

prípadová štúdia

Modelovanie rizika vzniku lavín

Dalibor Nedel'ka, Milan Koreň

Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie
Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo Zvolene

Úvod

Lavíny sú prírodný fenomén špecifický pre horské a vysokohorské oblasti. Každoročne spôsobujú významné škody na ľudskom zdraví a životoch. Okrem toho ohrozujú turistické oblasti a zariadenia a v neposlednom rade spôsobujú nemalé škody lesnému hospodárstvu. Miest a doba ich sa veľmi ťažko určuje. Boli vypracované účinné metódy, ktoré nám pomáhajú aspoň určiť pravdepodobnosť ich vzniku a tak sa na ich vznik aspoň čiastočne pripraviť.

Lavíny predstavujú veľmi krátkodobý a dynamický jav na lokálnej úrovni v oblastiach pokrytých snehom. Ich vznik a výskyt je často sprevádzaný devastáčnými účinkami pohybujúcej sa snehovej masy. Výskyt lavín sa dá len predpovedať len obtiažne.

Lavínová kartografia sa zaoberá dôsledkami a výsledkami tejto činnosti. Výsledkom kartografického zobrazenia je mapa lavínovej ohrozenosti. Mapovanie a následné zobrazenie lavínovej hrozby vo svojej podstate počíta s faktormi, ako sú rozsiahle terénne elementy, rôzne vlastnosti povrchu, priame a nepriame aspekty, ktoré ovplyvňujú riziko vzniku lavín (KRIZ, 2001).

Aby sme boli schopní predpovedať vznik lavín, potrebujeme mať k dispozícii historické a aktuálne údaje o počasí v minulosti. Ďalej sú to informácie vyjadrujúce ukladanie a transport snehu, jeho vrstvenie a silu resp. slabosť jednotlivých snehových vrstiev. Všetky tieto faktory je potrebné poznať pre každú lokalitu, kde nás možnosť vzniku lavíny zaujíma. Je nevyhnutné disponovať potrebným vybavením jednak na zber parametrov, ktoré sú na predpovedanie nutné, a takisto vybavením potrebným na modelovanie možných scenárov (FÖHN, 1998).

Miesta s charakteristickými topografickými vlastnosťami, kde dochádza k akumulácii snehových mäs, môžeme definovať ako tzv. odtrhové zóny. Pri pôsobení špecifických podmienok na tieto snehové masy dochádza k ich uvoľneniu v podobe lavíny. HREŠKO (1998) odvodiť matematický model, ktorý slúži na odhad odtrhových zón. Rovnica podľa má tvar:

$$A_v = (S + A_l + E_x + F_x) * R_g$$

kde A_v vyjadruje výslednú hodnotu pravdepodobnosti vzniku lavín, S zastupuje sklon terénu, A_l je faktor nadmorskej výšky, E_x expozícia, F_x vyjadruje hodnotu faktoru tvaru svahu a nakoniec R_g

zastupuje drsnosť povrchu.

BARKA a RYBÁR (2003) upravili model detailnejšou reklasifikáciou sklonov podľa Kanadskej lavínovej asociácie. Faktor sklonu reliéfu vystupuje v pozícií činiteľa rovnako, ako faktor drsnosti povrchu. Výpočet a vstupné faktory boli upravené štatistických analýz lavínovej databázy Strediska lavínovej prevencie. Upravený model má tvar

$$A_v = (A_l + E_x + F_x) * S * R_g$$

Podrobnú klasifikáciu a lavín podľa tvaru, spôsobu pohybu, typu sklznej plochy, vlhkostí snehu, tvaru dráhy, spolu s fotografiami možno nájsť na Portáli Horskej záchranej služby venovanej problematike lavín <http://www.laviny.sk/metodika-laviny/nauka-o-snehu-a-lavinach/>.

Lesná vegetácia v pohoriach Slovenska plní významnú protilavínovú funkciu. Jej hlavný význam spočíva v znižovaní rizika vzniku lavín, trieštení snehových prúdov, obmedzovaní rušivých a ničivých procesov pri páde lavín. Účinok lesnej vegetácie z pohľadu obmedzovania až zamedzovania vzniku a pádu lavín je relevantný od tretej vekovej triedy.

Najefektívnejšiu protilavínovú funkciu majú lesy staršie, nerovnoveké a nerovnorodé s priemerným zakmenením, v ktorom nedochádza k rovnomernému ukladaniu snehovej pokrývky. Nepravidelné zloženie takéhoto lesa zabraňuje prenášaní napadnutej snehovej pokrývky vetrom a súčasne aj vzniku lavín. ZACHAR (1984) uvádza, že porast s počtom 1000 až 5000 kmeňov na hektár je schopný stabilizovať snehovú pokrývku a zabrániť vzniku lavíny.

Súvislý, zapojený les nie je jedinou zábranou. Funkciu stabilizácie snehovej pokrývky vykonávajú aj samostatné skupiny alebo hlúčiky rastúce nad súvislým lesom tým, že zvyšujú drsnosť povrchu pôdy na odtrhových územiach. Lesné porasty sú nad hornou hranicou stromovej vegetácie vystavené extrémnym podmienkam a negatívne abiotické činitele prechádzajú až ku kritickým hodnotám existencie lesných spoločenstiev. Z tohto dôvodu je priam nevyhnutné, aby tieto vysokohorské porasty boli vhodné. Proveniencie použité na umelú obnovu musia pochádzať z príbuzných výškových vegetačných stupňov, lebo nevhodné porasty z nižších polôh trpia, sú náchylnejšie k napádaniu škodcami a nie sú tak vitálne, čo má za dôsledok aj nižšiu protilavínovú funkciu (ZACHAR, 1984).

Postup modelovania rizika vzniku lavín v prostredí GIS

Na vznik lavín majú vplyv najmä faktory ako sú sklon svahu, orientácia vzhľadom ku svetovým stranám, tvar reliéfu, krajinná štruktúra a nadmorská výška. Veľmi významnú úlohu zohráva pri vzniku lavín aj počasie.

Vstupom modelu pre výpočet rizika vzniku lavín sú digitálny model reliéfu (DMR) a vrstva

krajinnej pokrývky.

Prípadová štúdia bola spracovaná pre územie Žiarska dolina v Západných Tatrách.

Faktor nadmorskej výšky (Al)

Veľký vplyv na vznik aj charakter lavinóznych procesov má nadmorská výška. Nadmorská výška spolu s priestorovou výstavbou horstiev sú príčinou klimatickej a vegetačnej zonálnosti. So stúpajúcou nadmorskou výškou dochádza ku klesaniu priemerných teplôt a stúpa množstvo zrážok. Toto má za následok, že vo vyšších nadmorských výškach bude narastať aj hrúbka snehovej pokrývky.

Snehová pokrývka v nižších nadmorských výškach a pomerne vyšších teplotách nedosahuje takú hrúbku, ako vo vyšších polohách a reaguje oveľa citlivejšie na teplotné výkyvy. Vo vyšších polohách s nižšou teplotou a v hrubšej vrstve nereaguje na teplotné výkyvy tak radikálne. Výsledkom rastu nadmorskej výšky sú zmeny v metamorfózných procesoch snehovej pokrývky a zmena jej fyzikálnych a mechanických vlastností (KŇAZOVICKÝ, 1967).

Rastrovú vrstvu faktoru nadmorskej výšky vytvoríme reklasifikáciou digitálneho modelu reliéfu do troch intervalov. Dolná výšková hranica 1425 m pre vznik lavíny bola odvodená z údajov Strediska lavínovej prevencie.

Nadmorská výška	Hodnota faktora Al
do 1250	0
1250,1 – 1500	5
1500,1 - 1750	10
1750,1 – 2000	15
nad 2000	20

Faktor expozície (Ex)

Vplyv expozície svahu na lavínové procesy nie je jednoznačný. Účinok expozície na vznik lavín je ovplyvnený do značnej miery rôznou polohou k smeru prevládajúcich vetrov alebo k smeru slnečných lúčov. Orientácia svahu k smeru prevládajúcich vetrov sa prejavuje v rozdielnom ukladaní snehovej pokrývky. Silné vetry pri intenzívnych a dlho trvajúcich sneženiach alebo hneď po nich sú často príčinou vzniku lavín na záveterných svahoch.

V lavínových procesoch sa expozícii pripisuje väčší účinok hlavne nerovnakým účinkom slnečného žiarenia. Rozličné pôsobenie slnečného žiarenia ovplyvňujú teplotný režim snehových vrstiev a ich metamorfózne procesy. Trvalým účinkom rozličných dávok slnečného žiarenia dochádza k

rozdielnej vrstevnatosti stavby snehovej pokrývky, k rozdielnemu formovaniu jej mechanických a fyzikálnych vlastností. Veľmi častým javom je to, že na južných a juhozápadných expozíciách sa vplyvom prehriatia snehových vrstiev narúšajú mechanické vlastnosti snehu a práve tam dochádza k odtrhu a následnej lavíne (KŇAZOVICKÝ, 1967).

Faktor expozície zohľadňuje orientáciu svahov voči svetovým stranám. Zahrnutím tohto faktora do modelu zohľadníme vplyv slnečnej radiácie a vplyv vetra na ukladanie snehovej pokrývky. Vo všeobecnosti sa to najvýraznejšie prejavuje na južných a východných svahoch. Podľa percentuálnej početnosti za rizikové svahy boli označené svahy s juhovýchodnou (135°) až západnou (270°) orientáciou. Zvyšné expozície vstupujú do modelu s nižšími hodnotami.

Z digitálneho modelu reliéfu modulom *Aspect* vypočítame raster orientácie voči svetovým stranám. Novú vrstvu potom reklasifikujeme podľa tabuľky.

Orientácia	Hodnota faktora Ex
0° - 67,5°	10
67,6° - 135°	15
135,1° - 270°	20
270,1° - 337,5°	15
337,6° - 360°	10

Faktor krivosti reliéfu (Fx)

Krivosť terénu resp. jeho zakrivenie zohráva pri vzniku lavín významnú rolu. Horizontálna (resp. planárna) krivosť je vlastne krivosťou vrstevnice. Príkladom horizontálnej krivosti sú rôzne žľaby a tzv. kúty predstavujúce konkávne tvary a naopak, rebrá a terénne chrby, ktoré predstavujú konvexné tvary. Pri konkávných tvaroch dochádza k hromadeniu snehových mas nafúkaním, čo má za následok zvýšenie pravdepodobnosti vzniku lavín. Na konvexné terénne tvary pôsobí sila vetra a sneh je z nich odnášaný. Výška snehovej pokrývky, v porovnaní s konkávnymi tvarmi, je menšia a to spôsobuje znižovanie pravdepodobnosti vzniku lavín. Konkávne tvary majú na lavíny zrýchľujúci účinok a konvexné majú tendenciu lavíny spomaľovať.

Profilová krivosť je krivosť v smere spádnice reliéfu. Rovnako, ako pri horizontálnej krivosti, tak aj pri profilovej rozlišujeme tvar konvexný a konkávny. Pri konvexnom tvare reliéfu dochádza k pnutiu v snehovej pokrývke, čo má za následok zvýšenie pravdepodobnosti vzniku lavíny. Konvexná forma sklon svahu neustále zvyšuje, tým sa zvyšuje aj napätie v snehových vrstvách. Pri konkávnom tvare terénu dochádza k znižovaniu sklonu, čo spôsobuje znižovanie napätia v snehových vrstvách, prípadne spomalenie už vzniknutej lavíny.

Konkávne tvary povrchu predstavujú riziko vzniku lavín v dôsledku schopnosti akumulovať sneh, ktorý je prenášaný vetrom. To, či je svah konkávny alebo konvexný zistíme analýzou DMR použitím nástroja *Curvature*. Vypočítané vrstvy planárnej a profilovej krivosti reklasifikujeme podľa tabuľky.

Tvar	Interval	Hodnota faktora F _x
Konvexný	> 0,5	0
Lineárny	-0,5 – 0,5	5
Konkávny	< -0,5	10

Výsledný faktor krivosti reliéfu pre vznik lavín vypočítame ako súčet faktoru horizontálnej krivosti (t.j. krivosti vrstevnice) a faktoru profilovej krivosti (v smere spádnice):

$$F_x = F_{\text{horizontálna}} + F_{\text{profilová}}$$

Faktor sklonu svahu (S)

Sklon svahu je jeden z kľúčových faktorov pre determináciu lavínového nebezpečenstva. V kruhoch bežnej laickej spoločnosti prevažuje názor, že lavíny vznikajú len na strmých svahoch. Pravdou je však, že najviac lavín vzniká na svahoch so sklonom v intervale 35° až 45°. Tento rozsah zastupuje pásmo, kde rovnováha medzi súdržnosťou snehových vrstiev a pôsobením gravitačných síl je porušená. Na svahoch so sklonom väčším ako 60° nedochádza k dostatočnému hromadeniu snehových más, pretože sneh nie je schopný sa tam udržať. Naopak, ak je sklon svahu menší ako 25°, tak svah nie je dostatočne strmý na uvoľnenie lavíny (SHIMANSKI, 2008).

Údaje o kritických sklonoch svahu sa do značnej miery líšia a majú viac-menej lokálnu platnosť. Do budúca sa ani nepredpokladá, že by mohlo dôjsť ku globálnej jednotnej hodnote kritického sklonu svahu pre vznik lavíny. Celý proces vzniku lavíny je závislý od miestnych terénnych a klimatických podmienok a od výšky a charakteru snehovej pokrývky. Pre vznik lavíny sú rozhodujúce sklonitostné pomery v odtrhovom pásme (MILAN A ŠRAMKA, 1988). Tieto pomery určujú to, či dôjde k roztrhnutiu snehových vrstiev a to, akú rýchlosť dosiahnu následne odtrhnuté snehové masy. V konečnom dôsledku je tým ovplyvnený aj dynamický účinok v zbernom (akumulačnom) území alebo na dráhe lavíny. Pri malých sklonoch prevažuje tečenie, prevažovanie a kĺzanie, pri veľkých sklonoch sa dosahuje skákavý pohyb, prípadne pohyb vzduchom (KŇAZOVICKÝ, 1967).

Modulom *Slope* z digitálneho modelu reliéfu odvodíme vrstvu sklonu stupňoch, ktorá reprezentuje sklonitostné pomery v záujmovom území. Túto vrstvu potom reklasifikovali a tak vytvoríme

výslednú vrstvu faktoru sklonu.

Sklon	Hodnota faktora S
0° - 10°	0
10,1° - 20°	4
20,1° - 25°	8
25,1° - 30°	12
30,1° - 35°	16
35,1° - 45°	20
45,1° - 50°	16
50,1° - 60°	10
nad 60°	0

Faktor drsnosti povrchu (Rg)

Ďalším faktorom, ktorý významne ovplyvňuje riziko vzniku lavín je krajinná štruktúra nachádzajúca sa priamo pod snehovou pokrývkou. Vegetácia má významnú úlohu pri spevňovaní a stabilizácii snehu. Podložie pod snehovou vrstvou, ako trávnatý porast alebo kamenná sutina, umožňuje vznik základových lavín. V hustom, zapojenom poraste je vznik lavín veľmi obmedzený a les samotný môže dokonca zachytiť už uvoľnenú lavínu. SHIMANSKI (2008) uvádza, že prírodné prekážky, ako sú balvany veľkých rozmerov, kosodrevina prípadne zvyšky odumretých stromov, sú inhibítory vzniku lavín. No v prípade, že snehová pokrývka je taká hlboká, že tieto prekážky prekryje, tak sa ich inhibičný účinok stráca.

Faktor drsnosti povrchu odvodíme z vrstva krajinej pokrývky. Táto vrstva vo vektorovej reprezentácii obsahuje polygóny jednotlivých druhov krajinej pokrývky. Nástrojom *Feature to Raster* túto vrstvu prevedieme do rastrovej reprezentácie s rovnakým priestorovým referenčným rámcom ako má DMR. Reklasifikáciou jednotlivým druhom krajinej pokrývky priradíme hodnotu faktora drsnosti povrchu. Najvyššiu hodnotu majú trávnaté povrchy a najnižšiu zapojený les.

Krajinná pokrývka		Hodnota faktora Rg
Názov	Kód	
Les	1	5
Bralá, skaly	4, 6, 7	7
Kosodrevina	2	10
Sute	5	20
Trávnaté porasty	3	30

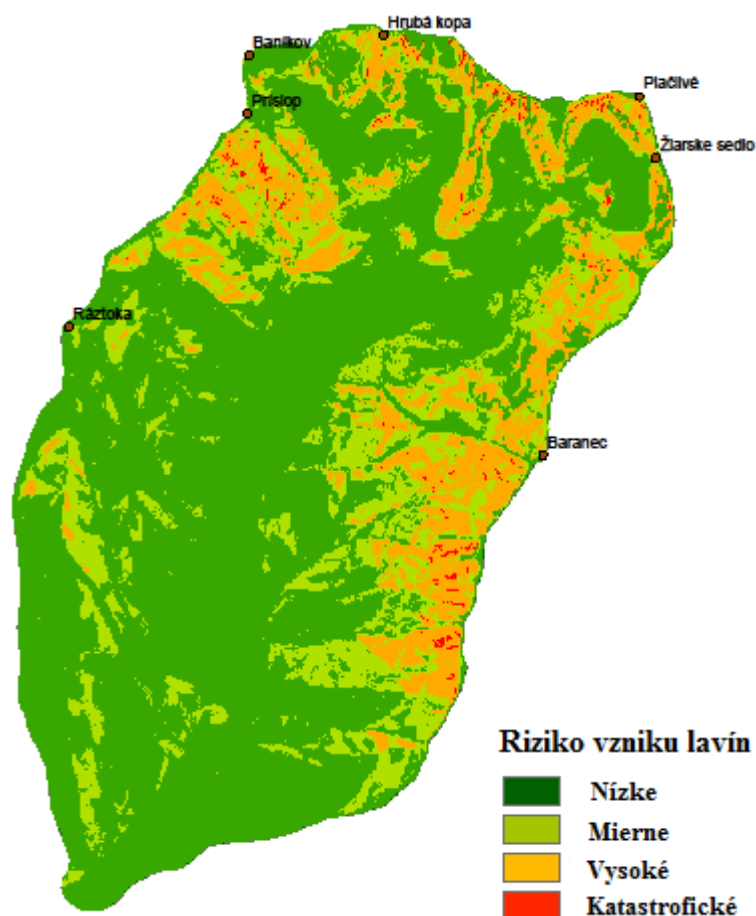
Riziko vzniku lavín (Av)

Po odvodení rastrových vrstiev faktoru nadmorskej výšky (Al), zakrivenia reliéfu (Fx), expozície (Ex), sklonu svahov (S) a drsnosti povrchu (Rg), môžeme vypočítať riziko vzniku lavín podľa práce BARKU a RYBÁRA (2003). V module Raster Calculator skombinujeme vrstvy požadovaným spôsobom:

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

Výsledná vrstva rizika vzniku lavín obsahuje hodnoty od 0 do 36 000. Nula predstavuje žiadne riziko vzniku lavíny a hodnota 36 000 zodpovedá maximálnemu riziku. Riziko vzniku lavín reklasifikujeme do štyroch tried.

Kategória	Rozsah hodnôt Av
nízke	menej ako 15 000
mierne	15 000,1 – 22 500
vysoké	22 500,1 – 30 000
katastrofické	viac ako 30 000



Obr. 1: Riziko vzniku lavín na modelovom území Žiarska dolina

Literatúra

BARKA, I. - RYBÁR, R. (2003). Identifikácia miest vzniku lavín pomocou GIS. In: Nové trendy v krajinskej ekológii. Zborník z konferencie s medzinárodnou účasťou. UK Bratislava, 2003.

BISKUPIČ, M. - BARKA, I. (2010). Spatial modelling of snow avalanche run-outs using GIS. Zborník príspevkov z konferencie GIS Ostrava 2010, VŠB TU Ostrava.

FÖHN, P. M. B. (1998). An overview of avalanche forecasting models and methods. In: HESTNES, E. 1998. 25 years of Snow Avalanche research at NGI, Voss, Norway. Norwegian Geotechnical Institute. 1998. Vol. 203, 19-27.

HREŠKO, J. (1998). Lavínová ohrozenosť vysokohorskej krajiny v oblasti Tatier, Acta Facultatis Stud. Hum. Et Naturae Univ. Prešoviensis, Folia geographica 2, roč. XXIX.

KŇAZOVICKÝ, L. (1967). Lavíny. Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied. Bratislava. 152 str.

KRIZ, K. (2001). Using GIS and 3D Modeling for Avalanche Hazard Mapping, Department of Geography and Regional Research, University of Vienna

MILAN, L. - ŠRAMKA, Š. (1988). Nebezpečenstvo lavín. Vydavateľstvo Šport. Bratislava. 152 str.

SHINAMSKI, Ch. (2008). Avalanche!!! A resource for winter backcountry users. Mountain rescue association, Alaska.

ZACHAR, D. a kol. (1984). Lesnícke meliorácie. Príroda, vydavateľstvo kníh a časopisov. Bratislava, 488 str.

Pod'akovanie

Prípadová štúdia bola vypracovaná s finančnou podporou Kultúrnej a edukačnej grantovej agentúry (KEGA) Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky v rámci projektu Nové formy výučby geoinformatiky na TU Zvolen, KEGA č. 008TU Z-4/2013.

Prípadová štúdia bola spracovaná na základe diplomovej práce Dalibor Nedel'ka (2011). Model protilavínovej funkcie lesa v prostredí ArcGIS. Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie, Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, 2010/2011, vedúci diplomovej práce Milan Koreň

Model rizika vzniku lavíny vytvorený v ModelBuilder systéme ArcGIS

