

UNIVERTZITA KARLOVA V PRAZE
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geografie
Studijní obor: Geografie a kartografie



David Krause

MORFOLOGIE LAVINOVÝCH DRAH
The Morphology of Avalache Paths

Bakalářská práce

Vedoucí závěrečné práce: RNDr. Marek Křížek, Ph.D.

Praha, 2013

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně, a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 20. 5. 2013

Podpis

Poděkování patří vedoucímu práce RNDr. Marku Křížkovi, Ph.D. za pomoc, cenné rady a připomínky při zpracování předkládané práce.

ABSTRAKT

Lavinová dráha je tvar reliéfu, který je modelován erozní činností základových lavin, mur a jiných svahových procesů. Skládá se z odtrhové, tranzitní a akumulární části. Předkládaná bakalářská práce se zabývá charakteristikami lavinových drah, které jsou používány v literatuře a vytváří jejich klasifikaci. Morfologická GIS analýza lavinových drah je provedena v oblasti východních Vysokých Sudet. Naměřené hodnoty 16 lavinových drah z 6 lokalit jsou statisticky zpracovány a porovnány. Ve srovnání s pohořími alpského typu jsou sudetské dráhy kratší, ale sklonové poměry jsou podobné. Výskyt lavinových drah je vázán na závětrné oblasti anemo-orografických systémů. Orientace drah je převážně jihovýchodní, jejich sklon se pohybuje mezi 20 a 30° a jejich délka nejčastěji mezi 200 a 400 m. Délka drah nepřímo závisí na sklonu odtrhové zóny. Morfologie lavinových drah má vazbu na plochu přilehlého bezlesí na hřebenových zarovnaných površích, odkud je eolicky transportován sníh do jejich odtrhových zón.

Klíčová slova: lavina, morfometrie, východní Vysoké Sudety, Hrubý Jeseník, Králický Sněžník

ABSTRACT

An avalanche path is a landform, that is being modeled by surface snow avalanches, debris flows and other slope processes. It consists of starting zone, track and runout zone. The submitted bachelor thesis is concerned with the characteristics of avalanche paths used in literature and generates their classification. The morphometric GIS analysis is performed in the Eastern High Sudetes. The measured values of 16 avalanche paths from 6 sites are statistically processed and compared. The Sudetic paths are shorter but they have similar slope in comparison with paths in alpine environment. The spatial distribution of avalanche paths is bound to lee parts of the anemo-orographic systems. The aspect is predominantly southeastern, the slope is between 20 and 30° and the length is usually between 200 and 400 m. The path length depends inversely on the slope of the starting zone. There is also a relation between the avalanche path morphology and the area of alpine tundra on the etchplain above the timberline, from where the snow is being blowed to the starting zones.

Key words: snow avalanche, morphometry, Eastern High Sudetes, Altvatergebirge, Glatzer Schneeberg

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	6
SEZNAM TABULEK	7
1. ÚVOD	8
2. LAVINY JAKO GEOMORFOLOGICKÝ ČINITEL	9
2.1. Erozní činnost lavin.....	10
3. MORFOLOGIE LAVINOVÝCH DRAH	11
3.1. Lavinová dráha jako tvar reliéfu.....	11
3.1.1. Erozní část.....	12
3.1.2. Akumulační část.....	12
4. MORFOLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY LAVINOVÝCH DRAH	14
5. MORFOLOGIE LAVINOVÝCH DRAH VÝCHODNÍCH VYSOKÝCH SUDET	18
5.1. Lavinové dráhy v Česku.....	18
5.2. Lavinové dráhy ve východních Vysokých Sudetech.....	19
5.3. Fyzickogeografická charakteristika studovaných lokalit.....	21
5.3.1. Geologické poměry.....	22
5.3.2. Geomorfologické poměry.....	24
5.3.3. Klimatické poměry.....	26
5.3.4. Hydrologické poměry.....	29
5.3.5. Půdy.....	29
5.3.6. Vegetace.....	30
5.4. Metodika.....	32
5.4.1. Tvorba digitálního modelu reliéfu.....	33
5.4.2. Vymezení hranic lavinových drah.....	33
5.4.3. Určení morfologických charakteristik lavinových drah.....	33
5.5. Výsledky.....	35
5.5.1. Poloha lavinových drah východních Vysokých Sudet.....	35
5.5.2. Morfologie lavinových drah východních Vysokých Sudet.....	40
6. DISKUZE	47
6.1. Lavinové dráhy velehor a středohor.....	47
6.2. Poznámky k metodice analýzy ve východních Vysokých Sudetech.....	48
6.3. Srovnání lavinových drah východních a západních Vysokých Sudet.....	49
6.4. Lavinové oblasti východních Vysokých Sudet a jejich porovnání.....	50
6.5. Faktory polohy a morfologie lavinových drah východních Vysokých Sudet.....	52
6.6. Fluviální a svahové procesy v lavinových drahách východních Vysokých Sudet.....	53
7. ZÁVĚR	54
8. POUŽITÉ ZDROJE	56
8.1. Literatura.....	56
8.1. Mapové zdroje.....	61
8.2. Použitý software.....	62

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Názorný podélný profil lavinové dráhy.....	11
Obr. 2: Podélný profil a příčné profily lavinového výplavového jazyku v oblast Verdant Pass, Skalisté hory, Kanada.....	12
Obr. 3: Schematický diagram 3 typů akumulční zóny v oblasti Troms v Norsku.....	13
Obr. 4: Rozložení oblastí s lavinovými drahami popsány v použité literatuře.....	14
Obr. 5: Schéma lavinového katastru Krkonoš.....	18
Obr. 6: Schéma lavinových drah v systému lavinové předpovědi HS Jeseníky.....	19
Obr. 7: Lavinové oblasti a dráhy na JV svazích Vysokoholského hřbetu.....	20
Obr. 8: Lavinové oblasti východních Vysokých Sudet.....	21
Obr. 9: Horniny Vysokoholského hřbetu.....	22
Obr. 10: Horniny Červené hory.....	23
Obr. 11: Horniny Králického Sněžníku.....	23
Obr. 12: Výšková členitost okolí studovaných lokalit.....	25
Obr. 13: Klimadiagram stanice Šerák pro období 2004 – 2012.....	27
Obr. 14: Schéma podélného profilu anemo-orografického systému ve Vysokých Sudetech s vyznačením hlavních částí.....	28
Obr. 15: Mocnost sněhové pokrývky v oblasti Vysokoholského hřbetu v únoru 1984.....	28
Obr. 16: Ukázka půdních typů studovaných oblastí: Vysoká hole, Velká kotlina a okolí.....	29
Obr. 17: Ukázka pracovních dat v oblasti Velké kotliny.....	32
Obr. 18: Potenciální lavinová oblast Wielki Lej.....	35
Obr. 19: Lavinové dráhy Velké kotliny.....	36
Obr. 20: Lavinové dráhy Jeleního žlebu.....	37
Obr. 21: Lavinové dráhy Malé kotliny.....	37
Obr. 22: Lavinová dráha Sviního žlebu.....	38
Obr. 23: Lavinové dráhy Sněžné kotliny.....	38
Obr. 24: Lavinová dráha Králického Sněžníku.....	39
Obr. 25: Porovnání průměrných délek lavinových drah v jednotlivých oblastech východních Vysokých Sudet.....	40
Obr. 26: Orientace odtrhových zón lavinových drah východních Vysokých Sudet.....	42
Obr. 27: Závislost průměrů sklonů na pozici.....	45
Obr. 28: Závislost průměrů šířky v na pozici.....	46
Obr. 29: Závislost průměrů orientace (azimutu) na pozici.....	46

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Vybrané způsoby klasifikace lavin.....	9
Tab. 2: Charakteristiky lavinových drah v použité literatuře.....	15
Tab. 3: Jednoduché klasifikační hodnocení lavinových drah na základě morfologie.....	17
Tab. 4: Lavinové oblasti a počet lavinových drah ve východních Vysokých Sudetech.....	20
Tab. 5: Zařazení lavinových oblastí do systému geomorfologických jednotek.....	25
Tab. 6: Klimatické charakteristiky kategorie CH4.....	26
Tab. 7: Základní polohové charakteristiky lavinových oblastí východních Vysokých Sudet.....	35
Tab. 8: Nadmořské výšky a orientace lavinových drah východních Vysokých Sudet.....	39
Tab. 9: Morfometrické charakteristiky lavinových drah východních Vysokých Sudet.....	41
Tab. 10: Šířka, sklon a orientace v pětínách lavinových drah východních Vysokých Sudet.....	43
Tab. 11: Korelační koeficienty charakteristik lavinových drah východních Vysokých Sudet.....	44
Tab. 12: Korelační koeficienty charakteristik v pětínách lavinových drah východních Vysokých Sudet.....	44
Tab. 13: Korelační koeficienty charakteristik v pětínách jednotlivých drah východních Vysokých Sudet.....	45
Tab. 14: Porovnání hodnot charakteristik lavinových drah popsanych v literatuře.....	47

1. ÚVOD

Lavinové dráhy představují velmi zajímavý objekt studia nejen z hlediska geomorfologie, ale také dalších přírodovědných oborů. Z důvodu lavinových disturbancí se v nich vyskytují specifické rostlinné a živočišné druhy, protáhlý tvar představuje biokoridor, erozní činností lavin může být v drahách urychlen odtok či mohou vznikat nové prameny, jsou v nich přemísťovány a promíchávány půdní horizonty, jejich existence a vlastnosti mohou také podávat informace o vývoji klimatu v minulosti. Morfologie lavinových drah je podmíněna svahovými procesy, které na nich probíhají, a které iniciovaly jejich vznik, přičemž dominantním svahovým procesem jsou základové laviny (obvykle pohyb sněhu a dalšího materiálu delší než 50 m), jejichž hlavní geomorfologická funkce spočívá v odnosu svahovin, vyhlubování žlabu v podloží a ukládání transportovaného materiálu (Summerfield, 1991). V zahraniční literatuře bývá pod pojmem *lavina* (*avalanche*) rozlišováno více procesů podle transportovaného materiálu - *snow avalanches*, *ice avalanches*, *rock avalanches*, *debris avalanches* (Fairbridge, 1968). V češtině se však obvykle užívá termínu *lavina* pouze pro sněžné laviny (*snow avalanches*).

Cílem práce je na základě studia literatury určit použité morfologické charakteristiky u popsaných lavinových drah, vytvořit klasifikaci zmíněných charakteristik a určit faktory ovlivňující výskyt a morfologii lavinových drah. Druhým cílem práce je aplikace morfologických charakteristik na lavinové dráhy v oblasti východních Vysokých Sudet.

Obsah práce je koncipován do dvou částí, přičemž první část se věnuje rešerši literatury v obecném měřítku a druhá část se zabývá morfologickou analýzou lavinových drah ve východních Vysokých Sudetech.

2. LAVINY JAKO GEOMORFOLOGICKÝ ČINITEL

Lavina je katastroficky rychlý svahový proces, při němž dochází k pohybu sněhu na svahu (Demek, 1988). Objem laviny může dosahovat až 6,5 milionu m³ sněhu (Maksimov, 1965 in Luckman, 1977) a tlak laviny se může pohybovat až v řádu stovek tun na metr čtvereční (Kuriowa, 1974 in Luckman, 1977). Výskyt lavin závisí primárně na topografických a vegetačních faktorech, frekvence a intenzita lavinových pohybů závisí zejména na klimatických faktorech. Existují oblasti, kde laviny padají několikrát ročně, v jiných oblastech bývá četnost lavin v řádu desítek let. Oba příklady lze nalézt například v Krkonoších (Spusta a Kociánová, 1998). Důležitými faktory pro vznik lavinových pohybů jsou vhodný sklon svahu (20 - 50°, strmější svahy neumožňují dostatečnou akumulaci sněhu) a dostatek sněhové pokrývky v odkrytém prostoru bez výrazně vzrostlé vegetace (Luckman, 1977). V horských oblastech s dostatkem sněhu laviny představují významný denudační proces (French, 2007). Příbuzným procesem jsou tzv. *slush avalanches* (Rapp, 1960), označované také jako *břečkotoky* (Spusta a Kociánová, 1998), které se skládají ze sněhu nasyceného vodou a samotné vody, a tvoří tak přechodný proces k murám (Sapunov a Sapunova, 1998 in Kociánová et al., 2004).

Podle Luckmana (1977) existují 3 hlavní situace, při nichž dochází ke vzniku lavin, a sice:

- 1) náhlý přísun velkého množství sněhových srážek,
- 2) strukturální nepravidelnosti ve sněhové pokrývce při delším období beze srážek (vedoucí zpravidla k deskovému odtrhu),
- 3) ztráta koheze ve sněhové pokrývce při tání.

Z hlediska morfologie samotných lavin je rozlišováno pásmo odtrhu, pásmo transportu a pásmo akumulace (De Quervain et al, 1981). Klasifikace jednotlivých typů lavin je dále rozvedena v tabulce č. 1. Tushinsky (1965) navíc uvádí klasifikaci samotných lavin podle tvaru dráhy, když vedle plošných lavin popisuje také žlabové laviny několika druhů, a sice s pravidelným žlabem, s nerovnoměrným žlabem a tzv. *skákející laviny*, které mají ve své dráze svahové stupně.

Tab.1: Vybrané způsoby klasifikace lavin (De Quervain et al., 1981), upraveno

podle typu odtrhu volný odtrh deskový odtrh	podle vlhkosti sněhu suchý sníh mokřý sníh
podle pozice skluzného povrchu povrchová lavina základová lavina	podle tvaru dráhy plošná lavina žlabová lavina
podle formy pohybu prachová lavina tekoucí lavina	podle způsobu vzniku přírodní lavina lavina způsobená člověkem

2.1. Erozní činnost lavin

Pro změnu morfologie zemského reliéfu je důležitá pozice skluzného povrchu. Pouze základové laviny mají erozní funkci, protože skluznou plochu představuje zemský povrch a nikoliv sněhová či ledová pokrývka, a tudíž fungují jako klíčový geomorfologický činitel. U velkých prachových lavin se naopak může objevit čelní tlaková vlna o tlaku až 1 MN/m^2 , která poškozuje vegetaci a může zničit les o rozloze několika hektarů, a výrazně tak ovlivnit hranice lavinové dráhy (Vrba a Spusta, 1975).

Základové laviny obecně tvoří minimum všech lavin, například v Krkonoších maximálně 20 % (Vrba a Spusta, 1975). Erozní činnost lavin je tedy podmíněna typem sněhu, při kterém vznikají základové laviny (obvykle jarní vlhký sníh), a podložím. Ideální je podloží tvořené odkrytým povrchem se sutěmi, naopak nízká vegetace může zabraňovat erozi, například tráva může tvořit skluzný povrch (Vrba, 1964). Vzrostlá vegetace může být při velmi silné lavině deformována a naopak umocnit výsledný geomorfologický efekt. Objem svahovin transportovaných lavinovou činností bývá u jednotlivých případů velice rozdílný. Luckman (1976) uvádí ve studovaném území v kanadských Skalisticích horách průměrný nárůst výšky lavinových akumulací zhruba 0 - 0,5 mm za rok v šestileté periodě pozorování, Jäckli (in Luckman, 1977) odhaduje, že ročně může být pomocí lavin přepraveno v povodí horního Rýna až $250\,000 \text{ m}^3$ materiálu.

Důsledky přetvoření reliéfu lavinovou činností se podle Luckmana (1977) dělí na přímé a nepřímé. Přímým důsledkem je tvorba a existence vlastních lavinových drah a specifických forem reliéfu vznikajících v nich erozní či akumulační činností (více v kapitole Morfologie lavinových drah). Mezi nepřímé důsledky patří:

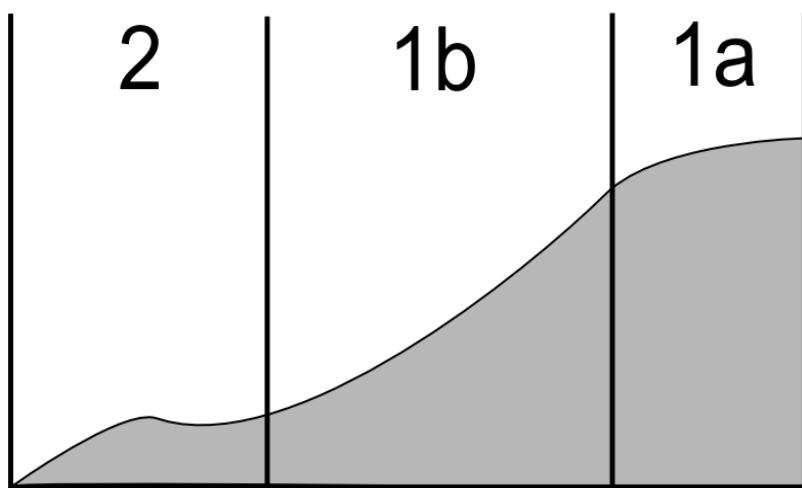
- 1) narušení hydrologické bilance, protože vzniklé lavinové dráhy umožní rychlejší odtok vody z oblasti,
- 2) zamezení pedogeneze v lavinové dráze, protože jsou zde umocněny erozně-denudační procesy,
- 3) vytvoření prostředí (lavinových drah) pro následné geomorfologické procesy, například soliflukci, mury, sesuvy půdy, ale také pro nivační akumulaci.

3. MORFOLOGIE LAVINOVÝCH DRAH

3.1. Lavinová dráha jako tvar reliéfu

Lavinové dráhy mají erozní (odtrhová a tranzitní zóna) a akumulaciční část (akumulační zóna) (obr. 1). Vymezení pojmu lavinových drah v literatuře není zcela jednoznačné. V zahraniční literatuře bývají tvary erozní (*gullies, swaths, tracks, chutes, furrows*) a akumulaciční (*pits, pools, tongues*) řešeny odděleně, přičemž větší důraz je kladen na část akumulaciční (např. Luckman, 1978, Corner, 1980, Matthews et al., 2011). Luckman et al. (1994) definují tzv. *avalanche deposit landforms*, čili tvary reliéfu, do kterých spadají jak erozní, tak i akumulaciční části. Butler (1989) užívá souhrnného názvu *avalanche slope*, který zahrnuje *source area, track a run-out zone*, podobně Bell, Gardener a De Scally (1990) používají výraz *avalanche path*, jenž se skládá ze *starting zone, track a runout*. Podobné termíny se stejným významem se vyskytují běžně i v dalších zdrojích. Stejný význam jako *avalanche slope* či *avalanche path* mají termíny *laviniště, lavinová pole a lavinové dráhy*, které se vyskytují v české literatuře (např. Vrba, 1964, Vrba a Spusta, 1975, Spusta a Kociánová, 1998, Kociánová et al., 2004).

Často v lavinových drahách dochází mimo lavin i k dalším svahovým procesům, nejčastěji vznikům mur. Lavinové dráhy jsou zároveň relativně dynamickým tvarem, protože čelí různě častým svahovým pohybům, které mají velké erozně-denudační účinky, a dochází tak k jejich častým změnám ve vývoji (Summerfield, 1991). Podle Luckmana (1992) je možné jednoduše rozpoznat tvary lavinové geneze od tvarů murové geneze. Činnost lavin dává vzniknout relativně hladkým plochým tvarům, zatímco erozní i akumulaciční tvary mur jsou členitější a nepravidelné.



Obr. 1: Názorný podélný profil lavinové dráhy: 1a - erozní část, odtrhová zóna (*starting zone*), 1b - erozní část, tranzitní zóna (*track*), 2 - akumulaciční část, akumulaciční zóna (*runout*), podle Spusty a Kociánové (1998) a Butlera (1989)

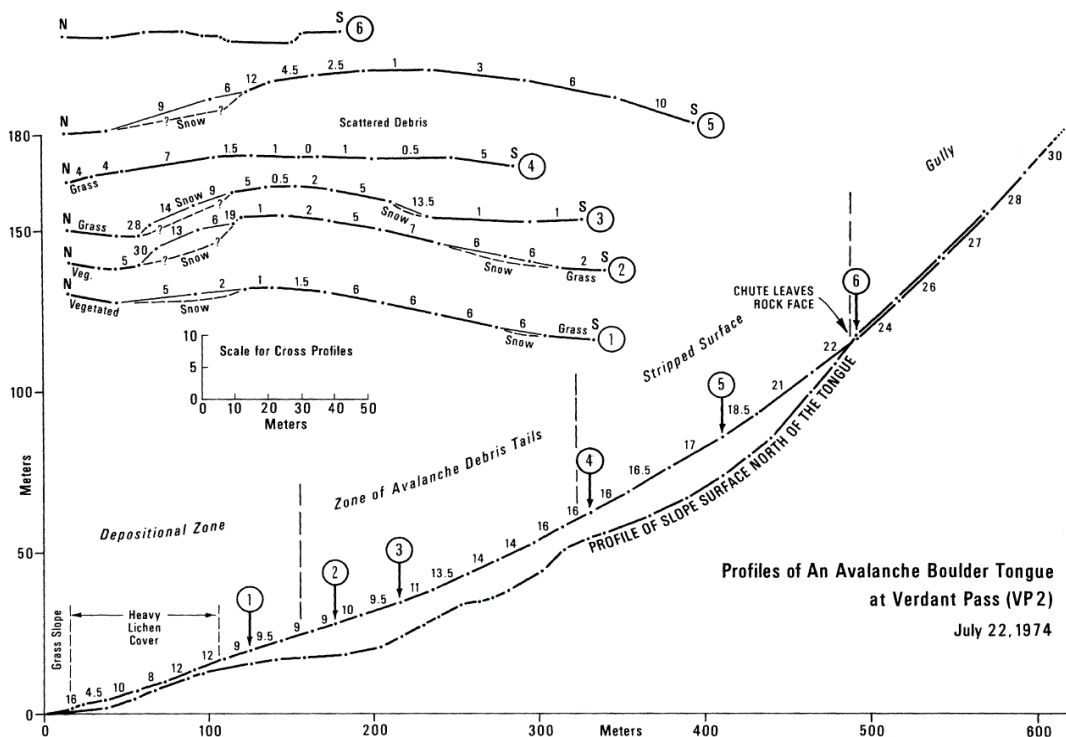
3.1.1. Erozní část

Odrhová zóna se obvykle nachází v závětrí a tvoří prostor vhodný pro akumulaci velkého množství sněhu (Butler, 1989). Často má depresní tvar, ale může představovat i morfologicky nečlenité úpatí svahu, kde sklon přesahuje zpravidla 20°. Schaerer (1972) zmiňuje skalní stěny se sklonem vyšším než 42°.

Dlouhodobá koncentrovaná lavinová eroze v tranzitní zóně se projevuje vznikem hlubokých žlabů (rýh), jejichž příčný profil připomíná tvar písmene U, a které bývají nazývány jako *rasskars* (Ahlmann, 1919 in Luckman, 1977) nebo *avalanche chutes* (Rapp, 1960). Žlaby se běžně vyskytují i v lavinových drahách na odolnějším skalním podkladu, ovšem existují i ploché lavinové dráhy, v nichž nejsou žlaby dostatečně vyvinuty. Podloží může být dána také přítomnost skalních stupňů (Toushinsky, 1965). Minimální sklon v tranzitní zóně je podle Butlera (1989) obvykle 15°, ovšem většinou nabývá hodnot přes 25°.

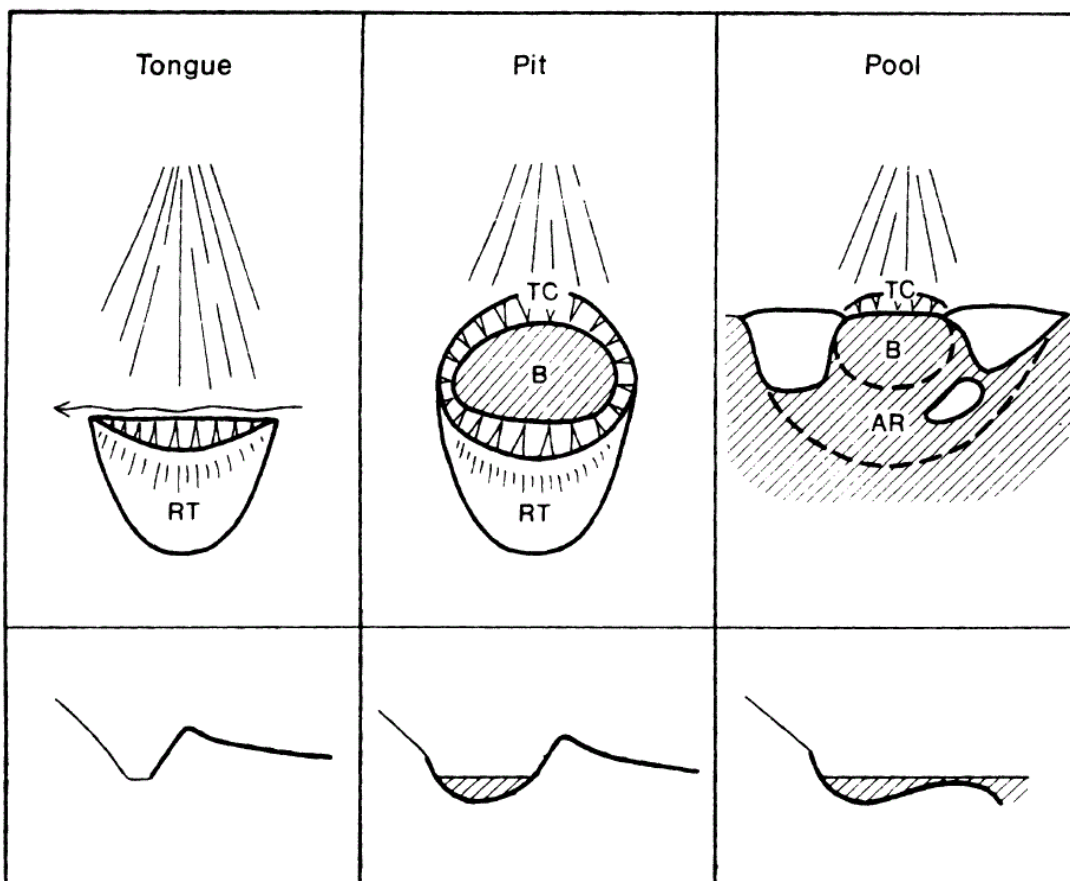
3.1.2. Akumulační část

Rapp (1960) v rozsáhlé studii o svahových procesech ve švédském údolí Kärkevage uvádí výplavové jazyky lavin tvořené sutí, tzv. *avalanche boulder tongues*, u kterých rozlišuje erozní a akumulační část, je tedy patrné, že udávaný tvar přesahuje hranice akumulační zóny směrem do zóny tranzitní (obr. 2). Rozlišuje tzv. *roadbank tongues*, které mají nepravidelný tvar a jejich příčný profil je konvexní, a *fan tongues*, čili relativně ploché a plošně rozsáhlé kužely.



Obr. 2: Podélný profil a příčné profily lavinového výplavového jazyku v oblasti Verdant Pass, Skalisté hory, Kanada (Luckman, 1978)

Corner (1980) popisuje 3 tvary akumulční zóny lavinových drah, a sice jazyky (*tongues*), jámy (*pits*) a tůně (*pools*) (obr. 3). Jazyky jsou ve směru dráhy protáhlé tvary tvořené svahovinami, které jsou obklopeny charakteristickým hřbetem s asymetrickou stavbou. Vyskytují se zejména v údolních uzávěrech, kde není lavinám do cesty kladena překážka v podobě příkrého protisvahu. Jámy se skládají z oválné deprese (často vyplněné vodou) a příčného nánosového hřbetu podobného jako u jazyků. Deprese může dosahovat v průměru až 100 m (Liestøl, 1974 in Corner, 1980). Tůně představují dvě dílčí zaplavené deprese, oddělené ponořeným podélným hřbetem a uzavřené příčným hřbetem (obr. 3).



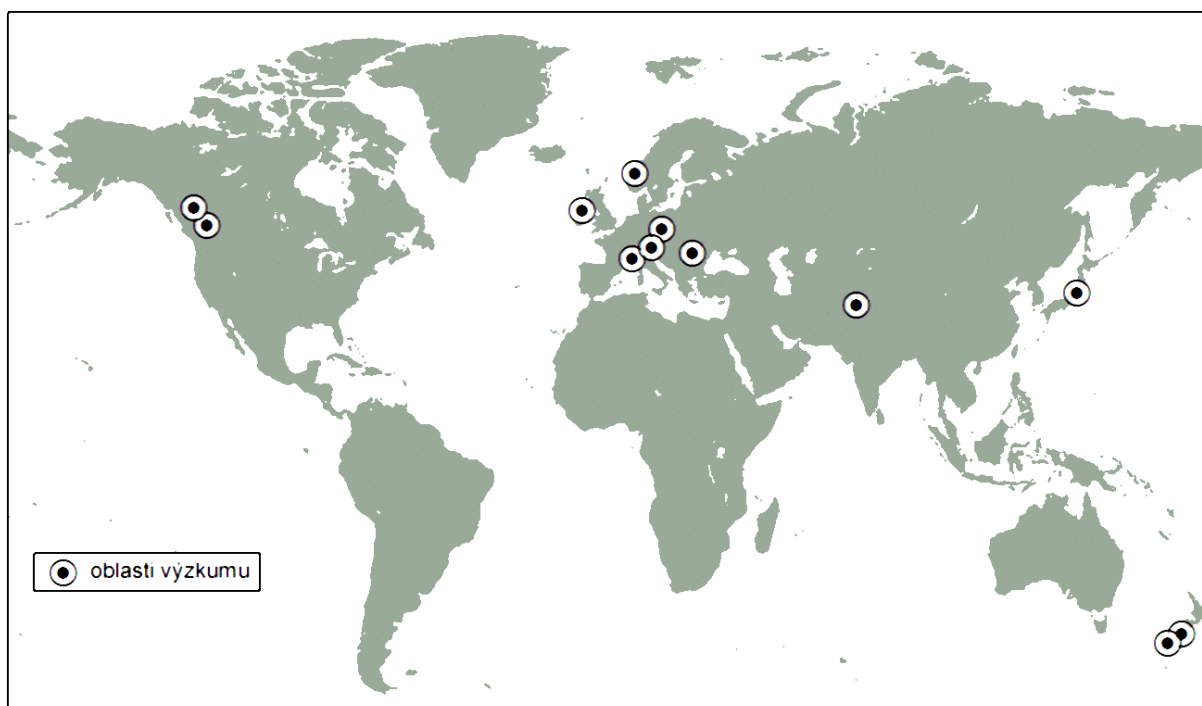
Obr. 3: Schematický diagram 3 typů akumulční zóny v oblasti Troms v Norsku: RT - jazyk s hřbenem, B - oválná deprese, AR - obloukový hřbet, TC - zkrácený hřbet. Voda je zobrazena šrafováním (Corner, 1980).

Luckman (1977) se věnuje hřbetům o výšce cca 1 m a délce 10 - 15 m tvořeným svahovinami, které se nacházejí za většími balvany ve směru pádu lavin, a které nazývá *avalanche debris tails*. Zmíněné hřbety lze považovat za tvary akumulční a mohou se vyskytovat i v tranzitní zóně. Matthews et al. (2011) uvádí valy vzniklé akumulací sněhu v nivačních depresích, které mění morfologii lavinových drah a nemají lavinovou genezi, přesto jsou charakteristickým tvarem lavinových drah v místech s dlouhodobou sněhovou akumulací.

Velikost akumulčních tvarů závisí na množství materiálu transportovaného lavinami a na frekvenci pádů jednotlivých lavin (Luckman, 1977).

4. MORFOLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY LAVINOVÝCH DRAH

V literatuře jsou obvykle řešeny svahové procesy vzhledem k transportu materiálu (např. Rapp, 1960), ovšem popisy či analýzy samotných lavinových drah se příliš často nevyskytují. Pro vytvoření přehledu o užitých charakteristikách lavinových drah byl proveden rozbor vybraných studií různého zaměření v různých oblastech Světa (obr. 4), ve kterých se morfologické údaje objevují. U jednotlivých studií byl poznamenán autor, rok publikace, stát, oblast výzkumu, počet zkoumaných lavinových drah a jejich morfologické charakteristiky v jednotlivých zónách lavinových drah i celkově. Nejčastěji uváděnými charakteristikami jsou sklon, orientace a délka, naopak plocha a šířka se objevují v pracích malého množství autorů (tab. 2).



Obr. 4: Poloha oblastí s lavinovými drahami popsány v použité literatuře

Mnohé zdroje se primárně nevěnují morfologii lavinových drah, přesto v nich lze nalézt morfologické charakteristiky v popisu studovaných lokalit (Vrba, 1964, Schaerer, 1972, Vrba a Spusta, 1975, Ackyord, 1987, Simpson et al., 2007). Velké množství autorů zabývajících se přednostně geomorfologií věnuje pozornost zejména tvarům v akumulární části (Corner, 1980, Fitzharris a Owen, 1984, Bell et al., 1990, Matthews a McCarrol, 1994, Johnson a Smith, 2010) a vlastnosti ostatních částí lavinových drah nejsou rozváděny nebo zmiňovány. Nejrozsáhlejší studii, která zahrnuje 440 lavinových drah v oblasti Národního parku Glacier v Britské Kolumbii, publikoval v roce 1979 Butler. Jedná se také o práci s největším počtem zaznamenaných morfologických charakteristik v jednotlivých částech lavinových drah (tab. 2).

Tab. 2: Charakteristiky lavinových drah v použité literatuře

Zdroj	Stát	Oblast	Počet zkoumaných drah	Rozlišena odtrhová, tranzitní a akumulací část			celkově			odtrhová část			tranzitní část			akumulací část		
				ne	ano	ano	sklon	délka	šířka	orientace	sklon	délka	šířka	typ	sklon	délka	šířka	typ
Vrba (1964)	Česko	Západní Vysoké Sudety	1	ne	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Schaerer (1972)	Kanada	Glacier NP, British Columbia	67	ne	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Vrba a Spusta (1975)	Česko	Západní Vysoké Sudety	37	ano	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Butler (1979)	Kanada	Glacier NP, British Columbia	440	ano	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Cornier (1980)	Norsko	Troms	28	ano	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Gardner (1983)	Kanada	Mt. Rae, Alberta	2	ne	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Fitzharris a Owens (1984)	Nový Zéland	Fiordland	16	ano	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Ackroyd (1987)	Nový Zéland	Torlesse Range	1	ano	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Bell, Gardner, De Scally (1990)	Pákistán	Kaghan Valley, Himaláje	2	ano	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Luckman (1992)	Skotsko	Lairig Ghru	22	ano	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Smith, McCarthy, Luckman (1994)	Kanada	Mt. Robson NP, British Columbia, Peter Lougheed PP, Alberta, Canadian Rockies Country, Alberta	3	ano	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Matthews a McCarroll (1994)	Norsko	Breheimen	12	ano	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Jomelli a Francou (2000)	Francie	Ménerf des Ecrins	35	ano	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Sekiguchi, Sato, Akiyama (2005)	Japonsko	oelé Japonsko	?	ne	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Simpson et al. (2007)	Kanada	Glacier NP, British Columbia	1	ne	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Voiculescu (2009)	Rumunsko	Fagaras - Balea	29	ne	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Johnson a Smith (2010)	Kanada	Central Coast Mt. Robson NP, Rocky Mts.	3	ano	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Kellerer-Pirkbauer, Slupetzky, Avian (2012)	Rakousko	Vysoké Tauern	1	ano	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

Sklon představuje nejčtenější morfologickou charakteristiku lavinových drah, která se v literatuře vyskytuje. Vrba (1964) uvádí sklon v různě dlouhých intervalech po délce celé lavinové dráhy, podobně jako Jomelli a Francou (2000), kteří používají 10m intervaly. Bell et al. (1990) uvádí průměrný sklon v jednotlivých zónách. Ostatní autoři používají průměrný sklon pro celou lavinovou dráhu.

Délka (horizontální rozměr ve směru pádů lavin) je uváděna obvykle pro celou lavinovou dráhu. Přestože je obtížné určit přechodné body mezi zónami, uvádí jejich délku Butler (1979) a Kellerer-Pirklbauer et al. (2012).

Šířka (horizontální rozměr měřený kolmo na směr pádu lavin) se objevuje ve formě šířky akumulární zóny (Ackroyd, 1987), maximální a průměrné šířky akumulární zóny (Kellerer-Pirklbauer et al., 2012), průměrné šířky akumulární zóny (Luckman, 1992, Smith et al., 1994), či rozsahu šířek tranzitní zóny (Johnson a Smith, 2010). Butler (1979) uvádí rozsah šířek ve všech 3 zónách a Vrba a Spusta (1975) udávají jedinou hodnotu šířky uprostřed lavinových drah.

Orientace je spolu s délkou druhá nejčtenější charakteristika, kterou uvádí 13 z 18 studií. Není zpravidla uváděna azimutálně ve stupních, ale slovně podle světových stran.

Plocha je uvedena pouze jednou (Bell et al., 1990), a sice plocha celé lavinové dráhy.

Převýšení (vertikální rozměr) uvádí Kellerer-Pirklbauer et al. (2012) pro tranzitní zónu, ostatní autoři pro celou lavinovou dráhu.

Autoři věnující se převážně akumulární zóně lavinových drah zmiňují detailní rozměry tvarů v akumulární zóně, jako jsou tůně, balvany a valy (Corner, 1980, Fitzharris a Owens, 1984, Luckman, 1992, Smith et al., 1994, Jomelli a Francou, 2000, Johnson a Smith, 2010, Kellerer-Pirklbauer et al., 2012).

Fitzharris a Owens (1984), Luckman (1992), Simpson et al. (2007) a Kellerer-Pirklbauer et al. (2012) používají pro morfometrickou charakterizaci lavinové dráhy graf podélného profilu lavinových drah mnohdy doplněný o příčné profily v několika náhodně zvolených bodech (obr. 2).

Butler (1979) popisuje typ odtrhové zóny, když rozlišuje konkávní a plochý tvar. Vrba a Spusta (1975) a Johnson a Smith (2010) rozlišují žlabové a ploché tranzitní zóny. Nejvíce je rozvedena typologie akumulární zóny, kterou Butler (1979) rozlišuje na širokou (šířka je větší než délka), protáhlou (délka je větší než šířka) a rozvětvenou. Corner (1980) popisuje jazyk, jámu a tůň (obr. 3) a Bell et al. (1990) dělí akumulární zóny na ploché a depresní.

Základními a v literatuře nejčastěji používanými morfometrickými charakteristikami lavinových drah jsou tedy sklon, orientace a délka, na základě nichž lze většinu drah popsanych v literatuře porovnat. Mezi další uváděné morfologické charakteristiky patří popis typu jednotlivých zón. Podle výše uvedených charakteristik je možné klasifikovat jednotlivé dráhy.

Jednoduché klasifikační hodnocení (tab. 3) je navrženo formou pětímístného kódu. Na první pozici je orientace odtrhové zóny v osmi segmentech světových stran, tak jako ji popisují Fitzharris a Owens (1984). Orientace ostatních částí může být odlišná, ovšem orientace odtrhové zóny je důležitá z hlediska expozice vůči slunečnímu záření a s tím spojenou metamorfózou sněhu, potažmo vznikem lavinové aktivity. Druhou charakteristikou v pořadí je sklon odtrhové zóny ve třech intervalech po 10° (tab. 3). Třetí charakteristika vyjadřuje délku celé lavinové dráhy ve třech intervalech (tab. 3). Na čtvrtém místě je uveden typ tranzitní zóny podle Vrby a Spusty (1975) a Butlera (1979). Akumulační zóny, které jsou Bellem et al. (1990) popsány jako ploché a Cornerem (1980) jako jazyky, jsou označeny jako ploché, ostatní vertikálně členitější typy jsou klasifikovány jako členité a jsou na páté pozici daného kódu (tab. 3).

Tab. 3: Jednoduché klasifikační hodnocení lavinových drah na základě morfologie

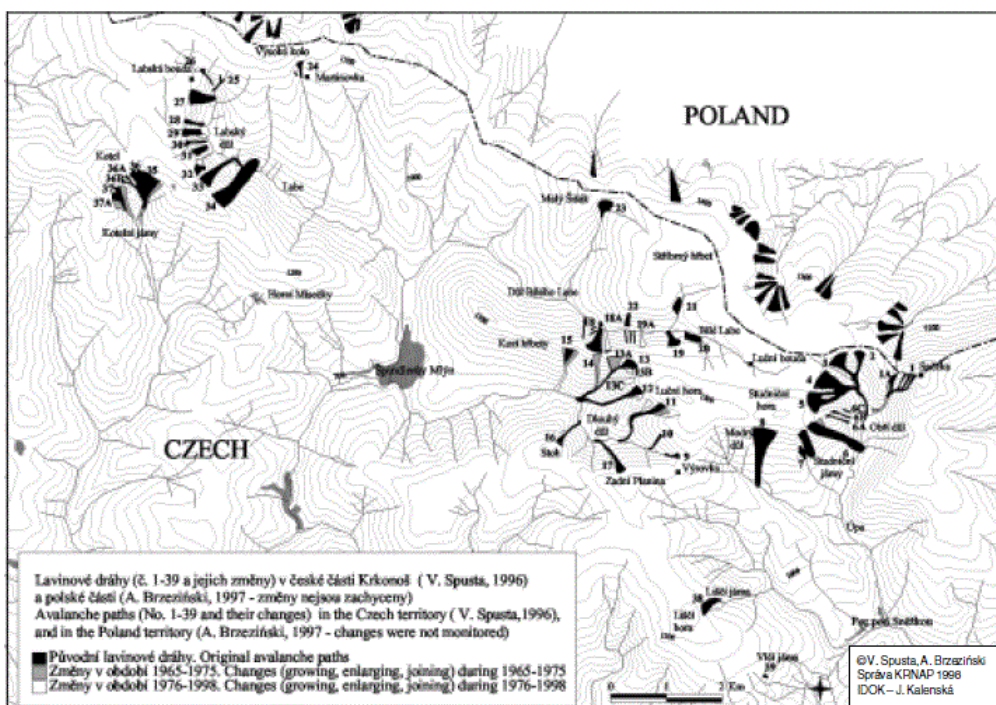
Orientace odtrhové zóny	Sklon odtrhové zóny	Délka dráhy	Typ tranzitní zóny	Typ akumulací zóny
S	A - nízký: 20 - 30°	A - krátká: 50 - 200 m	A - žlabová	A - plochá
SV	B - střední: 30 - 40°	B - střední: 200 - 400 m	B - plochá	B - členitá
V	C - vysoký: 40 - 50°	C - dlouhá: 400 a více m		
JV				
J				
JZ				
Z				
SZ				

Jako příklad zařazení do výše uvedené klasifikace lze uvést hypotetickou 470 m dlouhou lavinovou dráhu s jihozápadní orientací odtrhové zóny o sklonu odtrhové části 33° se žlabovou tranzitní zónou a akumulací zónou ve formě tůně, která by se dala označit jako JZ-B-C-A-B.

5. MORFOLOGIE LAVINOVÝCH DRAH VÝCHODNÍCH VYSOKÝCH SUDET

5.1. Lavinové dráhy v Česku

V Česku se lavinové dráhy vyskytují v oblastech Vysokých Sudet, kde jsou vhodné podmínky pro akumulaci sněhu nad horní hranicí lesa vlivem anemo-orografických systémů (Jeník, 1961). Mimo Sudety dochází v Česku k lavinovým pohybům ojediněle i v Moravskoslezských Beskydech, zejména v oblastech vymýceného lesa (Kříž, 1995a, 1995b), a na Šumavě v karech Černého a Čertova Jezera (Jeník, 1961). Reliktní lavinové dráhy z období pleistocénu lze však nalézt i v Bílých Karpatech (Ložek in verb., 2013).



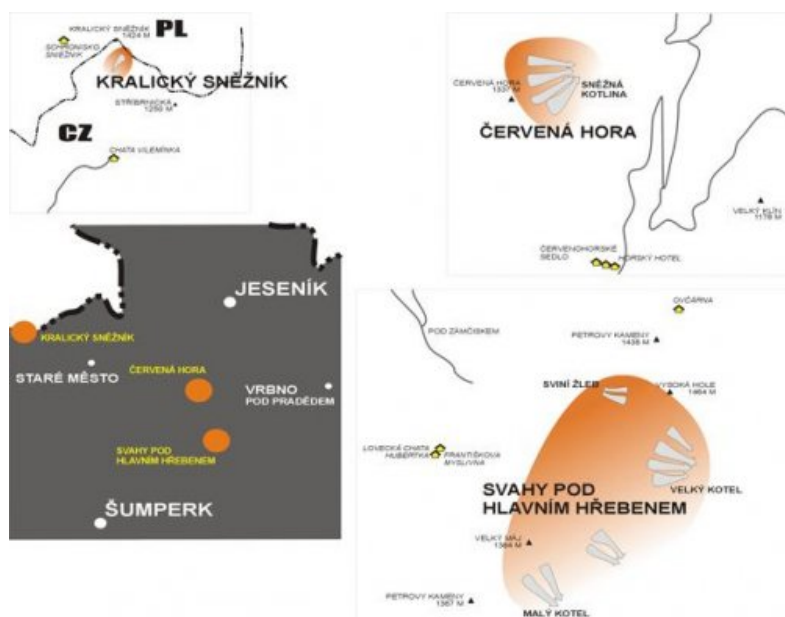
Obr. 5: Schéma lavinového katastru Krkonoš (Spusta a Kociánová, 1998)

V západních Vysokých Sudetech je evidováno přes 100 aktivních lavinových drah na české i polské straně pohoří, přičemž zde byl vytvořen lavinový katastr (obr. 5), který podrobně sleduje lavinovou činnost soustavně od roku 1961 a slouží také Horské službě (Vrba a Spusta, 1975, 1991, Spusta a Kociánová, 1998, Kociánová a Spusta, 2000, Spusta, Spusta a Kociánová, 2006). Každá lavinová dráha v Krkonoších je charakterizována slovním popisem, fotografií se zákresem hranic lavinové dráhy a změnami od počátku pozorování, tabulkou obsahující všechny zaznamenané pády lavin včetně jejich zařazení do mezinárodní klasifikace, grafickým znázorněním délky jednotlivých lavin a tabulkou vyhodnocující frekvenci pádů lavin v jednotlivých

měsících. U každé dráhy je také uveden rozsah sklonů, expozice, maximální a minimální nadmořská výška, délka, šířka dráhy a šířka odtrhu (Spusta a Kociánová, 1998).

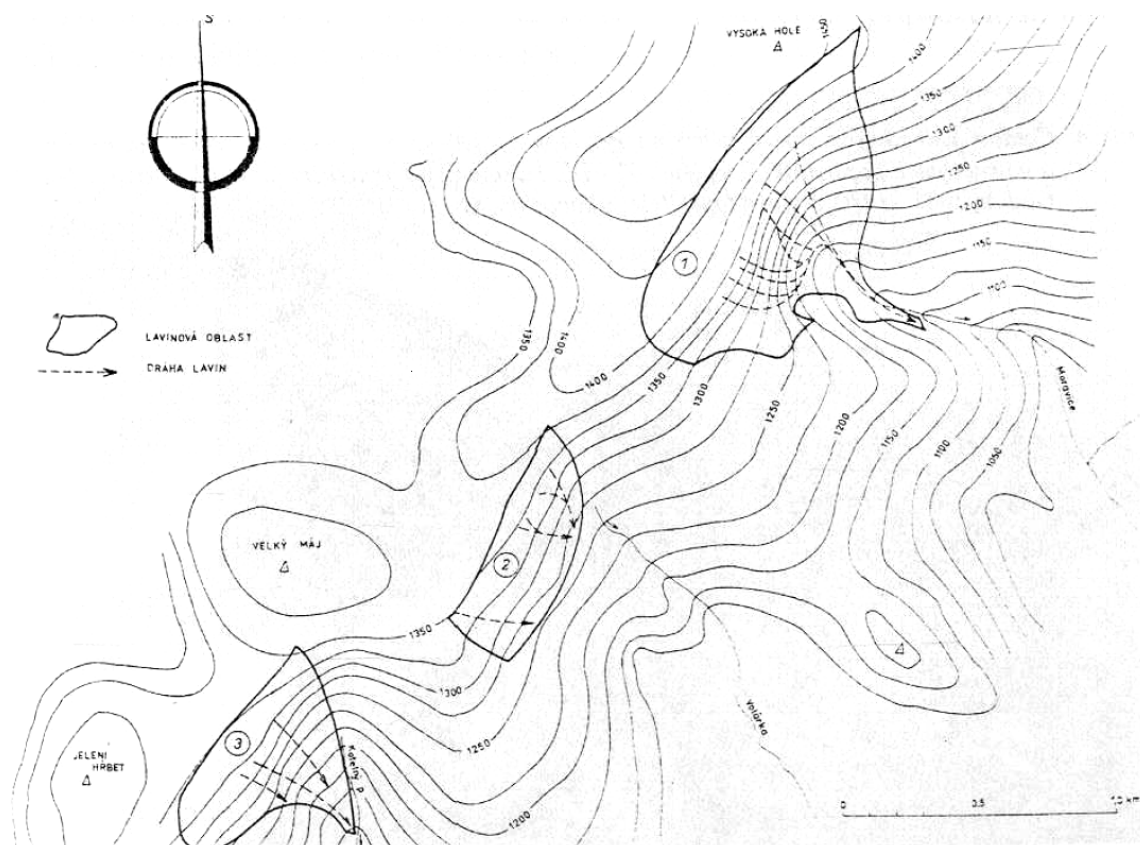
5.2. Lavinové dráhy ve východních Vysokých Sudetech

V Hrubém Jeseníku uvádí Kříž (1995a) 22 lavinových drah v 8 oblastech. Na jeho práci navazuje Navrátil (2005), který jeho seznam upravuje a uvádí 21 lavinových drah v 6 oblastech. Kříž (1995a) navíc zmiňuje i jednu lavinovou dráhu v masivu Králického Sněžníku (tab. 4). Předpovědní lavinový systém Horské služby v současnosti (2013) pracuje s 14 lavinovými drahami v 5 oblastech Hrubého Jeseníku a 1 lavinovou drahou Králického Sněžníku (obr. 6).



Obr. 6: Schéma lavinových drah v systému lavinové předpovědi HS Jeseníky (HS ČR, 2013)

Podle Kříže (1995a) se nejvíce lavinových drah nachází na jihovýchodních (obr. 7) a severozápadních svazích Vysokoholského hřbetu v oblastech Velká kotlina, Jelení žleb (Mezikotlí), Malá kotlina, Kamzičnick, Velký Máj a Jelení hřbet. U lokalit Kamzičnick, Velký Máj a Jelení hřbet ovšem neuvádí žádné údaje o pádech lavin. Navrátil (2005) konstatuje, že lavinové dráhy v oblastech Velký Máj a Jelení hřbet jsou neaktivní, a ve své práci je nediskutuje, oblast Kamzičnick zaměňuje za SSZ svahy Vysoké hole (Svini žleb). Dále zavádí novou lavinovou oblast Šerácká kotlina (uzávěr Javořického potoka), ve které však dosud neexistují žádné záznamy o lavinové aktivitě. Oblast Sněžná kotlina (Červená hora) je uvažována v pracích obou autorů.



Obr. 7: Lavinové oblasti a dráhy na JV svazích Vysokoholského hřbetu: 1 - Velká kotlina, 2 - Mezikotlí (Jelení žleb), 3 - Malá kotlina. (Kříž, 1995)

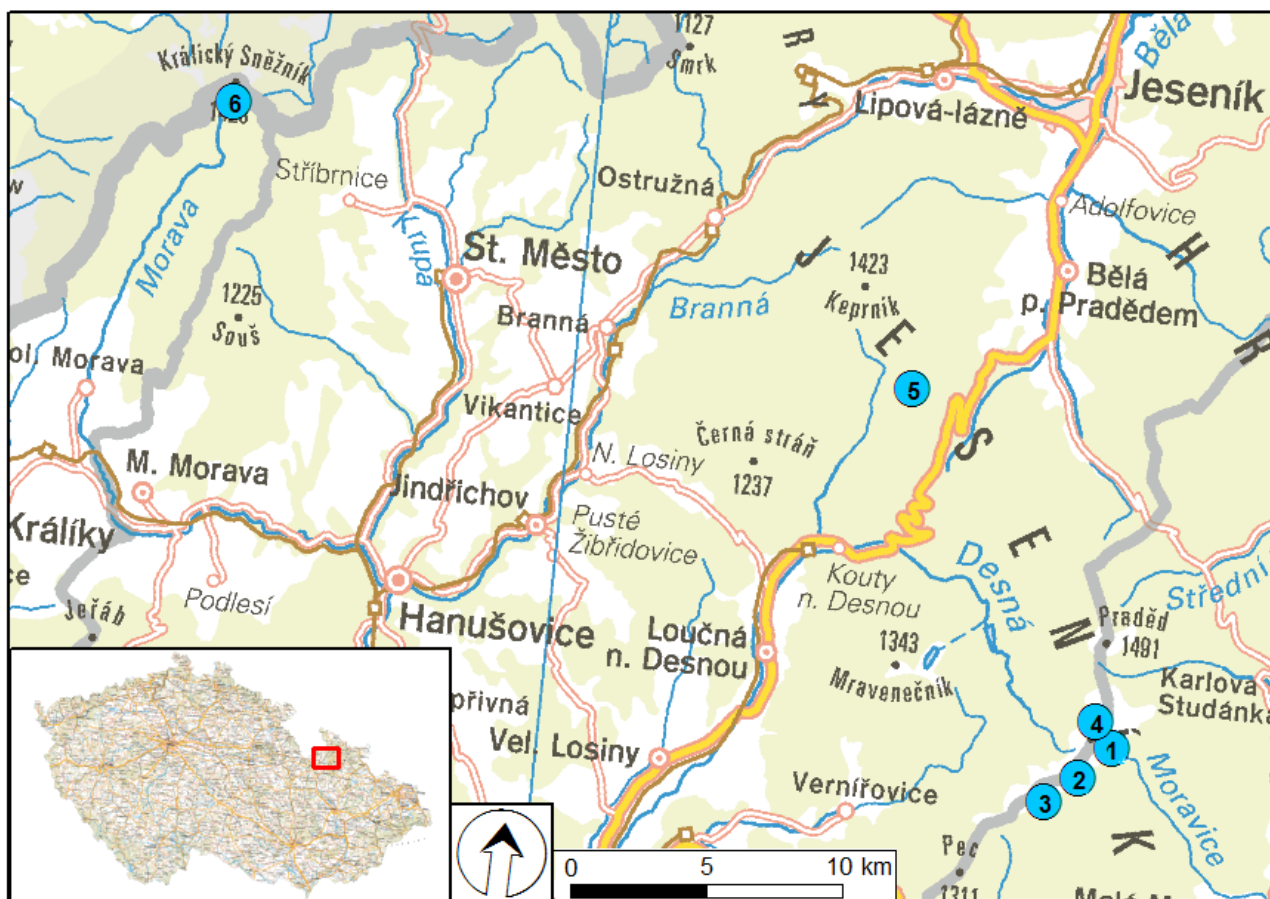
Tab. 4: Lavinové oblasti a počet lavinových drah ve východních Vysokých Sudetech

lavinová oblast	počet lavinových drah dle Kříže (1995)	počet lavinových drah dle Navrátila (2005)	počet lavinových drah dle HS (2013)
Velká kotlina	8	6	4
Jelení žleb	2	2	2
Malá kotlina	2	3	2
Sviní žleb	X	3	2
Kamzičnick	3	X	X
Velký Máj	3	X	X
Jelení hřbet	2	X	X
Sněžná kotlina	2	5	4
Šerácká kotlina	X	2	X
Králický Sněžník	1	X	1
počet lavinových drah	23	21	15

Na základě dostupných zdrojů o lavinové aktivitě (Kříž, 1995, Navrátil, 2005, HS ČR, 2013) je možné ve východních Vysokých Sudetech definovat následujících 6 aktivních lavinových oblastí: Velká kotlina, Jelení žleb (Mezikotlí), Malá kotlina, Sviní žleb (SSZ svahy Vysoké hole), Sněžná kotlina (Červená hora) a Králický Sněžník (obr. 8).

5.3. Fyzicko-geografická charakteristika studovaných lokalit

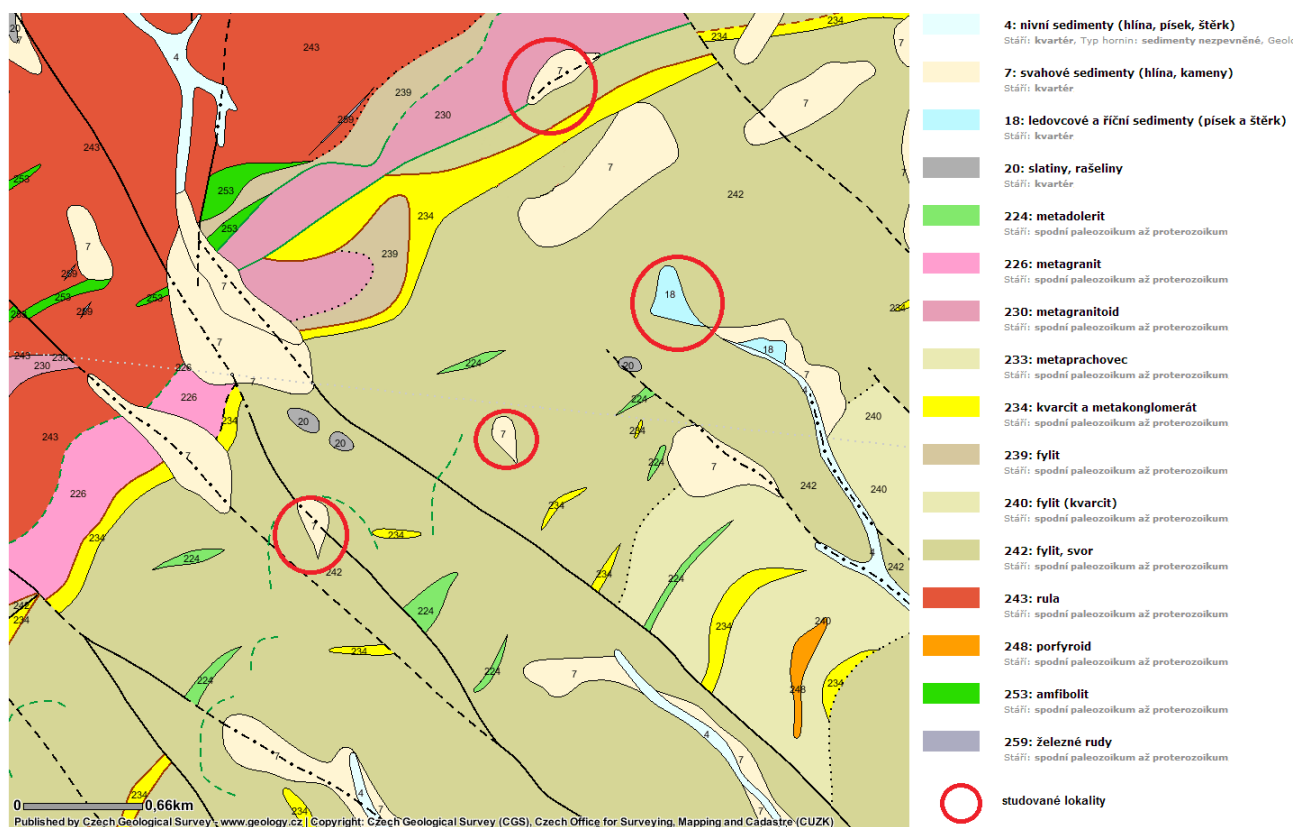
Lavinové oblasti na úpatí Vysokoholského hřbetu, čili Velká kotlina, Jelení žleb a Malá kotlina se administrativně nachází v okrese Bruntál na katastrálním území obcí Karlov pod Pradědem a Malá Morávka, a oblast Sviní žleb na katastrálním území obce Rejhotice v okrese Šumperk. Z hlediska ochrany přírody patří do CHKO Jeseníky a NPR Praděd (Kavalcová a Kavalec, 2003). Oblast Sněžná kotlina náleží do okresu Jeseník a katastrálního území obce Adolfovice. PR Sněžná kotlina patří též do CHKO Jeseníky. Oblast Králický Sněžník v rámci okresu Ústí nad Orlicí spadá do katastru obce Velká Morava. NPR Králický Sněžník je součástí PP Králický Sněžník (Kavalcová a Kavalec, 2003). Souhrnně lze konstatovat, že téměř všechny lavinové oblasti jsou soustředěny do centrální oblasti Hrubého Jeseníku, pouze oblast Králický Sněžník je od ostatních relativně odlehlá (obr. 8).



Obr. 8: Lavinové oblasti východních Vysokých Sudet: 1 - Velká kotlina, 2 - Jelení žleb (mezikotlí), 3 - Malá kotlina, 4 - Sviní žleb (SSZ svahy Vysoké hole), 5 - Červená hora (Sněžná kotlina), 6 - Králický Sněžník (mapový podklad: ZM 200)

5.3.1. Geologické poměry

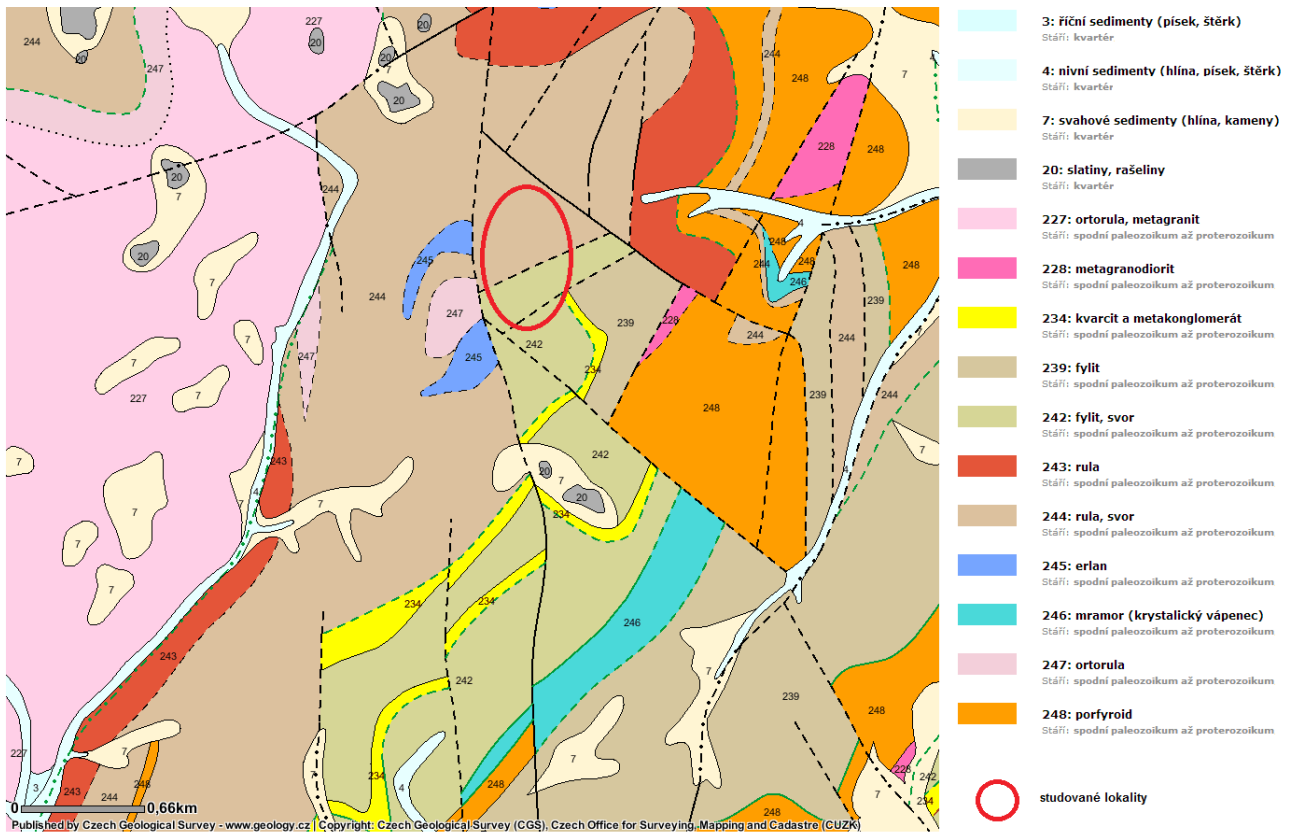
Lavinové oblasti Hrubého Jeseníku náleží z hlediska geologické regionalizace do oblasti Silesika (Východních Sudet), které je součástí Moravskoslezské oblasti Českého masívu (Mísař, 1983). Jedná se o oblast přibližně vymezenou západně Ramzovským a Nýznerovským nasunutím, východně hranicí Hrubého a Nížkého Jeseníku, jižně systémem zlomů na Hané (Bušínský zlom), a severně v oblasti jižně od hlubinného oderského zlomu pod kenozoickými formacemi. Podle Mísaře (1983) je jednotka Silesika charakterizována převážně proterozoickými krystalinickými horninami s velmi intenzivní deformací a metamorfózou v období variského (hercynského) vrásnění, přičemž je možné rozlišit 2 strukturálně i stratigraficky odlišná patra - předdevonské patro Silesika, které bylo podrobena již kadomskému (assyntskému) vrásnění, a je tvořeno hlavně rulami, svory či fylity, a devonské (obalové) patro Silesika, tvořené kvarciti, fylity či vápenci. Přejechy mezi oběma patry jsou místy kvůli vysokému stupni metamorfózy obtížně rozlišitelné. Tektonicky se Silesikum skládá z Desenské a Keprnické klenby, které vzájemně odděluje Koutské synklinorium indikující významné tíhové hloubkové rozhraní (Čuta et al., 1962 in Mísař, 1983). Klenby se přitom skládají z mnoha dalších dílčích klenb a denudovaných tektonicky omezených ker (např. kra Pradědu).



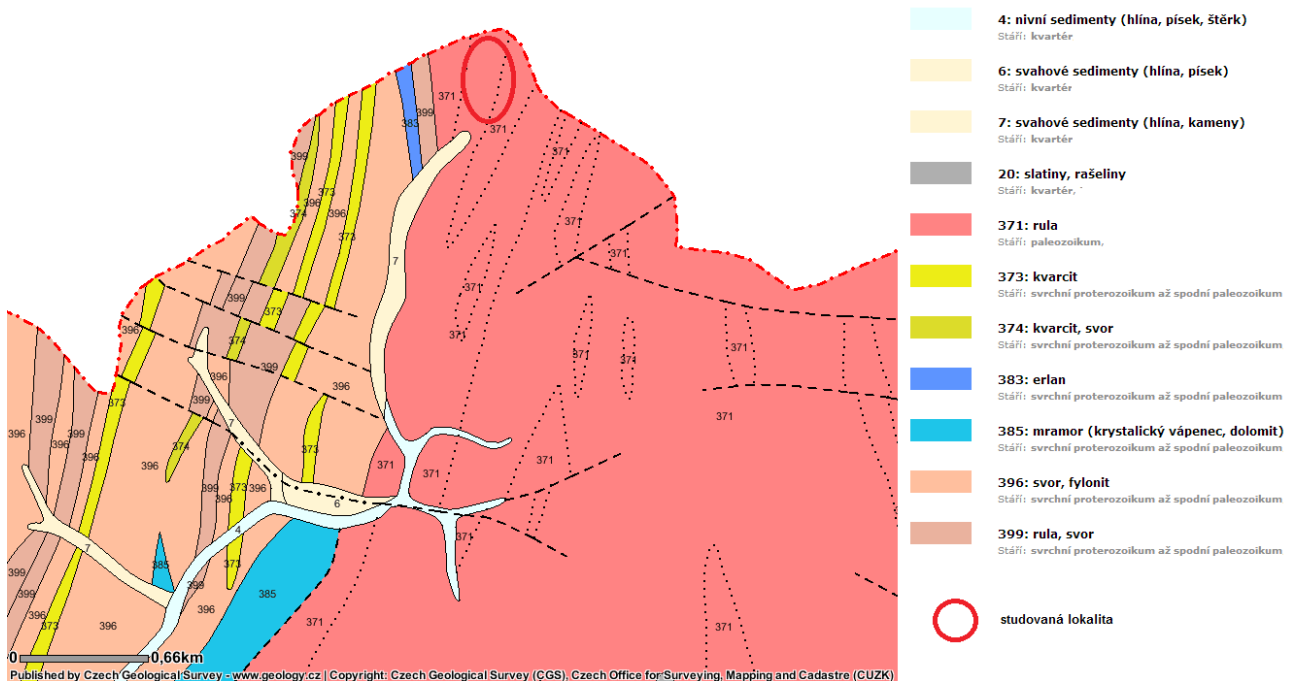
Obr. 9: Horniny Vysokoholského hřbetu (Geologická mapa 1 : 50 000)

Dle Geologické mapy 1: 50 000 tvoří podloží lokalit na úpatí Vysokoholského hřbetu zejména fylity a svory, v oblasti Sviního žlebu navíc kvarciti a metagranitoidy (obr. 9). Oblast

Sněžná kotlina zahrnuje ruly, fylity a svory (obr. 10). Zmíněné horniny jsou spodně paleozoického až proterozoického stáří.



Obr. 10: Horniny Červené hory (Geologická mapa 1 : 50 000)



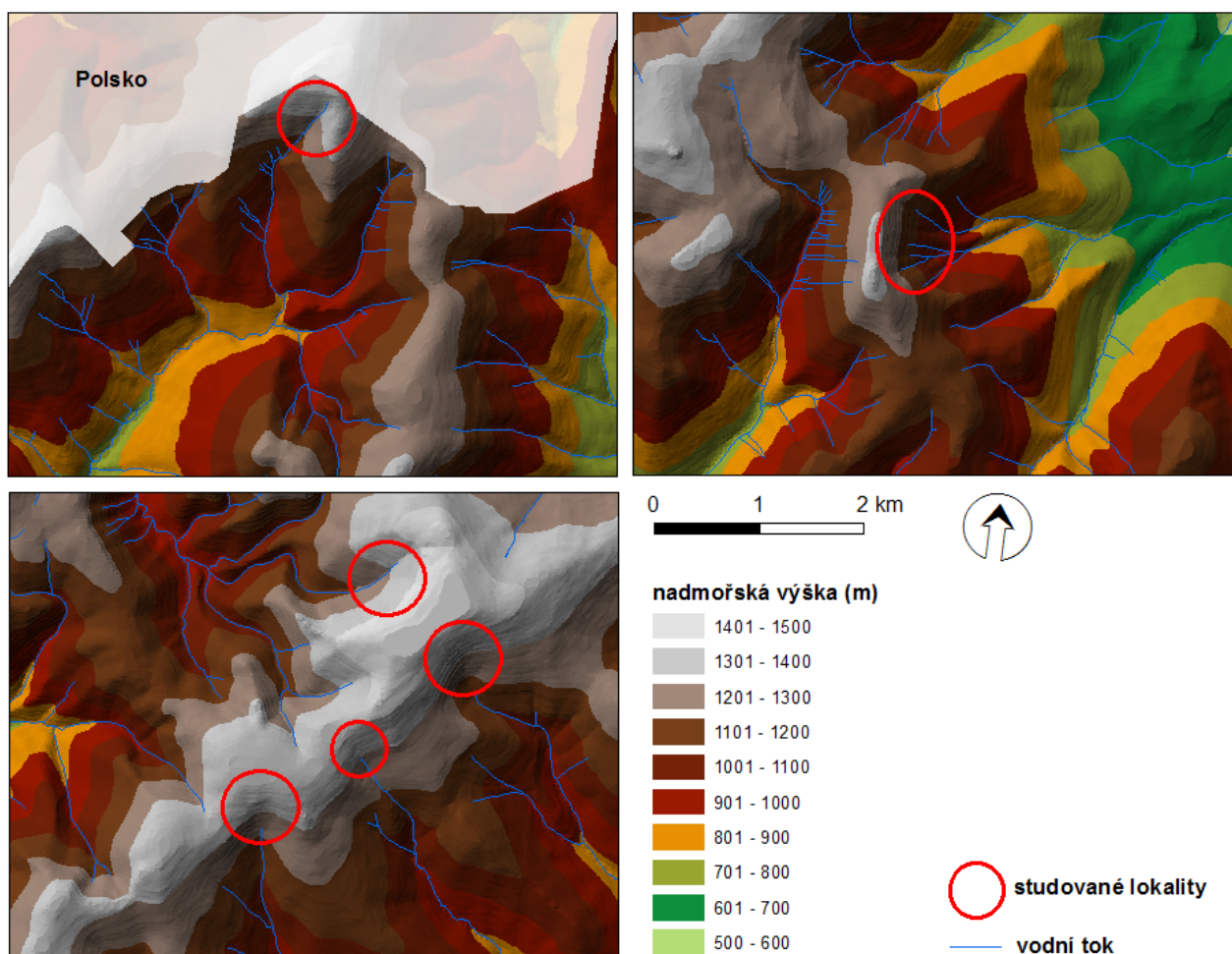
Obr. 11: Horniny Králického Sněžníku (Geologická mapa 1 : 50 000)

Králický Sněžník je součástí Orlicko-kladského krystalinika, které náleží do oblasti tzv. Lugika (Západních Sudet) v Českém masívu. Na severozápadě se noří pod křídové jednotky Kladského prolomu, na západě a jihozápadě je vymezeno Olešnicko-uhřínovským nasunutím, východně tektonickou návazností na Staroměstské krystalinikum, severně hranicí s intruzivním Zlatostockým masívem a na jihu je ohraničeno návazností na Zábřežské krystalinikum (Mísař, 1983). Stáří hornin Orlicko-kladského krystalinika je přitom paleozoické (Kröner et al., 2001 in Chlupáč et al., 2002) s vyvrásněním v období variského (hercynského) cyklu. Rozlišuje se Sněžnická skupina se zastoupením rul, ortorul, žulorul a migmatitů a Stroňská skupina tvořená svory a rulami. Tektonicky představuje Orlicko-kladské krystalinikum složitou klenbovitou stavbu s vnitřní patrně příkrovovou či izoklinální stavbou (Mísař, 1983).

Dle Geologické mapy ČR 1: 50 000 tvoří podloží lavinové dráhy na Králickém Sněžníku ruly paleozoického stáří (obr. 11).

5.3.2. Geomorfologické poměry

Po vyvrásnění Sudet ve variském (hercynském) cyklu došlo v následujících geologických epochách k postupné planaci území (Demek et al., 2006). Do podoby blížící se dnešnímu stavu byla oblast přetvořena saxonskou tektonikou v terciéru, kdy proběhly podél zlomů výrazné vertikální pohyby s mnohdy až tisícimetrovým převýšením (Chlupáč et al., 2002). Kvartér je charakterizován střídáním glaciálů a interglaciálů, kdy hory představují denudační oblasti a svou úlohu sehrávají i neogenní tektonické pohyby (Vyskočil, 1993 in Czudek, 1997). Podle studia říčních teras Kladské Nisy v oblasti Sudetského okrajového zlomu (Krzyszowski et al., 2000) došlo k významnému výzdvihu (až 70 m) ve starším pleistocénu. Mladší tektonické pohyby v řádu maximálně 25 m jsou spojovány s halštrovským a sálským zaledněním. V současnosti jsou evidovány pohyby na sudetských zlomech v řádu maximálně milimetrů ročně (Badura et al., 2007, Švábenský a Weigel, 2007). Periglaciální procesy probíhající v kvartéru daly vzniknout kryoplanačním terasám, torům, nivačním depresím, strukturním púdám a dalším tvarům, z nichž mnohé prokazují recentní aktivitu (Křížek, 2007). Zalednění spojené s výskytem karového ledovce se mohlo vyskytovat kromě oblasti Velké Kotliny i v dalších údolních uzávěrech karovitého tvaru, tzv. *karoidů* (Prosová, 1973 in Czudek, 1997). Pravděpodobnější je však pouze nivační geneze většiny zmíněných tvarů (Czudek, 1997), když docházelo k hromadění velkého množství sněhu v závětrných turbulentních prostorech anemo-orografických systémů (Jeník, 1961).



Obr. 12: Výšková členitost okolí studovaných lokalit: nahoře Králický Sněžník a Červená hora, dole Vysokoholský hřbet (DMÚ 25, DIBAVOD, 2013)

Všechny studované lokality se nacházejí v hornatině s nadmořskými výškami výrazně nad 1000 m (obr. 12). Systematicky spadají do Jesenícké oblasti v Sudetské oblasti České vysočiny (tab. 5).

Tab. 5: Zařazení lavinových oblastí do systému geomorfologických jednotek (podle Demka et al., 2006 a Balatky a Kalvody, 2006)

	oblasti Vysokoholského hřbetu	oblast Sněžná kotlina	oblast Králický Sněžník
systém	Hercynský	Hercynský	Hercynský
provincie	Česká vysočina	Česká vysočina	Česká vysočina
subprovincie	Sudetská soustava	Sudetská soustava	Sudetská soustava
oblast	Jesenická oblast	Jesenická oblast	Jesenická oblast
celek	Hrubý Jeseník	Hrubý Jeseník	Králický Sněžník
podcelek	Pradědská hornatina	Keprnická hornatina	
okrsek	Vysokoholský hřbet	Šerácká hornatina	Hornomoravská hornatina

Vysokoholský hřbet je členitá hornatina tvořená zlomovou krou protaženou od severovýchodu k jihozápadu s výskytem izolovaných skal, kryoplanačních teras, tříděných polygonů, kamenných moří a thufurů (Demek et al., 2006). Nejvyšším vrcholem je Vysoká hole (1464 m n. m.), mezi další významné vrcholy patří Velký Máj (1363 m n. m.) a Jelení hřbet (1367 m n. m.).

Šerácká hornatina je dle Demka et al. (2006) členitá hornatina kerné stavby, která na severovýchodě příkře spadá do Jesenické kotliny. Nejvyšším vrcholem je Keprník (1422 m n. m.). Červená hora (1333 m n. m.) má kryogenně přemodelovaný vrchol se zbytky zarovnaného povrchu s izolovanými skálami a balvany.

Králický Sněžník (1423 m n. m.) je suk na horském uzlu v ústřední části zdvižené tektonické kry, na svazích se vyskytují kamenná moře a sutě (Demek et al., 2006). Na plochem temeni jsou vyvinuty strukturní půdy (Křížek, 2007).

5.3.3. Klimatické poměry

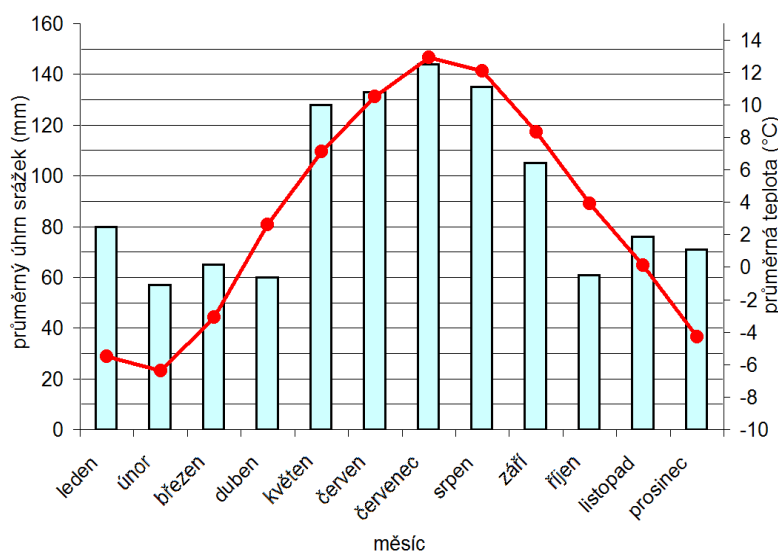
Podle Quitta (1971) náleží vrcholové partie Hrubého Jeseníku a Králického Sněžníku do klimatické kategorie CH4, čili do velmi chladné oblasti (tab. 6), charakterizované velmi krátkým chladným létem, chladným jarem, mírně chladným podzimem a dlouhou velmi chladnou zimou s dlouhým trváním sněhové pokrývky.

Tab. 6: Klimatické charakteristiky kategorie CH4 (podle Quitta, 1971)

počet letních dní	0 - 20
počet dní s teplotou alespoň 10 °C	80 - 120
počet mrazových dní	160 - 180
počet ledových dní	60 - 70
prům. teplota v lednu	-6 - -7 °C
prům. teplota v dubnu	2 - 4 °C
prům. teplota v červenci	12 - 14 °C
prům. teplota v říjnu	4 - 5 °C
počet dní se srážkami alespoň 1 mm	120 - 140
srážkový úhrn ve vegetačním období	600 - 700 mm
srážkový úhrn v zimním období	400 - 500 mm
počet dní se sněhovou pokrývkou	140 - 160
počet jasných dní	130 - 150
počet zatažených dní	30 - 40

Referenční meteorologickou stanicí pro studované oblasti je automatická stanice Šerák ve výšce 1350 m n. m., která funguje od roku 2004 (do roku 1997 byla meteorologická stanice umístěna

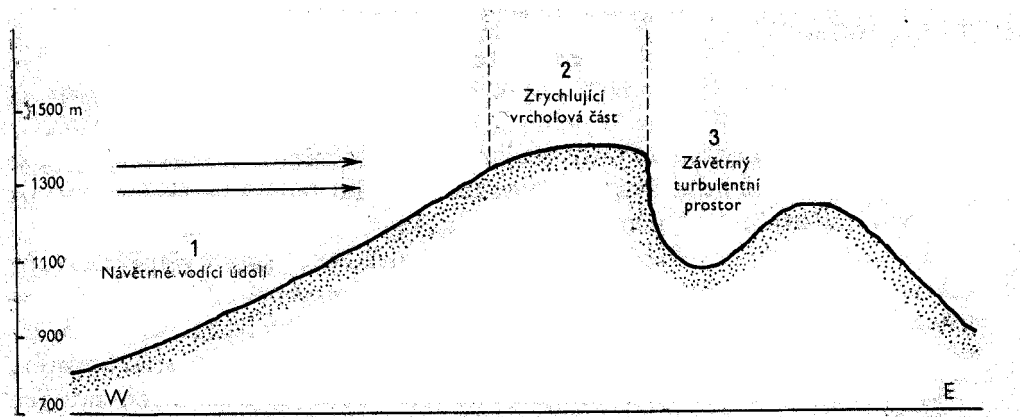
na Pradědu). Z klimadiagramu (obr. 13) je patrné, že minimální průměrná měsíční teplota v únoru dosahuje hodnoty $-6,4^{\circ}\text{C}$, naopak maximální hodnota v červenci činí $12,9^{\circ}\text{C}$. Průměrná roční teplota činí $3,2^{\circ}\text{C}$. Nejvyšší srážkové úhrny se vyskytují v letních měsících, kdy jejich průměry přesahují hodnotu 100 mm. Roční úhrn srážek činí 1139 mm. Přes 50 % dní v roce je srážkových. V zimě jsou srážky téměř výhradně sněhové, průměrný roční počet dní se sněhovou pokrývkou je 147 a výška sněhové pokrývky se v únoru pohybuje obvykle v rozmezí 60 - 150 cm (NCDC NOAA, 2013). Na Pradědu nastává obvykle první den se sněžením v září a poslední v květnu. Hřeben Hrubého Jeseníku v ose Ramzovské sedlo - Červenohorské sedlo tvoří klimatický předěl mezi oblastmi Slezska a Moravy s obvykle rozdílnými vzdušnými hmotami. V podzimních a zimních měsících je zde častá inverzní situace, při které dochází k tání sněhové pokrývky. Také na jaře se často střídají teploty nad a pod bodem mrazu, což činí vhodné podmínky pro vznik lavin (Vysoudil, 2003).



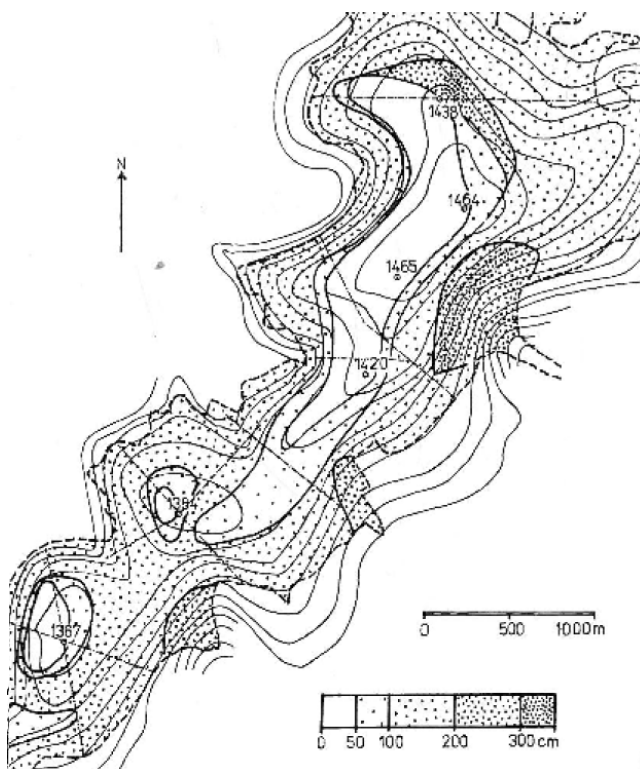
Obr. 13: Klimadiagram stanice Šerák pro období 2004 - 2012 (NCDC NOAA, 2013)

Ve vrcholových partiích pohoří převládá po celý rok západní směr větru, v létě přechodně roste podíl severního proudění. Podle Vysoudila (2003) je průměrná rychlost větru na vrcholu Pradědu $9,4\text{ m/s}$, přičemž nejvyšších hodnot dosahuje obvykle v zimním období. Bezvětrí nastává velmi zřídka, zhruba 5 dní v roce. Jeník (1961) definuje v oblasti východních Vysokých Sudet 5 anemo-orografických systémů. Jedná se o lokální systémy vzdušného proudění v závislosti na reliéfu, které se skládají z vodících návětrných údolí, zrychlujících vrcholových částí na bezlesých hřebenech a závětrných turbulentních prostor (obr. 14), kterými jsou obvykle nivační deprese s pravidelným výskytem navátých mocných sněhových akumulací a možnou lavinovou aktivitou. Podle Jeníka (1961) je standardní převažující západní proudění v oblasti po celé kvartérní období, kdy se zmíněné systémy iniciovaly. Klima návětrných údolí a vrcholových částí má rysy oceánské, naopak závětrné turbulentní prostory zaznamenávají větší teplotní výkyvy

a mají rysy spíše subkontinentální. Vliv anemo-orografických systémů se projevuje také v distribuci a výšce sněhové pokrývky na hřebenech (obr. 15). Pro lavinové oblasti Vysokoholského hřbetu jsou zásadní jižní jesenické anemo-orografické systémy údolí Merty a Divoké Desné, pro oblast Sněžné kotliny červenohorský anemo-orografický systém údolí Hučivé Desné, a pro oblast Králického Sněžníku anemo-orografický systém Černé Vody.



Obr. 14: Schéma podélného profilu anemo-orografického systému ve Vysokých Sudetech s vyznačením hlavních částí (Jeník, 1961)



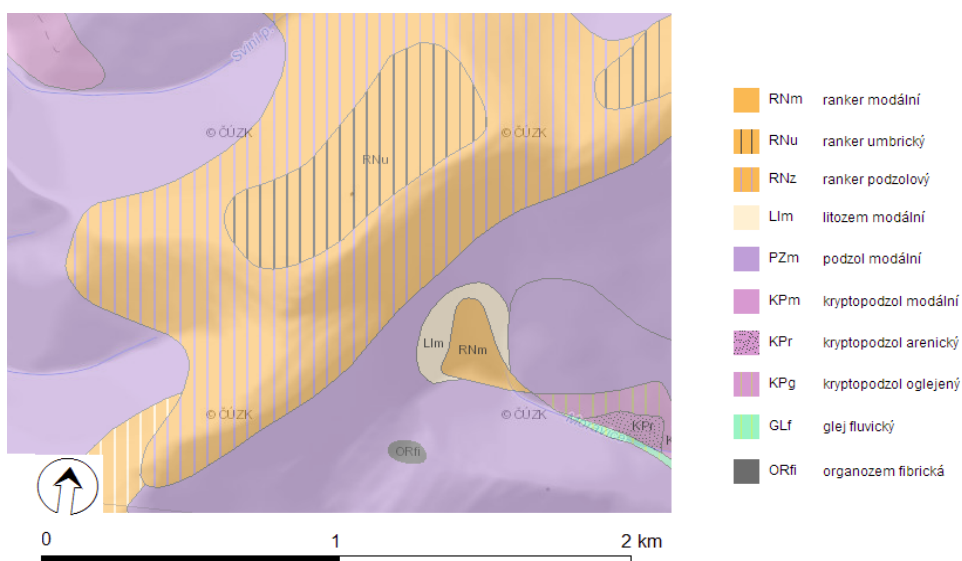
Obr. 15: Mocnost sněhové pokrývky v oblasti Vysokoholského hřbetu v únoru 1984 (Piňosová, 1986 in Maděra et al., 2011)

5.3.4. Hydrologické poměry

Sledované lavinové oblasti východních Vysokých Sudet se nacházejí v údolních uzávěrech (v případě Sviního žlebu mimo údolní uzávěr) na úpatí hřebene, po němž vede rozvodnice prvního řádu mezi Baltským a Černým mořem. Lavinové oblasti Králický Sněžník a Sviní žleb spadají do úmoří Černého moře, všechny ostatní oblasti do povodí Baltského moře. Oblast Velká kotlina tvoří prameniště řeky Moravice (povodí III. řádu). V Jelením žlebu pramení Volárka (povodí V. řádu), která se níže vlévá do Kotelného potoka (povodí IV. řádu), jenž pramení v Malé kotlině. Oblast Sviní žleb je odvodňována Sviním potokem (povodí IV. řádu), který se dále vlévá do Desné. Oblast Sněžná kotlina je tvořena prameništěm Černého potoka (povodí V. řádu), který je dále Červenohorským potokem odvodňován do Bělé. Lavinová dráha na Králickém Sněžníku se nachází přímo v pramenné oblasti řeky Moravy (povodí II. řádu) (DIBAVOD, 2013). Ve vrcholových částech pohoří s výjimkou zarovnaných povrchů (kde vznikají často vrchoviště) jsou vysoké hodnoty odtokového součinitele (přes 50 %) a specifického odtoku (přes 20 l/s/km²) (Řehánek, 2003).

5.3.5. Půdy

Ve vrcholových partiích Hrubého Jeseníku a Králického Sněžníku se nacházejí obvykle alpské formy mělkých nevyvinutých půd, které tvoří rankery nebo litozemě (obr. 16). V nižších zalesněných polohách převládají různé formy podzolů a kryptopodzolů (Smolová, 2003). Půdotvorný substrát zde tvoří zvětraliny metamorfovaných hornin, půdy jsou převážně šterkovité až kamenité s promyvným vodním režimem a dlouhodobě mrazovým teplotním režimem, vyskytují se tak tvary jako girlandové a tříděné půdy (Tomášek, 2003). Vysoký úhrn srážek podmiňuje existenci malých vrchovišť s organozeměmi.



Obr. 16: Ukázka půdních typů studovaných oblastí: Vysoká hole, Velká kotlina a okolí (Půdní mapa 1 : 50 000)

Podle Jeníka (1961) je půda vrcholových částí anemo-orografických systémů dlouhodobě ochuzována větrnou erozí, naopak půda závětrných turbulentních částí je obohacována ukládáním eolických sedimentů. Erozní části lavinových drah tak mají nevyvinuté půdy, akumulární jsou obohacovány.

5.3.6. Vegetace

Fytogeograficky spadají studované oblasti do sdružené územní jednotky Východní Sudety v rámci fytogeografické oblasti České oreofytikum. Fytogeografické okresy tvoří Hrubý Jeseník a Králický Sněžník (Slavík, 1988). Významným fenoménem Vysokých Sudet je alpské bezlesí situované nad horní hranicí lesa ve výškách cca. od 1300 m n. m., které je druhově poměrně chudé (Jeník, 1961). Horní hranice lesa tvoří ekoton oddělující alpské pásmo od pásma převážně smrkových či ojediněle bukových porostů. Banaš et al. (2001) lokalizují horní hranici lesa v oblasti Vysokoholského hřbetu v maximální nadmořské výšce 1350 m v blízkosti Petrových kamenů, na svazích se hranice vyskytuje obvykle okolo 1275 m n. m. a minima jsou v lavinových oblastech, konkrétně ve Velké kotlině v 1110 m n. m. Na Červené hoře je horní hranice lesa ve výšce 1270 m n. m. a nejnižší hranice ve Sněžné kotlině má nadmořskou výšku 1200 m. Na Králickém Sněžníku je horní hranice lesa situována v 1320 m n. m. a nejnižší hranice je v lavinové dráze 1230 m n. m. Bezlesí obsahuje alpské biotopy, jedná se o alpské trávníky, alpskou a subalpskou keřičkovou vegetaci a kosodřevinu (Chytrý et al., 2001). Mezi nejvýznamnější druhy patří smilka tuhá (*Nardus stricta*), metlička křivolaká (*Avanella flexuosa*), kostřava nízká (*Festuca supina*), brusnice borůvka (*Vaccinium myrtillus*), vřes obecný (*Calluna vulgaris*) nebo lišejníky rodu *Polytrichum*. Z dřevin je zastoupen velmi řídký smrk ve vlajkové formě (*Picea abies*) a nepůvodní borovice kleč (*Pinus mugo*) (Jeník, 1961). Lokálně se vyskytují malá vrchoviště, kde dominují rašeliníky (*Sphagnum*) (Chytrý et al., 2001). Geobotanicky (ovšem i zoologicky) nejhodnotnějšími a druhově nejbohatšími lokalitami jsou lavinové oblasti v závětrných turbulentních částech anemo-orografických systémů, kde je horní hranice lesa snížena díky lavinové činnosti, a daří se zde méně konkurenceschopným rostlinným druhům, které jsou obvykle velmi vzácné, navíc se zde mísí glaciální relikty s termofilními druhy. Ve východních Sudetech jsou zastoupené Kotlinou Moravy (lavinová oblast Králický Sněžník), Sněžnou kotlinou, Velkou kotlinou a Malou kotlinou (Jeník, 1961). Lavinové oblasti nejčastěji obsahují biotopy subalpské vysokobylinné vegetace, skalní vegetace sudetských karů a subalpské listnaté křoviny (Chytrý et al., 2001). Významnými druhy jsou například papratka horská (*Athyrium distentifolium*), metlice trsnatá (*Deschampsia cespitosa*), třtina rákosovitá (*Calamagrostis arundinacea*), černohlávek velkokvětý (*Prunella grandiflora*), psineček alpský (*Agrostis alpina*) nebo lepnice alpská (*Bartsia alpina*). Mezi dřeviny patří často lavinové formy smrku ztepilého (*Picea abies*), vrby slezské (*Salix silesiaca*), břízy karpatské (*Betula carpatica*) a jeřábu ptačího (*Sorbus aucuparia*) (Chytrý et al.,

2001, Jeník, 1961).

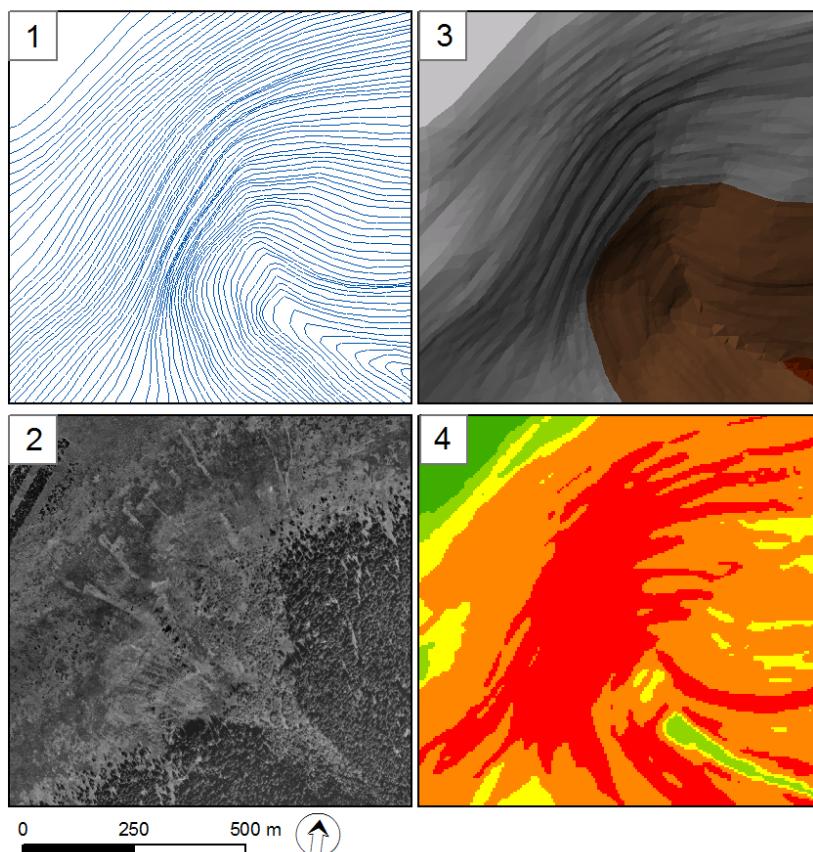
Otázka vývoje a přirozenosti alpského bezlesí byla v minulosti často diskutována. Firbas (1949) na základě výsledků pylových analýz předpokládá, že až do 13. století byly hřebeny Hrubého Jeseníku pokryty vzrostlým bukovo-jedlovým lesem a odlesnění způsobil člověk. Firbasovy závěry jsou však v rozporu s předpokládaným dlouhodobým vývojem alpských rostlinných společenstev (Jeník, 1961) a s výskytem periglaciálních tvarů a lavinových drah, které by se v zapojeném lese nemohly dochovat v současné podobě (Banaš et al., 2001). Dle současných poznatků Rybníčka a Rybníčkové (2004) či Tremla et al. (2006) je alpské bezlesí původní a vliv lidské kolonizace ve středověku se projevil pouze změnou lokální pozice horní hranice lesa a změnou druhového složení, zejména trav v důsledku kosení a spásání alpských luk. Po ukončení pastvy ve 40. letech 20. století podle Klimeše a Klimešové (1991) došlo opět ke změně druhového složení alpského bezlesí, kdy se rychleji rozšiřuje např. metlička křivolaká (*Avanella flexuosa*) či ostružiník maliník (*Rubus idaeus*), a naopak klesá zastoupení např. bojínku alpského (*Phleum alpinum*) či biky bělavé (*Luzula luzuloides*).

Lesní hospodářství ve druhé polovině 19. století významně zasáhlo do druhového složení nad horní hranicí lesa, když byla v Hrubém Jeseníku a na Králickém Sněžníku vysazována nepůvodní borovice kleč (*Pinus mugo*) (Bureš et al., 2009). Zejména ve druhé polovině 20. století došlo k nárůstu plochy porostlé klečí průměrně o 2 % ročně na více než 150 ha v celém pohoří (Tremel et al., 2010). Porosty kleče mají zabránit erozi, ovšem negativně ovlivňují původní alpskou vegetaci (Zeidler et al., 2010) a strukturní půdy (Tremel a Křížek, 2006). Výskyt kleče má podle Bureše et al. (2009) vliv také na distribuci sněhové pokrývky v rámci anemo-orografických systémů, čímž ovlivňuje i frekvenci a intenzitu pádů lavin. Otázka budoucnosti klečových porostů ve východních Vysokých Sudetech je dlouhodobě předmětem sporů mezi přírodovědci a lesníky, kdy je na jedné straně požadováno pokud možno maximální vymýcení kleče z důvodu zachování původního přírodního prostředí, a na druhé straně zachování klečových porostů z důvodu stability svahů. Na některých místech (Velká kotlina, Malá kotlina, Sněžná kotlina) vykácení kleče již proběhlo, například v Malé kotlině se po odstranění kleče opětovně zvýšila intenzita lavinové činnosti (Bureš et al., 2009, Maděra et al., 2011).

5.4. Metodika

5.4.1. Tvorba digitálního modelu reliéfu

Pro získání morfologických charakteristik lavinových drah východních Vysokých Sudet bylo použito vektorových výškových dat DMÚ 25 se základním intervalem vrstevnic 5 m a přesností odpovídající měřítku 1 : 25 000. Dále byly použity letecké měřické snímky (GEODIS, 2001) o velikosti pixelu 0,58 m (obr.17). Všechna data již obsahovala polohovou informaci. Ke zpracování byl použit software ArcMap 10.0 (ESRI, 2010) s extenzí 3D Analyst. Data byla zpracována v souřadnicovém systému S-JTSK, výškovém systému Bpv a Křovákově zobrazení. Z výškových dat DMÚ 25 byl vytvořen 3D model reliéfu (TIN) pomocí nástroje 3D analyst - *create TIN*. Výsledný model s Delaunoyho triangulací (všechny trojúhelníky musí být vepsané kruhu, tudíž se nevyskytují nevhodně protáhlé trojúhelníky) není nijak zjednodušen a zachovává přesnost dat DMÚ 25. Pro získání přehledu o sklonu reliéfu byl z výškových dat DMÚ 25 vytvořen také pomocný rastr sklonů o velikosti pixelu 5 m pomocí funkce *Slope* (obr. 17).



Obr. 17: Ukázka pracovních dat v oblasti Velké kotliny: 1 - vrstevnice DMÚ 25, 2 - ortofoto-snímek, 3 - 3D model reliéfu, 4 - pomocný sklonový rastr

5.4.2. Vymezení hranic lavinových drah

Na základě studia literatury bylo vymezeno 6 lavinových oblastí, v rámci nichž byly v prostředí GIS určovány hranice jednotlivých lavinových drah, které byly následně očíslovány. Hranice lavinových drah byly vymezeny primárně dle leteckých měřických snímků, které zachycují přímo akumulční valy či vzrostlou vegetaci obklopující lavinové dráhy. Sekundární informaci použitou pro určení hranic všech drah byl údaj o sklonu získaný z pomocného rastru sklonů. U některých drah byly hranice upřesněny na základě fotografií či mapových zákresů v literatuře. Hranice vymežující každou lavinovou dráhu byly zvektorizovány, a tak vznikla polygonová vrstva všech lavinových drah.

Mimo zmíněných 6 lavinových oblastí vymezených na základě literatury proběhlo též zjišťování potenciálních lavinových oblastí. Na základě literatury (Jeník, 1961) byly vymezeny prostory v závětrných partiích anemo-orografických systémů. Ve zvolených oblastech byla dle leteckých měřických snímků vymezena lokalita, kde je snížena horní hranice lesa. Z digitálního modelu reliéfu bylo zjištěno, zda sklon v lokalitě přesahuje 20° a může tak být vymezen jako potenciální lavinová oblast. V oblasti nebyly vymežovány jednotlivé lavinové dráhy.

5.4.3. Určení morfologických charakteristik

Údaj o maximální a minimální nadmořské výšce lavinových drah byl v programu ArcMap 10 (ESRI, 2010) získán z vytvořeného modelu reliéfu pomocí funkce *Identify*. Stejným způsobem byl získán i údaj o orientaci v pásmu odtrhu, kdy dráze byla přisouzena taková orientace, která odpovídala orientaci místa s maximální nadmořskou výškou lavinové dráhy. Získaný azimut byl poté zařazen do jednoho z 8 základních segmentů světových stran. Délka dráhy byla měřena po středové spádnicí dráhy pomocí nástroje *Measure*. Středová spádnice byla získána pomocí funkce *Create Steepest Path*. Plocha a obvod dráhy byly získány z atributové tabulky polygonové vrstvy lavinových drah. Hodnoty sklonu v odtrhové zóně byly odečteny z modelu reliéfu funkcí *Identify*.

Dále byla každá lavinová dráha rozdělena čtyřmi body na pět stejně dlouhých částí. Body byly očíslovány ze svahu dolů (pozice 1 - 4) a v každém z nich byla změřena šířka kolmo na spádnici pomocí funkce *Measure*, sklon a orientace pomocí funkce *Identify*. Průměrná šířka (ve výsledcích označená jen jako *šířka*) dané lavinové dráhy byla získána aritmetickým průměrem 4 hodnot šířky naměřených na všech čtyřech profilech.

Zpracování všech získaných hodnot bylo provedeno v tabulkovém procesoru MS Excel (Microsoft, 1999). Průměrný sklon lavinové dráhy (I) byl vypočítán na základě vzorce $I = (H_{max} - H_{min})/L$, kde H_{max} je maximální nadmořská výška dráhy, H_{min} minimální nadmořská výška dráhy a L délka dráhy (po spádnici). Pro zvýraznění morfometrických charakteristik jednotlivých drah byl zvolen poměr délky a šířky (sensu Křížek et al., 2012) a koeficient protáhlosti (R) (sensu

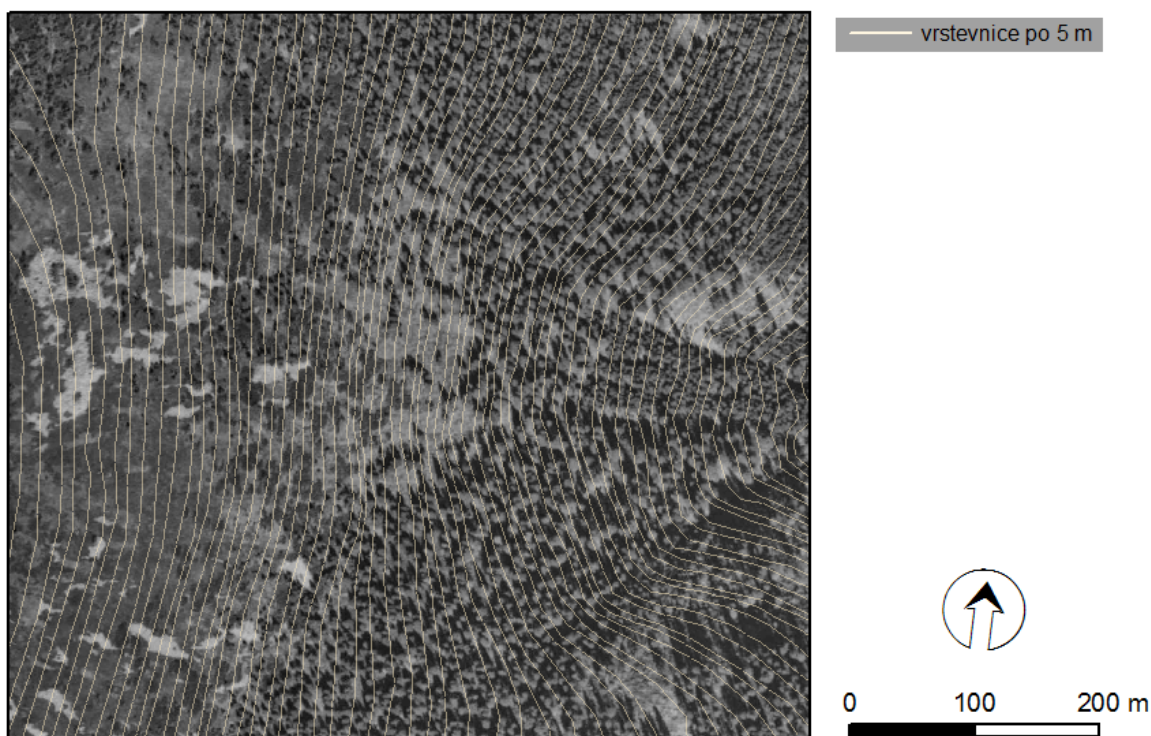
Schumm, 1956 in Bárdossy a Schmidt, 2002) na základě vzorce $R = (2 \cdot \sqrt{P/\pi})/L$, kde P je plocha lavinové dráhy a L její délka. Čím větších hodnot nabývá poměr délky a šířky, tím protáhlejší je sledovaná dráha. Koeficient protáhlosti může nabývat hodnot od 0 do 1, přičemž nižší hodnoty znamenají protáhlejší lavinovou dráhu.

Pro získání přehledu o vzájemných závislostech naměřených charakteristik byla provedena jejich korelace. Nejprve byly vzájemně korelovány hodnoty charakteristik lavinových drah jako celku (délka, šířka, převýšení, sklon odtrhové části a průměrný sklon). Dále byla provedena korelace hodnot charakteristik naměřených v bodech dělicích lavinové dráhy na pětiny (pozice, šířka, sklon a orientace) pro zjištění jejich změn v závislosti na pozici ve svahu. Korelace pozice, šířky a sklonu v bodech dělicích dráhy na pětiny byla provedena také u 6 lavinových oblastí jednotlivě, přičemž v každé byly korelovány hodnoty ze všech lavinových drah, které zahrnují. Hodnoty závislosti jsou reprezentovány Pearsonovým korelačním koeficientem vypočteným v MS Excel. Kritické hodnoty F při hladině spolehlivosti $p=0,05$ pro každý soubor o počtu dvojic n byly získány ze statistických tabulek. Významnost závislosti byla prokázána v případě, že absolutní hodnota Pearsonova korelačního koeficientu byla vyšší než kritická hodnota F příslušného souboru. Pro porovnání charakteristik naměřených v bodech dělicích lavinové dráhy na pětiny byla v programu Statistica (StatSoft, 2009) provedena jednocestná analýza rozptylu (ANOVA) pro šířku, sklon a orientaci v závislosti na pozici (1 - 4). Výsledky byly testovány F-testem na hladině významnosti $p=0,05$.

5.5. Výsledky

5.5.1. Poloha lavinových drah východních Vysokých Sudet

Mimo 6 na základě literatury definovaných lavinových oblastí byla zjištěna 1 potenciální lavinová oblast, a sice údolní uzávěr Wielki Lej na východním úpatí Králického Sněžníku (obr. 18).



Obr. 18: Potenciální lavinová oblast Wielki Lej

V oblasti Vysokoholského hřbetu se vyskytují 4 lavinové oblasti s 12 lavinovými drahami. Zbylé 2 oblasti leží izolovaně na úpatí Červené hory a Králického Sněžníku (obr. 8 na s. 21). Nadmořská výška odtrhových částí lavinových drah se obvykle nachází mezi 1300 a 1400 m n. m., přičemž výraznou výjimku tvoří lavinové dráhy na úpatí Vysoké hole v oblastech č. 1 a 4 (tab. 7).

Tab. 7: Základní polohové charakteristiky lavinových oblastí východních Vysokých Sudet

č.	název lavinové oblasti	počet drah	zeměpisná šířka	zeměpisná délka	max. nadm. výška (m n. m.)	min. nadm. výška (m n. m.)
1	Velká kotlina	6	50° 3'19.44"S	17° 14'15.51"V	1416	1125
2	Jelení žleb	2	50° 2'48.37"S	17° 13'28.80"V	1351	1256
3	Malá kotlina	3	50° 2'21.64"S	17° 12'39.22"V	1353	1128
4	Sviní žleb	1	50° 3'38.04"S	17° 13'39.20"V	1455	1316
5	Sněžná kotlina	3	50° 8'44.11"S	17° 8'27.08"V	1299	926
6	Králický Sněžník	1	50° 12'13.51"S	16° 50'51.83"V	1350	1145

V karu Velké kotliny (Křížek et al., 2012) je zmapováno 6 lavinových drah, které ústí do jedné akumulční zóny (obr. 19). Všechny dráhy mají JV orientaci a odtrhová zóna začíná průměrně pod hranicí 1400 m n. m. (tab. 8). Lavinová dráha č. 3 je ve svém středu z obou stran obklopena skalními výchozy a jeden menší skalní výchoz je přímo ve středu dráhy. Výrazný skalní výchoz v JZ části karu (v tzv. Vításkově rokli) překonává lavinová dráha č. 4.

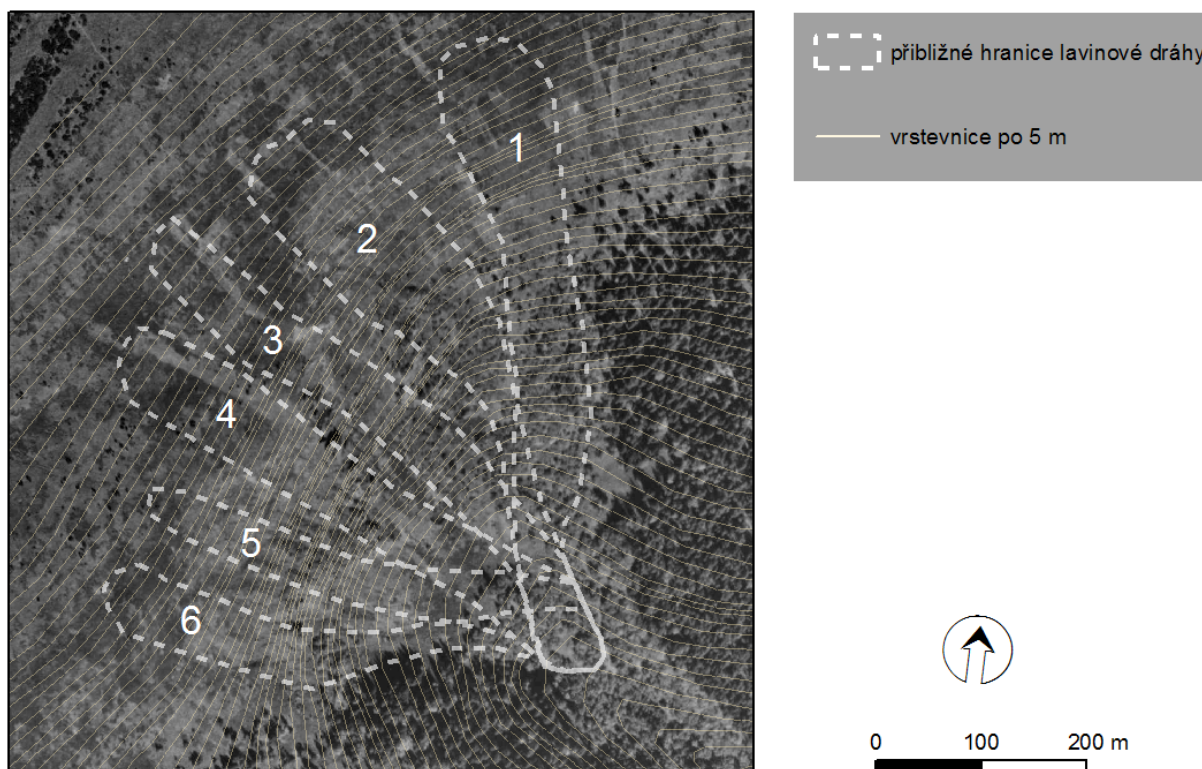
Oblast Jelení žleb čítá dvě kratší oddělené cca 200 m dlouhé lavinové dráhy s jihovýchodní orientací (obr. 20). Nadmořská výška odtrhové zóny drah je zhruba 1350 m (tab. 8).

Malá kotlina čítá 3 lavinové dráhy, přičemž delší dvě z nich s nadmořskou výškou odtrhové zóny pod 1300 m mají společnou akumulční část relativně hluboko pod horní hranicí lesa (obr. 21). Kratší lavinová dráha č. 1 s jižní orientací se nachází celá nad horní hranicí lesa a má výše položené pásmo odtrhu na úpatí hory Velký Máj v nadmořské výšce přes 1350 m (tab. 8).

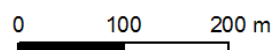
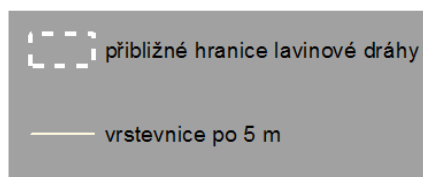
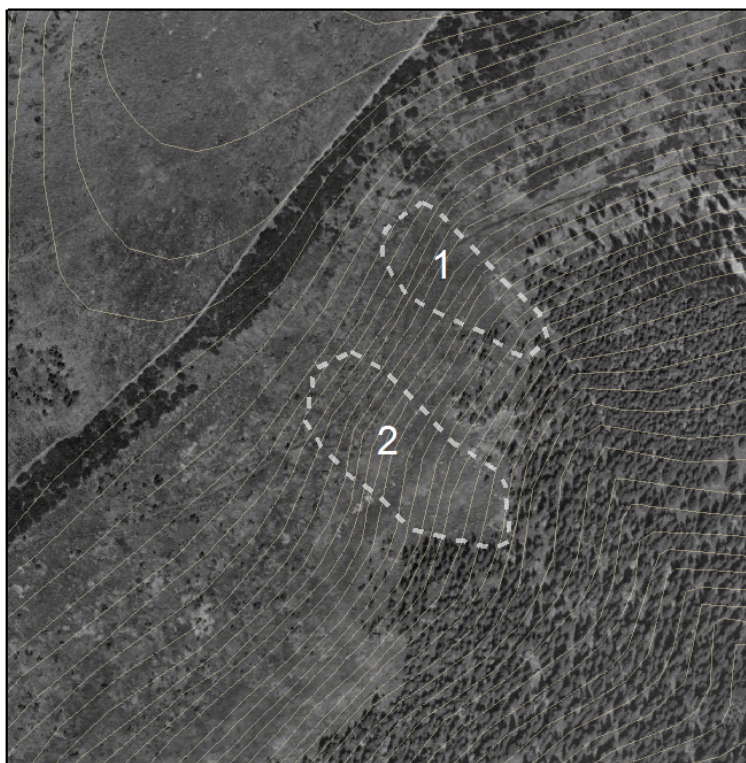
Na úpatí SSZ Vysoké hole ve Sviním žlebu se nachází jedna lavinová dráha v oblasti horní hranice lesa, která není příliš výrazná (obr. 22). Dráha má poměrně vysokou nadmořskou výšku odtrhové zóny - 1455 m (tab. 8). Další dvě dráhy se společnou akumulční zónou jsou položeny níže v nivační depresi.

Na východním úpatí Červené hory se vyskytují 3 relativně úzké lavinové dráhy, které téměř celou svou délkou zasahují pod horní hranici lesa a sbíhají se ve společné akumulční části (obr. 23). Všechny 3 dráhy mají velice podobnou nadmořskou výšku odtrhové zóny (tab. 8).

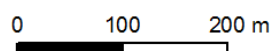
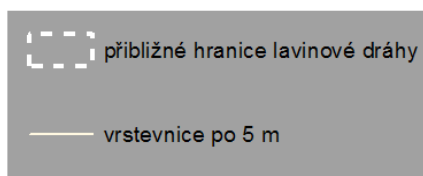
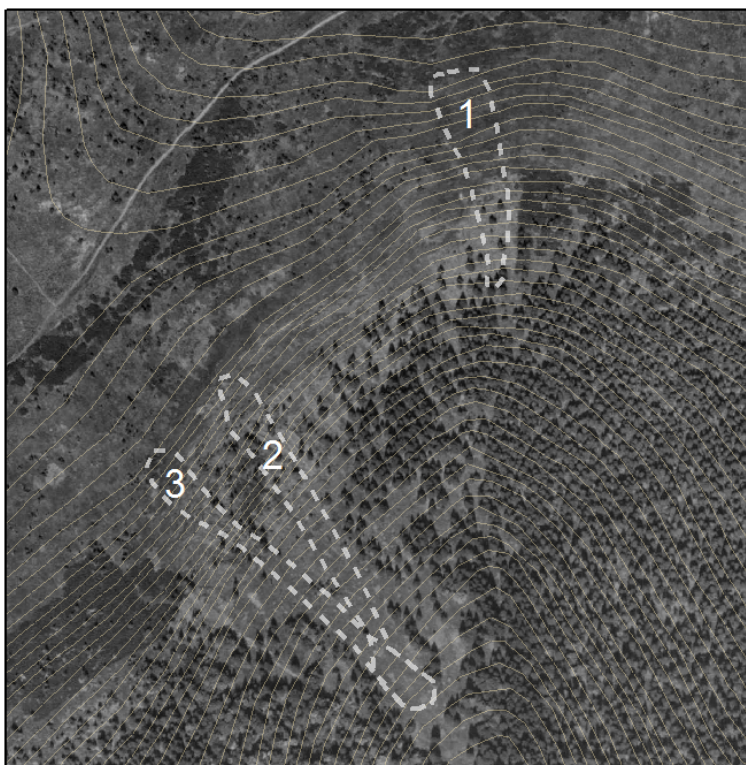
Lavinová dráha na jižním úpatí Králického Sněžníku leží v údolním uzávěru Moravy a zasahuje hluboko pod horní hranici lesa (obr. 24).



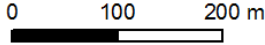
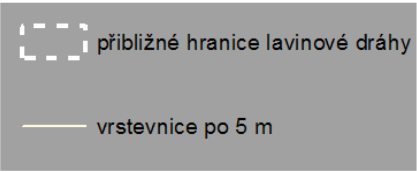
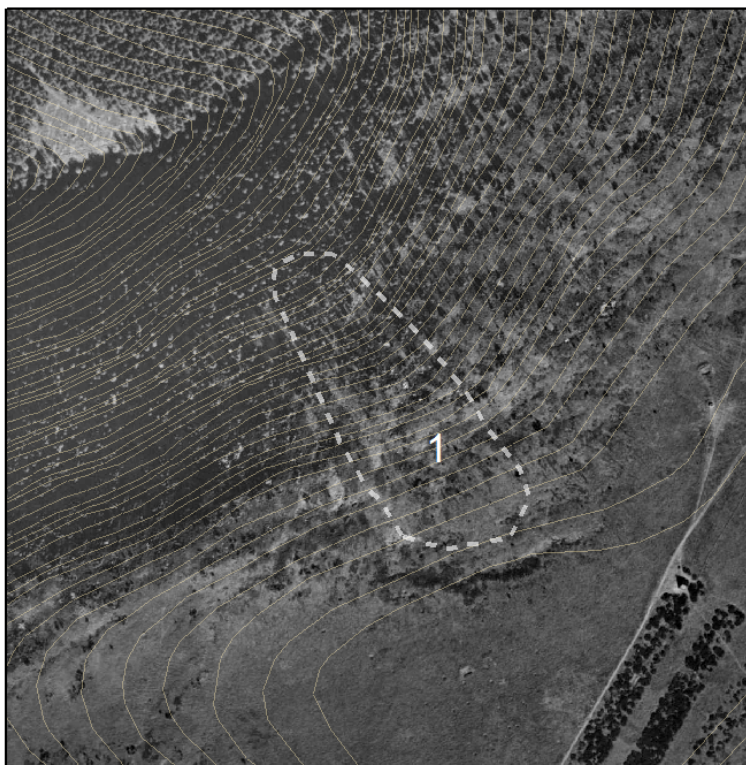
Obr. 19: Lavinové dráhy Velké kotliny



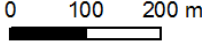
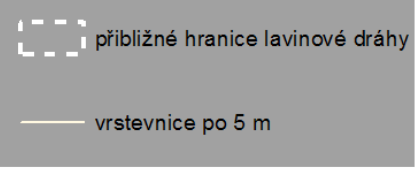
Obr.20: Lavinové dráhy Jeleního žlebu



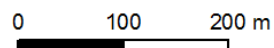
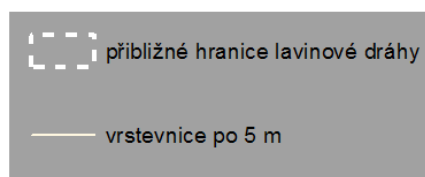
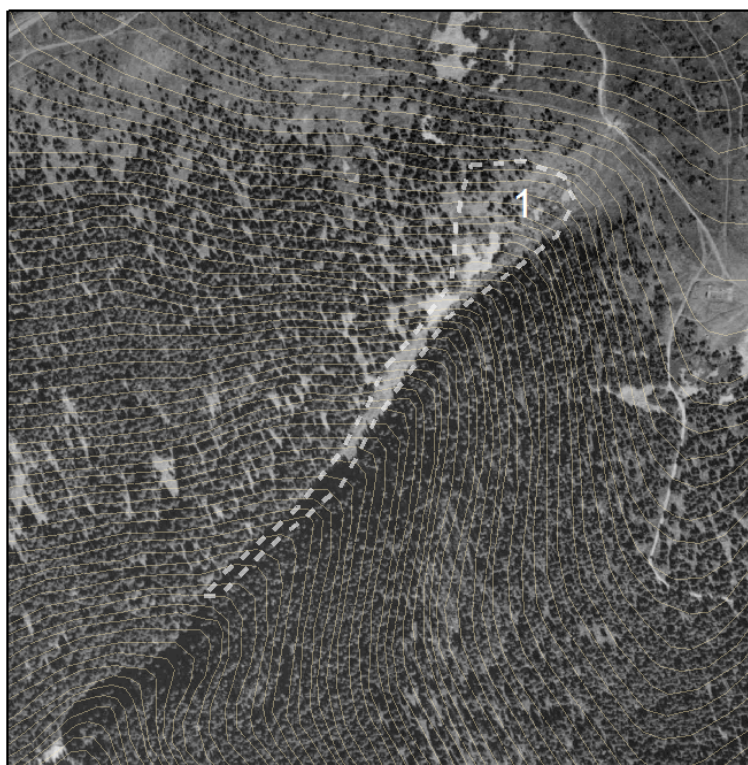
Obr. 21: Lavinové dráhy Malé kotliny



Obr. 22: Lavinová dráha Sviniho žlebu



Obr. 23: Lavinové dráhy Sněžné kotliny



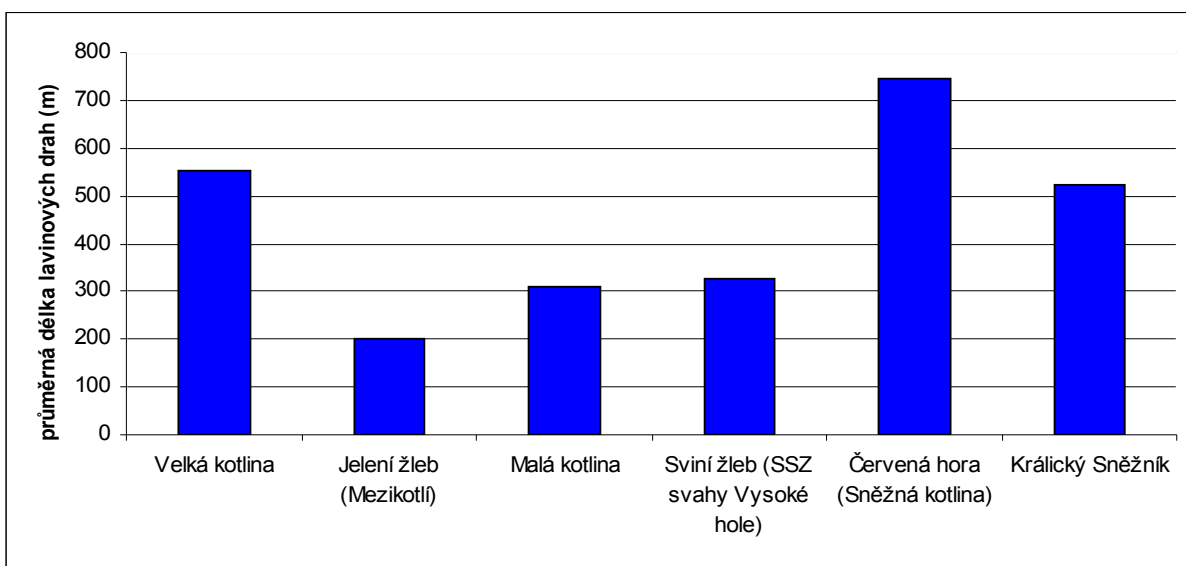
Obr. 24: Lavinová dráha Králického Sněžníku

Tab. 8: Nadmořské výšky a orientace lavinových drah východních Vysokých Sudet

č.	název lavinové oblasti	č. dráhy	max. nadm. výška (m n. m.)	min. nadm. výška (m n. m.)	orientace odtrhové zóny
1	Velká kotlina	1	1396	1125	JV
		2	1412	1125	JV
		3	1416	1125	JV
		4	1402	1125	JV
		5	1366	1125	JV
		6	1364	1125	JV
2	Jelení žleb (Mezikotlí)	1	1351	1275	JV
		2	1348	1256	JV
3	Malá kotlina	1	1353	1250	J
		2	1295	1128	JV
		3	1298	1128	JV
4	Sviní žleb (SSZ svahy Vysoké hole)	1	1455	1316	SZ
5	Červená hora (Sněžná kotlina)	1	1299	926	V
		2	1298	926	V
		3	1299	926	V
6	Králický Sněžník	1	1350	1145	J

5.5.2. Morfologie lavinových drah Hrubého Jeseníku a Králického Sněžníku

Délky lavinových drah východních Vysokých Sudet se pohybují mezi 180 a 760 m, přičemž nejvyšší jsou ve Sněžné kotlině na úpatí Červené hory a nejmenší v Jelením žlebu (Mezikotlí) (obr. 25). Délku kratší než 500 m mají ještě dráhy Malé kotliny a Sviního žlebu. Ostatní oblasti mají dráhy o délce přesahující 500 m (tab. 9). Průměrná šířka lavinových drah přesahuje 100 m pouze ve Sviním žlebu, jinde nabývá hodnot okolo 60 m. Výjimku tvoří dráhy Malé kotliny, Sněžné kotliny a Králického Sněžníku, které jsou znatelně užší (tab. 9). Nejméně protažené jsou dráhy Jeleního žlebu a Sviního žlebu (SSZ svahy Vysoké hole), o čemž svědčí koeficient protáhlosti přesahující hodnotu 0,6. Naopak nejprotáhlejší jsou dráhy Sněžné kotliny a Králického Sněžníku s koeficientem protáhlosti pod 0,3 (tab. 9).



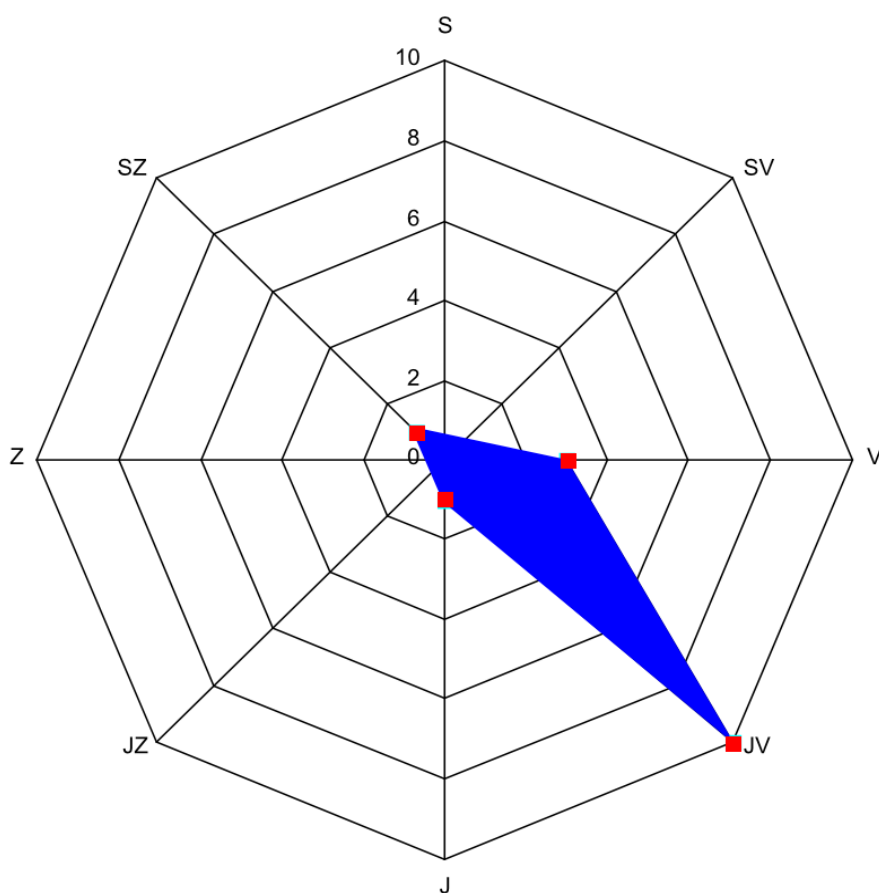
Obr. 25: Porovnání průměrných délek lavinových drah v jednotlivých oblastech východních Vysokých Sudet

Největší převýšení mezi odtrhovou a akumulací zónou mají lavinové dráhy ve Sněžné kotlině na úpatí Červené hory, naopak nejnižší převýšení bylo zjištěno v Jelením žlebu. Sklon odtrhové zóny je nejvyšší opět ve Sněžné kotlině a nejnižší ve Sviním žlebu na SSZ úpatí Vysoké hole. Průměrný sklon všech lavinových drah se pohybuje mezi 20 až 30° (tab. 9).

Tab. 9: Morfometrické charakteristiky lavinových drah východních Vysokých Sudet

název lavinové oblasti	č. dráhy	délka (m)	šířka (m)	obvod (m)	plocha (m ²)	délka/šířka	koefficient protáhlosti	převýšení (m)	sklon odtrhové zóny (°)	průměrný sklon (°)
Velká kotlina	1	640	65	1347	42222	9,85	0,36	271	21	24
	2	592	66	1329	41027	9,04	0,39	287	20	28
	3	600	54	1266	31591	11,11	0,33	291	20	28
	4	543	64	1167	34756	8,45	0,39	277	18	29
	5	447	49	988	21471	9,22	0,37	241	22	31
	6	485	43	1059	21950	11,28	0,34	239	28	28
Jelení žleb (Mezikotlí)	1	183	64	449	10726	2,88	0,64	76	20	24
	2	220	88	585	19056	2,49	0,71	92	25	24
Malá kotlina	1	210	36	479	7477	5,87	0,46	103	20	28
	2	367	29	783	9844	12,55	0,31	167	30	26
	3	356	22	757	7995	16,56	0,28	170	31	27
Sviní žleb (SSZ svahy Vysoké hole)	1	328	114	795	34683	2,88	0,64	139	11	24
Červená hora (Sněžná kotlina)	1	757	27	1607	24920	28,57	0,24	373	40	28
	2	739	24	1535	19444	30,79	0,21	372	43	29
	3	738	30	1531	23257	24,81	0,23	373	40	29
Králický Sněžník	1	524	26	1145	15915	20,55	0,27	205	36	22

Dle jednoduchého klasifikačního hodnocení (kapitola Morfologie lavinových drah na s. 17) spadá většina lavinových drah do kategorie s JV orientací, nízkým sklonem odtrhové části a střední délkou. Výjimku tvoří z hlediska orientace dráhy č. 1 v Malé kotlině a na Králickém Sněžníku orientované na jih, Sviní žleb se severozápadní orientací a Sněžná kotlina s východní orientací (obr. 26). Sklon odtrhu je obvykle nízký, pouze v jedné dráze Malé kotliny a v drahách Sněžné kotliny a Králického Sněžníku je vyšší než 30°. Lavinové dráhy Jeleního žlebu, Malé kotliny a SSZ svahu Vysoké hole mají střední délku, všechny ostatní je možné označit jako dlouhé. Typ tranzitní a akumulční zóny (sensu Butler, 1989, Corner, 1980) není možné určit na základě použitých dat.



Obr. 26: Orientace odtrhových zón lavinových drah východních Vysokých Sudet (počet lavinových drah v jednotlivých směrech)

Tab. 10: Šířka, sklon a orientace v pětínách lavinových drah východních Vysokých Sudet

Velká kotlina

č. dráhy	pozice	šířka (m)	sklon (°)	orientace/ azimut (°)
1	1	86	26	156
	2	67	32	171
	3	68	17	189
	4	39	12	201
2	1	117	25	130
	2	84	26	130
	3	22	22	165
	4	39	12	201
3	1	63	26	125
	2	51	27	122
	3	55	38	130
	4	47	24	126
4	1	77	26	119
	2	63	27	118
	3	56	35	130
	4	61	19	123
5	1	43	31	116
	2	43	48	115
	3	46	22	99
	4	62	20	122
6	1	60	35	116
	2	50	41	101
	3	31	21	69
	4	31	20	122

Sviní žleb

č. dráhy	pozice	šířka (m)	sklon (°)	orientace/ azimut (°)
1	1	128	13	337
	2	128	38	337
	3	112	23	324
	4	88	20	323

Králický Sněžník

č. dráhy	pozice	šířka (m)	sklon (°)	orientace/ azimut (°)
1	1	60	21	222
	2	17	25	232
	3	14	20	238
	4	11	35	225

Jelení žleb

č. dráhy	pozice	šířka (m)	sklon (°)	orientace/ azimut (°)
1	1	76	30	121
	2	72	19	120
	3	58	28	126
	4	48	19	126
2	1	90	23	128
	2	93	28	115
	3	90	21	117
	4	80	14	113

Malá kotlina

č. dráhy	pozice	šířka (m)	sklon (°)	orientace/ azimut (°)
1	1	51	28	165
	2	38	32	172
	3	33	24	172
	4	21	21	173
2	1	35	32	123
	2	26	28	134
	3	24	25	131
	4	32	24	126
3	1	24	33	129
	2	16	26	131
	3	19	29	127
	4	27	17	123

Sněžná kotlina

č. dráhy	pozice	šířka (m)	sklon (°)	orientace/ azimut (°)
1	1	32	27	90
	2	23	22	92
	3	21	33	93
	4	30	14	86
2	1	27	32	90
	2	18	28	97
	3	20	25	101
	4	31	14	86
3	1	39	25	97
	2	25	31	98
	3	23	29	118
	4	32	19	106

Většina trajektorií lavinových drah východních Vysokých Sudet má relativně přímý průběh (jejich orientace se obvykle nemění o více než 20°). Avšak okrajové dráhy karu Velké kotliny (č. 1, 2 a 6) mění ve své dolní části svůj směr výrazněji a stáčí se ve své čtvrté pětina směrem do centra karu pod úhlem přibližně 30° (tab. 10).

Testování závislostí mezi hodnotami jednotlivých charakteristik celých lavinových drah východních Vysokých Sudet ukázalo, že existuje očekávaná velmi silná pozitivní závislost délky a převýšení. Delší lavinové dráhy mají také vyšší sklon odtrhové zóny oproti drahám kratším. Dráhy s vyšším sklonem odtrhové zóny jsou užší oproti drahám s nižším sklonem odtrhové zóny a mají také větší převýšení. Poslední potvrzenou závislostí v souboru celkových charakteristik lavinových drah je přímý vztah průměrného sklonu a převýšení (tab. 11).

Tab. 11: Korelační koeficienty charakteristik lavinových drah východních Vysokých Sudet.

	délka	průměrná šířka	převýšení	sklon odtrhové zóny	průměrný sklon
délka	1	-0,37421	0,98123	0,547794	0,401229
šířka	-0,37421	1	-0,39672	-0,78036	-0,37142
převýšení	0,98123	-0,39672	1	0,54193	0,559658
sklon odtrhové zóny	0,547794	-0,78036	0,54193	1	0,173851
průměrný sklon	0,401229	-0,37142	0,559658	0,173851	1

Významné závislosti jsou zvýrazněny tučně.

Při testování závislosti charakteristik naměřených na profilech po pětinach celkových délek lavinových drah bylo zjištěno, že sklon lavinových drah se směrem do níže položených částí svahu zmenšuje, nejvíce pak ve Velké, Malé a Sněžné kotlině (tab. 12 a 13). Sklon snižující se v závislosti na pozici ve svahu byl potvrzen pouze změnou mezi nejnižší pozicí a zbylými pozicemi, na pozicích 1 - 3 se významně nemění (obr. 27). Jednocestná analýza rozptylu testovaná F-testem neprokázala obecné zmenšování šířky lavinových drah směrem ze svahu, rozptyly hodnot na jednotlivých pozicích se značně překrývají (obr. 28). Šířka lavinových drah se zmenšuje směrem ze svahu signifikantně ve Velké Kotlině, ve Sviním žlebu na SSZ svahu Vysoké hole a na Králickém Sněžníku (tab. 13). Orientace drah se v závislosti na pozici ve svahu se významně nemění, pozorovatelná je pouze jejich mírná pravotočivá tendence (obr. 29).

Tab. 12: Korelační koeficienty charakteristik v pětinach lavinových drah východních Vysokých Sudet

	pozice	šířka	sklon	orientace
pozice	1	-0,26963968	-0,4445	0,046146
šířka	-0,2696	1	-0,05948	0,429579
sklon	-0,4445	-0,05947613	1	-0,13076
orientace	0,04615	0,42957887	-0,13076	1

Významné závislosti jsou zvýrazněny tučně.

Tab. 13: Korelační koeficienty charakteristik v pětínách jednotlivých lavinových drah východních Vysokých Sudet

Velká kotlina

	pozice	šířka	sklon
pozice	1	-0,5347	-0,50899
šířka	-0,5347	1	0,084882
sklon	-0,50899	0,084882	1

Jelení žleb

	pozice	šířka	sklon
pozice	1	-0,4854	-0,6247
šířka	-0,4854	1	0,093787
sklon	-0,6247	0,093787	1

Malá kotlina

	pozice	šířka	sklon
pozice	1	-0,37966	-0,82645
šířka	-0,37966	1	0,224407
sklon	-0,82645	0,224407	1

Sviní žleb

	pozice	šířka	sklon
pozice	1	-0,92881	0,073521
šířka	-0,92881	1	0,247709
sklon	0,073521	0,247709	1

Červená hora (Sněžná kotlina)

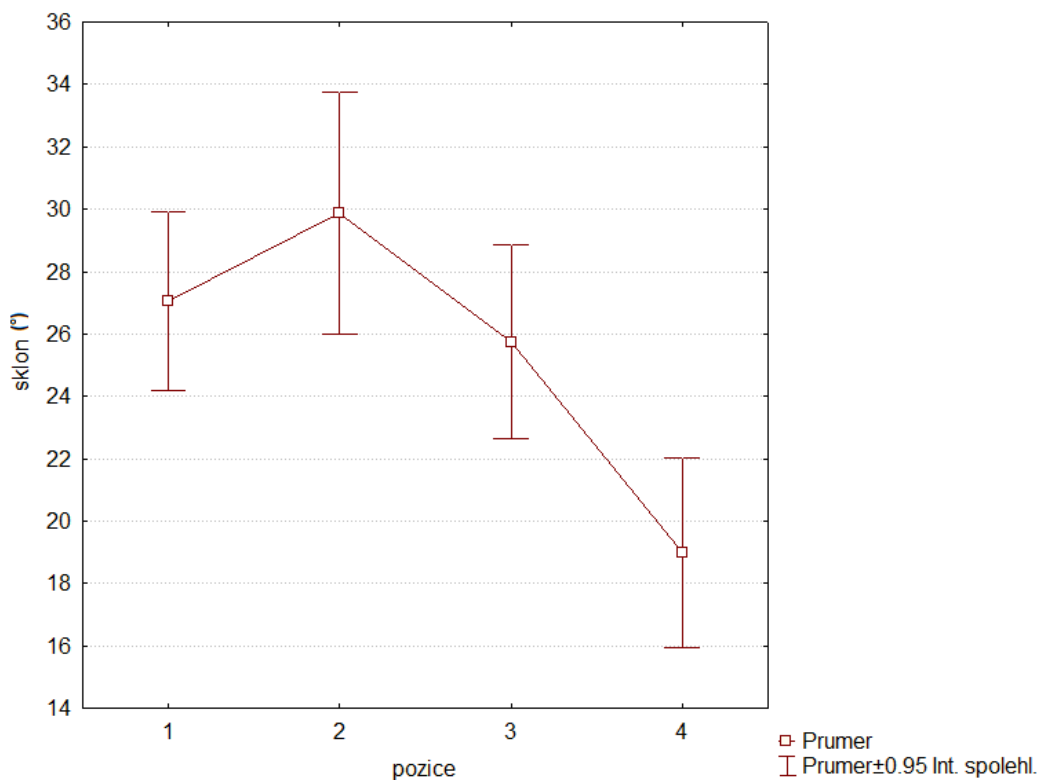
	pozice	šířka	sklon
pozice	1	-0,10706	-0,62867
šířka	-0,10706	1	-0,42589
sklon	-0,62867	-0,42589	1

Králický Sněžník

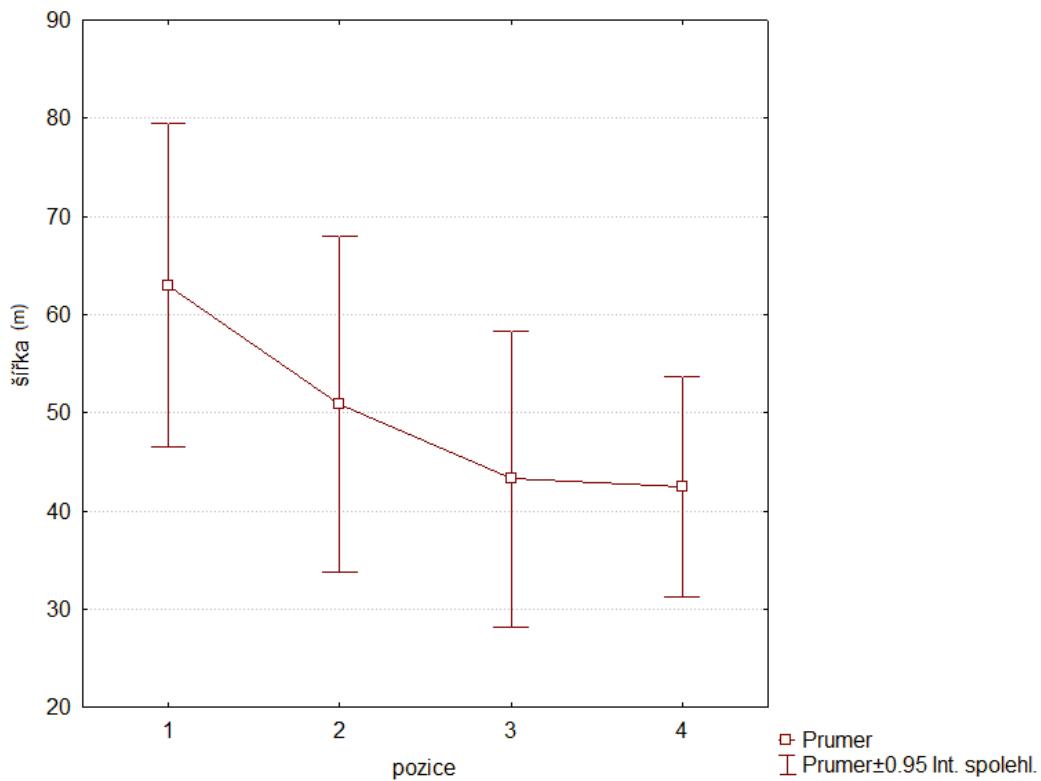
	pozice	šířka	sklon
pozice	1	-0,83722	0,697369
šířka	-0,83722	1	-0,47444
sklon	0,697369	-0,47444	1

Významné závislosti jsou zvýrazněny tučně.

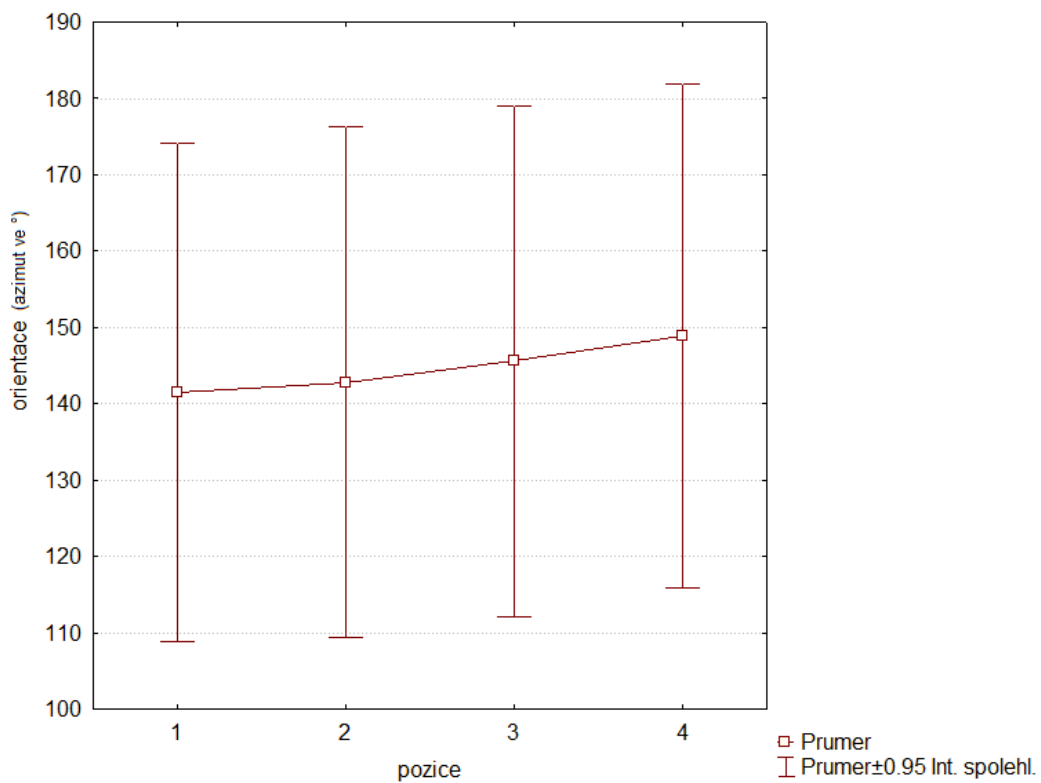
Obr. 27: Závislost průměrů sklonů na pozici



Obr. 28: Závislost průměru šířky na pozici



Obr. 29: Závislost průměru orientace (azimutu) na pozici



6. DISKUZE

6.1. Lavinové dráhy velehor a středohor

Jak vyplývá z použité literatury, lavinové dráhy bývají studovány především ve velehorských oblastech. Středohorské oblasti hercynské Evropy (např. Vogézy, Harz či Sudety) mají celkově jiný charakter, což se projevuje i v lavinové aktivitě (Jeník, 1961). Jsou charakterizovány oproti velehorám nižší frekvencí pádů lavin, nižším počtem lavinových drah a jejich obvykle menšími rozměry. V alpském prostředí mohou lavinové dráhy dosahovat délek v řádu několika kilometrů (Kellerer-Pirklbauer et al., 2011), oproti tomu středohorské dráhy Sudet či pohoří Cairngorm ve Skotsku mají průměrné délky v řádu stovek metrů (tab. 14), což je ovlivněno délkou svahů ve velehorském prostředí. Sklonové poměry jsou v různých lokalitách podobné, průměrný sklon drah se pohybuje okolo 30°. Přebírající orientace se v různých oblastech liší, avšak v pohořích alpského typu se častěji vyskytuje orientace severní (na jižní polokouli jižní) s většími teplotními amplitudami. Tvary (lavinové jazyky, kužely) v akumulací zóně středohorských lavinových drah bývají menší a méně vyvinuté či dokonce obtížně pozorovatelné (Kociánová et al., 2004).

Tab. 14: Porovnání hodnot charakteristik lavinových drah popsanych v literatuře

Zdroj	Stát	Lokalita	Typ pohoří	Prům. délka (m)	Prům. sklon (°)	Přebírající orientace
Vrba (1964)	Česko	Západní Vysoké Sudety	se zarovnanými povrchy	411	27	J
Vrba a Spusta (1975)	Česko	Západní Vysoké Sudety	se zarovnanými povrchy	540	33	JV, S
Butler (1979)	Kanada	Glacier NP, British Columbia	alpský	960	28	JV, J, SZ
Corner (1980)	Norsko	Troms	alpský	nelze zjistit	29	V, J
Gardner (1983)	Kanada	Mt. Rae, Alberta	alpský	není použita	30	V
Fitzharris a Owens (1984)	Nový Zéland	Fiordland	alpský	není použita	48	SV, JV
Ackroyd (1987)	Nový Zéland	Torlesse Range	alpský	400	32	J
Bell, Gardner, De Scally (1990)	Pákistán	Kaghan Valley, Himaláje	alpský	700	24	S, SZ
Luckman (1992)	Skotsko	Lairig Ghru	se zarovnanými povrchy	300	35	není použita
Simpson et al. (2007)	Kanada	Glacier NP, British Columbia	alpský	370	30	není použita
Voiculescu (2009)	Rumunsko	Fagaras - Balea	alpský	není použita	30	SV, V
Johnson a Smith (2010)	Kanada	Central Coast Mts., Cascade Mts., Rocky Mts.	alpský	720	není použit	V, JZ, SZ
Kellerer-Pirklbauer, Slupetzky, Avian (2012)	Rakousko	Vysoké Taury	alpský	2500	26	V
tato práce (2013)	Česko	Východní Vysoké Sudety	se zarovnanými povrchy	480	27	JV

* není použita – ve zdroji není charakteristika uvažována, nelze zjistit – ve zdroji je charakteristika diskutována, ale nelze zjistit její hodnota

Přesto je klíčové použít poznatky z velehorských oblastí ke studiu lavinových drah našich středohor, pouze je třeba si uvědomit odlišnosti reliéfu. Velehorské lavinové dráhy jsou patrně závislé na orientaci především z důvodů podmínek pro metamorfózu sněhu danou expozicí vůči slunečnímu svitu, nikoliv však tolik na přebírajícím směru větru jako v Sudetech. Poloha v závětrí

je tedy v Sudetech klíčová, protože představuje prostor akumulace sněhu eolicky transportovaného z hřebenových partií. V obou případech se lavinové dráhy převážně vyskytují v glaciálně či nivačně (kary, nivační deprese) přemodelovaném reliéfu s velkým převýšením či na prudkých údolních svazích zejména v oblastech údolních uzávěrů. Prudké údolní svahy horských oblastí ovšem umožňují vznik lavinových drah i mimo glaciálně či nivačně přemodelované údolní uzávěry, většinou se však jedná o svahy, kde vegetace nebrání vzniku lavin. Vymýcením lesa může dojít k vytvoření nových či reaktivaci v minulosti aktivních lavinových drah, jako je tomu například ve Studeném kolenu v Krkonoších (Spusta a Kociánová, 1998), na několika lokalitách v Moravskoslezských Beskydech (Kříž, 1995b), ale i v Hrubém Jeseníku v Jelením žlebu. Příčinou vzniku a existence lavinových drah jsou tak činitele paleogeomorfologické, klimatické a vegetační. Paleogeomorfologické činitele vytváří prostředí vhodné pro lavinovou aktivitu, která je následně podmíněna klimatickými a vegetačními faktory (dostatek sněhové pokrývky, bezlesý prostor).

6.2. Poznámky k metodice analýzy ve východních Vysokých Sudetech

Morfologická analýza v GIS byla provedena pouze pro 6 základních lavinových oblastí východních Vysokých Sudet, se kterými v lavinovém katastru pracuje též Horská Služba. Oblasti na severozápadním úpatí Vysokoholského hřbetu (Kříž, 1995) s výjimkou Sviního žlebu nejsou prokazatelně klasickými lavinovými drahami (které by byly morfologicky patrné a zároveň, které by ovlivňovaly svoje okolí), protože k pádům lavin zde může teoreticky docházet pouze při velmi ojedinělých situacích, a tak je morfologický vývoj těchto částí svahu určován obvyklými svahovými procesy. Přestože severozápadní svahy Vysokoholského hřbetu vykazují proti jihovýchodním vyšší hodnoty sklonu, vlivem anemo-orografických systémů Merty a Divoké Desné (Jeník, 1961) se zde zpravidla nehromadí velké množství sněhu jako v závětrných partiích na jihovýchodním úpatí, kde se vyskytují lavinové dráhy Velké kotliny, Jeleního žlebu a Malé kotliny (Piňosová, 1986 in Maděra et al., 2011). Lavinová oblast zmíněná Navrátilem (2005) v údolním úzávěru Javořického potoka pod vrcholem Šeráku a znázorněná Tremlem (2009) v Atlasu krajiny ČR má sice vzhledem k anemo-orografickému systému Branné vhodnou orientaci, nicméně neexistují zde žádné doklady o pádech lavin. V úzávěru údolí Wielki Lej na východním úbočí Králického Sněžníku je na leteckých měřických snímcích zřetelně snížená horní hranice lesa o cca 100 m (obr. 18 na s. 35). Zmíněná oblast však není na rozdíl od úzávěru Javořického potoka uvažována v literatuře. Není zároveň vyloučeno, že za příznivých sněhových podmínek mohou padat laviny i v jiných místech, například na uměle odlesněných prudkých svazích, jako tomu je v Beskydech (Kříž, 1995), ostatně první doložená zmínka o lavinovém neštěstí v Hrubém Jeseníku je z Borového dolu, kde dnes roste zapojený les (Charvát, 2007).

Při práci bylo také obtížné definovat hranice lavinových drah, neboť nejsou natolik morfologicky výrazné, aby byly jednoznačně vymezené na základě leteckých měřických snímků, natož v digitálním modelu reliéfu. Navíc je morfologická nejednoznačnost dána objektivně i tím, že laviny zde nepadají často, a nejsou ani soustředěny do jednoho koridoru. Typickým příkladem je oblast Mezikotlí (Křížek in verb., 2013). Díky relativně nízké frekvenci lavin tedy nejsou příliš patrně vyvinuty žlaby v tranzitních zónách. Proto je nutné přiznat možný vznik nepřesností při získávání metrik z distančních dat. Zejména šířka nemusí být přesně určena, převážně v místech, kde hranici lavinové dráhy netvoří vysoká vzrostlá vegetace. Některé druhy dřevin (např. *Betula carpatica*) mohou lavinovým pohybům odolávat a v lavinové dráze přetrvávat, což činí vymezení dráhy ještě složitějším. Také délka a sklon v odtrhové zóně nemusí být změřeny přesně, protože některé drobné elevační výchyly nemusí DMÚ 25 zahrnovat (např. odtrhová část dráhy Sviního žlebu, kde je na leteckých měřických snímcích zřetelný elevační stupeň, ovšem model reliéfu v místě vykazuje velmi nízký sklon). Z důvodu relativně nízké frekvence lavin a s tím spojeného relativně menšího objemu transportovaných svahovin oproti vysokohorským oblastem a možné různé délce základových lavin v rámci jedné lavinové dráhy, které mohou například akumulovat svahoviny i v tranzitní zóně, také není na základě měřických snímků možné přesně definovat hranice mezi odtrhovou, tranzitní a akumulační zóny, protože nejsou zřetelné. Pro určení charakteristik v různých částech drah bylo tedy zvoleno rozdělení drah na pětiny rozdělené čtyřmi body, ve kterých proběhlo měření (pozice 1 - 4 směrem ze svahu) tak, že lze předpokládat pozici 1 zhruba na konci odtrhové části, pozice 2 a 3 v části tranzitní a pozici 4 již na začátku části akumulační. Pro přesné vyjádření parametrů jednotlivých drah, zejména pro klasifikaci hranic a typů tranzitní a akumulační zóny, by bylo žádoucí provést terénní měření zachycující bližší detaily reliéfu, než je možné získat z dat DMÚ 25 a leteckých měřických snímků.

6.3. Srovnání lavinových drah východních a západních Vysokých Sudet

V porovnání s Krkonošemi je v Hrubém Jeseníku a Králickém Sněžníku nižší počet lavinových oblastí. V Krkonoších dosahuje maximální délka lavinových drah přes 1 km (některé dráhy v Obřím, Dlouhém a Labském dole) (Spusta a Kociánová, 1998), což je o 300 m více než v Hrubém Jeseníku (Sněžná kotlina). Většina drah v Krkonoších se však pohybuje délkově mezi 200 a 500 m, což jsou hodnoty podobné jako v Hrubém Jeseníku a Králickém Sněžníku. Spusta a Kociánová (1998) uvádějí u všech západosudetských drah sklon výrazně přes 30°, východosudetské dráhy mají sklon nižší. Kromě oblasti ve Sviním žlebu mají všechny lavinové dráhy Hrubého Jeseníku a Králického Sněžníku orientaci v kvadrantu V-J (obr. 26 na s. 42), což představuje odlišnou situaci oproti Krkonoším, kde se vyskytuje značná část drah se severní orientací (Spusta a Kociánová, 1998). V obou pohořích téměř neexistují dráhy s orientací západní. Orientace lavinových drah vyplývá především z příčin anemo-orografických systémů popsanych Jeníkem (1961). Ze stejných důvodů jsou lavinové oblasti východních Vysokých Sudet velmi

významnými lokalitami z pohledu botanického i zoologického. Lavinová aktivita a závětrné prostory umožňují výskyt vzácných druhů rostlin i živočichů (Jeník, 1961). Přestože byla v minulosti diskutována otázka přirozenosti lavinových pohybů a bylo argumentováno, že k němu dochází vlivem snížení horní hranice lesa člověkem (Maděra et al., 2011), je na základě poznatků různých výzkumů dokládajících dlouhodobou přítomnost rostlinných a živočišných druhů vázaných na lavinové dráhy (např. Jeník, 1961) zřejmé, že lavinová aktivita je v Sudetech přirozená po celé období holocénu.

Zmíněný nižší počet lavinových drah východních Vysokých Sudet oproti západním může být zapříčiněn i jinými faktory, než je menší rozloha nejvyšších partií pohoří. Významný může být západo-východní gradient kontinentality, se kterým souvisí nižší úhrn srážek a vyšší nadmořská výška horní hranice lesa (Banaš et al., 2001). Sklonové poměry svahů jsou na mnoha místech východních Vysokých Sudet dokonce příznivější než v lavinových drahách, svahy jsou ale do vyšších nadmořských výšek pokryty lesem, a tak zde nemohlo dojít k vytvoření lavinových drah. Dráhy se severní orientací se ve východních Vysokých Sudetech patrně nevyskytují z důvodu nevhodné pozice v rámci anemo-orografických systémů. Severozápadní svahy Vysokoholského hřebetu spadají do uzávěrů vodících údolí, tudíž je odsud sních dlouhodobě odfoukáván na opačnou stranu hřebenu. Na jiných místech východních vysokých Sudet je délka horní hranice lesa na severním úpatí hřebene velmi krátká a nezahrnuje dostatečně prudké svahy (Malý Děd, Červená hora, Králický Sněžník). Přestože se dnes klimatické poměry západních a východních Sudet příliš neliší, v glaciálech tomu bylo pravděpodobně jinak mimo jiné i díky odlišné konfiguraci pevniny v Evropě. Díky nižším srážkám v kontinentálnějších východních Vysokých Sudetech nedošlo ke srovnatelně výraznému glaciálnímu a nivačnímu přetvoření reliéfu.

6.4. Lavinové oblasti východních Vysokých Sudet a jejich porovnání

Zjištění vlastností akumulčních a erozních tvarů v lavinových drahách je velmi obtížné na základě distančních dat, avšak dle informací o relativně nízké četnosti lavin (Návrátil, 2005, Charvát, 2007) či dostupných fotografií z terénu je možné konstatovat, že žlaby v tranzitních zónách jsou vyvinuty zejména v drahách s menší šířkou a vyšší četností lavin, ale i ostatních procesů jako jsou mury či fluviální eroze (například Velká a Sněžná kotlina). Ve zmíněných oblastech také dráhy překonávají skalní výchozy představující stupně. Tvar akumulční zóny, pokud je vyvinut, tvoří výhradně jazyky (sensu Corner, 1980), vodou vyplněné jámy se nevyskytují.

Z výsledků práce vyplývá, že největší lavinovou oblastí východních Vysokých Sudet je Velká kotlina s 6 lavinovými drahami o délce obvykle přesahující 500 m. Vzrostlé dřeviny se v tranzitní části drah vyskytují velmi řídko nebo se vyskytují jejich lavinové formy, což svědčí o časté lavinové aktivitě, která je ostatně potvrzována i v literatuře (Návrátil, 2005, Charvát, 2007). Jelení žleb zahrnuje 2 krátké lavinové dráhy v uzávěru údolí Volárky, které ovšem nemají potenciál pokračovat dále a snižovat horní hranici lesa, protože sklon v jejich dolní části klesá pod 20°. Větší

šířka obou drah je dána polohou celých drah nad horní hranicí lesa a nepřítomností žlabů. Malá kotlina je z části pokryta mladším smrkovým porostem, který patrně vyrostl v době, kdy byla lavinová aktivita utlumena přítomností borovice kleče (*Pinus mugo*) v odtrhové části lavin. Severní část stěny údolního uzávěru je delší než zbylá část, a tak lze předpokládat, že před zalesněním mohla být dráha č. 1 delší. Je pravděpodobné, že po odstranění kleče se lavinová aktivita obnoví v plné míře na úkor vzrostlejší vegetace. Sviní žleb je značně nevyvinutá lavinová dráha, na měřickém snímku je však patrný malý výškový stupeň v oblasti odtrhové části, který je zřejmě příčinou akumulace sněhu a občasných pádů lavin do parkové horní hranice lesa. Šířka této lavinové dráhy není jednoznačná podobně jako u drah Jeleního žlebu. Lavinové dráhy Sněžné kotliny se odlišují od drah Vysokoholského hřbetu v mnoha ohledech. Mají znatelně větší sklon odtrhové části a zřetelné relativně úzké žlaby zasahující hluboko pod horní hranici lesa, které se spojují dohromady a zasahují až pod úroveň 1000 m n. m. Délka žlabů přesahuje 700m, což z nich činí nejdelší lavinové dráhy východních Vysokých Sudet. Dráha na Králickém Sněžníku je, podobně jako dráhy na Červené hoře, poměrně úzká a zasahuje hluboko pod horní hranici lesa. Sklon odtrhové části je zde také relativně vysoký (přes 30°). Zároveň se zde ukazuje potvrzená nepřímá závislost šířky a sklonu odtrhové zóny.

Dle výsledků se s klesající nadmořskou výškou zužují lavinové dráhy nejvíce ve Velké kotlině, ve Sviním žlebu a na Králickém Sněžníku. Mimo jiné i proto, že jsou v jiných ohledech (délka, šířka, sklon, plocha) zmíněné dráhy poměrně odlišné, lze obtížně najít společnou příčinu zužování drah. Ve Velké kotlině jsou dráhy ve své spodní části ovlivněny morfologií karového dna částečně přemodelovaného také fluviální erozi, což pravděpodobně dráhy usměrňuje do užších koridorů. Na Králickém Sněžníku nekončí dráha na dně karu, nýbrž v prudké fluviální strži, a nepokračuje dále zřejmě jen díky vzrostlému lesu, který má zjevně také vliv na její zužování. Sviní žleb na SSZ úpatí Vysoké hole však neleží přímo v údolním uzávěru, tudíž není patrně příliš ovlivněn fluviální erozí. Také les zde neohraničuje dráhu zřetelně, takže je možné odhadnout, že vysoká hodnota korelačního koeficientu vztahu šířky a pozice ve svahu může být způsobena vlivem nejednoznačné hranice lavinové dráhy.

Výsledky také potvrdily, že sklon klesá v závislosti na pozici ve svahu nejvíce ve Velké kotlině, Malé kotlině a ve Sněžné kotlině. Pomocí jednocestné analýzy rozptylu bylo také zjištěno, že významně se sklon snižuje pouze v nejnižších partiích lavinových drah Hrubého Jeseníku a Králického Sněžníku. Údolní uzávěry ve všech třech zmíněných lokalitách mají ze všech východosudetských lavinových oblastí tvar nejbližší karu, či dokonce v případě Velké kotliny jsou karem (Křížek et al., 2012). Nižší sklon v dolní části drah patrně poukazuje na fakt, že se laviny zastavují až na dně karu či nivační deprese.

Typologicky lze ve východních Vysokých Sudetech vyčlenit dvě skupiny lavinových drah se společnými znaky. Oblast Vysokoholského hřbetu má nejrozsáhlejší plochu alpského bezlesí východních Vysokých Sudet, což umocňuje eolický transport velkého množství sněhu v rámci

anemo-orografických systémů Merty a Divoké Desné (Jeník, 1961). Lavinové dráhy (zejména na JV úpatí) jsou zde relativně široké i v případě, kdy zasahují pod horní hranici lesa a sklon jejich odtrhových částí je poměrně nízký (cca. 20°), což umožňuje pád lavin pouze při velké mocnosti sněhu, která se zde pravidelně vyskytuje. Naopak lavinové dráhy Červené hory (Sněžná kotlina) a Králického Sněžníku mají vyšší sklon odtrhové části přesahující 30°, což svědčí o faktu, že sklon svahu zde hraje při odtrhu lavin patrně důležitější roli než výška sněhu v porovnání s Vysokoholským hřbetem. Rozloha alpského bezlesí na Červené hoře a Králickém Sněžníku je neporovnatelně menší, tudíž zde nemůže pravidelně docházet k akumulaci srovnatelné mocnosti sněhu jako na JV úpatí Vysokoholského hřbetu. Existuje tak patrně vztah mezi rozlohou přilehlé části alpského bezlesí na hřebenech, odkud je eolicky transportován sníh do odtrhové zóny, a parametry dráhy jako je sklon či šířka.

6.5. Faktory polohy a morfologie lavinových drah východních Vysokých Sudet

Všechny lavinové dráhy Hrubého Jeseníku a Králického Sněžníku se s výjimkou Sviního žlebu nachází v údolních uzávěrech. Jedním ze základních faktorů výskytu lavinových drah je tak reliéf modelovaný fluvialní erozí a svahovými procesy. Sklon svahu přesahuje 20° a nadmořská výška odtrhových zón se pohybuje od 1300 m výše. Dalším významným faktorem je vegetace, a sice zapojený les, který zabraňuje lavinové činnosti mimo alpské bezlesí či horní hranici lesa. Lavinovou činností je alpské bezlesí v lavinových drahách sníženo. Klimatické faktory zahrnují jednak dostatečnou výšku sněhové pokrývky a teplotní kolísání podstatné pro vznik základových lavin, ale také převládající směry větrů. Lavinové dráhy se vyskytují v závětrných prostorách anemo-orografických systémů (sensu Jeník, 1961), kde dochází k akumulaci eolicky transportovaného sněhu z vrcholového etchplénu. Ve východních Vysokých Sudetech se závětrné prostory nachází převážně v jihovýchodní orientaci, což ukazuje na fakt, že orientace je důležitější z hlediska směru větru, nikoliv v první řadě sněhové matamorfózy (na rozdíl od velehorských drah). Souhrn všech výše uvedených polohových faktorů ovlivňuje četnost pádů lavin (Jeník, 1961), která představuje další faktor důležitý pro morfologii lavinových drah. Dráhy s četnějším výskytem základových lavin se vyznačují výraznějšími tvary tranzitní a akumulační zóny, čili žlaby a kužely (sensu Luckman, 1977).

6.6. Fluviální a svahové procesy v lavinových drahách východních Vysokých Sudet

Morfologie lavinových drah není vytvářena pouze lavinami, ale může být modifikována množstvím dalších procesů, zejména fluviálními a svahovými procesy. Fluviální eroze v údolních uzávěrech, kde se lavinové dráhy nejčastěji nacházejí, vytváří erozní rýhy, které mohou sloužit jako lavinové žlaby. Zároveň může fluviální eroze narušovat akumulární části lavinových drah a zhlazovat tak podélný profil. Nejzřetelněji jsou vodní erozí ovlivněné patrně dráhy, kterými protéká stálý vodní tok, kdy typickým příkladem je dráha na Králickém Sněžníku, která je v celé délce protékána Moravou pramenící nad úrovní samotné dráhy. V ostatních oblastech se prameniště vodních toků nacházejí převážně ve spodních částech lavinových drah, a tak fluviální eroze působí na celou dráhu zejména při vydatných srážkových úhrnech. Potenciálně nejméně zasaženou lavinovou drahou z hlediska vodní eroze je Sviní žleb, který neleží v údolním uzávěru.

Ze svahových procesů přetvářejí morfologii lavinových drah nejvýrazněji mury. Tvary vzniklé murami jsou velmi podobné lavinovým, pouze jsou členitější a vznikají obvykle na prudších svazích (Luckman, 1992), což vylučuje jejich přítomnost v drahách s nižším sklonem. Podle Maděry et al. (2011) dochází v lavinových drahách (ovšem také v mnoha dalších oblastech Hrubého Jeseníku) ke komplexním svahovým deformacím, murám, mělkým sesuvům či ploužení suti. Z oblastí Vysokoholského hřbetu je neaktivnější Velká kotlina se skalními tvary, kde může docházet i ke skalnímu řícení, v Malé kotlině dochází k mělkým sesuvům. Nejvýznamnější lavinovou oblastí s výskytem svahových pohybů je Sněžná kotlina se všemi výše vyjmenovanými pohyby. Podle Malika a Owczarka (2009) jsou v oblasti na základě dendrogeomorfologického výzkumu mury četnější než laviny. Momentálně neaktivnější ve Sněžné kotlině je lavinová dráha č. 3, která byla patrně výrazně modelována murou při velkých srážkových úhrnech v roce 1921, od kdy zde došlo k pádům dalších minimálně 5 mur. Naproti tomu laviny jsou prokazatelně datovány pouze v letech 1994 a 2004.

Svahové procesy v jednotlivých lokalitách lavinových drah nebyly dosud příliš studovány. Nejprozkoumanější lokalitou je Červená hora (Sněžná kotlina), naproti tomu z Králického Sněžníku nejsou o ostatních procesech žádné zmínky, i když je patrné, že lavinová dráha mohla být formována mimo jiné i murami. Z dostupných údajů je možné vyvodit, že jednotlivé lavinové dráhy východních Vysokých Sudet se liší i v zastoupení svahových pohybů, které v nich probíhají.

7. ZÁVĚR

V obecném měřítku je možné vyvodit následující nejdůležitější závěry:

- Lavinová dráha je tvar reliéfu, který je modelovaný zejména činností základových lavin, ale i dalších svahových pohybů.
- Vznik a výskyt lavinových drah je podmíněn lavinovou činností, jíž podmiňují:
 - a) vysokohorský či středohorský reliéf s glaciálním či výrazně nivačním a fluviálním přemodelováním zahrnující svahy o sklonu přes 20°,
 - b) dostatečný přísun sněhových srážek, případně jejich eolická redistribuce,
 - c) bezlesé partie.
- Lavinovou dráhu je možné podélně rozdělit na odtrhovou, tranzitní a akumulaciční část.
- Lavinové dráhy jsou v literatuře nejčastěji popisovány pomocí orientace, délky a sklonu.

Pro lavinové dráhy východních Vysokých Sudet platí:

- Celkem bylo na základě literatury vyčleněno 16 lavinových drah v 6 lavinových oblastech: Velká kotlina, Jelení žleb, Malá kotlina, Sviní žleb, Sněžná kotlina a Králický Sněžník.
- Mimo zmíněné oblasti se ve východních Vysokých Sudetech vyskytují i další 2 svahy s potenciální lavinovou aktivitou: údolní uzávěr Javoříckého potoka na úpatí Šeráku a údolní uzávěr Wielki Lej na úpatí Králického Sněžníku.
- Oproti velehorským lavinovým drahám nabývají středohorské lavinové dráhy východních Vysokých Sudet menších rozměrů a nižší lavinové aktivity. Také oproti regionu západních Vysokých Sudet jsou patrné rozdíly v počtu a aktivitě lavinových drah.
- Výskyt lavinových drah je vázán na závětrné turbulentní prostory anemo-orografických systémů nad úrovní horní hranice lesa.
- Převažují lavinové dráhy s JV orientací, relativně nízkým sklonem odtrhové části (20 - 30°) a střední délkou (200 - 400 m).
- Lavinovou oblastí s největším počtem lavinových drah a nejčetnější lavinovou aktivitou je Velká kotlina. Nejdelší lavinové dráhy (až 700 m) jsou ve Sněžné kotlině.
- Sklon lavinových drah se v nejnižších partiích snižuje, zejména pak ve Velké, Malé a Sněžné kotlině. Šířka se směrem ze svahu snižuje ve Velké kotlině, Sviním žlebu a na Králickém Sněžníku.
- Lavinové dráhy s vyšším sklonem odtrhové zóny jsou delší a užší než dráhy s nižším sklonem odtrhové zóny.

- Lavinové dráhy Vysokoholského hřbetu přilehlé k relativně velké ploše alpínského bezlesí mají zpravidla nižší sklon odtrhové zóny a menší délku než lavinové dráhy Sněžné kotliny a Králického Sněžníku, které přiléhají k relativně nižší ploše alpínského bezlesí.
- V lavinových drahách východních Vysokých Sudet probíhají kromě lavin i další svahové procesy jako jsou mury, mělké sesuvy a ploužení suti.

8. POUŽITÉ ZDROJE

8.1. Literatura

ACKROYD, P. (1987): *Erosion by Snow Avalanche and Implications for Geomorphic Stability, Torlesse Range, New Zealand*. Arctic and Alpine Research 19/1, s. 65 - 70.

BADURA, J., ZUCHIEWICZ, W., ŠTĚPANČIKOVÁ, P., PRZYBYLSKI, B., KONTNY, B., CAGOŇ, S. (2007): *The Sudetic Marginal Fault: A young morphotectonic feature at the NE margin of The Bohemian Massif, Central Europe*. Acta Geodynamica et Geomaterialia 4/4, s. 7 - 29.

BALATKA, B., KALVODA, J. (2006): *Geomorfologické členění reliéfu Čech*, Kartografie Praha, Praha, 68 s., 3 mapy.

BANAŠ, M., TREML, V., LEKEŠ, V., KURAS, T. (2001): *Několik poznámek k determinaci alpské hranice lesa ve Východních Sudetech*. In: Létal, A., Szczyrba, Z., Vysoudil, M. (eds.): *Česká geografie v období rozvoje informačních technologií - Sborník příspěvků výroční konference ČGS, Olomouc 2001*, s. 109 - 128.

BÁRDOSSY, A., SCHMIDT, F. (2002): *GIS approach to scale issues of perimeter-based shape indices for drainage basins*. Hydrological Sciences Journal 47/6, s. 931 - 942.

BELL, I., GARDNER, J., DE SCALLY, F. (1990): *An Estimate of Snow Avalanche Debris Transport, Kaghan Valley, Himalaya, Pakistan*. Arctic and Alpine Research 22/3, s. 317 - 321.

BUREŠ, L., KOČVARA, R., KURAS, T., HRADECKÝ, J. (2009): *Problematika kleče v Hrubém Jeseníku*. In: Vítek, O. (ed.): *Analýza antropických vlivů v nejcennějších částech CHKO Jeseníky*, Praha, 160 s.

BUTLER, D. R. (1979): *Snow Avalanche Path Terrain and Vegetation, Glacier National Park, Montana*. Arctic and Alpine Research 11/1, s. 17 - 32.

BUTLER, D. R. (1989): *Subalpine Snow Avalanche Slopes*. The Canadian Geographer 33/3, s. 269 - 273.

CORNER, G. D. (1980): *Avalanche impact landforms in Troms, North Norway*. Geografiska Annaler 62 A, s. 1 - 10.

CZUDEK, T. (1997): *Reliéf Moravy a Slezska v kvartéru*. Sursum, Tišnov, 213 s.

DE QUERVAIN, M. R. ed. (1981): *Avalanche atlas*. UNESCO, Paris, 265 s.

DEMEK, J. (1988): *Obecná geomorfologie*. ČSAV, Praha, 476 s.

DEMEK, J., MACKOVČIN, P., BALATKA, B., BUČEK, A., CIBULKOVÁ, P., CULEK, M., ČERMÁK, P., DOBIÁŠ, D., HAVLÍČEK, M., HRÁDEK, M., KIRCHNER, K., LACINA, L., PÁNEK, T., SLAVÍK, P., VAŠÁTKO, J. (2006): *Hory a nížiny*. Zeměpisný lexikon ČR, 2. vydání. MŽP ČR, Brno, 582 s.

FAIRBRIDGE, R. W. (1968): *The Encyclopedia of Geomorphology*. Reinhold Book Corp., New York, 1295 s.

FIRBAS, F. (1949): *Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlich der Alpen* 1. Bd. Gustav Fischer, Jena, 480 s.

FITZHARRIS, B. B., OWENS, I. F. (1984): *Avalanche Tarns*. *Journal of Glaciology* 30/106, s. 308 - 312.

FRENCH, H. M. (2007): *The Periglacial Environment*. Wiley, Chichester, 480 s.

GARDNER, J. S. (1983): *Observations on Erosion by Wet Snow Avalanches, Mount Rae Area, Alberta, Canada*. *Arctic and Alpine Research* 15/2, s. 271 - 274.

CHARVÁT, J. (2007): *Historie lavinového výzkumu v Jeseníkách*. Dostupné na url: http://mail.kallib.cz/hs/2_6_1.php (staž. 12.4.2013)

CHLUPÁČ, I. BRZOBOHATÝ, R., KOVANDA, J., STRÁNÍK, Z. (2002): *Geologická minulost České republiky*, Praha, 436 s.

CHYTRÝ, M., KUČERA, T., KOČÍ, M. eds. (2001): *Katalog biotopů České republiky*. AOPK ČR, Praha, 305 s.

JENÍK, J. (1961): *Alpínská vegetace Krkonoš, Králického Sněžníku a Hrubého Jeseníku: teorie anemo-orografických systémů*. ČSAV, Praha, 409 s.

JOHNSON, A. L., SMITH, D. J. (2010): *Geomorphology of snow avalanche impact landforms in the southern Canadian Cordillera*. *The Canadian Geographer* 54/1, s. 87 - 103.

JOMELLI, V., FRANCOU, B. (2000): *Comparing the characteristics of rockfall talus and snow avalanche landforms in an Alpine environment using a new methodological approach: Massif des Ecrins, French Alps*. *Geomorphology* 35, s. 181 - 192.

KAVALCOVÁ, V., KAVALEC, K. (2003): *Souhrnná charakteristika přírodních poměrů CHKO Jeseníky*. In: Šafář et al. (eds): *Chráněná území ČR - Olomoucko*. AOPK ČR, Praha, s. 290 - 310.

- KELLERER-PIRKLBAUER, A., SLUPETZKY, H., AVIAN, M. (2012): *Ice-avalanche impact lanforms: the event in 2003 at the glacier Nördliches Bockkarkees, Hohe Tauern Range, Austria*. Geografiska Annaler 94 A, s. 97 - 115.
- KLIMEŠ, L., KLIMEŠOVÁ, J. (1991): *Alpine tundra in the Hrubý Jeseník Mts., the Sudeten, and its tentative developement in the 20th century*. Preslia 63, s. 245 -268.
- KOCIÁNOVÁ, M., SPUSTA, V. (2000): *Vliv lavinové aktivity na kolísání horní hranice lesa v Krkonoších*. Opera Corcontica 37, s. 473 - 480.
- KOCIÁNOVÁ, M., ŠPATENKOVÁ, I., TONDROVÁ, A., DVOŘÁK, I.A., PILOUS, V. (2004): *Základní a smíšené laviny ve vztahu k přemísťování svahovin a dynamice vegetace*. Opera Corcontica 41, s. 86 - 99.
- KRZYSZKOWSKI, D., PRZYBYLSKI, B., BADURA, J. (2000): *The role of neotectonics and glaciation on terrace formation along the Nysa Klodzka River in the Sudeten Mountains (southwestern Poland)*. Geomorphology 33, s. 149 - 166.
- KŘÍŽ, V. (1995a): *Laviny Hrubého Jeseníku, Králického Sněžniku a Moravskoslezských Beskyd*. Sborník přírodovědecké fakulty Ostravské univerzity - geografie, geologie 149/3, s. 69 - 86.
- KŘÍŽ, V. (1995b): *Laviny v Moravskoslezských Beskydech?* Geografické rozhledy 3, s. 73.
- KŘÍŽEK, M. (2007): *Periglacial landforms above the alpine timberline in the High Sudetes*. In: Goudie, A. S., Kalvoda, J. (eds.): *Geomorphological variations*. P3K, Praha, s 313 -338.
- KŘÍŽEK, M., VOČADLOVÁ, K., ENGEL, Z. (2012): *Cirque overdeeping and their relationship to morphometry*. Geomorphology 139-140, s. 495 - 505.
- LUCKMAN, B. H. (1977): *The Geomorphic Activity of Snow Avalanches*. Geografiska Annaler 59 A, s. 31 - 48.
- LUCKMAN, B. H. (1978): *Geomorphic Work of Snow Avalanches in the Canadian Rocky Mountains*. Arctic and Alpine Research 10/2, s. 261 - 276.
- LUCKMAN, B. H. (1992): *Debris Flows and Snow Avalanche Landforms in Lairig Ghru, Cairngorm Mountains, Scotland*. Geografiska Annaler 74 A, s. 109 - 121.
- LUCKMAN, B. H., MATTHEWS, J. A., SMITH, D. J., McCARROL, D., McCARTHY, D. P. (1994): *Snow Avalanche Impact Landforms: A Brief Discussion of Terminology*. Arctic and Alpine Research 26/2, s. 128 - 129.

MADĚRA, P., BUČEK, A., CULEK, M., FRIEDL, M., KIRCHNER, K., PECHÁČEK, J., ROŠTÍNSKÝ, P., SEDLÁČEK, A., ŠENFELDR, M., ŠPINLEROVÁ, Z., ŠTYKAR, J., TIPPNER, A., VAVŘÍČEK, D. (2011): Geobiocenózy horní hranice lesa a vliv porostů borovice kleče na horskou krajinu v Hrubém Jeseníku a rizika spojená s jejich odstraněním - závěrečná zpráva výzkumného projektu Grantové služby LČR, Brno, 180 s.

MALIK, I., OWCZAREK, P. (2009): *Dendrochronological records of debris flow and avalanche activity in a mid-mountain forest zone (Eastern Sudetes - Central Europe)*. *Geochronometria* 34, s. 57 - 66.

MATTHEWS, J. A., McCARROLL, D. (1994): *Snow-Avalanche Impact Landforms in Breheimen, Southern Norway: Origin, Age, and aleoclimatic Implications*. *Arctic and Alpine Research* 26/2, s. 103 - 115.

MATTHEWS, J. A., SHAKESBY, R. A., OWEN, G., VATER, A. E. (2011): *Pronival rampart formation in relation to snow-avalanche activity and Schmidt-hammer exposure-age dating (SHD): Three case studies from southern Norway*. *Geomorphology* 130, s. 280 - 288.

MÍSAŘ, Z. (1983): Lugická oblast. In: Mísař, Z., Dudek, A., Havlena, V., Weiss, J. (eds): *Geologie ČSSR I, Český masív*. SPN, Praha, s. 173 - 198..

NAVRÁTIL, R. (2005): Příspěvek ke studiu lavin v Hrubém Jeseníku. Diplomová práce, Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého v Olomouci, 80 s.

RYBNÍČEK, K., RYBNÍČKOVÁ, E. (2004): *Pollen analyses of sediments from the summit of the Praděd range in the Hrubý Jeseník Mts (Eastern Sudetes)*. *Preslia* 7, s. 331 - 347.

ŘEHÁNEK, T. (2003): Hydrologická charakteristika. In: Šafář et al. (eds.): *Chráněná území ČR - Olomoucko*. AOPK ČR, Praha, s. 54 - 63.

SEKIGUCHI, T., SATO, H. P., AKIYAMA, K. (2005): *Geomorphological Features of Avalanche Furrows in Heavy Snow Region in Japan*. *Bulletin of Geographical Survey Institute* 52, s. 37 - 47.

SCHAERER, P. A. (1972): Terrain and vegetation of snow avalanche sites at Rogers Pass, British Columbia. In: Slaymaker, O. and McPherson, H. J. (eds.): *Mountain Geomorphology*, Tantalus, Vancouver, s. 215 - 222.

SIMPSON, P., PARAMIO, J., STETKIEWICZ, M., DITTMER, A. (2007): *Asulkan Valley Avalanche Tack, Glacier National Park*. In: SMITH, D. J. (ed.): *Geography 477: Field Studies in Physical Geography*, University of Victoria, 35 s.

SLAVÍK, B. (1988): Regionálně fytogeografického členění ČSR - mapa, In: Hejný, S., Slavík, B. (eds.): *Květena ČSR I*. Academia, Praha, 557 s., mapa

- SMITH, D. J., MCCARTHY, D. P., LUCKMAN, B. H. (1994): *Snow-Avalanche Impact Pools in the Canadian Rocky Mountains*. Arctic and Alpine Research 26/2, s. 116 - 127.
- SMOLOVÁ, I. (2003): Pedologická charakteristika. In: Šafář et al. (eds.): *Chráněná území ČR - Olomoucko*. AOPK ČR, Praha, s. 64 – 67.
- SPUSTA, V. sen., SPUSTA, V. jun., KOCIÁNOVÁ, M. (2006): *Lavinový katastr české části Krkonoš v zimním období 2003/04 až 2005/06*. Opera Corcontica 43, s. 81 - 93.
- SPUSTA, V., KOCIÁNOVÁ, M. (1998): *Lavinový katastr české části Krkonoš v období 1961/62 - 1997/98*. Opera Corcontica 35, s. 3 - 205.
- SUMMERFIELD, M. A. (1991): *Global Geomorphology*. Longman, New York, 537 s.
- ŠVÁBENSKÝ O., WEIGEL, J. (2007): *Long-term positional monitoring of station VYHL of The Sněžník Network*. Acta Geodynamica et Geomaterialia 4/4, s. 201 - 206.
- TOMÁŠEK, M. (2003): *Půdy České republiky*. Česká geologická služba, Praha, 68 s., 41 příloh, mapa.
- TOUSHINSKY, G. K. (1965): *Avalanche classification and rhythms in snow cover and glaciation of the Northern Hemisphere in historical times*. In: International Symposium on Snow and Ice Avalanches, Davos, s. 382 – 393.
- TREML, V. (2009): *Lavinové dráhy*. In: Hrnčiarová, T., Mackovčin, P., Zvara, I. Et al. (eds): *Atlas krajiny České republiky*. MŽP ČR, Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, Průhonice, s. 262.
- TREML, V., JANKOVSKÁ, V., PETR, L. (2006): *Holocene timberline fluctuations in the mid-mountains of Central Europe*. Fennia 184/2, s. 107 - 119.
- TREML, V., KRÍŽEK, M. (2006): *Vliv borovice kleče (Pinus mugo) na strukturní půdy české části Vysokých Sudet*. Opera Corcontica 43, s. 45 - 56.
- TREML, V., WILD, J., CHUMAN, T., POTŮČKOVÁ, M. (2010): *Assessing the change in cover of non-indigenous dwarf-pine using aerial photographs, a case study from The Hrubý Jeseník Mts., The Sudetes*. Journal of Landscape Ecology 4/2, s. 90 - 104.
- VOICULESCU, M. (2009): *Snow avalanches potential and management of Romanian Carpathians. Case study - Balea glacial valley (Fagaras massif) - Southern Carpathians*. In: Schweizer, J., Van Herwijnen, A. (eds.): *International Snow Science Workshop, Davos 2009, proceedings*, s. 53 - 57.

VRBA, M. (1964): *Sněhová akumulace v lavinové oblasti Modrého Dolu v Krkonoších*. Opera Corcontica 1, s. 55 – 69.

VRBA, M., SPUSTA, V. (1975): *Lavinový katastr Krkonoš*. Opera Corcontica 12, s. 65 - 90.

VRBA, M., SPUSTA, V. (1991): *Lavinový katastr Krkonoš*. Opera Corcontica 28, s. 47 - 58.

VYSOUDIL, M. (2003): Klimatická charakteristika. In: Šafář et al. (eds.): *Chráněná území ČR - Olomoucko*. AOPK ČR, Praha, s. 47 - 54.

ZEIDLER, M., BANAŠ, M., DUCHOSLAV, M., LEŠKOVÁ, M. (2010): *Vliv vysazených klečových porostů na alpskou vegetaci v Hrubém Jeseníku*. Příroda 29, s. 37 - 50.

8.1. Mapové a další zdroje

DIBAVOD (2013): Digitální báze vodohospodářských dat, VÚV TGM, dostupné na URL: <http://www.dibavod.cz>

DMÚ 25: Digitální model území 1 : 25 000, VTOPÚ Dobruška

GEODIS (2001): Letecké měřické snímky

HS ČR (2013): Lavinová předpověď Jeseníky, dostupné na URL: http://www.hscr.cz/index.php?option=com_custompages&Itemid=18&task=jeseniky

NCDC NOAA (2013): Klimatická data stanice Šerák, dostupné na URL: <http://hurricane.ncdc.noaa.gov/pls/plclimprod/cdomain.abbrev2id>

Geologická mapa 1 : 50 000: ČGS, dostupné na URL: <http://www.geologicke-mapy.cz>

Půdní mapa 1 : 50 000: ČGS, dostupné na URL: <http://mapy.geology.cz/pudy>

ZM 200: Základní mapa ČR 1: 200 000, ČÚZK, dostupné na URL: <http://geoportal.cenia.cz>

8.2. Použitý software

ESRI (2010): ArcMap 10.0

Microsoft (1999): Excel 2000

StatSoft (2009): Statistica 9.0