

## ÚVOD DO LAVÍNOVEJ PROBLEMATIKY

Miroslav Žiak

---

*Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra fyzickej geografie a geoekológie, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava*

**Abstract:** Avalanche activities undoubtedly belong to natural risks that cause huge material damages and losses of human lives. In my report I tried to describe fundamental aspect of avalanches creation and formation. I see a lack of published studies in Slovakia related to avalanche issues. That's why I decided to assumed my current knowledge. My aspiration was to combine foreign studies with classical Slovak authors. The structure of the presented paper follows avalanche genesis. Essential assumption is inherence of snow cover. Snow cover evolves and its stability is changing. If the snow cover is destabilized various types of movement can appear. In the last part I devote oneself to morphological classification of avalanche and genetic classification of avalanche creation. Many other authors mention shown classification but they often don't know its' original source. In basic review I included rife International Scale of Avalanche Risk with its full reading.

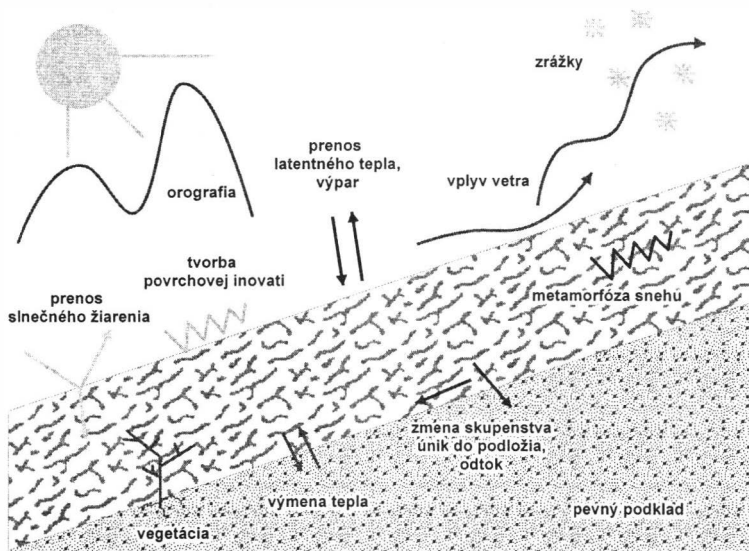
**Key words:** avalanche, avalanche classifications, snowpack, snow layers, mountains

### 1. ÚVOD

Medzi prírodné riziká, ktoré spôsobujú veľké materiálne škody a straty na ľudských životoch, bezpochyby treba zaradiť lavínovú činnosť. V príspevku som sa snažil zachytiť základné aspekty vzniku a formovania snehových lavín. V lavínovej problematike na Slovensku vidím nedostatok publikovaných prác, preto som sa rozhodol o príspevok poskytujúci zhrnutie súčasných poznatkov. Mojou snahou bolo skĺbenie zahraničnej literatúry s klasickými slovenskými autormi. Snažil som sa o logické členenie, vychádzajúce z genézy lavínovej činnosti. Nevyhnutným predpokladom je prítomnosť snehovej pokrývky. Tá prechádza vývojom a mení sa jej stabilita. Pri jej destabilizácií dochádza k rôznym typom pohybov. V poslednej časti sa venujem morfolologickej klasifikácii lavín a genetickej klasifikácii podmienok vzniku lavín. Uvedené klasifikácie používa množstvo autorov, ktorí častokrát nepoznajú ich pôvodný zdroj. Do základného prehľadu som ešte zahrnul všeobecne známú Medzinárodnú stupnicu lavínového nebezpečenstva s kompletným jej znením.

## 2. VÝVOJ A STABILITA SNEHOVEJ POKRÝVKY

Všetky faktory, ktoré sa zúčastňujú na lavínovej aktivite pôsobia na vývoj a stav snehovej pokrývky. Snehová pokrývka vzniká spolupôsobením klimatických, topografických faktorov a vegetácie. Môžeme povedať, že je ovplyvňovaná vonkajšími činiteľmi a reaguje na zmeny. Dochádza k výmene energie a látok medzi okolitým prostredím a snehovou pokrývkou (obr. 1). Tieto procesy vzájomnej výmeny využíva model Snowpack na predpoveď lavínovej situácie, vytvorený Švajčiarskym federálnym inštitútom pre výskum snehu a lavín (SLF). Vytvára vzájomné väzby snehovej pokrývky s ostatnými zložkami prostredia. Výmena s atmosférou je riadená najmä slnečným žiarením, ktoré poskytuje energiu na chod procesov prostredníctvom prenosu a transformácie elektromagnetickej energie (bližšie Hrvol, Tomlain 1997; Lapin, Tomlain 2001 a Minár et al 2001). V uvedenom modeli je to prenos latentného tepla, zrážková činnosť a prúdenie vzduchu (vietor), ktoré následne vplyvajú na zmenu skupenstva snehu, tvorbu povrchovej inovati a metamorfózu snehu. Na metamorfózu tiež pôsobí teplo akumulované v pevnom podklade. Celkovú stabilitu ešte ovplyvňuje miestna orografia a vegetačný kryt.

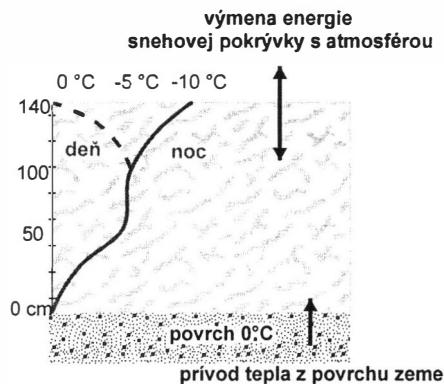


**Obrázok 1** Výmena energie a látok medzi snehovou pokrývkou a okolitým prostredím

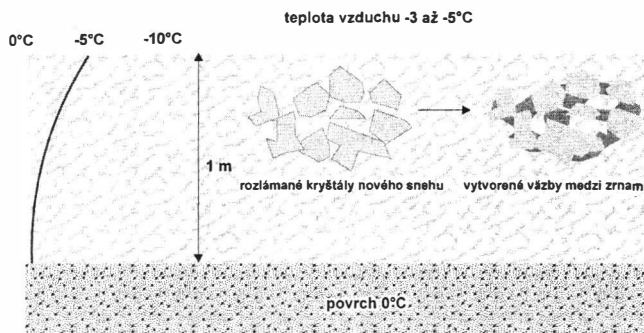
V snehovej pokrývke sa vplyvom teploty a tlaku nadložných vrstiev vytvárajú rozličné formy snehu. Tieto sa vrstvia podľa vývoja zrážok a teploty vzduchu. Sneh prechádza rôznymi fázami metamorfózy, kedy už nehovoríme o snehových kryštáloch, ale o snehových zrnách, lebo kryštálová mriežka sa stráca (Peťo 1997).

Teplota prijatá povrchom zeme v letnom období (prípadne jarnom a jesennom) a čiastočne geotermálna teplota zeme, sa pri zakrytí snehovou pokrývkou stabilizuje na teplotu približne 0 °C, čo chráni pôdu a vegetáciu od zamrznutia (obr. 2). Horná časť snehovej pokrývky je počas zimy vystavovaná rozdielnemu vplyvu teploty vzduchu,

ktorý sa mení pri zmene dennej fluktuácie teploty (striedanie teplého a studeného cyklu počas dňa a noci) a aktuálnej synoptickej situácie (McClung, Schaerer 1993). Z tohto dôvodu má vo všeobecnosti väčšiu stabilitu snehová pokrývka pri oceánickom type podnebia ako pri kontinentálnom, ktorý má vyššiu amplitúdu teploty. Tento efekt rozdielného príjmu tepla spôsobuje zmeny v snehovej pokrývke a spolu s tlakom nadložných vrstiev vplýva na jej stabilitu. Pri týchto procesoch dochádza k trom základným premenám snehu. Sú to najmä *deštruktívna metamorfóza* (premena rozpadom), *konštruktívna metamorfóza* (premena narastaním) a *firnovatenie* (premena topením).



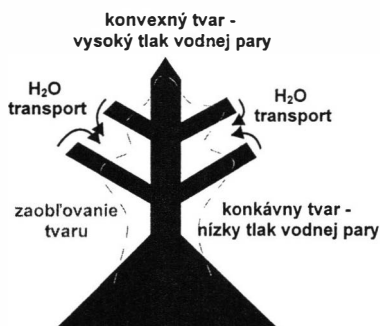
Obrázok 2 Rozdielne teploty snehovej pokrývky počas dňa a noci



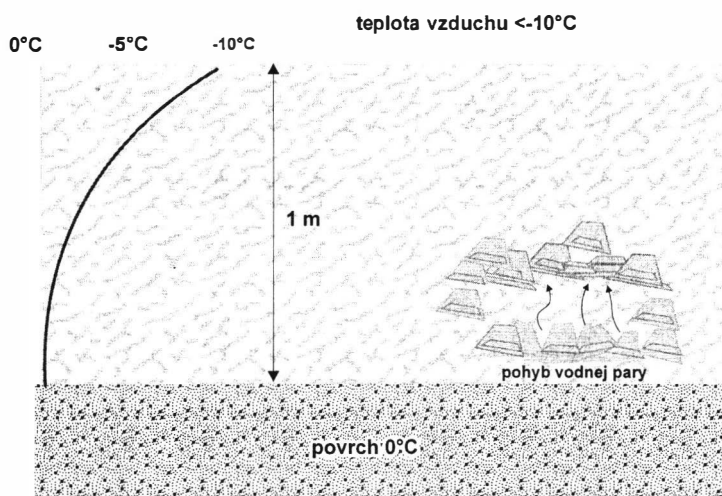
Obrázok 3 Teplotný gradient snehovej pokrývky a proces deštruktívnej metamorfózy

K **deštruktívnej metamorfóze** dochádza už počas pádu snehových vločiek v atmosfére. Vplyvom vetra sa kryštály lámu a deformujú, získavajú tvar zlomkového prachového snehu (obr. 3). Po dopade na zem pokračuje rozpad kryštálov vplyvom tlaku nadložných vrstiev v spojení s teplotou vzduchu  $-3$  až  $-5$  °C a pohybom vodných pár cez fázu zlomkovo-prachového snehu až po zaokrúhlené snehové zrná. Tieto snehové zrná predstavujú veľkosťou najmenší tvar. Teplotný gradient snehovej pokrývky je  $0,5$  °C. $10$  cm $^{-1}$ . Väzba jednotlivých susedných zrn je dostatočná a je malá pravdepodobnosť vzniku lavín z uvedenej vrstvy. V snehovej pokrývke sú dobré podmienky na transport vodnej pary, ktorá je prenášaná (vo forme vodných molekúl) z miesta vysokého tlaku vodnej pary (konvexná časť snehového zrna) do oblasti nižšieho tlaku (konkávna časť) procesom sublimácie (obr. 4). Narastajú mostíky medzi jednotlivými zrnami a do-

chádza k ich aglomerovaniu. Tento proces stabilizuje snehovú pokrývku a *okružlozrný sneh* s mocnými väzbami vytvára silnú vrstvu.



Obrázok 4 Zaobľovanie snehového kryštálu vplyvom rozdielneho tlaku

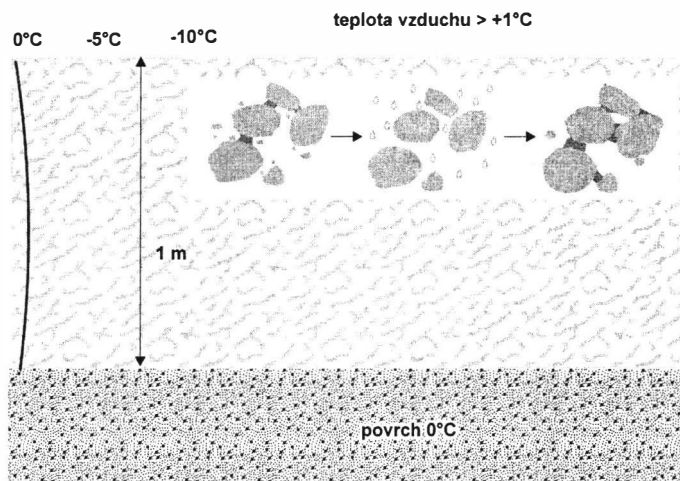


Obrázok 5 Teplotný gradient snehovej pokrývky a proces konštruktívnej metamorfózy

Ku **konštruktívnej metamorfóze** dochádza pri malej výške snehovej pokrývky a veľkom teplotnom gradiente medzi povrchom pôdy (teplota je tu obyčajne blízko 0 °C) a povrchom snehovej pokrývky. Dochádza k pohybu vodných pár v snehovej pokrývke z nižších vrstiev do vyšších cez póry medzi snehovými zrnami. Vodná para neprechádza z konvexných častí snehového zrna do konkávných, ako je to pri deštruktívnej metamorfóze. Veľké póry umožňujú väčšie narastanie snehových zŕn a znižujú sa ich vzájomná súdržnosť. Vodná para opúšťajúca snehové zrná preniká do vyššie položených, kde hranatí ich povrch a zvrstviuje štruktúru. Vzniká *hranatozrný sneh*, ktorý predstavuje medzištádium metamorfózy. Aglomerované zrná (vzniknuté pri deštruktívnej premene) sa od seba oddeľujú a narúšajú sa vzájomne vytvorené mostíky. Postupne sa vnútri tvorí dutina a premena dosahuje svoje vrcholné štádium *dutinovej inovati*. Slabá súdržnosť vytvára skryté vysoké riziko vzniku lavín najmä na zatienených svahoch. Proces naras-

tania je závislý od dlhodobu nízkych teplôt ( $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  a nižšie) a teplotného gradientu v snehovej pokrývke (obr. 5). Podľa Peťa (1997) podmienky na konštruktívnu premenu začínajú pri spáde  $0,25\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}^{-1}$ , autori McClung, Schaerer (1993) a Logan (2004) uvádzajú  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}^{-1}$ . So zvyšujúcim sa spádom konštruktívna premena prebieha intenzívnejšie. Tento proces je označovaný aj ako rekryštalizácia snehu.

**Firnovatenie** predstavuje poslednú etapu vývoja snehovej pokrývky. Pozorovať ho môžeme koncom jesene, ale najmä začiatkom jari, kedy už teplota vzduchu cez deň je kladná (počas zimy môžu byť kladné teploty na južne orientovaných svahoch). Sneh prechádza dvoma fázami vývoja (obr. 6).



**Obrázok 6** Teplotný gradient snehovej pokrývky podmieňujúci premenu topením

**Fáza topenia snehu** – Pri ohriatí snehu nad  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  sa začína uvoľňovať voda, ktorá vniká medzi jednotlivé snehové zrná a znižuje súdržnosť väzieb a tým aj celej vrstvy. Ako prvé sa roztápajú menšie zrná a väčšie sa od seba oddeľujú. Vzniká pravdepodobnosť padnutia základových lavín. Tento proces je najintenzívnejší v popoludňajších hodinách. Podľa McClung, Schaerer (1993) pri slnečnom žiarení s najväčšou intenzitou o 12:00 je najväčší podiel voľnej vody v snehovej pokrývke okolo 15:00 hodine.

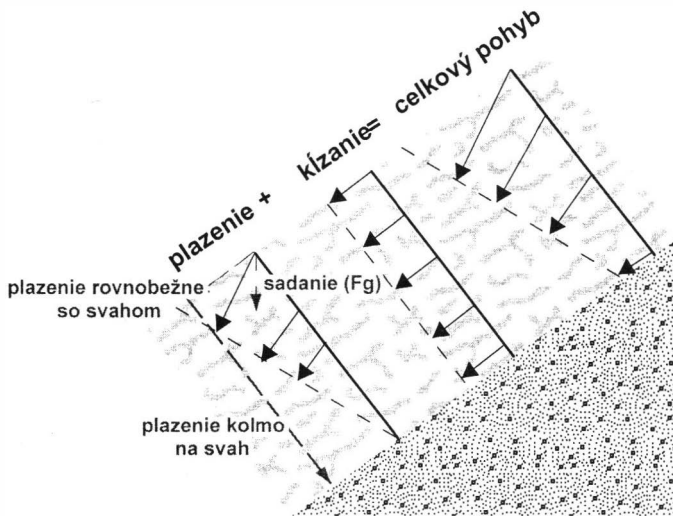
**Fáza zamrznutia snehu** – Postupne sa zoslabovaním vplyvu slnka prestáva vytvárať voľná voda a v noci vznikajú nové, silnejšie väzby. Zrná narastajú a zvyšujú vzájomnú súdržnosť. Výsledkom je *firnový sneh*. Na ďalší deň sa celý proces opakuje až do úplného roztopenia, prípadne narušenia stability natoľko, že sa prekoná odpor trenia a nastane pád lavíny.

### 3. POHYBY SNEHOVEJ POKRÝVKY A VZNIK LAVÍN

Snehová pokrývka uložená na povrchu vykonáva rôzne formy pohybu. Tieto pohyby sú závislé na type povrchu (drsnoti) a sklone. Pozorujeme nasledujúce formy: *sadanie snehu, plazenie snehu, kĺzanie, zosyp, splaz a lavína*.

**Sadanie snehu** je znakom pôsobenia gravitačných síl v snehovej pokrývke, prejavuje sa ubúdaním výšky snehovej pokrývky. Znamená znižovanie kryštálov a pórovitosti a zväčšovanie hustoty. Tento proces je podmienený vnútornými premenami snehu (Milan 2006). Čím je teplejšie, tým je priebeh usadzovania rýchlejší. Pri sadaní na rovine pôsobí len gravitačná sila. Na svahu sa však zúčastňuje viacero silových zložiek (obr. 7).

**Plazenie snehu** sa vyskytuje aj na miernejších svahoch a znamená sústavné zosúvanie zdanlivo stabilnej a nepohyblivej snehovej pokrývky smerom nadol. Pohyb snehu na šikmom svahu je výsledkom pohybu sadania kolmo na svah (Midriak 1979 proces sadania kolmo na svah označuje ako plazenie kolmo na svah (obr. 7), pretože sadanie považuje za proces v smere gravitačnej sily) a pohybu v smere svahu (rovnobežne s rovinou svahu). Vrstva snehu prilíhnutá k pôde sa v dôsledku prekážok na teréne (skaly a pod.) nepohybuje (Peťo 1997). Najviac sa prejavuje na svahoch, kde z nejakých dôvodov nedochádza k padaniu lavín. Na členitom podklade snehovej pokrývky vzniká menší tlak a ťah ako na hladkom podklade. Je to dané väčšou trecou silou. Na svahoch býva výška snehovej pokrývky nerovnomerná. Podľa toho, ktorým smerom výška klesá alebo narastá, môžeme určiť prevládajúci tlak alebo ťah. Keď klesá smerom dolu, vzniká tlak a opačne, keď narastá smerom dolu, vzniká ťah na snehovú pokrývku.



Obrázok 7 Pohyby snehovej pokrývky

Plazivý pohyb snehu na hladkom (trávnatom, listnatom) podklade označujeme **kĺzanie snehu**. Rozumieme tým transláciu celej snehovej pokrývky pomaly prebiehajúcej po naklonenom podklade v smere spádnic. Vyrovnaním vnútorných napätí pri pohybe snehovej pokrývky vznikajú nátrže (trhliny). Sú to plošné trhliny, ktoré môžu siahať až na povrch terénu. Vyskytujú sa v ťahovom pásme na strmých hladkých svahoch. Nátržami sa anuluje ťahové napätie a pri teplotách pod 0 °C sa svahy s ich výskytom môžu pokladať za bezpečné (Milan, Šramka 1988).

K **zosypu** dochádza počas intenzívneho sneženia, alebo krátko po ňom. Sneh sa zo strmých skalných stien priebežne zosypáva. Má podobu prachového oblaku, ktorý pos-

tupne padá a syje sa po povrchu steny na jej úpätie. V dôsledku malého množstva snehu, ale aj jeho hustoty a hmotnosti nespôsobuje veľké ohrozenie životov a poškodenie prírody. Na jeho uvoľnenie postačuje minimálny impulz – porušenie rovnovážneho stavu (Milan, Šramka 1988).

**Splazom** môžeme označiť lavínový pohyb snehu, kedy dĺžka meraná od čela odtrhu po čelo nánosu je menšia ako 50 m a objem snehu menší ako 100 m<sup>3</sup> (tab. 1). Väčšinou tým rozumieme zosunutie vrstvy snehovej pokrývky, ktorá prebehne malou rýchlosťou a bez väčších škodlivých účinkov. Od lavíny sa odlišuje dĺžkou dráhy a objemom snehovej masy.

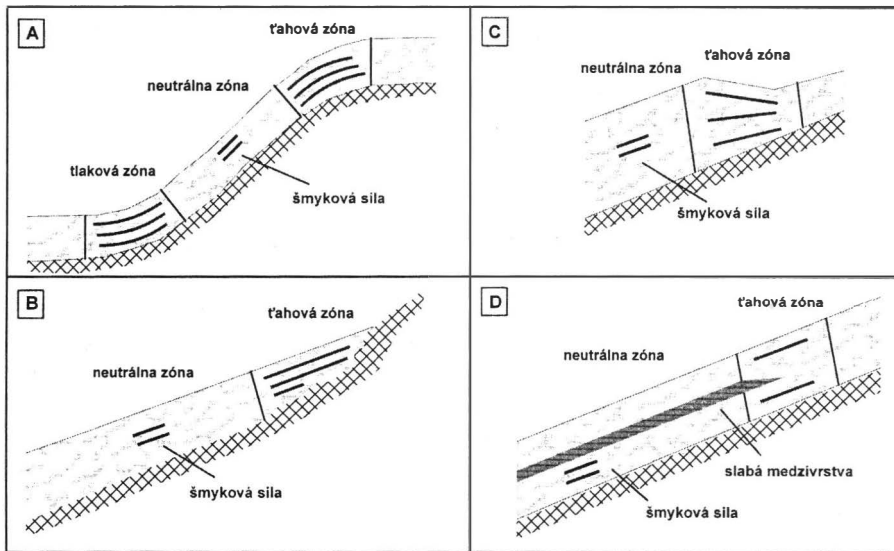
Ako **lavínu** označujeme náhly pohyb snehu z odtrhového miesta, cez transportné až po akumulčné pásmo. Odtrhy snehu s dráhou menšou ako 50 m nazývame snehové zosuvy alebo splazy (de Quervain 1966). K odtrhu a pádu lavíny dôjde vtedy, ak je napätie na určitom mieste väčšie ako pevnosť snehovej pokrývky, a keď sa prekoná odpor trenia snehovej vrstvy o jej podklad na relatívne strmom svahu. Príčinou uvoľnenia lavíny môže byť zvýšenie napätia (prípadnutím nového snehu, vplyvom človeka atď.), alebo zníženie pevnosti snehovej pokrývky (metamorfózou snehu). Podľa rozmerov ich rozdeľujeme na *malé*, *stredné* a *veľké* (tab. 1). Snehová lavína sa začína vo chvíli roztrhnutia snehovej pokrývky. V tomto momente dochádza k porušeniu rovnováhy napätí a následnému rúteniu snehu po svahu veľkou rýchlosťou (závisí od typu lavíny) v smere spádnic. Deštruktívny účinok spôsobuje poškodenie vegetácie, objektov, komunikácií atď. Pôsobením základových lavín dochádza k erózii pôdy a podložia, preto majú významné zastúpenie medzi morfofenetickými procesmi v oblasti nad hornou hranicou lesa (Midriak 1979).

**Tabuľka 1** Klasifikácia lavín a splazov

Pojem		Klasifikácia dosahu	Klasifikácia škodlivých účinkov	Klasifikácia rozmerov
Veľkosť 1	Splaz	Nános snehu bez nebezp. zasypania (nebezp. pádu)	Relatívne neškodná pre ľudí	dĺžka < 50 m objem < 100 m <sup>3</sup>
Veľkosť 2	Lavína malá	K zastaveniu prichádza v oblasti strmého svahu	Môže osobu zasypať, poraniť alebo usmrtiť	dĺžka < 100 m objem < 1000 m <sup>3</sup>
Veľkosť 3	Lavína stredná	Dosiahne úpätie strmých svahov	Môže zasypať a zničiť osobné auto, malé budovy a stromy	dĺžka < 1000 m objem < 10000 m <sup>3</sup>
Veľkosť 4	Lavína veľká	Prekonáva rovné časti terénu na úseku viac ako 50 m. Môže dosiahnuť dno doliny.	Môže zasypať a zničiť veľké autá, koľajové vozidlá a veľké budovy	dĺžka > 1000 m objem > 10000 m <sup>3</sup>

Následkom rozdielnej kvality snehu, rozdielnej výšky snehovej pokrývky, lokálnych zmien sklonu svahu, ako aj nejednotných trecích odporov neprebíha sadanie, plazenie a kĺzanie snehovej pokrývky v jednotlivých vrstvách snehu rovnako rýchlo. Ako následok uvedených nejednotností vznikajú v snehovej pokrývke rôzne druhy napätia (obr. 8).

Tlaková zóna vzniká aj pred prekážkami pohybu snehovej pokrývky, strihová zóna okolo bokov prekážky. Strihová zóna vzniká v podstate miestnou zmenou paralelne smerujúcich pohybov (Peťo 1997).



Obrázok 8 Druhy napätia v snehovej pokrývke

#### 4. MORFOLOGICKÁ KLASIFIKÁCIA LAVÍN

Pokusy o rozdelenie, resp. klasifikáciu snehových lavín majú už 270-ročnú tradíciu (Scheuzer 1706 in Haefeli, de Quervain 1955). Podľa citovaných autorov len pomaly prenikali poznatky o podstate lavín k ich koreňu – odtrhovej oblasti. Preto sa staršie klasifikácie opierajú iba o znaky, ktoré sa dajú určiť z pozorovania transportnej a akumuláčnej časti lavín, zatiaľ čo pri novších klasifikáciách, predovšetkým z hľadiska rozlišovania doskových lavín a lavín z voľného snehu, sú smerodajné základné znaky, ktoré možno zistiť len v odtrhovej oblasti (Midriak 1979). Znaky, ktoré sa sledujú pri opise lavíny sú znázornené v tab. 2. Pri výskume sa pozoruje *odtrhové, transportné* a *akumuláčné pásmo* lavín. Hlavné znaky **morfolologickej klasifikácie**:

- ♦ podľa tvaru odtrhu rozoznávame *doskové lavíny* a *lavíny z voľného snehu*
- ♦ podľa polohy sklznej plochy rozoznávame *povrchové* a *základové lavíny*
- ♦ podľa vlhkosti snehu rozoznávame *suché* a *mokrú lavínu*
- ♦ podľa tvaru dráhy rozoznávame *plošné* a *žľabové lavíny*
- ♦ podľa pohybu rozoznávame *prachové* a *tečúce lavíny*

Pri **doskových lavínach** sa ako prvá vytvára primárna trhlinka, ktorá je viac-menej paralelná s vrstevnicami a rýchlo sa šíri do strán v ťahovej zóne napätia. Potom sa na bokoch snehovej dosky vytvárajú dve sekundárne trhliny (paralelné so spádnou svahu) a ak je prekonaný odpor trenia snehovej dosky, dochádza k pádu lavíny. Často môžeme pozorovať prítomnosť primárnych trhlin bez pádu lavíny (Milan, Šramka 1988). Predpokladom vzniku doskových lavín je určitá pevnosť snehu, ktorá umožní veľkoplošné prenosy napätia každého druhu. Spomedzi mnohých faktorov ovplyvňujúcich ich vznik pripisujú Tušinskij, Guskova a Gubereva (1953) in Midriak (1979) veľký význam najmä vetru. Podľa stupňa pevnosti snehu rozoznávame dva druhy doskových lavín. *Mäkké*



*doskové lavíny*, kde je pevnosť snehu malá. Zväčša sú tvorené mierne spevneným novým snehom. V nánose sú väčšinou malé kvádre a prachové častice, ktoré sa rozbili počas transportu. *Tvrde doskové lavíny*, pri ktorých je tvrdosť snehu väčšia. Vznikajú z vetrom ubitého snehu a v nánose sú väčšinou veľké kvádre, ktoré vydržali aj dlhší transport. Charakteristickým znakom pre doskové lavíny je *ostro ohraničený čiarový odtrh*. Sklzná plocha je často tvorená ľadovou vrstvou, kôrou zmraznutého firmu a je na styku s vrstvou dutinovej, prípadne povrchovej inovati. Doskové lavíny dosahujú rýchlosť 20 – 40 m.s<sup>-1</sup> a nárazový tlak 5 – 20 t.m<sup>-2</sup> (Peťo 1997).

**Tabuľka 2** Morfológická klasifikácia lavín

Zóna	Kritérium	Alternatívne znaky a názov	
Pásmo odtrhu	<b>Tvar odtrhu</b>	a) odtrh v bode <b>lavína z voľného snehu</b> a) vnútri snehovej pokrývky	b) odtrh v čiare <b>dosková lavína</b> b1) mäkká      b2) tvrdá b) na podloží
	<b>Poloha sklznej plochy</b>	<b>povrchová lavína</b> a1) zlom v novom snehu a2) zlom v starom snehu	<b>základová lavína</b>
	<b>Voľná voda v snehu</b>	a) chýba <b>lavína zo suchého snehu</b>	b) prítomná <b>lavína z mokrého snehu</b>
Transportné pásmo	<b>Tvar dráhy</b>	a) dráha na plochom svahu plošná lavína	b) dráha v žľabe žľabová lavína
	<b>Forma pohybu</b>	a) snehové mračno <b>prachová lavína</b>	b) tečúci sneh <b>tečúca lavína</b>
Akumulačné pásmo	<b>Drsnosť povrchu nánosu</b>	a) hrubá <b>hrubozrnný lavínový nános</b> a1) ostrohranné bloky a2) zaoblené hrudy	b) jemná <b>jemnozrnný lavínový nános</b>
	<b>Voľná voda v nánose v čase uloženia</b>	a) chýba <b>suchý lavínový nános</b>	b) prítomná <b>mokrý lavínový nános</b>
	<b>Znečistenie uloženého snehu</b>	a) nevyskytuje sa <b>čistá lavína</b>	b) vyskytuje sa <b>znečistená lavína</b> b1) hornina, sutiny, pôda b2) konáre, stromy

**Lavíny z voľného snehu** predpokladajú sneh slabej súdržnosti, ktorý nemá dostatočne dobré väzby medzi jednotlivými kryštálmi. Vznikajú dva základné druhy lavín. Prvý predstavujú lavíny z *nového snehu* (suchého alebo vlhkého sypkého snehu), druhý lavíny zo *starého snehu*, prevažne mokrého a sypkého (de Quervain 1969 in Midriak 1979).

Pre tieto lavíny je typický *bodový odtrh*. Vyskytujú sa na strmých svahoch so sklonom 40 – 50°, podľa Midriaka (1979) už pri sklone 35°. Snehová pokrývka sa v dôsledku vlastnej váhy alebo padajúceho objektu (skala, ľad) uvoľní a berie so sebou do strán aj do hĺbky stále viac voľného snehu – vzniká reťazová reakcia. Lavínové dráhy majú hrubkový tvar. V dôsledku trenia je rýchlosť lavín všeobecne malá a dosahuje 5 – 15 m.s<sup>-1</sup> (Peťo 1997). Nebezpečné môžu byť aj tým, že dopadom na snehové kužele pod stenami môžu vyvolať sekundárne vznik podstatne väčších, najmä doskových lavín.

**Prachové lavíny** sú veľmi známe najmä svojim efektným priebehom. Ak suchá lavína prekročí rýchlosť približne 10 m.s<sup>-1</sup>, rozvíri sa vo vzduchu časť prachového snehu, z ktorého sa vytvorí snehový mrak sprevádzajúci lavínu (McClung a Schaerer 1993). Čím je pohyb lavíny rýchlejší, podiel prachového snehu vo vzduchu je väčší.

Čisté prachové lavíny sa vyskytujú len na veľmi strmých svahoch, dosahujú rýchlosť 20 – 70 m.s<sup>-1</sup> a nárazový tlak 5 – 10 t.m<sup>-2</sup> (Peťo 1997). Sú sprevádzané tlakovou vlnou, ktorá môže mať ničivé účinky aj vysoko v protisvahu. Podľa *Bioklimatologického slovníka...* (1980) ju označujeme ako *lavínový vietor*, ktorý predstavuje nápor vzduchu (tlaková vzduchová vlna) spôsobený padajúcou lavínou.

Odrh **základovej lavíny** siaha až po pôdu. Jedná sa teda o uvoľnenie celej snehovej pokrývky. Lavíny sú charakteristické čiarovým odtrhom, pričom sa predpokladá premočenie snehovej pokrývky v celom profile a nízka priľnavosť k pôde (podmočené trávnaté svahy, hladké skalné platne atď.). Nánosy základových lavín sú často znečistené prísadami skál, pôdy a vytrhnutých trsov trávy. Rýchlosť ich pohybu je 5 – 30 m.s<sup>-1</sup> a veľkosť nárazového tlaku 5 – 60 t.m<sup>-2</sup> (Peťo 1997). Základové lavíny často vznikajú vo forme doskových lavín.

## 5. GENETICKÁ KLASIFIKÁCIA PODMIENOK VZNIKU LAVÍN

Pri výskume lavín je potrebná analýza podmienok vzniku lavín. Tú sa snaží zachytiť genetická klasifikácia podmienok vzniku lavín, ktorá je tiež označovaná ako klasifikácia podmienok a faktorov vzniku lavín. Načrtnutá je pôvodná klasifikácia vypracovaná Pracovnou skupinou pre klasifikáciu lavín Medzinárodnej komisie pre výskum snehu a ľadu, ktorá bola publikovaná v časopise *Hydrological Sciences Journal* (de Quervain et al 1973). Hodnotí územne viazané – *fixné podmienky* (reliéf a vegetácia) a *geneticky premenlivé podmienky* – recentné počasie, snehová pokrývka a človek. Tieto faktory vzájomne na seba vplyvajú a pôsobia ako predpoklad vzniku a intenzity lavínovej aktivity (obr. 9).

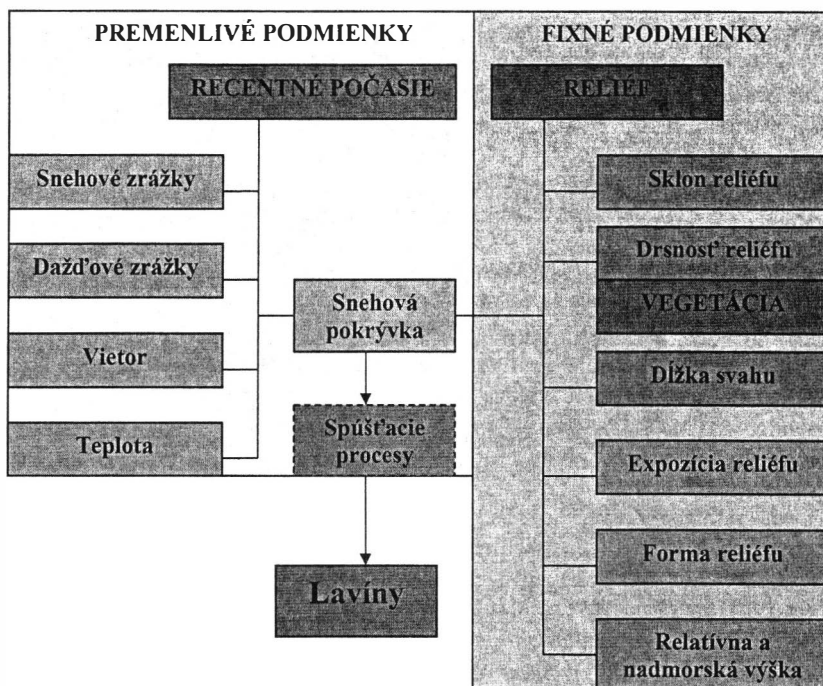
Charakteristika fixných podmienok vychádza z relatívne stabilných prvkov krajiny. Zahnuté sú pod názvom terénne podmienky a predstavujú charakteristiky: relatívna výška, sklon, orientácia reliéfu, konfigurácia terénu a drsnosť.

**Relatívna výška** prihliada na celkovú topografickú situáciu. Jej vplyv závisí od zemepisnej šírky a úrovne okolitých orografických celkov (Midriak 1979).

V rámci tohto znaku klasifikácia rozlišuje *zónu horských hrebeňov a vysoko-horských plošín*, kde je silný vplyv vetra, ktorý vytvára snehové preveje a lokálne snehové dosky. Ďalej je vyčlenená *zóna nad hornou hranicou lesa a pod horskými hrebeňmi*, charakterizovaná rozsiahlymi plochami vytvárania lavín. A napokon *zóna pod hornou hranicou lesa*, kde je typický oslabený vplyv vetra a ojedinelý výskyt lavín.

Druhým zo znakov terénnych podmienok je **sklon reliéfu**. Zaradený je do štyroch kategórií. Nad 35° prevláda tvorba lavín z voľného snehu, nad 25° tvorba prevažne doskových lavín. Pri sklone nad 15° dochádza k nehybnému, prípadne zrýchlenému toku snehovej pokrývky a sklon menší ako 20° podmieňuje spomalený tok a akumuláciu snehu (vznik tzv. „slush avalanche“ – lavíny z mokrého snehu pri veľmi nízkych sklonoch).

Definíciu svahov podľa sklonov navrhla aj Pracovná skupina európskych lavínových služieb (tab. 3). Pričom strmý svah je so sklonom väčším ako 30°, bez ohľadu na jeho tvar a vlastnosti a extrémne strmý terén sa vyznačuje sklonom väčším ako 40°. Chýba tu označenie svahov, kde je nepravdepodobný vznik lavín, no vo všeobecnosti sa uvádza sklon 10° (ale sú dokázané lavíny už od sklonu 6°).



Obrázok 9 Faktory pôsobiace na vznik lavín

Veľmi dôležitým faktorom je **orientácia reliéfu**, ktorá má dva aspekty. Prvým je *orientácia voči slnečnému žiareniu*. Oblasť na prevažne zatienennej strane zvyšujú riziko doskových lavín a svahy vystavované intenzívnemu slnečnému žiareniu podmieňujú vznik lavín z mokrého snehu. *Orientácia voči vplyvu vetra* je dôležitá z hľadiska transportu snehu. Na záveternej strane prevláda akumulácia, ktorá vytvára podmienky na vznik najmä doskových lavín. Náveterné strany vice versa, vplyvom vetra je sneh odvievaný. V hrebeňovej časti pohoria sú vytvárané snehové preveje.

Tabuľka 3 Definícia svahov podľa sklonov

Svah	Sklon
Mierne strmý	menej ako 30°
Strmý	30 až 35°
Veľmi strmý	35 až 40°
Extrémne strmý	nad 40°

**Konfiguráciu terénu** môžeme tiež označiť ako formu reliéfu. *Otvorené, ploché svahy* spôsobujú neobmedzený vznik lavín. *Žľaby, muldy, údolia a hrany* vytvárajú predpoklady pre koncentrované, priestormi obmedzené žľabové lavíny. *Terénne zlomy* podmieňujú výskyt prachových lavín.

Posledným významným relatívne stabilným faktorom je **drsnosť povrchu**. Na *hladkom povrchu*, často premočenom podklade, dochádza ku klzaniu snehovej pokrývky a vzniku základových lavín. *Terénne prekážky* čiastočne stabilizujú snehová pokrývku, ale nezabránia v plnej miere vzniku povrchových lavín. Veľmi významným stabilizujúcim prvkom je *vegetácia*. Táto predstavuje samostatný prvok v krajine, ale v genetic-

kej klasifikácii lavín je zaradená medzi terénne podmienky. Trávnatý podklad má znaky hladkého povrchu, kríky (kosodrevina) redukujú vznik lavín, len pri ich zasnežení hrozia povrchové lavíny. Lesy tvoria najlepšiu prevenciu lavín, ale závisí od hustoty zápoja. Pri nedostatočnom zápoji sú pozorované menšie lavíny (prípadne splazy) aj v lesnom poraste.

Geneticky premenlivé podmienky závisia najmä od recentného vývoja počasia, vývoja starej snehovej pokrývky a spúšťacích procesov. Tieto faktory sa veľmi rýchlo menia a vytvárajú predpoklady pre vznik lavín podľa fixných daností územia.

Periódou približne piatich posledných dní predstavuje recentné počasie. Jeho vývoj je najrýchlejšie premenný v čase a spôsobuje dynamické zmeny. Veľmi dôležitý faktor sú **snehové zrážky**, resp. akumulovaný nový sneh s nevyvinutými väzbami so starou snehovou pokrývkou. Sledujeme *typ nového snehu*, kde prachový sneh podmieňuje vznik lavín z voľného snehu a kohézny sneh vznik doskových lavín. Zvyšovanie nestability snehovej pokrývky pri sklone svahu väčšom ako približne 25° ovplyvňuje *výška denného prírastku nového snehu*. Zvyšovanie nebezpečenstva pri nižších sklonoch spôsobuje *intenzita snehových zrážok*.

Tvorbu lavín z voľného mokrého snehu a mäkkých doskových lavín môžu ovplyvňovať **dažd'ové zrážky**, ktoré sú prítomné najmä v jarnom období. Dážď spôsobuje premočenie snehovej pokrývky, ktorá stráca vzájomnú vnútornú kohéziu.

Zmenu lokálneho rozloženia snehovej pokrývky ovplyvňuje vo významnej miere **vietor**. V záveterných expozíciách je zvýšený výskyt doskových lavín a tvorba prevejov na hrebeňoch pohorí. Preto je dôležitý parameter *smeru*. Hrozba výskytu doskových lavín sa zvyšuje s *rýchlosťou a trvaním vetra*.

Pri **teplotných podmienkach** autori genetickej klasifikácie zlúčili vplyv *teploty vzduchu, slnečného žiarenia a teplotného vyžarovania aktívneho povrchu*. Signifikantné faktory sú najmä teplota a voda obsiahnutá v snehovej pokrývke. Vplyv slnečného žiarenia je najmarkantnejší na J, JV a JZ expozíciách, kde je veľkú časť dňa snehová pokrývka vystavovaná vyšším teplotám. Pre chladné a tienisté svahy je príznačné teplotné vyžarovanie povrchu, najmä pri bezoblačnom type počasia. Podporovaná teplotou povrchu reliéfu vzniká dutinová inovat'.

Ďalšia premenlivá podmienka je snehová pokrývka a jej dlhodobý vývoj (stará snehová pokrývka). Sú tu uložené prejavy počasia. Neustále sa vyvíja a je možné z nej vyčítať priebeh počasia za celú zimu. **Celková výška snehovej pokrývky** nie je dominantným faktorom. Významná je najmä jej kompaktnosť a metamorfóza snehových zrn, ktorá sa prejavuje pri **stratifikácii snehovej pokrývky**. Tá je už z pohľadu vzniku lavín významnejšia. Sledujú sa oslabené vrstvy, nedostatočne navzájom zviazané. *Povrchová vrstva* je dôležitá z hľadiska tvorby povrchovej inovati, ktorá pri neskoršom zasnežení pôsobí destabilizujúco pre svoje nadložie. *Vnútro snehovej pokrývky* môže ukrývať oslabené vrstvy s prítomnosťou dutinovej inovati.

Na uvoľnenie lavín vplývajú spúšťacie podmienky, medzi ktoré sa zaraďujú **prírodné a človekom** podmienené. Prírodné môžu mať podnet z vnútra pokrývky (*interné*), vtedy hovoríme o spontánnych lavínach. Pri vonkajšom podnete (*externé*) ich označujeme ako prirodzene spustené lavíny (nepodmienené človekom). Pri ľudskej činnosti môže byť vyvolaný pád lavíny *úmyselne* (umelé lavíny) a *náhodne* (náhodné lavíny).

Na obrázku 9 je jednoduchý model faktorov pôsobiacich na vznik lavín. Jednotlivé faktory môžeme označiť aj na základe genetickej klasifikácie vzniku lavín, ako kombinácia fixných a geneticky premenlivých podmienok. Z fixných podmienok sú sklon, drsnosť reliéfu a dĺžka svahu nevyhnutné podmienky vzniku lavín, preto sú vyznačené iným farebným odtieňom. Ostatné zvyšujú riziko lavínového nebezpečenstva a ovplyvňujú frekvenciu lavín (Barka, Rybár 2003). Pri geneticky premenlivých podmienkach

snehové zrážky vytvárajú snehovú pokrývku a ostatné faktory ovplyvňujú jej výšku a rozloženie. Prítomnosť spúšťacích procesov spôsobuje vznik lavín.

## 6. MEDZINÁRODNÁ STUPNICA LAVÍNOVÉHO NEBEZPEČENSTVA

Do roku 1993 existovali v Európe rôzne stupnice lavínového nebezpečenstva. Vo Francúzsku a Taliansku 8 stupňová, Švajčiarsku 7, Rakúsku a Nemecku 6, na Slovensku a v Poľsku boli 4 dielne stupnice (Peťo 1997). Na zasadnutí IKARu – *Die Internationale Kommission für alpines Rettungswesen* (Medzinárodná organizácia horskej záchrany) – v roku 1993 v Kranjskej Gore (Slovinsko) schválila lavínová komisia novú jednotnú päťdielnu **Medzinárodnú stupnicu lavínového nebezpečenstva** (tabuľka 4). Táto stupnica slúži na informovanie verejnosti o možnom lavínovom nebezpečenstve. Je to kvantifikovanie fixných i geneticky premenlivých podmienok do jednotnej škály. V praxi sú stupne určované empirickým pozorovaním. Preto je tu vysoký stupeň subjektivity a aplikovateľnosti len na určitom obmedzenom území. Zovšeobecnenie pre celé pohorie býva veľmi problematické, preto je často prítomná i opisná charakteristika aktuálnej situácie. Jednotná stupnica je veľkým prínosom pri predpovedaní lavínového nebezpečenstva.

Tabuľka 4 Medzinárodná stupnica lavínového nebezpečenstva

<p><b>1 – malé nebezpečenstvo:</b> Snehová pokrývka je všeobecne dobre spevnená a stabilná. Nepredpokladá sa výskyt lavín, s výnimkou malých snehových zosuvov. Všeobecne bezpečné podmienky na túry. Žiadne ohrozenie údolných ciest a objektov lavínami.</p>
<p><b>2 – mierne nebezpečenstvo:</b> Snehová pokrývka je na ojedinelých extrémnych<sup>1</sup> a strmých<sup>2</sup> svahoch len mierne spevnená, inak je všeobecne dobre spevnená. Na extrémnych a strmých svahoch je možný ojedinelý výskyt lavín pri mechanickom zaťažení<sup>3</sup>. Väčšie samovoľne vzniknuté lavíny sa neočakávajú. Pri zohľadnení extrémnych a strmých svahoch sú priaznivé podmienky na túry. Žiadne ohrozenie údolných ciest a objektov lavínami.</p>
<p><b>3 – zvýšené nebezpečenstvo:</b> Snehová pokrývka je na mnohých extrémnych alebo strmých svahoch len mierne alebo slabo spevnená. Uvoľnenie lavíny je pravdepodobné už pri malom mechanickom zaťažení na extrémnych alebo strmých svahoch. Príležitostne je možný aj samovoľný vznik malých alebo stredných lavín. Túry vyžadujú veľkú opatrnosť a znalosť posúdenia miestnej lavínovej situácie. Treba obmedziť pohyb v extrémnych a strmých svahoch. Možný ojedinelý zásah údolných ciest a objektov lavínami.</p>
<p><b>4 – veľké nebezpečenstvo:</b> Snehová pokrývka je na väčšine<sup>4</sup> lavínových svahoch slabo spevnená. Veľká pravdepodobnosť uvoľnenia lavín už pri najmenšom mechanickom zaťažení. Predpokladá sa zvýšený výskyt samovoľných stredných a veľkých lavín. Možnosti túr sú veľmi obmedzené. Pohyb je možný len po zabezpečených a vyznačených lyžiarskych trasách. Možnosť zásahu údolných ciest veľkými lavínami na tradičných lavínových svahoch, ojedinelé ohrozenie objektov.</p>
<p><b>5 – veľmi veľké nebezpečenstvo:</b> Snehová pokrývka je všeobecne slabo spevnená a rozsiahlo nestabilná. Možný samovoľný vznik veľkých lavín aj na menej strmých a netradičných<sup>5</sup> lavínových svahoch. Prevádzanie túr vo vysokohorskom teréne je všeobecne nemožné. Veľká pravdepodobnosť zásahu údolných ciest veľkými lavínami aj na netradičných svahoch, zvýšená možnosť ohrozenia objektov a horských osád.</p>
<p><sup>1</sup> extrémny svah – svah, ktorý má vhodnú lavínovú konfiguráciu ( žľab, kotle, muldy ) a hladké podložie (skalné platne, tráva), sklon nad 40°</p>
<p><sup>2</sup> strmý svah – sklon svahu je viac ako 30°</p>
<p><sup>3</sup> mechanické zaťaženie lyžiarmi, turistami, zverou, odstreľom a podobne</p>
<p><sup>4</sup> aj na svahoch so sklonom menším ako je 30°</p>
<p><sup>5</sup> netradičné lavínové svahy – svahy, kde ešte nebol zaznamenaný výskyt lavín</p>

## 7. ZÁVER

Všetky faktory, ktoré sa zúčastňujú na lavínovej aktivite pôsobia na vývoj a stav snehovej pokrývky. Snehová pokrývka vzniká spolupôsobením klimatických, topografických faktorov a vegetácie. Môžeme povedať, že je ovplyvňovaná vonkajšími činiteľmi a reaguje na zmeny. Dochádza k výmene energie a látok medzi okolitým prostredím a snehovou pokrývkou. V snehovej pokrývke sa vplyvom teploty a tlaku nadložných vrstiev vytvárajú rozličné formy snehu. Tieto prechádzajú tromi základnými metamorfózami – deštruktívna metamorfóza, konštruktívna metamorfóza a firmovatenie.

Snehová pokrývka uložená na povrchu vykonáva rôzne formy pohybu. Tieto pohyby sú závislé na type povrchu (drsnoti) a sklone. Pozorujeme nasledujúce formy:

- ♦ *sadanie snehu,*
- ♦ *plazenie snehu,*
- ♦ *kĺzanie,*
- ♦ *zosyp,*
- ♦ *splaz,*
- ♦ *lavína.*

Klasifikácia lavín má už dlhoročnú tradíciu. Postupne sa prechádzalo od výskumu akumuláčnej a transportnej oblasti k výskumu odtrhovej zóny. Na základe morfolologickej klasifikácie rozlišujeme podľa tvaru odtrhu *doskové lavíny* a *lavíny z voľného snehu*, podľa polohy sklnej plochy *povrchové* a *základové lavíny*, podľa vlhkosti snehu *suché* a *mokrú lavínu*, podľa tvaru dráhy *plošné* a *žľabové lavíny* a podľa pohybu rozoznávame *prachové* a *tečúce lavíny*.

Pri výskume lavín je potrebná analýza podmienok vzniku lavín. Tú sa snaží zachytiť genetická klasifikácia podmienok vzniku lavín, ktorá je tiež označovaná ako klasifikácia podmienok a faktorov vzniku lavín. Medzinárodná stupnica lavínového nebezpečenstva slúži na informovanie verejnosti o možnom lavínovom nebezpečenstve. Je to kvantifikovanie fixných i geneticky premenlivých podmienok do jednotnej škály.

## Literatúra

- BARKA, I., RYBÁR, R. 2003. Identification of snow avalanche trigger areas using GIS. In: *Ekológia*, Vol. 22, 2003, Supplement 2/2003, s. 182-194.
- Bioklimatologický slovník terminologický a explikativní*. Praha : Academia, 1980.
- DE QUERVAIN, M. R. 1966. On avalanche classification a futher contribution. In: *International Symposium on Scientific Aspects of Snow and Ice Avalanches : Reports and Discussions (Davos, Switzerland, 5-10 April 1965)*. Publication No 69 de l'AIHS. Gentbrugge : Internat. Union of Geodesy and Geophysics; Internat. Assoc. of Scientific Hydrology, 1966. s. 410-417.
- DE QUERVAIN, M. R.; DE CRECY, L.; La CHAPELLE, E.R.; LOSEV, K.; SHODA, M. 1973. Avalanche classification. In: *Hydrological Sciences : Bulletin*, XVIII, 1973, 4, s. 391-402.
- HAEFELI, R.; DE QUERVAIN, M. R. 1955. Gedanken und Anregungen zur Benennung und Einteilung von Lawinen. In: *Die Alpen*, 31, 1955, vol. 1, s. 72-77.
- HRVOL, J.; TOMLAIN, J. 1997. *Žiarenie v atmosfére*. Bratislava : Univerzita Komenského, 1997.
- LAPIN, M.; TOMNLAIN, J. 2001. *Všeobecná a regionálna klimatológia*. Bratislava : Univerzita Komenského, 2001 – Skriptá Fak. mat., fyziky a informatiky UK.
- LOGAN, N. 2004. Snow metamorphism: The force behind our ever-changing snowpack. In: *Rocktalk*. Volume 7, 2004, No. 3.

- McCLUNG, D.; SCHAEERER, P. 1993. *The Avalanche Handbook*. Seattle : The Mountaineers, 1993.
- MIDRIAK, R. 1979. Protilavínová ochrana lesa. In: *Lesnícke štúdie č. 27*. Zvolen : Príroda, 1979.
- MILAN, L. 2006. *Lavíny v horstvách Slovenska*. Bratislava : Veda, 2006.
- MILAN, L., ŠRAMKA, Š. 1988. *Nebezpečenstvo lavín*. Bratislava : Šport, 1988.
- MINÁR, J., BARKA, I., BONK, R., BIZUBOVÁ, M., ČERNÁNSKÝ, J., FALŤAN, V., GAŠPÁREK, J., KOLÉNY, M., KOŽUCH, M., KUSENDOVÁ, D., MACHOVÁ, Z., MIČIAN, L., MIČIETOVÁ, E., MICHALKA, R., NOVOTNÝ, J., RUŽEK, I., ŠVEC, P., TREMBOŠ, P., TRIZNA, M., ZAŤKO, M. 2001. Geoekologický (komplexný fyzickogeografický) výskum a mapovanie vo veľkých mierkach. In: *Geografické spektrum 3*. Bratislava : Geo-grafika, 2001.
- PEŤO, J. 1997. *Náuka o snehu a lavínach*. Jasná : Stredisko lavínovej prevencie, 1997 – Interné materiály.
- VYSOUDIL, M. 1998. Enhanced Topoclimatic Mapping Using Satellite Images: Possibilities and Suitability. AUPO, Fac. rer. nat., Geographica XXXV, Collected Reports of the Natural Science Faculty of Palacký University Olomouc, Czech Republic. Vydavatelství UP, Olomouc, s. 51-55. ISBN 80-7067-839-9. ISSN 0231-9365.

## Intruduction to avalanche problems

### Summary

All factors that participate in avalanche activity affect on evolution and condition of snow cover. Snow cover is created by synergism of climatic, topographic factors and vegetation. It' s affected with outside factors and it reacts on changes. There is a change of energy and substance among external environment and snow cover. Various shapes of snow are formed under the impression of temperature and pressure in snow cover. These shapes of snow pass through three basic metamorphoses – equilibrium metamorphism, kinetic metamorphism and melt-freeze metamorphism.

Snow cover on the surface creates different forms of movement. Movement depends on type of surface roughness and slope gradient. We distinguish various movements like settlement, gliding snow, full-depth wet snow slide, drifting snow, sluff and avalanche.

Classification of avalanche is well known for long time. In successive steps we got along research of runout zone and track zone to research starting zone.

We distinguish avalanches on the basis of morphological classification. In relation to design of separation we differentiate *slab avalanche* and *loose snow avalanche*, in accordance to position of the slip plane are known *surface-layer slab avalanche* and *full-depth slab avalanche*, in terms of the moisture of snow *dry* and *wet snow avalanche*, under form of the track *surface avalanche* and *gully avalanche* a under movement we know *powder avalanche* and *glide avalanches*. Analyze of conditions during avalanche creation is necessary in research of avalanches. It is represented by Genetic Classification of Avalanches that is also referring to grading of conditions and factors that are part of avalanches' creation. International Scale of Avalanche Risk informs publicity about possible avalanche threat. It's quantification of fixed and genetically variable terms into unified scale.