

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyzické geografie a geoekologie



Dynamika horní hranice lesa v závislosti na expozici svahu, západní Krkonoše

Diplomová práce

Lukáš PÍRO

duben 2011

Vedoucí diplomové práce: Mgr. Václav TREML, PhD.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně a že jsem všechny použité prameny řádně citoval.

Jsem si vědom toho, že případné použití výsledků této práce mimo Univerzitu Karlovu v Praze je možné pouze po písemném souhlasu této univerzity.

Svoluji k zapůjčení této práce pro studijní účely a souhlasím s tím, aby byla řádně vedena v evidenci vypůjčovatelů.

V Praze dne 29. dubna 2011

.....

Lukáš PÍRO

Abstract

In eight selected habitats in the Western Giant Mountains (area of peaks Kotel and Violík) was studied growth of individuals of Norway spruce (*Picea abies*) in ecotone of alpine treeline. There were selected four habitats in two locations (tree groups and close canopy forest) in the south exposition and four habitats in two locations in the north exposition.

With use of size of radial growth and other dendrometrical characteristics was studied differences in growth of trees depend of slope exposition and location of the habitats (tree groups and close canopy forest). There were compiled the standard and residual chronologies. Further was studied the response function of radial growth and temperature characteristics, especially mean temperature of growing season. It was found the positive a negative pointer years, representative years with extreme ring width, and response function of pointer years indexes and temperature characteristics. Last step was to analyze the tree age structure in studied habitats.

There were found statistically significant differences in radial growth between north and south slope exposition in the close canopy forest position in years 1959 – 1998, although radial growth on south side was larger all the spotted time. In tree groups was radial growth larger in north slope exposition, but the differences weren't statistically significant.

Indexes of residual chronologies and pointer years good correlated with mean temperatures of growing season, especially with mean July's temperatures. There was found positive pointer years 1899, 1901, 1946, 1969, 1992, 1994, 2001 and negative pointer years 1923 and 1974.

Trees are much older in close canopy forest position, in Violík area are trees older than in Kotel area. More than 50 % of trees in tree group position etabled after year 1950, which is associated with change of land use in this area.

Velice děkuji vedoucímu diplomové práce Mgr. Václavu Tremlovi za cenné rady a připomínky během zpracovávání diplomové práce a především za trpělivost. Dále děkuji správám KRNAP a KPN za udělení povolení k výzkumné činnosti v nádherném prostředí Krkonoš. .

Obsah

1. Úvod.....	8
1.1 Horní hranice lesa.....	9
1.2 Limity růstu stromů na horní hranici lesa.....	10
1.3 Vliv expozice svahu na HHL.....	12
1.4 Tloušťkový přírůst.....	13
2. Fyzickogeografická charakteristika území.....	15
2.1 Vymezení studovaného území.....	15
2.2 Geologická a geomorfologická charakteristika.....	15
2.3 Podnebí.....	16
2.4 Půdy.....	17
2.5 Vegetace.....	17
2.6 Horní hranice lesa v Krkonoších.....	17
2.7 Antropogenní ovlivnění.....	19
3. Materiál a metodika.....	21
3.1 Stanoviště.....	21
3.2 Odběr a zpracování vzorků.....	23
3.3 Datování.....	24
3.4 Stanovištní chronologie.....	24
3.5 Růstové křivky dle kambiálního stáří (RC křivky).....	26
3.6 Porovnávání šířek letokruhů.....	26
3.8 Porovnání ostatních charakteristik.....	28
3.9 Analýza letokruhových signatur (pointer years).....	28
3.10 Věková struktura.....	29
3.11 Odhad rozdílů v délce trvání sněhové pokrývky.....	31
3.12 Klimatická data – teploty.....	31
4. Výsledky.....	33
4.1 Základní charakteristiky jednotlivých stanovištních chronologií.....	33
4.2 Indexované stanovištní chronologie.....	35
4.3 Odezva chronologií na teploty.....	38
4.4 Stanovištní RCS křivky.....	41
4.5 Porovnávání šířek letokruhů.....	42
4.5 Letokruhové signatury.....	49
4.6 Dendrometrické charakteristiky.....	51
4.7 Věková struktura.....	54
4.8 Sněhová pokrývka.....	60
4. Diskuse.....	61
5. Závěr.....	65
Použitá literatura:.....	67
Příloha 1: Seznam studovaných vzorků, naměřené parametry.....	72

Seznam obrázků

Číslo	Název	strana
1	Lokalizace stanovišť	22
2	Závislost šířky letokruhu a kambiálního stáří	28
3	Závislost stáří stromku (počtu přeslenů) na výšce vývrtnu	30
4	Závislost stáří stromu na obvodu	31
5	Distribuce stáří stromů v poloze na HHL a ve stromových skupinkách	34
6	Standardní a reziduální chronologie	37
7	11ti leté klouzavé korelace průměrných teplot vegetačního období a indexů reziduálních chronologií	40
8	Regionální křivky na HHL a ve stromových skupinkách	41
9	Detrendované šířky letokruhů na HHL a ve stromových skupinkách	43
10	Průměrné teploty vegetačního období 1900-2000, data ze Sněžky	44
11	Srovnání přírůstu stejně starých stromů na HHL pomocí analýzy variance v letech 1949 – 2008	45
12	Srovnání přírůstu na S1 a S4 na základě detrendovaných šířek letokruhů, za roky 1949 – 2008	46
13	Srovnání přírůstu na S5 a S6 na základě detrendovaných šířek letokruhů, za roky 1949 – 2008	47
14	Srovnání přírůstu na ve stromových skupinkách na základě detrendovaných šířek letokruhů, za roky 1949 – 2008	48
15	Hodnoty indexů letokruhových sigantur (za všechny stanoviště) pro období 1885 – 2005, šedě označeno období let 1977 - 1990	49
16	Srovnání přírůstu na větvích dle stanovišť s opačnou expozicí	53
17	Věková struktura na S1	54
18	Věková struktura na S2	54
19	Věková struktura na S4	55
20	Věková struktura na S3	55
21	Věková struktura na S5	56
22	Věková struktura na S7	56
23	Věková struktura na S6	57
24	Věková struktura na S8	57
25	Období etablování smrku dle stanovišť	59

Seznam tabulek

Číslo	Název	strana
1	Přehled stanovišť	23
2	Průměrný přírůst, kambiální stáří a průměrná sensitivita dle stanovišť	34
3	EPS standardních chronologií	36
4	Korelace res. chronologií na teploty	39
5	Korelace regionálních křivek	42
6	Korelace pointer years a průměrných teplot	50
7	Dendrometrické charakteristiky	52
8	Souše	57
9	Věková struktura	59
10	Statistika pokrytí sněhem	60

Seznam použitých zkratk

HHL	horní hranice lesa
RCS	regional curve standardization
RC	regionální křivka
SKUP	stromové skupinky
VS	věková struktura

Seznam příloh:

Příloha 1: Tabulkový seznam studovaných vzorků, naměřené parametry

Příloha 2: CD-R s elektronickou verzí práce

1. Úvod

Horní hranice lesa je jednou z nejvýraznějších vegetačních hranic v prostředí horských ekosystémů, projevuje se ústupem stromové vegetace s rostoucí nadmořskou výškou. Pozice horní hranice lesa je výsledkem rovnováhy mezi tolerancí stromů na biotické a abiotické faktory a těmito faktory (WIESER, 2007). Hlavním faktorem určující pozici hranice lesa (jak alpínskou tak polární) je pokles teploty s rostoucí nadmořskou výškou (případně zeměpisnou šířkou) (HOLTMEIER et BROLL, 2005), její poloha je ovšem ovlivněna dalšími faktory, jako je reliéf, mikroklima, edafické podmínky nebo činnost člověka (HOLTMEIER, 2009).

Poloha horní hranice lesa je v poslední době ostře sledována, lze ji uvažovat jako citlivý indikátor změn klimatu. Klimaticky podmíněný vzestup HHL je dnes na severní polokouli všudypřítomný (HOLTMEIER, 2009), jsou popisovány příklady vzestupu HHL ve švédských Skandech (KULLMANN, 2004), v Rocky Mountains v USA (ELLIOT et KIPFMUELLER, 2010), v Pyrenejích (BATLLORI et GUTIÉRREZ, 2008) nebo v Alpách (VITTOZ et al, 2008; MOTTA et NOLA, 2001; GEHRING-FASEL et al, 2007). Je však otázkou, do jaké míry se jedná o znovuobsazení pozic ztracených vlivem antropogenního využívání (zarůstání opuštěných pastvin apod.) a do jaké míry je vzestup hranice lesa podmíněn klimatickými změnami. Spontánní růst mladých jedinců, kteří formují mladý les v dřívě bezlesích polohách, lze považovat za nejlepší indikátor závislosti hranice lesa na environmentálních podmínkách. Hranice lesa ovlivňovaná převážně orografickými faktory není příliš citlivá na oteplování klimatu, vyšší senzitivitu lze naopak očekávat u antropogenně ovlivněných ploch po ukončení lidské činnosti (HOLTMEIER et BROLL, 2005).

Tato práce rozšiřuje a navazuje na současný dendrochronologický výzkum probíhající na KFGG PřF UK. Hlavním cílem této práce je zjistit zda existují rozdíly v růstu stromů na svazích s opačnou expozicí, zda jsou rozdílné i věkové struktury, tj. období, kdy se porosty na daných stanovištích etablovaly. Dalším cílem bylo zjistit, zda se na studovaných stanovištích liší

odezva růstu stromů na teplotní parametry.

1.1 Horní hranice lesa

Pojem horní hranice lesa je v této práci chápán jako ekoton (tj. širší pásmo, přechodová zóna) s výskytem forem typických pro prostor mezi souvislým uzavřeným lesem (timberline) a treeline, horní hranice výskytu dřevin stromové formy (KÖRNER, 1998), nad kterou se nachází alpské bezlesí. Její výšková pozice na Zemi obecně roste od pólů do subtropického pásu, kde dosahuje nejvyšších poloh. Od subtropů k rovníku pak klesá. Tento trend však není jednoznačný, na stejné zeměpisné šířce lze nalézt velké rozdíly v poloze hranice lesa, KÖRNER (1998) uvádí, že na 40. st. s. z. š. osciluje její poloha mezi 2100 – 3700 m. nad mořem. Její výška roste s kontinentalitou, roste s mohutností pohoří (směrem do centra, vnitrohorská kontinentalita). Tyto trendy napovídají, že je její pozice závislá na klimatických faktorech nenávaných na zeměpisnou šířku (KÖRNER, 1998).

Souvislým lesem se pak rozumí určitá plocha s daným minimálním podílem porostu, s určitou výškou stromů nebo zápojem. Dané parametry vymezující les se liší mezi autory (např. JENÍK et LOKVENC (1962) zápoj $>0,5$, výška stromu > 5 m, plocha min. 1 ar, ELLENBERG (1996) zápoj $>0,3-0,4$, výška stromu > 2 m, plocha min. 10 arů). Jeníkova definice, používaná pro evropské středohory, ještě uvažuje vzdálenost izolované enklávy zařazené do HHL od souvislého lesního komplexu <100 m). KÖRNER (1998) považuje za strom jedince o výšce minimálně 3 m. HOLTMEIER et BROLL (2005) naopak ve svém vymezení ekotonu hranice lesa („treeline“) žádné výškové omezení stromových jedinců neuvažují.

V přechodné zóně nad uzavřeným lesem se v takzvaném pásmu boje (*kampfzone*) (WIESER, 2007) díky nevládnému klimatu vyskytují často zakrslí, nevyvinutí, deformovaní jedinci. Postupně se rozvolňuje zápoj. Roste význam vzájemného ekologického krytu, stromy se adaptují na nepříznivé podmínky sdružováním do skupinek a přechodem do křovité růstové formy (WIESER, 2007). Mezi další adaptace patří např. úzká koruna nebo kratší silné větve skloněné k zemi, menší výška stromů, kratší hustší jehlice u jehličnanů. Pro jedince v této poloze je typická nízká přirozená obnova, vlivem špatné klíčivosti, větrnému prostředí a dlouho ležícímu sněhu jsou zde příhodné podmínky pro vegetativní rozmnožování, hřížení (VACEK et JENÍK, 2010).

V této práci jsou uvažované dvě polohy v rámci ekotonu horní hranice lesa. První je nazvaná horní hranice lesa (zkratka HHL), ta zahrnuje stromy rostoucí se na dolní hranici tohoto ekotonu, tj. na přechodu souvislého lesa do ekotonu horní hranice lesa. Druhá poloha –

stromové skupinky – zahrnuje stromy rostoucí na horní hranici ekotonu horní hranice lesa, tj. blízko k přechodu do alpínského bezlesí.

HOLTMEIER et BROLL (2005) rozlišují tři základní kategorie HHL:

- orografická a edafická – v horských oblastech, na prudkých skalních stěnách, suťových svazích, kamenných mořích, suťových kuželech, lavinových svazích nebo vulkánech. Les je limitován do nižších poloh díky výše uvedeným faktorům, nad HHL se mohou v chráněných místech vyskytovat jednotlivé stromy nebo skupinky.
- antropogenní – např. v Alpách byla hranice lesa činností člověka průměrně snížena o 150 až 300 m. V současnosti s ukončením využívání těchto poloh dochází k prudkému vzestupu hranice lesa (podobně v norském Fjordlandu).
- klimatická - růst stromů není podmíněn předcházejícími faktory, je omezen jako výsledek působení klimatických faktorů.

1.2 Limity růstu stromů na horní hranici lesa

Současné hypotézy vysvětlující polohu HHL se zabývají zejména klimatickým stresem, disturbancemi, zápornou uhlíkovou bilancí, limitem tvorby rostlinných buněk a pletiv, nízkým příjmem živin, nízkou tvorbou a vitalitou semen (WIESER 2007, KÖRNER 1998).

HHL závisí na tepelné bilanci, která je obecně klesající se zvětšující se nadmořskou výškou. Nízké teploty ve vysokých nadmořských výškách mohou zapříčinit omezení růstu buněk a formování rostlinných pletiv (KÖRNER et PAULSEN, 2004). Udává se, že poloha horní hranice lesa souvisí s průměrnou izotermou nejteplejšího měsíce 10 °C (KÖRNER, 1998), tento údaj však není globálně platný – i ve střeoevropských pohořích se klimatická hranice lesa nachází v rozmezí 7 – 11°C (KÖRNER et PAULSEN, 2004). Dále se udává minimální doba vegetačního období 2,5 měsíce ve vysokých zeměpisných šířkách, nebo nadmořská výška s minimální teplotou vegetační sezony od 5,5 do 7,5 °C (KÖRNER, 1998), přičemž samotná délka vegetačního období není až tak rozhodující. Při této teplotě ještě dochází ke vzniku nových buněk a rozvíjí se pletiva vyšších rostlin. Tento teplotní parametr má nejnižší rozptyl na HHL v globálním měřítku. Zachycuje nejen snížení HHL ve vysokých nadmořských výškách, vysokých zeměpisných šířkách, ale i snížení HHL lesa v tropech, kde je v závislosti na tropické oblačnosti snížen příjem slunečního záření. KÖRNER (1998) tedy předpokládá, že existuje minimální teplota umožňující produkci nových buněk a vývoj pletiv vyšších rostlin, tedy faktor nezávislý na uhlíkové bilanci. Tuto hypotézu experimentálně potvrzuje ve své práci např. ROSSI et al. (2007), který v průběhu tří let studoval na dvou místech v italských Alpách tvorbu

xylemu u třech druhů stromů (*Larix decidua*, *Picea abies*, *Pinus cembra*). Práh průměrné denní teploty vzduchu pro tvorbu xylemu byl zjištěn v rozmezí 5,6 – 8,5 °C.

Vlivem korunového zápoje lesa dochází k vytváření „chladných půd“, které brzdí aktivitu kořenů. Kořenový meristém stromů nemůže vlivem zastínění využít radiační ohřev během dne, stromy nad HHL však ano (KÖRNER et PAULSEN, 2004). Právě vyšší teploty mají větší vliv než zvýšená fotosyntetická aktivita vlivem vyšší radiace. Je také nutné vytvoření a dozrání dostatečné tloušťky stěny epidermálních buněk a kutikuly ve vegetační sezóně, aby nedocházelo k mrazovému vysychání (TRANQUILLINI, 1979).

Důležitý je také výskyt mykorhizních hub a dalších půdních mikroorganismů, jejichž četnost obecně klesá s rostoucí nadmořskou výškou (WIESER, 2007). SVEINBJÖRNSSON (2000) považuje za významný prvek ovlivňující polohu HHL nedostatek živin. Půdy chudé na živiny, především na dusík, mohou být limitujícím faktorem pro polohu HHL. Transport živin může ovlivnit nízká diverzita mykorhizních hub nebo fyziologická neschopnost příjmu živin kořeny při nízkých půdních teplotách. SVEINBJÖRNSSON (2000) dále uvažuje jako limitující faktor zápornou uhlíkovou bilanci. Omezení růstu na základě nedostatečné uhlíkové bilance nebylo prokázáno, uvádí se, že je strom na horní hranici lesa schopen nahradit ztrátu uhlíku za zimní období během jednoho až dvou teplých dní vegetačního období (WIESER, 2007).

Dalším z faktorů ovlivňujících růst stromů ve velkých nadmořských výškách na HHL je mrazové vysychání (WIESER, 2007). K mrazovému vysychání může docházet hlavně v závěru zimy nebo na počátku jara, kdy meteorologické situace mohou vyvolat vyšší teploty, které působí zejména větve stromů a podporují transpiraci. Je-li půda zmrzlá nebo velmi studená, nemůžou být ztráty vyvolané vyšší transpirací nahrazeny, vodní bilance stromu se stává zápornou a dochází k odumírání buněk. Náchylnější jsou zejména mladší jedinci, průvodním jevem je zčervenání jehlic v jarním období a jejich rychlé odumření (ČERMÁK et al., 2004). Mrazové vysychání však nemůže být hlavním faktorem ovlivňujícím vytvoření hranice lesa, neboť podmínky pro něj nejsou splněny ve všech pohořích (KÖRNER, 2003).

Dalším omezujícím faktorem jsou disturbance, jako laviny, zatížení sněhem, ledem, poškození větrem. Vítr může zvýšit vliv evapotranspirace, odváním sněhu může dojít k porušení ochranné sněhové vrstvy před mrazem. Studené větry urychlují proniknutí studených teplot na sněhem nechráněné lokality, čímž zvyšuje efektivitu mrazového vysychání. Vyschlé výhonky pak lépe podlehnou mechanickému zničení. Vítr může způsobit i mechanický obrus krystalky sněhu – výrazné poškození kutikulárního vosku, čímž klesá odolnost vůči ostatním vlivům (VACEK, 1984). K dalšímu mechanickému poškození stromů může vzniknout díky námraze (polomy).

Sněhová pokrývka ovlivňuje výrazně délku vegetačního období. Může chránit před okusem zvěří a fotooxidačním stresem semenáčky a menší stromky. Na druhou stranu je však může zbavit odolnosti na mráz, čímž mohou být v dalším období lehčeji zničeny. Vlivem konstantní teploty pod sněhovou pokrývkou může také dojít k snazšímu napadení stromku parazity (VACEK, 1984).

Dalším stresorem může být vysoká radiační aktivita (VACEK, 1984), kdy vlivem odrazu od sněhu je nad zapojeným lesem až dvojnásobná intenzita záření. Vlivem záření dochází k redukci chlorofylu a žloutnutí jehlic. Pod souvislou sněhovou pokrývkou může docházet k hypoxii, nedostatku kyslíku. Během zimy dochází k transformaci krystalů sněhu, ke kompakci, utužování pokrývky. Pak dochází u částí stromů přikrytých touto kompaktní vrstvou k anaerobnímu stresu, kdy dochází k odumírání pletiv.

Vlivem lavin dochází k orografickému stlačení HHL směrem do údolí. Cca 80 % lavin v Krkonoších sjíždí do ekotonu HHL, s frekvencí 1 až více jak 21 let (maximální zjištěná doba opakování 44 let (KOCIÁNOVÁ a SPUSTA, 2000). Ale na většině drah (60% podíl) sjíždějí dle Kociánové a Spusty (2000) laviny s frekvencí jedna až pět let, tzn. že je na většině lavinových drah HHL trvale snížena (nestačí se přirozeně obnovovat). Velké laviny vylámou les až do délky 300 m za konec lavinové dráhy.

Dalším faktorem je i snížená klíčivost semen při HHL a obecně snížená schopnost uchycení se v konkurenčním prostředí alpských trávníků a borovice kleče. Je nutná dobrá kvalita semen, vhodné prostředí pro uchycení a příznivé počasí během první sezony růstu. Vlivem špatné kvality semen ze stromů na HHL pochází množství zmlazených jedinců ze semen přivátých větrem nebo zavlčených zvířaty. Uchycení jedinců nad hranicí souvislého lesa je častovázáno na nějaký fyzický objekt (např. skálu), který vytváří specifické mikroklima a chrání tak jedince např. před vlivem větru, kolísání teplot ad. (GERMINO et al., 2002).

Důležitým činitelem ovlivňující výšku HHL je také kompetice stromů tvořících hranici lesa s křovitými dřevinami (např. *Pinus mungo*) a druhy tvořícími trávníky nad hranicí lesa.

Poloha HHL je závislá na lokálních topografických podmínkách, zejména na sklonu a orientaci svahu.

1.3 Vliv expozice svahu na HHL

Množství slunečního záření dopadajícího na svah závisí na jeho expozici a sklonu (HOLTMEIER et BROLL, 2005). PAULSEN a KÖRNER (2001) nenalezli při GIS analýze na území švýcarských Alp rozdíly v poloze klimatické hranice lesa na severní a jižní expozici. Rozdíly v délce vegetační sezony, době trvání sněhové pokrývky (v Alpách na severním svahu o

měsíc delší než na jižním), nemají vliv na HHL, ale pouze na jeho fragmentaci (lavinové dráhy, sněhová pole), což koresponduje s teorií, že poloha HHL v humidním klimatu závisí na podobné izotermě, nezávisle na zeměpisné šířce a délce vegetační sezony. Na severním svahu byly v Alpách často zaznamenány větší radiální přírůsty než na jižním (OTT 1978 in PAULSEN et KÖRNER, 2001). V humidních oblastech se zpravidla setkáváme s vyšší polohou hranice lesa ve výhodné expozici (HOLTMEIER, 2009). Na severních svazích bývá limitujícím faktorem teplota, na jižních svazích potom množství srážek (MÄKINEN et al, 2001).

Expozičním efektem ve Vysokých Sudetech se zabývali TREML a BANÁŠ (2008), kdy byly zjišťovány korelace mezi potenciálním tepelným požitkem (závislý na expozici) a výšky HHL. Nejvyšší polohy HHL v Krkonoších byly zjištěny na svazích s příznivou expozicí. Měření teplot v koruně stromů a v kořenové zóně však nebyly nalezeny výrazné expoziční rozdíly, v polohách na horní hranici lesa byly teploty o něco nižší na severním svahu, ve stromových skupinkách pak byly naměřené teploty mírně vyšší na severním svahu. Ke stejným výsledkům dospěla i PONOCNÁ (2009).

1.4 Tloušťkový přírůst

Velikost tloušťkového přírůstu závisí na mnoha faktorech, nejdůležitějšími jsou (DRÁPELA, 1995):

vlastnosti dřeviny, stanovištní podmínky, sociální postavení stromu v porostu, klimatické podmínky, poškození biotickými a abiotickými činiteli. Velký vliv má sociologické postavení stromů, kdy jsou velké rozdíly v tloušťkovém přírůstu dominantních a nedominantních jedinců.

Při prudkých změnách vnějších podmínek může dojít k vytvoření tzv. dvojitých letokruhů (za jeden rok se vytvoří dva), nebo se letokruh nemusí vytvořit vůbec, strom daný rok prakticky tloušťkově nepřirůstal (tzv. chybějící letokruhy). Oba případy způsobují problémy při křížovém datování letokruhových řad, kdy záleží na subjektivním názoru zpracovatele, zda správně určí chybějící či dvojitý letokruh.

Rozložení tloušťkového přírůstu na kmenech na HHL výrazně ovlivňují drsné podmínky růstu (sklon terénu, vítr), což vede k odchýlkám ve směru maximálního tloušťkového přírůstu strom od stromu.

Na kmenech starých stromů (nebo na starších částech kmene) lze nalézt užší letokruhy než na mladších kmenech, což se může projevit v zmenšující se tloušťce letokruhu od středu směrem ke kůře (COOK et al., 1990). Stromy s větším průměrem kmene mají více kambiálních buněk podél obvodu a proto je menší potřeba radiálních buněk pro zabezpečení rozvodu vody po vrchol stromu. ROSSI et al. (2007) uvádí, že u starých stromů (>200 let) dochází k posunu

začátku vegetačního období o 2-3 týdny později oproti mladým dospělým jedincům (50-80 let). U starých stromů zároveň dochází k poklesu produkce buněk o 15 – 30 % oproti mladým jedincům.

2. Fyzickogeografická charakteristika území

2.1 Vymezení studovaného území

Krkonoše zaujímají celkovou plochu 631 km², z toho 177 km² leží v Polsku (SÝKORA, 1983). Nejvyšší horou je Sněžka, 1602 m n. m. Nejvyšší částí pohoří jsou dvě rovnoběžná pásma zhruba ve směru severozápad – jihovýchod. Vnější pohraniční hřbet je vyšší, patří k němu sledovaný vrchol Violík (Labski Szczyt). Vnitřní český hřbet je nižší, je rozdělený údolím Labe na dvě části. V jeho západní části je pak dvojice sledovaných vrcholů – Kotel a Lysá hora. Na polském území svahy vnějšího hřbetu ostře spadají k severu. Vrcholové části Krkonoš jsou až na výjimky ploché, přecházející v mírné svahy, které se zpříkřují až v určité vzdálenosti od vrcholových partií. Studované plochy jsou umístěné na svazích pod vrcholovými plošinami v nadmořských výškách 1250 – 1300 m (HHL) a 1380 – 1410 m (stromové skupinky).

2.2 Geologická a geomorfologická charakteristika

Geologicky náleží Krkonoše ke krkonoško-jizerskému krystaliniku, které je budováno komplexem metamorfovaných hornin proterozoického až spodně paleozoického a mohutnou intruzí krkonoško-jizerského granitového plutonu variského stáří, který tvoří vrcholové části (SÝKORA, 1983). Ve východní části se vyskytují krkonošské ortoruly s různými typy krystalických břidlic.

Geomorfologicky náleží do Krkonoško-jesenické subprovincie, Krkonošské oblasti (PILOUS, 2007). Geomorfologický vývoj Krkonoš lze sledovat zhruba od poloviny třetihor. Do té doby se v teplém a vlhkém tropickém podnebí vyvíjely zarovnané povrchy procesem peneplenizace. Až třetihorní alpínské vrásnění při tektonických pohybech podél zlomů způsobilo etapovitě vyzdvižení pohoří. Vyzdvižením došlo k zesílení říční eroze a vytváření

hlubokých údolí Úpy, Labe a Jizery zpětným zahlubováním směrem do nitra pohoří.

K výrazné modelaci docházelo ve čtvrtohorách. Došlo k velkému ochlazení klimatu, krkonošská horská údolí byla vyplněna horskými údolními ledovci alpského typu, které po sobě zanechaly přemodelovaná říční údolí. Dalším pozůstatkem zalednění jsou kary (např. Kotelní jámy), pozůstatky morén, ledovcová jezera na polské straně hor. Na svazích vznikaly mrazové sruby, kryoplanační terasy, kamenná moře. Na vrcholových plošinách se vyvinuly polygonální půdy (KRÍŽEK et al., 2007).

V holocénu převažuje mezi geomorfologickými procesy vodní eroze, doplněná některými dalšími jevy, jako jsou svahové procesy (stékání svahových uloženin a řízení skal, dále procesy lavinové a nivání (SÝKORA, 1983). Významným činitelem je rovněž člověk a jeho působení.

2.3 Podnebí

Dle QUITTA (1971) je hřebenová oblast Krkonoš řazena do chladné klimatické jednotky značené Ch 4, která je charakterizována velmi krátkým létem, které je chladné a vlhké, přechodné období je velmi dlouhé s chladným jarem a mírně chladným podzimem. Zima je dlouhá, velmi chladná, vlhká s dlouhým trváním sněhové pokrývky. Střední polohy patří do jednotky Ch 6 a nižší do Ch 7. Největší oblačnost je v listopadu – prosinci, nejmenší v září, maximum slunečního svitu pak v květnu (SÝKORA, 1983). Časté jsou zimní inverze. Nejnižší teploty jsou v Krkonoších v lednu, nejvyšší v červenci. Dlouhodobé průměrné roční teploty v nejvyšších polohách (v prostoru Sněžky, Luční a Studniční hory) dosahují 0-1 °C, na stanici Sněžka je dlouhodobý průměr 0,4 °C (období 1961 - 1990), na Labské boudě 2 °C (období 1961 - 2000) (METELKA et al, 2007).

Rozložení srážek má dvě maxima, v červenci a v prosinci, minima v dubnu a září. Nejvyšší srážkové úhrny jsou ve vyšších partiích Krkonoš. Na západě spadne větší množství srážek než na východě, díky převládajícímu větrnému proudění od západu. Ve vrcholových částech spadne průměrně 1600 mm (průměr za roky 1931 – 1960). Na Sněžce spadlo v letech 1961 – 1990 průměrně 1261 mm srážek za rok, na Labské boudě v období 1961 - 2000 1459 mm za rok (METELKA et al, 2007).

Sněhová pokrývka vyšší jak 10 cm se na hřebenech vyskytuje průměrně 150 – 170 dní, vyšší než jeden metr pak 50 – 90 dní. Součet množství nového sněhu na hřebenech se pak pohybuje kolem 5 – 6 m. Sněžení se může vyskytnout prakticky kdykoli během roku,

na hřebencech je první sníh průměrně již v polovině září, poslední sněžení pak koncem května (METELKA et al, 2007).

2.4 Půdy

Převládajícím geologickým podložím Krkonoš je krystalinikum, které je poměrně kyselým podložím. Jako půdotvorné substráty se uplatňují především zvětraliny žul, méně pak ortorul a svorů. Převládají zde tedy půdy minerálně chudé. Vlhkostně jsou díky srážkovým poměrům příznivé (VACEK et al., 2006).

Ve sledovaných horských polohách dominují v Krkonoších podzolové půdy. Podzoly se vyskytují v místech rozšíření původních horských smrčín, zasahují i do subalpínského pásma s klečovými porosty (SÝKORA, 1983). Dále zde lze nalézt organozemě v depresích na vrcholových plošinách a ve vrcholových partiích Kotle a Vysokého Kola se ostrůvkovitě vyskytují rankery.

2.5 Vegetace

V Krkonoších jsou vyvinuty čtyři vegetační výškové stupně: submontánní (400 – 800 m. n. m.), montánní (800-1200 m n. m.), subalpínský (1200 – 1450 m n.m.) a alpínský (1450 – 1602 m n. m.) (ŠTURSA, 2007). Z hlediska práce je zajímavý zejména montánní stupeň tvořený horskými smrčínami. Mezi bylinami převládají kaprad'orosty a traviny, na vlhčích místech převládá nivní vegetace. V subalpínském stupni se vyskytují nejcennější ekosystémy Krkonoš – klečové porosty, přirozené i druhotné smilkové louky a rašeliniště. Nejvyšší vrcholky (Sněžka, Studniční a Luční hora, Vysoké Kolo, Kotel) spadají do alpínského stupně, jsou pokryty řídkou vegetací – bylinami, mechorosty a lišejníky.

2.6 Horní hranice lesa v Krkonoších

Západní Krkonoše jsou ovlivněny silnými západními větry – zejména anemoorografického systému lokálního větru Mumlavy (JENÍK 1961). Na polské straně tento jev chybí. Na vegetaci je tento jev projeven četnými vlajovými formami stromů.

Pro Vysoké Sudety je typické situování hranice lesa pod okraji zarovnaných povrchů na vrcholu (TREML, 2007). Na okrajích plošin dochází ke zhoršení růstových charakteristik, i když dojde k etablování stromů na plošině, exponované okraje zůstávají často bez stromů.

HHL v Krkonoších je tvořena smrkem ztepilým (*Picea Abies*), nachází se pod vrcholovými etchplénovými plošinami (TREML, 2004). Polohy nad HHL jsou tvořeny porosty borovice kleče a aplínskými trávníky, které kompetičně omezují další zdvih HHL. HHL je pod antropogenním vlivem již od 12. století (TREML, 2004), průměrný pokles HHL vyvolaný člověkem je cca 20 m (JENÍK a LOKVENC, 1962). HHL v Krkonoších je výrazně ovlivňována murami a lavinami. Pro oblast HHL jsou typické lavinové formy smrku, zvýšená diverzita stromů na lavinových drahách, prohnutí kmene po spádnici nebo vlivem větru jednostranně sčesané vlajkové stromy (JENÍK, 1961).

V západních Krkonoších je ekoton hranice lesa široký, 48% podíl ekotonu je širší než 100 m, užší ekoton se pak vyskytuje na lavinových drahách nebo kamenných mořích (TREML a BANÁŠ, 2000). Průměrná nadmořská výška HHL v Krkonoších je 1230 m, HHL zasahuje maximálně do výšky 1340 m n. m., její délka byla určena na 124 km (TREML a BANÁŠ, 2000). Jeník udává průměrnou výšku HHL na vrstevnici 1250 m (JENÍK a LOKVENC, 1962), na polské straně pak HHL dosahuje ve výšce 1250 m téměř svého maxima (BUGAJSKI a NOWINSKI in KOCIÁNOVÁ a SPUSTA, 2000). Náhorní plošiny zřejmě zalesněny v holocénu nebyly, o čemž svědčí přítomnost fosilních strukturních půd (KŘÍŽEK et al, 2007). Ve 20. století byl zaznamenán trend vzestupu HHL na místech, která byla v minulosti ovlivňována budním hospodářstvím (LOKVENC, 1978).

JENÍK (1961) rozlišuje tyto hlavní synmorfologické typy HHL ve Vysokých Sudetech:

- a)** Parkovitá hranice lesa se smrkem: velmi pozvolný gradient rozpadu zapojeného lesa, jednotlivé smrky vystupují vysoko do sousedních bylinných alpínských společenstev, vytvořena hlavně na návětrné části anemoorografických systémů, v Krkonoších hlavně na Rýchorech
- b)** Parkovitá hranice lesa se smrkem a kosodřevinou: charakteristický typ pro Krkonoše, kde je kosodřevina původní. Do uvolněného zápoje smrku navíc proniká borovice kleč (*Pinus mungo*). „Pásmo boje“ - přechodná zóna mezi smrkem a klečí je roztaženo do širšího pruhu.
- c)** Sevřená hranice lesa se smrkem: náhlé ohraničení smrkového porostu, vyvolané převážně periodickými zásahy sněhových lavin. Tomuto typu se také přibližuje umělá hranice lesa v sousedství mýtin.
- d)** Sevřená hranice lesa s bukem: reliktní typ dochovaný v některých krkonošských jámách

2.7 Antropogenní ovlivnění

Člověk začal ovlivňovat krajinu Krkonoš pravděpodobně až ve 12. - 13. století (VACEK et al., 2007). Do té doby pohoří pokrývaly rozsáhlé smíšené člověkem neovlivňované lesy. V lesích převládaly buk lesní, jedle bělokorá a smrk ztepilý s příměsí borovice lesní, břízy bělokoré a pýřité, javoru klenu ad. Nad hranicí lesa pak přicházely lesy v různé zapojené porosty borovice kleče. Bylinná nelesní vegetace pokrývala pouze nejvyšší vrcholy Sněžky, Studniční hory a Vysokého Kola, případně kamenná pole, sutě nebo lavinové svahy (do bezlesí lze počítat i polská jezera nebo vrchoviště). Struktura krajiny Krkonoš byla následující: 89,2 % lesy, 10,0 % křovinná a klečová vegetace, 0,8 % primární bezlesí (VACEK et al., 2007).

Ve 13. století docházelo s rozvojem feudalismu (rozvoj důlní činnosti, hutí, skláren => zvýšení poptávky po dřevu) k první kolonizaci. Kolonisté odlesňovali přidělenou půdu, klučili a žďářili lesní porosty, přeměňovali je v pole, louky a pastviny. Postupně byla vlivem devastační těžby vytěžena převážná část smíšeného lesa, nastal prudký pokles zastoupení jedle, javoru klenu, buku lesního. Docházelo k navyšování podílu smrku ztepilého, jak přirozenou cestou tak i vlivem umělé výsadby. V polovině 18. st. se pak přešlo výhradně na umělou sadbu – převážně smrkem.

Rozvoj budního hospodářství pak znamenal rozlehlé odlesňování. Dobytek se pásal i v lese, což mělo vliv na přirozené zmlazení porostů. Chov dobytka zasáhl i do prostor nad hranicí lesa, docházelo ke kácení klečí a na náhorních plošinách vznikly louky pro pastvu. Rozsah pastvy se výrazně snížil až po 1. světové válce (LOKVENC, 1995).

Vzhledem k nepříznivému uspořádání terénu na polské straně hor nedošlo k rozsáhlému rozvoji budního hospodářství, zásahy do porostů na hranici lesa tedy byly mnohem méně výrazné (LOKVENC, 1995).

Zlepšení stavu lesů přišlo s rozsáhlou zalesňovací aktivitou motivovanou vodohospodářskými zájmy v období let 1880 - 1913. Docházelo k výsadbě hlavně kleče, méně smrku a limby. Od roku 1952 do roku 1992 pak docházelo k zalesňování především klečí. Od roku 1860 do docházelo ke znovuzalesňování nevyužitých zemědělských ploch, především smrkem (nej. rozsah 1900 – 1935) (VACEK et al., 2007).

Výrazné zásahy přišli s budováním opevnění v letech 1936 – 1938 spojené s vytvářením střeleckých průseků a zákopů, byla vybudována Masarykova horská silnice. V padesátých letech začalo velkoplošné zalesňování zemědělské půdy (vrchlová část Rýchor) smrkovými monokulturami.

V 60. letech docházelo k růstu škodlivin v ovzduší, zejména vlivem rozvoje těžkého a chemického průmyslu a uhelných elektráren, a to nejen z ČSSR, ale i sousedních PLR a NDR.

Koncem 70. let byly oslabené smrkové porosty napadeny obalečem modřínovým. Porosty byly v letech 1981 – 1989 silně poškozeny imisemi (hlavně oxidu siřičitého), v polohách nad 900 m n. m. Docházelo k rozsáhlému odumírání porostů, za spolupůsobení suchých období v létě a silného přemnožení kůrovců. Od 2. poloviny 70. let bylo v Krkonoších zaznamenáno velké snížení tloušťkového přírůstu smrku, které vrcholilo roku 1983, období růstové deprese někde trvalo až do roku 1989 (KROUPOVÁ, 2002). Porosty nad HHL vlivem své exponovanosti zachytily mnohem více škodlivin (VACEK, 1984). Ovlivněny byly i sledované lokality v turbulentním prostoru anemoorografického systému Mumlavy v Labském dole/na svahu Violíku.

3. Materiál a metodika

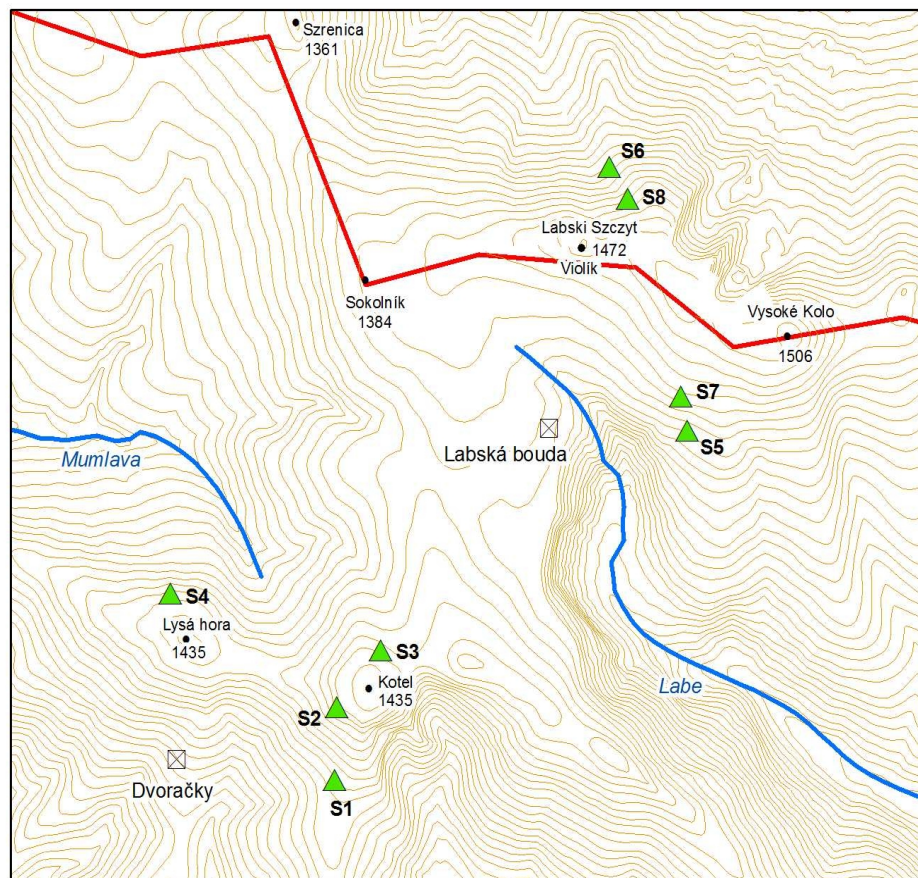
Na osmi v terénu určených stanovištích byly odebrány vzorky, sloužící po jejich zpracování k zjištění velikosti tloušťkového přírůstu a věkové struktury. Vzorky byly datovány, detrendovány, byla zjišťována odezva stanovištních chronologií k teplotám vzduchu. Dále byly pro každé stanoviště vytvořeny RCS křivky (tj. křivky růstu stromů nezávislé na kalendářních letech), byly rovněž analyzovány významné roky (pointer years). Samostatnou částí pak byla analýza věkové struktury porostů na jednotlivých plochách.

Na začátku května 2010 byla zjišťována mocnost sněhové pokrývky.







3.1 Stanoviště

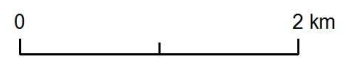
Stanovištěm se v práci rozumí zájmová plocha, tj. plocha, ze které byly odebírány vzorky pro analýzy. Bylo vymezeno celkem osm stanovišť (viz. Obrázek 1), dvě na jižním (severním) svahu na HHL, dvě na jižním (severním) svahu ve stromových skupinkách. Stanoviště byly vymezeny v terénu ve fyziognomicky podobných podmínkách (podobná výška stromů, malé zastoupení kleče). Odpovídající si stanoviště leží ve zhruba stejné nadmořské výšce (viz Tabulka 1).

Obrázek 1: Lokalizace stanovišť



Legenda

-  stanovište
-  významný bod
-  vrchol
-  vodní tok
-  vrstevnice po 20 m
-  státní hranice



Tabulka 1: Přehled stanovišť

lokality	kategorie	orientace svahu	nadmořská výška (m n. m.)	sklon (°)	GPS souřadnice
S1	HHL	JZ	1250	14	N50 44.800 E15 31.600
S2	skupinky	JZ	1380	33	N50 45.064 E15 31.562
S3	skupinky	S	1390	17	N50 45.292 E15 31.793
S4	HHL	SZ	1280	19	N50 45.394 E15 30.478
S5	HHL	J	1320	17	N50 46.215 E15 33.489
S6	HHL	S	1290	10	N50 47.132 E15 32.840
S7	skupinky	J	1390	15	N50 46.344 E15 33.432
S8	skupinky	S	1380	12	N50 47.044 E15 33.006

3.2 Odběr a zpracování vzorků

Z každého stanoviště byly odebrány vývrty z dvaceti stromů pro účely stanovení velikosti tloušťkového přírůstu. Vývrty byly odebírány z dominantních, příp. kodominantních živých stromů – jedinců smrku ztepilého (*Picea abies*). Vývrty byly odebírány Presslerovým nebozecem ve směru po vrstevnici, ve snaze eliminovat výskytu reakčního dřeva, ve standardní výšce cca 1,3 m nad patou kmene. Vzhledem k nízké výšce jedinců byly vývrty ve stromových skupinkách odebírány ve výšce cca 0,5 m nad zemí.

Kromě samotných vývrťů byly zjišťovány ještě další doplňující dedrometrické údaje, jako je výška stromu, délkové přírůsty na větvích za posledních 10 let, obvod stromu ve výšce odběru vzorku, výška odběru vývrťu. Výška stromu byla u stromů na HHL určena odhadem (změřením výšky jistého významného bodu na kmeni stromu metrem a následným odhadem zbylé výšky porovnáním se známým údajem). Přesnost odhadu po konfrontaci s měřením výškoměrem odhadujeme na $\pm 0,5$ m. U stromových skupinek pak byly stromy měřeny kompletně metrem, od špičky stromu k patě kmene. Přírůsty na větvích za posledních deset let byly zjištěny pomocí počítání délky větví posledních deseti přeslenů (terminální poslední sezony počítán nebyl). Tyto údaje jsou dostupné v Příloze 2.

U každého stromu byly zjišťovány GPS souřadnice (viz Příloha 1).

Vzorky byly odebrány v období konec července – září 2009, letokruh za rok 2009 není v práci uvažován jako plně vytvořený, poslední analyzovaný letokruh je za rok 2008.

Vzorky byly průběžně popisovány a nalepovány do dřevěných lišt, sloužících k jejich stabilizaci. Následně byly zbrušeny hrubým až jemným brusným papírem do roviny. Poté proběhlo jejich změřením na posuvném stole propojeným s PC se softwarem PAST4, kam byly odečtené hodnoty importovány a přeměněny v sérii absolutních šířek letokruhů. Měření

probíhalo s přesností setiny mm pod binokulární lupou.

Během zpracování nebo měření vývrtů bylo vyřazeno celkem 8 vzorků pro zjištění tloušťkového přírůstu z důvodu fyzického poškození (vícenásobné rozlámání) nebo znehodnocení vzorku vlivem výskytu poruch (např. větev, suk, shnilý úsek).

3.3 Datování

Vzhledem k předpokladu možných chybějících letokruhů, zejména pak v 80. letech 20. století, bylo provedeno křížové datování. Datování probíhalo manuálně, pomocí vizuální synchronizace s využitím pomocných statistik v programu PAST4 (koeficient souběžnosti, korelační koeficient, T-test (KNIBBE, 2007). Klíčem pro synchronizaci byly významné lokální extrémy jak v rámci stanoviště, tak v rámci Krkonoš – chronologie JANDY (2008). Nejprve byly synchronizovány dvě strany každého jednoho vývrtu, pokud byla shledána jedna strana vzorku nevyhovující (poruchy, reakční dřevo), byla vynechána a pouze vyhovující strana vývrtu byla považována za vzorek pro celý strom, v opačném případě byl celým vzorkem aritmetický průměr obou stran vývrtu. Dále byly mezi sebou porovnávány série za jednotlivé stromy v rámci stanoviště, následně ještě probíhala synchronizace se standardní chronologií pro Krkonoše (JANDA, 2008). Křížovým datováním byly eliminovány chybějící, případně zdvojené letokruhy. Doplněným letokruhům byla přiřazena hodnota 0 (a tyto dále nevstupovaly do výpočtu stanovištní chronologie), v případě zdvojených letokruhů byla tloušťka eliminovaného letokruhu připočtena k následujícímu nebo předcházejícímu.

Při zpracování vzorků občas docházelo k znehodnocení konce vývrtu (např. odlomení borky s posledním jedním či více letokruhy při broušení), proto nemají některé vzorky datované letokruhy až do roku 2008.

152 křížově datovaných vzorků bylo podrobena statistické analýze v programu COFECHA, kde byly empiricky vyloučeny vzorky vykazující extrémní odchylky (slabě korelovaly) oproti standardní skupině. Vlivem extremity prostředí na ekotonu horní hranice lesa, excentricity kmene (reakční dřevo), mládí stromků ve stromových skupinkách ad., byla zpracovávaná skupina očištěna o dalších 48 vzorků, do dalších analýz bylo použito zbývajících 104 vzorků.

3.4 Stanovištní chronologie

Pro vypočtení stanovištních chronologií jednotlivých lokalit byl použit software ARSTAN (COOK, 1985). Pro odstranění věkového tredu byla u analyzovaných sérií nejprve

zajištěna vyrovnanost rozptylu (homoskedasticita) pomocí mocninné transformace (adaptive power transformation (COOK et PETERS, 1981). Transformované série pak byly shlazeny kubickým splinem v délce padesáti procent série. Tento způsob detrendování byl zvolen pro co nejlepší zachování vysokofrekvenčního signálu. Z každé série pak byly vypočteny letokruhové indexy.

Jednotlivé indexované chronologie z daného stanoviště pak byly zprůměrovány robustním průměrem, čímž byla vytvořena stanovištní standardní chronologie. Zároveň byla vytvořena i stanovištní reziduální chronologie (zprůměrováním reziduálů). Vlivem velké míry autokorlace standardní chronologie byla pro analýzu vztahu mezi tloušťkovým přírůstem a teplotními charakteristikami použita reziduální chronologie. Části stanovištních chronologií, které byly pokryty méně než pěti vzorky, byly oříznuty a do dalších analýz nevstupovaly.

Dále byly vytvořeny souhrnné kategorie ALL (zahrnující všechny stromy), HHL (zahrnující všechny stromy na HHL), SKUP (zahrnující všechny stromy ve stromových skupinkách), JIH (všechny stromy na jižní expozici) a SEVER (všechny stromy na severní expozici). Hodnota indexu každé souhrnné kategorie byla získána jako vážený průměr hodnot indexu za stanoviště (vážený počtem stromů na stanovišti).

Jako popisné charakteristiky sloužily průměrná šířka letokruhu, průměrná citlivost a vyjádřený populační signál (EPS).

Průměrná citlivost (mean sensitivity) chronologie je ukazatel, který indikuje jak jsou radiální přírůsty na stromech citlivé na enviromentální faktory. Je to meziroční relativní změna v šířce letokruhu. Průměrná sensitivita pozitivně koreluje s mezisériovými korelacemi, stromy se silnějším společným signálem jsou více citlivější. Průměrná citlivost se pohybuje v závislosti na druhu stromu a regionu od 0,150 do 0,650 (pro jehličnany silně citlivé na sucho) (FRITTS, 1976 in COOK, 1985). Vysoká hodnota citlivosti značí přítomnost značné vysokofrekvenční proměnlivosti série (FRITTS, 1976).

Široce užívaný parametr pro hodnocení síly signálu ve výsledné stanovištní chronologii je Expressed Population Signal (EPS) (WIGLEY et al, 1984). Tento bezrozměrný ukazatel je založen na průměrné mezisériové korelaci mezi všemi sériemi, může nabývat hodnot od nuly do jedné.

$$EPS = \frac{n \cdot r}{n \cdot r - r + 1}$$

kde r je koeficient průměrné mezisériové korelace, n je počet korelovaných sérií (stromů).

Wigley navrhl hodnotu 0,85 za účelem určení dostatečně „replikované“ chronologie, tj. chronologie budované nejmenším akceptovatelným počtem vzorků (HANECA et al, 2005).

Ukazatel EPS byl použit ke zhodnocení spolehlivosti jednotlivých stanovištních chronologií.

Závislost velikosti radiálního přírůstu na teplotních datech byla prověřována pomocí korelační analýzy. Použit byl Pearsonův korelační koeficient, hladina významnosti byla určena $\alpha=0,05$. Korelovány byly indexy residuálních chronologií za jednotlivá stanoviště i indexy souhrnných kategorií (ALL, HHL, SKUP, SEVER, JIH) s průměrnými teplotami postupně za všechny měsíce v roce, za podzimní měsíce v předešlém roce (pX - pXII) a za různé kombinace měsíců ve vegetačním období (V-VI, V-VII, V-VIII, VI-VII). Výsledky korelační analýzy byly znázorněny v tabulkách, zobrazeny byly pouze období, kde se byla prokázána statistická závislost na zvolené hladině významnosti.

Dále byly vytvořeny 11ti leté klouzavé korelační koeficienty indexů reziduálních chronologií za všechna stanoviště a průměrných teplot ve vegetačním období (V-VIII). Klouzavé korelační koeficienty byly zobrazeny v čárovém grafu.

3.5 Růstové křivky dle kambiálního stáří (RC křivky)

Na každém stanovišti došlo k uspořádání jednotlivých naměřených sérií podle kambiálního stáří, tj. nejstaršímu (nejblíže středu stromu) letokruhu byl přiřazen nejnižší biologický věk. Byla uvažována excentricita stromu, nebyl-la ve vzorku přítomna přímo dřeň, byl dopočítán počet chybějících letokruhů jako podíl předpokládané vzdálenosti od středu stromu a aritmetického průměru prvních pěti zachycených letokruhů. Zprůměrováním hodnot příslušných danému biologickému věku byla vytvořena regionální křivka (RC) pro každé stanoviště. V křivce by měly být zachyceny pouze biologické faktory, závislost na věku. Používá se faktu, že jedinci náležící ke stejné biologické populaci mají stejnou základní funkci růstu nezávisle na čase, kdy vyrostli (ESPER et al, 2002). Absolutní velikosti přírůstů se samozřejmě mohou měnit, ale tvar křivky biologického růstu zůstává víceméně stejný. Byly porovnávány rozdíly v průběhu křivek mezi lokalitami.

3.6 Porovnávání šířek letokruhů

Za účelem srovnání absolutních šířek letokruhů v čase na různých stanovištích (expozicích) byly použity následující dvě metody:

A) Ze sérií absolutních šířek letokruhů odstraněn věkový trend. Podle PAULSEN et al

(2000) a VITTOZ et al (2008) byla vytvořena křivka zachycující závislost šířky letokruhu na jeho stáří. K vytvoření křivky bylo použito sérií dlouhých alespoň 20 let.

Celkem 97 sérií bylo uspořádáno podle jejich kambiálního stáří, pro každý rok kambiálního stáří byla vypočítána průměrná šířka letokruhu. Závislost šířky letokruhu a kambiálního stáří byla vynesena do grafu (Obrázek 2), byla zjištěna regresní křivka tuto závislost vyjadřující (modelováno polynomem 2. řádu) – rovnice křivky vyjadřovala funkci závislosti šířky letokruhu na jeho stáří $f(a)$. Z průběhu $f(a)$ bylo vizuálně určeno období, kdy se již šířka letokruhu s věkem nemění (zde 120 let) a byla určena tato šířka jako průměr šířek letokruhů starších 120 let (zde 0,696 mm). Do výpočtu nebylo zahrnuto období pokryté méně než 5 sériemi, tj. s kambiálním stářím > 135 let.

Upravená, detrendovaná šířka letokruhu L se potom vypočítala podle vzorce:

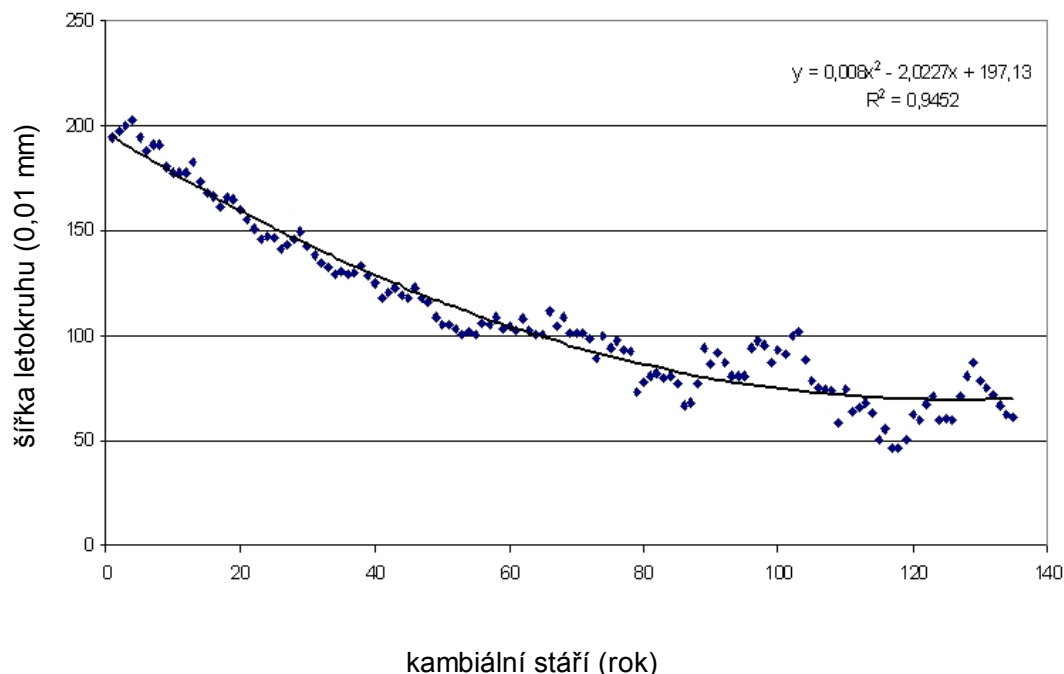
$$L = \frac{0,696 \cdot L}{f(a)}$$

kde L s pruhem je původní, neupravená šířka letokruhu; a je stáří letokruhu;
 $f(a) = 0,008a^2 - 2,0227a + 197,13$

Detrendované šířky letokruhu pak byly opět seřazeny podle skutečného data vytvoření, zprůměrovány pro každé stanoviště a vyneseny do grafu, kde byly vizuálně porovnávány. Opět bylo vyneseno pouze období pokryté 5 a více sériemi. Detrendované šířky letokruhů byly dále podrobeny analýze variance. Sledováno bylo období 60ti let mezi roky 1949 – 2008, které bylo rozděleno do šesti desetiletých intervalů. V těchto intervalech byly spočítány desetileté průměrné přírůsty pro každé stanoviště. Tyto hodnoty pak vstupovaly do analýzy variance.

B) Druhá metoda pak využívala srovnání průměrných tloušťkových přírůstů na vzorku stejně starých stromů na komplementárních lokalitách. Jako stejně staré stromy byly považovány stromy, jejichž stáří se od věkového průměru skupiny odchyluje o ± 10 let (jednalo se zpravidla o starší jednice – viz část Výsledky). Minimální počet stromů pro porovnávání byl stanoven na 10 pro jednu lokalitu. V případě, že nebyl nalezen dostatečně velký počet stejně starých stromů, byly sjednoceny ekvivalentní lokality, bylo-li i na ekvivalentních lokalitách málo stejněvěkových stromů, bylo ad analýzy upuštěno. Opět byly spočítány desetileté průměry přírůstů pro každý strom, které vstupovaly do analýzy variance.

Obrázek 2: Závislost šířky letokruhu a kambiálního stáří



3.8 Porovnání ostatních charakteristik

Dále byly hodnoceny přírůsty na větvích za posledních deset let. Byly spočítány jejich aritmetické průměry a směrodatné odchylky. Průměry byly dále hodnoceny pomocí analýzy variance, byla sledována statistická významnost rozdílů průměrných přírůstů na větvích za posledních deset let na severní a jižní expozici.

3.9 Analýza letokruhových signatur (pointer years)

Analýza letokruhových signatur (nebo též analýza pointer years) je vhodným doplňkem standardní letokruhové a korelační analýzy vlivu klimatických faktorů na radiální přírůst. Je vhodný zejména k vyjádření nízkofrekvenčních (extrémních) jevů, které nelze standardní korelační analýzou plně zachytit (NEUWIRTH et al, 2004).

Letokruhovou signaturou rozumíme rok s výrazně širším (pozitivní signatura) nebo naopak užším (negativní signatura) letokruhem v porovnání s ostatními roky (ELFERTS, 2007).

Pro každý strom byly vypočítány 10leté klouzavé průměry L_p z absolutních hodnot šířek letokruhů L , následně byl určen letokruhový index $I_p = L/L_p$. Jednotlivé roky pak byly

klasifikovány hodnotou n nabývajících hodnot 1, 2, 3 v případě pozitivní signatury, -1, -2, -3 v případě negativní signatury nebo 0 v případě že se nejednalo o signaturu. Klasifikace probíhala na základě rozdílu hodnot I_p od směrodatné odchylky I_p :

- pokud $I_p < |\sigma(I_p)|$, pak $n=0$
- pokud $I_p \geq |\sigma(I_p)| \wedge I_p < 1,5|\sigma(I_p)|$, pak $n=1$
- pokud $I_p \geq 1,5|\sigma(I_p)| \wedge I_p < 2|\sigma(I_p)|$, pak $n=2$
- jinak (pokud $I_p \geq 2|\sigma(I_p)|$) je $n=3$

Takto byl získána signatura pro každý strom, na signaturu pro skupinu všech vzorků byly přepočítány dle NEUWIRTH et al (2004):

$$I = \frac{100}{kn} \sum_{j=1}^k h_i i_j \quad (\%)$$

kde k je počet tříd (zde tedy konstanta 3), n je celkový počet vzorků pro daný rok, n je hodnota třídy (0, 1, 2, 3), h počet stromů s událostí, i je daná třída.

Indexy I za jednotlivé kategorie (všechny vzorky, severní x jižní expozice, HHL x skupinky) pak byly korelovány s teplotními daty (Pearsonův korelační koeficient), korelace probíhala zvlášť pro kladné a záporné hodnoty indexů.

Odděleně bylo hodnoceno souvislé období 1885 – 2005 a období s vyčleněnými lety 1977 – 1990, kdy došlo k neklimaticky podmíněnému ovlivnění růstu stromů, a bylo zde tedy podezření na ovlivnění výpovědnosti závislosti hodnot indexů na teplotních charakteristikách.

3.10 Věková struktura

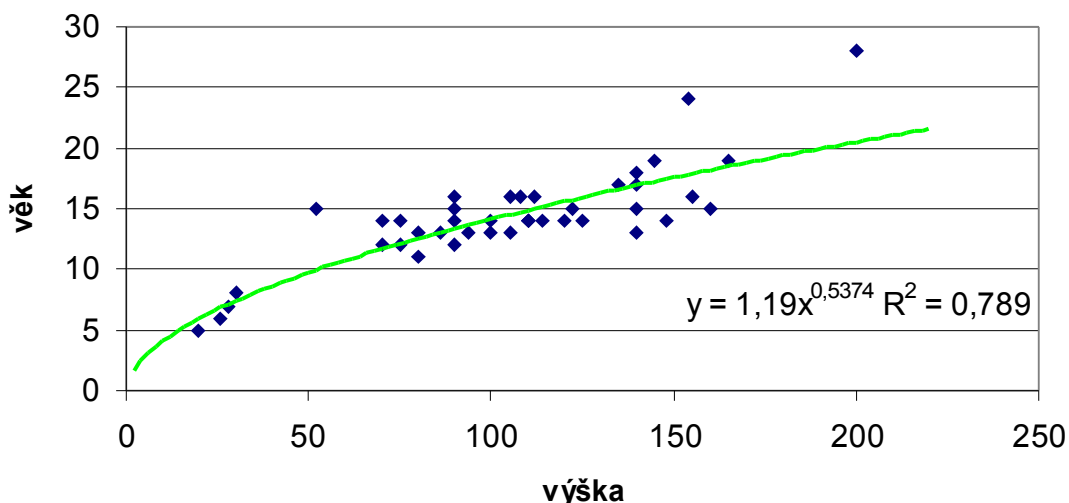
Za účelem zjištění, kdy se jednotlivé stromy v porostu uchytily, byla na všech osmi stanovištích zjišťována věková struktura jedinců smrku ztepilého. Na daném stanovišti byla určena plocha o velikosti 30 (ve směru po sklonu svahu) x 50 m (ve směru po vrstevnici). Hrany plochy byly zaměřeny pomocí GPS přístroje (viz Příloha). Na této ploše byly odebrány vzorky ze všech stromů pro účely zjištění věkové struktury. Vývrty byly odebírány ve výšce cca 30 – 50 cm nad patou kmene. Vyjímkou byly jedinci o průměru kmene menším, než 5 cm, zde byl věk zjišťován počítáním přeslenů. Jedinci nižší než 0,5 m byly považovány za semenáčky, zde byl zjišťován pouze jejich počet. U klonálně vzniklých skupinek byl uvažován jen mateřský jedinec. U mrtvých stromů – souší, byl zjišťován jejich počet a obvod. Dále byl zaznamenáván případný výskyt jiných druhů stromů, než je smrk ztepilý.

Odebrané vzorky byly zpracovány a změřeny stejným způsobem, jako vzorky na

zjištění tloušťkového přírůstu. Byla uvažována excentricita kmene a tedy případné nezachycení středu ve vývrtnu. Podle průběhu letokruhů v blízkosti předpokládaného nezachyceného středu stromu byl lokalizován předpokládaný středový letokruh a jeho vzdálenost od posledního zachyceného letokruhu. Počet chybějících letokruhů pak byl dopočítán jako podíl této vzdálenosti a aritmetického průměru šířky prvních pěti zachycených letokruhů (BATLLORI et GUTIÉRREZ, 2008).

Dále byla uvažována výška vývrtnu. Ze dat, u kterých byl zjišťován počet přeslenů (celkem 38 stromků o výšce do 1,5 m), byla jejich proložením mocninnou funkcí zjištěna rovnice závislosti výšky stromu na jeho věku (viz Obrázek 3), podle níž pak byl dopočítána doba, za kterou strom vyrostl do výšky, ze které byl odebrán vývrt. Rovnice má podobu: $\text{stáří ve výšce vývrtnu} = 1.19 * (\text{výška vývrtnu})^{0.5374}$

Obrázek 3: Závislost stáří stromku (počtu přeslenů) na výšce vývrtnu

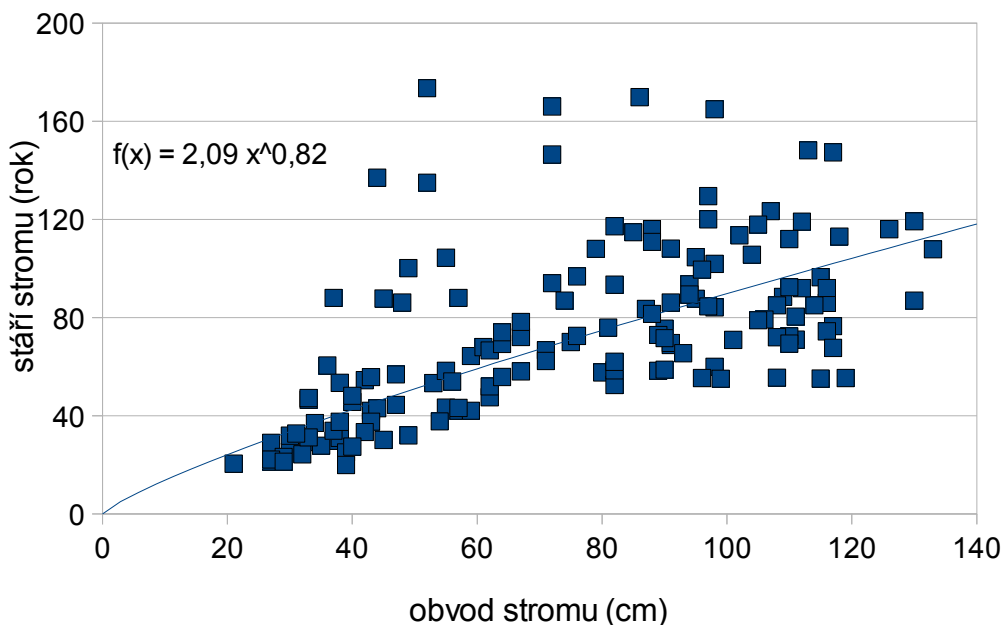


Výsledné stáří jedince pak bylo určeno jako součet počtu naměřených letokruhů, počtu letokruhů dopočítaných vlivem nezachycení středu kmene ve vývrtnu a korekce vlivem výšky vývrtnu.

Do hodnocení věkové struktury byly zahrnuty i suché stromy – souše. U každé souše na stanovišti byl změřen její obvod ve výšce 30 cm. Z dat zjištěných pro určování radiálního přírůstu (obvod stromu ve výšce vývrtnu a kambiální stáří – excentricita kmene byla uvažována) byla odvozena funkce (mocninná regrese, koeficient determinance = 0,52) závislosti věku

stromu na jeho tloušťce (Obrázek 4). Funkce má podobu: věk stromu = $2,09 \cdot (\text{obvod stromu})^{0,82}$

Obrázek 4: Závislost stáří stromu na obvodu



3.11 Odhad rozdílů v délce trvání sněhové pokrývky

Na začátku jara 2010 došlo k měření mocnosti sněhové pokrývky. Na ploše vytyčené pro věkovou strukturu bylo vizuálně odhadem určeno procento plochy pokryté sněhem. Poté byla přenosnou latí na pěti místech pokrytých sněhem změřena mocnost sněhové pokrývky. Z pěti naměřených hodnot byl spočítán aritmetický průměr.

3.12 Klimatická data – teploty

Byla použita měření z meteorologické stanice na Sněžce, kde je řada od roku 1885 nejdelší v krkonošské oblasti (GLOWICKI, 1997). Pro korelace byly používány data od začátku vegetačního období předchozího roku do konce vegetačního období roku tvorby daného letokruhu (tj. od května roku předcházejícího do konce září daného roku) (DRÁPELA, 1995). Dále byly prověřovány korelace průměrné teploty různých částí vegetačního období (různé kombinace po sobě jdoucích měsíců) a průměrné teploty za říjen – listopad roku

předcházejícího. Z důvodu dostupnosti byla použita data za teplotní měření pouze do roku 2005.

4. Výsledky

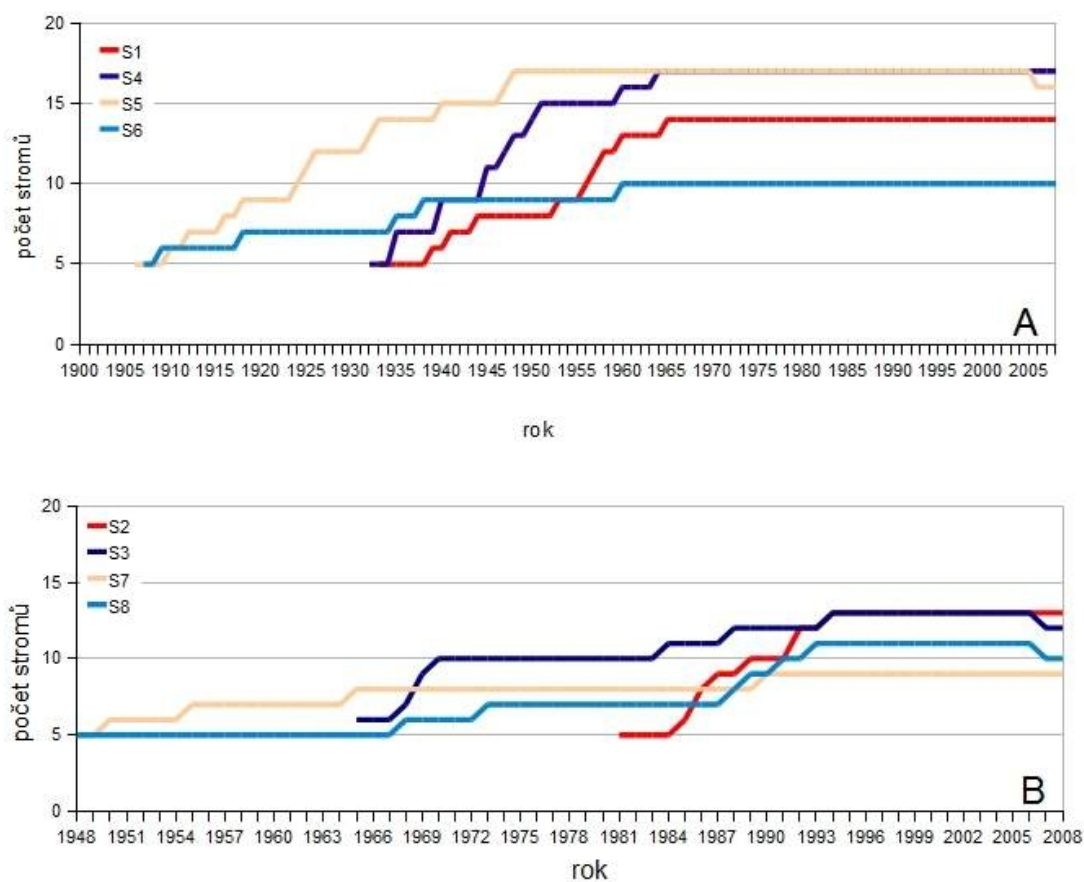
4.1 Základní charakteristiky jednotlivých stanovištních chronologií

Na Obrázku 5 je zachycena věková distribuce stromů. Obrázek 5A zobrazuje věkovou distribuci na stanovištích v poloze HHL. Chronologie pro Labský štít (S5, S6) byly vytvořeny od roku 1905, pro Kotel (S1, S4) pak od roku 1932(33). Podmínkou vytvoření chronologií bylo pokrytí minimálně pěti vzorky.

Na obrázku 5B je zachycena věková distribuce stromů pro stanoviště na pozici ve stromových skupinkách. Na Kotli (S2, S3) jsou stromy mladší, chronologie pro S3 je sestavena od roku 1965, pro S2 dokonce až od roku 1982. Pro stanoviště na Labském štítu (S7, S8) je pak počáteční rok chronologií shodně v roce 1948.

Průměrná sensitivita (Tabulka 2) je nižší u stanovišť v poloze HHL (0,214 u S6 – 0,265 u S1), ve stromových skupinkách dosahuje vyšších hodnot (0,257 u S7 – 0,312 u S8). Největší průměrné radiální přírůsty (Tabulka 2) vykazují stanoviště na jižních svazích v poloze HHL (S1, S5), nejmenší radiální přírůst byl pak zaznamenán ve stromových skupinkách na Labském štítu. Průměrný radiální přírůst za posledních 10 let byl až na výjimku stanoviště S5 ve všech případech vyšší než průměrný přírůst za celé sledované období.

Obrázek 5: Distribuce stáří stromů v poloze na HHL (A) a ve stromových skupinkách (B)



Tabulka 2: Průměrný přírůst, kambiální stáří a průměrná sensitivita dle stanovišť

lokality	průměrný přírůst (mm)		průměrné kamb. stáří	nejstarší letokruh (rok)	prům. sensitivita	
	celkem	posl. 10 let			průměr	SD
S1	1,83	1,94	66,77	1904	0,265	0,038
S2	1,19	1,53	27,31	1968	0,282	0,043
S3	1,35	1,72	38,92	1959	0,296	0,052
S4	1,28	1,52	71,00	1902	0,258	0,037
S5	1,38	1,35	91,69	1870	0,228	0,033
S6	1,05	1,44	104,20	1842	0,214	0,032
S7	0,75	0,84	67,33	1873	0,257	0,034
S8	0,68	1,33	48,25	1844	0,312	0,048

4.2 Indexované stanovištní chronologie:

Srovnání standardních chronologií (Obrázek 6A) ukazuje, že trendy růstu jsou velmi podobné na všech stanovištích na HHL. Kromě růstové deprese v 80. letech (absolutní minima indexů v letech 1981 – 1984) je zde patrný pokles růstu v letech 1940 – 1943 a 1996 – 2000. Maxima pak lze sledovat v letech 1944 – 1947, 1966 – 1978 (s mezerou v podobě deprese roku 1974), v první polovině 90. let 20. století a po roce 2001 do roku 2006.

Stanoviště na Labském štítu (S5, S6) mají obecně vyrovnanější průběh chronologií, stanoviště na Kotli (S1, S4) dosahují extrémějších hodnot indexů. Stanoviště S5 a S6 mají také nižší hodnoty průměrné sensitivity než S1 a S4 (Tabulka 2), což napovídá větší odolnosti jedinců na Labském štítu na meziroční výkyvy klimatických faktorů. Na Labském štítu nebyl dle hodnot indexů dopad imisní situace 80. let tak výrazný jako na Kotli.

Rozdíly v průběhu chronologií na severní a jižní expozici nejsou nikterak výrazné, nedá se jednoznačně říci, zda a kdy převládal nadprůměrný či podprůměrný přírůstek na které expozici.

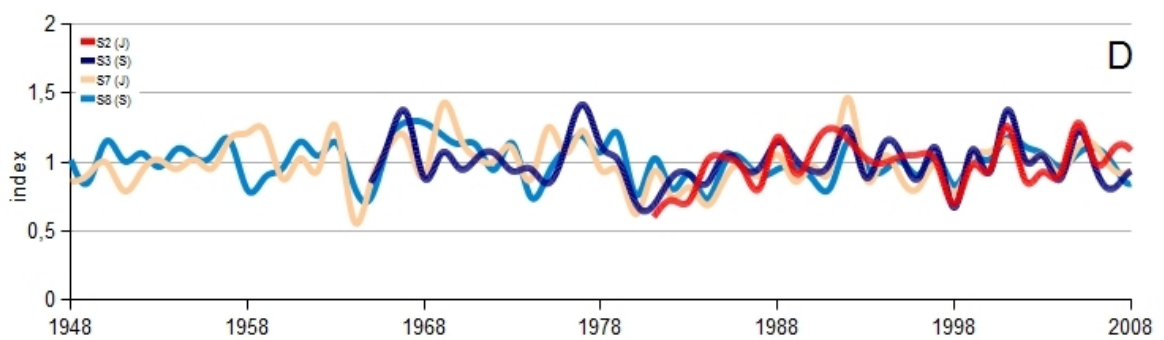
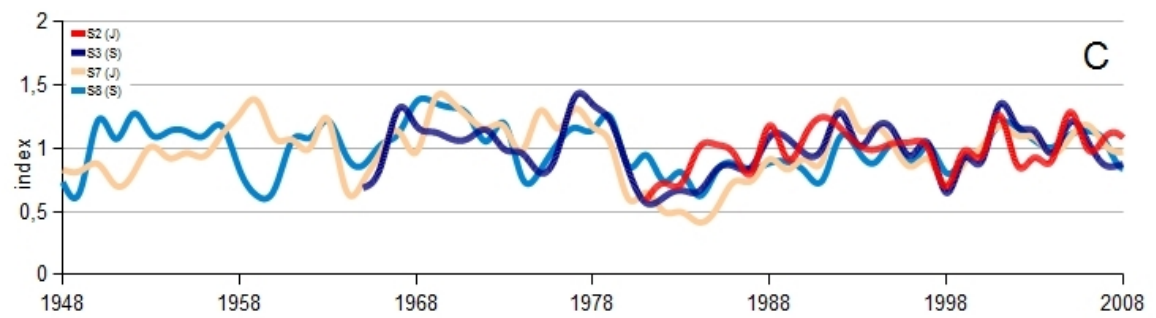
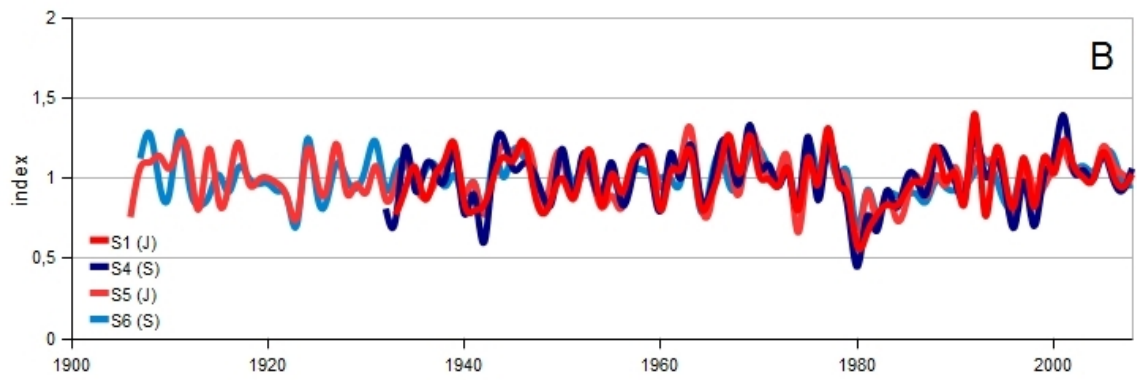
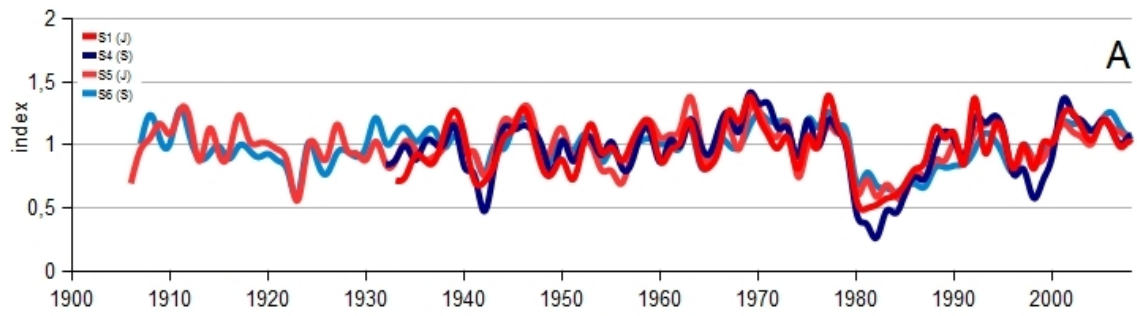
Ve stromových skupinkách je průběh chronologií značně rozkolísaný (Obrázek 6C). Růstová deprese v 80. letech 20. století je projevena méně než na HHL. Shodně s chronologiemi na HHL jsou zachyceny deprese let 1974 a 1998 i pozitivní indexy na přelomu 60. a 70. let, po roce 1974 a v polovině let 90.

Hodnota EPS (Tabulka 3) dosahuje nebo přesahuje u stanovišť na HHL kritickou hodnotu 0,85, kterou definoval WIGLEY et al. (1984), tyto chronologie lze tedy označit jako spolehlivé. EPS stanovišť ve stromových skupinkách však této kritické hodnoty nedosahuje. Lze to zdůvodnit vyšší extremitou klimatických podmínek působících ve vyšších nadmořských výškách, mládím stromů (viz kapitola Věková struktura) i malým počtem vzorků – chronologie je spolehlivější, tím větší je zkoumaný soubor vzorků (HANECA et al, 2005). Na použitelnost chronologií skupinek nad horní hranicí lesa pro dendroklimatickou rekonstrukci je tedy nutno nahlížet s rezervou.

Tabulka 3: EPS standardních chronologií

lokalita	počet vzorků	mezisériová korelace	EPS
S1	14	0,522	0,94
S2	13	0,250	0,81
S3	13	0,321	0,86
S4	17	0,556	0,96
S5	17	0,473	0,94
S6	10	0,364	0,85
S7	9	0,352	0,83
S8	11	0,173	0,7

Obrázek 6: Standardní (A, C) a reziduální (B, D) chronologie



4.3 Odezva chronologií na teploty

Indexy reziduální chronologie korelují nejlépe (Tabulka 4A) s průměrem za květen až červenec roku růstu, závislost je statisticky průkazná u všech lokalit kromě stromových skupinek na obou stranách Kotle. Nutno podotknout, že skupinky na Kotli jsou hodně nízkého věku a kritické hodnoty pro prokázání závislosti jsou tedy poměrně vysoké, nicméně S2 vykazuje dokonce negativní korelaci na průměrných teplotách vegetačního období. Dále je velmi vysoká závislost na průměrných teplotách za červen+červenec (v absolutní hodnotě v kategorii ALL, tj. průměr za všechny stanoviště vážený počtem stromů, je dokonce nejvyšší, ale vyskytuje se pouze na pěti různých stanovištích). Z jednotlivých měsíců vegetačního období je průměrný přírůst nejvíce závislý na průměrných teplotách července, nejméně pak na teplotách srpna a září. Září v tabulce uvedeno není, neboť zde na žádném stanovišti závislost statisticky prokázána nebyla. Velmi významným faktorem jsou zjevně také průměrné teploty října+listopadu roku předcházejícího (zejména měsíce října). Na severních stanovištích na HHL hrají významnou úlohu jarní teploty (více než na jižní expozici) – měsíc květen, na Kotli (S4) dokonce i duben ($k=0,23$). Je prokázána negativní závislost měsíce června předchozího roku na dvou stanovištích na jednom svahu - na jižní straně Labského štítu.

Tabulka 4B obsahuje hodnoty korelačních koeficientů pro období očištěné o období imisní situace (konkrétně roky 1976-1990). Pro toto období dosahují korelační koeficienty vyšších hodnot obecně zejména na konci vegetačního období (v měsících červenec a srpen). V červnu rozdíly v hodnotách koeficientů nejsou významné, v květnu jsou vyšší korelační koeficienty v období, kde je vliv imisí zahrnut.

11ti leté klouzavé korelace průměrných teplot vegetačního období a indexů reziduálních chronologií jednotlivých stanovišť zobrazuje Obrázek 7. Sledují období let 1910 – 2000. Statisticky významné jsou klouzavé korelace na HHL (Obr. 7A) v období 1940 – 1955, v první polovině 70. let a po odeznění imisní situace okolo roku 1990. V 80. letech jsou hodnoty korelačních koeficientů nejnižší za celé sledované období. Klouzavé korelace v poloze stromových skupinek (Obr. 7B) jsou sestaveny pro rozpětí let 1953 – 2000. Statisticky průkazná je závislost opět pro období okolo roku 1990, nejnižších hodnot korelačního koeficientu je dosaženo v 1. polovině 80. let. Na S7 je výrazná negativní závislost v období 1955 – 1960. Korelační koeficienty dosahují v poloze stromových skupinek celkově nižších hodnot než na hranici lesa. V 2. polovině 90. let je pozorován pokles hodnot koeficientů v obou sledovaných polohách.

Tabulka 4: Korelace res. chronologií na teploty, zvýrazněné hodnoty jsou statisticky průkazné na hladině $p \geq 0,05$, za celé sledované období (A) a bez období 1977 – 1990 (imise) (B)

lokality	V	VI	VII	VIII	pX	pXI	av_V-VI	av_V-VII	av_VI-VII	av_V-VIII	av_pX-XI
S1	0,17	0,16	0,41	0,31	0,24	0,02	0,21	0,37	0,4	0,42	0,2
S2	-0,11	-0,35	0,03	0,09	0,25	0,06	-0,25	-0,2	-0,19	-0,12	0,25
S3	0,17	0	0,37	0,11	0,44	0,05	0,12	0,29	0,29	0,27	0,39
S4*	0,28	0,12	0,34	0,26	0,24	0,06	0,27	0,38	0,33	0,42	0,22
S5**	0,18	0,32	0,18	0,1	0,3	0,17	0,3	0,39	0,4	0,4	0,3
S6	0,3	0,3	0,18	0,12	0,18	0,14	0,39	0,41	0,34	0,39	0,23
S7***	0,17	0,16	0,18	0,17	0,13	-0,06	0,21	0,33	0,34	0,33	0,06
S8	0,17	0,34	0,06	0,03	0,37	0,05	0,31	0,27	0,25	0,23	0,3
ALL**	0,13	0,26	0,29	0,19	0,34	0,19	0,25	0,35	0,39	0,37	0,37
HHL**	0,22	0,25	0,31	0,23	0,32	0,18	0,31	0,4	0,39	0,42	0,35
SKUP	0,08	0,2	0,25	0,03	0,35	0,18	0,17	0,26	0,32	0,23	0,39
JIH**	0,21	0,22	0,34	0,2	0,36	0,15	0,28	0,39	0,39	0,4	0,35
SEVER**	0,19	0,24	0,28	0,18	0,36	0,23	0,28	0,37	0,37	0,37	0,39

* dále prokázána pozitivní závislost na IV

** dále prokázána negativní závislost na pV, pVI

*** dále prokázána negativní závislost na pVI

A

lokality	V	VI	VII	VIII	pX	pXI	av_V-VI	av_V-VII	av_VI-VII	av_V-VIII	av_pX-XI
S1	0,16	0,15	0,49	0,36	0,23	-0,02	0,20	0,39	0,45	0,48	0,18
S2	-0,28	-0,57	0,22	-0,06	0,36	0,12	-0,45	-0,31	-0,18	-0,27	0,44
S3	0,16	-0,11	0,55	0,16	0,43	-0,05	0,06	0,35	0,38	0,34	0,36
S4	0,26	0,12	0,35	0,28	0,22	0,08	0,26	0,38	0,33	0,43	0,24
S5**	0,17	0,24	0,33	0,21	0,32	0,17	0,27	0,38	0,40	0,40	0,35
S6**	0,31	0,29	0,19	0,14	0,32	0,17	0,27	0,38	0,40	0,40	0,35
S7***	0,14	0,04	0,35	0,18	0,12	-0,10	0,12	0,28	0,28	0,29	0,03
S8*	0,13	0,25	0,10	0,07	0,38	-0,01	0,23	0,23	0,23	0,22	0,30
ALL**	0,11	0,26	0,31	0,22	0,36	0,22	0,24	0,35	0,41	0,38	0,41
HHL**	0,21	0,26	0,33	0,26	0,34	0,23	0,31	0,41	0,41	0,44	0,40
SKUP**	0,04	0,18	0,30	0,04	0,35	0,19	0,14	0,26	0,34	0,23	0,41
JIH**	0,20	0,22	0,38	0,23	0,39	0,18	0,27	0,40	0,41	0,42	0,41
SEVER**	0,18	0,25	0,31	0,21	0,35	0,27	0,28	0,38	0,39	0,40	0,43

* dále prokázána negativní závislost na I, XII

** dále prokázána závislost na pVII

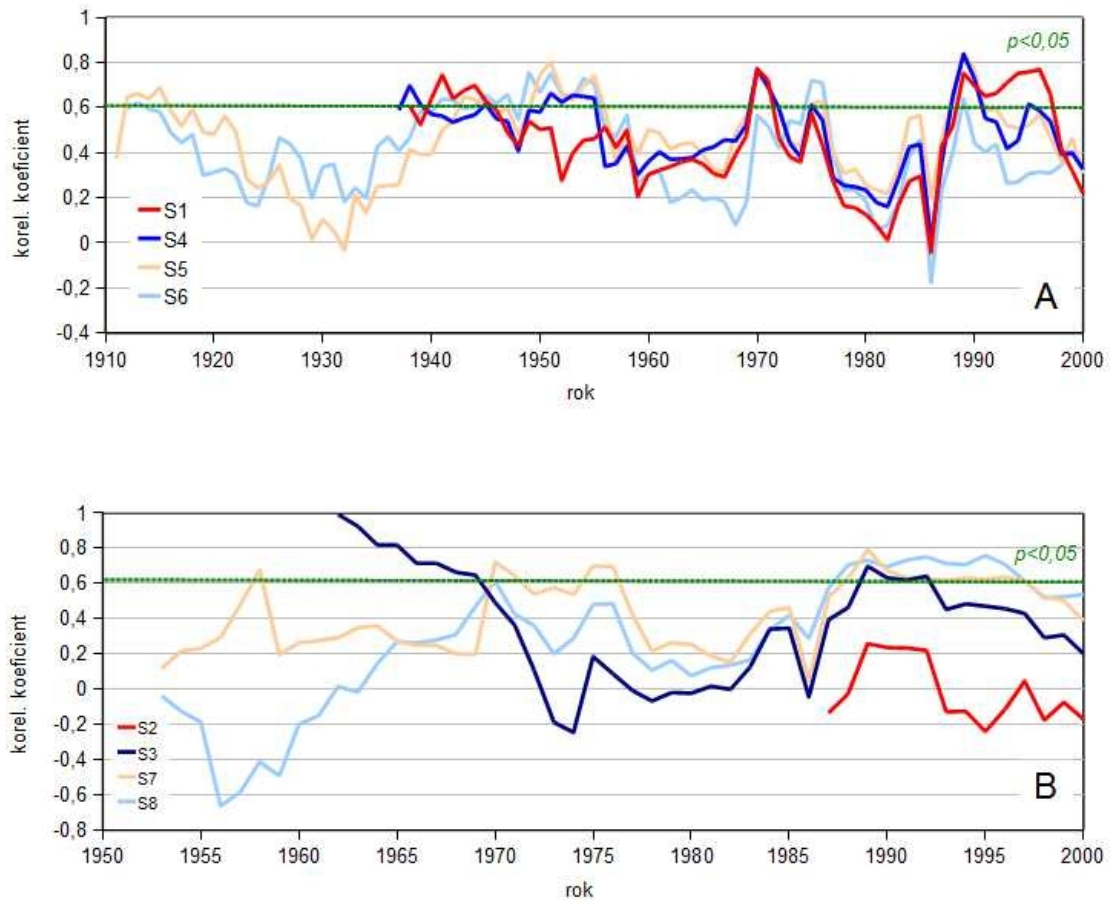
*** dále prokázána negativní závislost na pV, pVI, pVII, pVIII

B

Vysvětlivky k tabulkám:

- Zkratka ALL značí všechny stromy
- Zkratka HHL značí stromy na HHL
- Zkratka SKUP značí stromy ve stromových skupinkách
- Slovo SEVER značí všechny stromy na severní expozici svahu
- Slovo JIH značí všechny stromy na jižní expozici

Obrázek 7: 11ti leté klouzavé korelace průměrných teplot vegetačního období a indexů reziduálních chronologií



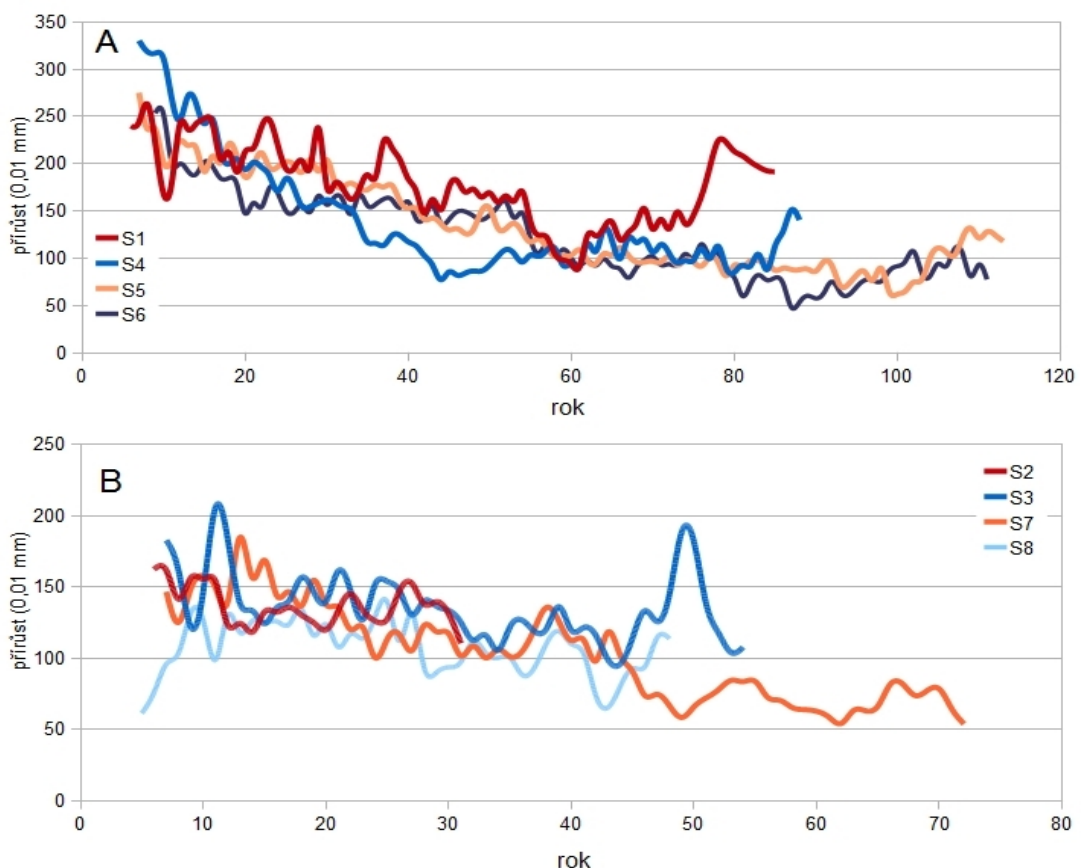
4.4 Stanovištní RCS křivky

Obrázek 8 zachycuje zkonstruované RCS chronologie, zvláště jsou z důvodu přehlednosti zachyceny skupinky a HHL. Křivky byly zhlazeny 50letým kubickým splinem, oboustranně byly oříznuty období pokrytá méně jak 5 vzorky.

Podle očekávání mají křivky sestupný trend (starší stromy přirůstají méně), ačkoli v posledním období života je u všech stanovišť zřetelná růstová progresa, která se více projevuje u lokalit s mladšími stromy (S1, S4).

Křivka je plně závislá na biologickém věku stromu (letokruhu), měl by být získán trend biologického růstu, průběh křivky by měl být nezávislý na datu vzniku letokruhu. Velice těsně spolu korelují stanoviště na HHL na Labském štítu (S5 a S6) – viz Tabulka 5.

Obrázek 8: Regionální křivky na HHL (A) a ve stromových skupinkách (B)



Tabulka 5: Korelace regionálních křivek

	S4	S5	S6
S1	0,59	0,66	0,52
S4		0,81	0,72
S5			0,89

4.5 Porovnávání šířek letokruhů

Byly použity dvě metody srovnávání šířek letokruhů: srovnání průměrných tloušťkových přírůstů na vzorku stejně starých stromů na komplementárních lokalitách a srovnání detrendovaných šířek letokruhů dle PAULSEN et al., (2000) (u všech stromů). Detrendované šířky letokruhů byly podrobeny analýze variance.

A) Detrendované šířky letokruhů

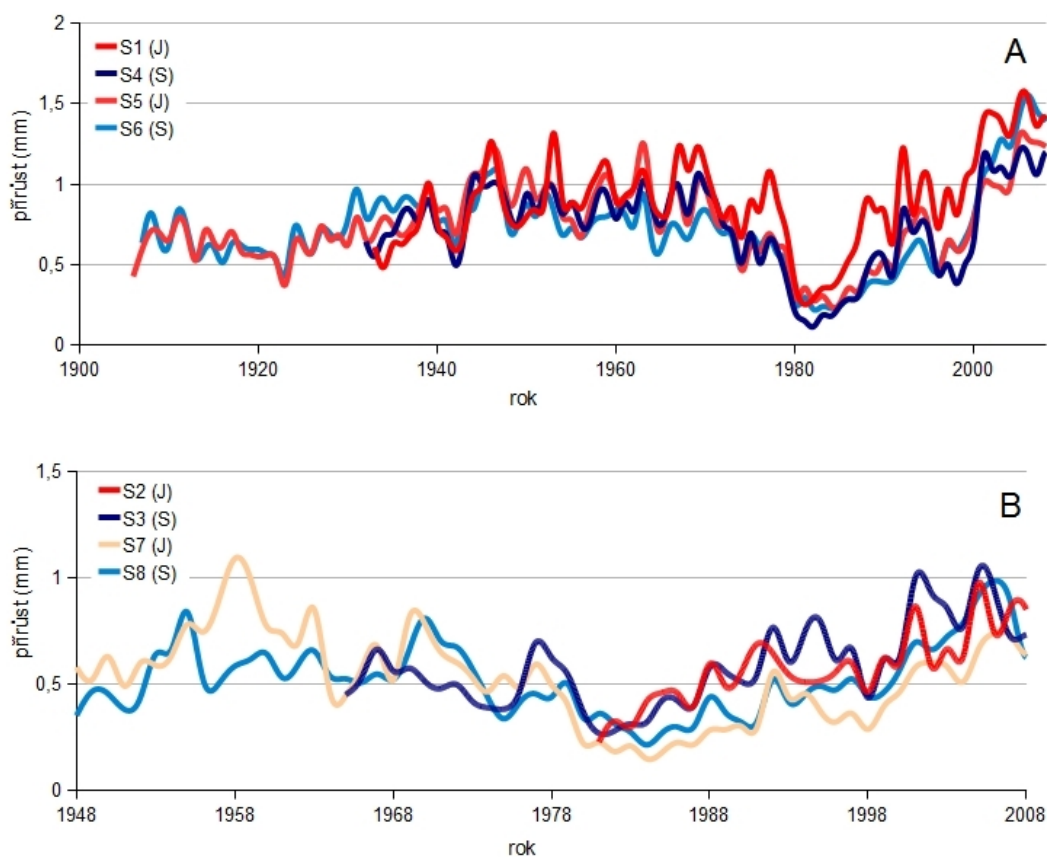
Křivky detrendovaných šířek letokruhů mají velmi podobný průběh (Obrázek 9). Vizuálním srovnáním křivek lze zjistit, že největších absolutních přírůstů je dosaženo na lokalitě S1, v takřka celém sledovaném období 1933 – 2008 byl přírůst na jižní straně Kotle (S1) větší než na severní (S4) (kromě let 1944 a 1948-1952). Porovnání komplementárních stanovišť na Labském štítu již tak jednoznačné není. Od počátku sledovaného období (1907) do roku 1938 jsou větší přírůsty převážně na severní straně Labského štítu (S6), poté až do roku 2000 je větší radiální přírůst na jižní straně (S5), v současnosti pak převažuje přírůst na severu. I přes odstranění vlivu věkové struktury jsou větší přírůsty na Kotli než na Labském štítu. Největších radiálních přírůstů je napříč všemi plochami dosaženo po roce 2000 (konkrétně v letech 2005 - 2006).

Průběh křivek absolutních šířek letokruhů po odstranění vlivu věkové struktury ve stromových skupinkách (Obrázek 9B) je viditelně méně rozkolísaný než průběh křivek neupravovaných. Křivky mají podobný průběh, největších přírůstů je opět dosaženo v posledních letech (2005-06), kromě stanoviště S7, kde je maxima radiálního přírůstu dosaženo na konci 50 let. Na Kotli (S2, S3) je v letech 1981 – 1991 mírně větší tloušťkový přírůst na jižním svahu (S2), poté až do roku 2006 převládá přírůst na severu (S3). Na Labském štítu (S7, S8) je průběh přírůstu dle expozice svahu podobný, nejprve převládá přírůst na jižním svahu (1948 – 1970), po roce 1970 do současnosti je pak větší tloušťkový přírůst na jeho severní straně. I přes aplikovanou funkci odstraňující vliv stáří stromů jsou celkově větší přírůsty dosaženy na lokalitách s mladšími jedinci na Kotli (S2, S3), stejně jako v lokalitách na HHL.

Srovnání detrendovaných šířek letokruhů lokalit S1 a S4 pomocí analýzy variance (Obrázek 13) ukazuje, že na jižním svahu Kotle (S1) přirůstají stromy v celém období více, než na severním svahu Lysé hory (S4), rozdíl je statisticky významný v období 1969 – 2008. Na Labském štítu (S5, S6) nejsou rozdíly v přírůstu na HHL tak jednoznačné (Obrázek 13). Převládá sice větší přírůst na jižním svahu (1949 – 1998), rozdíly však nejsou statisticky významné. V posledním časovém intervalu 1999 – 2008 je velikost přírůstu větší na severní straně, ovšem také statisticky nevýznamný.

Stromové skupinky na Kotli (S2, S3) byly hodnoceny jen pro poslední dvě období (1989 - 2008) kvůli nedostatku starších vzorků (zejména na S2) (Obrázek 14). V těchto 20 letech byl přírůst větší na severní straně, rozdíl je však statisticky nevýznamný (p je přibližně 0,35). Na Labském štítu (S7, S8) bylo ze stejného důvodu jako na Kotli hodnoceno pouze období posledních 30 let přírůstu. Ve skupinkách opět více přirůstaly stromy na severní straně, rozdíl však opět není statisticky významný (p je mezi 0,086 a 0,35).

Obrázek 9 : Detrendované šířky letokruhů na HHL (A) a ve stromových skupinkách (B)

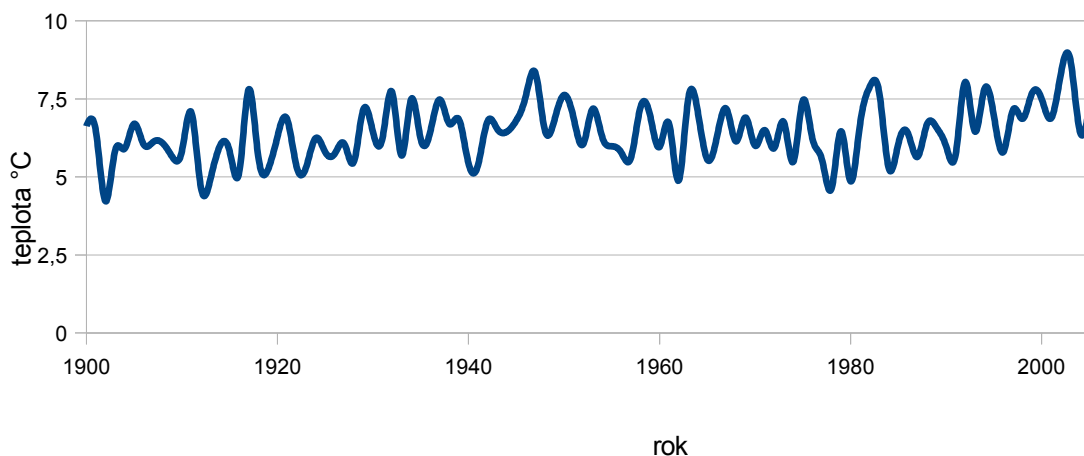


B) Srovnání průměrných tloušťkových přírůstů na vzorku stejně starých stromů

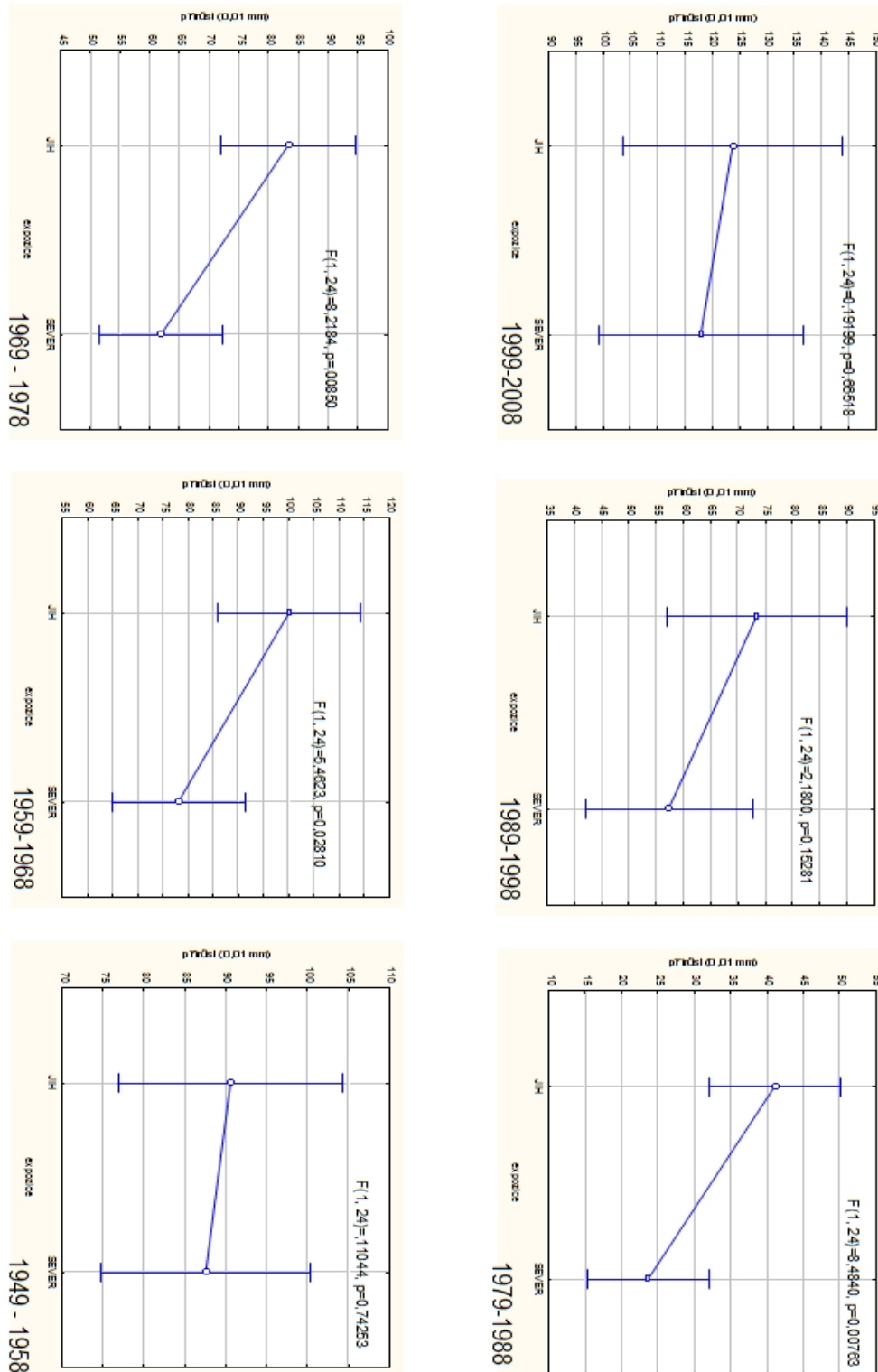
Aby byl splněn předpoklad minimálně 10 stejně starých stromů (resp. s počátkem růstu během daného 20letého období), musely být sjednoceny ekvivalentní plochy (S1+S5, S6+S7, S7+S8, S2+S3). I tak však nebyl ve stromových skupinkách nalezen dostatečně velký soubor stejně starých stromů, proto byly analýze podrobeny pouze lokality na HHL. Analyzováno bylo 12 stromů z jižních a 14 ze severních stanovišť na HHL s počátkem růstu mezi lety 1920-1940. Sledováno bylo období 60ti let mezi roky 1949 – 2008, které bylo rozděleno do šesti desetiletých intervalů. V těchto intervalech byly spočítány desetileté průměrné přírůsty pro každý strom. Tyto hodnoty pak vstupovaly do analýzy variance. Výsledky jsou zobrazeny na Obrázku 11.

Ve všech sledovaných časových intervalech je průměrný přírůst větší na jižní expozici, statisticky významný je však pouze ve třech za sebou jdoucích intervalech v období 1959 – 1988. Téměř vyrovnaná je velikost přírůstu v letech 1949 – 1958 a v posledním sledovaném období, 1999 – 2008.

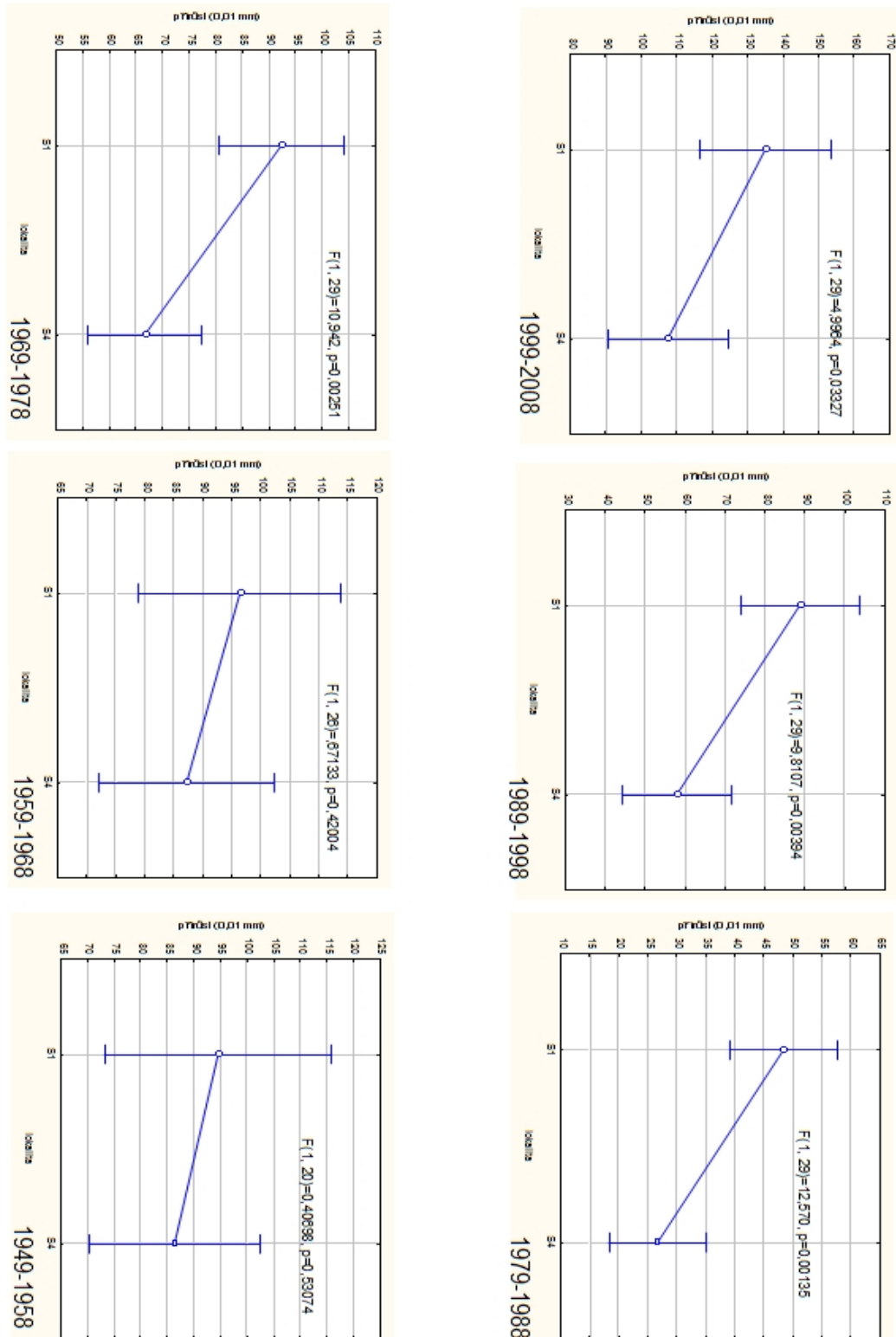
Obrázek 10: Průměrné teploty vegetačního období 1900-2000, data ze Sněžky



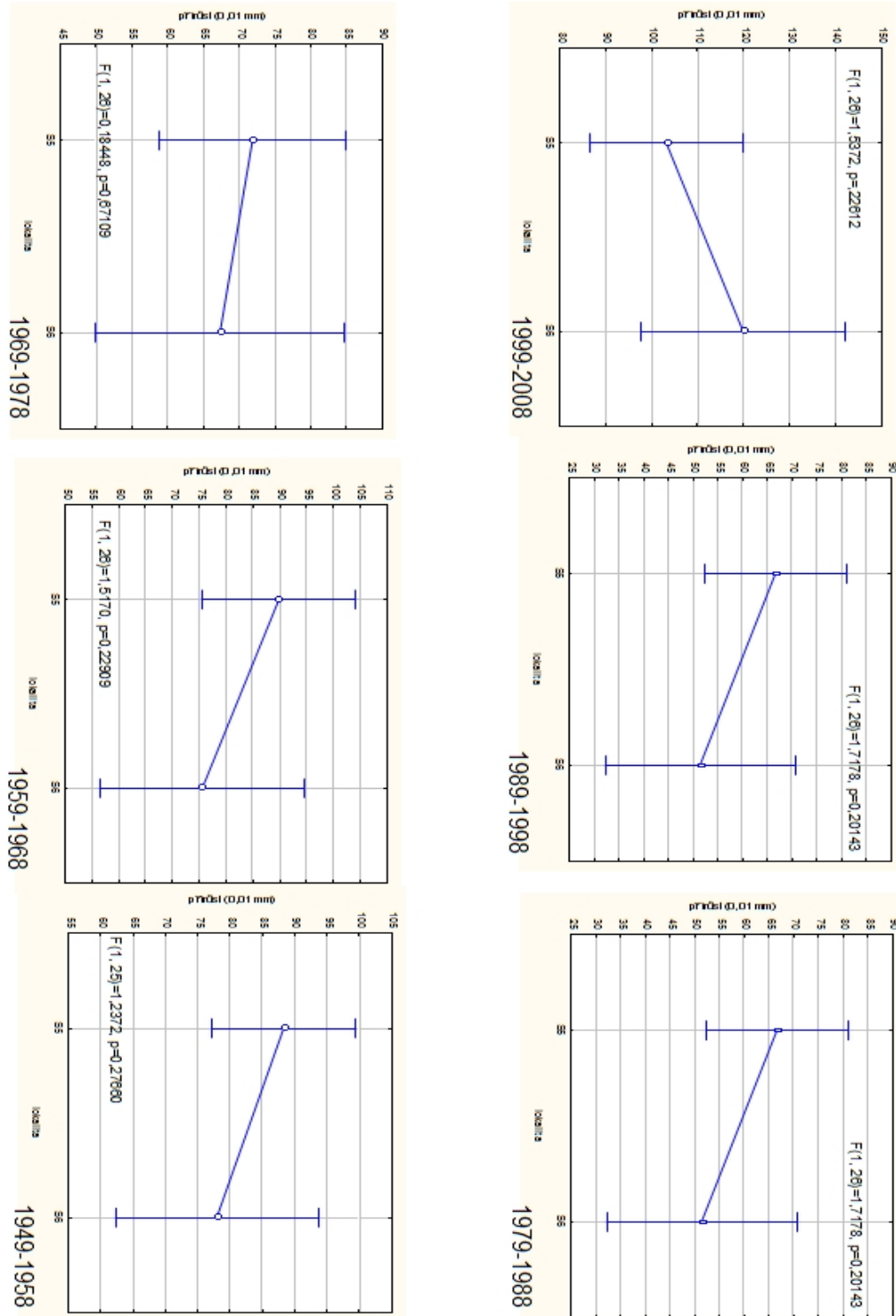
Obrázek 11: Srovnání přírůstu stejně starých stromů na HHL pomocí analýzy variance v letech 1949 – 2008



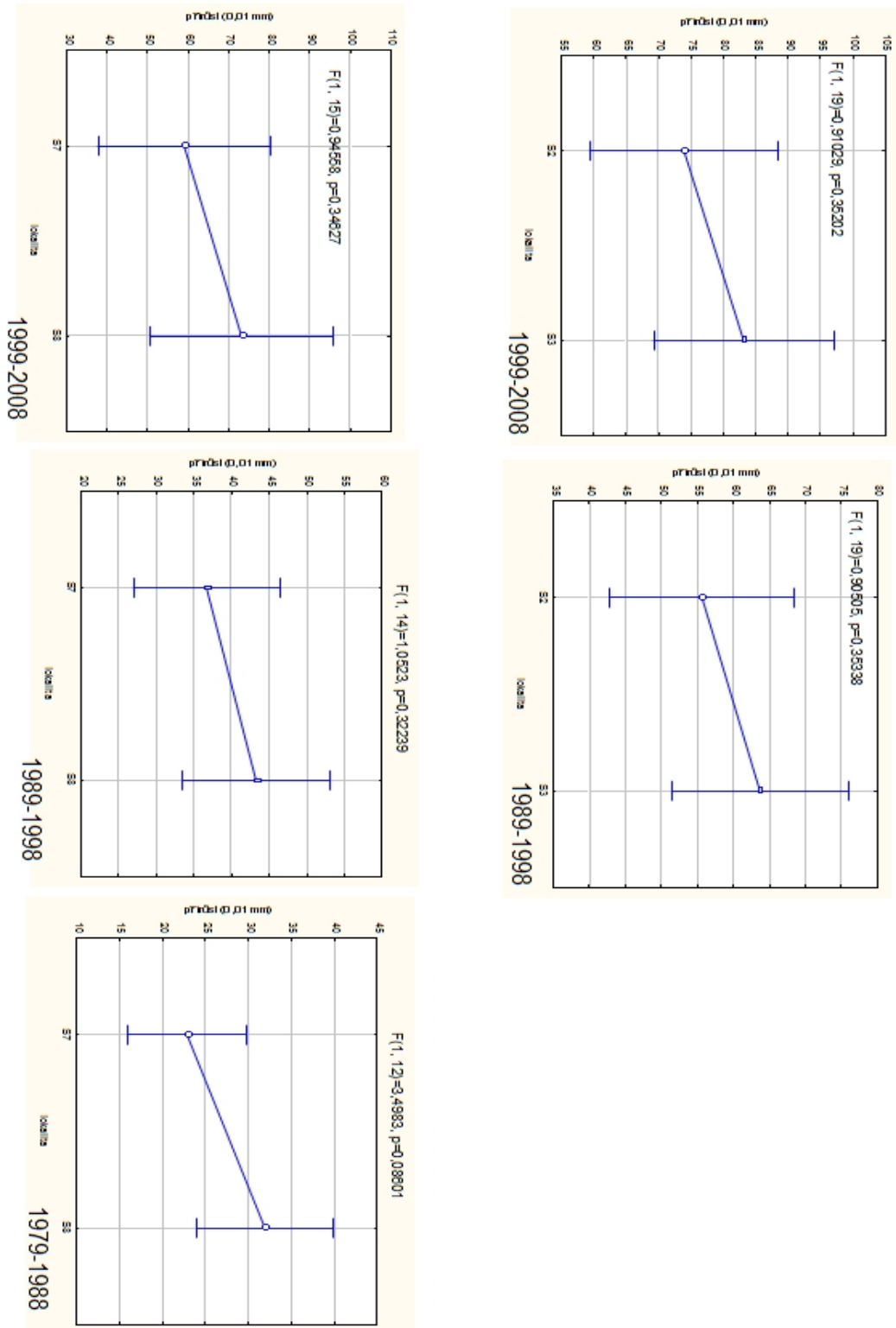
Obrázek 12: Srovnání přírůstu na S1 a S4 na základě detrendovaných šířek letokruhů, za roky 1949 – 2008



Obrázek 13: Srovnání přírůstu na S5 a S6 na základě detrendovaných šířek letokruhů, za roky 1949 – 2008



Obrázek 14: Srovnání přírůstu na ve stromových skupinkách na základě detrendovaných šířek letokruhů, za roky 1949 – 2008



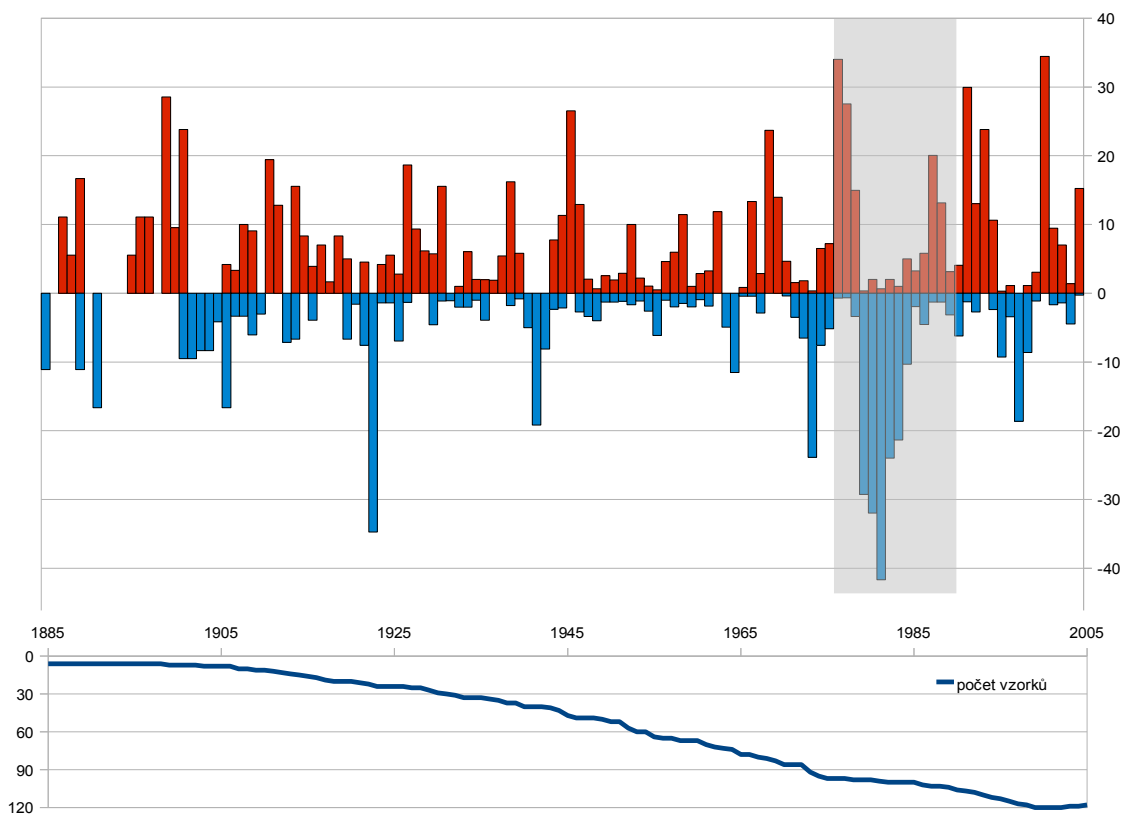
4.5 Letokruhové signatury

Nejvýraznější pozitivní hodnoty letokruhových signatur ($I > 20\%$) byly zjištěny pro roky 1899, 1901, 1946, 1969, 1992, 1994 a 2001 (viz Obrázek 15), naopak negativní hodnoty byly nejvýznačnější ($I < -20\%$) v letech 1923 a 1974, výrazně se hodnotě $I = -20$ přiblížily roky 1942 ($I = -19,17$) a 1998 ($I = -18,64$).

Započítáme-li do sledovaného období roky 1977 – 1990, zjistíme ještě významné pozitivní signatury 1977 a 1978. Tyto hodnoty však budou jistě ovlivněny metodikou výpočtu, kde jsou použity roky 1980-1982 s extrémě úzkými letokruhy vlivem kyselého znečištění. Tomu ostatně odpovídá kumulace pěti významných let v řadě v letech 1980-1984.

Byla sledována závislost hodnot koeficientu I na teplotách pomocí Pearsonova korelačního koeficientu, a to jak pro pozitivní tak negativní hodnoty I , blíže byly sledovány rozdíly ve stromových skupinkách a na hranici lesa, na severní a jižní expozici. Výsledky jsou uvedeny v Tabulce 6.

Obrázek 15: Hodnoty indexů letokruhových signatur (za všechny stanoviště) pro období 1885 – 2005, šedě označeno období let 1977 - 1990



Tabulka 6

A Tabulka: Korelace pointer years a průměrných teplot, vyznačeny hodnoty významné na hladině $p \geq 0,05$, bez období 1977 - 1990

	V	VI	VII	VIII	IX	av_VI-VII	av_V-VI	av_V-VIII	av_V-VIII	av_V-IX	av_pX-XI
ALL+	0,17	0,15	0,42	0,11	-0,11	0,39	0,21	0,37	0,36	0,26	0,30
ALL-	0,06	0,27	0,19	0,15	0,00	0,32	0,20	0,26	0,28	0,24	0,46
LES+	0,23	0,16	0,44	0,14	-0,11	0,41	0,26	0,43	0,42	0,31	0,25
LES-	0,07	0,28	0,18	0,10	-0,04	0,33	0,22	0,27	0,27	0,22	0,39
SKUP+	-0,04	0,08	0,12	0,00	-0,04	0,14	0,02	0,07	0,06	0,03	0,25
SKUP-	0,03	0,20	0,10	0,16	0,00	0,22	0,14	0,17	0,21	0,18	0,38
SEVER+	0,09	0,10	0,38	0,06	-0,17	0,33	0,13	0,29	0,27	0,16	0,31
SEVER-	0,05	0,26	0,21	0,17	0,02	0,33	0,19	0,26	0,29	0,26	0,43
JIH+	0,25	0,18	0,36	0,18	-0,01	0,37	0,29	0,41	0,42	0,36	0,22
JIH-	0,06	0,24	0,10	0,08	-0,07	0,25	0,19	0,21	0,21	0,15	0,42

B Tabulka: Korelace pointer years a průměrných teplot, vyznačeny hodnoty významné na hladině $p \geq 0,05$, celé období 1885 - 2005

	V	VI	VII	VIII	IX	av_VI-VII	av_V-VI	av_V-VII	av_V-VIII	av_V-IX	av_pX-XI
ALL+	0,13	0,14	0,27	0,05	-0,16	0,29	0,18	0,28	0,25	0,15	0,32
ALL-	0,06	0,19	0,12	0,07	-0,12	0,22	0,16	0,19	0,19	0,11	0,35
LES+	0,20	0,15	0,32	0,09	-0,16	0,33	0,23	0,35	0,33	0,22	0,27
LES-	0,07	0,17	0,11	0,03	-0,15	0,20	0,15	0,18	0,16	0,07	0,29
SKUP+	-0,05	0,09	0,04	-0,05	-0,09	0,09	0,02	0,03	0,01	-0,03	0,27
SKUP-	0,02	0,20	0,08	0,12	-0,05	0,20	0,14	0,15	0,17	0,13	0,34
SEVER+	0,08	0,12	0,24	0,01	-0,20	0,25	0,12	0,22	0,19	0,08	0,32
SEVER-	0,05	0,18	0,14	0,08	-0,10	0,23	0,15	0,19	0,19	0,12	0,35
JIH+	0,20	0,15	0,23	0,11	-0,09	0,27	0,23	0,30	0,30	0,22	0,25
JIH-	0,06	0,19	0,08	0,03	-0,16	0,19	0,16	0,17	0,15	0,06	0,31

Vysvětlivky k tabulkám:
 -Zkratka ALL značí všechny stromy
 -Slovo LES značí stromy na HHL
 -Zkratka SKUP značí stromy ve stromových skupinkách
 •Slovo SEVER značí všechny stromy na severní expozici svahu
 •Slovo JIH značí všechny stromy na jižní expozici
 -Znaménka značí odezvu k pozitivním (+) nebo negativním (-) letokruhovým signaturám

Statisticky významná (v tabulkách zvýrazněná na hladině závislosti 0,05) je závislost pozitivních signatur na červencových teplotách a na průměrných teplotách kombinací měsíců vegetačního období. Nejvyšších hodnot korelační koeficient dosahuje při hodnocení závislosti s průměrnými teplotami za červen a červenec, dále pak za průměry měsíců květen – srpen (resp. červenec). Na průměrných teplotách za samotné měsíce srpen a září nebyla závislost pozitivních ani negativních signatur prokázána. Závislost signatur na teplotách ve vegetačním období ve stromových skupinkách je velice slabá, u kladných hodnot indexu nebyla vůbec statisticky prokázána. Na jižním svahu je prokázána větší závislost pozitivních hodnot indexu na teplotách vegetačního období než na severním, na severním svahu je zase naopak větší závislost negativních hodnot indexu na teplotách vegetačního období. Velmi významná je závislost všech hodnocených kategorií na teplotách za říjen-listopad předcházejícího roku, zejména u negativních hodnot indexu. Celkově tedy pozitivní signatury vykazují větší závislost na teplotách vegetačního období, zatímco negativní na teplotách podzima předešlého roku.

Prostým vizuelním porovnáním Tabulek 6A a 6B lze zjistit výrazné neklimaticky podmíněné ovlivnění růstu během 80. let 20. století, čemuž napovídají výrazně nižší hodnoty korelačních koeficientů hodnotících závislost na teplotách vegetačního období.

4.6 Dendrometrické charakteristiky

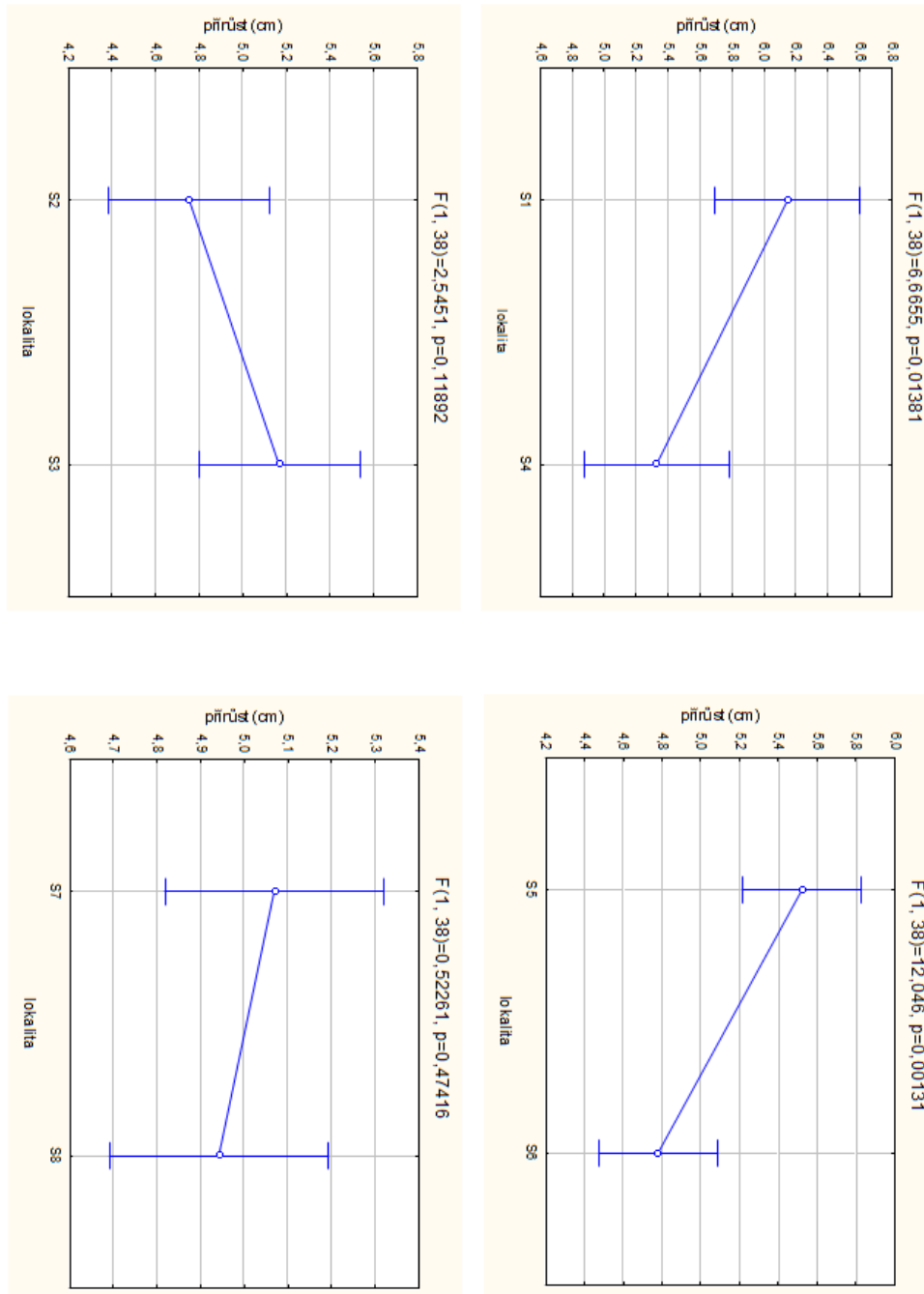
Kromě odebrání vývrtů byly na stanovištích sledovány další charakteristiky – výška stromu a průměrný přírůst na větvích za posledních 10 let (Tabulka 7). U přírůstu na větvích byla pomocí analýzy variance sledována statistická významnost rozdílů na severní a jižní expozici (Obrázek 16).

Rozdíly v přírůstech na větvích mají jasný trend na HHL, na obou stanovištích je statisticky významný ($p < 0,05$) větší přírůst na jižním svahu. Ve stromových skupinkách je na Kotli (S2, S3) přírůst větší na severním svahu, na Labském štítu pak na jižním, ale rozdíly mezi lokalitami nejsou statisticky významné.

Tabulka 7: Dendrometrické charakteristiky

lokality	přírůst na větvích		výška stromu	
	průměr za posl. 10 let (cm)	směrodatná odchylka	výška (m)	směrodatná odchylka
S1	6,15	1,22	8,03	0,99
S2	4,76	0,71	3,64	0,46
S3	5,17	0,91	4,25	0,55
S4	5,29	0,73	8,53	1,15
S5	5,52	0,71	9,55	1,06
S6	4,78	0,64	8,63	1,58
S7	5,07	0,5	4,36	0,6
S8	4,94	0,6	3,59	0,68

Obrázek 16: Srovnání přírůstu na větvích dle stanovišť s opačnou expozicí



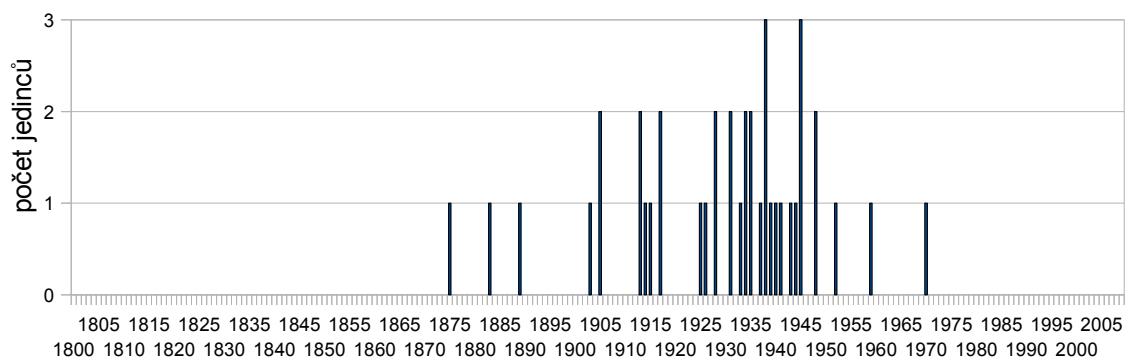
4.7 Věková struktura

A. Kotel (S1, S2, S3, S4)

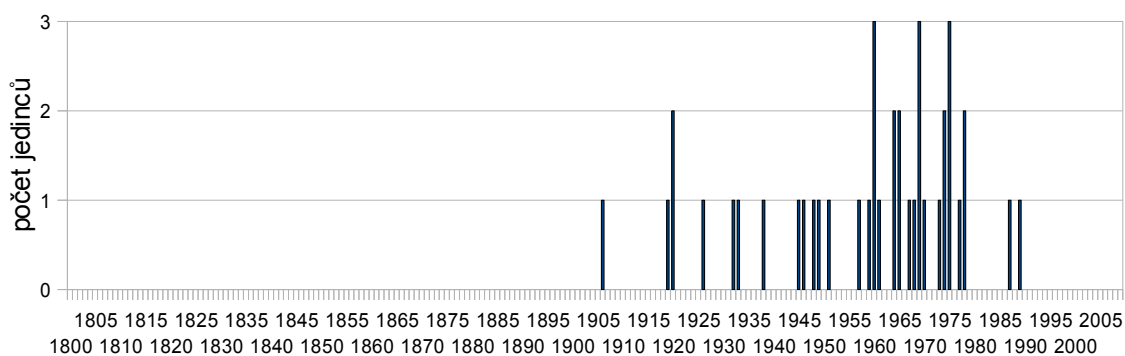
Jižní svah: Na stanovišti S1 (Obrázek 17) je průměrné stáří stromů cca 80 let. Nejvíce stromů pochází z období let 1935-1945. Na lokalitě S2 (Obrázek 18) pochází v porovnání s S1 z let 1935-45 stromků minimum, hlavní etapa uchycování semenáčků přichází až po roce 1955 a trvá zhruba do roku 1975.

Na S1 byl dále zaznamenán výskyt tří jedinců jeřábu ptačího (*Sorbus aucuparia*)

Obrázek 17: Věková struktura na S1

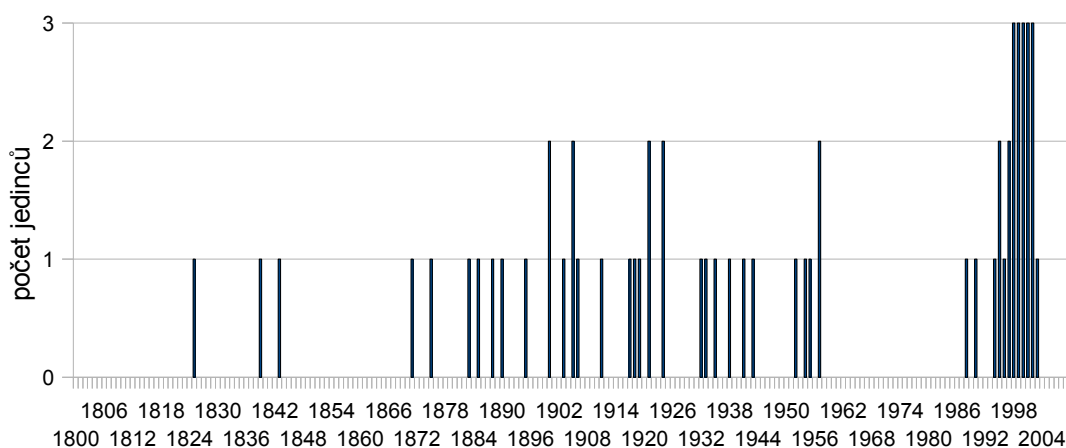


Obrázek 18: Věková struktura na S2

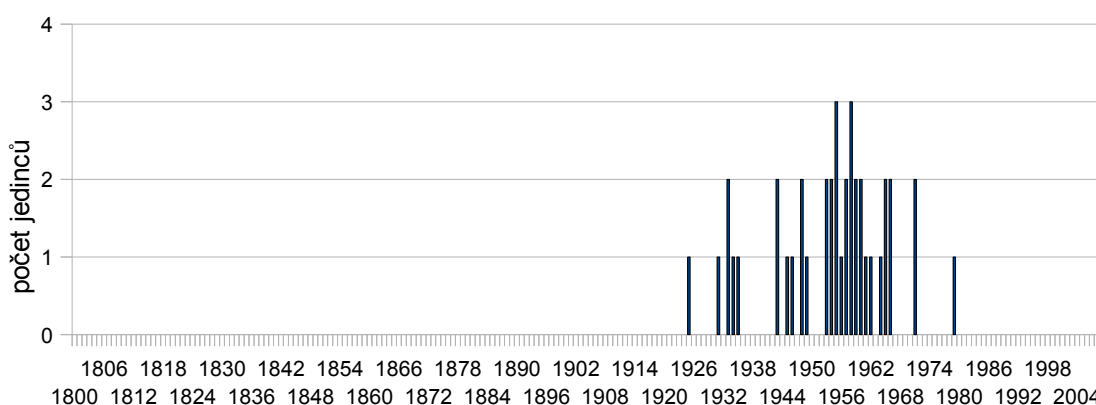


Severní svah: Na severním svahu Kotle (resp. Lysé hory) je na ploše S4 rozložen věk stromů vcelku rovnoměrně (Obrázek 19), dva vrcholy bychom mohli najít mezi lety 1915-25 a 1935-45. Z plochy pochází nejstarší zjištěný strom v celém měření, s počátkem růstu v roce 1790. Na S4 probíhá významné generativní zmlazení, bylo zjištěno cca 60 semenáčků a 35 stromků s kmenem tenčím 5 cm ve výšce 30 cm – nebyl z nich odebírán vývrt, ale počítány přesleny. Ve skupinkách (Obrázek 20) lze sledovat 1. etapu etablování stromků také po roce 1935, hlavní skupina jedinců však pochází z období 1950-65, je tedy zhruba o 5-10 let starší než na jižním svahu.

Obrázek 19: Věková struktura na S4



Obrázek 20: Věková struktura na S3

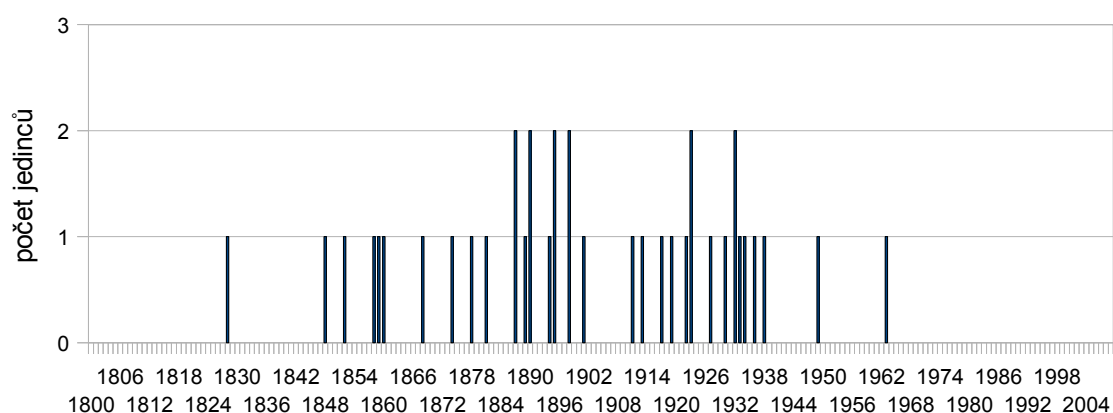


B. Labský štít

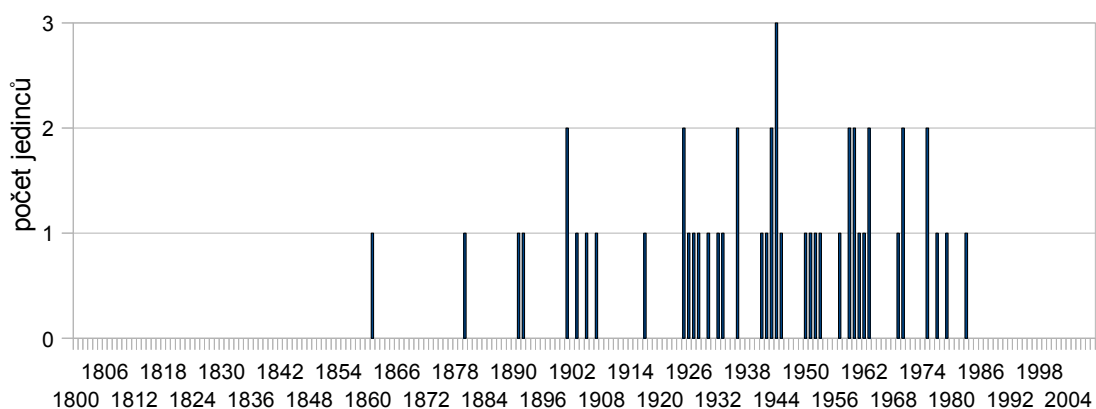
Na Labském štítu jsou stromy celkově starší než na Kotli.

Jižní svah: Na HHL (Obrázek 21) pochází velká část stromů z období let 1885 – 1900, druhým vrcholovým obdobím jsou pak léta 1920 – cca 1940. Ve skupinkách (Obrázek 23) lze zanedbat významnější období okolo roku 1900, většina stromů však pochází z let 1925-1975, kde je rozložení VS vcelku rovnoměrné.

Obrázek 21: Věková struktura na S5

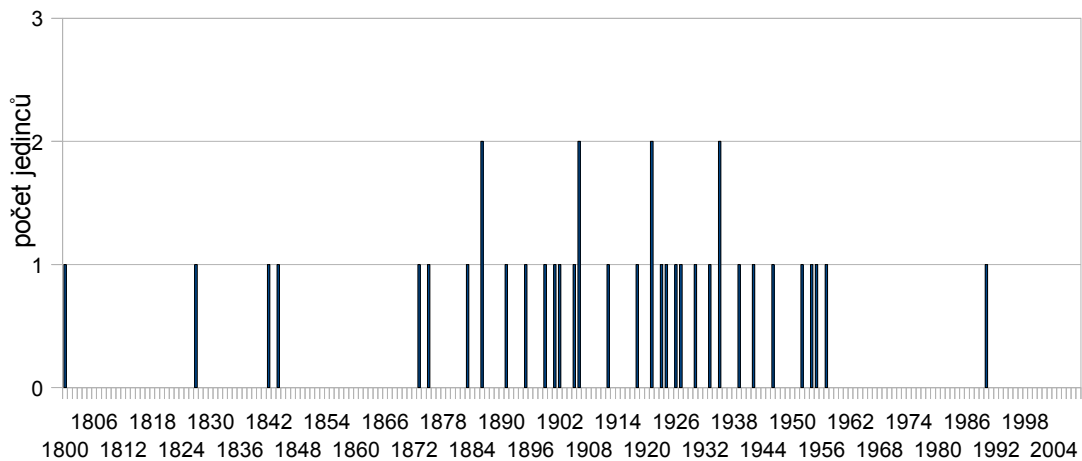


Obrázek 22: Věková struktura na S7

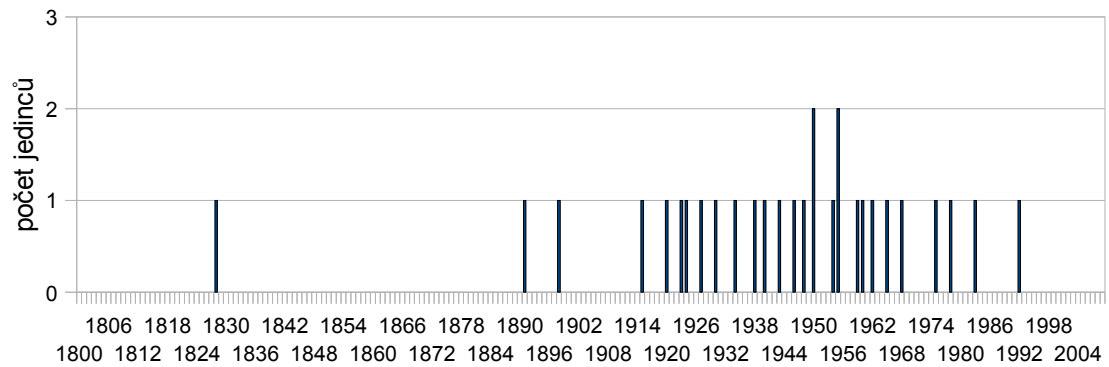


Severní svah: Na HHL (Obrázek 23) se stromky etablovaly podobně jako na jižním svahu nejvíce v obdobích 1885 – 1906 a 1920 – 1945. Počátek růstu stromů ve stromových skupinkách (Obrázek 24) je podobně jako na jihu rovnoměrně rozložen do období 1920 – 1970.

Obrázek 23: Věková struktura na S6



Obrázek 24: Věková struktura na S8



Souše (Tabulka 8) se vyskytují v naprosté většině na severních svazích (více jak 70% podíl), větší množství je jich na Labském štítu (S6, S8). Největší množství je jich na lokalitě S6, kde jsou zároveň i nejstarší jedinci.

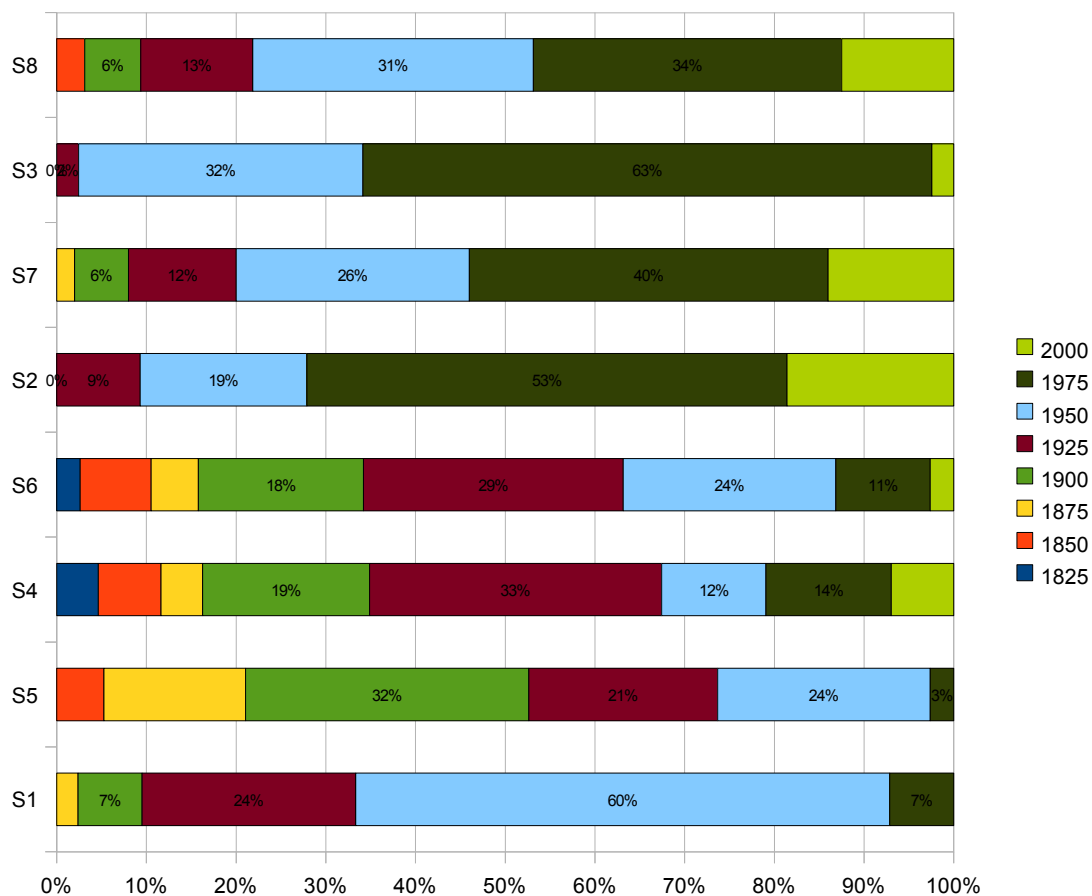
Tabulka 8: Souše

lokality	počet souší	průměrný věk	směrodatná odchylka
S1	6	77	16,37
S2	1	41	-
S3	6	45,33	12,96
S4	30	61,3	18,94
S5	12	88	21,8
S6	34	94,26	25,16
S7	7	63,86	16,25
S8	17	58,76	16,3

Stromky ve stromových skupinkách jsou výrazně mladší než na stanovištích na HHL (Obrázek 25). Nejmladší stanoviště jsou na S i J svahu Kotle (S3 a S2), kde je přibližně dvoutřetinová část stromů mladších ročníku 1950. U skupinek na Labském štítu (S7 a S8) není podíl stromů mladších 60 let tak velký, nicméně se blíží polovině (S8) nebo ji přesahuje (S7). Expozice svahu nemá na věkovou strukturu vliv, zastoupení věkových kategorií se liší podle umístění lokality (Kotel vs. Labský štít).

Na HHL jsou celkově starší stromy také v oblasti Labského štítu, nejmladší porost je na jižním svahu Kotle (S1, kde je jasně dominantní podíl skupiny stromů z let 1925- 1950, více jak 80 % stromů pochází z let 1900 - 1950). Nejstarší porost je na S5, kde je nadpoloviční část stromů z 19. století. Na S4 a S6 je rozložení VS velmi podobné.

Obrázek 25: Období etablování smrku dle stanovišť v %, v 25 letech intervalech, uspořádáno podle ekvivalentních ploch



Tabulka 9: Věková struktura

lokality	počet vývrťů	průměrné stáří	medián
S1	40	80,58	75,72
S2	50	51,07	45,45
S3	61	54,96	52,63
S4	39	96,01	91,14
S5	38	108,62	111,1
S6	38	100,46	92
S7	49	69,73	65,37
S8	29	68,24	62

4.8 Sněhová pokrývka

8. května 2010 byl orientačně (jedním měřením) zjišťován průběh odtávání sněhu. Výsledky jsou uvedeny v Tabulce 10.

Tabulka 10: Statistika pokrytí sněhem

Lokalita	Pokrytí	Průměrná výška (cm)
S1	Ojedinele, pouze ve stinných depresích, cca 5 %	22
S2	Beze sněhu	-
S3	Cca 80 % stanoviště pod sněhem	35
S4	Cca 30 %	42
S5	Pouze mezi stromy, cca 15 %	30
S6	Cca 10 % mezi stromy	25
S7	Beze sněhu	-
S8	Beze sněhu	-

Nejvíce sněhu bylo zjištěno ve skupinkách na severní straně Kotle (S3), kde byla téměř souvislá vrstva vyšší než 30 cm. Na ostatních stanovištích ve skupinkách sníh nebyl. Na HHL bylo větší množství sněhu také pouze na severní straně Kotle (Lysé hory, S4), na ostatních lokalitách byl sníh pouze sporadicky v depresích pod/mezi stromy.

4. Diskuse

V práci byla hodnocena rozdílnost dynamiky horní hranice lesa v oblasti západních Krkonoš v závislosti na expozici svahu. Hlavní hodnotící ukazatele byly založeny na radiálním přírůstu (letokruhové šířky), na dendrometrických charakteristikách a na věkové struktuře porostů.

Průměrný tloušťkový přírůst byl v poloze HHL zaznamenán v celém sledovaném období větší na jižních svazích, statisticky významný je rozdíl v přírůstu na severní a jižní expozici v letech 1959 – 1998. Ve stromových skupinkách je větší radiální přírůst zaznamenán u jedinců na lokalitách na severní expozici svahu, rozdíly však nejsou statisticky významné. TREML a BANÁŠ (2008) uvádějí, že rozdíly v příznivosti expozice se značně redukuje v momentu etablování lesa nebo stromových skupinek na sledované ploše. Tvzení podkládají teplotními měřeními (měření v koruně stromu a v kořenové zóně), kdy na hranici zapojeného lesa i ve stromových skupinkách byly zjištěny na opačných expozicích minimální rozdíly v naměřených teplotách, výraznější teplotní rozdíly byly naměřeny až v poloze bezlesí nad horní hranicí lesa. V poloze stromových skupinek naměřili ve východních Krkonoších mírně vyšší teploty na severním, tedy expozičně nevýhodném, svahu, stejně jako PONOCNÁ (2009). Tyto výsledky korespondují s výsledky této práce, kdy byly mírně větší radiální přírůsty ve stromových skupinkách zaznamenány na severních svazích.

Většímu průměrnému tloušťkovému přírůstu na HHL na jižních svazích odpovídají i vyšší hodnoty přírůstu na větvích za posledních 10 let, rozdíly jsou statisticky významné na všech sledovaných stanovištích. Ve stromových skupinkách jsou rozdíly statisticky neprůkazné.

Průběhy detrendovaných stanovištních chronologií na HHL jsou velmi podobné, nezávisle na expozici svahu. Výraznější odchylky lze nalézt pouze v období ovlivněném imisním spadem, který více zasáhl jedince na Kotli (S1, S4) než na Labském štítu (S5, S6). Od začátku 50. do konce 70. let jsou vykazovány nadprůměrné hodnoty indexů, což zřejmě souvisí

se vzrůstající průměrnou teplotou zaznamenanou v průběhu 40. - 60. let 20. století (GLOWICKI, 1997). Velmi výrazný je vliv kyselé depozice, vyjádřený velmi nízkými přírůsty od roku 1979 do konce 80. let. Vlivem velkého povrchu jehlic docházelo k silnému vstřebávání síry a dusíku z atmosféry, docházelo nejen k poškozování jehlic ale především okyselování půd (HRUŠKA et OUHELE, 2008). Projevy kyselé depozice lze nalézt i v Krušných horách (KROUPOVÁ, 2002), Jizerských horách, Orlických horách (RYBNÍČEK, 2009) nebo Beskydech (ČERMÁK, 2010). V následujícím období je patrný nárůst velikosti přírůstu spojený s vhodnými podmínkami pro regeneraci stromů (RYBNÍČEK, 2009) – mírné zimy, vysoké teploty ve vegetačním období a nižší vzdušné znečištění. V druhé polovině 90. let pokles přírůstu odpovídá poklesu zjištěnému v Beskydech (ČERMÁK, 2010).

Průběh chronologií celkově odpovídá i chronologii JANDY (2008) pro Krkonoše. Jednotlivé chronologie taktéž odpovídají chronologiím pro Labský důl (SANDER et al., 1995) pro roky 1930 – 1990, u stanoviště S5, které se nachází v této lokalitě, je průběh křivky pro dané období prakticky totožný. Srovnání s regionální chronologií z Orlických hor (RYBNÍČEK, 2009) již nějaké rozdíly přináší (v Orlických horách absence deprese roku 1998, absence progresu 1977) ale trendy jsou opět velmi podobné.

Detrendované stanovištní chronologie stromových skupinek nemají jasný trend jako na HHL, jejich průběh je více rozkolísaný. Tento fakt lze přisoudit relativnímu mládí jedinců na těchto stanovištích, kdy na např. na S2 nedosahuje průměrné kambiální stáří odebraných vzorků ani třiceti let. O nižší kvalitě chronologií stromových skupinek svědčí i parametr EPS, kdy nedosahují kritické hodnoty.

Reziduální chronologie vykazují statisticky významné pozitivní korelace na průměrné teploty ve vegetačním období, zejména na průměrných teplotách měsíce července. K stejnému závěru došli v nižších polohách např. v Orlických horách (RYBNÍČEK, 2009), v Beskydech (ČERMÁK, 2010) významná závislost na samotných teplotních průměrech vegetačního období prokázána nebyla (pouze ve spojení se srážkami). Stanoviště S5 a S7, stejně jako souhrnné kategorie (ALL, HHL, JIH, SEVER) prokazují negativní závislost na teplotách května či června loňského roku. Vysoké teploty loňského roku mohou spolu s vysokou radiací způsobit zvýšený výpar a vláhový deficit, který ovlivní dostupnost vody v následujícím jarním období (ČERMÁK, 2007).

Významné jsou také korelace k říjnu předchozího roku. Ty byly zjištěny např. i v Beskydech (ČERMÁK et al., 2010), kde jsou vysvětleny plynulým přechodem z vegetačního období do období vegetačního klidu během relativně teplého října, čímž dojde k vytvoření

dostatečných zásob živin. Na S4 byla prokázána pozitivní závislost na průměrných teplotách dubna, ČERMÁK et al. (2010) uvádí, že v tomto období obnovuje strom svoji fotosyntetickou kapacitu, což je ovlivněno teplotou a přítomností silných nočních mrazů. Dalším možným vysvětlením je dřívější zahájení tání půdy, čímž dojde k lepší dostupnosti vody pro kambiální aktivity v květnu.

Nejvýraznější pozitivní hodnoty letokruhových signatur byly zjištěny pro roky 1899, 1901, 1946, 1969, 1992, 1994 a 2001 naopak negativní hodnoty byly nejvýznačnější v letech 1923, 1942, 1974, a 1998. SANDER et al. (1995) uvádí negativní pointer years pro oblast Labského dolu v období 1930 – 1995 roky 1942, 1956, 1974 a 1980. Roku 1942 a 1956 byly zaznamenány silné mrazy v průběhu ledna a února, roky 1974 a 1980 jsou vysvětlovány chladnými léty a tedy nízkými přírůsty vlivem nízkých teplot ve vegetačním období (SANDER, 1995). V této práci rok 1956 klasifikován jako významný rok nebyl. Problematice letokruhových signatur se věnoval i JANDA (2008). Jako negativní signatury byly označeny roky 1923 a období 1980-1985. Roku 1923 bylo velmi chladné léto a celkově nízké srážky. Období let 1980-1985 je pak zjevně pod neklimatickým ovlivněním – kyselá depozice (SANDER et al., 1995, KROUPOVÁ, 2002), čemuž odpovídají i výrazně vyšší hodnoty korelačních koeficientů při hodnocení závislosti letokruhových signatur na průměrných teplotách.

TREML (2004) studoval tendence v posunu horní hranice lesa v Krkonoších za posledních 70 let na základě leteckých snímků. Bylo nalezeno 16 lokalit s vzestupem hranice lesa pokrývajících 7 % celkové délky hranice lesa v Krkonoších, mj. vzestup vykazuje i oblast lokality S4. Většina lokalit vzestupu hranice lesa byla dříve pod vlivem lidské činnosti (senoseč, pastevectví, dřevorubectví). Velká část hranice lesa má však stabilní polohu, zřejmě jako výsledek kompetice smrku na jedné straně a borovice kleče s travními společenstvy (především *Calamagrotis villosa*) znesnadňujícími klíčení smrku na druhé straně. Ve sledovaném období 1936 – 1964 byl zjištěn prudký nárůst hranice lesa. V 50. a 60. letech byly zjištěny nadprůměrné teploty vegetačního období (GLOWICKI, 1997). Zlepšené podmínky růstu umožnily semenáčkům přežít kritickou fází vývoje (KÖRNER, 1998). Tomuto období odpovídá zvýšená míra etablování stromků prakticky na všech stanovištích kromě S5, kde se naprostá většina stromů etablovala do roku 1940. Po roce 1965 se na sledovaných lokalitách v poloze HHL smrky prakticky neetablovaly, kromě S4, kde probíhá v silné míře zmlazování porostu v posledních letech (od roku 1995). Ve stromových skupinkách na Kotli (S2, S3) proběhla hlavní etapa zmlazování od poloviny 40. let do začátku 70. let minulého století (na S2 až do roku

1975), což souvisí zřejmě s ukončením antropogenního využívání ploch nad hranicí lesa (JENÍK et LOKVENC, 1962). Stromové skupinky na Labském štítu (S7, S8) tvoří i jedinci starší sta let, je možné předpokládat menší antropogenní využívání těchto lokalit díky nevhodnému tvaru reliéfu, zejména na polské straně (VACEK et al, 2007).

Expozice svahu nemá na období etablování stromů ve sledovaných lokalitách patrný vliv, zastoupení věkových kategorií se liší spíše podle umístění lokality. Dynamiku porostů na horní hranici lesa v závislosti na expozici svahu v Rocky Mountains (USA) hodnotili ELLIOT et KIPFMUELLER (2010), kteří našli více mladších stromů na severních svazích. Na sledovaných lokalitách byly zjištěny v průměru mladší stromy vždy ve stromových skupinkách než v poloze HHL, více jak 50 % stromků v poloze skupinek je mladších roku 1950. V Rocky Mountains (ELLIOT et KIPFMUELLER, 2010) bylo zaznamenáno až 93 % stromků ve skupinkách mladších roku 1950, autoři to považují za jasný důkaz vzestupu HHL. Na pozici HHL zaznamenali jen 42 % stromů mladších roku 1950, statisticky významné rozdíly ve stáří stromů mezi skupinkami a HHL zaznamenali na 11 z 12 stanovišť. Statisticky jsou mladší stromy na severních svazích než na jižních. Vlhkostní podmínky na severních svazích jsou příhodnější pro zachycení a růst semenáčků, jižní svahy jsou více postiženy vlhkostním stresem díky expozici vůči slunečnímu záření. Teplota a srážky jsou limitujícími faktory na jihu, na severu spíše geologické a geomorfologické charakteristiky stanoviště.

BARTLLORI et GUTIERREZ (2008) prováděli výzkum hranice lesa v Pyrenejích, na HHL byly počtem dominující semenáčky a mladé stromky. Více než vzestup hranice lesa se projevuje zhuštění stromků v této poloze, nejsilnější trend zhušťování byl zaznamenán v posledních 50 letech. Na polovině stanovišť byl zároveň sledován vzestup HHL, což prý indikuje citlivost na krátkodobé klimatické změny. Vzestup hranice lesa nelze jednoznačně označit jako faktor globálního oteplování nebo změny ve využívání půdy. S rostoucí nadmořskou výškou byl zaznamenán trend klesajícího věku a výšky stromů.

Podle výsledků práce je postup hranice lesa na sledovaných stanovištích evidentní. Nadpoloviční většina stromků v poloze stromových skupinek je mladších roku 1950, na Kotli spadají do této věkové kategorie dokonce více jak 2/3 jedinců. Obsazování vyšších poloh zcela jistě souvisí hlavně se zanecháním hospodářské činnosti na a nad hranicí lesa v 50. letech minulého století.

5. Závěr

Práce se zabývala růstem stromů v ekotonu horní hranice lesa v oblasti západních Krkonoš. Sledovány byly rozdíly v růstu v závislosti na expozici svahu, v závislosti na poloze stromu v rámci ekotonu horní hranice lesa, citlivost růstu stromů k teplotním parametrům v čase. Dále bylo sledováno období etablování stromů na jednotlivých plochách.

Průměrný tloušťkový přírůst byl v poloze HHL zaznamenán v celém sledovaném období větší na jižních svazích, statisticky významný je rozdíl v přírůstu na severní a jižní expozici v letech 1959 – 1998. Statisticky významné jsou i větší přírůsty na větvích na jižních svazích. Ve stromových skupinkách není možné říci, na které expozici jsou průměrné přírůsty větší, přírůsty jsou větší na severní expozici, ale rozdíl mezi severní a jižní expozicí není statisticky významný. Průměrný radiální přírůst za posledních 10 let byl na sedmi z osmi stanovišť větší než průměrný přírůst za celé sledované období.

V poloze HHL je průměrná sensitivita větší na jižních svazích, ve stromových skupinkách pak naopak na severních. Větší rozdíly v sensitivitě jsou však zaznamenány mezi sledovanými lokalitami (Kotel x Labský štít) než mezi stanovišti v rozdílné expozici svahu.

Rozdíly v průběhu stanovištních a reziduálních chronologií v poloze HHL na severní a jižní expozici nejsou nikterak výrazné, nedá se jednoznačně říci, zda a kdy převládal nadprůměrný či podprůměrný přírůst na které expozici. Trendy růstu jsou na HHL na všech stanovištích velmi podobné, kromě deprese v 80. letech jsou patrná minima růstu v letech 1940-43, 1995-2000. Naopak maxima růstu byla zjištěna pro roky 1944-47, 1966-78, v polovině 90. let a v letech 2001-2006. Ve skupinkách jsou chronologie velmi rozkolísané, růstová deprese v 80. letech 20. století je zde projevena méně než na HHL.

Velikost radiálního přírůstu sledovaných jedinců na horní hranici lesa vykazuje závislost na průměrných teplotách vegetačního období, nejvíce pak na průměrné červencové teploty. U jedinců ve stromových skupinkách je statistická závislost na průměrných teplotách vegetačního období výrazně slabší. Významná je také závislost na teplotních průměrech října

předcházejícího roku. S teplotními daty lépe korelují chronologie v poloze HHL sestavené z jedinců na jižním svahu. Chronologie jsou nejvíce citlivé na teplotní charakteristiky v letech 1940-1955 a v první polovině 90. let.

Nejvýraznější pozitivní hodnoty letokruhových signatur byly zjištěny pro roky 1899, 1901, 1946, 1969, 1992, 1994 a 2001 naopak negativní hodnoty byly nejvýznačnější v letech 1923, 1942, 1974, a 1998. Růstové depresi v 80. letech odpovídá kumulace pěti negativních signatur v letech 1980 – 1984. Největší odezvu vykazují signatury na průměrné teploty června a července vegetačního období a října a listopadu předchozího roku. Naopak na teplotách posledních měsíců vegetačního období (srpen, září) nebyla závislost signatur prokázána. Na severním svahu mají větší odezvu na průměrné teploty negativní signatury, na jižním pak pozitivní.

Na HHL je z hlediska zmlazení stromů významné období 30. a první poloviny 40. let 20. století, kdy všechny sledované lokality vykazují zvýšené množství etablovaných stromů. Expozice svahu nemá na věkovou strukturu vliv, zastoupení věkových kategorií se liší spíše podle umístění lokality (Kotel vs. Labský štít). Evidentní je vzestup hranice lesa, kdy více jak 50 % jedinců ve stromových skupinkách je mladší roku 1950.

Použitá literatura:

- BARTLLORI, E, GUTIERREZ, E. 2008. Regional tree line dynamics in response to global change in Pyrenees. *Journal of Ecology* 96: 1275-1288.
- BÜNTGEN, U., FRANK, D., SCHMIDHALTER, M., NEUWIRTH, B., SEIFERT, M., ESPER, J. (2006): Growth/climate response shift in a long subalpine spruce chronology
Journal Name: *Trees - Structure and Function. Biomedical and Life Sciences*, 20, č. 1, s. 99-110.
- COOK, E. R., PETERS, K. (1981): The smoothing spline: A new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies. *Tree-ring Bulletin*, 41, s. 45-53
- COOK, E. R. (1985): A time series analysis approach to tree ring standardization. Dissertation at Graduate College, University of Arizona, Tucson, 171 s.
- ČERMÁK, M., MARTINKOVÁ, M., NÁROVEC, V. (2004): Patologický účinek mrazu a sněhu na smrčiny. *Lesnická práce*, 84, č. 3, s. 126 – 128.
- ČERMÁK, P. (2007): Defoliace a radiální růst jako ukazatele vitality smrku ztepilého. *Lesnická práce*, 86, 11, s. 14-15.
- ČERMÁK, P., RYBNÍČEK, M., ŽID, T. KOLÁŘ, T. BOČKOVÁ, H., PŘEMYSLOVSKÁ, E. (2010): The effects of climatic factors on radial growth of Norway spruce *Picea abies* in the Silesian Beskids. *Beskydy*, 3, 1, s. 9-18.
- CHALOUPSKÝ, J. (1983): Geologický vývoj. In: Sýkora, B (eds): *Krkonošský národní park. Státní zemědělské nakladatelství, Praha*, s. 11-19.
- CHYTRÝ, M., KUČERA, T., KOČÍ, M. (2001): *Katalog biotopů České republiky. Praha, AOPK*, 307 str.
- DRÁPELA, K, ZACH, J. (1995): *Dendrometrie (dendrochronologie). MZLU Brno, Brno*, 150 s.
- DUBICKA, M., GLOWICKI, B. (2000): Ekoklimat Karkonoszy w przekroju wieloletnim w świetle wskaźników kompleksowych. *Opera Corcontica: Geoekologické problémy Krkonoš*, 37, s. 55-67.
- ELFERTS, D. (2007): Scots pine pointer-years in northwestern Latvia and their relationship with climatic factors. *Acta Universitatis Latviensis*, 723, s. 163-170
- ELLENBERG, H. (1996): *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. Ulmer, Stuttgart*, 1095 s.
- ELLIOT, G.P., KIPFMUELLER, K.F. (2010): Multi-scale influences of slope aspect and spatial pattern on ecotonal dynamics at upper treeline in the southern Rocky Mountains, U.S.A. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 42, p. 45-56.

- ESPER, J., COOK, E.R., SCHWEINGRUBER, F.H., 2002. Low frequency signals in long treering chronologies for reconstructing past temperature variability. *Science*, 295, s. 2250–2253.
- FRITTS, H. C. (1976): *Tree rings and climate*. Academic Press, London, 567 s.
- GERMINO, M. J., SMITH, W. K., RESOR, A. C. (2002): Conifer seedling distribution and survival in an alpine treeline ecotone. *Plant Ecology* 162, s. 157–168.
- GEHRING-FASEL, J., GUISAN, A., ZIMMERMANN, N.E. 2007. Tree line shifts in the Swiss Alps: Climate change or land abandonment? *Journal of Vegetation Science* 18: 571-582.
- GŁOWICKI, B. (1997): Wieloletnia seria pomiarow temperatury powietrza na Śnieżce. *Geoekologiczne problemy Karkonoszy I*, s. 117–123.
- HANECA, K., ILSE, B., VAN ACKER J., BEECKMAN, H. (2005): *Dendrochronology in suboptimal conditions: tree rings from medieval oak from Flanders (Belgium) as dating tools and archives of past forest management*. *Veget Hist Archaeobot*. Springer Verlag 2005.
- HOLTMEIER, F-K., BROLL, G. (2005): Sensitivity and response of northern hemisphere altitudinal and polar treelines to environmental change at landscape and local scales. *Global Ecology and Biogeography*, 14, s. 395-410
- HOLTMEIER, F-K. (2009): *Mountain timberlines. Ecology, Patchiness, and Dynamics*. *Advances in global change research*. 36. Springer Netherlands, 437 str.
- HRUŠKA J., OUHELE F. (2008): Dusík v lesních ekosystémech. *Vesmír*, 87, 12, s. 866-869.
- JANDA, M. (2008): *Letokruhová chronologie smrku pro Východní Krkonoše*. Diplomová práce, PřF UK, Praha, 72 str.
- JENÍK, J. (1961): *Alpínská vegetace Krkonoš, Králického Sněžníku a Hrubého Jeseníku. Teorie anemo-orografických systémů*. Nakladatelství ČSAV, Praha. 412 str.,
- JENÍK, J., LOKVENC, T. (1962): *Die alpine Waldgrenze im Krkonoše Gebirge*. *Rozpravy Československé akademie věd*, 72, sešit 1, Nakladatelství ČSAV, Praha, 65 str.
- KNIBBE, B. (2007): *Personal Analysis System for Treering Research – Instruction Manual*. SCIAM
- KOCIÁNOVÁ, M., SPUSTA, V. (2000): Vliv lavinové aktivity na kolísání horní hranice lesa v Krkonoších. *Opera Concoctica*, 37, s. 473-480
- KÖRNER, CH. (1998): A re-assessment of high elevation treeline position and their explanation. *Oecologia*, 115, s. 445-459.
- KÖRNER, CH. (2003): *Alpine plant life. Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems*. 2nd Edition. Springer, 344 str.

- KÖRNER, CH., PAULSEN, J. (2004): A world-wide study of high altitude treeline temperatures. *Journal of Biogeography*, 31, 5, s. 713-732.
- KÖRNER, CH. (2007): Climatic treelines: conventions, global patterns, causes. *Erdkunde*, 61, s. 316-324.
- KROUPOVÁ, M. (2002): Dendroecological study of spruce growth in regions under long-term air pollution load. *Journal of Forest Science*, 48, 12, s. 536-548.
- KŘÍŽEK, M., TREML, V., ENGEL, Z. (2007): Zákonitosti prostorového rozmístění periglaciálních tvarů v Krkonoších nad alpínskou hranicí lesa. In: Štursa, J., Knapik, R. (eds): *Geoekologické problémy Krkonoš. Sborn. Mez. Věd. Konf., říjen 2006*, Svoboda n. Upou. *Opera Corcontica*, 44, 1, s. 67-79.
- KULLMAN, L. (2007): Tree line population monitoring of *Pinus sylvestris* in the Swedish Scandes, 1973-2005: implications for tree line theory and climate change ecology. *Journal of Ecology*, 95: 41-52.
- LOKVENC, T. (1978): *Toulky krkonošskou minulostí. - Kruh*, Hradec Králové, 258 s.
- LOKVENC, T. (1995): Analýza antropogenně podmíněných změn porostů dřevin klečového stupně v Krkonoších. *Opera Concontica*, 32, s. 99-114.
- MÄKINEN, H., NÖJD, P., KAHLE, H., NEUMANN, U., TVEITE B., MIELIKÄINEN, K., RÖHLE, H., SPIECKER, H. (2002): Radial growth variation of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) across latitudinal and altitudinal gradients in central and northern Europe. *Forest ecology and management*, 171, s. 243 - 259.
- METELKA, L., MRKVICA, Z., HALASKOVÁ O. (2007): Podnebí. In: *Kol: Krkonoše. Příroda, historie, život. BASET*, s. 147-155.
- MOTTA, R., NOLA, P. (2001): Growth Trends and Dynamics in Sub-Alpine Forest Stands in the Varaita Valley (Piedmont, Italy) and Their Relationships with Human Activities and Global Change. *Journal of Vegetation Science*, 12: 219-230.
- NEUWIRTH B., ESPER J., SCHWEINGRUBER F. H., WINIGER M. (2004): Site ecological differences to the climatic forcing of spruce pointer years from the Löttschental, Switzerland. *Dendrochronologia*, 21/2, s. 69-78.
- QUITT, E. (1971): *Klimatické oblasti Československa*. Geografický ústav ČSAV. Brno. 82 s.
- PAULSEN, J., WEBER, U. M., KÖRNER, CH. (2000): Tree growth near treeline: Abrupt or Gradual Reduction with Altitude? *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 32, 1, s. 14-20.
- PAULSEN, J., KÖRNER, Ch. (2001): GIS-analysis of tree-line elevation in the Swiss Alps suggest no exposure effect. *Journal of Vegetation Science*, 12, s. 812-824

- PILOUS, V. (2007): Horopis. In: Kol.: Krkonoše. Příroda, historie, život. BASET, s. 19-28.
- PONOCNÁ, T. (2009): Ověření expozičního efektu na horní hranici lesa v Krkonoších. Diplomová práce, PřF UK, Praha, 82 s.
- ROSSI, S., DESLAURIERS, A., ANFODILLO, T., CARRARO, V. (2007): Evidence of threshold temperatures for xylogenesis in conifers at high altitudes. *Oecologia*, 152, s. 1-12.
- RYBNÍČEK M., ČERMÁK P., KOLÁŘ, T., PŘEMYSLOVSKÁ E., ŽID, T. (2009): Influence of temperatures and precipitation on radial increment of Orlické hory Mts. Spruce stands at altitudes over 800 m a.s.l. *Journal of forest science*, 55, 6, s. 257-263
- SANDER, C., ECKSTEIN, D., KYNCL, J., DOBRÝ, J. (1995): The growth of spruce (*Picea abies* (L) Karst) in the Krkonoše-(Giant) Mountains as indicated by ring width and wood density. *Ann Sci For*, 52: 401-410.
- SVEINBJÖRNSSON, B. (2000): North American and European Treelines: External Forces and Internal Processes Controlling position. *Ambio*, 29, 7, s. 388-395.
- SÝKORA, B. et al. (1983): Krkonošský národní park. SPN, Praha. 280 s.
- TRANQUILLINI, W. (1979): *Physiological Ecology of the Alpine Timberline. Tree Existence at high Altitudes with Special Reference to the European Alps*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York, 131 str.
- TREML, V., BANAŠ, M. (2000): Alpine timberline in the High Sudetes. *ACTA UNIVERSITATIS CAROLINAE, GEOGRAPHICA*, Praha, 35, s. 83-99.
- TREML, V. (2004): Recent tendencies of alpine timberline shifts in the Krkonoše (Giant) Mts., High Sudetes. In: Drbohlav, D., Kalvoda, J., Voženílek, V (eds.): *Czech geography at the dawn of the millenium*, 151-162. Nakladatelství UP, Olomouc.
- TREML, V., BANAŠ, M. (2008): The effect of exposure on Alpine Treeline Position: a case study from the High Sudetes, Czech Republic. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, 40, 4, s. 751-760.
- TREML, V., JANKOVSKA, V., PETR, L. (2008): Holocene dynamics of the alpine timberline in the High Sudetes. *Biologia*, 63, 1, s. 73-80.
- VACEK S. (1984): Ekologické souvislosti poškození v porostech na horní hranici lesa v Krkonoších. *Opera concortica*, 21, s. 157 – 165.
- VACEK, S. et al. (2006): Lesy a ekosystémy nad horní hranicí lesa v národních parcích Krkonoš. Lesnická práce, Praha, 112 str.
- VACEK, S., MIKESKA, M., PODRÁZSKÝ, M., HEJCMAN, M. (2007): Vývoj krajiny v bilaterální biosférické rezervaci Krkonoše/Karkonosze. *Opera Concortica*, 56, s. 537 – 547.
- VACEK S., JENÍK J. (2010): Přirozené hřížení buku lesního (*Fagus sylvatica*) v ekotonu

alpínské hranice lesa v Krkonoších. Opera Corcontica 47/2010 Suppl. 1: 215–224

VITTOZ, P., RULENCE, B., FRELECHOUX, F. (2008): Effect of Climate and Land-Use Change on the Establishment and Growth of Cembra Pine (*Pinus Cembra* L.) over the Altitudinal Treeline Ecotone in the Central Swiss Alps. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 40, 1, s. 225-232.

WIESER, G., TAUSZ, M. (eds.) (2007): *Trees at their upper limit*. Springer, Dordrecht, 233 str.

WIGLEY, T. M. L., BRIFFA, K. R., JONES, P. D. (1984): On the average value of correlated time series, with application in dendroclimatology and hydrometeorology. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, s. 201-213

Příloha 1: Seznam studovaných vzorků, naměřené parametry