

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geografie
Studijní obor: Fyzická geografie a geoekologie



David Krause

**MORFOLOGIE A AKTIVITA VYBRANÝCH LAVINOVÝCH
DRAH V HRUBÉM JESENÍKU A KRÁLICKÉM SNĚŽNÍKU**

The morphology and activity of selected avalanche paths
in the Hrubý Jeseník Mts. and the Králický Sněžník Mts.

Diplomová práce

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

Praha, 2015

Zadání diplomové práce

David Krause

Téma práce

Morfologie a aktivita vybraných lavinových drah v Hrubém Jeseníku a Králickém Sněžníku

Cíle práce

Cílem práce je zjistit aktivitu lavin a stanovit jejich geomorfologické projevy v Hrubém Jeseníku a Králickém Sněžníku.

Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje

Použité pracovní metody: rešerše odborné literatury, vlastní geomorfologický průzkum, geomorfologické mapování, morfometrická měření lavinových drah, dendrochronologické metody.

1. krok - výběr vhodných lavinových drah, aby byly zastoupeny oba základní typy lavinových drah /typ Sněžná kotlina a vysokoholské lavinové dráhy/ určených na základě bakalářské práce a vyskytujících se ve východních Vysokých Sudetech
2. krok – detailní geomorfologická charakteristika studovaných lavinových drah - stanovení morfologie lavinových drah na základě terénních měření, zjištění přítomnosti a charakteristika dalších geneticky odlišných tvarů vázaných na lavinové dráhy.
3. krok - odběr vhodných vzorků pro potřeby dendrochronologie
4. krok – zpracování dendrochronologického materiálu, tvorba geomorfologických map/plánů zkoumaných lavinových drah.
5. krok - analýza vztahů lavinové aktivity a klimatických poměrů, reliéfu a geomorfologických projevů lavin včetně geneticky odlišných tvarů vázaných na lavinové dráhy a určení jejich chronologie

Zájmové území: východní Vysoké Sudety - Sněžná kotlina, Králický Sněžník a oblast Vysoké hole.

Datové zdroje: informační zdroje, DMÚ 25, letecké měřičské snímky, vlastní výzkum

Datum zadání: 26. 11. 2013

David Krause

Podpis studenta

RNDr. Marek Křížek, Ph.D.

Podpis vedoucího práce

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, 13. 8. 2015

Podpis

Poděkování za cenné rady a připomínky po celou dobu přípravy diplomové práce patří vedoucímu RNDr. Marku Křížkovi, Ph. D. Za zasvěcení do dendrochronologické problematiky děkuji Mgr. Václavu Tremlovi Ph. D. a Mgr. Janu Tumajerovi. Za umožnění terénního výzkumu a možnost bližšího poznání regionu děkuji Mgr. Jindřichu Chlapkovi a dalším zaměstnancům CHKO Jeseníky. V neposlední řadě děkuji svým rodičům a přátelům z fakulty za pomoc v terénu a za podporu.

ABSTRAKT

Výskyt lavinových drah je běžný v alpínském prostředí, ale také v prostředí středohorském, jako jsou například Vysoké Sudety. Předkládaná diplomová práce je zaměřena na lavinové dráhy východních Vysokých Sudet. Byla provedena morfometrická analýza 8 lavinových drah za účelem zjištění jejich vlastností a statistického porovnání. Dendrogeomorfologická analýza a geomorfologické mapování bylo provedeno ve 2 vybraných drahách (Sněžná kotlina a Králický Sněžník) pro odvození četnosti jejich lavinové aktivity ve vztahu k morfologii. Výsledky ukazují výrazný rozdíl mezi dvěma skupinami lavinových drah východních Vysokých Sudet. Dráhy ve Sněžné kotlině a na Králickém Sněžníku jsou delší, užší a mají větší převýšení, než ostatní dráhy. Dendrogeomorfologická analýza ukazuje, že Sněžná kotlina je lavinově výrazně aktivnější, zejména po silné lavinové události v roce 2004. Ve Sněžné kotlině se nachází koryto s lavinovou modelací, pravděpodobně též v minulosti ovlivněné murami. Naopak dráha na Králickém Sněžníku je téměř neaktivní a nezahrnuje téměř žádné formy reliéfu s lavinovou genezí. Předkládaná diplomová práce je první studií zaměřující se ve východních Vysokých Sudetech na vztah aktivity a morfologie lavinových drah.

Klíčová slova: sněhové laviny, morfometrie, dendrogeomorfologie, východní Vysoké Sudety, Hrubý Jeseník, Králický Sněžník

ABSTRACT

The occurrence of avalanche paths is usually frequent in alpine environment, but it is also present in mid-mountains such as the High Sudetes. The submitted master thesis is focused on avalanche paths in the Eastern High Sudetes. The morphometric analysis of 8 paths was accomplished to determine their characteristics and comparison with statistical verification. The dendrogeomorphological analysis and further geomorphological mapping was performed in 2 selected paths (Sněžná kotlina and Králický Sněžník) to cover their avalanche activity frequency and to find relationship between their activity and morphology. The results of this study show that there is a strong difference between two groups of avalanche paths in the Eastern High Sudetes. The Sněžná kotlina and The Králický Sněžník avalanche paths are longer and narrower than the other paths. They also have higher elevation difference. The comparison of these two paths performed by dendrogeomorphology indicates higher avalanche activity frequency in the Sněžná kotlina path, which was strengthened after strong avalanche event in 2004. It is assumed that the Sněžná kotlina path contains advanced avalanche landform, which is a long gully, probably also affected by debris-flows in the past. On the other hand the Králický Sněžník path is rather less active and contains practically no avalanche landforms at all. The submitted master thesis presents the very first study, which is concerned with avalanche paths in the Eastern high Sudetes and their relationship between activity and morphology.

Keywords: snow avalanches, morphometry, dendrogeomorphology, Eastern High Sudetes, Altwatergebirge, Glatzer Schneeberg

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	7
SEZNAM TABULEK	8
1. ÚVOD	9
2. MORFOLOGIE A AKTIVITA LAVINOVÝCH DRAH	10
2.1. Lavinové dráhy a jejich morfologie	10
2.2. Využití dendrochronologie při datování pádů lavin	12
2.2.1. Indikátory lavinových událostí	12
2.2.2. Datování lavinových událostí	15
3. LAVINOVÉ DRÁHY VÝCHODNÍCH VYSOKÝCH SUDET	17
3.1. Fyzickogeografická charakteristika studovaných území	19
3.1.1. Geologické poměry a litologie	19
3.1.2. Vývoj reliéfu a geomorfologická charakteristika	22
3.1.3. Klimatické poměry	26
3.1.4. Hydrologické poměry	29
3.1.5. Půdní poměry	30
3.1.6. Biotické poměry	32
4. METODIKA	35
4.1. Morfometrie lavinových drah východních Vysokých Sudet	35
4.1.1. Tvorba digitálního modelu reliéfu	35
4.1.2. Vymezení hranic lavinových drah	36
4.1.3. Určení morfometrických charakteristik	36
4.1.4. Statistické vyhodnocení morfometrických charakteristik	38
4.1.5. Tvorba geomorfologických map lavinových drah ve Sněžné kotlině a na Králickém Sněžníku	39
4.2. Dendrogeomorfologický výzkum lavinových drah ve Sněžné kotlině a na Králickém Sněžníku	39
4.2.1. Odběr vzorků v terénu	39
4.2.2. Analýza vzorků	40
4.2.3. Datování lavinových událostí	41
4.2.4. Prostorová rekonstrukce lavinových událostí	44
4.3. Analýza historických leteckých snímků	45
5. VÝSLEDKY	46
5.1. Lavinové dráhy východních Vysokých Sudet a jejich morfometrie	46
5.1.1. Poloha lavinových drah východních Vysokých Sudet	46
5.1.2. Morfometrie lavinových drah východních Vysokých Sudet	48
5.1.3. Morfologie lavinových drah ve Sněžné kotlině a na Králickém Sněžníku	57
5.2. Datování lavinových událostí	62
5.2.1. Výsledky dendrogeomorfologické analýzy	62
5.2.2. Prostorová rekonstrukce lavinových událostí	65
5.2.3. Analýza historických leteckých snímků	67
6. DISKUSE	70
6.1. Lavinové dráhy a laviny ve východních Vysokých Sudetech	70
6.2. Morfometrie lavinových drah východních Vysokých Sudet	70
6.3. Dendrochronologická analýza	72
6.4. Aktivita lavinových drah ve Sněžné kotlině a na Králickém Sněžníku	74
6.5. Geomorfologické projevy lavin v drahách ve Sněžné kotlině a na Králickém Sněžníku	76
7. ZÁVĚR	79
8. POUŽITÁ LITERATURA A ZDROJE	81
8.1. Literatura	81
8.2. Ostatní zdroje	86
8.3. Použitý software	86

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Lavinová dráha v údolním uzávěru Moravy na Králickém Sněžníku.....	9
Obr. 2: Podélný profil lavinové dráhy.	11
Obr. 3: Prudká růstová změna.	13
Obr. 4: Zarostlá jizva.	13
Obr. 5: Řady traumatických pryskyřičných kanálků.	14
Obr. 6: Reakční dřevo.	15
Obr. 7: Lavinové dráhy východních Vysokých Sudet.	19
Obr. 8: Geologická mapa Vysokoholského hřbetu a okolí.....	21
Obr. 9: Geologická mapa Sněžné kotliny a okolí.....	21
Obr. 10: Geologická mapa Králického Sněžníku a okolí.....	22
Obr. 11: Výšková členitost okolí lavinových drah východních Vysokých Sudet.....	23
Obr. 12: Sklon svahů okolí lavinových drah východních Vysokých Sudet.....	24
Obr. 13: Orientace svahů v okolí lavinových drah východních Vysokých Sudet.....	25
Obr. 14: Klimadiagram stanice Šerák (1328 m n. m.).....	26
Obr. 15: Schéma anemo-orografického systému.	27
Obr. 16: Říční síť a povodí Hrubého Jeseníku a Králického Sněžníku.....	30
Obr. 17: Půdní mapa Sněžné kotliny a okolí.....	31
Obr. 18: Půdní mapa Králického Sněžníku a okolí.....	31
Obr. 19: Bylinná vegetace lavinové dráhy ve Sněžné kotlině.....	34
Obr. 20: Bylinná vegetace lavinové dráhy na Králickém Sněžníku.	35
Obr. 21: Ukázka vizualizace digitálního modelu reliéfu v prostředí GIS.....	36
Obr. 22: Schéma rozdělení lavinové dráhy na pětiny.....	37
Obr. 23: Presslerův nebozez při odběru vzorku.....	40
Obr. 24: Broušení vývrtů a měření na posuvném stole pod binokulární lupou.....	41
Obr. 25: Orientace lavinových drah východních Vysokých Sudet.	47
Obr. 26: Pozice lavinových drah východních Vysokých Sudet.....	48
Obr. 27: Délky a šířky lavinových drah východních Vysokých Sudet.....	49
Obr. 28: Sklony lavinových drah východních Vysokých Sudet a jejich okolí.....	50
Obr. 29: Třídění lavinových drah východních Vysokých Sudet podle délky, šířky a průměrného sklonu.	51
Obr. 30: Změna šířky všech lavinových drah východních Vysokých Sudet v závislosti na pozici v pětinach drah.....	53
Obr. 31: Změna sklonu všech lavinových drah východních Vysokých Sudet v závislosti na pozici v pětinach drah.....	53
Obr. 32: Změna šířky lavinových drah Vysokoholského hřbetu v pětinach délek drah.....	54
Obr. 33: Změna sklonu lavinových drah Vysokoholského hřbetu v pětinach délek drah.....	55
Obr. 34: Změna šířky lavinových drah ve Sněžné kotlině a na Králickém Sněžníku v pětinach délek drah.	56
Obr. 35: Změna sklonu lavinových drah ve Sněžné kotlině a na Králickém Sněžníku v pětinach délek drah.....	56
Obr. 36: Lavinová dráha ve Sněžné kotlině.....	58
Obr. 37: Lavinová dráha na Králickém Sněžníku.	59
Obr. 38: Morfologie lavinové dráhy ve Sněžné kotlině.	60
Obr. 39: Morfologie lavinové dráhy na Králickém Sněžníku.....	61
Obr. 40: Hodnoty indexu <i>It</i> ve Sněžné kotlině pomocí "klasické" metody.	63
Obr. 41: Hodnoty indexu <i>Wit</i> lavinových let ve Sněžné kotlině pomocí "moderní" metody.....	63
Obr. 42: Hodnoty indexu <i>It</i> na Králickém Sněžníku pomocí "klasické" metody.....	64
Obr. 43: Hodnoty indexu <i>Wit</i> let na Králickém Sněžníku pomocí "moderní" metody.	64

Obr. 44: Prostorová distribuce jedinců reagujících na potenciální lavinové události v lavinové dráze ve Sněžné kotlině.	66
Obr. 45: Prostorová distribuce jedinců reagujících na potenciální lavinové události v lavinové dráze na Králickém Sněžníku.....	67
Obr. 46: Lavinová dráha ve Sněžné kotlině na historických leteckých měřických snímcích.....	68
Obr. 47: Lavinová dráha na Králickém Sněžníku na historických leteckých měřických snímcích.....	69
Obr. 48: Porovnání referenčních chronologií použitých v předkládané práci a Malikem a Owczarkem (2009).	73
Obr. 49: Výška sněhu naměřená při Kursech zimní ekologie PŘF UK.....	78

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Lavinové dráhy východních Vysokých Sudet popsané v literatuře.	18
Tab. 2: Zařazení lavinových oblastí do systému geomorfologických jednotek.....	24
Tab. 3: Maximální denní úhrny srážek v milimetrech v měsících s pravděpodobným sněžením ve stanici Praděd	28
Tab. 4: Maximální denní úhrny srážek v milimetrech v měsících s pravděpodobným sněžením ve stanici Šerák	28
Tab. 5: Maximální teploty ve stupních Celsia v měsících s pravděpodobným sněžením ve stanici Praděd	28
Tab. 6: Maximální teploty ve stupních Celsia v měsících s pravděpodobným sněžením ve stanici Šerák	29
Tab. 7: Poloha a orientace lavinových drah východních Vysokých Sudet	46
Tab. 8: Nadmožské výšky a převýšení lavinových drah východních Vysokých Sudet.	48
Tab. 9: Morfometrické charakteristiky lavinových drah východních Vysokých Sudet.	49
Tab. 10: Vzájemné závislosti vybraných morfometrických charakteristik lavinových drah východních Vysokých Sudet vyjádřené Pearsonovými korelačními koeficienty. ...	51
Tab. 11: Šířka a sklon v pětinných úsecích jednotlivých lavinových drah východních Vysokých Sudet.	52
Tab. 12: Změna šířky všech lavinových drah východních Vysokých Sudet mezi pozicemi po pětinnách délek drah (ANOVA).....	54
Tab. 13: Změna sklonu všech lavinových drah východních Vysokých Sudet mezi pozicemi v pětinnách drah (ANOVA).	54
Tab. 14: Změna šířky lavinových drah Vysokoholského hřbetu mezi pozicemi v pětinnách drah (ANOVA).	55
Tab. 15: Změna sklonu lavinových drah Vysokoholského hřbetu mezi pozicemi v pětinnách drah (ANOVA).	55
Tab. 16: Změna šířky lavinových drah ve Sněžné kotlině a na Králickém Sněžníku mezi pozicemi v pětinnách drah (ANOVA).	56
Tab. 17: Změna sklonu lavinových drah ve Sněžné kotlině a na Králickém Sněžníku mezi pozicemi v pětinnách drah (ANOVA).	57
Tab. 18: Vybrané reakce a počty stromů v lavinových drahách východních Vysokých Sudet.	62
Tab. 19: Poměrné zastoupení jednotlivých druhů reakcí (v %) v lavinových drahách východních Vysokých Sudet.	63
Tab. 20: Porovnání potenciální lavinové aktivity ve Sněžné kotlině a na Králickém Sněžníku s lavinovými událostmi v jiných částech východních Vysokých Sudet a s meteorologickými situacemi.	75

1. ÚVOD

Sněhové laviny jsou významným geomorfologickým činitelem horského prostředí (Luckman, 1977). Výskyt lavinových drah je typický pro pohoří vysokohorského charakteru jako jsou Alpy, Skalisté hory, Andy a podobně, nicméně mnoho lavinových drah se nachází i ve středohorských polohách. Typickým zástupcem středohor s vyvinutými lavinovými drahami jsou Vysoké Sudety (Kociánová et al., 2013). Předkládaná práce je zaměřena na morfologii a aktivitu lavinových drah východních Vysokých Sudet, kde nebyly projevy lavinové aktivity dosud příliš studovány. Morfometricky bylo zanalyzováno a statisticky porovnáno 5 lavinových oblastí Hrubého Jeseníku a Králického Sněžníku. Zvláštní důraz byl kladen na 2 vybrané lavinové dráhy, které zasahují do zapojeného lesa, a sice na dráhu ve Sněžné kotlině na východním úpatí Červené hory a v údolním uzávěru Moravy na Králickém Sněžníku (obr. 1). V obou lokalitách byl proveden dendrogeomorfologický výzkum za účelem zjištění četnosti lavinové aktivity. Cílem předkládané práce je vedle morfometrického zhodnocení všech východosudetských lavinových drah zjištění aktivity lavin v drahách Sněžné kotliny a Králického Sněžníku a stanovení jejich geomorfologických projevů.



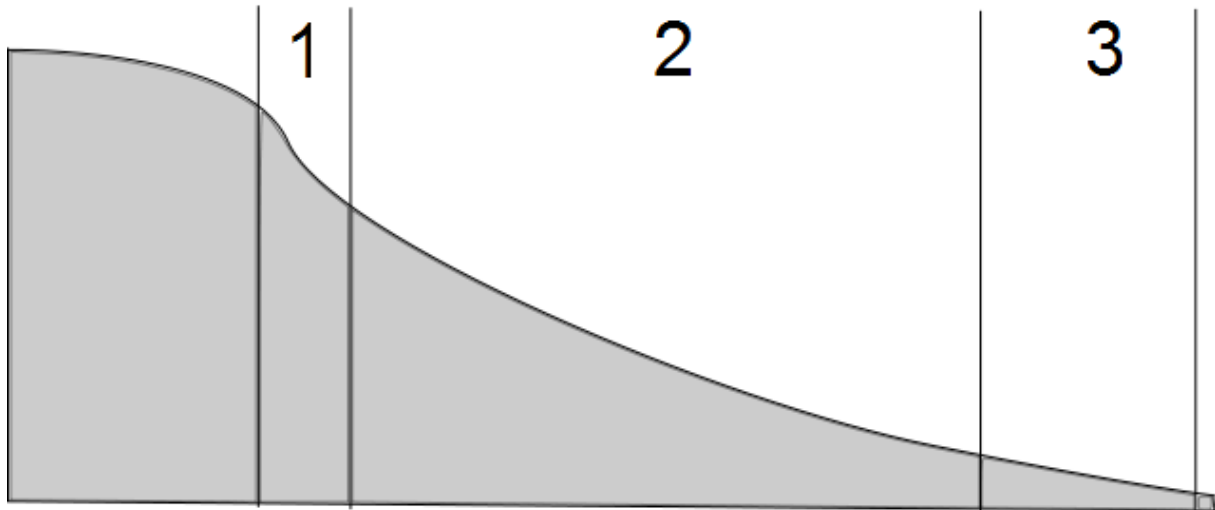
Obr. 1: Lavinová dráha v údolním uzávěru Moravy na Králickém Sněžníku.

2. MORFOLOGIE A AKTIVITA LAVINOVÝCH DRAH

2.1. Lavinové dráhy a jejich morfologie

Lavinové dráhy jsou přirozeným prostředím pádů sněhových lavin, které jsou definovány jako rychlý svahový proces, při němž dochází k pohybu sněhu po svahu (Demek, 1988). Výskyt lavin je vázán výhradně na horské prostředí, kde se nacházejí dlouhé svahy se sklonem přesahujícím 20° v odkrytém terénu bez příliš vzrostlé vegetace, a dochází zde tak k akumulaci mocných vrstev sněhu. Objem lavin může dosahovat až 6,5 milionu m^3 (Maksimov, 1965 in Luckman, 1977) a tlak laviny v pohybu může dosahovat až řádu stovek tun na metr čtvereční (Kuriowa, 1974 in Luckman, 1977). Ke vzniku lavin podle Luckmana (1977) dochází zejména při náhlém přísunu velkého množství sněhových srážek, jejichž nově napadlá vrstva se nestihne konsolidovat a je nestabilní, při strukturální nepravidelnosti ve sněhové pokrývce po delší době beze srážek nebo při ztrátě koheze ve sněhové pokrývce při tání. Klasifikace typů lavin je založena na vlhkosti sněhu, způsobu vzniku, formě pohybu, tvaru dráhy, typu odtrhu a pozici kluzného povrchu (De Quervain, 1981). Základové laviny, jejichž kluznou plochu tvoří povrch půdního krytu nebo skalního podloží, jsou významným denudačním procesem (French, 2007). Geomorfologicky se však mohou projevit i silné prachové laviny, jejichž tlak může činit i 1 MN/m^2 (Vrba a Spusta, 1975). Jednotlivé laviny mohou například ve středohorském prostředí Krkonoš transportovat i více než 1000 m^3 zvětralin (Kociánová et al., 2013). Přímým důsledkem lavinové činnosti je existence samotných lavinových drah. Mezi důsledky nepřímé se řadí podle Luckmana (1977) zrychlení povrchového odtoku vody v oblasti lavinových drah, zamezení pedogeneze a předpoklad výskytu dalších svahových procesů jako jsou například mury.

Morfologicky lze v rámci lavinové dráhy vyčlenit 3 základní zóny (obr. 2) - zónu odtrhovou, zónu tranzitní a zónu akumulární (Butler, 1989). Jelikož v lavinových drahách dochází k častým svahovým deformacím s pohybem hmoty, je jejich reliéf poměrně nestálý a často se může měnit (Summerfield, 1991). Materiál je v odtrhové a tranzitní části drah erodován a transportován tranzitní zónou do zóny akumulární.



Obr. 2: Podélný profil lavinové dráhy. Pozn.: 1 – odtrhová zóna, 2 – tranzitní zóna, 3 - akumuláční zóna.

Odrhová zóna má často tvar deprese, kde dochází k akumulaci sněhu. Může se však jednat i o morfologicky nečlenité úpatí svahu. Charakteristický je pro odtrhové zóny prudký sklon svahu, zpravidla přesahující 20° , často se však například v odtrhových zónách s ledovcovou genezí (kar) vyskytují skalní stěny s mnohonásobně vyšším sklonem (Schaerer, 1972). V rámci tranzitní zóny, kde dochází k největší erozi (Kociánová et al., 2004), je možné shledat jak tvary erozní, tak akumuláční (Luckman, 1992), z nichž nejvýraznější bývají koryta (Rapp, 1960) a podélné hřbety (Luckman, 1977). Běžná je i přítomnost příčných stupňů daných geologickým podložím (Toushinsky, 1965). Sklon tranzitní zóny, který obvykle přesahuje 15° (Butler, 1989), se směrem do akumuláční zóny výrazně snižuje. Nachází se zde akumuláční formy, jejichž velikost závisí na množství materiálu, který je lavinami transportován, a na frekvenci pádů lavin (Luckman, 1977). Jedná se zejména o konvexní kužely tvořené sutí i jiným materiálem (Rapp, 1960). U drah s velmi silnou lavinovou aktivitou a výraznou změnou sklonu mezi transportní a akumuláční částí se mohou tvořit i konkávní tvary vyplněné nezřídka vodou (Corner, 1980). Tvary vzniklé lavinovou činností jsou podle Luckmana (1992) méně členité a více pravidelné, než tvary vzniklé činností blokovobahenních proudů, které se však v lavinových drahách také mohou vyskytovat. Mezi nejčastěji v literatuře uváděné morfometrické charakteristiky lavinových drah patří délka, šířka a sklon, přičemž nejčastěji je kladen důraz na studium akumuláčních forem (Krause, 2013).

2.2. Využití dendrochronologie při datování pádů lavin

Dendrogeomorfologická metoda umožňuje datovat s roční přesností svahové pohyby od skalního řízení po laviny. Základní princip "event-response" respektive "událost-odezva" (sensu Shroder, 1980) předpokládá, že vlivem svahové disturbance došlo k ovlivnění dřevin rostoucích na postižené lokalitě (poškození, snížení kompetice apod.), které se projevilo v jejich letokruzích. Laviny obvykle padají mimo vegetační sezónu, kdy se tvoří dřevo, tudíž se jejich záznam objevuje až ve vlastnostech letokruhu následující vegetační sezóny. Z toho důvodu není možné zjistit, zda se v zimní sezóně vyskytla jedna lavina či větší počet lavin, a používá se tedy termín "lavinový rok" (Luckman, 2010). Výsledky mohou v závislosti na lokalitě tvořit záznamy dlouhé desítky let až století (Butler a Sawyer, 2008).

Dendrochronologie je tudíž vhodnou metodou datování a vymezení rozsahu proběhlých lavinových událostí (Butler a Sawyer, 2008, Corona et al., 2010, Corona et al., 2012, Tumajer, 2013), jejichž poznání může být spolu s klimatickými daty využito mimo jiné k predikci frekvence dalších lavinových událostí (Eckert et al., 2013). Metoda se často používá od 60. let 20. století, přičemž velký nárůst jejího využívání nastal po roce 2000. Dobrý přehled o dosud provedených výzkumech podávají práce Stoffela et al. (2013) a Tumajera (2013).

2.2.1. Indikátory lavinových událostí

Jako indikátory lavin se používají následující znaky, které lze získat z letokruhových vzorků či pozorovat na dřevinách z vnějšku:

1) Prudké růstové změny. Při lavinové události může dojít k devastaci okolních stromů a snížení kompetice, což zejména u mladých jedinců může vést k náhlému přírůstku dřeva v následujících vegetačních sezónách. Naopak mechanické poškození vzrostlého jedince při lavinové události způsobené tlakem sněhu a unášeného materiálu může mít za následek snížený přírůstek v následujících vegetačních sezónách (obr. 3) (Tumajer, 2013). Pro detekci růstových změn se užívá různých procentuálních odchylek od šířek předchozích letokruhů (Šilhán, 2013) nebo tzv. Tree Growth Reduction Intensity Coefficient (Malik a Owczarek, 2009), který tvoří

podíl tří po sobě jdoucích šířek letokruhů disturbovaného jedince a tří po sobě jdoucích šířek letokruhů standardu (standardní letokruhové křivky získané ze stromů rostoucích ve stejném klimatickém prostředí bez možnosti ovlivnění svahovými procesy).



Obr. 3: Prudká růstová změna. Pozn.: 4 letokruhy uprostřed snímku jsou viditelně užší než předcházející a následující letokruhy, snímek vývrtnu smrku ztepilého.

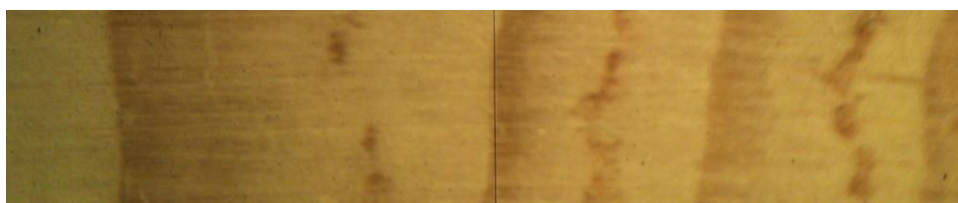
2) Jizvy. Mechanickým narušením může dojít k odlomení části kmene, kde vzniká viditelná jizva. V následujících vegetačních sezónách se prostor jizvy vyplňuje hojivým pletivem (kalus) a letokruhy zprvu pokrývají jen část kmene mimo jizvu. Po celém obvodu kmene se letokruhy začnou tvořit až po kompletním zacelení jizvy kalem (Tumajer, 2013). Může tedy dojít k situaci, kdy starší jizvy nemusí být na povrchu kmene pozorovatelné (obr. 4).



Obr. 4: Zarostlá jizva. Pozn.: na příčném řezu smrku ztepilého.

3) Traumatické pryskyřičné kanálky (TRD). U některých jehličnanů (např. *Picea abies* či *Larix decidua*) dochází při mechanickém poškození stromu k tvorbě traumatických pryskyřičných kanálků po celém obvodu letokruhu jako protekce proti napadení patogenními organismy (Stoffel a Bollschweiler, 2008). Vyskytují se obvykle v tangenciálních různě souvislých řadách v rámci letokruhu, zejména v blízkosti místa poškození jedince (obr. 5). Nesouvislý výskyt TRD není obvykle

projevem geomorfologického procesu, ale jiné disturbance, například okusu zvěří nebo napadení hmyzem (Šilhán, 2013). Poloha TRD v rámci letokruhu (jarní a letní dřevo) může být nápomocna k určení typu svahové události - v případě lavin by se měly TRD vyskytovat v jarním dřevě, tzn. mezi buňkami, které se tvoří na začátku vegetačního období po zimní disturbanci (Stoffel et al., 2008). Je však zřejmé, že věrohodně lze pozici TRD v rámci letokruhu vnímat jen v případě detekce velmi blízko k samotnému poškození, neboť řady kanálků mají tangenciální tvar a dále od poškození v rámci kmene se tvoří později. Výskyt TRD je také běžný v několika následujících vegetačních sezónách po disturbanci.



Obr. 5: Řady traumatických pryskyřičných kanálků. Pozn.: v prostřední části letokruhů na příčném řezu smrku ztepilého.

4) Reakční dřevo a excentricita letokruhů. Bez narušení je tvar letokruhů kmenu na příčném řezu obvykle kruhový. V případě naklonění kmene se začne tvořit tzv. reakční dřevo (obr. 6): tahové u listnáčů směrem do svahu a tlakové u jehličnanů směrem ze svahu (Schweingruber, 1996). Vznik tahového či tlakového dřeva vede k excentricitě letokruhů na příčném řezu, pro jejíž určení existuje více indexů kladoucích do poměru šířky stejných letokruhů ve směru po svahu, proti svahu či po vrstevnici. Vyjadřuje odchylku tvaru letokruhu od předpokládané ideální kružnice. V zájmu určení lavinových událostí je klíčová meziroční změna indexu excentricity (Casteller et al., 2007). Příčinou výskytu eliptických letokruhů ovšem nemusí být vždy rychlé svahové procesy, ale například i ploužení nebo ovlivnění větrem. Také stromy s větším průměrem kmene jsou zpravidla odolnější, tudíž se u nich excentricita projevuje méně výrazně oproti stromům s menším průměrem kmene (Casteller, 2007).



Obr. 6: Reakční dřevo. Pozn.: širší tmavý letokruh na příčném řezu smrku ztepilého.

5) Exhumované kořeny a mrtvé dřevo. Při odkrytí kořenů (vyvrácení stromu, odnos materiálu) dochází v následující vegetační sezóně k růstu dřeva s jinými anatomickými znaky, kterými jsou u jehličnanů tlustší buněčné stěny a u některých listnáčů odlišná pórovitost (Tumajer, 2013). V případě velmi silné laviny může též dojít k vyvrácení celých stromů a jejich depozice v akumulární zóně lavinové dráhy. Poslední letokruh mrtvého dřeva tak může příslušet vegetační sezóně před lavinovou událostí (Schweingruber, 1996).

Nejčastěji se při dendrochronologickém datování lavin používají vzorky z jehličnatých stromů, protože jsou u nich obvykle lépe zřetelné letokruhy, reakční dřevo a traumatické pryskyřičné kanálky (Luckman, 2010). Podle intenzity některých uvedených znaků (růstové změny po určité době po pádu laviny, velikost jizev, prahový úhel naklonění stromu apod.) mnozí autoři stanovují až 5 tříd intenzit reakcí, resp. proběhlých lavinových událostí (Butler a Sawyer, 2008, Corona et al., 2010, Schläppy et al., 2013). Některé znaky starší lavinové aktivity mohou být však růstem stromů postupně skryty vlivem zakrytí mladšími letokruhy.

2.2.2. Datování lavinových událostí

Úspěšnost datování lavinových událostí pomocí dendrochronologie (čili poměr událostí zaznamenaných dendrochronologicky a událostí zaznamenaných sledováním v lavinovém katastru) činila u provedených studií validovaných přesnými daty z lavinových katastrů 26 % v Krkonoších (Tumajer, 2013) resp. 43 % a 38 % ve francouzských Alpách (Corona et al., 2012, Schläppy et al., 2013). Její hodnota stejně jako celková důvěryhodnost výsledků může záviset na následujících faktorech:

1. Důležitým aspektem datování lavinových událostí je počet jedinců, ze kterých jsou vzorky získány. Přestože byly úspěšně provedeny výzkumy s relativně malým počtem analyzovaných stromů (např. Casteller et al., 2011), obecně platí, že čím více vzorků je z lavinové dráhy odebráno, tím vyšší je úspěšnost datování lavinových událostí, která přestává narůstat až při počtu 100 stromů vykazujících indikaci disturbance (Corona et al., 2012). Je tedy zřejmé, že pomocí dendrochronologie je vhodné datovat laviny v drahách, které zasahují do zapojeného lesa, nikoliv v drahách, které se celé nacházejí v alpínském či subalpínském pásmu s nedostatkem vzrostlých dřevin (Luckman, 2010). Důležitá je též prostorová distribuce analyzovaných stromů, které by měly růst po co nejdelší části obvodu dráhy či přímo uvnitř.

2. Je žádoucí dobře rozpoznat stromy vykazující indikaci poškození lavinou, jakožto svahovým pohybem. Například výskyt excentricity letokruhů může mít i jiné příčiny, jako ovlivnění větrem (Tumajer, 2013). Pro zachycení znaků poškození lavinou je vhodné též odebrat odpovídající počet vzorků z každého stromu, čili ve směru do svahu, ze svahu a po vrstevnici (Corona et al., 2010, Tumajer, 2013). V případě odebírání vzorků z mrtvého dřeva je žádoucí, aby kmeny ležely paralelně se spádníci, což dokládá, že byly pravděpodobně transportovány lavinou (Reardon et al., 2008).

3. Pro determinaci lavinových roků se obvykle používá jedné ze dvou metod. "Klasická" metoda (sensu Shroder, 1978) dává do poměru počet lavinou postižených jedinců k počtu všech rostoucích jedinců v daném roce. "Moderní" metoda (sensu Kogelnig-Mayer et al., 2011), přisuzuje jednotlivým typům reakcí různé váhy. U výsledných indexů obou metod je nutné zvolit citlivě práh překročení pro určitý rok, jehož překonání znamená označení daného roku jako lavinového. Podle práce Corony et al. (2012), která porovnávala výsledky dendrochronologického datování s přesnými záznamy o pádech lavin ve více než stoleté řadě, je hodnota indexu "klasické" metody It nepřímo úměrná k počtu stromů, které jsou analyzovány (A). Například při hodnotě $A = 100$ doporučují autoři studie jako prahovou hodnotu It 7 % a při $A = 50$ celých 10 %. Vymezení lavinových roků je však vhodné též provádět či ověřit prostorovou analýzou (např. v GIS) jedinců vykazujících reakci na lavinu v jednotlivých letech (Corona, 2012, Stoffel a Corona, 2014). Podle jejich prostorové distribuce v rámci lavinové dráhy lze vyloučit nelavinové události a naopak nalézt

lavinové roky, které by nemusely být vyhodnoceny na základě překročení prahu *It* nebo *Wit* (Schlaäppy et al., 2013, Chiroiu et al., 2015).

4. Lavinová dráha může být dějištěm i jiných svahových procesů mimo lavin, které mohou mít též odezvu v dendrochronologických datech. Příkladem jsou blokovobahenní proudy, resp. mury (Malik a Owczarek, 2009), jejichž následky je možné podle některých autorů rozpoznat podle odlišné pozice traumatických pryskyřičných kanálků u jehličnanů v rámci jednoho letokruhu - vyskytují se zpravidla později než na jeho počátku, pokud tedy mura nespada ihned na počátku vegetační sezóny (Stoffel et al., 2006, Kogelnig-Mayer et al., 2011).

3. LAVINOVÉ DRÁHY VÝCHODNÍCH VYSOKÝCH SUDET

Východní Vysoké Sudety jsou vedle západních Vysokých Sudet jednou ze dvou oblastí v Česku, kde se vyskytují lavinové dráhy. Pro existenci lavinových drah je důležitá vazba na alpínské bezlesí, které se nachází právě ve Vysokých Sudetech (Jeník, 1961). Ojediněle dochází podle Jeníka (1961) k pádům lavin i na Šumavě v karech Černého a Čertova jezera a podle Kříže (1995b) také na uměle bezlesých svazích Moravskoslezských Beskyd. Oblast západních Vysokých Sudet je velice dobře prozkoumána a všechny lavinové dráhy, kterých je na české i polské straně pohoří více než 100, jsou evidovány v rámci lavinového katastru (Vrba a Spusta, 1975, 1991, Spusta a Kociánová, 1998, Kociánová a Spusta, 2000, Spusta et al., 2006, Kociánová et al., 2013), který je spravován Krkonošským národním parkem ve spolupráci s Horskou službou, a je obdobou francouzského lavinového katastru EPA v Alpách a Pyrenejích zahrnujícího téměř 4000 lavinových drah (Bélanger et al., 2002). Lavinové dráhy v Krkonoších jsou katalogizovány a sledovány od roku 1961 a jsou popsány z hlediska polohy, morfometrie (délka, šířka, sklon) a lavinových událostí včetně jejich klasifikace (sensu De Quervain, 1981).

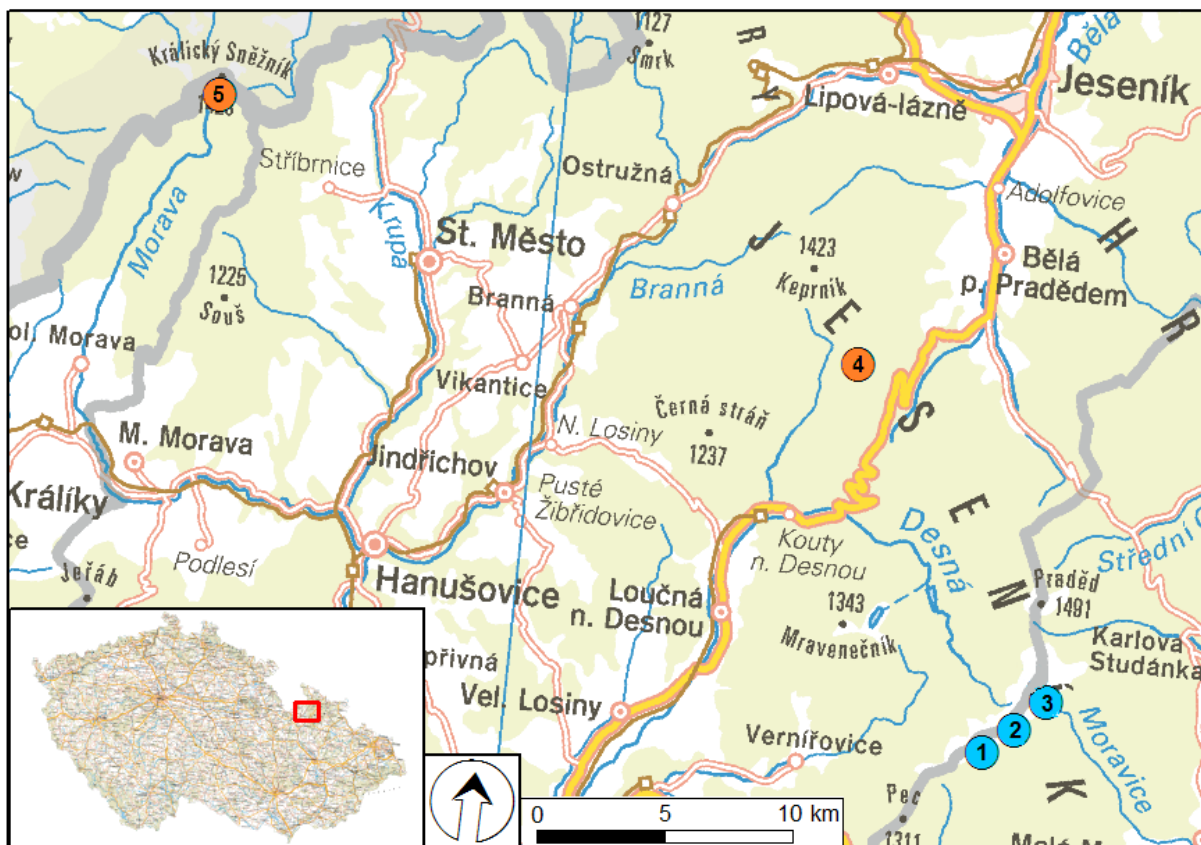
Situace v poznání lavinových drah je v Hrubém Jeseníku a Králickém Sněžníku oproti Krkonoším velmi odlišná. Horská služba pracuje se seznamem šesti lavinových oblastí, neexistuje však jejich publikovaný seznam s uvedenými podrobnostmi ani s archivem lavinových událostí. Kříž (1995a) uvádí dokonce 8

lavinových oblastí a v jejich výčtu se neshoduje s Navrátilem (2005), který v Hrubém Jeseníku definuje 6 lavinových oblastí (tab. 1). Navrátil (2005) uvádí 2 dráhy, které Kříž (1995a) naopak neuvádí. Mezi lavinové dráhy, které definují všichni autoři, se řadí Malá kotlina, Mezikotlí, Velká kotlina, Sněžná kotlina a Králický Sněžník (obr. 7).

Tab. 1: Lavinové dráhy východních Vysokých Sudet popsané v literatuře.

lavinová oblast	počet lavinových drah		
	Kříž (1995)	Navrátil (2005)	HS (2015)
Velká kotlina	8	6	4
Mezikotlí (Jelení žleb)	2	2	2
Malá kotlina	2	3	2
SSZ svahy Vysoké hole (Sviní žleb)	X	3	2
Kamzičník	3	X	X
Velký Máj	3	X	X
Jelení hřbet	2	X	X
Červená hora (Sněžná kotlina)	2	5	4
Šerácká kotlina	X	2	X
Králický Sněžník	1	X	1
počet lavinových drah	23	21	15

Lavinové dráhy Vysokoholského hřbetu (Malá kotlina, Mezikotlí a Sněžná kotlina) patří do okresu Bruntál, konkrétně do katastrálních území Karlov pod Pradědem a Malá Morávka. Všechny tři dráhy Vysokoholského hřbetu se nacházejí v rámci NPR Praděd v CHKO Jeseníky (Kavalcová a Kavalec, 2003). Sněžná kotlina náleží do katastrálního území obce Adolfovice v okrese Jeseník a nachází se v PR Sněžná kotlina v CHKO Jeseníky. Dráha na Králickém Sněžníku v katastrálním území obce Velká Morava spadá do okresu Ústí nad Orlicí a NPR Králický Sněžník.



Obr. 7: Lavinové dráhy východních Vysokých Sudet. Pozn.: 1 – Malá kotlina, 2 – Mezikotlí, 3 – Velká kotlina, 4 – Sněžná kotlina, 5 – Králický Sněžník, dráhy s provedenou dendrochronologickou analýzou jsou zakresleny oranžově (ZM 200).

3.1. Fyzickogeografická charakteristika studovaných území

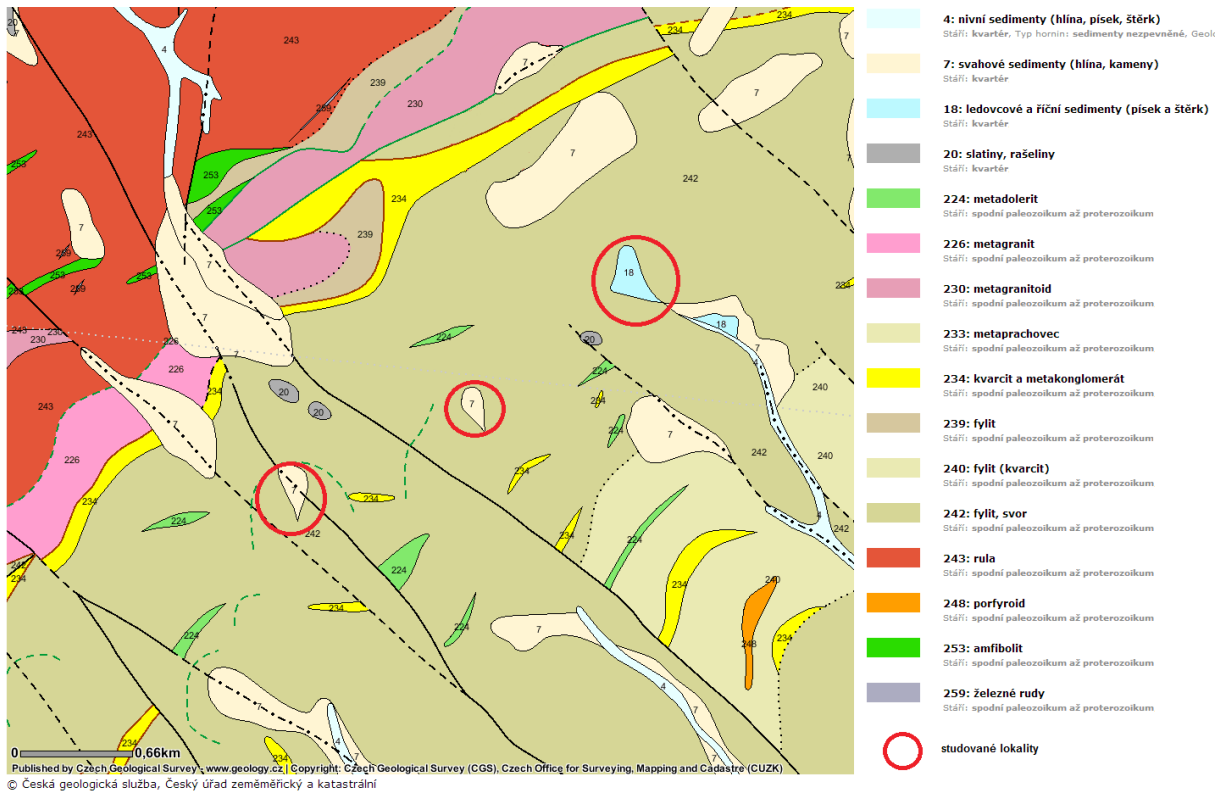
3.1.1. Geologické poměry a litologie

Lavinové dráhy na území Hrubého Jeseníku se nachází v jednotce silesika (Východních Sudet) v rámci Moravskoslezské oblasti českého masívu (Mísař, 1983). Západně je silesikum vymezeno ramzovským a nýznerovským nasunutím, východně hranicí Hrubého a Nízkého Jeseníku, severně oblastí oderské zlomové linie na území dnešního Polska a jižně bušínským zlomem a zlomovým pásmem Hané. Pro silesikum jsou charakteristické proterozoické krystalinické horniny poznamenané velmi výraznou deformací a metamorfózou v období variského (hercynského) vrásnění. Dle Mísaře (1983) je možné rozlišit 2 stratigraficky i strukturně odlišná patra, a sice předdevonské patro silesika, které bylo podrobena již kadomskému (assyntskému) horotvornému cyklu a je tvořeno převážně rulami, svory a fylity,

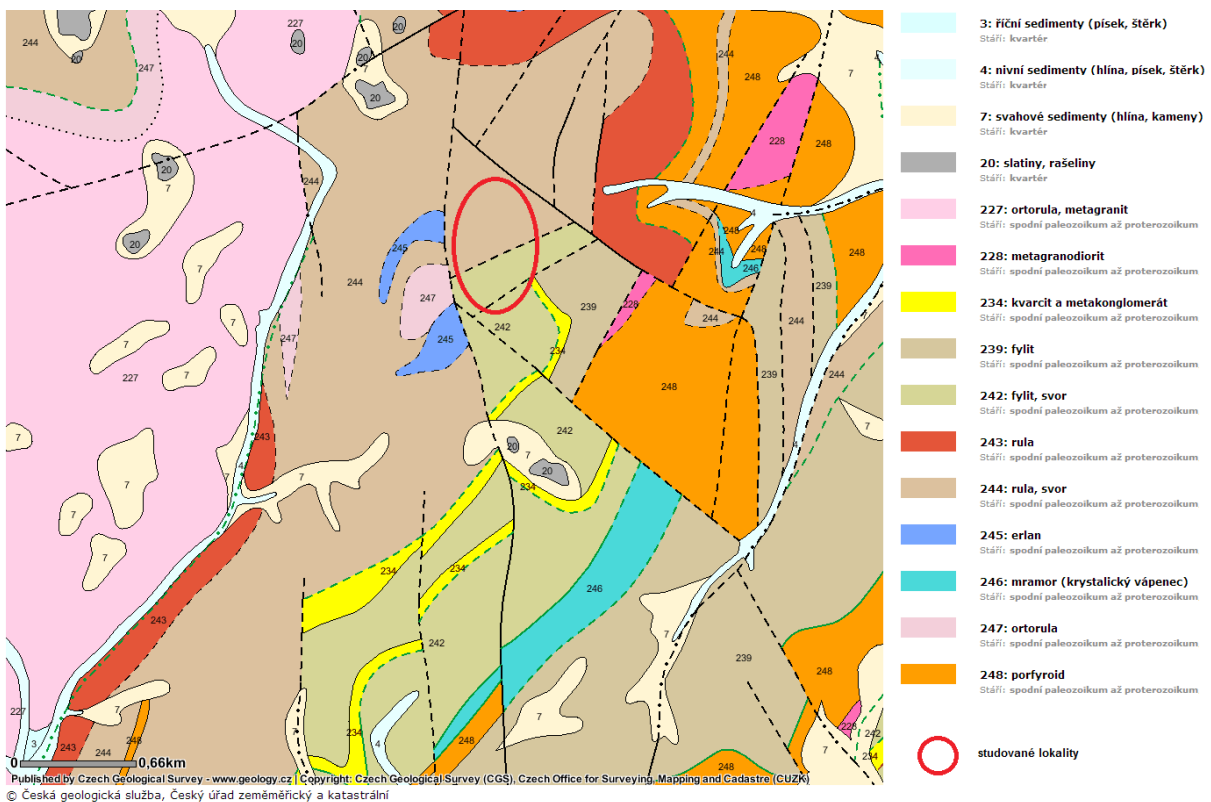
a devonské (obalové) patro silesika, které je tvořeno hlavně kvarcity, fylity a vápenci. Přejichod mezi oběma patry je složitě rozeznatelný z důvodu vysokého stupně metamorfózy během variského (hercynského) cyklu. Z hlediska tektoniky je silesikum tvořeno desenskou klenbou a keprnickou klenbou, které od sebe vzájemně odděluje koutské synklinorium v oblasti Červenohorského sedla. Obě klenby se skládají z mnoha dalších dílčích kleneb a denudovaných tektonicky omezených ker (např. kra Pradědu).

Králický Sněžník geologicky spadá do území orlicko-kladského krystalinika v rámci oblasti lugika (Západních Sudet). Orlicko-kladské krystalinikum je podle Mísaře (1983) na jihozápadě omezeno olešnicko-uhřínovským nasunutím, jižně hranicí se zábřežským krystalinikem, východně hranicí se staroměstským krystalinikem a severně intruzivním zlatostockým masívem, na severozápadě se noří pod křídové jednotky kladského prolomu. Tvořeno je paleozoickými horninami vyvrásněnými během variského (hercynského) cyklu (Kröner et al., 2001 in Chlupáč et al., 2002). V rámci orlicko-kladského krystalinika je dále vymezována stroňská skupina tvořená svory a rulami a sněžnická skupina tvořená rulami, ortorulami a migmatity (Mísař, 1983). Tektonicky se jedná o složitou klenbovou skladbu s vnitřní patrně příkrovovou nebo izoklinální stavbou.

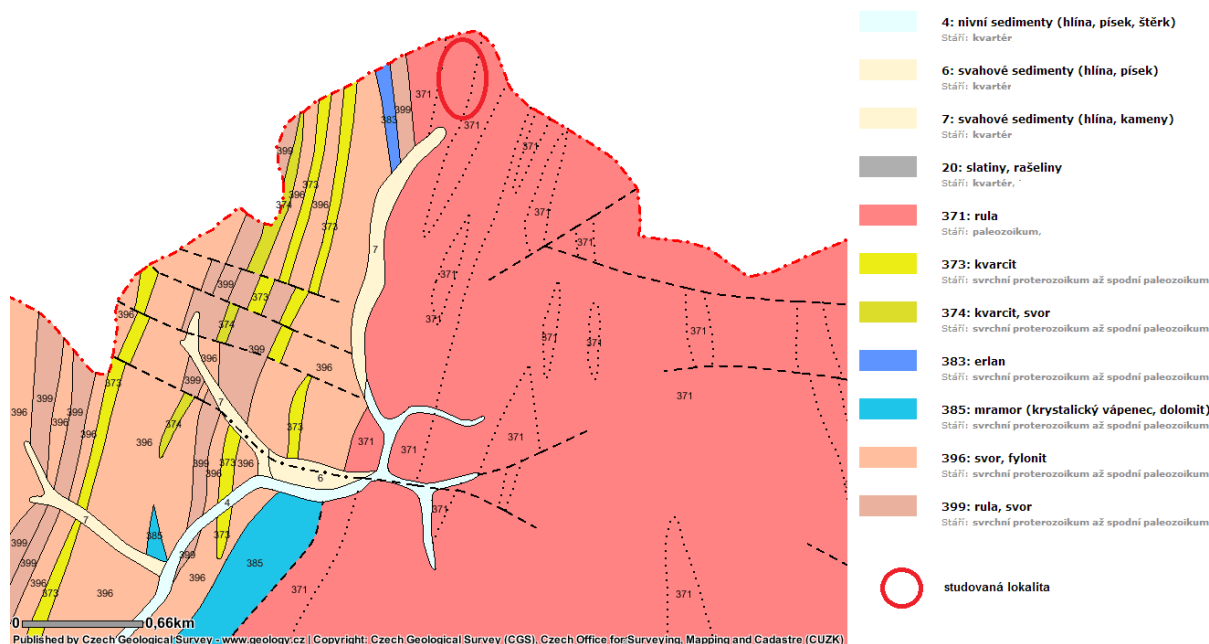
Lavinové dráhy Vysokoholského hřbetu (Malá kotlina, Mezikotlí a Velká kotlina) jsou vytvořeny na fylitech a svorech spodně paleozoického až proterozoického stáří (obr. 8). Lavinová dráha ve Sněžné kotlině má v podloží ruly, fylity a svory s foliací shodnou se sklonem svahu (obr. 9). Dráha v údolním uzávěru Moravy leží na sněžnické ortorule paleozoického stáří (obr. 10). Všechny zmíněné krystalinické horniny jsou nepropustné a i ve zvětralinách je zvodnění nízké díky jílovitým příměsím. Odolnost hornin je poměrně vysoká a k zvětrávání dochází podle ploch foliace (Pašek, 1986).



Obr. 8: Geologická mapa Vysokoholského hřbetu a okolí. Pozn.: sledované lokality zleva: Malá kotlina, Mezikotlí, Velká kotlina (Geologická mapa 1 : 50 000).



Obr. 9: Geologická mapa Sněžné kotliny a okolí (Geologická mapa 1 : 50 000).

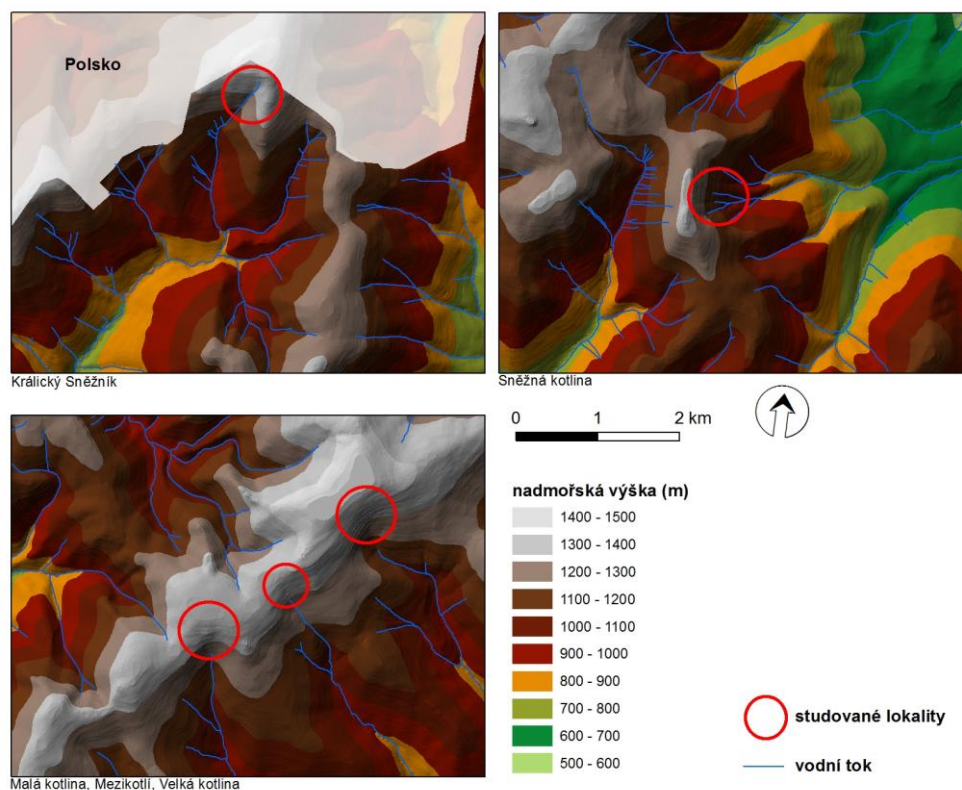


Obr. 10: Geologická mapa Králického Sněžníku a okolí (Geologická mapa 1 : 50 000).

3.1.2. Vývoj reliéfu a geomorfologická charakteristika

Iniciální vyvrásnění Sudet proběhlo ve variském (hercynském) cyklu zhruba před 350 miliony let. V následujících geologických epochách postupně docházelo k planaci pohoří (Demek et al., 2006), v období křídý Sudety patrně tvořily ostrovy v moři. Významně reliéf poznamenala saxonská tektonika během spodního kenozoika (terciéru), kdy podle reaktivovaných variských zlomů proběhly vertikální pohyby s relativním převýšením až 1000 metrů (Chlupáč et al., 2011). Období kvartéru je specifické střídáním glaciálů a interglaciálů s opětovnou denudací pohoří a doznívajícími projevy saxonské tektoniky (Vyskočil 1993 in Czudek, 1997). V oblasti při sudetském okrajovém zlomu došlo patrně k výzdvihu až 70 metrů ve spodním pleistocénu (Krzyszowski et al., 2000), menší pohyby v řádu zhruba 25 metrů jsou spojovány s halštrovským a sálským kontinentálním zaledněním, jejichž jižní hranice sahala až k Sudetům. Dnešní tektonické pohyby nabývají řádů až několika milimetrů ročně (Badura et al., 2007, Švábenský a Weigel, 2007). Urychlený výzdvih pohoří podpořil zahlubování údolní sítě s příkrými svahy. Deprese v podobě údolních uzávěrů podmíněné systémem puklin před Risseem byly sekundárně nebo současně se svým vývojem byly modelovány firnem (případně menším karovým

ledovcem). Dnes jsou modelovány zejména gravitačními svahovými procesy, mrazovým zvětráváním, nivací a především působením lineárně tekoucí vody (Czudek, 1997). Během Würmu byla patrně pouze Velká kotlina zaledněna karovým ledovcem (Křížek et al., 2012). Podle Prosové (1973) se mohlo zalednění vyskytovat během kvartéru i v některých dalších údolních uzávěrech, ale pravděpodobně je jejich geneze pouze nivací (Czudek, 1997). Z chladných období pleistocénu pocházejí také četné periglaciální tvary v pohoří, a sice kryoplanační terasy, tory, nivací deprese, strukturní půdy a další. Některé thufury, strukturní půdy a nivací deprese vykazují recentní aktivitu (Křížek, 2007).



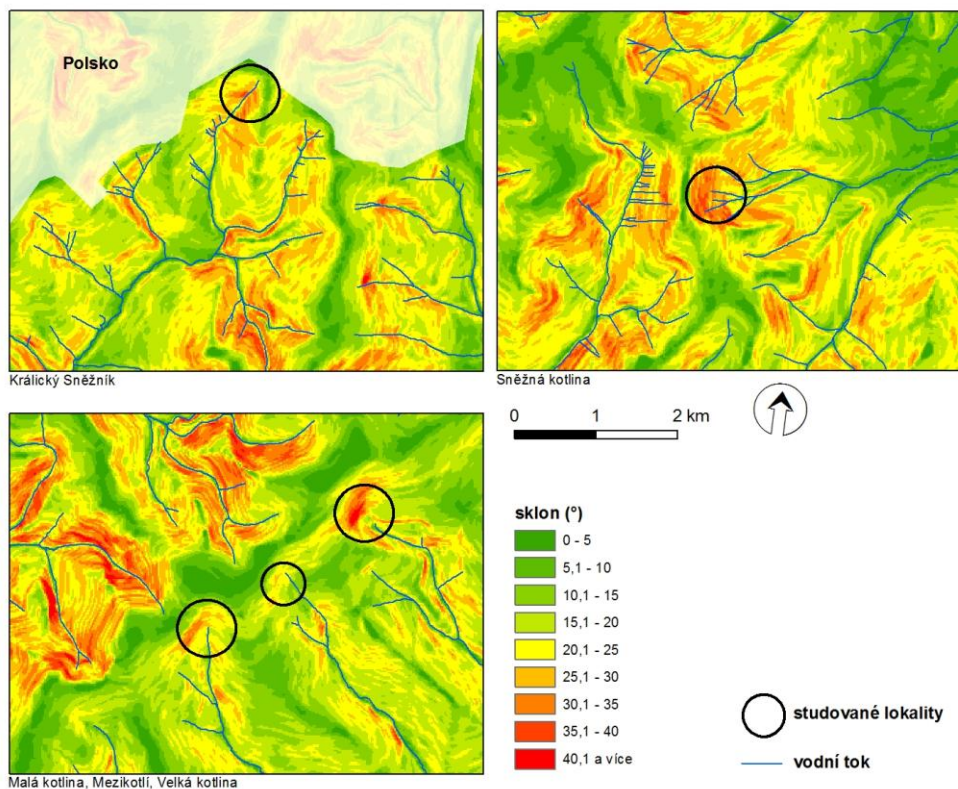
Obr. 11: Výšková členitost okolí lavinových drah východních Vysokých Sudet (DMÚ 25, DIBAVOD, 2014).

Všechny lavinové dráhy se nachází v údolních uzávěrech s velkým relativním převýšením (obr. 11) a sklonem (obr 12). Orientace svahů je v oblasti různorodá, lavinové dráhy leží obvykle na svazích s jižní až jihovýchodní orientací (obr. 13). Systematicky spadají do Jesenické oblasti v Sudetské soustavě v rámci České vysočiny (tab. 2). Maximální nadmořská výška Hrubého Jeseníku (vrchol Pradědu) činí 1491 m, střední výška pohoří je 887,7 m n. m. a střední sklon $13^{\circ}55'$. Vrchol

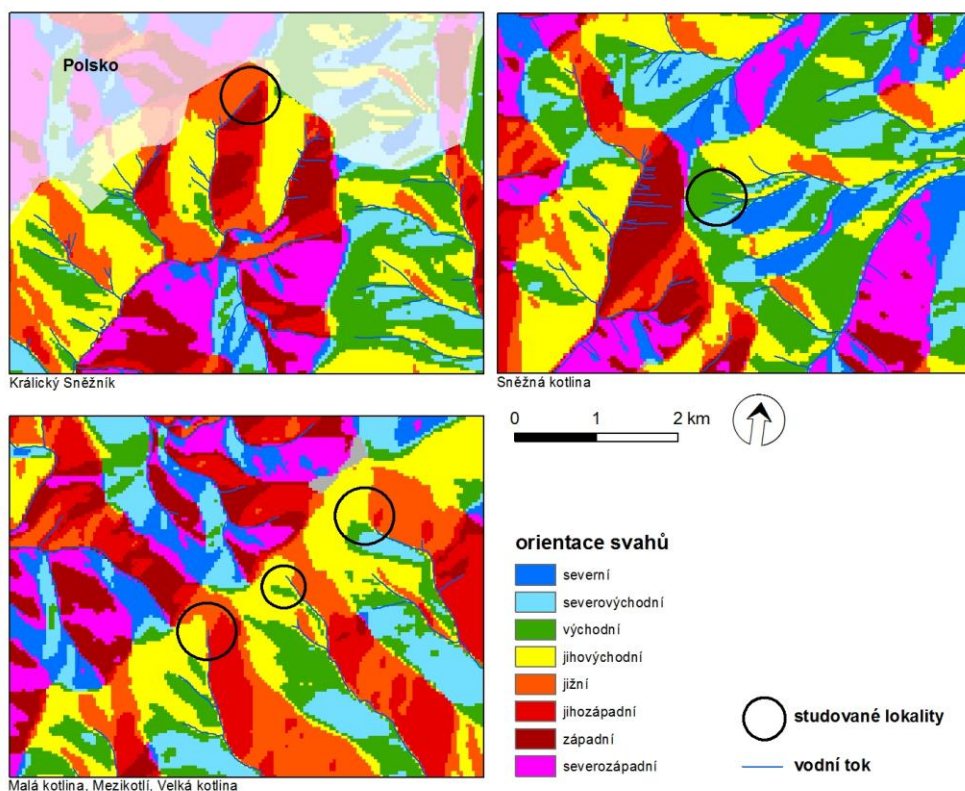
Králického Sněžníku dosahuje 1423 m n. m., střední výška pohoří je 930,9 m n. m. a střední sklon 15°. Výšková členitost obou pohoří se pohybuje mezi 300 a 700 m (Czudek, 1997).

Tab. 2: Zařazení lavinových oblastí do systému geomorfologických jednotek (podle Demka et al., 2006 a Balatky a Kalvody, 2006).

	Vysokoholský hřbet	Sněžná kotlina	Králický Sněžník
system	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



Obr. 12: Sklon svahů okolí lavinových drah východních Vysokých Sudet (DMÚ 25).



Obr. 13: Orientace svahů v okolí lavinových drah východních Vysokých Sudet (DMÚ 25).

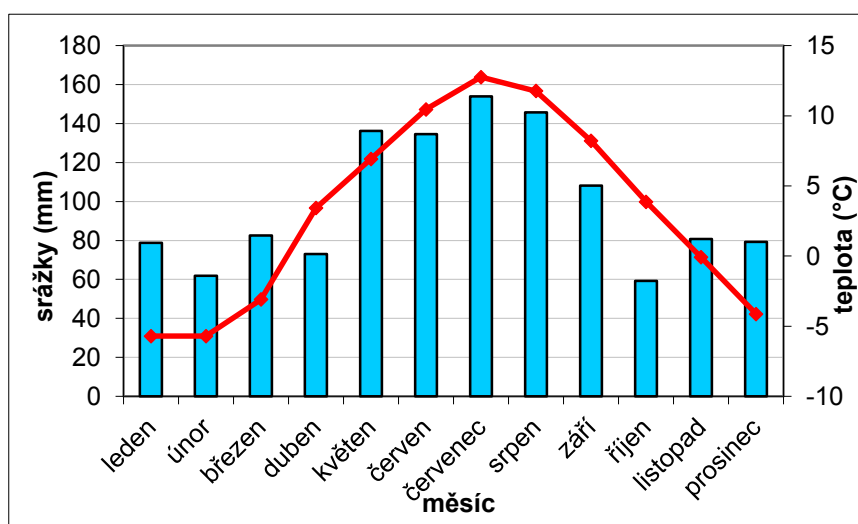
Lavinové dráhy Malá kotlina, Mezikotlí a Velká kotlina se vyskytují v geomorfologickém okrsku Vysokoholského hřbetu, což je kra protažená od severovýchodu k jihozápadu s výskytem kryoplanačních teras, tříděných polygonů, kamenných moří a thufurů, a jehož nejvyšší horou je Vysoká hole (1464 m n. m.) (Demek et al., 2006).

Lavinová dráha ve Sněžné kotlině se nachází v geomorfologickém okrsku Šerácké hornatiny s kernou stavbou, jež spadá prudce na severovýchodě do Jesenické kotliny. Nejvyšší vrchol hornatiny je Keprník (1422 m n. m.). Červená hora (1333 m n. m.) má kryogenně přemodelovaný vrchol se zbytky zarovnaného povrchu a četnými izolovanými skalami a balvany (Demek et al., 2006).

Vrchol Králického Sněžníku (1423 m n. m.), pod nímž se nachází lavinová dráha, leží na suku na horském uzlu v ústřední části tektonické kry (Demek et al., 2006). Pozorovatelná jsou četná kamenná moře tvořená sněžnickou ortorulou.

3.1.3. Klimatické poměry

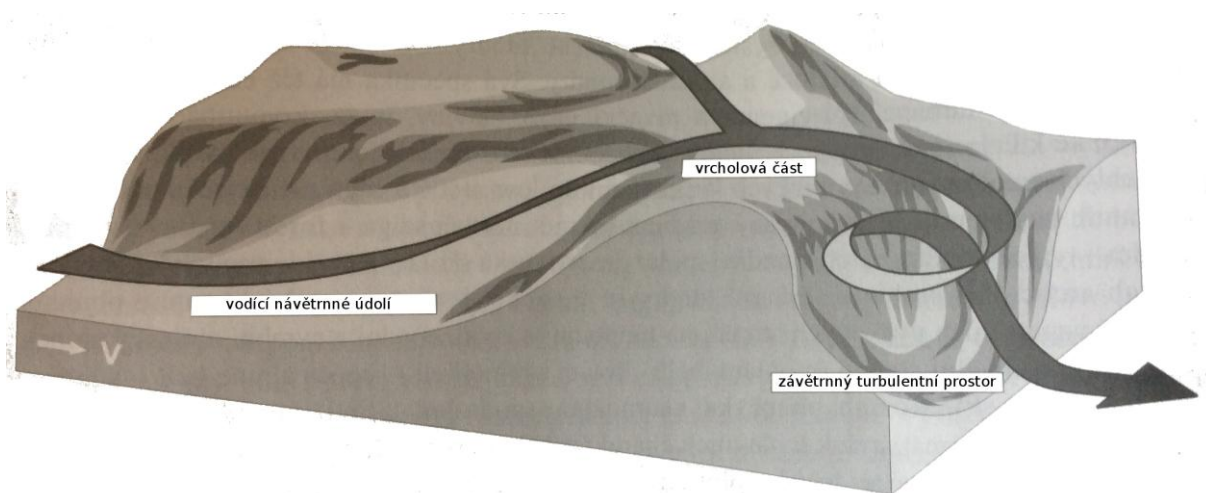
Podle Quittovy (1971) klasifikace klimatu spadají vrcholové oblasti Hrubého Jeseníku a Králického Sněžníku do kategorie CH4, která je charakteristická velmi krátkým a chladným létem, chladným jarem, mírně chladným podzimem a dlouhou a velmi chladnou zimou s dlouhou dobou trvání sněhové pokrývky (140 - 160 dní v roce). Srážkový úhrn v zimním období se pohybuje mezi 400 a 500 mm, za rok přesahuje 1500 mm. Roční chod teplot a srážek vystihuje klimadiagram ze stanice Šerák (obr. 14). Většina dní v roce je srážkových, v zimě převážně se sněžením. První den se sněžením na Pradědu nastává obvykle v září a poslední v květnu. Časté jsou v zimních měsících inverzní situace. Orografie regionu má výrazný vliv na počasí, když hlavní hřeben Hrubého Jeseníku v ose jih-sever tvoří klimatický předěl mezi vzdušnými hmotami na Moravě a ve Slezsku (Vysoudil, 2003).



Obr. 14: Klimadiagram stanice Šerák (1328 m n. m.). Pozn.: data z let 2004 – 2012 (NCDC NOAA, 2013).

V pohoří převládá západní větrné proudění, v létě přechodně roste podíl severního proudění. Průměrná roční rychlost větru přesahuje na Pradědu 9 m/s s maximy v zimním období (Vysoudil, 2003). Bezvětrí nastává dle Vysoudila (2003) zhruba 5 dní v roce. Právě úloha větru je důležitá z hlediska redistribuce sněhové pokrývky v alpínském bezlesí. Jeník (1961) vymezuje ve východních Vysokých Sudetech celkem 5 anemo-orografických systémů (obr. 15). Jsou definovány jako lokální systémy vzdušného proudění skládající se z vodících návětrných údolí, zrychlujících

vrcholových částí a závětrných turbulentních prostor, jež představují zpravidla údolní uzávěry v zimě s mocnými akumulacemi sněhu. Klimaticky existuje rozdíl mezi návětrnými údolními, vrcholovými částmi a závětrnými turbulentními prostory anemo-orografických systémů. Podle Jeníka (1961) převládá západní proudění a mechanismus anemo-orografických systémů po celé období kvartéru. Lavinové dráhy Vysokoholského hřbetu leží v anemo-orografických systémech Mertvy a Divoké Desné, dráha ve Sněžné kotlině v systému Hučivé Desné a dráha na Králíckém Sněžníku v systému Černé Vody (Wilczky).



Obr. 15: Schéma anemo-orografického systému. Pozn.: šipka znázorňuje převládající proudění větru (podle Štursy, 2010, upraveno).

V současné době je průběžné měření meteorologických veličin ve vrcholových partiích východních Vysokých Sudet prováděno pouze v automatické meteorologické stanici kombinovaného typu Šerák, která leží v nadmořské výšce 1328 m a spadá do sítě ČHMÚ. Stanice je aktivní od roku 2004, měření v ní začalo 7 let po zrušení meteorologické stanice na Pradědu. Došlo tedy k přerušení měření na poměrně dlouhou dobu. Pády lavin v oblasti mohou záviset na meteorologických situacích spojených s velkými úhrny sněhu nebo vysokými teplotami (tab. 3, 4, 5 a 6).

Tab. 3: Maximální denní úhrny srážek v milimetrech v měsících s pravděpodobným sněžením ve stanici Praděd (ČHMÚ, 2013).

hydrologický rok	listopad	prosinec	leden	únor	březen	duben
1985			11,8	16,2	7,4	24,3
1986	14,8	8,4	18	5,4	4,8	7,3
1987	9,7	24,5	12,9	8	9,8	14
1988	9,3	12	19,7	11,9	11	4,4
1989	14,9	12,5	3,9	12,8	6,7	16,8
1990	22,6	18,9	8,8	13,4	11,3	27,5
1991	15,3	13,7	13,4	14,7	4,6	19,9
1992	15,2	16,4	10,5	23,2	42,4	11,1
1993	6,3	19,3	11,3	17,1	43,5	12,4
1994	20,6	36,5	18,2	13,8	16,2	15,9
1995	8,8	12,2	28,2	11,7	30,8	20,1
1996	27,1	20,3	8,7	17,6	28	11,2
1997	25,1	9	13,3	14,5	7,7	16,3

Tab. 4: Maximální denní úhrny srážek v milimetrech v měsících s pravděpodobným sněžením ve stanici Šerák (ČHMÚ, 2013).

hydrologický rok	listopad	prosinec	leden	únor	březen	duben
2004			11	12,3	19	33,6
2005	20,8	11,7	21,4	17,8	9,5	28,1
2006	17,3	20,3	6,7	15,4	11,4	27,6
2007	27,1	35,7	33,5	10,9	20,2	3,7
2008	14,3	13,2	9,7	15,4	16,1	26,5
2009	12,5	6,6	12,9	11	18,4	9,7
2010	8,6	11,2	16,5	9,2	10,5	24,7
2011	25,6	12,2	8,9	3,7	11,8	15

Tab. 5: Maximální teploty ve stupních Celsia v měsících s pravděpodobným sněžením ve stanici Praděd (ČHMÚ, 2013).

hydrologický rok	listopad	prosinec	leden	únor	březen	duben
1985			0,3	-0,4	5,3	11,8
1986	4,4	7,2	-0,5	-1,8	5	14,6
1987	9,6	5,4	2,1	1,3	2,5	10,5
1988	2,1	4	5	-0,6	0,2	11
1989	5,3	1,9	7,3	10,7	9,9	12
1990	10,3	8,3	1,5	10,3	10,3	12
1991	3,6	0,5	5,2	7,2	8	7
1992	5,8	7,4	3,7	8,8	4,4	10,2
1993	6,4	8	5	8,4	7,2	14,5
1994	4,4	2,4	2,9	5,1	7,8	13,8
1995	9,1	4,4	1,1	1,4	2,3	14
1996	7,5	0,9	7,2	4,5	5	13
1997	9,3	7,8	10,9	1,6	7,4	9,2

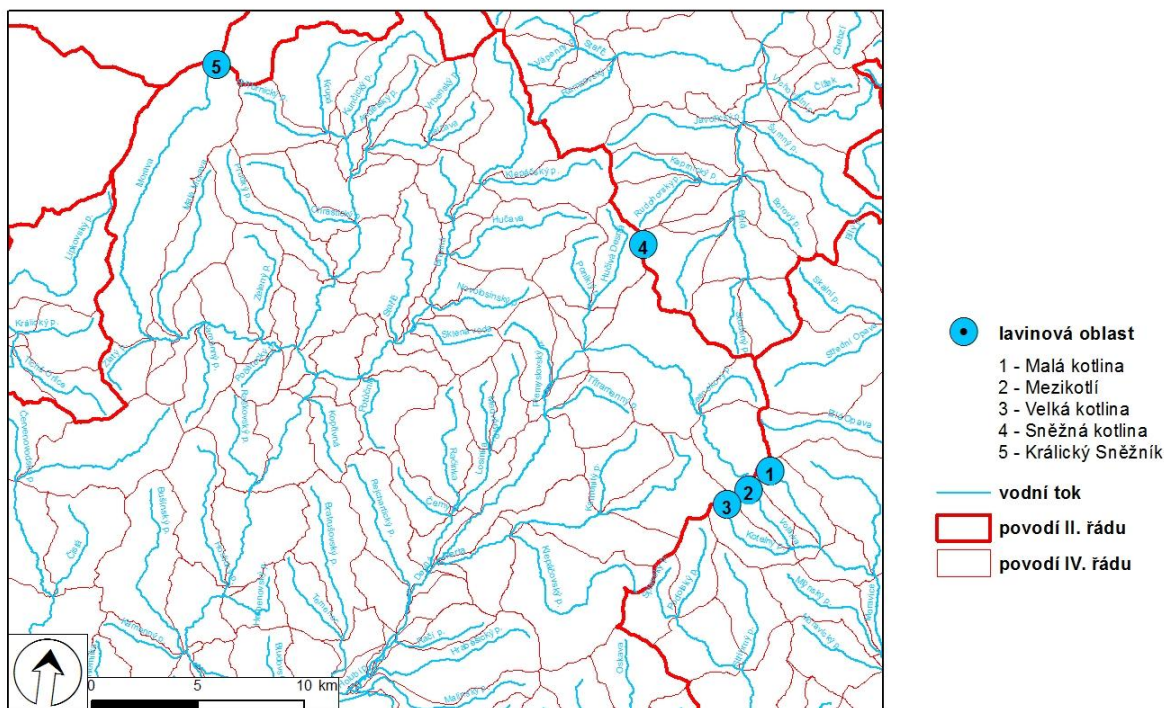
Tab. 6: Maximální teploty ve stupních Celsia v měsících s pravděpodobným sněžením ve stanici Šerák (ČHMÚ, 2013).

hydrologický rok	listopad	prosinec	leden	únor	březen	duben
2004			11	12,3	19	33,6
2005	20,8	11,7	21,4	17,8	9,5	28,1
2006	17,3	20,3	6,7	15,4	11,4	27,6
2007	27,1	35,7	33,5	10,9	20,2	3,7
2008	14,3	13,2	9,7	15,4	16,1	26,5
2009	12,5	6,6	12,9	11	18,4	9,7
2010	8,6	11,2	16,5	9,2	10,5	24,7
2011	25,6	12,2	8,9	3,7	11,8	15

3.1.4. Hydrologické poměry

Všechny sledované lavinové dráhy se nachází v údolních uzávěrech při úpatí hlavního hřbetu tvořícího rozvodí prvního stupně mezi Baltským a Černým mořem. Říční síť má v oblasti dendritický charakter, hlavní údolí jsou tektonicky podmíněna (obr. 16). Všechny svahové oblasti pohoří jsou charakteristické vysokým odtokovým součinitelem obvykle přesahujícím 50 % a vysokou hodnotou specifického odtoku (přes 20 l/s/km²) (Řehánek, 2003). Vodní toky mají bystřinný charakter a průtoková maxima v období tání sněhu a vydatných letních srážek.

Lavinová dráha na Králickém Sněžníku spadá do úmoří Černého moře, dráhy Vysokoholského hřbetu a Sněžná kotlina do úmoří moře Baltského. Malá kotlina je zdrojovou oblastí Kotelného potoka (povodí IV. řádu), v Mezikotlí pramení Volárka (povodí V. řádu), která se níže právě do Kotelného potoka vlévá. Ve Velké kotlině pramení Moravice (povodí III. rádu). Sněžná kotlina je odvodňována Černým potokem (povodí V. řádu) pokračujícího do Červenohorského potoka, ústícího dále do Bělé. Lavinová dráha na Králickém Sněžníku je protékána pramenným úsekem řeky Moravy (povodí II. řádu) (DIBAVOD, 2014).

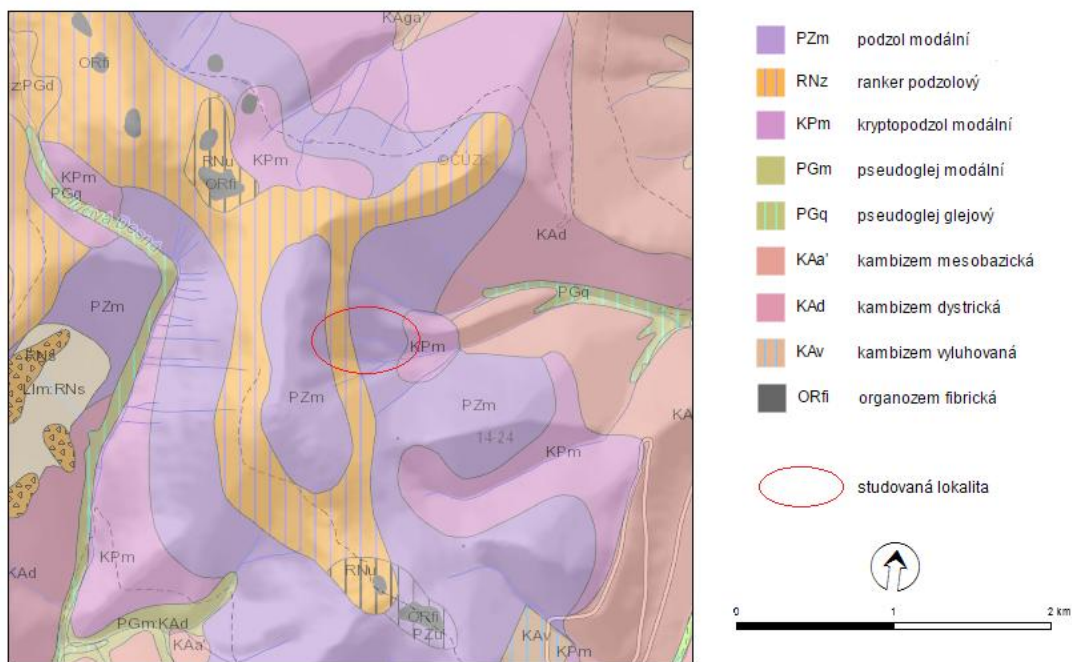


Obr. 16: Říční síť a povodí Hrubého Jeseníku a Králického Sněžníku (DIBAVOD, 2014).

3.1.5. Půdní poměry

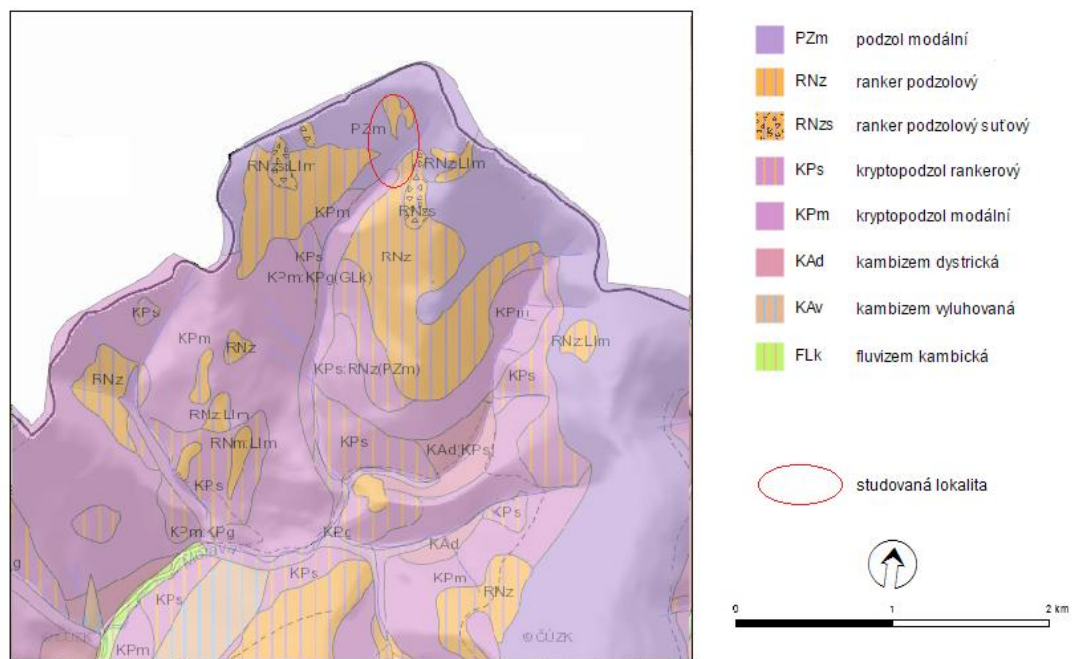
Půdy vrcholových partií Hrubého Jeseníku a Králického Sněžníku jsou mělké a nevyvinuté, zejména se jedná o litozemě a rankery. Nižší zalesněné polohy jsou charakteristické výskytem kryptopodzolů a podzolů (obr. 17). Jelikož půdotvorný substrát tvoří zvětraliny metamorfovaných hornin, půdy jsou šterkovité až kamenité s promyvným vodním režimem a dlouhodobě mrazovým teplotním režimem (Tomášek, 2003). Mocnost půd v lavinových drahách je obvykle nižší než v okolním zapojeném lese, zejména pak v tranzitní zóně, kde nabývá často řádu jen několika centimetrů (Jahn, 1989).

Ve Sněžné kotlině v okolí lavinové dráhy převládá podzol modální a ranker podzolový. V nejnižších částech kotliny se pak vyskytuje kryptopodzol modální (obr. 17).



Obr. 17: Půdní mapa Sněžné kotliny a okolí (Půdní mapa 1 : 50 000).

Okolí lavinové dráhy na Králickém Sněžníku má půdní pokryv v podobě podzolu modálního ve vyšších polohách, kryptopodzolu modálního a rankeru podzolového v nižších polohách. V příkrých svazích se nachází ranker podzolový suťový (obr. 18).



Obr. 18: Půdní mapa Králického Sněžníku a okolí (Půdní mapa 1 : 50 000).

3.1.6. Biotické poměry

Fytogeograficky spadá území Hrubého Jeseníku a Králického Sněžníku do oblasti České oreofytikum, jí podřazené územní jednotky Východní Sudety a fytogeografických okresů Hrubý Jeseník a Králický Sněžník (Slavík, 1988). Základním rysem Hrubého Jeseníku i Králického Sněžníku je alpské bezlesí, které se nachází nad přirozenou klimaticky podmíněnou horní hranicí lesa (Jeník, 1961). Alpské bezlesí je specifické výskytem botanických elementů tzv. arкто-alpské tundry (Klimeš a Klimešová, 1991) s alpskými trávničky, alpskou a subalpskou keříčkovou vegetací (Chytrý et al., 2001). K charakteristickým druhům patří metlička křivolaká (*Avanella flexuosa*), kostřava nízká (*Festuca supina*), smilka tuhá (*Nardus stricta*), kostřava nízká (*Festuca supina*), brusnice borůvka (*Vaccinium myrtillus*), brusnice brusinka (*Vaccinium vitis-idea*) či vřes obecný (*Calluna vulgaris*). Dřeviny jsou zastoupeny v alpském pásmu zcela řídce, především různé zakrslé formy smrku ztepilého (*Picea abies*) a nepůvodní uměle vysazená borovice kleč (*Pinus mugo*) (Jeník, 1961, Bureš et al., 2009). Ekoton horní hranice lesa se nachází v nadmořské výšce od 1350 m v okolí Petrových kamenů po 1110 m ve Velké kotlině, kde je právě snížena činností lavin. Na Červené hoře leží zhruba mezi 1270 - 1200 m n. m. a na Králickém Sněžníku 1320 - 1230 m n. m. (Tremel a Banaš, 2000).

Původ alpského bezlesí a polohy horní hranice lesa byl v minulosti často otázkou sporů. Firbas (1949) na základě pylových analýz předpokládal, že během holocénu byly celé vrcholové partie hor porostlé zapojeným lesem a odlesnění způsobil člověk ve 13. století. Myšlenka je však v rozporu s dlouhodobým vývojem a přítomností alpských společenstev (Jeník, 1961), periglaciálních tvarů (Tremel a Křížek, 2006) a lavinových drah, které jsou na sněhu vyfoukávaném z alpského bezlesí závislé. Podle současných poznatků Rybníčka a Rybníčkové (2004) a Tremela et al. (2008) je alpské bezlesí přirozené a zásah člověka ve středověku spojený s využíváním bezlesí k pastvě, se projevil zejména změnou polohy horní hranice lesa a druhového složení zejména u trav. Klimeš a Klimešová (1991) uvádí, že po skončení pastvy ve 40. letech 20. století se opět druhové složení změnilo. Rychleji se rozšiřuje metlička křivolaká (*Avanella flexuosa*) a ostružiník maliník (*Rubus idaeus*) a klesá zastoupení bojínku alpského (*Phleum alpinum*) a biky bělavé (*Luzula*

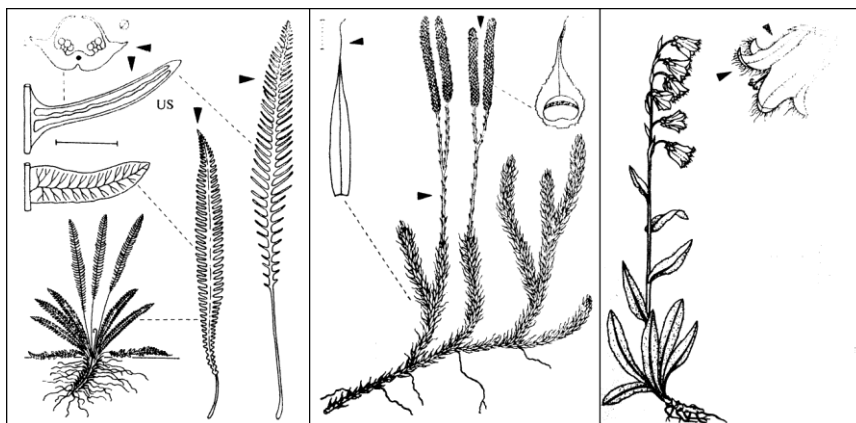
luzuloides). Významným zásahem do přirozeného vývoje vegetace bylo umělé vysazení borovice kleč (*Pinus mugo*) ve druhé polovině 19. století (Bureš et al., 2009). Dnes zaujímá kleč, která se množí vegetativně, více než 150 ha plochy v celém pohoří a její rozloha se rozrostla v druhé polovině 20. století o více než 2 %. Negativně se její výskyt projevuje vzhledem k původní alpské vegetaci, periglaciálním tvarům i živočichům (Bureš et al., 2009). Další budoucnost kleče v Hrubém Jeseníku a na Králickém Sněžníku je předmětem diskusí a sporů mezi ochranáři a lesníky. V současné době jsou klečové porosty rozděleny do několika kategorií, přičemž u některých z nich dochází k likvidaci, která již proběhla například na několika místech na Keprníku, v Malé a Velké kotlině a ve Sněžné kotlině (Bureš et al., 2009, Maděra et al., 2011).

Lavinové dráhy na alpské bezlesí přímo navazují a horní hranice lesa je v nich činností lavin a plazivého sněhu značně snížena. Vzhledem ke své pozici v závětrří v rámci anemo-orografických systémů v nich dochází k akumulaci minerálních látek a živin. Mísí se zde glaciální relikty s termofilními druhy a je zde obvykle velmi vysoká biodiverzita (Jeník, 1961, Jeník et al., 1980, Rixen et al., 2007). Obvykle jsou zde biotopy subalpínské vysokobylinné vegetace, skalní vegetace sudetských karů a subalpínské křoviny (Chytrý et al., 2001).

Ve Sněžné kotlině se přirozeně vyskytují společenstva *Calamagrostio villosae-Piceetum* (třtinové smrčiny) a *Athyrio alpestris-Piceetum* (papratkové smrčiny), v dolní partii pak *Calamagrostio villosae-Fagetum* (smrkové bučiny). Dominantní dřevinou lavinové dráhy je tedy smrtek ztepilý (*Picea abies*) doprovázený podstatně méně četnějším bukem lesním (*Fagus sylvatica*). Místy se objevuje i javor klen (*Acer pseudoplatanus*). Nepůvodními dřevinami je borovice kleč (*Pinus mugo*), která tvoří rozsáhlé porosty zejména v odtrhové zóně lavinové dráhy při horní hranici lesa, a olše zelená (*Duschetia alnobetula*). Bylinná vegetace Sněžné kotliny je taktéž velmi pestrá. Vyskytuje se zde několik druhů plavuní, například vranec jedlový (*Huperzia selago*), plavuň pučivá (*Lycopodium annotinum*) či plavuň vidlačka (*Lycopodium clavatum*, obr. 19). Lokalita je chráněna jako PR kvůli hojnému výskytu kapradiny žebrovice různolisté (*Blechnum spicant*, obr. 19), ale roste zde i množství dalších druhů kapradí jako například bukovník kapraďovitý (*Gymnocarpium dryopteris*) nebo pérnatec horský (*Lastrea limbosperma*). Dalšími významnými druhy

jsou například zvonek vousatý (*Campanula barbata*, obr. 19), šícha oboupohlavná (*Empetrum hermaphroditum*), silenka nadmutá (*Oberna behen*), hořec tečkovaný (*Gentiana punctata*), violka dvoukvětá (*Viola biflora*) nebo hořec tolitovitý (*Gentiana asclepiadera*). Roste zde také 80 druhů mechorostů, z toho 53 druhů mechů a 27 jätrovek, např. omšenka ohrnutá (*Anastrepta orcadensis*) nebo okružnice stlačená (*Nardia compressa*). Mezi vzácné mechy patří *Herzogiella striatella* nebo termovka (*Weisia wimmeriana*).

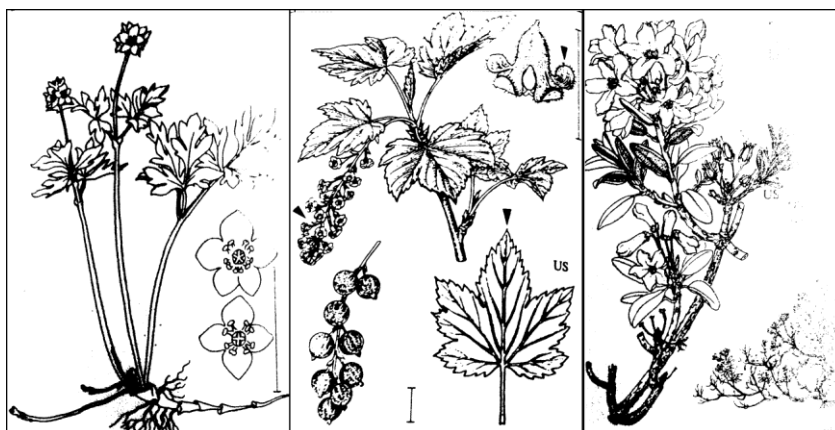
Mezi ptáky obývající Sněžnou kotlinu se řadí linduška lesní (*Anthus trivialis*), linduška luční (*Anthus pratensis*) a čečetka zimní (*Carduelis flammea*). Nepravidelně se zde vyskytuje rys ostrovid (*Lynx lynx*) (Kavalcová, 2003).



Obr. 19: Bylinná vegetace lavinové dráhy ve Sněžné kotlině. Pozn.: zleva žebrovice různolistá (*Blechnum spicant*), plavuň vidlačka (*Lycopodium clavatum*) a zvonek vousatý (*Campanula barbata*) (Rothmaler, 1987).

Lavinová dráha na Králickém Sněžníku je vegetačně složena společenstvy *Nardo-Agrostion tenuis* (horské smilkové trávníky) a *Juncion trifidi* (vyfoukané alpské trávníky) ve své odtrhové zóně a zasahuje níže do *Calamagrostio villosae-Piceetum* (třtinových smrčin). Kromě převládajícího smrku ztepilého (*Picea abies*) a méně četného buku lesního (*Fagus sylvatica*) se zde z dřevin vyskytuje místy i jeřáb ptačí (*Sorbus aucuparia*). Mezi významné byliny patří pižmovka mošusová (*Adoxa moschatellina*, obr. 20), křivatec žlutý (*Gagea lutea*), plicník tmavý (*Pulmonaria obscura*). Na lokální suťoviska se váže výskyt rybízu skalního (*Ribes Petraeum*, obr. 20) a růže převislé (*Rosa pendulina*). Zajímavostí je přítomnost pěnišníku rezavého (*Rhododendron ferrugineum*, obr. 20), který je charakteristický pro Alpy a nikoliv pro Sudety.

Typickým zástupcem avifauny je linduška horská (*Anthus spinoletta*), pěvuška podhorní (*Prunella collaris*) i jeřábek lesní (*Bonasa bonasia*). Mezi malé savce patří rejsek horský (*Sorex alpinus*) nebo plch lesní (*Dryomys nitedula*). Z větších savců se zde nepravidelně objevuje rys ostrovid (*Lynx lynx*) a žije zde početná skupina kamzíků horských (*Rupicapra rupicapra*), kteří jsou zde nepůvodní (Paukertová a Rejl, 2002).



Obr. 20: Bylinná vegetace lavinové dráhy na Králickém Sněžníku. Pozn.: zleva pižmovka mošusová (*Adoxa moschatellina*), rybíz skalní (*Ribes Petraeum*) a pěnišník rezavý (*Rhododendron ferrugineum*) (Rothmaler, 1987).

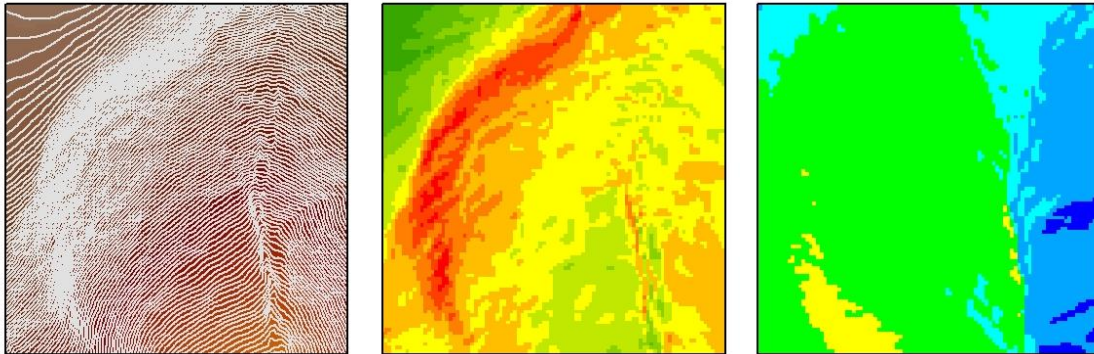
4. METODIKA

4.1. Morfometrie lavinových drah východních Vysokých Sudet

4.1.1. Tvorba digitálního modelu reliéfu

Morfometrické charakteristiky jednotlivých lavinových drah byly zjišťovány z digitálního modelu reliéfu 4. generace (ČÚZK, 2014) a jeho derivátů. Originální data byla získána leteckým laserovým skenováním v roce 2013 a představují pravidelnou síť diskretních bodů (5 x 5 m), které mají souřadnice X, Y, H, kde H představuje nadmořskou výšku v referenčním systému Balt po vyrovnání (Bpv). Garantovaná úplná střední chyba výšky je 0,3 m v odkrytém terénu a 1 m v zalesněném terénu. Data byla zpracována v souřadnicovém systému S-JTSK v programu ArcMap 10.0 (ESRI, 2010) s extenzí 3D analyst. Z bodových dat byl vytvořen rastr digitálního modelu reliéfu (DMR) o velikosti jednoho pixelu 5 x 5 m pomocí funkce "Feature

to raster". Pro získání přehledu o morfologii lavinových drah byl ze zmíněného rastru vytvořen pomocný rastr sklonu pomocí funkce "Slope," který zachovává prostorovou přesnost původního rastru DMR, a rastr orientace pomocí funkce "Aspect" (obr. 21).



Obr. 21: Ukázka vizualizace digitálního modelu reliéfu v prostředí GIS. Pozn.: zleva rastr DMR s vrstevnicemi, rastr sklonu a rastr orientace.

4.1.2. Vymezení hranic lavinových drah

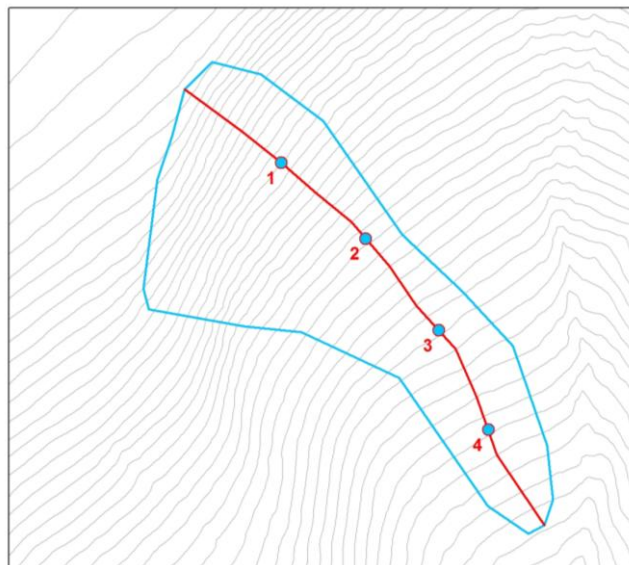
Na základě literatury (kapitola 3) bylo vymezeno 5 lavinových oblastí, v nichž byly posléze v prostředí GIS vymezovány hranice jednotlivých lavinových drah. Primárním zdrojem pro zmíněné vymezení byly letecké měřické snímky (ČÚZK, 2012), na kterých jsou hranice drah zřetelné zejména podle vzrostlé vegetace ohraničující lavinové dráhy, ve kterých naopak vzrostlá vegetace chybí. Druhým zdrojem byl pomocný rastr sklonu vytvořený z DMR 4. generace, na jehož základě byly vymezeny zejména hranice odtrhových zón lavinových drah. Vymezení některých drah bylo dále upřesněno podle fotografií nebo zákresů v literatuře. Hranice lavinových drah byly vektorizovány v prostředí ArcMap 10. (ESRI, 2010) a byla vytvořena polygonová vrstva lavinových drah.

4.1.3. Určení morfometrických charakteristik

Odečtení morfometrických charakteristik z výše uvedených dat proběhlo opět v prostředí softwaru ArcMap 10 (ESRI). Údaje o maximální a minimální nadmořské výšce každé lavinové dráhy byly získány funkcí "Zonal Statistics as Table", která vypočítává základní statistické hodnoty rastru DMR v místě překryvu s vektorovou vrstvou lavinové dráhy. Hodnota orientace každé lavinové dráhy byla získána pomocí

funkce "Identify" z rastru orientace v odtrhové zóně. Výsledný azimut byl poté zařazen do jednoho ze základních 8 segmentů světových stran. Pomocí funkce "Identify" byla taktéž z rastru sklonu změřena hodnota sklonu odtrhové zóny, respektive nejprudšího místa v odtrhové zóně. Délka lavinové dráhy byla změřena pomocí funkce "Measure" po středové spádnicí vycházející z nejvyššího bodu dráhy, která vznikla za pomoci funkce "Create Steepest Path" z rastru DMR. Z atributové tabulky vektorových dat byly získány hodnoty plochy a obvodu každé lavinové dráhy.

Každá lavinová dráha byla po středové spádnicí rozdělena do pěti stejně dlouhých segmentů rozdělených čtyřmi body (obr. 22), které byly očíslovány směrem ze svahu dolů (1 - 4). V každém z bodů byla změřena šířka kolmo na spádnicí pomocí funkce "Measure" a sklon pomocí funkce "Identify" z rastru sklonu. Šířka každé lavinové dráhy uvedená v souhrnných výsledcích byla vypočítána aritmetickým průměrem všech 4 hodnot získaných ve zmíněných bodech.



Obr. 22: Schéma rozdělení lavinové dráhy na pětiny.

Zpracování hodnot získaných v prostředí ArcMAP bylo následně provedeno v tabulkovém procesoru MS Excel (Microsoft, 1999). Průměrný sklon každé lavinové dráhy (I) byl spočítán podle 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 spádnicí. Za účelem vyjádření prostorového tvaru každé lavinové dráhy byl také vypočítán poměr délky a šířky (sensu Křížek et al., 2012) a koeficient protáhlosti (R) (sensu Schumm, 1956 in Bárdossy a Schmidt, 2002) podle vzorce:

$$R = (2 * \sqrt{(P/\pi)})/L,$$

kde P je plocha dráhy a L její délka. Vzrůstající hodnoty poměru délky a šířky značí protáhlejší tvar dráhy. Koeficient protáhlosti (R) nabývá hodnot od 0 do 1 a jeho snižování hodnot značí protáhlejší lavinovou dráhu.

4.1.4. Statistické vyhodnocení morfometrických charakteristik

Pro zjištění závislostí mezi charakteristikami jednotlivých lavinových drah (délka, šířka, převýšení a sklon odtrhu) byla vytvořena korelační matice s hodnotami Pearsonova korelačního koeficientu při hladině významnosti $p < 0,05$ testovanými t-testem. Předpokladem využití Pearsonova korelačního koeficientu je normální rozdělení dat, které bylo pro každý soubor charakteristik otestováno Kolmogorov-Smirnovým a Shapiro-Wilkovým testem normality.

Pro zjištění společných znaků jednotlivých lavinových drah a jejich potenciální rozdělení do skupin byla provedena shluková analýza (Wardova metoda) s eukleidovskými vzdálenostmi, kde vstupními parametry byly mezi sebou nekorelované délka, šířka a průměrný sklon.

Za účelem popsání změn hodnot šířky a sklonu drah v jednotlivých bodech v pětinach lavinových drah byla použita jednocestná analýza rozptylu ANOVA. Výsledky byly testovány F-testem na hladině významnosti $p = 0,05$. Vzájemná závislost sklonu a šířky ve všech bodech v pětinach lavinových drah byla charakterizována Pearsonovým korelačním koeficientem. Protože soubor dat šířek nesplnil předpoklad normálního rozdělení ani Kolmogorov-Smirnovým ani Shapiro-Wilkovým testem normality, byl pro účely korelace normalizován přirozeným logaritmem. Výše uvedené testy závislosti pozice, šířky a sklonu byly provedeny

jednak pro celý soubor dat ze všech lavinových drah a jednak pro obě podskupiny drah zjištěné z výsledků shlukové analýzy.

4.1.5. Tvorba geomorfologických map lavinových drah ve Sněžné kotlině a na Králickém Sněžníku

Pro lavinové dráhy ve Sněžné kotlině a na Králickém Sněžníku, které byly studovány též dendrochronologicky, byly vytvořeny geomorfologické mapy s důrazem na erozní a akumulční tvary potenciálně vzniklé lavinovou aktivitou. Podkladem pro tvorbu map byl, stejně jako u analýzy morfometrie všech drah, digitální model reliéfu 4. generace (ČÚZK, 2014) a terénní průzkum. Model reliéfu byl vizualizován v programu ArcScene 10.0 (ESRI, 2010) ve 3D režimu s různými úhly nasvětlení, dále byl použit odvozený rastr sklonu (*Slope*), a křivosti (*Curvature*) a vrstevnice po 1 m. DMR posloužil také pro vytvoření několika výškových profilů.

4.2. Dendrogeomorfologický výzkum lavinových drah ve Sněžné kotlině a na Králickém Sněžníku

4.2.1. Odběr vzorků v terénu

Za účelem datování lavinových událostí (roků) a určení aktivity lavinových drah byl ve vybraných drahách Sněžné kotliny a Králického Sněžníku proveden dendrogeomorfologický výzkum. Prvním krokem byl odběr vzorků z žijících i mrtvých jedinců smrku ztepilého (*Picea abies*) pro následnou analýzu, který proběhl přímo v terénu. Pro analýzu příčných řezů z 50 žijících jedinců ve Sněžné kotlině a 27 žijících jedinců na Králickém Sněžníku byl použit Presslerův přírůstkový nebozez o délce 30 či 40 centimetrů (obr. 23), který běžně dostačuje na dosažení středu kmene u všech jedinců ohraničujících lavinové dráhy studovaných lokalit. Vývrty v podobě válečků o průměru 5,5 mm byly odebírány z každého jedince minimálně ve třech pozicích, a sice ve směru působení lavin (shora), po vrstevnici (zboku), a proti svahu (zdola). Všechny vrty byly odebrány ideálně ve výšce okolo 120 centimetrů nad zemí, pokud tomu nezabraňovaly okolnosti jako hniloba kmene v jeho spodní části (ve zmíněném případě bylo vrtáno výše až do cca 2 m nad zemí) nebo množství větví komplikující provedení vývrtu (ve zmíněném případě bylo obvykle vrtáno níže než 100 cm nad zemí). Ve Sněžné kotlině byly odebrány také vývrty

z jizev na povrchu kmene osmi jedinců za účelem jejich datování. Vývrty byly vždy odebrány z okraje jizvy pro co největší šanci zachycení její okrajové části, kde jizva začíná zarůstat. Vzorky byly odebírány, jak z jedinců viditelně poškozených, tak nepoškozených, neboť i zjevně nepoškození jedinci často vykazují reakce na lavinové události (Caravaglia a Pelfini, 2011). Z klád ležících ve směru po spádnicí v akumulacích zónách lavinových drah (Reardon et al., 2008) bylo odebráno 11 příčných řezů ve Sněžné kotlině a 8 příčných řezů na Králickém Sněžníku.



Obr. 23: Presslerův nebozez při odběru vzorku.

Odběr vzorků probíhal po dohodě s CHKO Jeseníky v lavinových drahách ve Sněžné kotlině a na Králickém Sněžníku postupně v letech 2013 a 2014. Vrtý z lokality Sněžná kotlina byly odebrány v září 2013, červnu, červenci a srpnu 2014. V září 2014 byly odebrány vzorky mrtvého dřeva. V dráze na Králickém Sněžníku byl odběr vrtů proveden v červenci, srpnu a září 2014, vzorky mrtvého dřeva byly odebrány v říjnu 2014.

4.2.2. Analýza vzorků

Všechny vzorky byly zpracovány v prostředí Laboratoře dendrochronologie KFGG PŘF UK v Praze. Vývrty byly nejprve nalepeny do dřevěných drážek, ve kterých byly posléze pro dobrou čitelnost letokruhů zabroušeny na brusce brusným papírem postupně o zrnitosti 80, 120 a 300 (obr. 24). V případě špatné čitelnosti letokruhů i pro třetím zabroušení byly vzorky přebroušeny ještě brusným papírem s jemnější zrnitostí. Stejná procedura broušení jako u vývrtů proběhla

i u příčných řezů mrtvého dřeva. Následně byly ze všech vzorků změřeny šířky letokruhů na posuvném měřícím stole TimeTable pod binokulární lupou (obr. 24) pomocí softwaru PAST 4 (SCIEM, 2010). Při měření byly též zaznamenávány mikromorfologické znaky jako přítomnost traumatických pryskyřičných kanálků (TRD) nebo reakčního dřeva.



Obr. 24: Broušení vývrtů a měření na posuvném stole pod binokulární lupou.

Naměřená data byla konfrontována v softwaru PAST 4 se standardní letokruhovou chronologií Laboratoře dendrochronologie KFGG PřF UK v Praze pro Keprník případě Sněžné kotliny a pro Králický Sněžník v případě Králického Sněžníku, oboje ve výškových hladinách 1200 i 1300 m n. m. (Ponocná et al., in rev.), za účelem determinace ostatních (například klimatických) vlivů způsobujících prudké růstové změny, a za účelem křížového datování mrtvého dřeva a vzorků z vývrtů s chybějícími letokruhy (sensu Villalba a Veblen, 1997). Takto zpracovaná data byla vyexportována a dále podrobena analýze v tabulkovém procesoru MS Excel.

4.2.3. Datování lavinových událostí

Pro určení lavinových roků bylo nejprve nutné určit a datovat jednotlivé indikátory (resp. reakce) lavinových disturbancí u každého jedince, a sice prudké růstové změny, změny excentricity, přítomnost traumatických pryskyřičných kanálků, jizev a datování posledních letokruhů mrtvého dřeva.

Pro určení prudkých růstových změn byla použita data šířek letokruhů změřených z vývrtů po vrstevnici (zboku). Záporná prudká růstová změna byla

vyhodnocena jako signifikantní v letech, kdy průměr šířek daného a dvou následujících letokruhů byl o 35 % menší než průměr šířek třech předcházejících letokruhů a kladná prudká růstová změna v případě, že průměr šířek daného a následujících dvou letokruhů byl o 60 % větší než průměr třech předcházejících letokruhů (sensu Tumajer, 2013), což je možné vyjádřit vzorcem:

$$I_{PRZ(t)} = \frac{R_t + R_{t+1} + R_{t+2}}{R_{t-1} + R_{t-2} + R_{t-3}} - 1 ; \quad \forall I_{PRZ} \notin (-0,35;0,6) \rightarrow \text{„prudká růstová změna“},$$

kde $I_{PRZ(t)}$ je index prudkých růstových změn v roce t , a R je šířka letokruhu. Za rok s prudkou růstovou změnou byl považován vždy první rok, kdy $I_{PRZ(t)}$ splnil podmínky pro prudkou růstovou změnu, a nikoliv následující roky, kdy mohly být signifikantní hodnoty indexu způsobeny primárními disturbancemi v prvním roce.

Excentricita byla pro každý rok u každého jedince spočítána poměrem šířky letokruhu z vývrtu odebraného po směru působení lavin (shora) a šířky letokruhu z vývrtu odebraného proti směru působení lavin (zdola) podle Schweingruber (1996), což lze vyjádřit vzorcem:

$$I_{EXC(t)} = \frac{R_t^s}{R_t^z},$$

kde $I_{EXC(t)}$ je index excentricity v roce t , R_t^s je šířka letokruhu z vývrtu shora v roce t a R_t^z je šířka letokruhu z vývrtu zdola v roce t . Změna v roce t byla vypočítána jako průměr hodnot I_{EXC} v roce t a následujících dvou letech dělený průměrem I_{EXC} v předcházejících třech letech, což je možné vyjádřit:

$$Z_{EXC(t)} = \frac{\frac{I_{EXC(t)} + I_{EXC(t+1)} + I_{EXC(t+2)}}{3}}{\frac{I_{EXC(t-3)} + I_{EXC(t-2)} + I_{EXC(t-1)}}{3}},$$

kde $Z_{EXC(t)}$ je změna excentricity v roce t a I_{EXC} je výše popsáný index excentricity. K signifikantní změně excentricity došlo, pokud se hodnota $Z_{EXC(t)}$ rovnala nebo překročila hodnotu 1,45. Stejně jako u růstových změn, byly i signifikantní změny

excentricity brány v úvahu pouze v prvním roce, pokud po sobě několik let následovaly.

Přítomnost traumatických pryskyřičných kanálků (TRD) byla zaznamenávána při měření na posuvném měřicím stole pod binokulární lupou. Jako signifikantní indikátor disturbance byly považovány tehdy, pokud tvořily zřetelnou řadu zaujímavější většinu šířky části letokruhu na vývrtnu. Jelikož dřeviny obvykle tvoří v reakci na poškození lavinou TRD i v následujících vegetačních sezónách, byly i zde brány v potaz pouze roky s prvním výskytem TRD, pokud následovaly další.

Datování jizev proběhlo na základě určení posledního letokruhu před jizvou, pozice hojivého pletiva nebo počtu letokruhů zacelujících jizvu. Vybraný způsob závisel na pozici provedeného vývrtnu, který se vždy nemusel trefit do okraje jizvy. V případě určení pouze posledního letokruhu před jizvou byla předešlá sekvence křížově datována se záznamy z ostatních vývrtnů ze stejného jedince.

Data z příčných řezů z odebraného mrtvého dřeva byla křížově datována v softwaru PAST 4 se standardní letokruhovou chronologií příslušející k lavinové dráze i s průměrnou chronologií vytvořenou ze všech vývrtnů po vrstevnici (zboku) ze všech žijících jedinců příslušné lavinové dráhy. Poslední letokruh mrtvého dřeva byl přiřazen vegetační sezóně před lavinovou událostí.

K určení potenciálních lavinových let (lavinovým rokem se rozumí rok vegetační sezóny následující po zimě, kdy proběhla lavinová událost, případně více událostí) byly zvoleny 2 metody. "Klasická" metoda (sensu Shroder, 1978) je určena pro každý rok jako podíl jedinců vykazujících alespoň jeden z výše popsaných indikátorů (*growth disturbances* sensu Stoffel a Corona, 2014) a celkového počtu jedinců žijících v daném roce. "Klasickou" metodu lze vyjádřit vzorcem:

$$I_t = \frac{\sum_{i=1}^n R_t}{\sum_{i=1}^n A_t} ,$$

kde I_t je lavinový index v roce t , R_t představuje reagující stromy v roce t a A_t všechny stromy v roce t . I_t může teoreticky nabývat hodnot od 0 do 1. Za potenciální lavinový rok (rok následující vegetační sezóny po lavinové události) byl považován rok t , kdy

hodnota indexu přesáhla 0,25, a zároveň pokud v daném roce bylo množství analyzovaných jedinců At větší nebo rovno 10.

"Moderní" metoda (sensu Kogelnig-Mayer et al., 2011), přisuzuje některým indikátorům vyšší váhu než ostatním a měl by tak mít lepší potenciál pro determinaci roků s přímými důkazy laviny (jizvy, mrtvé dřevo). "Moderní" přístup byl pro lavinové dráhy východních Vysokých Sudet použit ve tvaru:

$$W_{it} = \left[\left(\sum_{i=1}^n GD_{m(t)} * 5 \right) + \left(\sum_{i=1}^n GD_{j(t)} * 5 \right) + \left(\sum_{i=1}^n GD_{exs(t)} * 3 \right) + \left(\sum_{i=1}^n GD_{rz(t)} * 1 \right) + \left(\sum_{i=1}^n GD_{exl(t)} * 1 \right) + \left(\sum_{i=1}^n GD_{trd(t)} * 1 \right) \right] * \frac{\sum_{i=1}^n Rt}{\sum_{i=1}^n At},$$

kde W_{it} je vážený lavinový index, $GD_{m(t)}$ je mrtvé dřevo, $GD_{j(t)}$ je jizva, $GD_{exs(t)}$ je výrazná změna excentricity se $Z_{EXC(t)} > 2$, $GD_{rz(t)}$ je prudká růstová změna, $GD_{exl(t)}$ je slabá změna excentricity s $Z_{EXC(t)} < 2$ a $GD_{trd(t)}$ je přítomnost traumatických pryskyřičných kanálků, vše v roce t . Rt opět představuje reagující stromy v roce t a At veškeré stromy v roce t (sensu Tumajer a Treml, 2015). Jako potenciální lavinový rok byl vyhodnocen rok t připadající vegetační sezóně po zimě s lavinovou událostí, kdy hodnota W_{it} přesáhla 2 za předpokladu, že počet analyzovaných jedinců v daném roce At byl větší nebo roven 10. Případy, kdy v jednom lavinovém roce došlo k více lavinovým událostem, není možné na základě dendrochronologické metody determinovat (Shroder, 1978).

4.2.4. Prostorová rekonstrukce lavinových událostí

Za účelem získání přehledu o prostorovém rozsahu lavinových událostí byl každý jedinec, ze kterého byly odebrány vývrty, zaměřen přístrojem GPS Garmin 60CSx s deklarovanou horizontální přesností ± 8 m. Naměřená data byla v prostředí ArcMap 10.0 (ESRI, 2010) převedena do souřadnicového systému S-JTSK a zobrazena v mapě. Pro každý rok t byla ke každému bodu reprezentujícímu jeden strom přiřazena hodnota 1 v případě, že v roce t zaznamenal daný jedinec reakci na lavinovou událost, a 0 v případě, že daný jedinec žádnou reakci nezaznamenal. Následně byly vytvořeny mapy pro každý rok t se signifikantní hodnotou I_t nebo W_{it} , na kterých jsou bodově zobrazeny stromy vykazující reakci na lavinu a bez reakce.

Stromy, které v daném roce t ještě na lavinové dráze nerostly, nejsou zobrazeny. Výsledek by měl naznačit prostorový rozsah potenciálních lavinových událostí, které byly determinovány dendrochronologickou metodou. Za předpokladu, že v jednom lavinovém roce došlo k více lavinovým událostem, což není možné rozlišit dendrochronologickým datováním, není možné odlišit prostorový rozsah jednotlivých událostí.

4.3. Analýza historických leteckých snímků

Projevy lavinové činnosti mohou být patrné na leteckých snímcích pořízených v různém období, neboť laviny mohou měnit rozsah dráhy a výrazně ovlivnit růst a výskyt dřevinné vegetace (Tumajer, 2013). Letecké měřické snímky z let 1945, 1958, 1965, 1975, 1985 a 1995 pro Sněžnou kotlinu a z let 1936, 1946, 1957, 1970, 1976, 1986 a 1995 pro Králický Sněžník byly zakoupeny ve VGHMÚř Dobruška. Dále byly pro obě lokality použity ortofotosnímky z let 2001, 2003 a 2006 od GEODIS Brno a z roku 2013 poskytnuté ČÚZK. Snímky z VGHMÚř Dobruška, které neobsahovaly polohovou informaci, byly v prostředí ArcMap 10.2 (ESRI) georeferencovány pomocí metody vlíčovacích bodů na podkladu ortofotomap ČÚZK z roku 2013. Dále byly u některých fotografií provedeny úpravy histogramu za účelem lepší čitelnosti. Následně byl mezi jednotlivými po sobě následujícími snímky porovnán rozsah lavinových drah a výskyt vzrostlé vegetace.

5. VÝSLEDKY

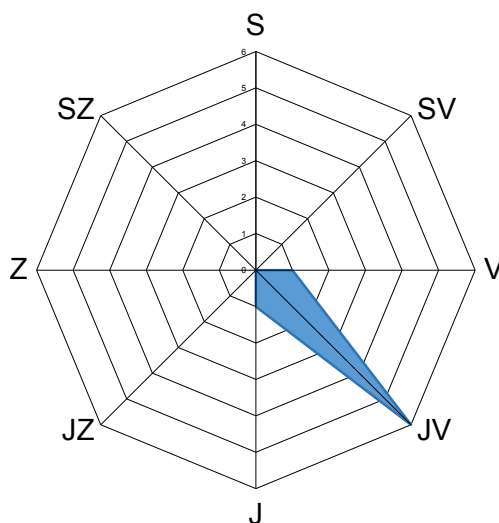
5.1. Lavinové dráhy východních Vysokých Sudet a jejich morfometrie

5.1.1. Poloha lavinových drah východních Vysokých Sudet

Celkově bylo v oblasti Hrubého Jeseníku a Králického Sněžníku vymezeno osm lavinových drah v pěti oblastech. Z toho se tři oblasti nacházejí na jihovýchodních svazích Vysokoholského hřbetu a jedna ve Sněžné kotlině na východním svahu Červené hory v Hrubém Jeseníku a jedna na jižním úpatí Králického Sněžníku v údolním uzávěru řeky Moravy (tab. 7). Pouze v jedné oblasti se vyskytuje více lavinových drah, a sice ve Velké kotlině. Nejčastější orientace lavinových drah je jihovýchodní (obr. 25), kterou mají všechny dráhy Vysokoholského hřbetu, výjimku tvoří Králický Sněžník a Sněžná kotlina.

Tab. 7: Poloha a orientace lavinových drah východních Vysokých Sudet.

název oblasti	počet drah	zeměpisná šířka	zeměpisná délka	orientace
Malá kotlina	1	50° 2'21.64"S	17°12'39.22"V	JV
Mezikotlí	1	50° 2'48.37"S	17°13'28.80"V	JV
Velká kotlina	4	50° 3'19.44"S	17°14'15.51"V	JV
Sněžná kotlina	1	50° 8'44.11"S	17° 8'27.08"V	V
Králický Sněžník	1	50°12'13.51"S	16°50'51.83"V	J



Obr. 25: Orientace lavinových drah východních Vysokých Sudet.

V předkládané práci jsou analyzovány pouze stálé lavinové dráhy, které se projevují snížením horní hranice lesa, nikoliv však dráhy, které se vyskytly popsané v literatuře (Kříž, 1995a, Navrátil, 2005), ale dnes se jeví jako neaktivní.

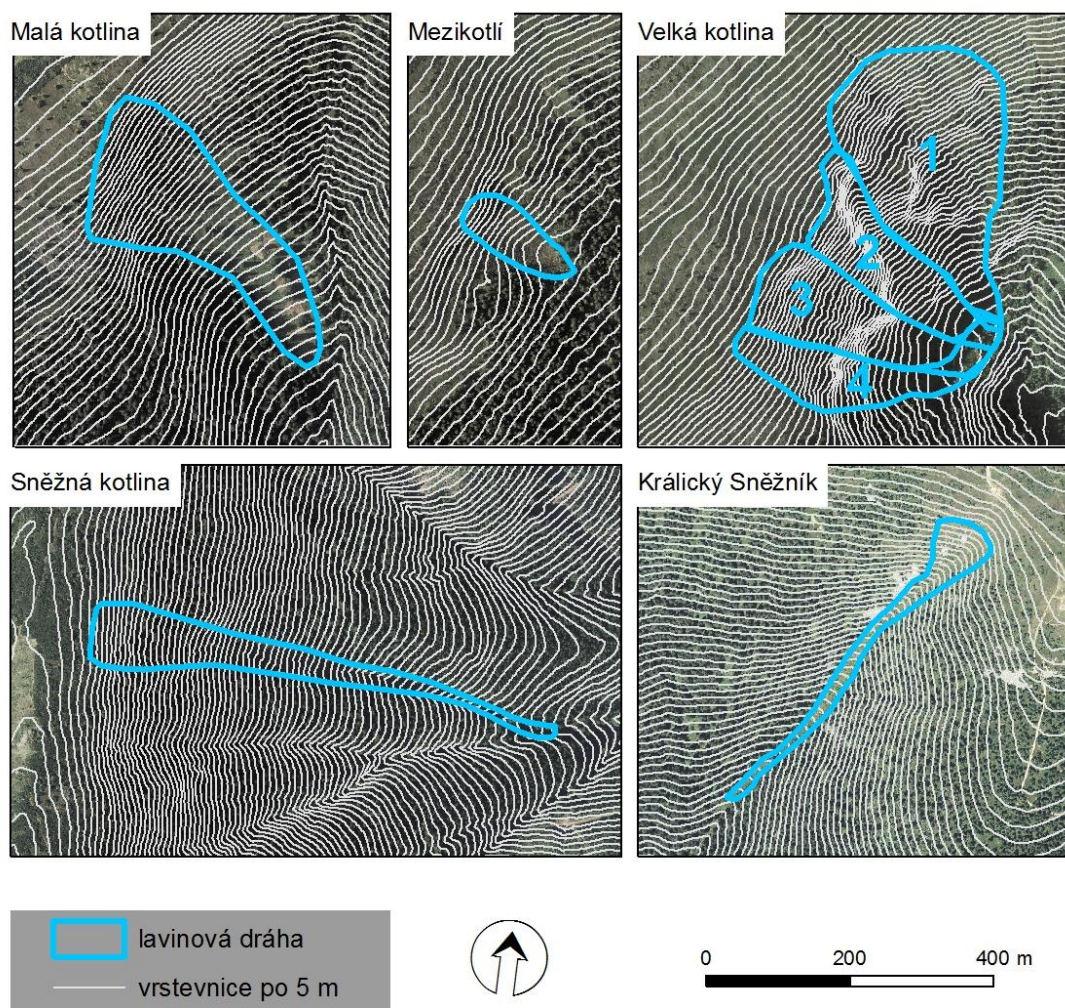
Lavinová dráha v Malé kotlině leží na jihovýchodním svahu pod sedlem mezi Jelením hřbetem (1367 m n. m.) a Velkým Májem (1386 m n. m.) v uzávěru údolí Kotelného potoka. Její odtrhová zóna se nachází v alpínském bezlesí v nadmořské výšce přes 1300 m (tab. 8) a zasahuje poměrně hluboko do zapojeného lesa (obr. 26)

Mezikotlí zahrnuje poměrně krátkou dráhu, která příliš nesnižuje horní hranici lesa. Nachází se v nejhornější části údolního uzávěru Volárky ve vrcholové části Kamzičnicku (1420 m n. m.) (obr. 26).

Ve Velké kotlině se nachází 4 lavinové dráhy začínající ve výšce překračující 1350 m n. m. (tab. 8), které ústí do jedné akumulční zóny na dně karu (Křížek et al., 2012). Typická je složitější morfologie s četnými skalními výchozy, například v tzv. Vitáskově rokli (obr. 26).

Ve Sněžné kotlině na úpatí Červené hory (1333 m n. m.) leží lavinová dráha, která zasahuje hluboko do zapojeného lesa v údolí Černého potoka pod 1000 m n. m. (obr. 26 a tab. 8).

Lavinová dráha pod vrcholem Králického Sněžníku (1424 m n. m.) se nachází v jižně orientovaném údolním uzávěru pod pramenem řeky Moravy a zasahuje též hluboko do zapojeného lesa (obr. 26).



Obr. 26: Pozice lavinových drah východních Vysokých Sudet.

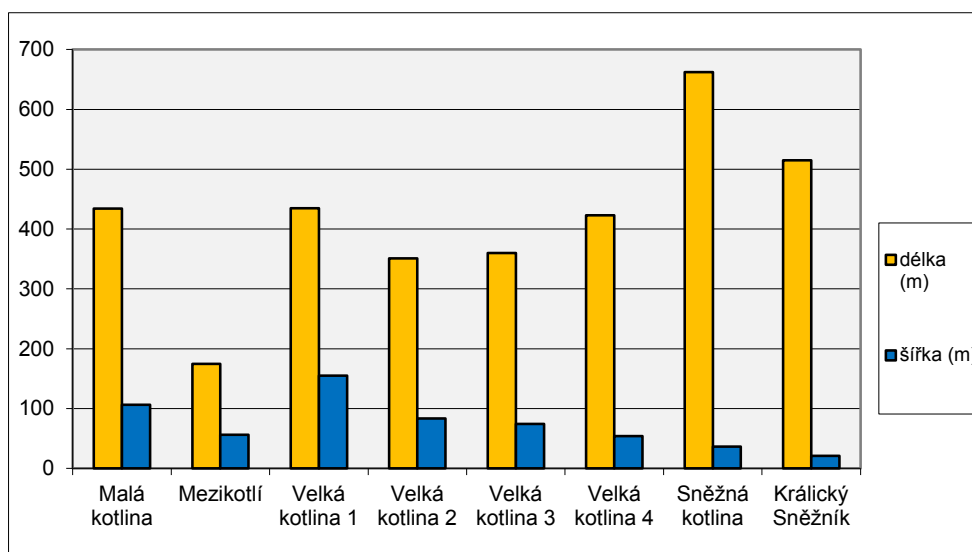
Tab. 8: Nadmořské výšky a převýšení lavinových drah východních Vysokých Sudet.

název	max. nadmořská výška (m n. m.)	min. nadmořská výška (m n. m.)	převýšení (m)
Malá kotlina	1306	1105	201
Mezikotlí	1317	1249	68
Velká kotlina 1	1386	1157	229
Velká kotlina 2	1363	1157	206
Velká kotlina 3	1365	1157	208
Velká kotlina 4	1357	1157	200
Sněžná kotlina	1289	939	350
Králický Sněžník	1345	1141	204

5.1.2. Morfometrie lavinových drah východních Vysokých Sudet

V celém souboru lavinových drah východních Vysokých Sudet je zřejmá značná variabilita v délce (obr. 27, tab. 9). Zatímco nejkratší dráha v Mezikotlí nedosahuje ani 180 metrů, nejdelší dráhy na Králickém Sněžníku, ve Velké kotlině

a zejména ve Sněžné kotlině přesahují 500 metrů. Nejširší lavinové dráhy se nacházejí na úpatí Vysokoholského hřbetu, zejména v Malé a Velké kotlině, naopak nejužší je dráha na Králickém Sněžníku, jejíž průměrná šířka jako jediná nedosahuje 30 metrů (obr. 27, tab. 9). Dvě nejdelší lavinové dráhy (Sněžná kotlina a Králický Sněžník) jsou zároveň nejužší. Také z hlediska ukazatelů protáhlosti je viditelný značný rozdíl mezi drahami Vysokoholského hřbetu, které mají koeficient protáhlosti zpravidla vyšší než 0,5, a drahami Sněžné kotliny a Králického Sněžníku, které mají koeficient protáhlosti o hodnotě nižší než 0,3 (tab. 9).

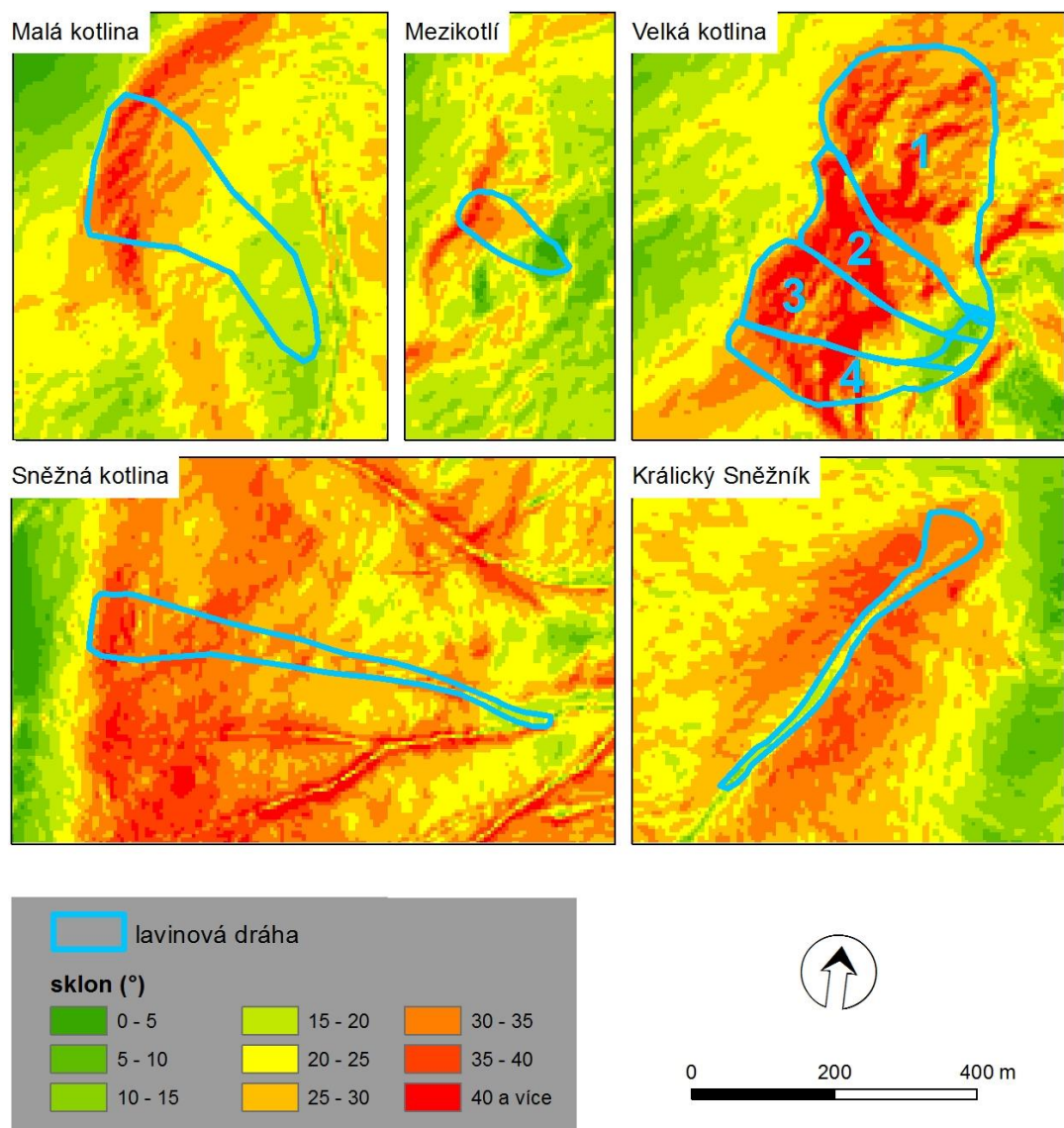


Obr. 27: Délky a šířky lavinových drah východních Vysokých Sudet.

Tab. 9: Morfometrické charakteristiky lavinových drah východních Vysokých Sudet.

název	délka (m)	šířka (m)	obvod (m)	plocha (m ²)	délka/šířka	koeficient protáhlosti	sklon odtrhové zóny (°)	průměrný sklon (°)
Malá kotlina	434	106	1080	49124	4,08	0,5762	40	26
Mezikotlí	175	56	409	9216	3,09	0,619	40	22
Velká kotlina 1	435	155	1055	59916	2,80	0,635	44	30
Velká kotlina 2	351	83	837	25206	4,19	0,510	60	34
Velká kotlina 3	360	74	880	28980	4,84	0,533	50	33
Velká kotlina 4	423	54	888	21721	7,83	0,393	35	27
Sněžná kotlina	662	36	1417	26446	18,01	0,277	40	30
Králický Sněžník	515	21	1109	12775	24,23	0,247	32	23

Sklony odtrhových zón lavinových drah nabývají hodnot od 30 do 60 °, přičemž nejčastěji se pohybují mezi 30 a 40 °. Nejvyšší hodnoty sklonu odtrhové zóny jsou ve Velké kotlině, což je způsobené přítomností skalních výchozů (tab. 9). Průměrné sklony všech drah jsou velice vyrovnané kolem 30°, výjimku tvoří lavinová dráha na Králickém Sněžníku s 23° (tab. 9, obr. 28).

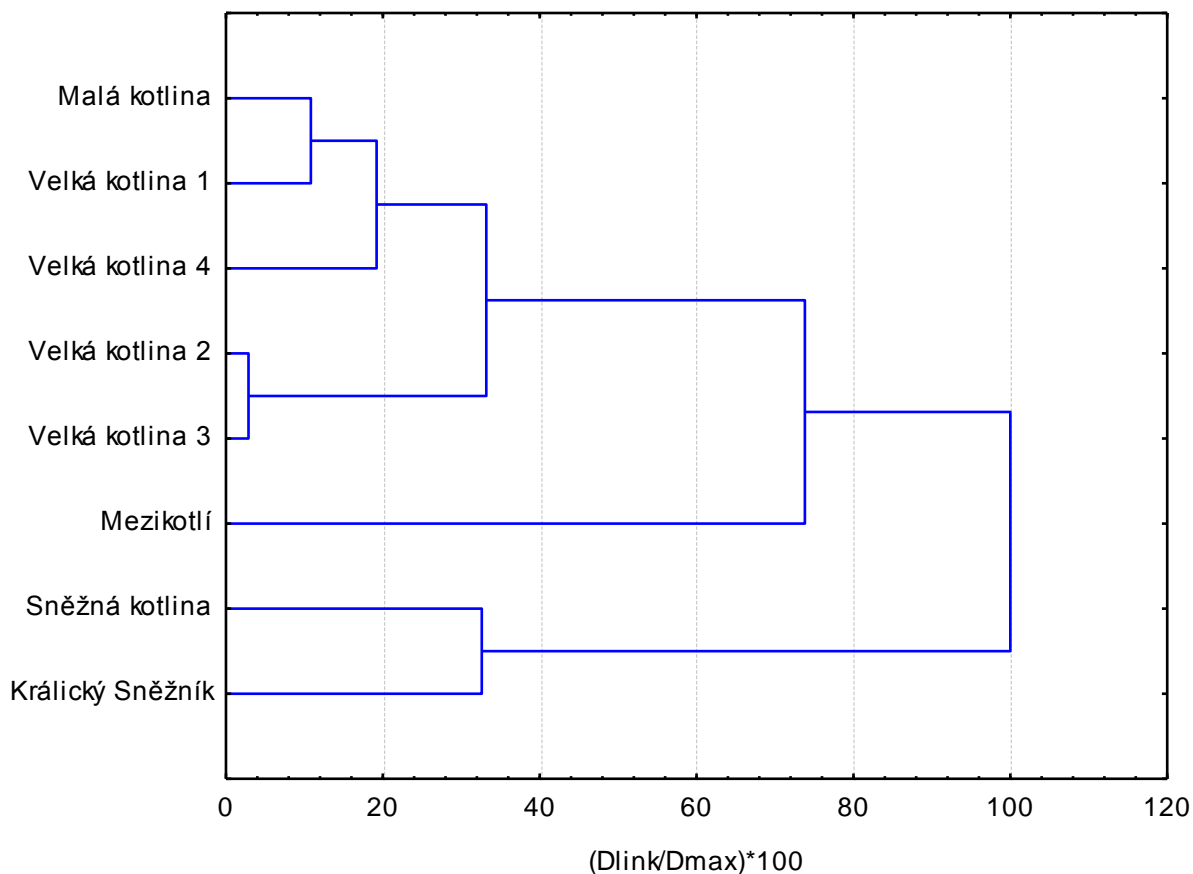


Obr. 28: Sklony lavinových drah východních Vysokých Sudet a jejich okolí.

Při testování vzájemných závislostí jednotlivých morfometrických charakteristik (délky, šířky, převýšení a sklonu odtrhové zóny) se jako signifikantní ukázal pouze vztah převýšení a délky (tab. 10).

Tab. 10: Vzájemné závislosti vybraných morfometrických charakteristik lavinových drah východních Vysokých Sudet vyjádřené Pearsonovými korelačními koeficienty. Pozn.: signifikantní korelace jsou vyjádřeny červenou barvou.

	délka	šířka	převýšení	průměrný sklon odtrhu
délka		-0,212615696	0,92504385	-0,309668032
šířka	-0,212615696		-0,044625426	0,400630083
převýšení	0,92504385	-0,044625426		0,023515665
sklon odtrhu	-0,309668032	0,400630083	0,023515665	



Obr. 29: Třídění lavinových drah východních Vysokých Sudet podle délky, šířky a průměrného sklonu.

Výsledky shlukové analýzy na základě délky, šířky a průměrného sklonu (obr. 29) ukazují již zmíněnou odlišnost lavinových drah Králického Sněžníku a Sněžné kotliny od zbytku drah situovaných na Vysokoholském hřebetu. Nejvíce podobné jsou si dráhy Velké a Malé kotliny, větší odlišnost mezi drahami Vysokoholského hřebetu

má pouze Mezikotlí, a to hlavně díky své malé délce. Na základě délky, šířky a průměrného sklonu lze lavinové dráhy východních Vysokých Sudet rozčlenit do dvou skupin: a) dráhy Velké a Malé kotliny a Mezikotlí a b) dráhy Sněžné kotliny a Králického Sněžníku.

Tab. 11: Šířka a sklon v pětiových úsecích jednotlivých lavinových drah východních Vysokých Sudet. Pozn.: pozice značí bod v pětínách lavinových drah.

Malá kotlina

Pozice	šířka(m)	sklon (°)
1	180	30
2	100	25
3	75	20
4	70	17

Mezikotlí

pozice	šířka (m)	sklon (°)
1	66	33
2	68	28
3	55	13
4	37	3

Velká kotlina 1

pozice	šířka (m)	sklon (°)
1	235	30
2	208	25
3	133	23
4	45	25

Velká kotlina 2

pozice	šířka (m)	sklon (°)
1	114	30
2	85	33
3	83	28
4	53	20

Velká kotlina 3

pozice	šířka (m)	sklon (°)
1	121	40
2	84	37
3	52	27
4	40	7

Velká kotlina 4

pozice	šířka (m)	sklon (°)
1	65	30
2	71	32
3	38	21
4	42	14

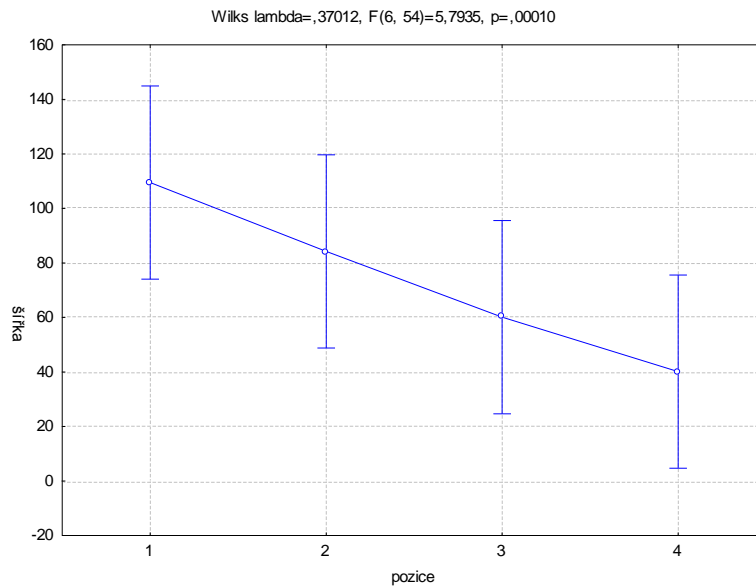
Sněžná kotlina

pozice	šířka (m)	sklon (°)
1	65	35
2	41	33
3	25	25
4	16	32

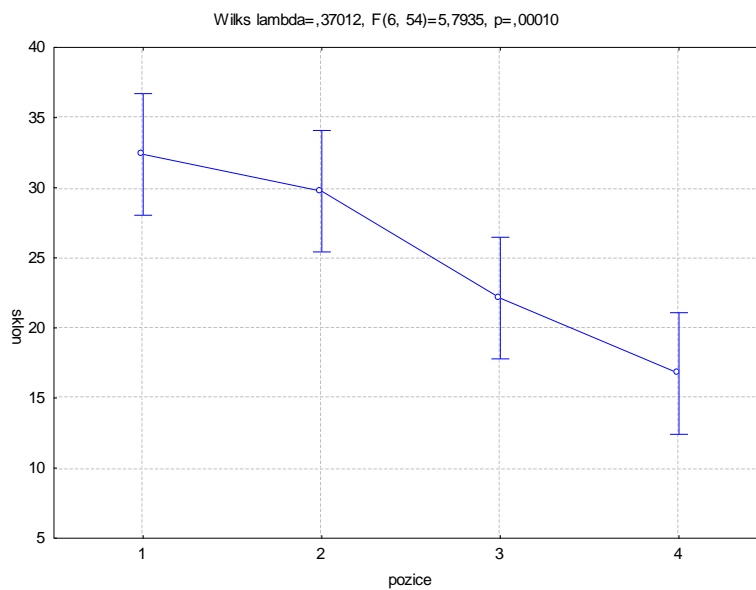
Králický Sněžník

pozice	šířka (m)	sklon (°)
1	30	31
2	17	25
3	20	20
4	18	16

Z hodnot naměřených v bodech v pětínách lavinových drah opět vyplývá, že nejširší dráhy se nacházejí ve Velké a Malé kotlině (tab. 11) a že se jejich šířka směrem ze svahu snižuje. Také hodnoty sklonu zobrazené v tabulce 11 jsou nejvyšší v horních částech lavinových drah. U všech sledovaných lavinových drah klesá sklon i šířka ze svahu dolů.



Obr. 30: Změna šířky všech lavinových drah východních Vysokých Sudet v závislosti na pozici v pětinach drah. Pozn.: body značí průměrnou šířku v pozici a svislé linie 0,95 interval spolehlivosti.



Obr. 31: Změna sklonu všech lavinových drah východních Vysokých Sudet v závislosti na pozici v pětinach drah. Pozn.: body značí průměrnou šířku v pozici a svislé linie 0,95 interval spolehlivosti.

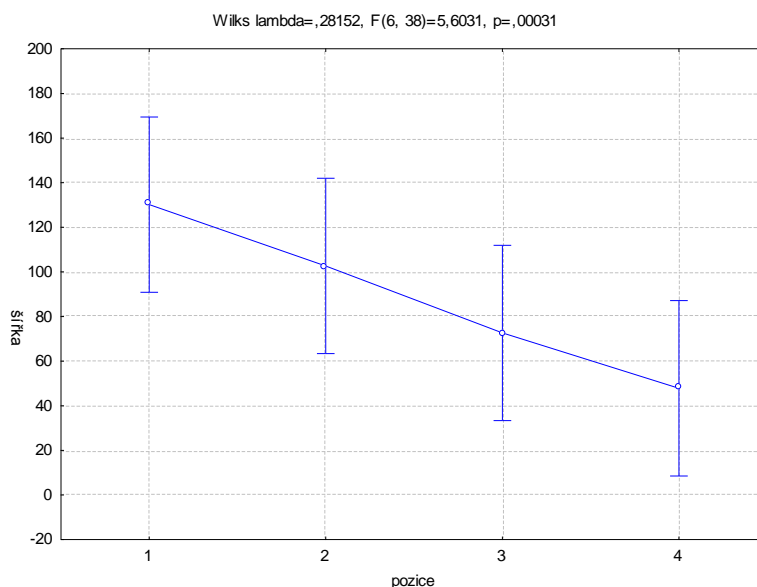
Tab. 12: Změna šířky všech lavinových drah východních Vysokých Sudet mezi pozicemi po pětinach délek drah (ANOVA). Pozn.: signifikantní změny jsou značeny červeně.

pozice	{1} 109,50	{2} 84,250	{3} 60,125	{4} 40,125
1		0,311053	0,053333	0,008422
2	0,311053		0,332716	0,082180
3	0,053333	0,332716		0,420730
4	0,008422	0,082180	0,420730	

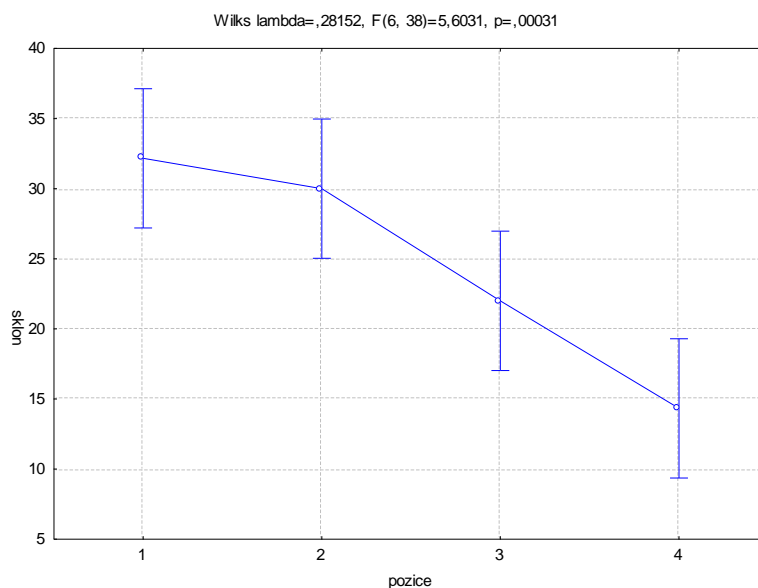
Tab. 13: Změna sklonu všech lavinových drah východních Vysokých Sudet mezi pozicemi v pětinach drah (ANOVA). Pozn.: signifikantní změny jsou značeny červeně.

pozice	{1} 32,375	{2} 29,750	{3} 22,125	{4} 16,750
1		0,388029	0,001920	0,000015
2	0,388029		0,016644	0,000167
3	0,001920	0,016644		0,083382
4	0,000015	0,000167	0,083382	

V souboru všech studovaných lavinových drah v bodech v pětinach délek drah ve směru shora dolů klesá šířka signifikantně pouze mezi první a čtvrtou pozicí (obr. 30, tab. 12), a sice se zužuje, což znamená signifikantní zúžení pouze ve spodní části drah. Sklon významně klesá mezi první a třetí, první a čtvrtou, druhou a třetí a druhou a čtvrtou pozicí (obr. 31, tab. 13), je tedy zřejmé, že sklon klesá signifikantně až na třetí pozici, čili opět ve spodních částech drah. Tedy ke změně sklonu (jeho zmenšení) dochází dříve než u šířky lavinových drah.



Obr. 32: Změna šířky lavinových drah Vysokoholského hřbetu v pětinach délek drah. Pozn.: body značí průměrnou šířku v pozici a svislé linie 0,95 interval spolehlivosti.



Obr. 33: Změna sklonu lavinových drah Vysokoholského hřbetu v pětinach délek drah. Pozn.: body značí průměrnou šířku v pozici a svislé linie 0,95 interval spolehlivosti.

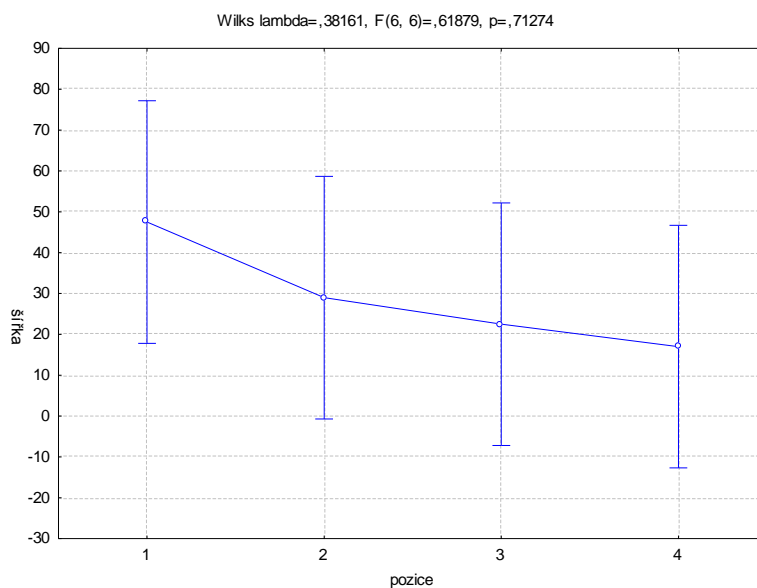
Tab. 14: Změna šířky lavinových drah Vysokoholského hřbetu mezi pozicemi v pětinach drah (ANOVA). Pozn.: signifikantní změny jsou značeny červeně.

pozice	{1}	{2}	{3}	{4}
	130,17	102,67	72,667	47,833
1		0,314267	0,043231	0,005767
2	0,314267		0,273449	0,052830
3	0,043231	0,273449		0,362365
4	0,005767	0,052830	0,362365	

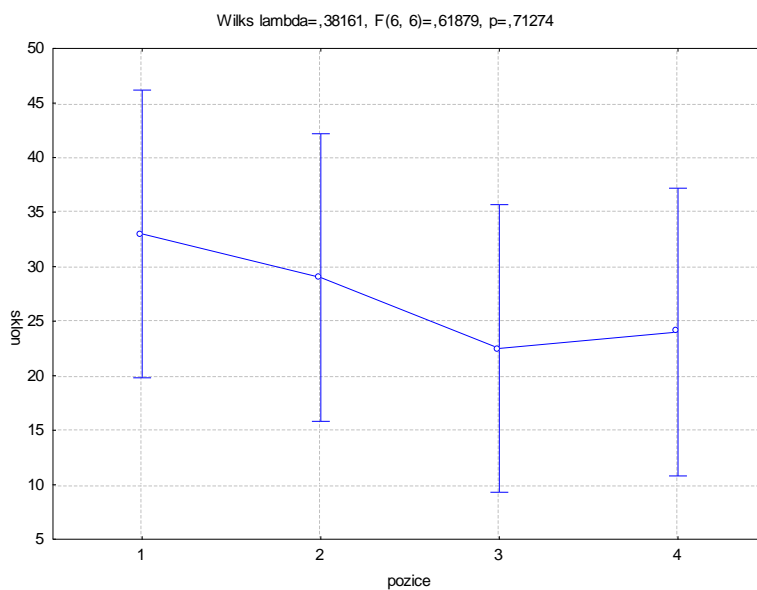
Tab. 15: Změna sklonu lavinových drah Vysokoholského hřbetu mezi pozicemi v pětinach drah (ANOVA). Pozn.: signifikantní změny jsou značeny červeně.

pozice	{1}	{2}	{3}	{4}
	32,167	30,000	22,000	14,333
1		0,527199	0,006771	0,000035
2	0,527199		0,027603	0,000153
3	0,006771	0,027603		0,033920
4	0,000035	0,000153	0,033920	

V lavinových drahách Malé kotliny, Mezikotlí a Velké kotliny se signifikantně liší šířka mezi první a třetí a první a čtvrtou pozicí (obr. 32, tab. 14), což znamená, že šířka drah se opět mění až ve spodní části svahu. Sklon se snižuje významně mezi první a třetí, první a čtvrtou, druhou a třetí, druhou a čtvrtou a třetí a čtvrtou pozicí (obr. 33, tab. 15), čili sklon se snižuje až na třetí pozici.



Obr. 34: Změna šířky lavinových drah ve Sněžné kotlině a na Králickém Sněžníku v pětinach délek drah. Pozn.: body značí průměrnou šířku v pozici a svislé linie 0,95 interval spolehlivosti.



Obr. 35: Změna sklonu lavinových drah ve Sněžné kotlině a na Králickém Sněžníku v pětinach délek drah. Pozn.: body značí průměrnou šířku v pozici a svislé linie 0,95 interval spolehlivosti.

Tab. 16: Změna šířky lavinových drah ve Sněžné kotlině a na Králickém Sněžníku mezi pozicemi v pětinach drah (ANOVA). Pozn.: signifikantní změny jsou značeny červeně.

pozice	{1} 47,500	{2} 29,000	{3} 22,500	{4} 17,000
1		0,288393	0,173685	0,113939
2	0,288393		0,689505	0,471944
3	0,173685	0,689505		0,734525
4	0,113939	0,471944	0,734525	

Tab. 17: Změna sklonu lavinových drah ve Sněžné kotlině a na Králickém Sněžníku mezi pozicemi v pětinach drah (ANOVA). Pozn.: signifikantní změny jsou značeny červeně.

pozice	{1} 33,000	{2} 29,000	{3} 22,500	{4} 24,000
1		0,583592	0,193072	0,251367
2	0,583592		0,388029	0,498031
3	0,193072	0,388029		0,834245
4	0,251367	0,498031	0,834245	

V drahách Sněžné kotliny a Králického Sněžníku nedochází k statisticky významnému zužování lavinových drah směrem ze svahu a ani k signifikantnímu poklesu sklonu směrem ze svahu (obr. 34 a 35, tab 16 a 17).

Je tedy možné konstatovat, že v oblasti Malé kotliny, Mezikotlí a Velké kotliny se dráhy směrem ze svahu zužují a jejich sklon klesá. Rozdíly ve sklonu i šířce dráhy nejsou mezi pozicemi v drahách ve Sněžné kotlině a na Králickém Sněžníku signifikantní.

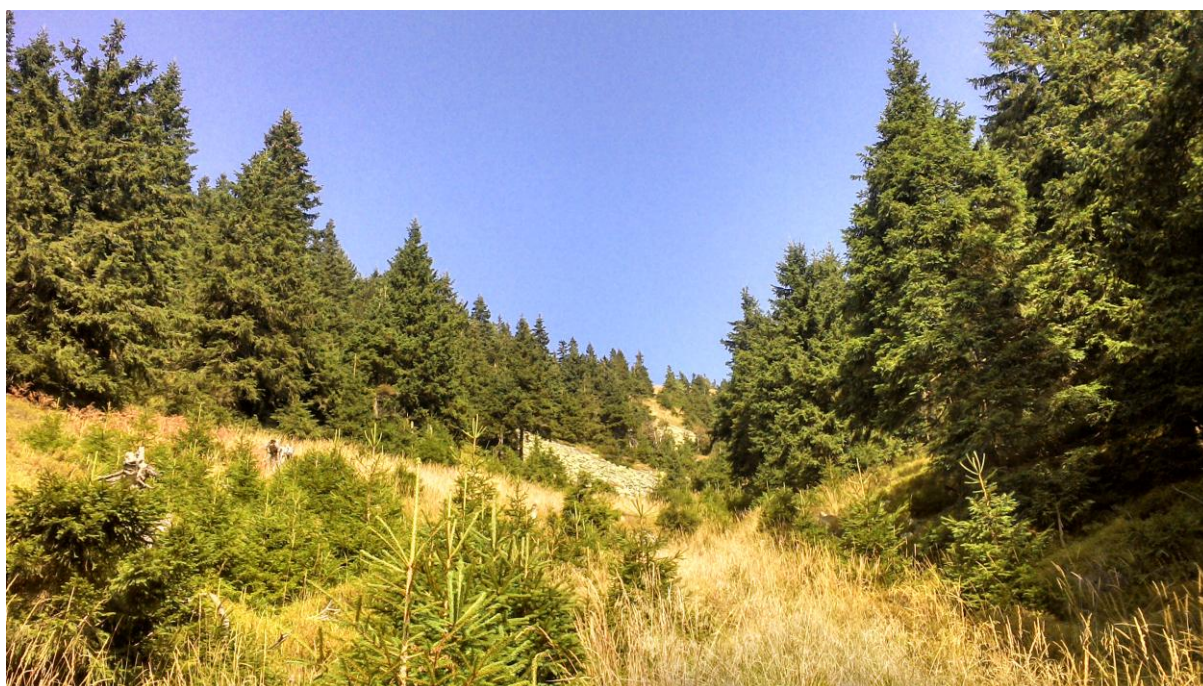
5.1.3. Morfologie lavinových drah ve Sněžné kotlině a na Králickém Sněžníku

Odrhová zóna dráhy ve Sněžné kotlině je ukloněná plocha a nemá znaky amfiteatrálního tvaru. Sklon přesahující 35 ° se vyskytuje v délce asi 65 m. V oblasti odtrhové zóny jsou dva skalní výchozy protažené příčně ke svahu. Šířka lavinové dráhy ve zmíněné oblasti přesahuje 90 m. Následujících 150 m se sklonem 20 - 25 ° je porostlých poměrně řídkou smrkovou vegetací, jejíž zápoj se směrem ze svahu snižuje. Po zhruba 200 metrech od svého počátku má dráha již šířku pod 50 m a objevují se erozní i akumulární tvary v podobě laloků a koryta (obr. 38). Laloky o šířce do 20 m jsou protažené po spádnicí a jejich čela mají výšku do 2 m. Koryto v transportní části lavinové dráhy má zahloubení až 4 m a několikrát mění svůj směr (obr. 36). Ve své horní části přesahuje šířka 10 m a postupně se zužuje a zahlubuje. Po 450 m od svého počátku dosahuje lavinová dráha šířky pouze kolem 20 m a koryto je narovnáno v jižním okraji dráhy, přičemž sklon stále překračuje 20 °. Na posledních 90 m celkové délky lavinové dráhy klesá sklon pod 15 ° a koryto o celkové délce zhruba 400 metrů přestává být patrné. Dráha je zde vyplněna koluvialní akumulací pokrytou místy několik metrů vysokou vrstvou kmenů mrtvých stromů.

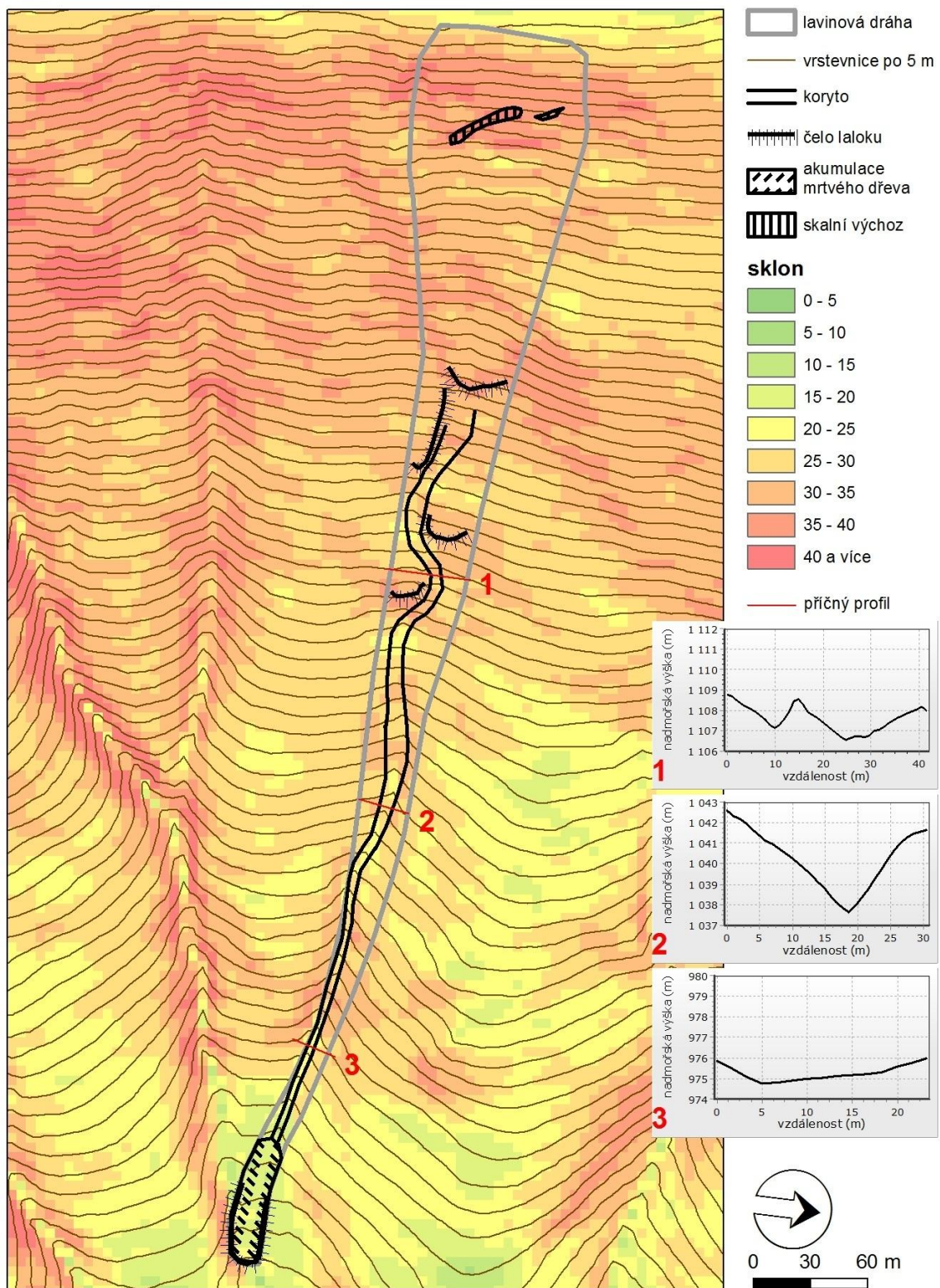


Obr. 36: Lavinová dráha ve Sněžné kotlině. Pozn.: nahoře pohled do tranzitní zóny dráhy se zřetelným korytem v levé části snímku, dole pohled na spodní část dráhy, v popředí akumulace mrtvého dřeva.

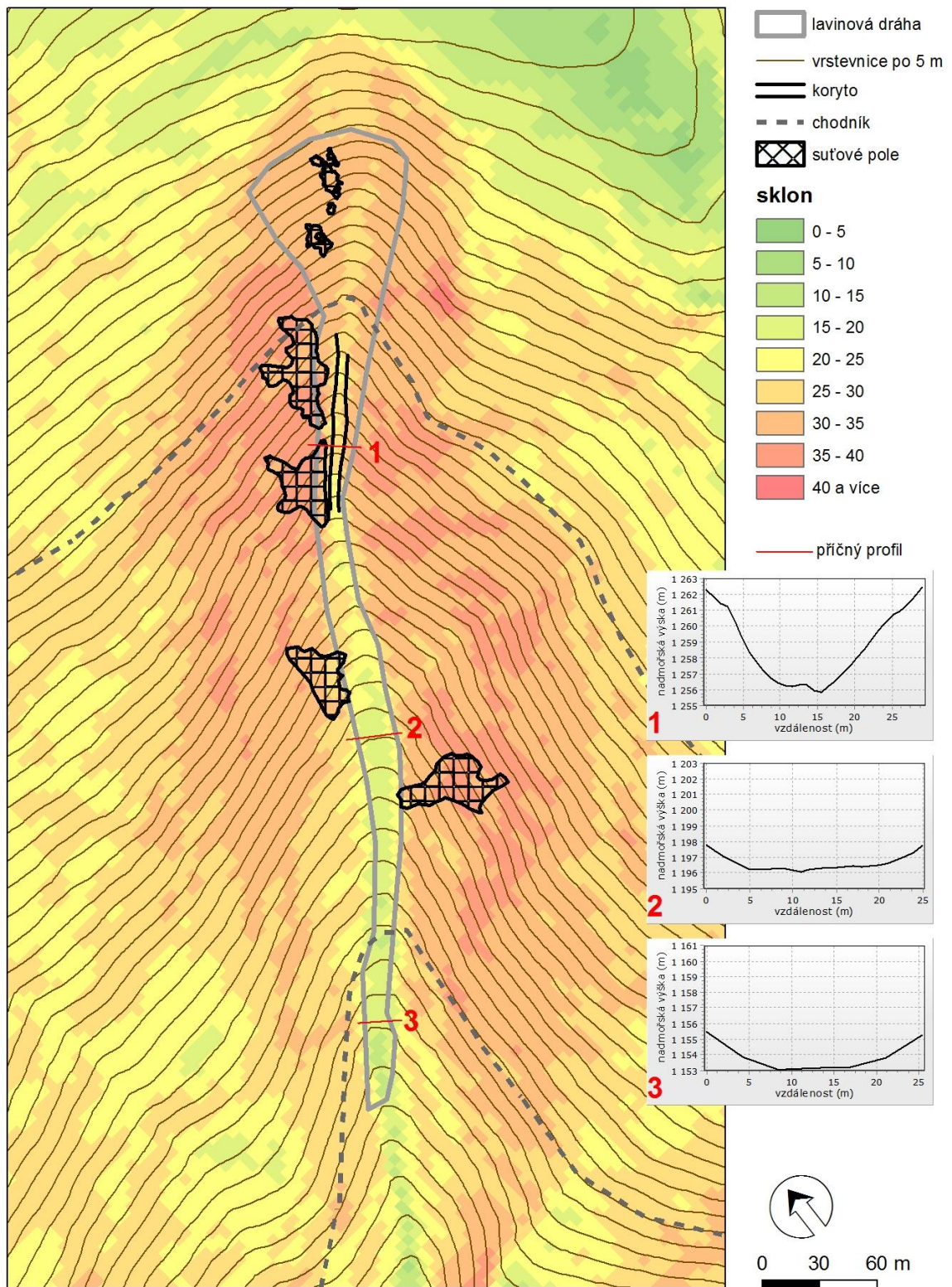
Odtrhovou zónu lavinové dráhy na Králickém Sněžníku tvoří amfiteatrální sníženina, jejíž šířka dosahuje 75 m a sklon přesahuje 30 °. Po 100 m od začátku odtrhové zóny se šířka dráhy zužuje na 15 - 25 m po celou svou transportní zónu. Zhruba mezi 100 až 200 m celkové délky lavinové dráhy ve směru ze svahu pod zpevněným lesnickým chodníkem je patrné úzké a mělké koryto uprostřed dráhy, které ovšem dále zřetelně nepokračuje. Sklon dráhy postupně klesá a reliéf není členitý, pouze je rozčleněn několika periodicky zaplavovanými koryty potoka, která nejsou příliš hluboká (obr. 37). Po cca 300 m klesá sklon dráhy pod 15 ° a při křížování s turistickým chodníkem místy i pod 10°. Akumulační část dráhy není členitá a nejsou v ní žádné pozorovatelné valy ani mocné kumulace mrtvého dřeva. V horní části je dráha často obklopena suťovými poli, která místy zasahují i do samotné dráhy (obr. 39).



Obr. 37: Lavinová dráha na Králickém Sněžníku.



Obr. 38: Morfologie lavinové dráhy ve Sněžné kotlině.



Obr. 39: Morfologie lavínové dráhy na Králickém Sněžníku.

5.2. Datování lavinových událostí

5.2.1. Výsledky dendrogeomorfologické analýzy

V lokalitě Sněžná kotlina bylo celkem analyzováno 182 vzorků, což představuje vývrty z 50 žijících jedinců a příčné řezy z 11 mrtvých jedinců. V lavinové dráze Králického Sněžníku bylo analyzováno 89 vzorků z 35 žijících a 8 mrtvých jedinců. Nejstarší jedinci, ze kterých byly odebrány vzorky, mají letokruhový záznam od roku 1874 na Králickém Sněžníku a 1904 ve Sněžné kotlině. Počty jednotlivých zaznamenaných potenciálních reakcí na lavinové události se v obou oblastech liší, jakož i zastoupení jednotlivých typů reakcí (tab. 18). Prostorová distribuce jedinců je v obou studovaných lokalitách rovnoměrná po celé lavinové dráze a zahrnuje stromy rostoucí jak v transportních, tak i akumulacích zónách drah.

Tab. 18: Vybrané reakce a počty stromů v lavinových drahách východních Vysokých Sudet.

lavinová dráha	počet jedinců	nejstarší záznam (rok)	10 rostoucích jedinců od roku	mrtvé dřevo (GD5*)	jizvy (GD5*)	Výrazné změny excentricity (GD3*)	prudké růstové změny (GD1*)	malé změny excentricity (GD1*)	TRD (GD1*)	celkový počet reakcí
Sněžná kotlina	61	1904	1924	11	8	22	118 Z + 83 K*	98	85	425
Králický Sněžník	35	1874	1935	8	1	18	102 Z + 47 K*	82	20	278

* Z - záporné a K - kladné prudké růstové změny

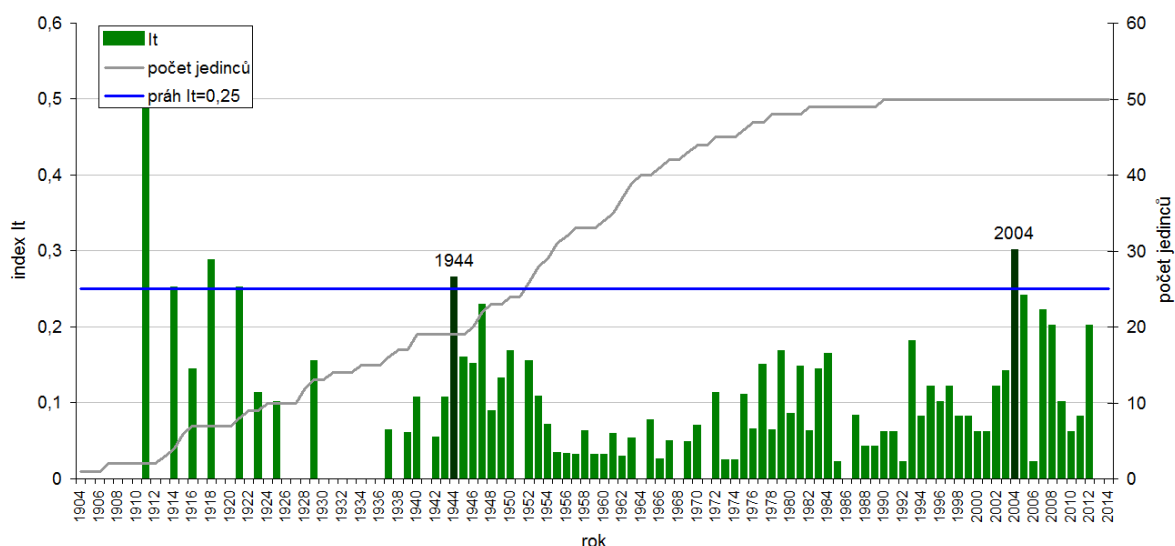
GD – koeficient přiřazený reakci v „moderní“ metodě

Dendrochronologické rozdíly mezi oběma drahami jsou patrné v poměrném zastoupení jednotlivých typů reakcí. Zásadní rozdíl je pozorovatelný zejména u počtu výskytu jizev a traumatických pryskyřičných kanálků (tab. 18 a 19). Výskyt jizev v dráze na Králickém Sněžníku je ve srovnání se Sněžnou kotlinou velmi řídký a podařilo se úspěšně datovat pouze jednu. Výskyt TRD je též prokazatelně nižší.

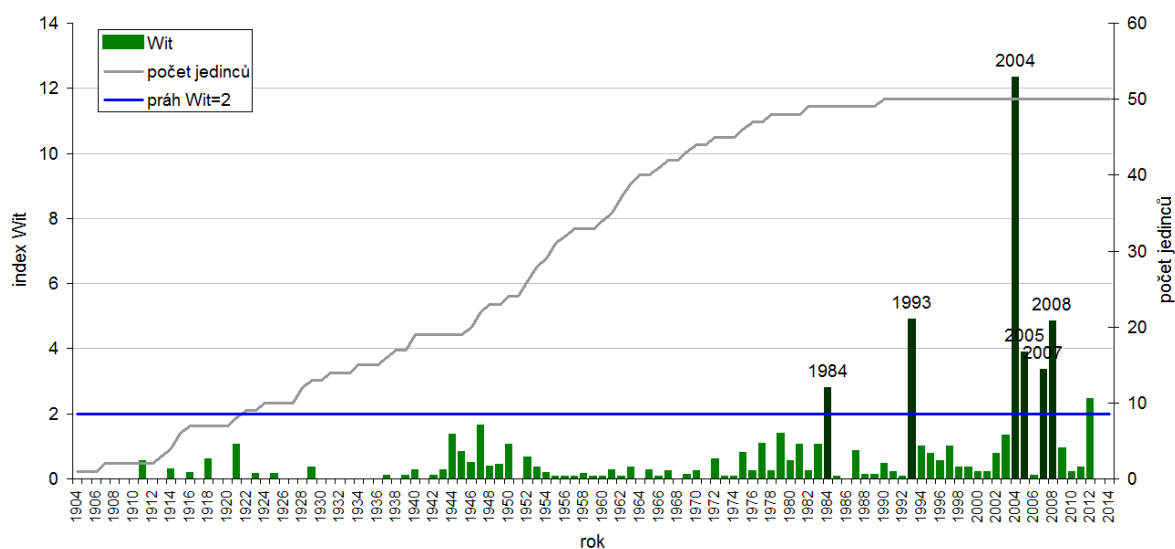
Tab. 19: Poměrné zastoupení jednotlivých druhů reakcí (v %) v lavinových drahách východních Vysokých Sudet.

	Sněžná kotlina	Králický Sněžník
mrtvé dřevo (GD5)	2,59	2,88
jizvy (GD5)	1,88	0,36
výrazné změny excentricity (GD3)	5,18	6,47
prudké růstové změny (GD1)	47,29	53,60
malé změny excentricity (GD1)	23,06	29,50
TRD (GD1)	20,00	7,19

Délka letokruhových záznamů v obou drahách je poměrně krátká zejména díky relativně mladému porostu, tudíž i celková doba pro rekonstrukci lavinových událostí za předpokladu dosažení 10 jedinců rostoucích v daném roce (tab. 18) činí 88 - 89 let u Sněžné kotliny a 78 let u Králického Sněžníku.

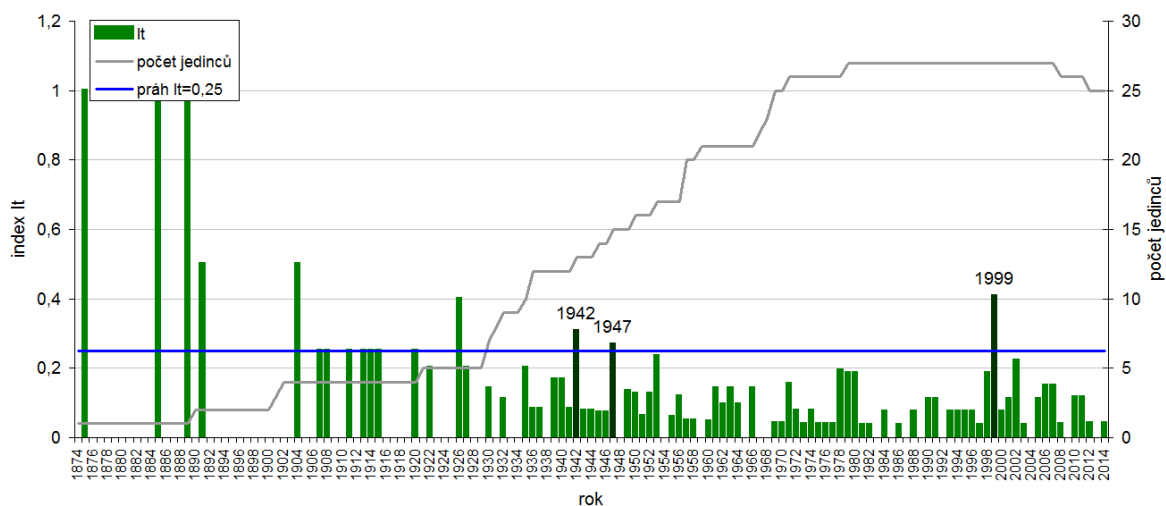


Obr. 40: Hodnoty indexu *It* ve Sněžné kotlině pomocí "klasické" metody.

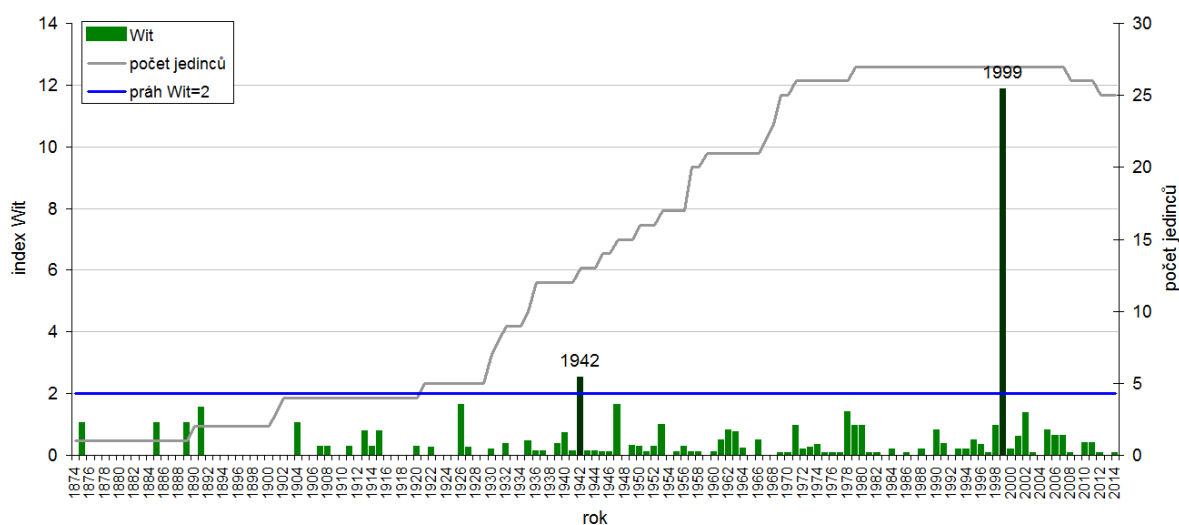


Obr. 41: Hodnoty indexu *Wit* lavinových let ve Sněžné kotlině pomocí "moderní" metody.

V období od roku 1924, kdy byl ve Sněžné kotlině dosažen počet 10 žijících jedinců, byly "klasickou" metodou při zvolení prahu $It=0,25$ datovány pouze 2 lavinové události respektive potenciální lavinové roky (obr. 40). V roce 1944 dosahuje index It hodnoty 0,26 a v roce 2004 0,30. "Moderní" metoda (obr. 41) determinovala pouze naopak 6 potenciálních lavinových roků, a sice 1984 s hodnotou Wit 2,76, 1993 s Wit 4,86, 2004 s Wit 12,3, 2005 s Wit 3,84, 2007 s Wit 3,3 a 2008 s Wit 4,8. Pomocí obou metod byl shodně určen pouze 1 potenciální lavinový rok, a sice 2004. Průměrně se tedy za studované období vyskytla v dráze "moderní" metodou datovaná lavinová událost, respektive rok, jednou za 15 let, ovšem rozložení vykazuje značnou šikmost a 4 z 6 lavinových roků určených oběma metodami se vyskytlo po roce 2004 včetně (obr. 41). Nejvyšší hodnoty indexů obou metod byly dosaženy v lavinovém roce 2004.



Obr. 42: Hodnoty indexu It na Králickém Sněžníku pomocí "klasické" metody.



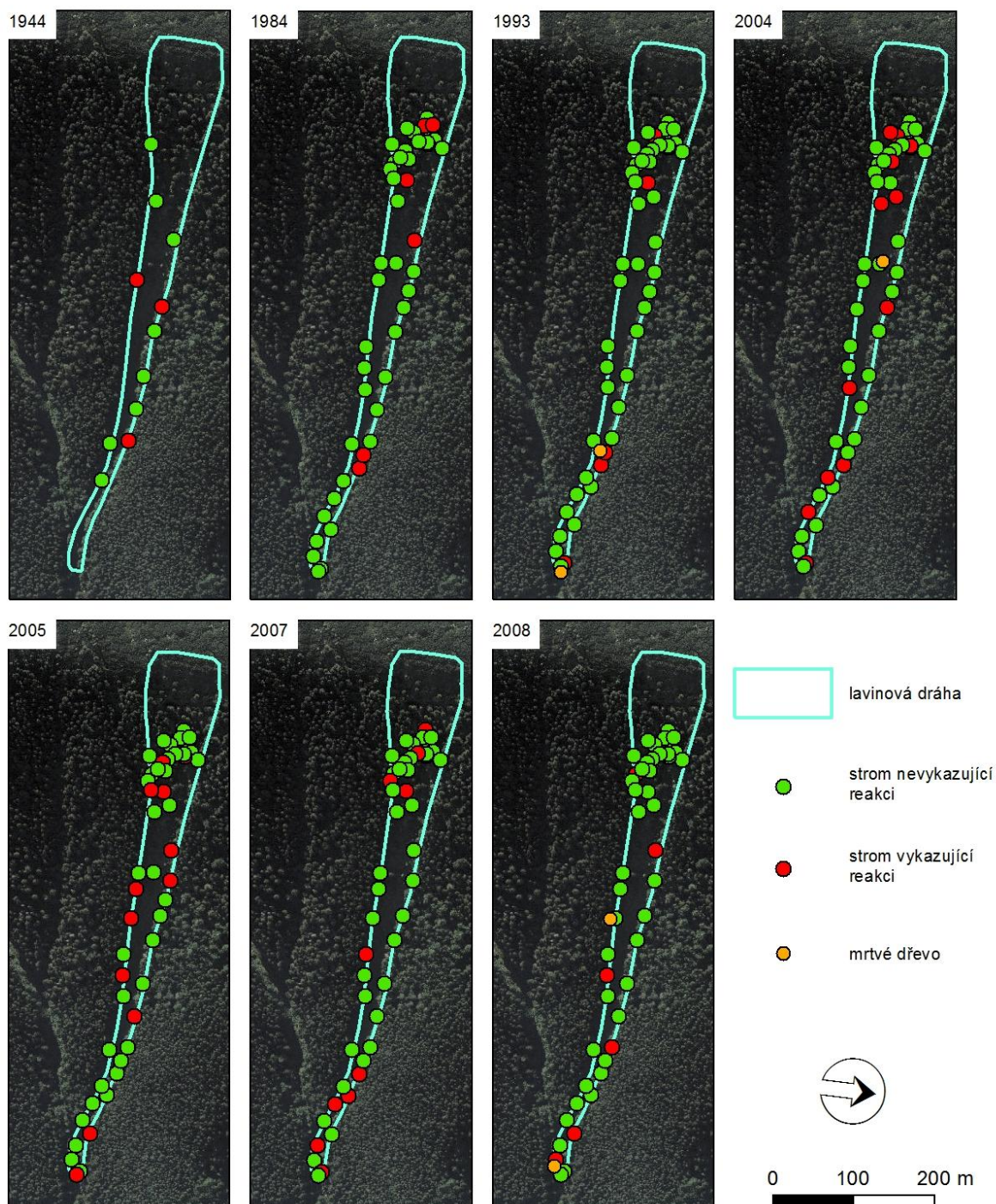
Obr. 43: Hodnoty indexu Wit let na Králickém Sněžníku pomocí "moderní" metody.

V lavinové dráze na Králickém Sněžníku byly od roku 1935 datovány oběma metodami 3 potenciální lavinové roky (obr. 42 a 43). "Klasický" index It má v roce 1942 hodnotu 0,30, v roce 1947 je $It=0,26$ a v roce 1999 je $It=0,40$. Index "moderní" metody Wit nabývá v roce 1942 hodnotu 2,46 a v roce 1999 je $Wit=11,81$. Oběma metodami byly shodně datovány pouze potenciální lavinové roky 1942 a 1999. Nejvyšší hodnoty obou indexů byly shodně dosaženy v lavinovém roce 1999. Průměrně vychází jeden potenciální lavinový rok datovaný "moderní" metodou na 39,5 roku.

Dráha na Králickém Sněžníku je v porovnání s drahou ve Sněžné kotlině méně aktivní, nicméně časové rozložení událostí je v ní v průběhu pozorovaného období vyrovnanější. Ve Sněžné kotlině patrně došlo k několika významným lavinovým událostem po roce 2004, před nímž předcházelo období bez časté lavinové aktivity. Potenciální lavinové roky jsou v každé lokalitě naprosto odlišné. Jako nejpravděpodobnější lavinové roky se na základě vysokých hodnot indexů It a Wit jeví 1993, 2004 a 2008 u Sněžné kotliny a 1999 u Králického Sněžníku.

5.2.2. Prostorová rekonstrukce lavinových událostí

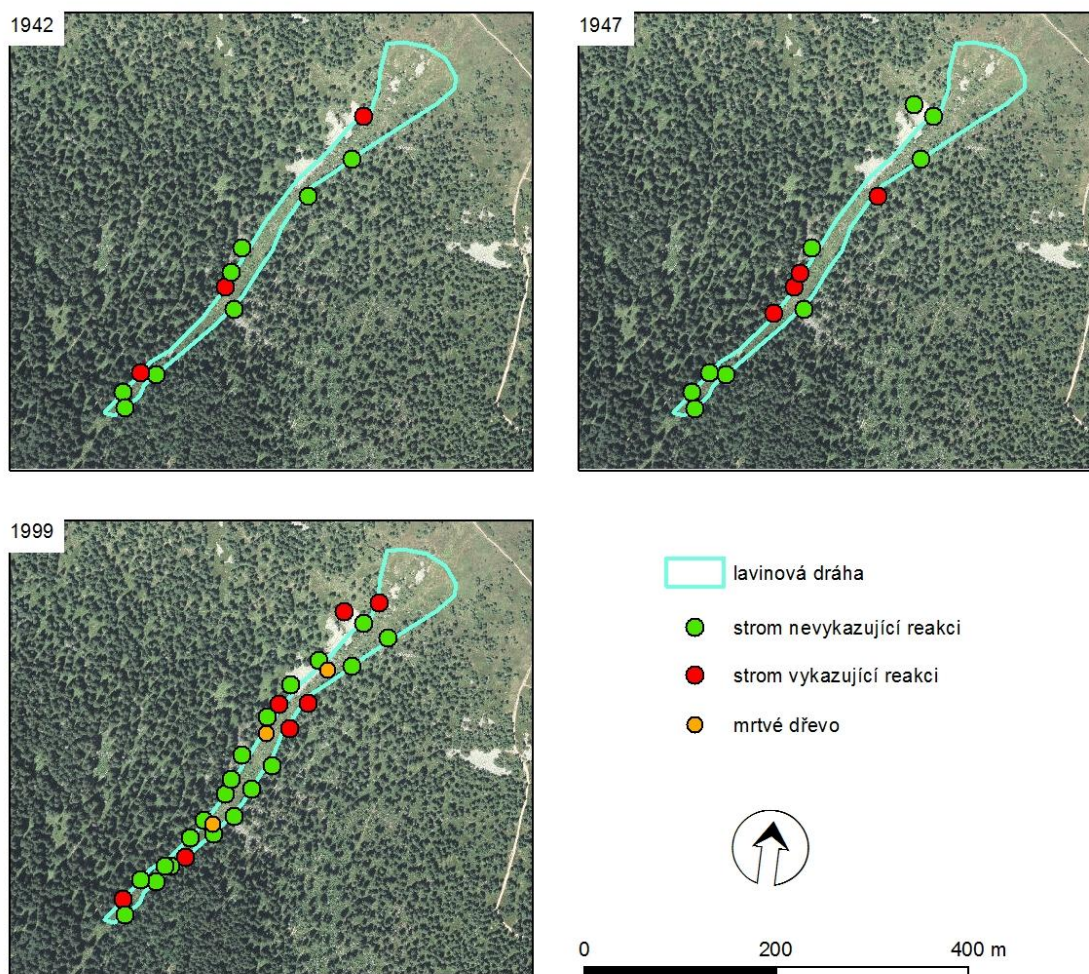
Prostorová analýza reagujících a nereagujících jedinců ve Sněžné kotlině (obr. 44) ukazuje, že v každém potenciálním lavinovém roce bylo relativně jiné prostorové rozložení stromů vykazujících reakci. Rozložení reagujících jedinců ve všech potenciálních lavinových letech je velice nepravidelné po obou stranách dráhy. Lze tedy předpokládat, že lavinové události postihly celý prostor dráhy. V roce 1984 nevykazují žádnou reakci jedinci rostoucí ve spodní části akumulární zóny, z čehož je možné usoudit, že sem ve zmíněném roce lavina nedorazila. Pravidelně reakci vykazovaly stromy rostoucí uprostřed lavinové dráhy v její horní části a velice málo často reagovaly v posledních 3 potenciálních lavinových letech jedinci rostoucí uprostřed dráhy v její levé části. Lze předpokládat, že laviny jsou zde usměrňovány korytem v pravé (jižní) části dráhy.



Obr. 44: Prostorová distribuce jedinců reagujících na potenciální lavinové události v lavinové dráze ve Sněžné kotlině.

Prostorový rozsah lavinových událostí v potenciálních lavinových letech v dráze na Králickém Sněžníku je nejistý (obr. 45). Dá se předpokládat, že potenciální lavina v roce 1947 nesjela až do akumulární zóny dráhy, neboť jedinci lokalizovaní ve spodní části dráhy nevykazují žádnou reakci. Ve zbylých

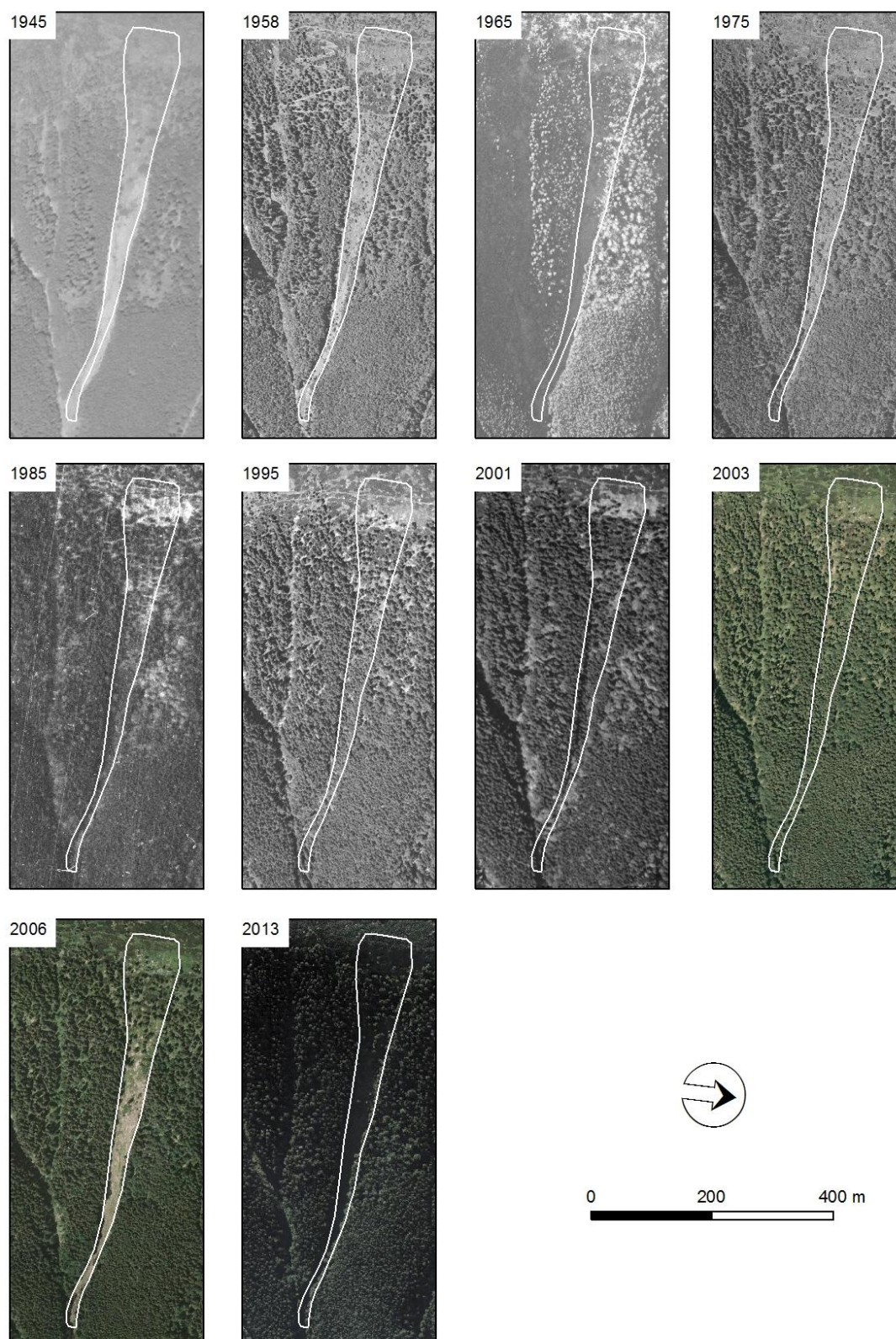
potenciálních lavinových letech, a sice 1942 a 1999 lze předpokládat rozsah laviny po celém prostoru dráhy.



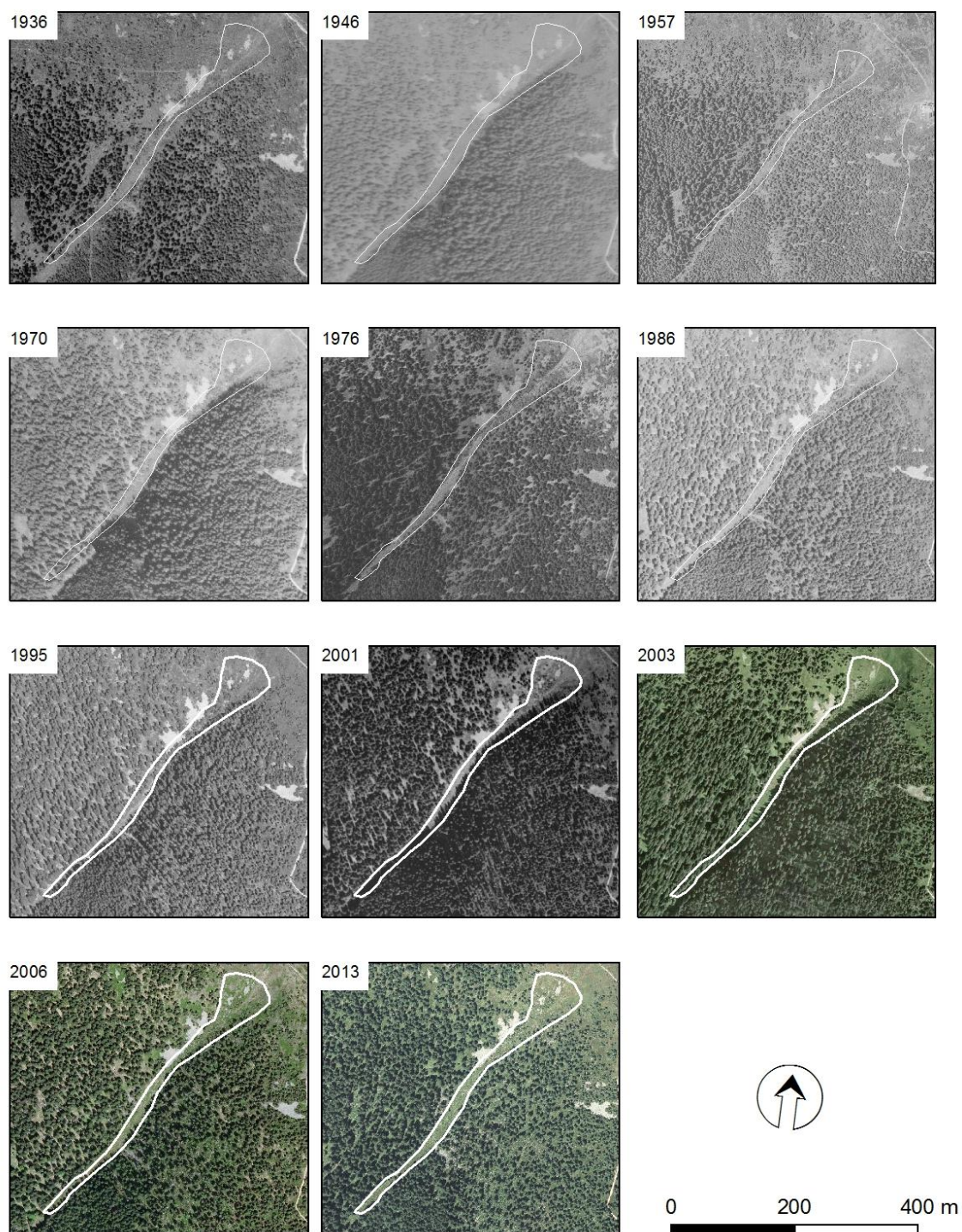
Obr. 45: Prostorová distribuce jedinců reagujících na potenciální lavinové události v lavinové dráze na Králickém Sněžníku.

5.2.3. Analýza historických leteckých snímků

Na leteckém snímku Sněžné kotliny pořízeném v roce 1945 je patrné, že ve spodní části lavinové dráhy nerostly dřeviny a v poslední čtvrtině své délky byla dráha dokonce o několik metrů rozšířena severním směrem oproti současnému stavu (obr. 46). Následně v letech 1958, 1965 a 1975 je pozorovatelné postupné zarůstání dráhy dřevinami. Také v roce 2001 byla lavinová dráha pokryta poměrně vzrostlou vegetací. Snímek z roku 2006 již ukazuje výraznou změnu, kdy většina vzrostlé dřevinné vegetace z dráhy byla odstraněna (obr. 46).



Obr. 46: Lavinová dráha ve Sněžné kotlině na historických leteckých měřicích snímcích.
 Pozn.: bíle je označena současné hranice dráhy.



Obr. 47: Lavinová dráha na Králickém Sněžníku na historických leteckých měřických snímcích. Pozn.: bíle je označena současná hranice dráhy.

Rozdíly v rozsahu lavinových drah a ve výskytu vzrostlé dřevinné vegetace v dráze na Králickém Sněžníku nejsou mezi jednotlivými snímky příliš patrné (obr. 47). Pouze snímek z roku 2001 ukazuje patrně dráhu bez dřevin (nízkých smrků)

oproti snímku z roku 1995, což je ovšem díky nízkému rozlišení snímků obtížně pozorovatelné.

6. DISKUSE

6.1. Lavinové dráhy a laviny ve východních Vysokých Sudetech

Lavinové dráhy východních Vysokých Sudet jsou soustředěny do třech širších areálů: Vysokoholského hřbetu, Červené hory a Králického Sněžníku. Přesné vymezení drah, resp. jejich seznam, je v průběhu času různé (Kříž, 1995a, Navrátil, 2005, Krause, 2013). Některé lavinové dráhy popsané Křížem (např. Kamzičník), nemají v literatuře doloženou lavinovou aktivitu, a je zřejmé, že některé v minulosti aktivní dráhy již dnes aktivní nejsou z důvodu vzrostlé vegetace. Také oblast Wielki Lej na polské straně Králického Sněžníku je patrně lavinovou drahou, protože je zde snižená horní hranice lesa, přilehlé stromy vykazují vnější znaky poškození lavinami a hromadí se zde větší množství sněhu než v uzávěru Moravy. Neexistují však žádné informace o konkrétní lavinové aktivitě. Některé další dráhy ve Sněžné kotlině či v kotlině Šeráku, které uvádí například Navrátil (2005), nevykazují na aktuálních leteckých snímcích znaky lavinových drah. Nelze však vyloučit lavinovou činnost, která v nich ojediněle může probíhat. Existují i doklady o jednotlivých pádech lavin na zcela odlišných místech v Hrubém Jeseníku, a sice ve Sviním žlebu a Medvědí žlebu (HS, 2014). Pády lavin ve východních Vysokých Sudetech tak nemusí být striktně vázány na popsané lavinové dráhy, ale ojediněle k němu může k pádu laviny dojít i jinde a vznik nových lavinových drah je možný při případném odlesnění některých území s vhodnými sklonovými a sněhovými poměry.

6.2. Morfometrie lavinových drah východních Vysokých Sudet

Při analýze morfometrie všech lavinových drah východních Vysokých Sudet bylo použito shodné metodiky jako v bakalářské práci (Krause, 2013), ovšem odlišných vstupních dat. DMR 4. generace poskytuje oproti DMÚ 25 mnohem přesnější polohové a výškové údaje. Zatímco DMÚ 25 zahrnoval pouze vrstevnice

po 5 metrech v měřítku 1 : 25000, DMR 4. generace poskytuje pětimetrový grid s výškovou přesností až 0,3 metru. Využití nových dat se významně projevilo ve výsledcích, nízká přesnost DMÚ 25 totiž zahlazovala terénní nerovnosti. Podařilo se tak například zjistit, že sklony v odtrhových zónách drah jsou vyšší, než bylo předpokládáno z dat DMÚ 25. Oproti výsledkům bakalářské práce se u souboru všech drah nepotvrdila závislost délky a šířky lavinových drah na sklonu odtrhové zóny, když jako jediná signifikantní závislost vyšel vztah délky a převýšení lavinových drah.

U většiny lavinových drah východních Vysokých Sudet klesá jejich šířka směrem ze svahu. Důvodem je jednak morfologie údolních uzávěrů, které mají většinou amfiteatrální tvar (typicky Velká a Malá kotlina) a jednak poloha na horní hranici lesa, kdy spodní část drah je již obklopena zapojeným lesem tlumícím účinky lavinové aktivity (Teich et al., 2012). Také sklon je očekávaně vyšší v horních částech lavinových drah, kde dochází k odtrhu lavin. Obvykle se nachází na hraně údolního uzávěru, v případě Velké kotliny karu. Změna sklonu v drahách Králického Sněžníku a Sněžné kotliny není směrem ze svahu signifikantní na rozdíl od drah Vysokoholského hřbetu, což lze vysvětlit tvarem údolních uzávěrů, které jsou v případě Malé kotliny, Mezikotlí a Velké kotliny více zahloubené (mají více karovitý tvar). Patrná je totiž jejich pozice v rámci anemo-orografických systémů (Jeník, 1961). Leží v návaznosti na rozsáhlou plochu alpského bezlesí a akumuluje se zde velké množství přefoukávaného sněhu. Lavinové dráhy ve Sněžné kotlině a na Králickém Sněžníku mají situaci odlišnou. Plocha bezlesí na Červené hoře je neporovnatelně menší než na Vysokoholském hřbetu a na Králickém Sněžníku je pozice dráhy vůči bezlesí méně vhodná pro velkou akumulaci sněhu. Lze tedy konstatovat, že zejména Velká kotlina vykazuje podle dostupných zdrojů patrně nejvyšší lavinovou aktivitu ve východních Vysokých Sudetech z důvodu své vhodné polohy s přiléhající velkou plochou alpského bezlesí.

Lavinové dráhy Sněžná kotlina a Králický Sněžník mají tak celkově odlišný charakter od Malé kotliny, Mezikotlí a Velké kotliny. Mimo větší délku obklopenou zapojeným lesem, což byl hlavní důvod pro provedení dendrochronologické analýzy, mají i odlišnou morfometrii, neboť údolní uzávěry, kde se dráhy nacházejí, nejsou tak zahloubené jako dráhy Vysokoholského hřbetu. Fakt, že se zmíněné dráhy nenacházejí v údolním uzávěru amfiteatrálního tvaru, se zřejmě odráží v jejich větší délce, protože laviny se nezastavují na dně karu či nivační deprese, ale pokračují

dále do údolí. Větší délka zmíněných dvou lavinových drah může být podmíněna faktem, že se nenachází v uzavěru amfiteatrálního tvaru s vyvinutým stupněm.

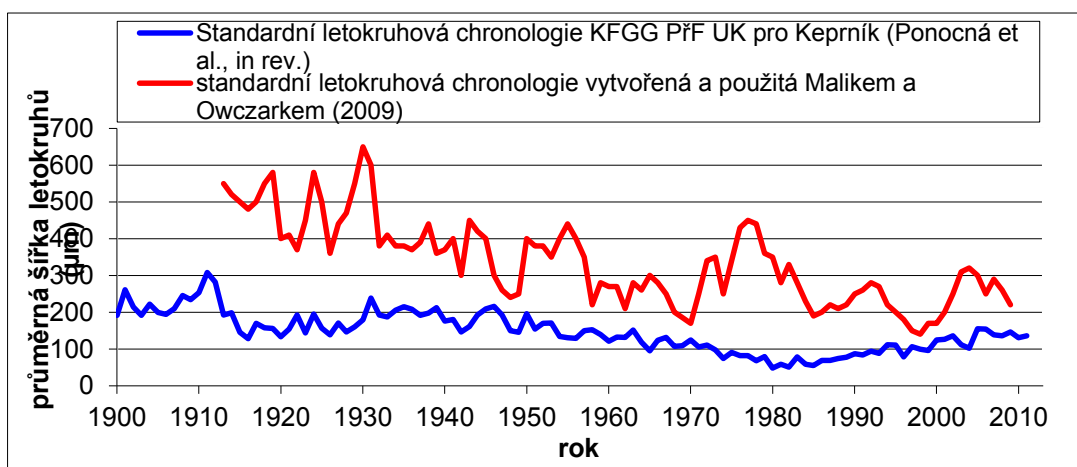
6.3. Dendrochronologická analýza

V lavinové dráze ve Sněžné kotlině byly odebrány vzorky z 61 a na Králickém Sněžníku z 43 jedinců. V závislosti na rozloze dráhy a množství potenciálně lavinou zasažitelných jedinců (Corona et al., 2012) se jedná o dostatečný počet pro získání důvěryhodných výsledků. Relativně nízký počet analyzovaných stromů v dráze Králického Sněžníku odpovídá malé rozloze dráhy. Existují i studie s výrazně menším počtem analyzovaných jedinců (Stoffel et al., 2013).

Pro určení potenciálních lavinových let byla použita jak "klasická", tak "moderní" metoda. Obě metody mají totiž specifické výhody (Chiroiu et al., 2015). "Klasická" metoda nepřisazuje jednotlivým indikátorům lavinových událostí váhy, tudíž se v ní nedá počítat například s mrtvým dřevem jako s přímým důkazem laviny. Naopak "moderní" metoda přisuzuje velkou váhu mrtvému dřevu a jizvám, oba jevy však jsou směrem do historie zahlazeny, čili úspěšnost "moderní" metody směrem do minulosti klesá patrně rychleji než úspěšnost metody "klasické". Samotná definice vzorce "moderní" metody a prahy obou metod byly definovány s přihlédnutím ke specifickým lavinovým drah východních Vysokých Sudet (sensu Butler et al., 1987) a jsou velmi blízké algoritmům a hodnotám použitým ve výzkumu v západních Vysokých Sudetech (Tumajer a Treml, 2015), jejichž lavinové dráhy mají podobné vlastnosti jako dráhy východosudetské. Níže stanovené hodnoty prahů by se projevíly větším počtem potenciálně lavinových let, kam by byly zahrnuty i roky, v nichž patrně neproběhla lavinová událost vůbec. Jelikož v Hrubém Jeseníku a na Králickém Sněžníku neexistuje lavinový katastr, není možné výsledky validovat. Důležitým vodítkem byla analýza historických leteckých měřických snímků. Je každopádně nutné brát na vědomí, že výsledné lavinové roky jsou definovány jako potenciální a zejména při hodnotách indexů obou metod těsně překračujících definovaný práh nemuselo k lavinové události nutně dojít. Naopak některé zejména prachové laviny nemusely být dendrochronologicky vůbec zaznamenány. Při absenci jiných zdrojů o lavinové aktivitě v poměrně odlehlých studovaných lokalitách se však spolu s analýzou historických leteckých měřických snímků prakticky jedná o jediný

způsob pro zjištění lavinové aktivity drah. Výsledky dendrochronologické analýzy v podobě určení potenciálních lavinových let a informace o relativní četnosti pádů lavin jsou tak poměrně vypovídající.

Ve Sněžné kotlině již v minulosti proběhl dendrogeomorfologický výzkum zaměřený primárně na výskyt mur (Malik a Owczarek, 2009). Autoři se domnívají, že v dráze proběhlo mnoho pádů mur, zejména v 70. a 90. letech 20. století. Výsledky jsou postaveny pouze na analýze jizev, mrtvého dřeva a růstových změn, navíc s velmi nízkým počtem vzorků (pouze 19 žijících jedinců nerovnoměrně rozprostřených po dráze). Referenční chronologie, kterou autoři použili pro určení růstových změn a pro křížové datování mrtvého dřeva, vychází pouze z 15 jedinců rostoucích v oblasti Červené hory, a nevykazuje téměř žádnou shodu s referenční chronologií Laboratoře dendrochronologie KFGG PŘF UK v Praze pro Keprník ani pro jiné blízké lokality (Obr. 48). Výskyt výrazných mur zjištěných v uvedeném článku lze též vyvrátit analýzou leteckých měřických snímků, které jasně ukazují, že v 70. a 90. letech nebyla nijak výrazně poškozena vegetace rostoucí v lavinové dráze, která byla zjevně naopak plošně odstraněna silnou lavinou v roce 2004, již Malik a Owczarek (2009) také ve své práci uvádějí. Nakonec také nelze předpokládat častý výskyt mur o šířce celé lavinové dráhy.



Obr. 48: Porovnání referenčních chronologií použitých v předkládané práci a Malikem a Owczarkem (2009).

6.4. Aktivita lavinových drah ve Sněžné kotlině a na Králickém Sněžníku

Potenciální lavinový rok 1944 ve Sněžné kotlině je podpořen leteckým snímkem z roku 2005, na kterém je zřetelná odstraněná vegetace a dokonce změna rozsahu dráhy oproti pozdějšímu stavu. Pokud skutečně proběhly následující potenciální lavinové události v letech 1984 a 1993, musely být patrně slabšího charakteru, neboť k odstranění rozmáhající se dřevinné vegetace ve střední a spodní části dráhy podle leteckých měřických snímků z let 1985 a 1995 nedošlo. Potenciální lavinové události determinované "moderní" metodou ve Sněžné kotlině po roce 2004, a sice v letech 2005, 2007 a 2008 nelze rezolutně zavrhnout jako zpožděnou reakci stromů na událost z roku 2004, neboť prostorová distribuce reagujících jedinců je v každém roce odlišná. Lze tak předpokládat, že po silné události v lavinovém roce 2004, která je podpořena jak dendrochronologicky v podobě mrtvého dřeva, tak na leteckém snímku z roku 2004 v podobě viditelné absence dřevinné vegetace, se dramaticky zvýšila frekvence lavinových událostí v dráze (sensu Teich et al., 2012).

Meteorologické situace předcházející odtrhům lavin ve sledovaných drahách mohly potenciálně způsobit pády lavin v jiných lavinových drahách Hrubého Jeseníku. O spadlých lavinách, zejména ve Velké kotlině, existují zmínky v médiích, informačních zdrojích horské služby, CHKO a podobně. V potenciálním lavinovém roce pro Sněžnou kotlinu 2005 spadla prokazatelně lavina v Malé kotlině a v roce 2007 ve Velké kotlině (tab. 20). Některé potenciální lavinové roky lze též vztáhnout k meteorologickým údajům z vrcholových stanic. Potenciální lavinový rok ve Sněžné kotlině 1993 může souviset s extrémně vysokým denním úhrnem sněhu, který v březnu na Pradědu činil 47 cm (tab. 20). Události v letech 2004, 2005 a 2007 mohou souviset s vysokými únorovými či březnovými teplotami (tab. 20).

Tab. 20: Porovnání potenciální lavinové aktivity ve Sněžné kotlině a na Králickém Sněžníku s lavinovými událostmi v jiných částech východních Vysokých Sudet a s meteorologickými situacemi.

rok	potenciální lavinové události		lavinové události popsané v literatuře a dalších zdrojích			meteorologické situace vhodné pro pády lavin*		
	Sněžná kotlina	Králický Sněžník	Velká kotlina	Mezikotlí	Malá kotlina	SNOMax Praded >45 cm/den	TMA Praded unor/brezen >10°C	TMA Serak unor/brezen >10°C
1985								
1986								
1987			X ¹					
1988								
1989							X	
1990							X	
1991								
1992								
1993	X					X		
1994								
1995								
1996								
1997								
1998								
1999		X						
2000								
2001								
2002			X ²					
2003								
2004	X							X
2005	X				X ³			X
2006								
2007	X		X ⁴					X
2008	X							
2009			X ⁵					
2010				X ⁶				X
2011								
2012			X ⁷					
2013								
2014								
2015			X ⁸					

Pozn.: * - získané z měsíčních souhrnů ze stanic Praded a Šerák (tab. 3,4,5,6); SNOMax - maximální úhrn sněhu za den; TMA - maximální měsíční teplota. V tabulce jsou černě ohraničeny roky, pro které jsou z dané stanice k dispozici data. Zdroje: 1 – fotografie památníku oběti tragédie, 2, 3 – Chlapek (2007), 4,5 – Kořízek (2015) 6,7 – Chlapek (in verb.), 8 – iDnes (2015).

6.5. Geomorfologické projevy lavin v drahách ve Sněžné kotlině a na Králickém Sněžníku

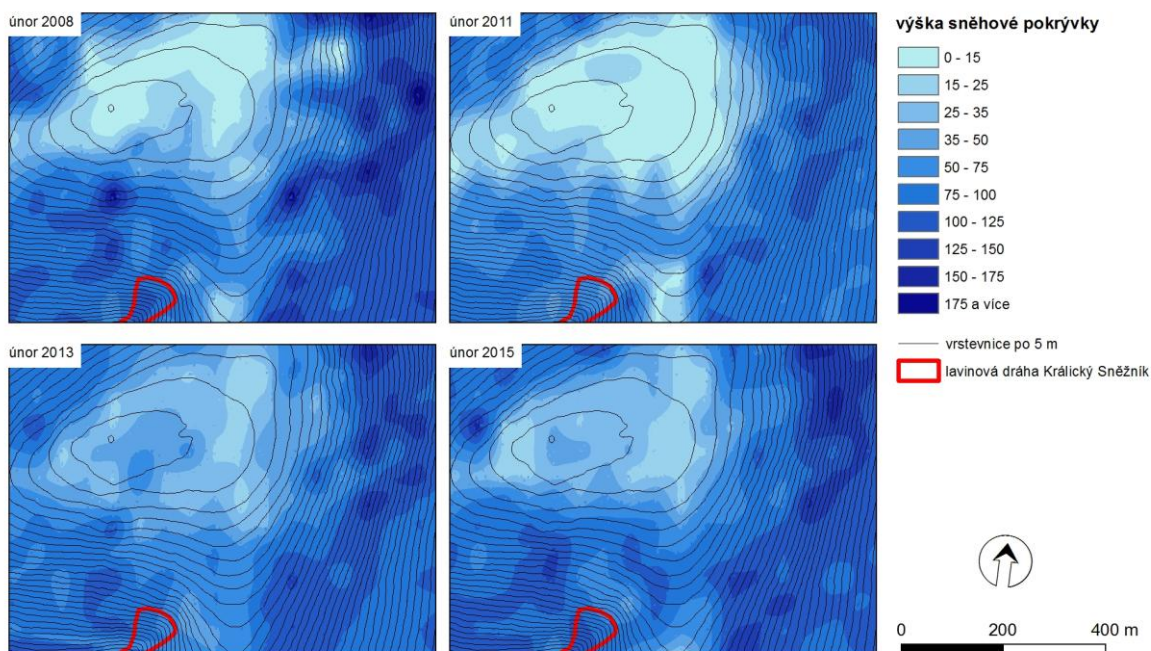
Lavinová dráha ve Sněžné kotlině je specifická přítomností relativně zapojeného lesa v horní části transitní zóny v délce cca 90 m. K odtrhu lavin dochází v prudké části svahu pouze několik metrů nad vzrostlými dřevinami. Teich et al. (2012) uvádějí, že schopnost vyvracet dřeviny má lavina zhruba po 150 metrech. Je tedy zřejmé, že ve Sněžné kotlině prochází laviny zmíněným porostem a jejich ničivá schopnost se začíná projevovat až v průběhu transitní zóny v místech, kde začíná být pozorovatelné koryto (cca po 180 m od počátku dráhy). Velké množství vegetace v transitní zóně dráhy bylo zjevně zničeno velmi silnou událostí v lavinovém roce 2004. Jelikož odstranění vegetace bylo plošné a zřejmě došlo i k erozi zvětraliny, dá se předpokládat, že zmíněná lavina byla základová a znamenala výraznou změnu po dlouhém období neaktivity. Lavina z roku 1993 byla zjevně méně silná a nikoliv základová. I když došlo k vyvrácení několika stromů (4 mrtvá dřeva), na leteckých snímcích není patrné plošné odstranění vegetace ani půdního krytu.

Jelikož geomorfologický význam mají téměř výhradně základové laviny, je patrné, že dráha ve Sněžné kotlině je tomuto typu lavin v průběhu času vystavována, neboť je morfologicky členitá. Dráha je protékána málo vodným potokem, jehož stálé prameniště se navíc nachází v její spodní části. Fluviální geneze koryta, které je i ve vyšší části tranzitní zóny značně zahloubené, je velice nepravděpodobná, jelikož koryto je navíc i velmi široké a směrem ze svahu se zužuje. Podoba koryta je shodná s tvary typu *avalanche chutes* nebo *raszkars* popsány v literatuře (sensu Rapp, 1960, Ahlmann, 1918 in Luckman, 1977) z pohledu jeho příčného profilu, rozměrů a polohy v tranzitní zóně lavinové dráhy. Také prostorová distribuce reagujících stromů při potenciálních lavinových událostech (obr. 44) ukazuje, že laviny jsou korytem usměrňovány. Malik a Owczarek (2009) přisuzují lalokům v horní části transitní zóny murovou genezi. Popisují také murové postranní valy na okraji dráhy, které se však v terénu reálně nevyskytují a jejich existence v popisované vzdálenosti od koryta není obvyklá (Saez et al., 2011). Oblast postihly v červenci roku 1921 extrémní srážky, kdy na Červené hoře bylo naměřeno za jeden den 196,5 mm srážek (Štěkl et al., 2001). Na západním úpatí Červené hory spadlo několik velkých mur s katastrofickými následky. Je tedy možné předpokládat, že se mury vyskytly i na jiných místech v okolí včetně Sněžné kotliny. Nelze tedy vyvrátit tvrzení Malika

a Owczarka (2009), že dnešní morfologie dráhy je z velké části následkem velké mury z roku 1921. Je však pravděpodobné, že vzhledem k pozici dráhy v údolním uzávěru v ní docházelo ke svahovým pohybům i dříve v minulosti. Šest murových událostí, které od roku 1968 do současnosti zmiňují Malik a Owczarek (2009), se zdá být na základě analýzy leteckých snímků i dendrochronologické analýzy značně nepravděpodobných. Dráha prošla ve druhé polovině dvacátého století dlouhým obdobím bez aktivity lavin nebo výrazných mur, které bylo narušeno lavinou v roce 1993 bez výrazných geomorfologických účinků a silnou lavinou z roku 2004, která obnovila prostor pro modelaci reliéfu především odstraněním vzrostlé vegetace. Následující lavinové události v letech 2005, 2007, 2008 a 2009 zřejmě umocnily modelaci koryta v transitní zóně dráhy, když byly korytem usměrňovány. Pozorovatelné formy akumulací zóny jsou zastřeny velkým množstvím mrtvého dřeva, které je promícháno s regolitem. Je zjevné, že dominantním procesem, který se podílí na modelaci reliéfu Sněžné kotliny minimálně v posledním období od druhé poloviny dvacátého století, jsou sněhové laviny.

Lavinová dráha na Králickém Sněžníku přímo navazuje na alpínské bezlesí vrcholové části, celou dráhou protéká tok Moravy, který však není soustředěn do úzkého koryta a celá plocha lavinové dráhy je podmáčená. Díky přítomnosti toku patrně nedochází k samovolnému zalesnění dráhy i přes její dlouhodobou neaktivitu. Dráha je zjevně proto také relativně úzká. V průběhu období dendrochronologické rekonstrukce byla dráha prakticky neaktivní, nebo případné události nebyly silné natolik, aby výrazně ovlivňovaly reliéf. Přestože nejsilnější událost v roce 1999 dokázala vyvrátit i několik stromů, zřejmě reliéf nepoznamenala. Vliv sněhových lavin na přemodelování údolního uzávěru je zanedbatelný. V lavinové dráze evidentně působí ploužení, které má též zjevně svůj podíl na vzhledu dráhy a činí růst dřevin obtížnějším. Podle Jahna (1989) nepůsobí ploužení v zapojeném lese, nicméně na okrajích lavinových drah naopak značně. Předpokladu, že ploužení na Králickém Sněžníku je intenzivnější než ve Sněžné kotlině, nahrává právě fakt, že na Králickém Sněžníku stromy vykazují větší množství excentricity letokruhů. I když Jeník (1961) popisuje na Králickém Sněžníku anemo-orografický systém Černé vody, v jehož závětrném prostoru se má údolní uzávěr Moravy nacházet, je zjevné, že zde k velkým akumulacím sněhu obvykle nedochází. Měření sněhu ve vrcholové oblasti Králického Sněžníku (obr. 49) ukazují, že západní větry ukládají sníh v závětrí spíše

v údolních uzávěrech na východní straně vrcholu, ve Wielkem a Malem Leji, kde zřejmě dochází k pádům lavin častěji (údaje neexistují). Laviny ve studovaném údolním uzávěru Moravy jsou tedy zřejmě vázány na velké úhrny sněhu a převládají tak laviny prachové. Díky vodnatému prameništi se zde mohou vyskytovat také tzv. břeckotoky (sensu Spusta a Kociánová, 1998). Je zřejmé, že podoba lavinové dráhy je dána působením ploužení, omezením růstu vegetace z důvodu podmáčení terénu a lavinová aktivita je zde sporadická bez velkého vlivu na reliéf.



Obr. 49: Výška sněhu naměřená při Koursech zimní ekologie PŘF UK.

7. ZÁVĚR

Výskyt lavinových drah je pro Vysoké Sudety charakteristický. Ve východních Vysokých Sudetech se nachází 5 lavinových oblastí, a sice Malá kotlina, Mezikotlí, Velká kotlina, Sněžná kotlina a Králický Sněžník. V lavinových drahách je snížena horní hranice lesa a vyskytují se zde často specifické formy reliéfu spojené s lavinovou činností. Z hlediska biodiverzity se také jedná o nejhodnotnější místa pohoří. Morfometrická analýza drah ukázala na následující skutečnosti:

- Všechny lavinové dráhy východních Vysokých Sudet se nacházejí v údolních uzávěrech s převážně jihovýchodní expozicí v nadmořských výškách mezi 1400 a 900 metry.
- Délka lavinových drah se ve východních Vysokých Sudetech pohybuje mezi 175 (Mezikotlí) a 662 (Sněžná kotlina) metry, obvykle dosahuje okolo 400 m. Sklon drah je nejvyšší v karovém uzávěru Velké kotliny (až 60 °), v ostatních drahách se sklon odtrhu lavin pohybuje okolo 30 – 40 °.
- Na základě morfometrických charakteristik lze rozlišit dvě skupiny lavinových drah východních Vysokých Sudet, a sice dráhy Vysokoholského hřbetu (Malá kotlina, Mezikotlí, Velká kotlina) a zbylé dvě dráhy ve Sněžné kotlině a na Králickém Sněžníku. Poslední dvě jmenované dráhy jsou výrazně užší a delší.
- Šířka a sklon lavinových drah ve východních Vysokých Sudetech klesá směrem ze svahu, zejména pak u drah Vysokoholského hřbetu.

Podrobněji byly studovány 2 lavinové dráhy, které zasahují do zapojeného lesa, a sice Sněžná kotlina a Králický Sněžník. Z výsledků provedené dendrogeomorfologické analýzy a geomorfologického mapování vyplývají následující závěry:

- Dendrochronologicky bylo datováno maximálně 6 potenciálních lavinových událostí ve Sněžné kotlině od roku 1924 a 3 potenciální lavinové události na Králickém Sněžníku od roku 1935.
- Průměrně vychází jedna potenciální lavinová událost datovaná dendrogeomorfologickou metodou na každých 15 let ve Sněžné kotlině a 39,5 roku na Králickém Sněžníku. Ve Sněžné kotlině ovšem zjevně došlo

k velké změně při lavinové události v roce 2004, po kterém jsou pády evidentně četnější.

- Znatelně vyšší lavinová aktivita Sněžné kotliny se v porovnání s dráhou na Králickém Sněžníku projevuje ve výrazné modelaci reliéfu dráhy. Zatímco dráha na Králickém Sněžníku je morfologicky velice málo členitá a má rysy běžného údolního uzávěru, ve Sněžné kotlině se nachází koryto, které je zjevně minimálně částečně produktem působení základových lavin. Reliéf dráhy ve Sněžné kotlině je patrně nejen výsledkem lavinové činnosti, ale i činnosti mur, které se podílely jak na vzniku koryta, tak zejména akumulčních forem v podobě laloků.

Přes nízký počet a relativně slabou aktivitu jsou lavinové dráhy východních Vysokých Sudet velmi rozdílné. Dráha na Králickém Sněžníku je vlivem nevhodné pozice z hlediska převládajícího větrného proudění a s ním spojenou nízkou akumulací sněhu velice málo aktivní a její morfologie není lavinami příliš poznamenána. Přestože v celém souboru východosudetských lavinových drah je Králickému Sněžníku nejpodobnější Sněžná kotlina, lavinová aktivita je zde výrazně častější a geomorfologické projevy jsou pozorovatelné.

8. POUŽITÁ LITERATURA A ZDROJE

8.1. Literatura

- 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.
- 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.
- BÉLANGER, L., GARCIA, S., JAMARD, A. L. (2002): L'Enquête Permanente sur les Avalanches (EPA): Statistique descriptive générale des événements et des sites. Université Joseph Fourier, DESS Ingénierie Mathématique, option statistique, 101 s.
- 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., MALANSON, P.G., OELFKE, G J. (1987): Tree-Ring Analysis and Natural Hazard Chronologies: Minimum Sample Sizes and Index Values. *Professional Geographer* 39/1, s. 41 - 47.
- BUTLER, D. R. (1989): Subalpine Snow Avalanche Slopes. *The Canadian Geographer* 33/3, s. 269 - 273.
- BUTLER, D. R., SAWYER, C. F. (2008): Dendrogeomorphology and high-magnitude snow avalanches: a review and case study. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 8, s. 303 - 309.
- CARAVAGLIA, V., PELFINI, M. (2011): The role of border areas for dendrochronological investigations on catastrophic snow avalanches: A case study from the Italian Alps. *Catena* 87, s. 209 - 215.
- CASTELLER, A., STÖCKLI, V., VILLALBA, R., MAYER, A. C. (2007): An Evaluation of Dendroecological Indicators of Snow Avalanches in the Swiss Alps. *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 39/2, s. 218 - 228.
- CASTELLER, a., VILLALBA, R., ARANEO, D., STÖCKLI, V. (2011): Reconstructing temporal patterns of snow avalanches at Lago del Desierto, Southern Patagonian Andes. *Cold Region Science and Technology* 67, s. 68 - 78.
- CORNER, G. D. (1980): Avalanche impact landforms in Troms. North Norway. *Geografiska Annaler* 62 A, s. 1 - 10.
- CORONA, C., ROVÉRA, G., SAEZ, J. L., STOFFEL, M., PARFETTINI, P. (2010): Spatio-temporal reconstruction of snow avalanche activity using tree rings: Pierres Jean Jeanne avalanche talus, Massif de l'Oisans, France. *Catena* 83, s. 107 - 118.
- CORONA, C., SAEZ, L. J., STOFFEL, M., BONNEFOY, M., RICHARD, D., ASTRADE, L., BERGER, F. (2012): How much of the real avalanche activity can be captured with tree rings? An evaluation of classic dendrogeomorphic approaches and comparison with historical archives. *Cold Regions Science and Technology* 74/75, s. 31 - 42.

- CZUDEK, T (1997): Reliéf Moravy a Slezska v kvartéru. Sursum, Tišnov, 213 s.
- CHLAPEK, J. (2007): Laviny a lavinové dráhy. In: Kočí, K. (ed.): Jeseníky. ACTAEA, Jeseník, 220 s.
- DE QUERVAIN, M. R. ed. (1981): Avalanche atlas. UNESCO, Paris, 265 s.
- DEMEK, J., MACKOVČIN, P., BALATKA, B., BUČEK, A., CIBULKOVÁ, P., CULEK, M., ČERMÁK, P., DOBIÁŠ, D., HAVLÍČEK, M., HRÁDEK, M., KIRCHNER, K., LACINA, J., PÁNEK, T., SLAVÍK, P., VAŠÁTKO, J. (2006): Hory a nížiny. Zeměpisný lexikon ČR. Brno, MŽP ČR, 582 s.
- DEMEK, J. (1988): Obecná geomorfologie. ČSAV, Praha, 476 s.
- ECKERT, N., SCHLÄPPY, R., JOMELLI, V., NAAIM, M. (2013): Refining calibration and predictions of a Bayesian statistical-dynamical model for long term avalanche forecasting using dendrochronological reconstructions. Geophysical Research Abstracts 15, EGU General Assembly 2013.
- FIRBAS, F. (1949): Spät- und Nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlich der Alpen 1. Bd. Gustav Fischer, Jena, 480 s.
- FRENCH, H. M. (2007): The Periglacial Environment. Wiley, Chichester, 480 s.
- CHIROIU, P., STOFFEL, M., ONACA, A., URDEA, P. (2015): Testing dendrogeomorphic approaches and thresholds to reconstruct snow avalanche activity in the Fagaras Mountains (Romanian Carpathians). Quaternary Geochronology 27, s. 1 - 10.
- 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, 308 s.
- JAHN, A. (1989): The soil creep on slopes in different altitudinal and ecological zones of Sudetes Mountains. Geografiska annaler A 71, s. 161 - 170.
- JENÍK, J. (1961): Alpínská vegetace Krkonoš, Králického Sněžníku a Hrubého Jeseníku: teorie anemo-orografických systémů. ČSAV, Praha, 409 s.
- JENÍK, J., BUREŠ, L., BUREŠOVÁ, Z. (1980): Syntaxonomic Study of Vegetation in Velká Kotlina Cirque, the Sudeten mountains. Folia Geobotanica et Phytotaxonomica 14, s. 337 - 448.
- KAVALCOVÁ, V. (2003): Sněžná kotlina, květena, zvířena. In: Šafář, J. et al. In Mackovčín, P. a Sedláček, M. (eds.): Chráněná území ČR, svazek VI., Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a Ekocentrum Brno, Praha, s. 327.
- 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.
- KLIMEŠ, L., KLIMEŠOVÁ, J. (1991): Alpine tundra in the Hrubý Jeseník Mts., the Sudeten, and its tentative development 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.

- KOCIÁNOVÁ, M., KOŘÍZEK, V., SPUSTA, V., BRZEZIŃSKI, A. (2013): Laviny v Krkonoších. KRMAP, Vrchlabí, 193 s.
- KOGELNIG-MAYER, B., STOFFEL, M., SCHNEUWLY-BOLLSCHWEILER, M., HÜBL, J., RUDOLF-MIKLAU, F. (2011): Possibilities and Limitations of Dendrogeomorphic Time-Series Reconstructions on Sites Influenced by Debris Flows and Frequent Snow Avalanche Activity. *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 4, s. 649 - 658.
- KRAUSE, D. (2013): Morfologie lavinových drah. Bakalářská práce, Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK v Praze, 62 s.
- 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 Sněžníku 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 overdeepening 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. (1992): Debris Flows and Snow Avalanche Landforms in Lairig Ghru, Cairngorm Mountains, Scotland. *Geografiska Annaler* 74 A, s. 109 - 121.
- LUCKMAN, B. H. (2010): Dendrogeomorphology and Snow Avalanche Research. In: Stoffel et al. (eds.): *Tree Rings and Natural Hazards: A State-of-the-Art, Advances in Global Change Research* 41, s. 27 - 34.
- 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.
- 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.
- PAŠEK, J. (1986): Inženýrskogeologické poměry Českého masívu. In: Matula, M., Pašek, J.: *Regionálna inžinierska geológia ČSSR*. Alfa, Bratislava, SNTL, Praha, 296 s.

- PAUKERTO VÁ., I., REJL, J. (2002): Králícký Sněžník, květena, zvířena. In: Faltysová, H., Bárta, F. et al. in: Mackovčín, P. a Sedláček, M. (eds.): Chráněná území R, svazek IV., Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a EkoCentrum Brno, Praha, s. 199 - 200.
- PONOCNÁ, T., SPYT, B., KACZKA, R., BÜNTGEN, U., TREML, V. (in rev.): Growth trends and climate responses of Norway spruce along elevational gradients in East-Central Europe. *Trees – Structure and Function*.
- PROSOVÁ, M. (1973): Zalednění Hrubého Jeseníku. *Campanula* 4, s. 115 - 123.
- QUITT, E. (1971): Klimatické oblasti Československa. *Academia*, Praha, 75 s., mapa.
- RAPP, A. (1960): Recent Development of Mountain Slopes in Kärkevagge and Surroundings, Northern Scandinavia. *Geografiska Annaler A* 42 2/3, s. 65 - 200.
- REARDON, B. A., PEDERSON, G. T., CARUSO, C. J., FAGRE, D. B. (2008): Spatial Reconstructions and Comparisons of Historic Snow Avalanche Frequency and Extent Using Tree Rings in Glacier National Park, Montana, U.S.A. *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 40/1, s. 148 - 160.
- RIXEN, C., HAAG, S., KULAKOWSKI, D., BEBI, P. (2007): Natural avalanche disturbance shapes plant diversity and species composition in subalpine forest belt. *Journal of Vegetation Science* 18, s. 735 - 742.
- ROTHMALER, W. ed. (1987): *Exkursionsflora für die Gebiete der DDR und der BDR: Atlas der Gefäßpflanzen*. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin, 752 s.
- RYBNÍČEK, K., RYBNÍČKOVÁ, E. (2004): Pollen analysis 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.
- SAEZ, L. J., CORONA, C., STOFFEL, M., GOTTELAND, A., BERGER, F., LIÉBAULT, F. (2011): Debris-flow activity in abandoned channels of the Manival torrent reconstructed with LiDAR and tree-ring data. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, EGU 2011, s. 1247 - 1257.
- 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.
- SCHLÄPPY, R., JOMELLI, V., GRANCHER, D., STOFFEL, M., CORONA, C., BRUNSTEIN, D., ECKERT, N. DESCHARTES, M. (2013): A New Tree-Ring-Based, Semi-Quantitative Approach for the Determination of Snow Avalanche Events: use of Classification Trees for Validation. *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 45/3, s. 389 - 395.
- SCHRODER, J. F. (1978): Dendrogeomorphological Analysis of Mass movement on Table Cliffs Plateau, Utah. *Quaternary Research* 9/2, s. 168 - 185.
- SCHRODER, J. F. (1980): Dendrogeomorphology - Review and new techniques of tree-ring dating. *Progress in Physical Geography* 4, s. 161 - 188.
- SCHWEINGRUBER, F. H. (1996): *Tree rings and environment*. Dendroecology. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, Bern, 609 s.
- SLAVÍK, B. (1988): Regionálně fytogeografické členění ČSR - mapa, In: Hejný, S., Slavík, B. (eds.): *Květena ČSR I*. *Academia*, Praha, 557 s., mapa.

- SPUSTA, V., KOCIÁNOVÁ, M. (1998): Lavinový katastr české části Krkonoš v období 1961/62 - 1997/98. *Opera Corcontica* 35, s. 3 - 205.
- 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.
- STOFFEL, M., BOLLSCHWEILER, M., HASLER, G. (2006): Differentiating past events on a cone influenced by debris-flow and snow avalanche activity - dendrogeomorphological approach. *Earth Surface Processes and Landforms* 31, s. 1424 - 1437.
- STOFFEL, M., BOLLSCHWEILER, M. (2008): Tree-ring analysis in natural hazards research - an overview. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 8, s. 187 - 202.
- STOFFEL, M., CONUS, D., GRICHTING, M. A., LIÉVRE, I., MAITRE, G (2008): Unraveling the patterns of late Holocene debris-flow activity on a cone in the Swiss Alps: chronology, environment and implications for the future. *Global and Planetary Change* 60, s. 222 - 234.
- STOFFEL, M., BUTLER, D. R., CORONA, C. (2013): Mass movements and tree rings: A guide to dendrogeomorphic field sampling and dating. *Geomorphology* 200, s. 106 - 120.
- STOFFEL, M., CORONA, C. (2014): Dendroecological Dating of Geomorphic Disturbance in Trees. *Tree-Ring Research* 70/1, s. 3 - 20.
- SUMMERFIELD, M. A. (1991): *Global Geomorphology*. Longman, New York, 537 s.
- ŠILHÁN, K. (2013): *Základy dendrogeomorfologie*. KFGG OU, Ostrava, 114 s.
- ŠTĚKL, J., BRÁZDIL, R., KAKOS, V., JEŽ, J., TOLASZ, R., SOKOL, Z. (2001): Extrémní denní srážkové úhrny na území ČR v období 1879 - 2000 a jejich synoptické příčiny. ČHMÚ, Praha, 140 s.
- ŠTURSA, J. (2010): Fenomén tundry v evropských středohorách. *Campanula - sborník referátů z konference ke 40. Výročí CHKO Jeseníky, AOPK, Jeseník*, s. 4-10.
- 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.
- TEICH, M., BARTELT, P., GRET-REGAMEY, A., BEBI, P. (2011): Snow Avalanches in Forested Terrain: Influence of Forest Parameters, Topography, and Avalanche Characteristics on Runout Distance. *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 44/4, s. 509 - 519.
- 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., BANAŠ, M. (2000): Alpine Timberline in the High Sudetes. *AUC Geographica* 35, s. 83 - 99.
- TREML, V., KŘÍŽEK, M. (2006): Vliv borovice kleče (*Pinus mugo*) na strukturní půdy české části Vysokých Sudet. *Opera Corcontica* 43, s. 45 - 56.
- TREML, V., JANKOVSKÁ, V., PETR, L. (2008): Holocene dynamics of the alpine timberline in the High Sudetes. *Biologia* 63/1, s. 73 - 80.

TUMAJER, J., TREML, V. (2015): Reconstruction ability of dendrochronology in dating avalanche events in the Giant Mountains, Czech Republic. *Dendrochronologia* 34, s. 1 - 9.

TUMAJER, J. (2013): Dendrochronologické datování lavin v Krkonoších. Diplomová práce, Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK v Praze, 87 s.

VILLALBA, R., VEBLEN, T. T. (1997): Improving estimates of total tree ages based on increment core samples. *Écoscience* 4/4, s. 534 - 542.

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.

8.2. Ostatní zdroje

ČHMÚ (2013): Měsíční souhrny meteorologických dat ze stanic Praděd a Šerák z let 1985 – 2012.

ČÚZK (2014): Digitální model reliéfu 4. generace

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

DMÚ 25: Digitální model území 1 : 25 000, VGHMÚř Dobruška – MO ČR

GEODIS: Letecké měřické snímky z let 2001, 23003 a 2006

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

HS ČR (2015): Lavinová předpověď Jeseníky, dostupné na URL: http://www.hscr.cz/index.php?option=com_custompages&Itemid=18&task=jeseniky

iDnes (2015): V Jeseníkách se utrhla 130 metrů široká lavina, nebezpečí trvá. 2. 2., dostupné na URL: http://ostrava.idnes.cz/v-jesenikach-se-utrhla-lavina-djn-/ostrava-zpravy.aspx?c=A150202_162326_ostrava-zpravy_mav

KOŘÍZEK (2015): Laviny info expert. Alpy 4000. Dostupné na URL: <http://www.alpy4000.cz/laviny-info-expert.php>

KURS ZIMNÍ EKOLOGIE (2008, 2011, 2013, 2015): Data z proběhlého měření sněhu při předmětu Katedry botaniky PřF UK v Praze (MB120T09)

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

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

VGHMÚř Dobruška – MO ČR: Letecké měřické snímky z let 1936, 1945, 1946, 1957, 1958, 1965, 1970, 1975, 1976, 1985, 1986 a 1995

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

8.3. Použitý software

ESRI (2010): ArcMap 10.0, ArcScene 10.0

StatSoft (2004): Statistica 7.0

SCIEM (2014): PAST 5.0.570

Microsoft (1999): Excel 2000