

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Přírodovědecká fakulta

Analýza růstu dřevin na lavinových svazích v Krkonoších

Bakalářská práce

Veronika Langová

Vedoucí práce: Mgr. Jan Altman (PřF JU)

České Budějovice 2013

Langová, V, 2013: Analýza růstu dřevin na lavinových svazích v Krkonoších.

[Analysis of tree growth on avalanche slopes in the Krkonoše Mts.] – 37 p., Faculty of Science. University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

Anotace:

Dendrochronologickou analýzou jsem rekonstruovala laviny v Krkonošském národním parku. Zkoumala jsem jedince smrku ztepilého (*Picea abies*), který je dominantním stromem na vybraných lavinových dráhách (Pramenný důl, Navorská jáma a Pančavská stěna). Podařilo se úspěšně sestavit růstovou křivku pro jednotlivé lokality a aplikovat dva různé přístupy (detekce uvolnění porostu a výskyt pryskyřičných kanálků) pro rekonstrukci lavin.

I applied dendrochronological methods to reconstruct snow avalanches in the Krkonoše national park. Tree-ring analyses are based on samples from Norway spruce (*Picea abies*), which is dominant species growing on selected avalanche slopes (Pramenný důl, Navorská jáma and Pančavská stěna). Mean growth curve were constructed for chosen localities and two different approaches were applied (detection of growth release and occurrence of resin ducts) for avalanche reconstruction.

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích, dne 26. dubna 2013

.....
Veronika Langová

Poděkování

Chtěla bych z celého srdce poděkovat mému hodnému, trpělivému a věčně optimistickému školiteli Mgr. Janu Altmanovi za odborné vedení v terénu, laboratoři a u psacího stolu.

Dále děkuji:

- Studentské grantové agentuře Přírodovědecké fakulty Jihočeské univerzity za finanční podporu této práce, díky které se mohla realizovat velká část projektu v roce 2011 a v roce 2012.
- Krkonošskému národnímu parku za povolení vstupu do chráněných zón a tím pádem za umožnění realizace projektu.
- RNDr. Mileně Kociánové za spolupráci a za ukázání lokalit v KRNAPu.
- Mgr. Aleně Vítové, Bc. Aleně Bartošové, Tomáši Gregorovi a Barboře Jonášové za velkou pomoc v terénu a za veselou atmosféru, která při práci probíhala.
- Mým rodičům za veškerou podporu při studiu a při psaní bakalářské práce.
- Sestře Martině za závěrečnou kosmetickou úpravu mé vyčerpané a unavené gramatiky v této práci.
- A nakonec Chyranu Katama Kingovi - mému bezvadnému pejskovi za dodávání energie a za pěkné rozptýlení v nejtěžších časech nejen při psaní bakalářské práce, ale i při celém studiu.

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Studované území.....	6
	2.1. Pramenný důl.....	7
	2.2. Navorská jáma.....	8
	2.3. Pančavská stěna.....	9
3	Metodika.....	10
	3.1. Sběr dat.....	10
	3.2. Katastr Lavin.....	10
	3.3. Jednotlivé lavinové dráhy.....	11
	3.3.1. Pramenný důl.....	11
	3.3.2. Navorská jáma.....	11
	3.3.3. Pančavská stěna.....	11
4	Výsledky.....	15
	4.1. Růstové křivky.....	15
	4.2. Pramenný důl.....	16
	4.3. Navorská jáma.....	19
	4.4. Pančavská stěna.....	22
	4.5. Analýza vztahu mezi měřenými charakteristikami.....	25
5	Diskuze.....	26
6	Závěr.....	30
7	Literatura.....	31

1. Úvod

Lesní ekosystémy jsou nepřetržitě ovlivňovány disturbancemi mnoha druhů způsobených přírozenou nebo lidskou silou (např. těžba dřeva, stavba infrastruktur). Právě vliv disturbancí hraje klíčovou roli pro fungování mnoha typů ekosystémů a jejich druhovou bohatost (Doležal et al. 2009, Reyes et al. 2010, Šebek et al. 2013). Disturbance vzniklé přírozenou silou lze dále dělit na fyzikální (např. požár, vichřice, laviny) a biotické (např. přemnožení hmyzu). Tyto disturbance se mohou lišit ve velikosti a intenzitě (Ross et al. 2001). Disturbance patří mezi hlavní řídicí faktory mnoha ekosystémů (Kulakowski et al. 2006), jejichž vznik je založen na exogenním a endogenním působení (Attiwill 1994). Z ekologického hlediska je disturbance přechodná událost, která zabíjí, potlačuje nebo narušuje jednoho nebo více jedinců, čímž umožní vzniknutí prostoru pro kolonizaci a rozvoj nových jedinců téhož nebo jiného druhu (Sousa 1984). Pickett & White (1985) definují disturbance jako samostatné události v čase, které naruší ekosystém, společenstvo nebo strukturu populace a mění zdroje, dostupnost substrátu nebo životní prostředí.

Důležitými procesy v subalpínských lesních ekosystémech jsou lavinové disturbance (Bebi et al. 2009). Základem vývoje krajiny je padání stromů, které vytváří gapy (mezery v zarostlé krajině) (Attiwill 1994). Tento proces je částí autogenních změn, díky kterým roste druhová bohatost, která se mění zároveň s lesním typem a geografii (Attiwill 1994). Oproti jiným disturbancím jsou lavinové sesuny relativně málo prozkoumané. Podle prof. Jeníka (Jeník 1958, 1961) jsou laviny hlavním krajinotvorným prvkem v lesnatých středohorách střední Evropy. Ovlivňují nejen dynamiku lesa, ale udržují i vysokou biodiverzitu na daném území, tedy lavinových drahách (Fischer et al. 2010). Struktura lesa ovlivňuje sesunutí laviny a může tak ochránit infrastrukturu a lidská obydlí (Viglietti et al. 2010, Teich et al. 2012). Vzrostlý les tedy funguje jako nejspolehlivější lavinová zábrana (Vrba & Spusta 1975).

Podle mezinárodní terminologie (de Quervain 1973) je lavina definovaná jako pohyb sněhu po svahu v délce nejméně 50m. Laviny vznikají nejčastěji na svazích o sklonu 30° a 50° (nejvíce 35° až 45°), na závětrných svazích, svazích s převátým sněhem a na svazích s menší drsností a při špatné stabilitě v alpském stupni (Cepák 2010). Nestabilita sněhu může například nastat díky dlouhé trávě na svahu, která se v zimním období stává skluznou plochou pro nánosy sněhu (Komárková & Lavecchia 1988).

Studium lavinové aktivity se dá rozdělit na dvě části. První část je předcházení sesunu laviny v současnosti a druhou část tvoří rekonstrukce lavin co nejdále do minulosti. Zjištění meteorologických faktorů, srážkové intenzity, teploty a větrného proudění je v dnešní době

také způsob k ověření lavinového nebezpečí (Komárková & Lavecchia 1988, Teich et al. 2012). Většina těchto parametrů se měří pomocí teletermometru. Specialisté na laviny zkoumají základní charakteristiky sněhové pokrývky (výšku, teplotu, strukturu atd.) a z naměřených údajů určí lavinový stupeň nebezpečí.

Od pouhého pozorování lavin se postupem času přešlo i k zájmu o prevenci před sesunem lavin. Předjít sesunu laviny je důležité hlavně pro oblasti, které jsou domovem lidí nebo se zde nachází infrastruktura. Mills (1915) propagoval švýcarské kontrolní metody, které mají zabránit sesunu laviny. Nejstarší způsob používání lavinové bariéry je udržování lesního porostu na lavinových svazích. Nyní se prevence před pádem laviny dělí na pasivní a aktivní ochranu (Kukal 1983). Do pasivní ochrany se zařazuje použití protilavinových zářezů (skály, sítě, kulatina) jako kotva sněhu v odtrhových zónách a také jako zpomalení padající laviny (Komárková & Lavecchia 1988). Ve Švýcarsku předcházejí pádu lavin ukotvením malých sněžných ploch a to sázením vytrvalých křovin na sněžných svazích. Pokud je lavinový převis možné odstřelit, používají se za přítomnosti specialistů a odborníků dynamity a minomety, což lze zařadit do aktivní ochrany. Výhoda této metody je, že se přesně ví, kdy se lavina sesune.

Nejsnazší cestou, jak rekonstruovat historické laviny, je evidence záznamů o lavinové činnosti v dané oblasti. Tyto údaje se na většině lavinových území zaznamenávají od 60. let 20. století (Maggioni & Gruber 2003), ale najdeme i starší záznamy v kronikách nebo novinách, které tvoří základ mnoha vědeckých prací (Armstrong 1976, Corona et al. 2012, Corona et al. 2013). Nejstarší záznamy (kolem sta let) o lavinách pocházejí od horníků a lidí, kteří žili v horách. Tito lidé se naučili mnoho věcí o lavinách nejen přímým pozorováním, ale i vlastními zkušenostmi (Martinelli & Leaf 1999). Zaznamenávali zajímavé a informativní detaily o nehodách a zároveň i o počasí.

Takovéto historické záznamy poskytují důkaz o výskytu především velkých lavin a slouží k porovnání a kalibraci výsledků prací, které se pokouší rekonstruovat lavinovou aktivitu. Jednou z metod, které se pro studium disturbancí v posledních letech začínají využívat, je analýza letokruhových dat (dendrochronologie). Díky dlouholetým záznamům v letokruzích je možno analyzovat procesy probíhající před několika desetiletími, stoletími či dokonce až tisíciletími nazpět (Splechna et al. 2005, Buntgen et al. 2011, Kitchen 2012, Altman 2013a,b). Dendrochronologické metody mají především tu přednost, že umožňují analýzu širokého spektra disturbancí (např. požáry, záplavy, laviny, sesuvy půdy, okus vysokou zvěří či antropologický vliv) (Schweingruber 2007, Stoffel 2010).

Letokruhová data jsou využívána především ke zjištění staří stromů, rekonstrukci klimatických poměrů, či datování různých objektů zkonstruovaných ze dřeva (např. Buntgen et al. 2011, Buntgen et al. 2013). Nicméně, letokruhy rovněž odrážejí ekologické a geofyzikální vlivy (laviny, sněhové posuny, kamenné sesuvy, půdní sesuvy, záplavy, vichřice) variancemi v šířkách, hustotě, struktuře, přítomnosti reakčního dřeva, pryskyřičných kanálků a růstovou formací kmene (Bitterli 1987, Schweingruber 1995, 2007) a mohou být tedy použiti pro velice široké spektrum analýz. Šířka letokruhů odráží především lokální změny prostředí (Schweingruber 1995). Suchozemské rostliny si v průběhu evoluce vyvinuly tři způsoby ochrany proti stresovým podmínkám a to 1) optimalizaci procesu tvorby dřeva, 2) variabilitu v tloušťkách buněčných stěn a 3) tvorbu xylému v částech rostliny, které jsou namáhané kompresí nebo tenzí a nakonec tvorba reakčního dřeva kolem stonku, větví a kořene (Schweingruber 1996). Zóny reakčního dřeva (kompresní u jehličnanů a tlakové u listnáčů) ukazují ovlivňování růstu místem, kde strom roste. Následné modifikace dřeva mohou být výsledkem větrného nebo sněžného tlaku. Na příčném řezu kmene jsou obvykle patrné náhlé změny v excentricitě kmene a prudké růstové změny způsobené už tvorbou reakčního dřeva (Schweingruber 1996) či náhlým růstem způsobeným zlepšenými světelnými podmínkami (Lorimer & Frelich 1989, Frelich 2002, Black & Abrams 2003). Déle trávající výrazné zvýšení radiálních přírůstků nám indikuje, že strom v minulosti prožil zlepšení světelných podmínek po pádu sousedního stromu (Altman 2013a). Takovýto proces se nazývá **uvolnění** (*release*).

Ve světě nalezneme již několik studií, které se zabývaly právě rekonstrukcí lavinové aktivity pomocí dendrochronologie (Abrams et al. 1999, Casteller et al. 2007, Reardon et al. 2008, Corona et al. 2010, Corona et al. 2012) navíc roste zájem o objasnění vzniku a výskytu pryskyřičných kanálků jako odpověď na disturbanci (Bannan 1936, Hug 1979, Schweingruber 2007). Laviny poškozují především kmeny a koruny přeživších stromů. Takovýto jedinci jsou schopni přežít mechanické poškození tím, že okamžitě sníží svou fyziologickou aktivitu, nasměrují asimilační proud do oblastí, které jsou důležité k přežití a uzavřou poškozené pletivo (Schweingruber 1996).

Laviny se vyskytují prakticky ve všech větších pohořích, které nabízejí vhodné klimatické a terénní podmínky pro tvorbu lavin. Většina studií zabývajících se rekonstrukcí lavin pomocí letokruhů pochází z velkých pohoří jako Andy, Skalnaté hory, Alpy či Himaláje (Stoffel et al. 2006, Laxton & Smith 2008, Corona 2013). Avšak znalosti o vlivu lavin na růst dřevin v menších pohořích zůstávají prozatím skryty. Vhodnou lokalitou pro aplikaci

dendrochronologického bádání v oblasti lavinové činnosti v České republice jsou Krkonoše, kde je vyvinutá vysoká lavinová aktivita.

Laviny přicházejí v mnoha formách a velikostech, ale pro účely této práce zde vypíší jen druhy lavin vyskytujících se v Krkonoších.

Během vánic a vichřic zde vzniká 80-85% lavin z nového sněhu (exponovaný větrem) a tvoří se měkká desková povrchová lavina. Do zbylých 15-20% lavin se řadí dva druhy lavin vzniklých ze starého sněhu. Prvním typem jsou základové laviny ze smíšených firnových vrstev, které jsou v Krkonoších vzácné a druhým typem jsou vlhké a mokré firnové laviny, které jsou zde běžnější (Vrba & Spusta 1975).

Krkonošské laviny mají především dopad na narušení povrchu terénu a na lesní porosty, které jim stojí v cestě (Kociánová & Spusta 2000, Kociánová et al. 2004). Jelikož sněhové sesuny neohrožují horská obydlí a vyskytují se v I. zóně NP (nikomu nepřekáží), dostává se do popředí jejich přírodovědná hodnota, proto je třeba tyto lavinové svahy nechat jejich přirozenému vývoji (Spusta & Kociánová 1998).

Důležitým ekologickým faktorem limitujícím distribuci, růst a regeneraci vegetace je sníh (Hlásny et al. 2011). Na lavinových polích je dostatek světla, slunce, závětrí a zásoba vlhkosti z dlouhodobě ležící sněhové pokrývky (Štursa 1999). Díky hornatému reliéfu vzniká turbulentní větrné proudění, které v zimě přemísťuje sníh a podmiňuje vznik lavin a v létě zase způsobuje přetrvávání sněhových polí. Dále pak západní větry transportují semena rostlin, drobné živočichy a částčky půdy z blízkých i vzdálených míst, jejichž půda je naopak ochuzována a vegetace je mechanicky rozrušována. Tomuto jevu se v odborné literatuře říká ***mechanismus anemo - orografických systémů***, objevený pro světovou vědu právě zde v Krkonoších (Jeník 1961).

Krkonoše měly přirozenou lavinovou bariéru. Působily tak stromy rostoucí na lavinových svazích, ale vzhledem k velkému znečištění ovzduší v roce 1972 imisemi z tepelných elektráren v Žitavské pánvi (Polsko a bývala NDR), stromy začaly pociťovat velké změny. V roce 1977 se objevilo odumírání smrkových porostů. Nejvíce se projevilo o dva roky déle, kdy les začal umírat vstoje (Kajzarová 2012). Dobře přizpůsobený smrk ztepilý na drsné klimatické podmínky v Krkonoších začal ztrácet jehličí, přestával plodit a usychal. Následkem odumírání lesa mizela i přirozená lavinová bariéra a lavinová pole se postupně prodlužují, rozšiřují, spojují a ukazují se nové i bývalé lavinové dráhy (Vrba & Spusta 1991). Oslabený strom těžko odolá přemnoženým obalečům modřínovým (*Zeiraphera diniana*), lýkožroutovi smrkovému (*Ips typographus*) anebo ploskohřbetce smrkové (*Cephalcia abietis*). V těchto souvislostech v roce 1979 začalo plošné odumírání smrkových porostů, a

proto bylo do roku 1994 odtěženo 7 000 ha lesa. Tato situace byla tak závažná, že v roce 1984 Světová unie ochrany přírody (IUCN) zařadila KRNAP mezi nejhroženější národní parky světa (Kajzarová 2012).

Cíle práce

- Pomocí lavinového katastru vyhodnotit lavinovou aktivitu na zvolených lavinových drahách.
- Letokruhovou analýzou dominantního druhu smrku ztepilého (*Picea abies*) zhodnotit věkovou strukturu porostu a sestavit růstové křivky pro jednotlivé lokality.
- S využitím dendrochronologických metod rekonstruovat disturbance na lavinových drahách na základě měnících se světelných poměrů a pomocí pryskyřičných kanálků.

2. Studované území

Práce probíhala v Krkonošském národním parku (KRNAP), který se rozkládá na území České republiky a má rozlohu 364 km². KRNAP je naším nejstarším národním parkem. Krkonoše jsou součástí Hercynského pohoří. Česká část Krkonoš je členitá hornatina o střední výšce 901 m a středním sklonem 13°23' (Anděl 2007). Krkonoše patří do chladného klimatu (Quitt 1971) a je zde rychlá proměnlivost počasí. Průměrná roční teplota se pohybuje od 0°C v nejvyšších polohách až po 6°C v nejnižších polohách. Průměrné roční srážky se pohybují od rozmezí od 800 mm v nejnižších polohách a na horských hřebenech spadne až 1 400 mm (Kajzarová 2012).

Ve vyšších polohách padají sněhové vločky nebo krupky téměř celý rok, ale souvislá sněhová pokrývka se vytvoří až v listopadu o výšce 100 až 300 cm. Na hřebenech je vrstva sněhu nerovnoměrná díky přefoukávání sněhu z návětrných svahů. Na ledovcových karech se pak hromadí mnohametrové převisy a závěje, díky nimž se podmiňuje pravidelná lavinová aktivita. Největší převisy jsou vidět v Obřím dole a v Labském dole (www.krnep.cz). Krkonoše jsou jediné místo v České republice, kde se lavinová aktivita projevuje ve větší míře. Nachází se zde přes 100 míst, kde laviny padají (Anděl 2007).

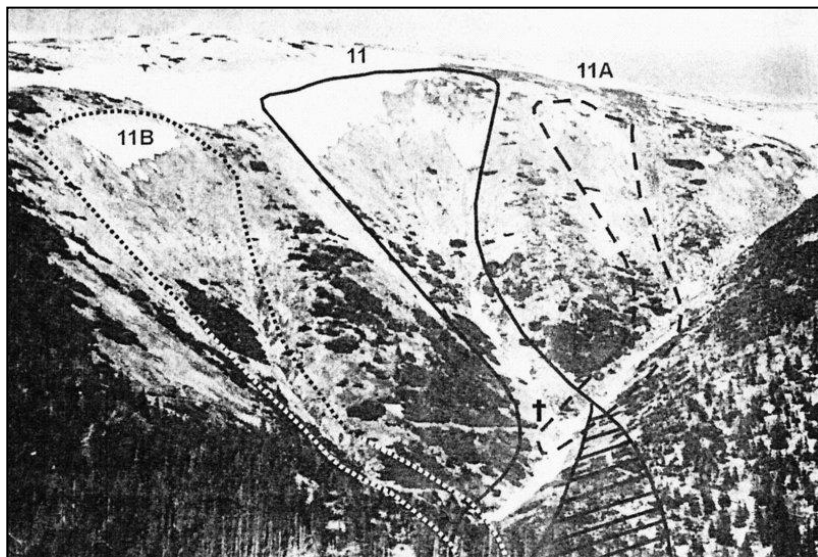
Relativně velký rozsah nadmořské výšky v Krkonoších (400 - 1602 m. n. m.), umožňuje velkou druhovou diverzitu mnoha skupin organismů, včetně endemitů (Kociánová et al. 2005, Štěpánková 2008) či glaciálních reliktnů (Štěpánek 1989). Nejcennější partie KRNAPu se nacházejí především v subalpínských lokalitách, jako jsou například pastviny nad zalesněnou oblastí, vrcholky skal, kamenité svahy či právě lavinové dráhy (Spusta & Kociánová 1998, Kociánová et al. 2005, Kaplan 2012). Lavinový katastr české části Krkonoš poskytuje přehled charakteristik pro jednotlivé lavinové dráhy (Tabulka 1). Následuje podrobnější charakteristika vybraných lavinových drah. Tyto údaje byly převzaty z práce Spusta & Kociánová (1998).

Tabulka 1 – Seznam zkoumaných lavinových drah a jejich charakteristik (převzato a upraveno z lavinového katastru české části Krkonoš).

Název	Sklon	Expozice [m n. m.]	Odtrh [m n. m.]	Dojezd [m]	Výškový rozdíl [m]	Délka laviny max. [m]	Šířka odtrhu max. [m]
Pramenný důl	45°-40°	JJV	1475	1000	475	1250	280
Navorská jáma	40°-35°	V	1275	1050	225	700	150
Pančavská stěna	55°-50°	V	1275	1010	265	750	130

2.1 Pramenný důl

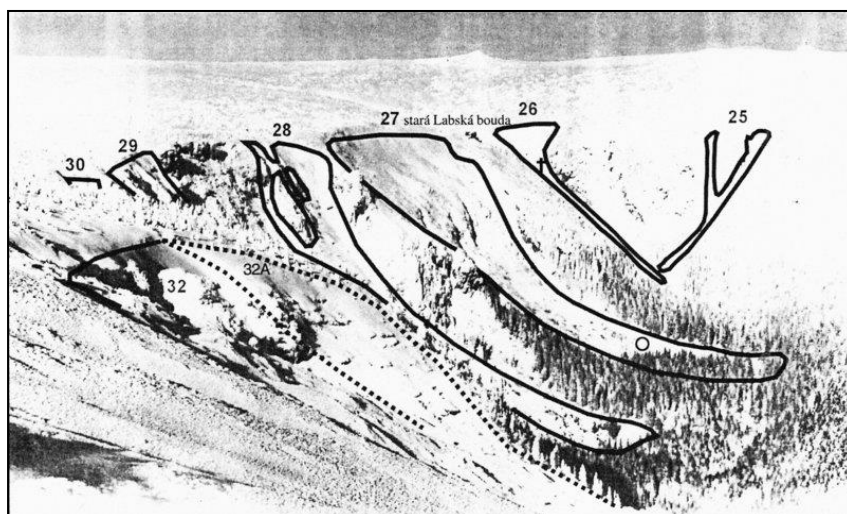
Nachází se na J až JV svahu Luční hory ($50^{\circ}43'28.743''\text{N}$, $15^{\circ}40'13.064''\text{E}$) a skládá se ze třech širokých žlabů. Žlaby zasahují do Pramenného potoka, který touto lokalitou protéká. Prostřední žlab (dráha č. 11) je nejstarší. Pravý (č. 11A) a levý žlab (č. 11B) jsou (při pohledu z údolí) výsledkem odumření stromů, které dříve působily jako přirozená lavinová bariéra, avšak laviny je vytrhaly ze země a odnesly pryč. Sběrná oblast pro Pramenný důl je celá Luční hora. Sníh je přefoukáván S, SV a SZ prouděním větru. Převěje se zde netvoří. Nachází se tu sněhové polštáře. Činný prostor Pramenného dolu je široký asi 400m - z toho odtrhová zóna dráhy č. 11A je asi 50m široká, dráhy č. 11 je 120m až 280m široká a dráhy č. 11B je 120m široká. Tvoří se převážně deskové laviny. Dráha č. 11 dojíždí až do protisvahu a dráhy č. 11A a 11B sjedou do potoka a zasypou střední část dráhy č. 11. Dráhy jsou esovitě zatočené a okolním terénem obklopené do trychtýřového tvaru (Obrázek 1).



Obr. 1 – Pohled na lavinovou dráhu Pramenný důl (foto: Spusta červen 1996, Lavinový katastr české části Krkonoš v období 1961/62 – 1997/98).

2.2 Navorská jáma

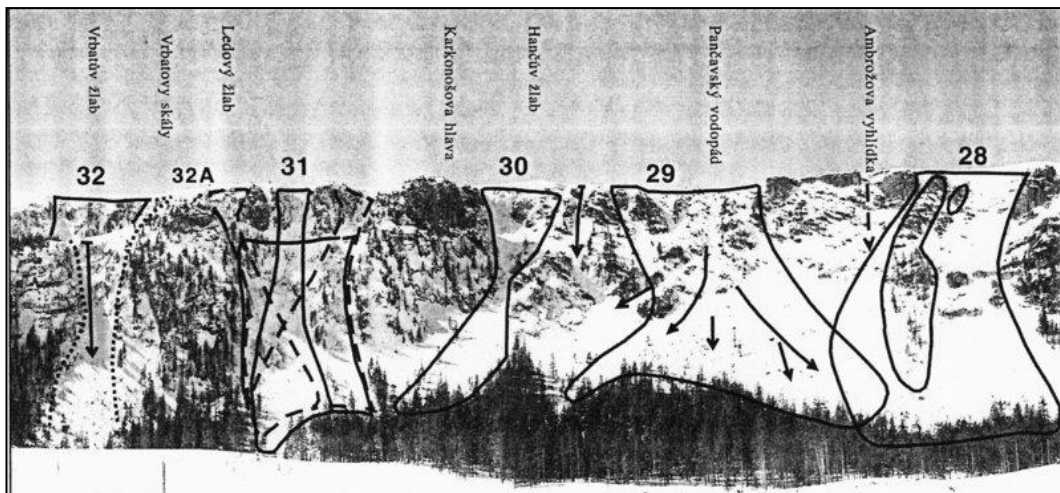
Podle katastru lavin české části Krkonoš je Navorská jáma druhou největší lavinovou dráhou v Labském dole. Poloha je 50°46'2.100"N, 15°32'55.609"E. V seznamu krkonošských lavinových drah ji najdeme pod číslem 27 (Obrázek 2). Navátý sníh zde leží až do počátku června. Odtrhová zóna je široká 150m. Navorská jáma má velice různorodý terén. Horní třetina svahu je 40m vysoký skalní práh. Při pohledu z údolí vzhůru k Labské boudě je pravá strana svahu travnatá, podmáčená a levá strana je skalnatá a travnatá. Rozsáhlá náhorní planina Labské louky je sběrná oblast lavinové dráhy. Laviny prachové se zde objevují zřídkakdy. Převážně dochází k sesuvům lavin deskových z upěchovaného sněhu, které na skalním prahu získají vysokou rychlost a přes údolí se dostanou až do protisvahu. Zakrslé smrčky a šavlovitě prohnuté břízy karpatské rostou ve spodní části dráhy. Jejich deformace je způsobená účinky lavin.



Obr. 2 – Pohled na lavinové dráhy v Labském dole. Navorská jáma je označena číslem 27 (foto: Spusta duben 1970, Lavinový katastr české části Krkonoš v období 1961/62 – 1997/98).

2.3 Pančavská stěna

Lavinová dráha č. 29 (dále jen Pančavská stěna) se nachází v Labském dole (50°45'40.361"N, 15°32'50.051"E). Horní část svahu dosahuje šířky až 150m. Skalnatý terén zarostlý trávou, klečím, ojedinělými zakrslými smrky a jeřáby se rozprostírá zhruba do poloviny svahu. Druhá část svahu je krytá křovinami, kapradinami a travními společenstvy. Při prudkém větru ze západní a severozápadní strany se ukládají v odtrhové zóně velké množství sněhu a od ledna tvoří převěje jednotný celek. Během dalších dvou měsíců dosáhnou převěje obrovských rozměrů. Nejčastější lavinová aktivita byla zjištěna v březnu, kdy se při otepleních se převěje odlamují. Pančavská stěna sousedí s lavinovou dráhou č. 28 (Schustlerův žlab) (Obrázek 3). Schustlerův žlab a Pančavská stěna mají z části společnou dojezdovou dráhu.



Obr. 3 – Pohled na lavinové dráhy v Labském dole. Lavinová dráha č. 29 je zkoumaná Pančavská stěna (foto: Spusta duben 1996, Lavinový katastr české části Krkonoš v období 1961/62 – 1997/98).

3. Metodika

3.1 Sběr dat

V letech 2011 a 2012 byly odebrány vývrty ze 107 různě velkých jedinců smrku ztepilého (*Picea abies*) rostoucích na vybraných lavinových drahách (Tabulka 2). Letokruhová data byla odebrána především v dojezdových částech svahu všech tří lokalit, ale konkrétně v Pramenném dole i z pravé a levé části dráhy, kvůli rozsahu a členitosti terénu. Vývrty byly odebrány pomocí Presslerovo přírůstových nebozezů (Mora, Švédsko) o různých délkách. Letokruhová data byla většinou odebrána v prsní výšce (135 cm). V některých případech byly vzorky odebrány výše kvůli špatné dostupnosti kmene na prudkém svahu. Vyšší pozice byla zvolena z důvodu vyhnutí se odběru reakčního dřeva, ke kterému by došlo při odběru vzorku u paty kmene s větší pravděpodobností. Vrtali jsme směrem proti svahu a po svahu dolu. Snahou bylo odebrat alespoň 2 vzorky pro srovnání růstu v rámci jednoho kmene. Nicméně pro stromy, které se nenacházely na prudkém svahu, jsme nepředpokládali výrazně rozdílný růst v rámci kmene a byl tedy odebrán jeden vývrt. Vývrty byly v terénu popsány, uloženy do kartonových desek a převezeny do laboratoře pro následné analýzy.

3.2 Katastr lavin

Od roku 1962 KRNAP pravidelně sleduje lavinovou aktivitu jednotlivých lavinových drah. Data o sesunech zaznamenávají podle mezinárodní klasifikace lavin (de Quervain et al. 1973). Záznamy zahrnují formu odtrhu, polohu skluzného horizontu, vlhkost sněhu v odtrhové zóně, tvar dráhy, typ pohybu, tvar částic lavinového nánosu, vlhkost lavinového nánosu, příčiny vzniku a rozměry laviny (délka a šířka lavinové dráhy, výška a šířka odtrhu a hloubka lavinového nánosu). Pro tuto práci byl nejdůležitější záznam o délce lavinové dráhy. Podle toho údaje jsem udělala stupnici velikosti lavin pro každou lokalitu zvlášť. Názvy lavinových drah a jejich čísla užívané v textu jsou převzaty z katastru lavin Krkonoš.

3.3 Jednotlivé lavinové dráhy

3.3.1 Pramenný důl

V Pramenném dole jsem odebrala vývrty ze stromů rostoucích po stranách a v dojezdové části dráhy. Odebrala jsem vývrty z 28 stromů. Počet stromů vhodných k dendrochronologické analýze je 26 a počet vyřazených stromů se shnilým či jinak poškozeným vývrtem je 2. Podle katastru lavin jsem vytvořila stupnici velikosti lavin a to na základě délky sesunuté laviny. Velké laviny jsou v rozhraní od 750 do 1200m a malé laviny jsou od 200 do 749m.

3.3.2 Navorská jáma

Na lavinovém svahu Navorská jáma jsem odebrala vzorky pro letokruhovou analýzu z 34 stromů rostoucích v dojezdové části lavinové dráhy. Třicet tři stromů bylo vhodných k dendrochronologické analýze a 1 strom jsem vyřadila, protože byl shnilý a tudíž nevhodný k měření. Stupnici velikosti lavin jsem určila podle parametrů zaznamenaných lavin v katastru lavin české části Krkonoš a to velké laviny v rozmezí 550 až 700m a malé laviny 200 až 549m.

3.3.3 Pančavská stěna

Na lavinové dráze Pančavská stěna jsem odebrala vývrty ze stromů rostoucích v dojezdu dráhy a také na společném dojezdu s vedlejší lavinovou dráhou Schustlerův žlab. Celkově jsem odebrala letokruhová data ze 45 stromů. Dendrochronologicky jsem analyzovala 41 stromů a vyřadila jsem 4 stromy, které měly shnilý nebo jinak poškozený vývrst. Hranici mezi velkými a malými lavinami jsem určila podle délky sesunuté laviny z katastru lavin Krkonoš. Velké laviny jsou v rozmezí 450 až 750m a malé laviny jsou v rozmezí 250 až 449m.

3.4 Analýza dat

Někteří jedinci (7) byli uvnitř vyhníli a proto se jejich vzorek nedal dále analyzovat. Vývrty z vhodných jedinců (100) jsem nalepila na předem připravené dřevěné lišty pomocí ve vodě rozpustného lepidla Hercules. Následovala příprava vzorků pro přesné měření, kdy byl vývrt pro změkčení dřeva navlhčen vodou a seříznut žiletkou tak, aby vznikla plocha po celé délce vývrtu se zřetelnými buňkami. Připravený povrch jsem zvýraznila bílou křídou, pro zvýraznění hranic mezi jednotlivými letokruhy. Pomocí měřicího přístroje TimeTable a odečítacího modulu ParSer v1.3 (<http://www.sciem.com>), pod stereomikroskopem značky Olympus jsem měřila šířku jednotlivých letokruhů (zvláště jarní a letní dřevo). Rovněž jsem zaznamenávala výskyt pryskyřičných kanálků v jednotlivých letokruzích a přítomnost reakčního dřeva jako možný indikátor stresu (Casteller et al. 2007). Měřilo se směrem od středu ke kůře. Měření probíhalo v programu PAST4 (<http://www.sciem.com>), ve kterém byly jednotlivé letokruhové série rovněž křížově zdatovány (jednotlivým letokruhům byl přidělen konkrétní rok). Celkově byla změřena délka 24 035 letokruhů.

Ze získaných dat jsme spočítali procentuální růstovou změnu (*percent-growth change*) podle metodiky Nowacki & Abrams (1997). Procentuální růstová změna se počítá podle rovnice:

$$\%GC = [(M_2 - M_1)/M_1] \times 100,$$

kde %GC = procentuální růstová změna, M_1 = průměr pro předchozích 10 let, M_2 = průměr pro následujících 10 let. Chceme-li zjistit hodnotu %GC pro rok 1960, pak se M_1 = průměr pro léta 1951-1960 a M_2 = průměr pro roky 1961-1970. Vzhledem k tomu, že každá hodnota pro %GC představuje údaje pro 20-ti leté období, tak pro prvních a posledních 10 let údaje nelze spočítat.

Black & Abrams (2003) vyvinuly metodu tzv. „*boundary line*“, která rozšiřuje parametry výše popsané práce Nowacki & Abrams (1997). Zohlednili rozdílnou rychlost růstu, která se vyskytuje mezi jedinci (zástin vs. gap) nebo v rámci samostatného jedince (růst v mládí vs. stáří). To udělali tak, že pro všechny dostupné letokruhy zkoumané dřeviny se spočítá procentuální růstová změna podle Nowacki & Abrams (1997). Tyto hodnoty se vynesou do grafu, kde na ose y je velikost procentuální růstové změny a na ose x je vynesena hodnota velikosti průměrného přírůstu za desetileté období přecházející danému roku (*prior growth*). Následně se předchozí růst rozdělí na 0,5 mm úseky a pro každý se vybere 10 nejvyšších hodnot procentuální růstové změny, pro které se spočte průměr. Pro výsledné

průměry nejvyšších hodnot nafitujeme výslednou funkcí. Rovnici pro výpočet „*boundary line*“ jsme převzali z práce Splechna et al. (2005):

$$\%BL=130.8732+1399.4031*e^{(2.4804-PG)}-17.2694*PG$$

Rovnice je založena na 147 949 růstových přírůstcích ze střední Evropy (Rakousko) a doplněno o data z 51 míst z mezinárodní letokruhové databáze (NOAA 2012) a dat z práce Grabner et al. (2004).

Disturbancí způsobené uvolnění (*release*) korunového zápoje způsobí větší světelnou dostupnost pro jedince, kteří byli předtím zastíněni. Překročení prahové hodnoty přírůstu v sériích letokruhů je definováno jako uvolnění růstu. Jako hranice značící uvolnění byla zvolena hodnota 20% zvýšení růstu pro střední uvolnění a hodnoty $\geq 50\%$ byly klasifikovány jako velké uvolnění. Z důvodu příliš krátké řady hodnot $\%GC$ byly do následných analýz zahrnuty pouze stromy s „věkem“ (resp. počet změřených letokruhů) ≥ 30 let. Výpočet analýzy uvolnění byl proveden v programu R (R Development Core Team, 2011) s využitím funkce pro analýzu uvolnění (Aakala et al. 2011) a Knihovny dendrochronologických programů (dplR) (Bunn 2008).

Rovněž jsem zaznamenávala přítomnost pryskyřičných kanálků v letokruzích. Pro analýzu počátečního roku růstu jednotlivých stromů a zjištění společného trendu zmlazení v porostu jsem použila první rok zjištěný letokruhovou analýzou (zjištěno v 1,3m, skutečný počátek růstu stromu je tedy starší).

Pro vybrané charakteristiky (počet lavin a jejich délka podle lavinového katastru, procento stromu s detekovaným uvolněním, procento stromů s přítomnými pryskyřičnými kanálky a počet nově založených stromů) jsme zjišťovali jejich vzájemný vztah pomocí korelačního koeficientu. Průkaznost tohoto vztahu jsme testovali pomocí jednocestné analýzy variance (ANOVA) s post-hoc Tuekyho testem v programu R (R Development Core Team, 2011).

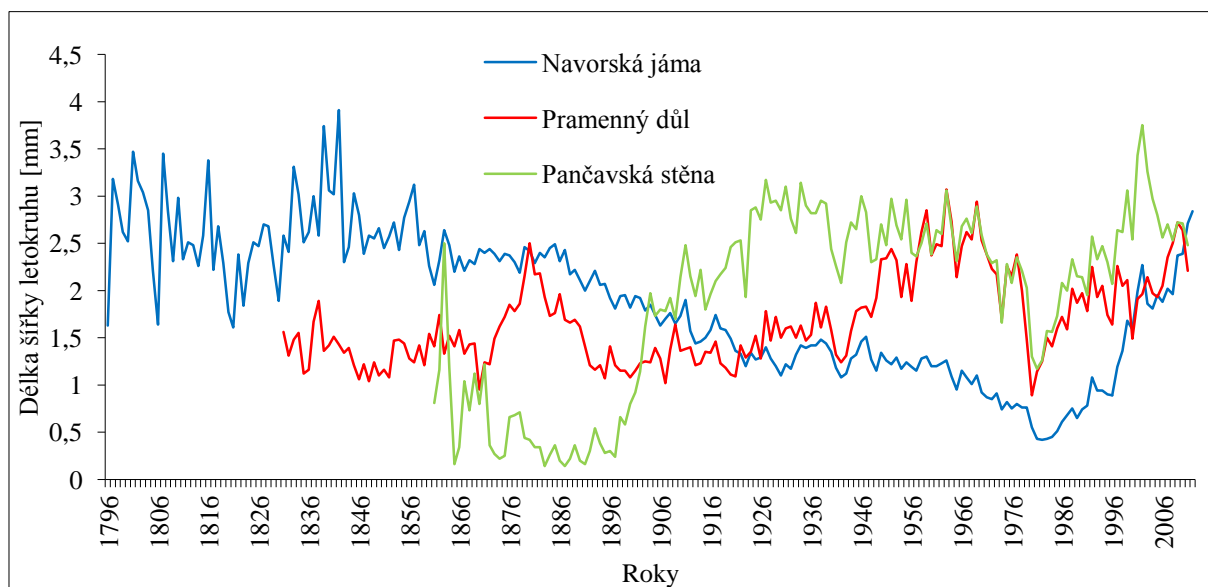
Tabulka 2 - Přehled charakteristik zjištěných pro druh *Picea abies* na jednotlivých lavinových drahách.

	Pramenný důl	Navorská jáma	Pančavská stěna
Lavinová dráha	11	27	29
Počet stromů	28	34	45
Počet analyzovaných stromů	26	33	41
Průměrný obvod	124 cm	209 cm	137 cm
Průměrné stáří	82	136	67
Minimální stáří	36	39	33
Maximální stáří	180	216	150
Průměrné stáří pro stromy s uvolněním	85	141	73
Průměrné stáří pro stromy bez uvolnění	63	148	47

4. Výsledky

4.1 Růstové křivky

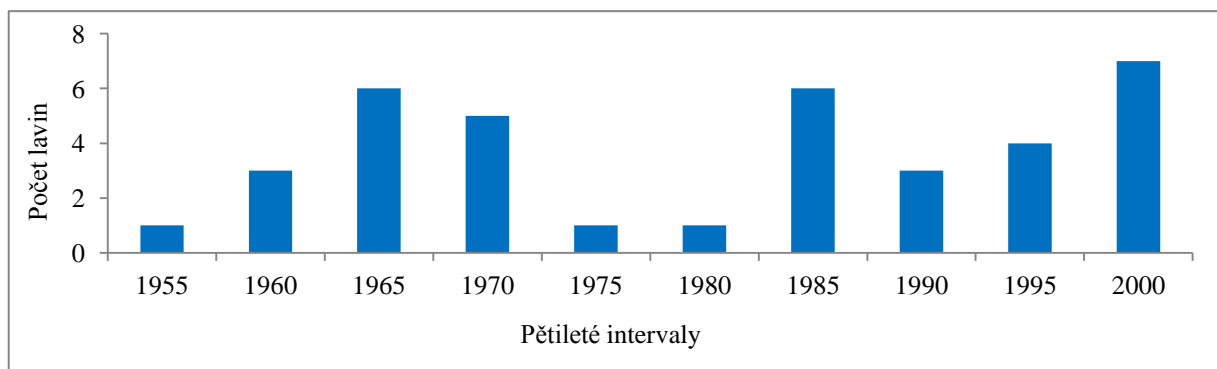
Sestavila jsem průměrné růstové křivky pro druh *Picea abies* na lavinových drahách Pramenný důl, Navorská jáma a Pančavská stěna (Obrázek 4). Nejdelší růstová křivka byla zjištěna v Navorské jámě a začíná rokem 1796. Naopak nejkratší růstovou křivku má Pančavská stěna, kde nejstarší analyzovaný strom začíná rokem 1861. Křivka Pramenného dolu a Pančavské stěny končí rokem 2011 a křivka Navorské jámy končí v roce 2012.



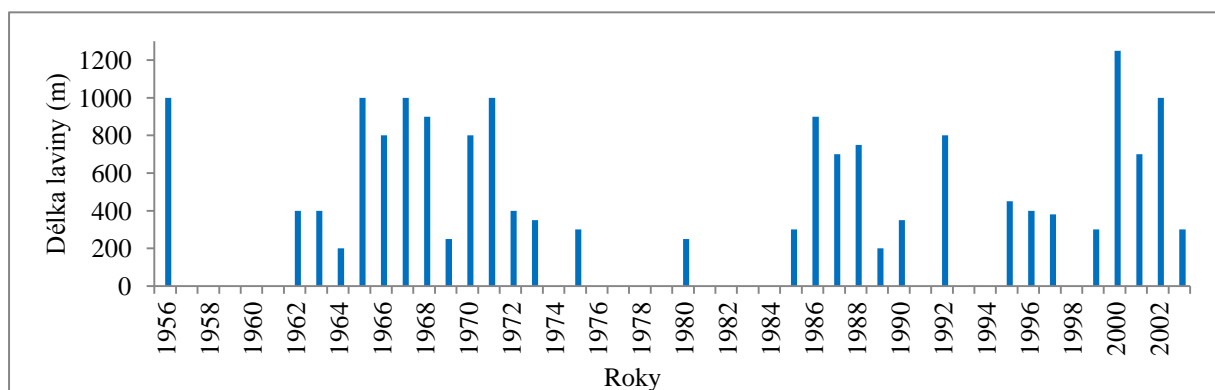
Obr. 4 – Růstové křivky stromů rostoucích na zkoumaných lavinových drahách.

4.2 Pramenný důl

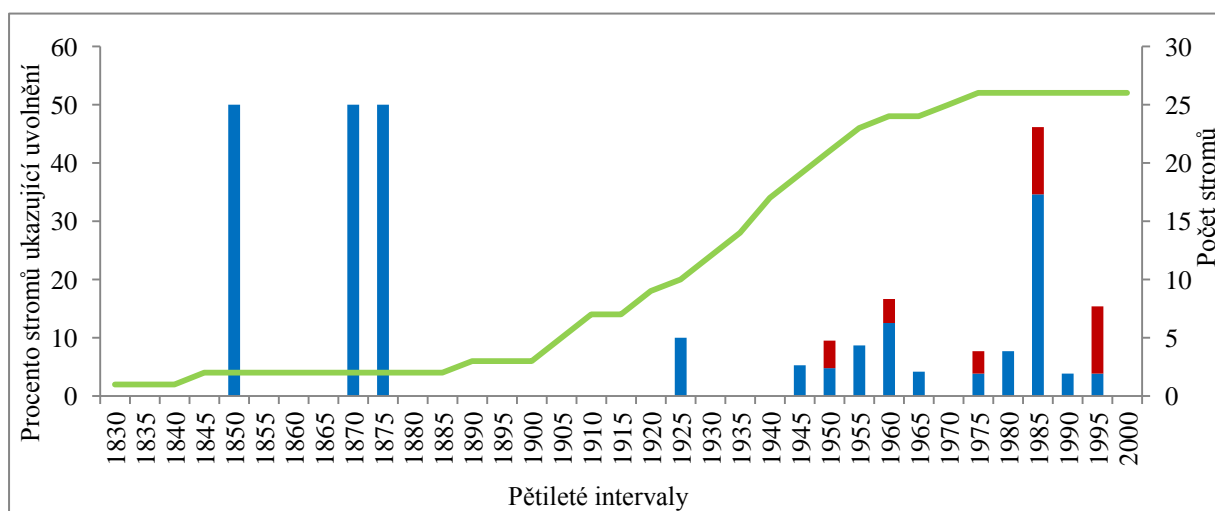
Počet stromů vhodných k dendrochronologické analýze byl 26 a počet jedinců, kteří byli vyřazeni z důvodu shnilého, či jinak poškozeného vývrtnu byl 2. Informace z lavinového katastru pro Pramenný důl byly dostupné od roku 1956 do roku 2003. Nejprve jsem zjišťovala frekvence (Obrázek 5) pro pětileté úseky a intenzitu lavin (délku laviny) v jednotlivých letech (Obrázek 6). Lavinová aktivita byla vyšší ve dvou časových úsecích a to mezi lety 1962-1971 (12 lavin) a 1986-2002 (18 lavin), zatímco v časovém intervalu 1956-1961 (1 lavina) a 1972-1984 (4 laviny) byla o hodně nižší. Rekonstrukce disturbancí z letokruhových dat zachytila celkem 9 stromů detekujících velké a 18 stromů střední uvolnění. Uvolnění byla analyzována celkem pro 35 pětiletých intervalů, z nichž ve 14 se zjistilo alespoň jeden strom vykazující uvolnění a první uvolnění bylo zaznamenáno v roce 1851 (Obrázek 7). Průměrný věk stromů ukazující velké uvolnění je 70let a průměrný věk stromů ukazující střední uvolnění je 92let. Posledním zjišťovaným parametrem byl počet stromů, u kterých jsem zaznamenala výskyt pryskyřičných kanálků (Obrázek 8). Nejvyšší procentuální zastoupení stromů ukazující výskyt pryskyřičných kanálků je v pětiletých časových úsecích 1830, 1840 a 1875 (100%). Rychlost zmlazení (v 1,3m) pro zjištění počátku růstu jednotlivých stromů byla seskupena rovněž do pětiletých intervalů (Obrázek 9). Srovnání výskytu pryskyřičných kanálků a lavinové aktivity od roku 1956-2003 (podle dat z lavinového katastru) se shoduje v 75,68%.



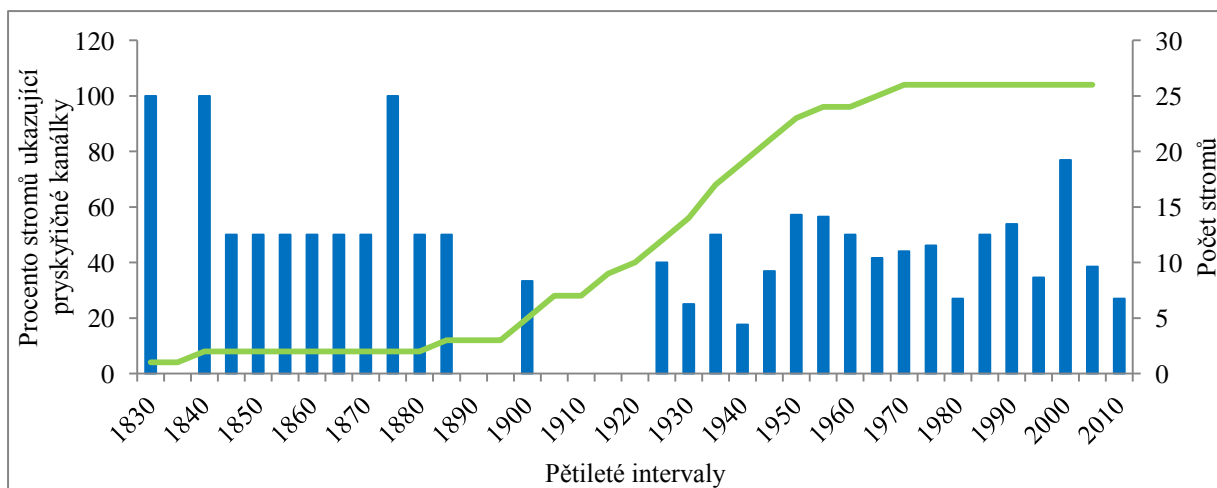
Obr. 5 - Frekvence lavin na lavinové dráze č. 11 Pramenný důl v pětiletých intervalech podle dat z katastru lavin Krkonoš.



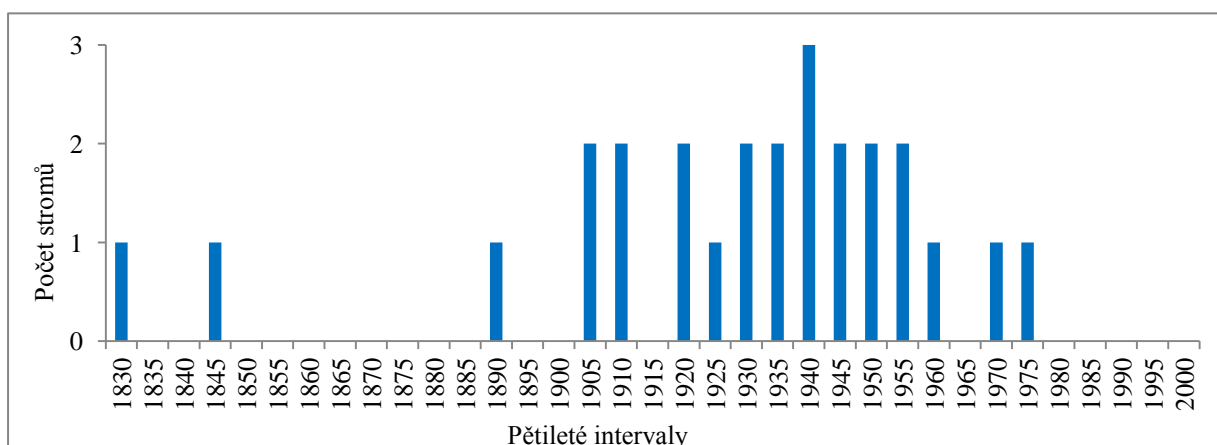
Obr. 6 – Přehled nejdelších lavin v jednotlivých letech od roku 1956 do roku 2003 v Pramenném dole podle dat z katastru lavin Krkonoš.



Obr. 7 - Procenta stromů vykazující velké uvolnění (červeně) a střední uvolnění (modře). Rovněž je ukázán počet analyzovaných jedinců v jednotlivých pětiletých intervalech (zelená křivka).



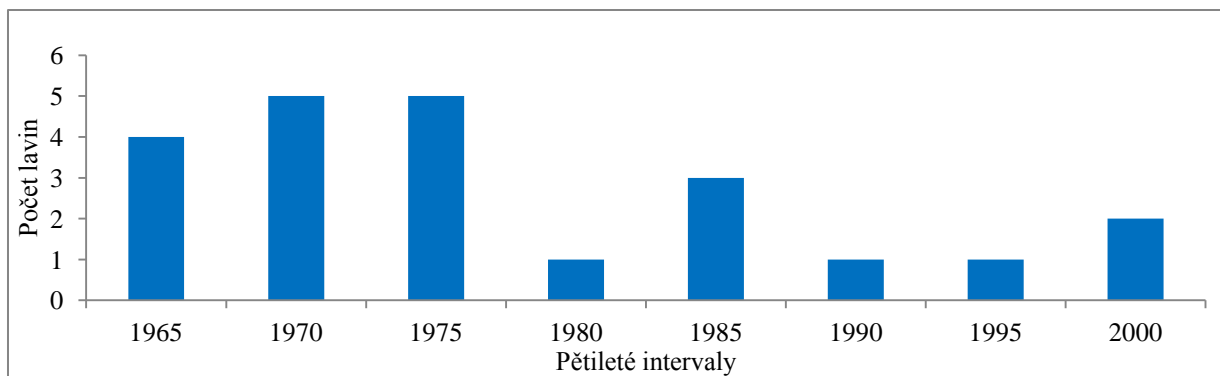
Obr. 8 – Přehled výskytu pryskyřičných kanálků v pětiletých intervalech od roku 1830 do roku 2010. Zároveň je ukázán počet jedinců v jednotlivých pětiletých intervalech (zelená křivka)



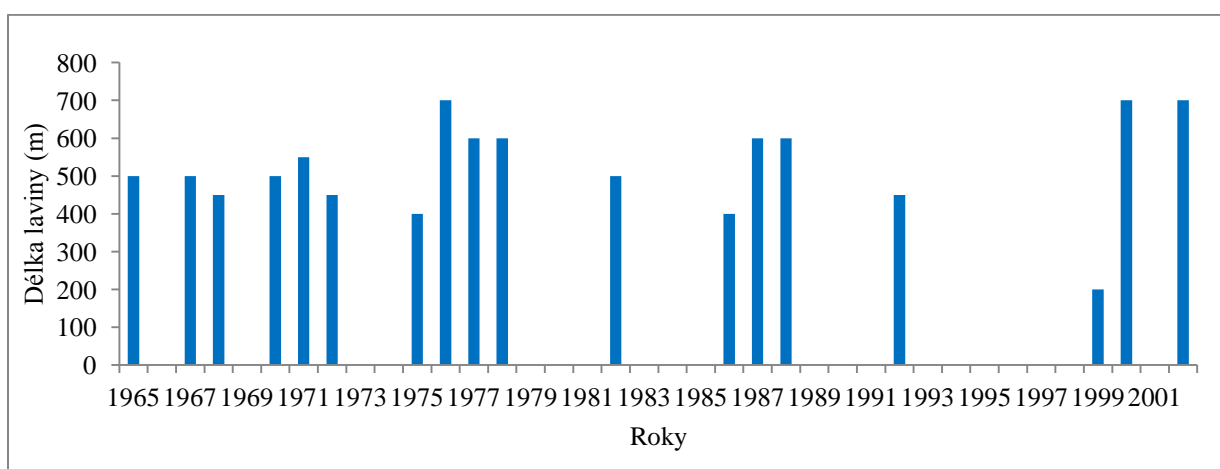
Obr. 9 – Počátek růstu jednotlivých stromů (v 1,3m) pro pětileté intervaly v Pramenném dole.

4.3 Navorská jáma

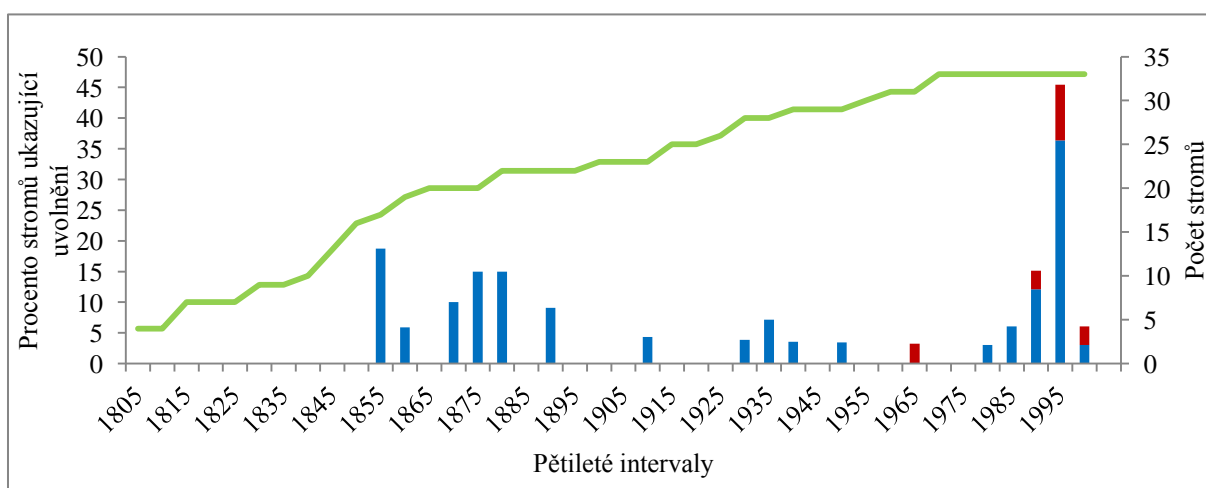
Dendrochronologicky jsem analyzovala 33 jedinců. Vyřadila jsem jednoho jedince kvůli shnilému vývrtnu, který nešel podrobněji analyzovat. Katastr lavin poskytuje informace pro Navorskou jámu od roku 1965 do roku 2002. Jako první jsem zjišťovala frekvence lavin (Obrázek 10) pro pětileté úseky a jejich intenzitu (délku laviny) v jednotlivých letech (Obrázek 11). Lavinová aktivita byla nejvyšší mezi lety 1965-1978 (14 lavin). Další vysoká lavinová aktivita byla v časových úsecích 1986-1988 (3 laviny) a 1999- 2002 (3 laviny) a mezi lety 1979-1985 (1 lavina) a 1989-1998 (1 lavina) byla nejnižší lavinová aktivita. Rekonstrukce disturbancí z letokruhových dat zachytila celkem 6 stromů s velkým a 24 stromů se středním uvolněním. Ze 40 pětiletých intervalů byla uvolnění zjištěna v 17, kde alespoň jeden strom vykázal uvolnění a první zaznamenané uvolnění bylo v roce 1850 (Obrázek 12). Stromy vykazující velké uvolnění mají průměrný věk 82let a stromy se středním uvolněním mají průměrný věk 149let. Výskyt pryskyřičných kanálků je poslední charakteristika, kterou jsem na vývrtech zaznamenávala (Obrázek 13). Nejvyšší procentuální zastoupení stromů ukazující výskyt pryskyřičných kanálků je v pětiletých časových úsecích 1810 (75%), 1830 (55,5%) a 1835 (77,8%). Počátek růstu jednotlivých stromů (v 1,3m) v 5-ti letých intervalech je zachycen na Obrázku 14. Výskyt pryskyřičných kanálků se shoduje s přítomností laviny v 72,73% v časovém období 1965-2002 (podle záznamů z katastru lavin).



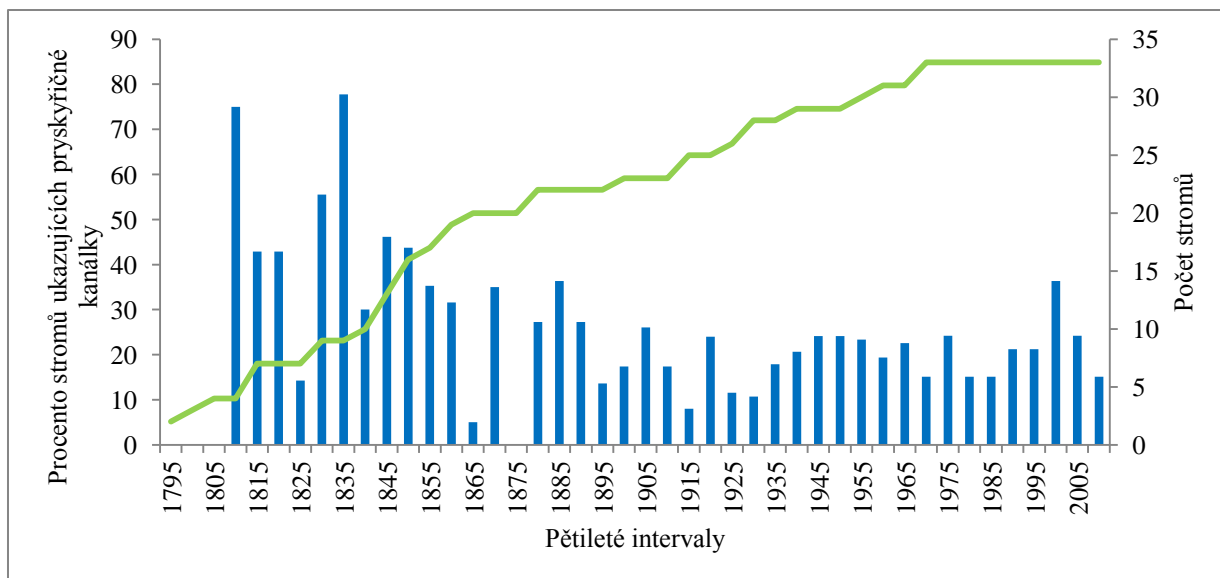
Obr. 10 – Frekvence lavin na lavinové dráze č. 27 Navorská jáma v pětiletých intervalech podle dat z katastru lavin Krkonoš.



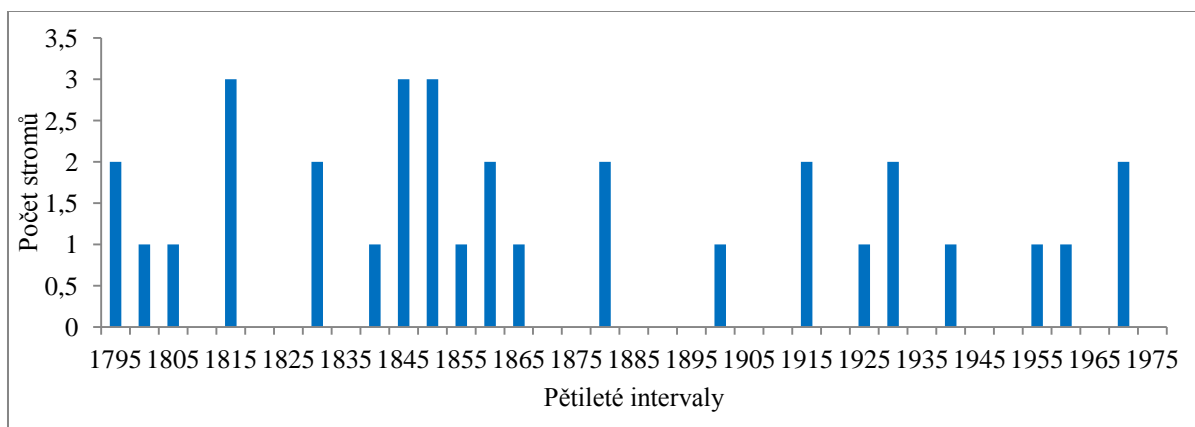
Obr. 11 – Přehled nejdelších lavin v jednotlivých letech od roku 1965 do roku 2002 v Pramenném dole podle dat z katastru lavin Krkonoš.



Obr. 12 – Procenta stromů vykazující velké uvolnění (červený sloupec) a střední uvolnění (modrý sloupec). Rovněž je ukázán počet analyzovaných jedinců v jednotlivých pětiletých intervalech (zelená křivka).



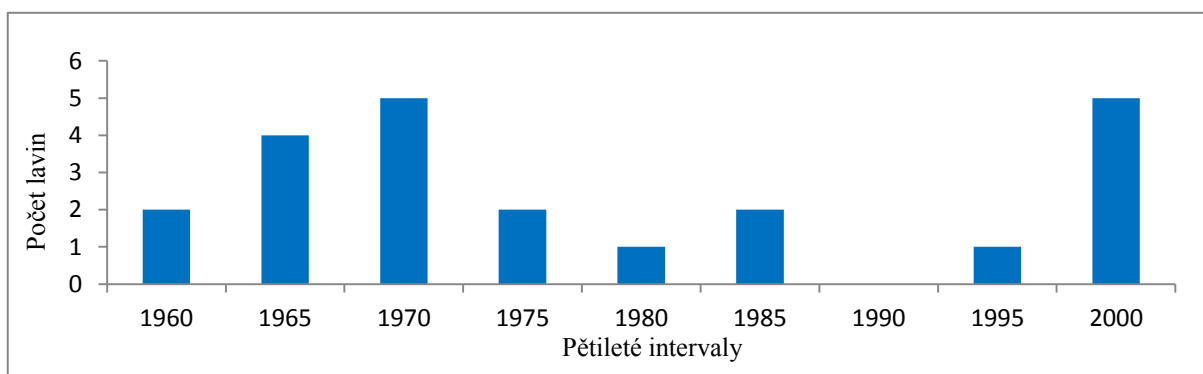
Obr. 13 – Přehled výskytu pryskyřičných kanálků v pětiletých intervalech od roku 1810 do roku 2010. Zároveň je ukázán počet jedinců v jednotlivých pětiletých intervalech (zelená křivka)



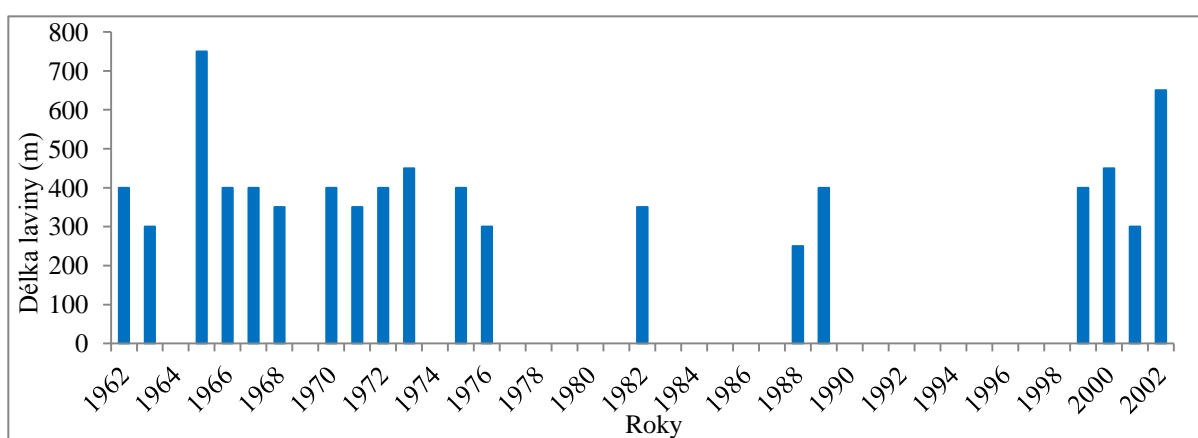
Obr. 14 – Počátek růstu jednotlivých stromů (v 1,3m) pro pětileté intervaly v Navorské jámě.

4.4 Pančavská stěna

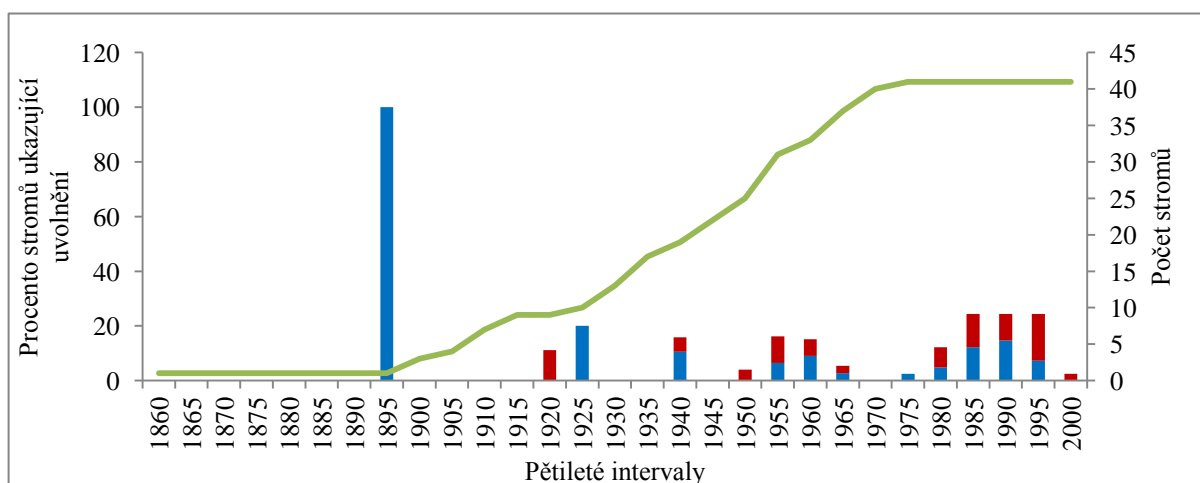
K dendrochronologické analýze byl vhodný počet stromů 41. Ze studované skupiny stromů jsem vyřadila 4 jedince kvůli shnilým nebo jinak poškozeným vývrtům. Informace o lavinové aktivitě pro Navorskou jámu jsou uvedeny v katastru lavin od roku 1962 do roku 2002. Jako první jsem zjišťovala četnost výskytu pro pětileté úseky (Obrázek 15) a intenzitu lavin (délku laviny) v jednotlivých letech (Obrázek 16). Nejvyšší lavinová aktivita byla ve dvou pětiletých časových úsecích 1962-1976 (13 lavin) a 1999-2002 (6 lavin). Ve zbylém časovém úseku 1977-1998 (3 laviny) byla zaznamenána nižší lavinová aktivita. Počet stromů detekujících velké a střední uvolnění byl v obou případech 21 jedinců. Uvolnění bylo zachyceno ve 14 pětiletých intervalech z celkového počtu 29 pětiletých intervalů. První zaznamenané uvolnění bylo v roce 1895 (Obrázek 17). Stromy ukazující velké uvolnění mají průměrný věk je 69let a stromy ukazující střední uvolnění mají průměrný věk 77let. Poslední charakteristikou, kterou jsem na vývrtech zaznamenávala, je výskyt pryskyřičných kanálků (Obrázek 18). Nejvyšší procentuální zastoupení stromů ukazující výskyt pryskyřičných kanálků je v pětiletých časových úsecích 1915 (55,5%), 1975 (51%), 2000 (51%) a 1905 (50%). Pro zjištění počátku růstu stromů byla v pětiletých časových intervalech sestavena rychlost zmlazení ve výšce 1,3m (Obrázek 19). Přítomnost laviny a pryskyřičných kanálků se v časovém rozmezí 1962-2002 shoduje v 77,27% (srovnání podle dat z katastru lavin).



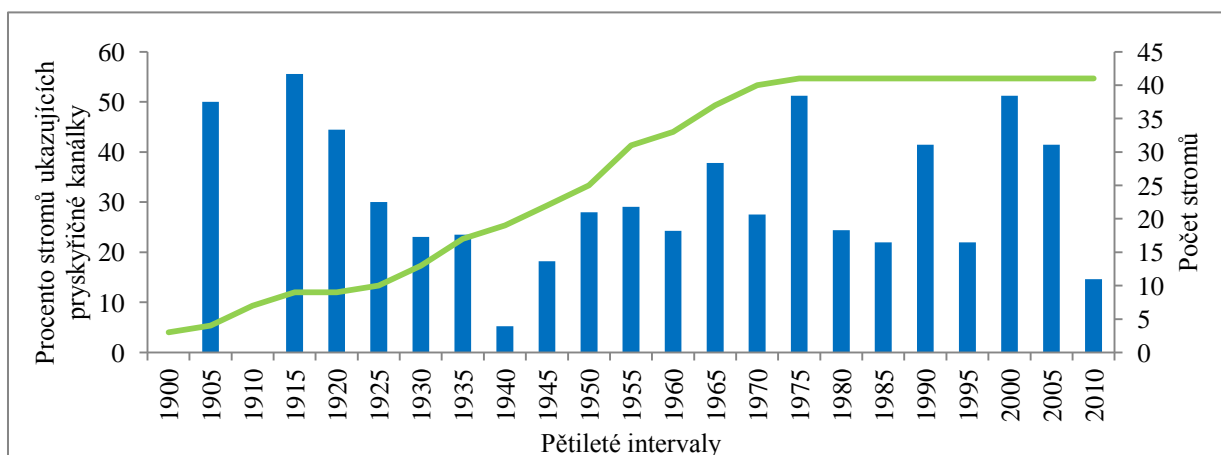
Obr. 15 – Frekvence velikosti lavin na lavinové dráze Pančavská stěna.



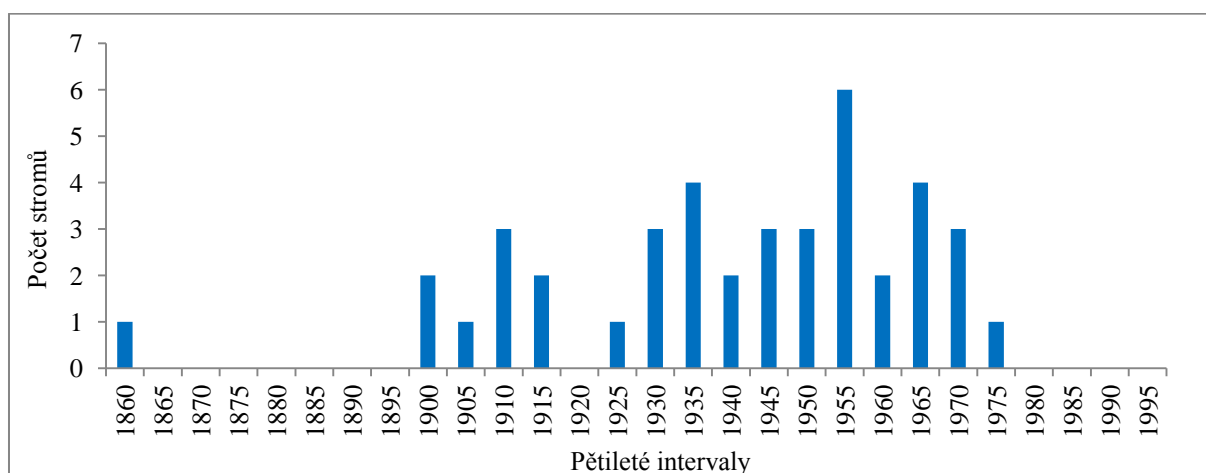
Obr. 16 – Přehled nedelších lavin v jednotlivých letech od roku 1962 do roku 2002 podle dat z katastru lavin Krkonoš.



Obr. 17 – Procenta stromů vykazující velké a střední uvolnění současně s počtem stromů (zelená křivka) zahrnutých do analýzy. Velké uvolnění je červený sloupec a střední uvolnění je modrý sloupec.



Obr. 18 – Přehled výskytu pryskyřičných kanálků v pětiletých intervalech od roku 1905 do roku 2010. Zároveň je ukázán počet jedinců v jednotlivých pětiletých intervalech (zelená křivka).



Obr. 19 – Počátek růstu jednotlivých stromů (v 1,3m) pro pětileté intervaly v Pančavské stěně.

4.5 Analýza vztahu mezi měřenými charakteristikami

Posledním krokem bylo otestovat vztah mezi jednotlivými naměřenými proměnnými (Tabulka 3). Pro všechny tři lavinové dráhy jsme našli průkaznou pozitivní korelaci mezi počtem lavin a jejich délkou v pětiletých intervalech (rovněž pro jednotlivé roky byl tento vztah průkazný). Závislost mezi procentem stromů s pryskyřičnými kanálky a procentem stromů detekujících uvolnění byl rovněž pozitivní v pětiletých intervalech, avšak tento vztah byl průkazný pouze pro Pramenný důl. Závislost mezi výskytem pryskyřičných kanálků a délkou, resp. počtem lavin, byla pozitivní ve všech případech. Avšak průkazný vztah byl nalezen pro všechny tři lokality pouze v případě délky lavin, zatímco u počtu lavin byl vztah průkazný jen v Pramenném dole a na Pančavské stěně. Posledním zkoumaným parametrem bylo, zda počet nově založených stromů souvisí s narušením porostu vyjádřeného pomocí procenta stromů zaznamenaných uvolnění a procentem stromů s pryskyřičnými kanálky. Korelace mezi procentem stromů zaznamenaných uvolnění a nově vzniklými jedinci byl ve všech případech pozitivní, ale neprůkazný. V případě porovnání nově vzniklých jedinců s procentem stromů s pryskyřičnými kanálky byl zjištěn negativní vztah na Pančavské stěně, zatímco na zbylých dvou lokalitách byl vztah pozitivní a průkazný vztah byl zjištěn pouze v Navorské jámě. U Pramenného dolu jsme použili zpoždění u nově založených stromů jeden pětiletý interval (oproti porovnávaným charakteristikám) a u dvou zbývajících lokalit bylo použito desetileté zpoždění.

Tabulka 3 - Přehled statistických výsledků porovnávaných charakteristik na jednotlivých lavinových drahách. Vysvětlivky k názvům jednotlivých sloupců: *n lavin* – počet lavin, *l lavin* – délka laviny, % *PK* – procento stromů ukazujících pryskyřičné kanálky, % *U* – procento stromů ukazující uvolnění, *n PK* – počet pryskyřičných kanálků, *n NS* – počet nově založených stromů. Vysvětlivky k značkám a písmenům v tabulce: *R* – korelační koeficient, *p* – hladina významnosti, * - 0,05, ** - 0,01, *** - 0,001, ^a – výpočet pro pětileté úseky, ^b – výpočet pro jednotlivé roky. Statisticky průkazné analýzy jsou podbarveny červeně.

	<i>n lavin vs. l lavin</i>		% <i>PK vs. % U</i>		<i>n PK vs. l laviny</i>		<i>n PK vs. n lavin</i>		<i>n NS vs. % U</i>		<i>n NS vs. % PK</i>	
	<i>R</i>	<i>p</i>	<i>R</i>	<i>p</i>	<i>R</i>	<i>p</i>	<i>R</i>	<i>p</i>	<i>R</i>	<i>p</i>	<i>R</i>	<i>p</i>
Pramenný důl	0,65	*	0,71	***	0,36	***	0,3	***	0,16	NS	0,54	NS
	1955-2002 ^a		1890-1960 ^a		1956-2003 ^b		1956-2003 ^b		1890-1960 ^a		1890-1960 ^a	
Navorská jáma	0,67	*	0,16	NS	0,33	*	0,11	NS	0,31	NS	0,46	*
	1960-2000 ^a		1850-1960 ^a		1965-2002 ^b		1965-2002 ^b		1850-1960 ^a		1850-1960 ^a	
Pančavská stěna	0,78	**	0,12	NS	0,22	*	0,3	**	0,02	NS	-0,29	NS
	1960-2000 ^a		1890-1960 ^a		1962-2002 ^b		1962-2002 ^b		1920-1960 ^a		1920-1960 ^a	

5. Diskuze

Rozdílnost mezi stářími stromů na vybraných lokalitách je způsobena tím, že každá lokalita má jiné rozmístění zkoumaných stromů v závislosti na topografii jednotlivých drah. V Navorské jámě jsou vybrané stromy položeny v protisvahu, který se nachází výše oproti nejnižšímu bodu lavinové dráhy. Dojíždějí sem jen nejdelší laviny, proto zde mohou stromy déle přežít. Kratší laviny se rozloží na velké ploše, která leží hned pod svahem. To je důvod, proč máme nejstarší stromy z Navorské jámy. Pod Pančavskou stěnou je velká louka, která má stromové zastoupení hodně řídké a jsou to převážně jen mladé stromy nevhodné k dendrochronologické analýze na detekování lavin. Zkoumaných stromů je málo, protože dlouhé i krátké laviny působí intenzivně na jejich schopnost udržet se na stanovišti a přežít. Pramenný důl má úplně jiný terén než předchozí dráhy (klikatý a leží v trychtýřovitém žlabu). Šířka odtrhu je zde téměř dvakrát větší než na předchozích lokalitách. Předpokládám, že jsou zde laviny silnější, protože mají větší objem sněhu. Podle katastru lavin, je v Pramenném dole zaznamenáno více lavinových sesunů (37 lavin) než v Navorské jámě (22 lavin) a Pančavské stěně (22 lavin). Z porovnávání frekvence a intenzity lavin vyplývá, že čím více lavin spadne, tím je větší pravděpodobnost, že spadne i velká lavina. Ačkoliv toto zjištění je předvídatelné pro pětileté intervaly, tak pro jednotlivé roky lze naopak přepokládat, že se zvyšujícím se počtem lavin klesá šance na velkou lavinu, z důvodu vyčerpání sněhu z odtrhové zóny. Uspokojivým vysvětlením pro tento fenomén je pravděpodobně to, že zkoumané lavinové dráhy jsou poměrně malé ve srovnání se světovými pohořími (Butler & Sawyer 2008). Odtrhové zóny tedy nemohou akumulovat „nekonečné“ množství sněhu a během zimního období s vyšším úhrnem sněhových srážek je pravděpodobnost vzniku více lavin, z nichž některá může dosahovat větších rozměrů.

Jedním z problémů výzkumu lavinové činnosti z letokruhových dat je nízký počet jedinců starších sta let, zatímco při analýze jiných typů disturbancí bývají stromy staré i několik století (Altman et al. 2013b). Vzhledem k vysoké lavinové aktivitě se na lavinových drahách vyskytuje málo stromů vhodných k dendrochronologickému rekonstruování lavin. Corona et al. (2012) zjišťovali, kolik je zapotřebí stromů k zachycení co největšího počtu lavin. Avšak jejich výsledek, že k analýze postačuje 100 stromů, je bohužel v mnoha případech nereálný, jelikož tolik statných stromů často nelze na lavinové dráze najít. Velká většina prací z tohoto důvodu používá nižší počet vzorků. Butler & Sawyer (2008) uvedli, že tam, kde lavinové dráhy obsahují stromy, mohou být použity rozbory ročních přírůstků k datování aktuální lavinové události anebo pro periody zahrnující desetiletí až staletí.

K tomu je ještě zapotřebí mít přesné historické záznamy o podmínkách daného území (Butler & Sawyer 2008).

I když stromy jsou schopny přesně zaznamenat měnící se podmínky ve svém okolí v podobě různých letokruhových šířek (Schweingruber 1996), strom zasažený lavinou nezmění růst tak, aby se trend jeho růstu, tedy porovnání relativních hodnot, neshodoval s průměrnou růstovou křivkou daného území. Trend růstu je ovlivněn mnoha faktory, z nichž za nejsilnější je považováno klima (Fritts 1965). Právě klima tedy formuje trend růstu v průběhu celého života stromu. Z porovnání výsledných růstových křivek vyplývá, že růstový trend zkoumaných stromů není závislý na lavinových disturbancích, ale na společných klimatických podmínkách. V časovém rozmezí zhruba od roku 1956-2011 je viditelný výrazný obdobný růstový trend na všech třech lokalitách, který nemůže být způsoben krátkodobými změnami klimatu, protože metoda „*boundary line*“ dokáže odfiltrvat tyto změny a zároveň dokáže zachytit střednědobé změny způsobené narušením porostu (Nowacki & Abrams 1997). Zhruba od roku 1978 je na všech třech růstových křivkách vidět náhlý pokles v letokruhovém přírůstu. Tento pokles si vysvětlují jako vysoký vliv imisní zátěže, která se stejným způsobem projevila i v jiné studii (Rydval & Wilson 2012) týkající se blízko ležících Jizerských hor. Rydval & Wilson (2012) detekovali náhlý růstový letokruhový pokles rovněž kolem roku 1980.

Naším předpokladem bylo, že pomocí dendrochronologické analýzy a zaznamenávání prskyřičných kanálků dokážeme určit laviny, které se sesunuly a pomocí srovnání se záznamy z katastru lavin je potvrdíme. Tento předpoklad se nám naplnil jen z poloviny. Letokruhovou analýzou bylo v časovém úseku od roku 1970-2002 detekováno velké množství uvolnění na všech třech lokalitách (Pramenný důl - 21 uvolnění, Navorská stěna - 25 uvolnění, Pančavská stěna - 37 uvolnění). S největší pravděpodobností se jedná o výsledek imisní katastrofy, která se od roku 1972 v Krkonoších vyskytla. Proto jsem vzhledem k výraznému imisnímu vlivu z každé lokality vyřadila časové úseky v rozmezí 1970 až 2000. Reakce dřevin na poškození porostu imisemi má určité zpoždění (Schweingruber 2007), proto nemohu zařadit ani poslední roky (se sníženou dávkou imisního stresu) do rekonstruování lavin pomocí letokruhových analýz, i když se imisní zátěž na celém území KRNAPu v poslední době vyrovnala (Vacek & Podrázský 2007).

Toto omezení se týká především analýzy uvolnění, která z principu věci nerozezná, zda náhlé zvýšení radiálního růstu je z důvodu uvolnění porostu způsobeným disturbancí či z důvodu výrazně zlepšených podmínek k růstu po imisní kalamitě. Kvůli imisní zátěži od roku 1972 do roku 2012 nemůžeme tvrdit, že zaznamenaná uvolnění v tomto období jsou

výsledkem lavinových disturbancí. Porovnáním použitelné části lavinového katastru (do roku 1970) a výsledků letokruhových analýz (uvolnění) jsem našla shodné roky potvrzující lavinu jednotlivých lokalit a to v Pramenném dole: 1 velká lavina v roce 1956, 8 lavin v letech 1962-1969; Navorské jámě: 4 laviny v letech 1965-1969; Pančavské stěně: 6 lavin v letech 1962-1969. Výsledky analýzy uvolnění mohou srovnávat jen s limitovaným počtem prací z podobného typu lesa a předložená práce je první, která používá tuto metodu pro detekci lavin. Metodu „*boundary line*“ použili Zielonka et al. (2010) k detekci větrné disturbance v Tatrách. Výsledkem bylo, že v době výskytu uvolnění se vytvořilo kompresní dřevo. Rovněž zjistili, že velké a střední uvolnění se objevilo u stromů, které přežily silnou větrnou disturbance. V naší oblasti se z destruktivních disturbancí vyskytují jen větrné a lavinové narušení, zatímco lesní požáry jsou typičtější pro boreální lesy (Zielonka et al. 2010).

Druhá část výsledků zabývající se pryskyřičnými kanálky již umožnila porovnání s daty z lavinového katastru. Dřevo reaguje na disturbance v růstové fázi (Schweingruber 1996) a vzhledem k nejvyšší lavinové aktivitě v jarních měsících (podle katastru lavin 90% lavin spadne od ledna do dubna, 10% v prosinci) se laviny zaznamenaly ve stejném roce, ve kterém se sesunuly. Naopak větrné disturbance se většinou detekují s určitým zpožděním dvou až tří let (Rentch et al. 2002, Altman et al. 2013b). Výskyt pryskyřičných kanálek je podle několika studií způsoben vnějším tlakem, podrážděním dřeva (Bannan 1936, Hug 1979), silnou disturbance působící mechanicky nebo klimaticky na kambium (Burrows & Burrows 1976, Schweingruber 2007). Studie (Burrows & Burrows 1976, Rayback 1998) říkají, že pryskyřičné kanálky mohou vznikat i v důsledku sesunu kamení, intenzivním slunečním zářením, působením mrazu a okusem zvířat. Okus zvířete je v našem případě také možný, vzhledem k přemnožení vysoké zvěře v Krkonoších (Schwarz et al. 2007). To by ovšem vysvětlovalo přítomnost pryskyřičných kanálek jen u mladých stromů, které jsme však neanalyzovali.

Celkově lze říci, že přítomnost pryskyřičných kanálek je zatím relativně málo prozkoumána, a proto nelze s jistotou tvrdit, že přítomnost většího množství pryskyřičných kanálek je výsledkem lavinové disturbance. Schweingruber (2007) uvádí, že formování pryskyřičných kanálek je způsobeno stresem působícím na strom před jeho smrtí. To by mohla způsobit právě lavina, pokud by strom vyvrátila a tím ho zahubila. Avšak v předkládané práci jsou vzorky odebírány pouze ze živých stromů, takže předchozí teorie v tomto případě neplatí. Další teorie (Schneuwly & Stoffel 2008, Stoffel & Bollschweiler 2008) říká, že přímé poškození stromu (poškození kmene stromu kameny, zlámání větví aj.)

vyvolá vznik pryskyřičných kanálků nahuštěných do proužku. Padající lavina s sebou většinou bere i části terénu, které přímo poškozují strom, a samotná masa sněhu navíc láme větve v jejím dosahu. Je tedy vysoce pravděpodobné, že výskyt pryskyřičných kanálků je výsledkem sesunutí laviny. Tuto teorii podporují i naše výsledky, kdy jsem zjistila průkazný vztah mezi výskytem pryskyřičných kanálků a délkou laviny na všech třech lavinových drahách. Rovněž procento zaznamenaných lavin potvrzených výskytem pryskyřičných kanálků je vysoké. Například práce Casteller et al. (2007) poukazuje na vysoký výskyt pryskyřičných kanálků a zároveň reakčního dřeva po roce 1999, kdy se na jimi studovaném území (Monbiel, Švýcarsko) vyskytla lavina.

Zmlazení porostu je často vázané na výskyt disturbancí, při kterých dojde k odstranění jedinců z korunového patra a tím uvolní prostor pro růst nových jedinců (Altman et al. 2013a, b). V extrémnějších polohách, mezi které bezesporu patří i zkoumané porosty, je často zakládání jedinců vázáno na tzv. regenerační niky, kterými bývá blízké okolí starších stromů (Vacek & Lepš 1996, Tilman & Kareiva 1997, Altman 2009). Při analýze nově založených stromů jsme použili pětiletý časový posun v Pramenném dole, protože jsme tyto stromy vrtali kvůli jejich pozici níže než v dalších lokalitách, kde byl použit desetiletý časový posun. Časový posun je v tomto případě nezbytný, jelikož stromu trvá nějaký čas, než dosáhne vrtané výšky. Právě různá výška odběru vzorku i v rámci jedné lokality může být důvodem, proč nám na Pančavské stěně vyšla negativní korelace pro nově založené stromy se stromy s pryskyřičnými kanálky, zatímco na dalších dvou lokalitách je korelace vysoce pozitivní. Pro získání přesnějších výsledků by v tomto případě bylo zapotřebí vzít v potaz výšku odběru vzorku u každého jedince zvlášť a dopočítat chybějící roky.

Naše zjištění podporují postupy prací, které používají v případě disturbancí způsobených lavinami kombinace různých dendrochronologických metod (např. Casteller et al. 2007). Prolínání více metodických přístupů je poměrně málo využívané při jiných typech dendrochronologických studií, které většinou používají jen jeden typ analýz. Laviny jsou totiž specifické tím, že způsobují jak uvolnění porostu stržením stromů, na které lavina přímo narazí, tak zároveň dochází ke zranění přeživších jedinců v dosahu laviny. Stromy na oba tyto jevy reagují odlišným způsobem, proto je kombinace více metod vhodná.

7. Závěr

V Krkonošském národním parku byly vybrány tři lokality (Pramenný důl, Navorská jáma, Pančavská stěna), na kterých byla provedena dendrochronologická rekonstrukce lavin s pomocí dat z katastru lavin české části Krkonoš.

- Byly sestrojeny růstové křivky pro jednotlivé lokality ukazující stejný růstový trend.
- Pomocí dat z lavinového katastru jsem získala pro posledních 50 let informace o frekvenci a intenzitě lavin ve studovaném území. Velká část sledování je v našem případě bohužel nepoužitelná z důvodu vysoké imisní zátěže od roku 1972.
- Výskyt pryskyřičných kanálků se shodoval pro posledních 50 let se zaznamenaným výskytem lavin v ca. 75% případů.
- S vysokou pravděpodobností jsem detekovala historické laviny nezachycené sledováním v lavinovém katastru.
- Pro podrobnější analýzy datující historické laviny, které rozsahem překračují předkládanou práci, je potřeba v práci pokračovat s využitím použitých metod, které se potvrdily jako vhodné pro analýzu lavinových disturbancí.

8. Literatura

- Aakala T., Kuuluvainen T., Wallenius T. & Kauhanen H. 2011. Tree mortality episodes in the intact *Picea abies*-dominated taiga in the Arkhangelsk region of northern European Russia. *Journal of Vegetation Science* 22, s. 322–333.
- Abrams M. D., Carolyn A. C., Terazawa K., Umeki K., Takiya M. & Akashi, N. 1999. A 370-year dendroecological history of an old-growth *Abies-Acer-Quercus* forest in Hokkaido, northern Japan. *Canadian Journal of Forest Research* 29, s. 1891-1899.
- Altman J. 2009. Analýza lesních porostů na vulkánu Hallasan: zhodnocení vlivu disturbancí a kompetice na růst a přežívání stromových populací na gradientu nadmořské výšky. Magisterská práce, Jihočeská univerzita, Přírodovědecká fakulta, České Budějovice, 68 s.
- Altman J., Hédl R., Szabó P., Mazůrek P., Riedl V., Müllerová J., Kopecký M. & Doležal J. 2013a. Tree-rings mirror management legacy: dramatic response of standard oaks to past coppicing in Central Europe. *Plos One* 8, s. e55770.
- Altman J., Doležal J., Černý T. & Song J.S. 2013b. Forest response to increasing typhoon activity on the Korean peninsula: evidence from oak tree-rings. *Global Change Biology* 19, s. 498–504.
- Anděl P. et al. 2007. Krkonoše: příroda, historie, život. 1. vydání, *Baset*, Praha, 864 s.
- Armstrong B. R. 1976. Century of struggle against snow: A history of avalanche hazard in San Juan, Colorado. Occasional Paper 18, Institute of Arctic and Alpine Research, University of Colorado, Colorado, 93 s.
- Attiwill M. P. 1994. The disturbance of forest ecosystems: the ecological basis for conservative management. *Forest Ecology and Management* 63, s. 247-300.
- Bannan M. W. 1936. Vertical resin ducts in the secondary wood of the Abietineae. *New Phytologist* 35, s. 11–46.
- Bebi P., Kulakowski D. & Rixen Ch. 2009. Snow avalanche disturbances in forest ecosystems—State of research and implications for management. *Forest Ecology and Management*, r. 257, č. 9, s. 1883-1892.
- Bitterli P. 1987. Jahrringe in Legföhren (*Pinus mugo*, *Turra* ssp. *mugo*) als Ausdruck lokaler mechanischer Faktoren. *Dendrochronologia* 5, s. 79–95.
- Black B. A. & Abrams M. D. 2003. Use of boundary-line growth patterns as a basis for dendroecological release criteria. *Ecological Applications* 13, s. 1733-1749.

- Bunn A. G. 2008. A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia* 26, s. 115–124.
- Buntgen U., Tegel W., Nicolussi K., McCormick M., Frank D., Trouet V., Kaplan J. O., Herzig F., Heussner K. U., Wanner H., Luterbacher J. & Esper J. 2011. 2500 Years of European climate variability and human susceptibility. *Science*. roč. 331, č. 6017, s. 578-582.
- Buntgen U., Kyncl T., Ginzler C, Jacks D. S., Esper J., Tegel W., Heussner K. U., Wanner H., Luterbacher J. & Esper J. 2013. Filling the Eastern European gap in millennium-long temperature reconstructions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. roč. 110, č. 5, s. 1773-1778.
- Burrows C. J. & Burrows V. L. 1976. Procedures for the study of snow avalanche chronology using growth layers of woody plants. Occasional paper 23, Institute of Arctic and Alpine Research, University of Colorado, Colorado, 54 s.
- Butler D.R. & Sawyer C.F. 2008. Dendrogeomorphology and high-magnitude snow avalanches: a review and case study. *Natural Hazards and Earth System Science* 8, s. 303–309.
- 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.
- Cepák P. 2010. Nejvýznamnější faktory zapříčiňující pád lavin. Bakalářská práce, Univerzita Karlova, Fakulta tělesné výchovy a sportu, Praha, 39 s.
- Corona C., Georges R., Saez J. L., Stoffel M. & Pascal 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 J. L., 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. 31-41.
- Corona C., Saez J. L., Stoffel M., Rovéra G., Edouard J. L. & Berger F. 2013. Seven centuries of avalanche activity at Echalp (Quevras massif, southern French Alps) as inferred from tree rings. *The Holocene* 23, s. 292-304.
- de Quervain M. R., de Crecy L., LaChapelle E. R., Losev K. & Shoda M. 1973. Proposal of the working group an avalanche classification of the international commission on snow and ice. *Hydrological Sciences Bulletin*. 18, s. 391-402.

- Doležal J., Matsuki S. & Hara T. 2009 Effects of dwarf-bamboo understory on tree seedling emergence and survival in a mixed-oak forest in northern Japan: a multi-site experimental study. *Community Ecology* 10, s. 225-235.
- Fisher A., Fisher H. S. & Lehnert U. 2010. Avalanches creating high structural and floristic diversity in mountain mixed forests in the Alps. *Biodiversity and Conservation* 21, s. 643-654.
- Frelich L. E. 2002. Forest dynamics and disturbance regres. Cambridge University Press, New York, 90 s.
- Fritts H. C., Smith D. G., Cardis J. W. & Budelsky C. A. 1965. Tree-ring characteristics along a vegetation gradient in Northern Arizona. *Ecology* 46, s. 393–401.
- Grabner M., Wimmer R. & Weichenberger J. 2004. Reconstructing the history of log-drifting in the Reichraminger Hintergebirge, Austria. *Dendrochronologia* 22, s. 131-138.
- Hlásný T., Křístek Š., Holuša J., Trombik J. & Naděžda Urbaňcová. 2011. Snow disturbances in secondary Norway spruce forests in Central Europe: Regression modeling and its implications for forest management. *Forest Ecology and Management* 12, s. 2151-2161.
- Hug U. E., 1979. Das Harzkanalsystem im juvenilen Stammholz von *Larix decidua* Mill. *Schweiz Z Forstwes Beih* 61, s. 1–127.
- Jeník J. 1958. Geobotanická studie lavinového pole v Modrém dole v Krkonoších. Acta University Carolinae, *Biol.* 5, s. 47–91.
- Jeník J. 1961. Alpínská vegetace Krkonoš, Králického Sněžníku a Hrubého Jeseníku. *Academia*, Praha 407 s.
- Kajzarová E. 2012. Lesy Krkonošského národního parku a péče o ně: rosteme kolem vás. *Správa Krkonošského národního parku*, Vrchlabí, 47 s.
- Kaplan Z. 2012. Flora and phytogeography of the Czech Republic. *Preslia* 84, s. 505–573.
- Kitchen S. G. 2012. Historical fire regime and forest variability on two eastern Great Basin fire-sheds (USA). *Forest Ecology and Management* 285, s. 53-66.
- Kociánová M. & Spusta V. 2000. Vliv lavinové aktivity na kolísání horní hranice lesa v Krkonoších. In: Štursa J., Mazurski K.R. & Palucki A. (eds): Sborník příspěvků z mezinárodní konference Geoekologické problémy Krkonoš. Svoboda n. Ú., 19.-21. 9. 2000. *Opera Corcontica* 37, s. 473-480.

- Kociánová M., Špatenková I., Tondrová A., Dvořák I. J. & Pilous V. 2004. Základové a smíšené laviny ve vztahu k přemísťování svahovin a dynamice vegetace. In: Štursa J., Mazurski K.R., Palucki A. & Potočka J. (eds.): Sborník příspěvků z mezinárodní konference Geoekologické problémy Krkonoš. Szklarska Poreba, 5.-7. 11. 2003. *Opera Corcontica* 4, s. 86-99.
- Kociánová M., Štursová H. & Zahradníková J. 2005. Klonální růst endemického jeřábu *Sorbus sudetica* v Krkonoších. *Opera Corcontica* 42, s 99–105.
- Komárková V. & Lavecchia R. 1988. Avalanches. *Science*, 18 s.
- Kukal Z. 1983. Přírodní katastrofy. *Horizont*, Praha, 259 s.
- Kulakowski D., Rixen C. & Bebi P. 2006. Changes in forest structure and in the relative importance of climatic stress as a result of suppression of avalanche disturbances. *Forest Ecology and Management* 223, s. 66-74.
- Laxton S. C. & Smith D. J. 2008. Dendrochronological reconstruction of snow avalanche activity in the Lahul Himalaya, Northern India. *Nat Hazards* 49, s. 459-467.
- Lorimer C.G. & Frelich L.E. 1989. A methodology for estimating canopy disturbance frequency and intensity in dense temperate forests. *Canadian Journal of Forest Research* 19, s. 651-663.
- Maggioni M. & Gruber U. 2003. The influence of topographic parameters on avalanche release dimension and frequency. *Cold Regions Science and Technology* 37, s. 407-419.
- Martinelli M. Jr. & Leaf Ch. F. 1999. Historic avalanches in the Northern Front Range and the Central and Northern Mountains of Colorado. Colorado, *Rocky Mountain Research Station* 38, 255 s.
- Mills E. 1915. Associating with snow slides. In: The Rocky Mountain wonderland. Houghton Mifflin Co., *The Riverside Press*, Cambridge, Mass, s. 183-192.
- NOAA. 2012. Contributors of the International Tree-Ring Data Bank, IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology, NOAA/NGDC Paleoclimatology Program. Boulder, Colorado, USA.
- Nowacki G.J. & Abrams M.D. 1997. Radial-growth averaging criteria for reconstructing disturbance histories from presettlement-origin oaks. *Ecological Monographs* 67, s. 225-249.
- Pickett S. T.A. & White P. S. 1985. The Ecology of Natural disturbance and patch dynamics. *Academic Press*, San Diego, s. 3-13.

- Quitt E. 1971. Klimatické oblasti Československa. *Studia Geographica, GgÚ ČSAV*, Brno, 73s.
- R Development Core Team (2011) R: A Language and Environment for Statistical Computing, version 2.13.1. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria
- Rayback, S. A., 1998: A dendrogeomorphological analysis of snow avalanches in the Colorado Front Range, USA. *Physical Geography* 19, s. 502–515.
- 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, s. 148-160.
- Rentch J.S., Desta F. & Miller G.W. 2002. Climate, canopy disturbance, and radial growth averaging in a second-growth mixed-oak forest in West Virginia, USA. *Canadian Journal of Forest Research* 32, s. 915-927.
- Reyes G. P., Kneeshaw D., de GRANDPRÉ L. & Leduc A. 2010. Changes in woody vegetation abundance and diversity after natural disturbances causing different levels of mortality: a multi-site experimental study. *Journal of Vegetation Science* 21 (2), s. 406-417.
- Ross D. W., Daterman G. E., Boughton J. L. & Quigley T. M. 2001. Forest health restoration in South-Central Alaska: A problem analysis. *Pacific Northwest Research Station*, Portland, 38 s.
- Rydval M. & Wilson R. 2012. The impact of industrial SO₂ pollution on North Bohemia conifers. *Water, Air, & Soil Pollution* 223, s. 5727-5744.
- Schneuwly D. M. & Stoffel M. 2008. Tree-ring based reconstruction of the seasonal timing, major events and origin of rockfall on a case-study slope in the Swiss Alps. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 8, s. 203-2011.
- Schwarz O., Vacek S., Podrázský V. & Kuš J. 2007. Vývoj stavu spárkaté zvěře a škod zvěří v bilaterální Biosférické rezervaci Krkonoše/Karkonosze. – In: Štursa J. & Kknapič R. (eds), Geoekologické problémy Krkonoš. Sborn. Mez. Věd. Konf., říjen 2006, Svoboda n. Úpou. *Opera Corcontica* 44/2, s. 499–510.
- Schweingruber F. H. 1995. Principles of dendrochronology. 57 s.
- Schweingruber F. H. 1996. Tree rings and environment dendroecology. *Paul Haupt Publishers*, Berne, 609 s.
- Schweingruber F. H. 2007. Wood structure and environment. New York, *Springer*, 276 s.

- Sousa W. P. 1984. The role of disturbance in natural communities. *Annual Review of Ecology and Systematics* 15, s. 353-391.
- Splechtna B. E., Gratzner G. & Black B. A. 2005. Disturbance history of a European old-growth mixed-species forest – A spatial dendro-ecological analysis. *Journal of Vegetation Science* 16(5), s. 511-522.
- Spusta V. & Kociánová M. 1998. Lavinový katastr české části Krkonoš v období 1961/62 – - 1997/98. *Opera Corcontica* 35, 202 s.
- Stoffel M., Bollschweiler M. & Hassler G. R. 2006. Differentiating past events on a cone influenced by debris-flow and snow avalanche activity – a dendrogeomorphological approach. *Earth Surface Processes and Landforms* 31 (11), s. 1424-1437.
- Stoffel M. & Bollschweiler M. 2008. Tree-ring analysis in natural hazards research? an overview. *Natural hazards and Earth system science* 8 (2), s. 187-202.
- Stoffel M. 2010. Tree rings and natural hazards: a state-of-the-art. *Springer*, New York, s. 505.
- Šebek P., Altman J., Plátek M. & Čížek L. 2013. Is active management the key to the conservation of saproxylic biodiversity? Pollarding promotes the formation of tree hollows. *Plos One* 8(3): e60456.
- Štěpánek J. 1989. Chrastavec rolní krkonošský – *Knautia arvensis*(L.) Coulter subsp. *pseudolongifolia*(Szabó) O. Schwarz. – In: Slavík B. et al., Vybrané ohrožené druhy flóry ČSR, Studie ČSAV, *Academia*10, s. 25–36.
- Štěpánková J. 2008. *Carex derelicta*, a new species from the Krkonoše Mountains (Czech Republic). *Preslia* 80, s. 389–397.
- Štursa J. 1999. Květy Krkonoš. *Správa Krkonošského národního parku*. Vrchlabí, s. 19.
- Teich M., Marty C., Gollut C., Grêt-Regamey A. & Bebi P. 2012. Snow and weather conditions associated with avalanche releases in forests: Rare situations with decreasing trends during the last 41 years. *Cold Regions Science and Technology* 83/84, s. 77-88.
- Tilman D. & Kareiva P. 1997. Spatial ecology: the role of space in population dynamics and interspecific interactions. *Princeton University Press*, Princeton, NJ, US.
- Vacek S. & Lepš J. 1996. Spatial dynamics of forest decline: the role of neighbouring trees. *Journal of Vegetation Science* 7, s. 789-798.

- Vacek S. & Podrázský V. 2007. Vývoj zdravotního stavu lesních porostů na výzkumných plochách v Krkonoších. – In: Štursa J. & Knapik R. (eds), Geoekologické problémy Krkonoš. Sborn. Mez. Věd. Konf., říjen 2006, Svoboda n. Úpou. *Opera Corcontica* 44/2, s. 493–498.
- Viglietti D., Letey S., Motta R., Maggioni M., Freppaz M. 2010. Snow and avalanche: the influence of forest on snowpack stability. *Cold Regions Science and Technology* 64, s. 167-173.
- 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.
- Zielonka T., Holeksa J., Fleischer P. & Kapusta P. 2010. A tree-ring reconstruction of wind disturbances in a forest of the Slovakian Tatra Mountains, Western Carpathians. *Journal of Vegetation Science* 21(1), s. 31-42.

Internetové zdroje:

<http://www.knap.cz/>

<http://www.sciem.com/>