 : 10 000. Priestorové rozlíšenie rastra sme nastavili na 2 m, čo je odporúčaná hodnota pre detailne modelovanie v modeli RAMMS. Pri takomto rozlíšení možno do digitálneho modelu reliéfu zahrnúť aj malé terénne nerovnosti, ako sú veľké balvany, úžiny, strže, rokliny, či menšie terénne depresie, ktoré dokážu tok lavíny v určitých prípadoch výrazne ovplyvniť.

Odvodenie parametrov vegetačného krytu

Zahrnutie vplyvu dobového vegetačného krytu je pre výsledok simulácie veľmi dôležité. Pre odtrhové pásмо sú typické trávnaté steny medzi žlabmi, popre-rušované skalnými blokmi a sutinami. Na miestach s vhodnejšími pôdnymi vlastnosťami sa nachádzajú ostrovčeky kosodreviny a zakrpatené jarabiny a vrbý. Na severozápadnej stene sa na jej úpäti zachoval aj starý preriedený smrekový porast, pod ktorého ochranou vyrástol salaš s pastierskou kolibou (Milan, 1971). V transportnom a akumulačnom pásme je dominantný lesný porast, avšak dno centrálného žlabu je bez vyššej vegetácie. Najmä efekt dostatočne vyvinutého lesa je pre formovanie a pohyb lavín značný. Les má výraznú protilavínovú funkciu. Dokáže spomaliť až zastaviť lavínový tok. Tým pádom výrazne ovplyvňuje smer a rýchlosť prúdenia lavíny a následne aj výsledný tvar lavínovej dráhy. V prípade, že tlak v lavíne dosiahne hodnotu 100 kPa (limitná hodnota pre vyvrátenie dospelého smreka), spomaľujúci efekt lesného porastu stráca význam. Veľké lavíny často vyvrátia a polámu lesný porast v ich dráhe. Vzniká tak zmiešaný tok



Obr. 3. Porovnanie výskytu lesného porastu v rokoch 1956 a 2010

snehu, stromov a skalných úlomkov, ktorý má väčší objem a narastajúci ničivý potenciál (McLung, 2006). Na rozdiel od parametrov reliéfu, vegetačný kryt predstavuje časovo variabilnú charakteristiku. Na dosiahnutie presného výsledku je preto dôležité, aby do modelu vstupovala charakteristika vegetačného krytu v dobe pádu lavíny (14. 3. 1970), resp. pred ním. Pre tento cieľ sme použili údaje z vojenskej topografickej mapy z roku 1956. Porovnanie medzi výskytom lesného porastu v záujmovom území pred simulovanou lavínou a v súčasnosti zobrazuje obr. 3. Za 41-ročné obdobie sú rozdiely v stave lesného porastu pomerne veľké. Z porovnania vyplýva nutnosť použiť dobové informácie o výskyte lesného porastu pre dostatočne presnú simuláciu lavíny. Aj ostatné vlastnosti lesného porastu (výška stromov, zápoj, druhová diverzita, podrast a i.) sú pre formovanie lavín dôležité. Samotná existencia, resp. neexistencia lesného porastu, postačuje pre dostatočne presnú simuláciu pri použití modelu

RAMMS (binárny raster: 1 – pre zalesnené územie, 0 – pre ostatné územie).

Odvodenie vlastností snehovej pokrývky

Hustota uvoľneného snehu je tiež veľmi dôležitý faktor pri modelovaní lavín. Suchý prachový sneh má iné zákonitosti pohybu po svahu ako sneh mokrý. Z historických fotografií je zrejmé, že sa jednalo o doskovú lavínu zo suchého, vetrom naviateho snehu (obr. 4), ktorého priemerná hustota sa pohybuje v rozpätí 50 – 450 kg.m⁻³, najčastejšie však 200 kg.m⁻³. Táto hodnota sa javí ako najpravdepodobnejšia a použili sme ju aj pri simulácii v modeli RAMMS.

Výsledky a presnosť simulácie

Presnosť simulácie je daná porovnaním výsledkov simulácie a hodnôt zaznamenaných pri evidencii lavíny

Tab. 1. Porovnanie simulovaných výstupov s reálne zaznamenanými údajmi

Parameter	Nameraná hodnota (1970)	Simulovaná hodnota (2011)	Rozdiel	Relatívna odchýlka
Celková dĺžka lavíny	2 200 m	2 221 m	-21 m	0,95 %
Dĺžka lavínového nánosu	1 800 m	1 725 m	75 m	4,17 %
Objem lavínového nánosu	625 000 m ³	626 028,7 m ³	-1 028,7 m ³	0,16 %
Výška snehu v čele lavíny	20 – 25 m	4 – 5 m	-16 – -20 m	80,00 %
Celková plocha lavíny	39,1 ha	51,38 ha	-12,28 ha	31,41 %
Vertikálny rozdiel	620 m	622 m	-2 m	0,32 %

Zdroj: Milan (1971) a vlastné výstupy

v roku 1970. Rozdiely v týchto hodnotách uvádza tab. 1. Treba však podotknúť, že presné zaznamenanie niektorých parametrov, ako je celkový objem alebo veľkosť zasiahnutej plochy, bolo v roku 1970 pomerne zložité. V súčasnosti možno tieto parametre s využitím vhodných geoinformačných technológií relatívne presne zaznamenať. Dostatočne presne odvodenými vstupnými parametrami a precíznou kalibráciou sme dosiahli výrazné priblíženie k reálne zaznamenaným údajom o lavíne (obr. 5). Odchýlka od reálne zaznamenaného dosahu lavíny je štatisticky nepodstatná, podobne ako odchýlka od celkového zaznamenaného objemu lavíny. Reálna výška čela lavíny však výrazne presahovala výsledok simulácie (obr. 6). Rozdiel v ploche, ktorú lavína zasiahla, je badateľný najmä na severozápadnom svahu nad hornou hranicou lesa. To môže byť výsledok nepresnosti v digitálnej reprezentácii reliéfu digitálnym výškovým modelom, ako aj v lokalizácii odtrhovej zóny. Sekvencia pohybu lavíny, zobrazujúca maximálnu výšku snehu, ilustruje obrázok (strana 3 obálky). V okamihu vzniku lavíny sa dali do pohybu povrchové vrstvy nafúkaného snehu. Sklz však nenastal v priestore celého kotla v jednom okamihu, ale v dvoch hlavných sekvenciách. Nárazom na terasu v strednej časti lavínovej dráhy nastalo zbrzdzenie lavínového prúdu a hromadenie snehu. Postupným hromadením zosúvaného snehu a rastúcim tlakom sa dala do kĺzavého pohybu celá nahromadená

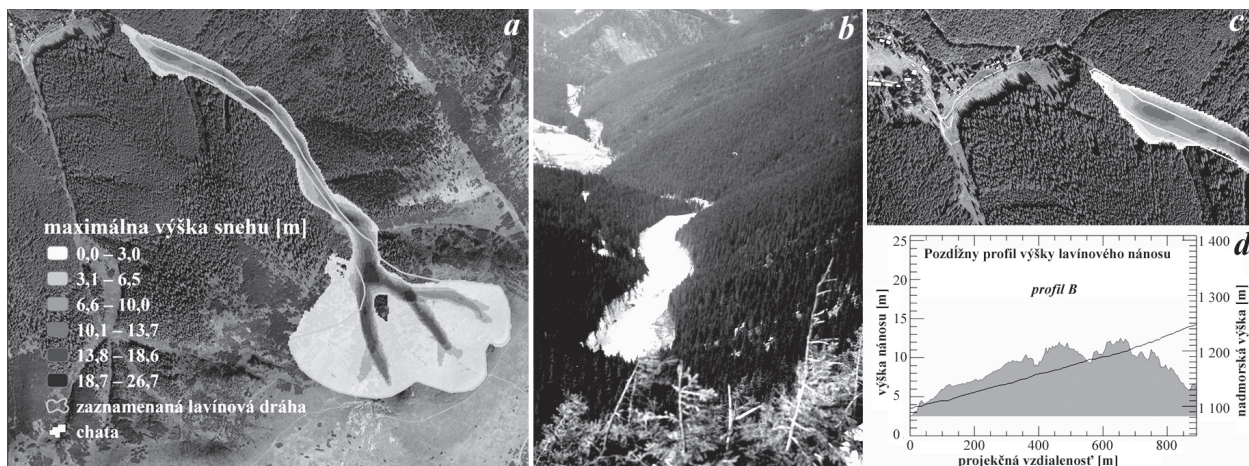


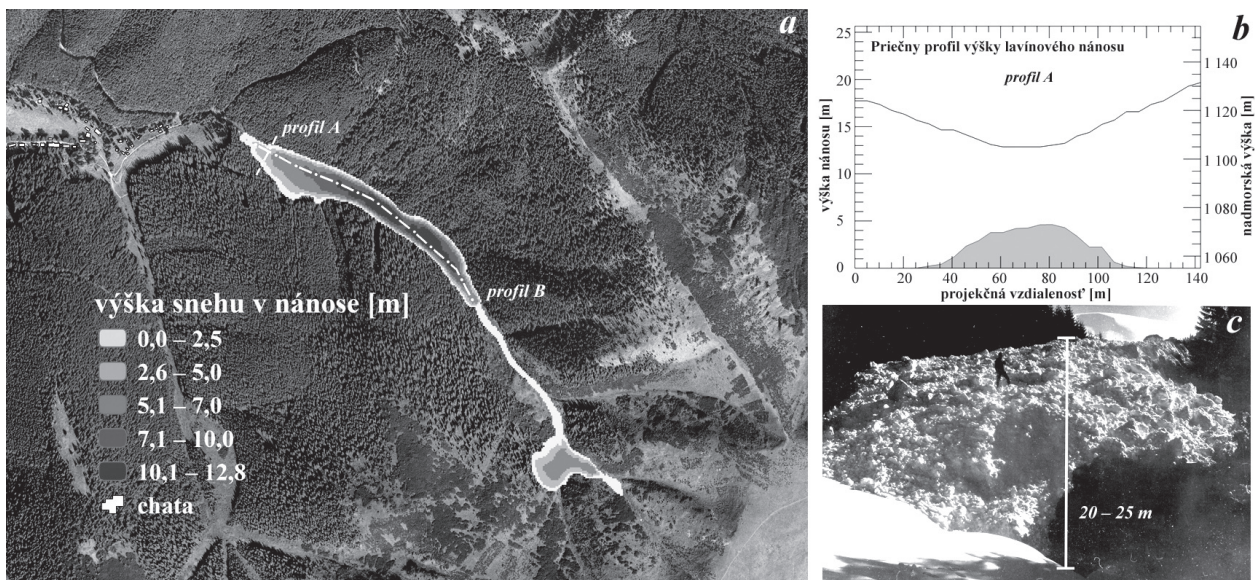
Obr. 4. Rozdrobené snehové kvádre s mierne obrúsenými hranami, typické pre suché doskové lavíny. Foto: archív SLP

masa, ktorá v smere prúdu vyklčovala ihličnatý les (obr. 5) (Milan, 1971). Čelo lavíny sa zastavilo len pár metrov od lyžiarskeho vleku v Magurke. Lavínový nános je uložený v terénnom koryte a má pretiahnutý tvar, ktorý sa v hornej časti dľaňovito rozširuje. Pozdĺžny pričný profil lavínového nánosu (obr. 5) poukazuje na značné nerovnosti na povrchu nánosu, čo potvrdili aj účastníci záchranných prác na lavíne.

* * *

Obr. 5. Simulovaná maximálna výška snehu (a) a porovnanie reálneho a simulovaného maximálneho dosahu lavíny (c). Výška snehu v pozdĺžnom profile lavínového nánosu vypočítaná modelom(d), zachytená na historickej fotografii (b).





Obr. 6. Výška snehu v lavínovom nánose a línie priečného a pozdĺžneho profilu A a B (a). Reálna výška snehu v čele lavínového nánosu (c) výrazne prekračuje simulovanú hodnotu v profile A (b).

Používanie inovatívnych geoinformačných technológií otvára nové perspektívy na mapovanie a posudzovanie prírodných rizík aj v oblasti lavínovej prevencie. Ich hlavným cieľom je zhodnotenie lavínového nebezpečenstva s ohľadom na plánovanie ľudských aktivít v horských oblastiach. Numerické modely ako RAMMS, spojené s dôkladným terénnym výskumom a pozorovaním, môžu predstavovať veľký prínos pri posudzovaní lavínového rizika v horských oblastiach. Uvedený príspevok demonštruje, že vhodne kalibrovaný a verifikovaný model, pracujúci s dostatočne presnými vstupnými údajmi, dokáže pomerne presne nasimulovať priebeh lavíny. Vzniknuté odchýlky treba pripísať opodstatneným nepresnostiam v historických záznamoch a vstupných údajoch a treba ich brať do úvahy. Použitím akéhokoľvek modelu dochádza navyše k výraznej generalizácii komplexných procesov prebiehajúcich v reálnom svete. Avšak najdôležitejší atribút pre mapovanie lavínového rizika – maximálny dosah lavíny, bol v tomto prípade pomerne úspešne nasimulovaný. Modelovanie potenciálnych lavín tak možno uplatniť aj pri plánovaní a lokalizácii rôznych protilavínových opatrení. Môžu sa tak minimalizovať negatívne dôsledky podobne veľkej lavíny v budúcnosti.

V príspevku sme využili historické fotografie a záznamy Ing. Ladislava Milana, bývalého pracovníka Strediska lavínovej prevencie v Jasnej.

Literatúra

- Haerberli, W. et al.: GIS Applications for Snow and Ice High-mountains Areas: Examples for the Swiss Alps in Geographic Information Science and Mountain Geomorphology. Chichester : Springer, 2004, p. 381 – 402.
- Bühler, Y. et al.: Sensitivity of Snow Avalanche Simulations to Digital Elevation Model Quality and Resolution. Annals of Glaciology, 2011, 52, 58, p. 72 – 80.
- Christen, M. et al.: RAMMS User manual v1.4 Avalanche: A Modeling System for Snow Avalanches in Research and Practice. Davos : WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF, 2011, 89 p.
- McLung, D., Schaerer, P.: Avalanche Handbook. Third edition. Seattle : The Mountaineers books, 2006, 342 p.
- Milan, L.: Správy: Ďurkova lavína v Nízkych Tatrách. Geografický časopis, 1971, 22, 1, s. 44 – 48.
- Milan, L., Kresák, K.: Správa o lavínovej udalosti zostavená dňa 10. 6. 1970. Archív SLP HZS, Jasná, 1970, 15 s.

Mgr. Marek Biskupič

Mgr. Filip Kyzek

Ing. Milan Lizuch

Mgr. Ing. Jozef Richnavský

Mgr. Igor Žiak, slp@hzs.sk

Stredisko lavínovej prevencie Horskej záchrannej služby,
Dom HS č. 84, Demänovská dolina 032 51, Jasná

Mgr. Ing. Ivan Mudroň, ivan.mudron@vsb.cz

Ing. Branislav Devečka, branislav.devecka@vsb.cz

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava,
17. listopadu 15, 708 00, Ostrava Poruba