

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ FAKULTA
ÚSTAV NAUKY O DŘEVĚ

**VLIV KLIMATU NA RADIÁLNÍ PŘÍRŮST SMRKU ZTEPILÉHO
NA VYBRANÝCH LOKALITÁCH JESENÍKŮ**
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Michal Rybníček, Ph.D.

Vypracoval:

Jaroslav Majerko

Brno 2016

ZADANÍ

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: Vliv klimatu na radiální přírůst smrku ztepilého na vybraných lokalitách Jeseníků zpracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladu spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne 2. 5. 2016

Poděkování

Na tomto místě bych rád vyjádřil velké díky svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalu Rybníčkoví Ph.D., za jeho obrovské nervy, ochotu a velkou trpělivost, kterou mi při psaní práce v nemalé míře věnoval.

Dále patří mé poděkování mamince a tatínkovi, za obrovskou psychickou a finanční podporu během studia.

Zároveň děkuji Pavlíně Strakové za psychickou i technickou pomoc při psaní této bakalářské práce. A také děkuji všem svým blízkým.

ABSTRAKT

Hlavním cílem této práce bylo stanovení vlivu klimatu na radiální přírůst smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) Karst.) na vybraných lokalitách Jeseníků. Na čtyřech lokalitách bylo pomocí Presslerova přírůstového nebozezu odebráno 160 vzorků. Šířky letokruhů byly změřeny a zpracovány v programu PAST 32. Odstranění věkového trendu z letokruhových křivek a vytvoření residuální indexové standardní chronologie bylo provedeno v programu ARSTAN. Tato vytvořená residuální chronologie byla použita pro modelování vlivu klimatických parametrů na radiální přírůst v programu DendroClim. Současně byla provedena analýza významných negativních let. Průměrné letokruhové křivky z jednotlivých lokalit vykazují vysokou vzájemnou podobnost. Radiální přírůst statisticky významně koreloval s teplotou od března do července a s půdní vlhkostí od března do května aktuálního roku. Nejvíce negativní významné roky, kdy reagovalo více jak 40 % všech stromů, jsou roky 1974, 1980, 1984 a rok 2003. Tyto negativní významné roky byly způsobeny nižším množstvím měsíčních úhrnů srážek a zvyšujících se průměrných teplot během vegetačního období.

Klíčová slova

Jeseníky, letokruh, PDSI, radiální přírůst, smrk ztepilý, srážky, teplota

ABSTRACT

The main objective of this bachelor thesis was to determine the influence of climate on the radial growth of Norway spruce (*Picea abies*) in selected locations of the Jeseníky Mountains. The samples (160 in total) were collected at four different localities using the Pressler borer, and dendrochronological analysis was performed with the PAST 32 programme. Tree ring curves were detrended, autocorrelation was removed and the regional standard tree-ring chronology and the regional residual tree-ring chronology were created. The ARSTAN programme was used to remove the age trend of tree ring curves and to create a residual index standard chronology. This created a residual chronology used for modeling the impact of climatic parameters on the radial increment in the program DendroClim. At the same time an analysis of significant negative years was performed. The average tree ring curve from the different sites have high similarities, and shows that radial increment statistically and significantly correlated with temperature from March to July and with soil moisture from March to May of the same year. The most significant negative years, which responded to more than 40% of all trees, were 1974, 1980, 1984 and in 2003. These negative

significant years were caused by a low rate of monthly rainfall and increasing average temperatures during the growing season.

Keywords

Jeseníky Mountains, Norway spruce, tree ring, PDSI, precipitation, radial growth, temperature

Obsah

1. Úvod.....	9
2. Cíl bakalářské práce	10
3. Literární přehled.....	11
3.1 Faktory ovlivňující tloušťkový růst a přírůst dřevin.....	11
3.1.1 Teplota	12
3.1.2 Srážky	12
3.1.3 Palmerův index sucha (PDSI).....	13
3.1.4 Sluneční záření.....	14
3.2 Smrk ztepilý.....	15
3.2.1 Popis a vlastnosti.....	15
3.2.2 Rozšíření smrku ztepilého.....	16
3.2.3 Ekologické nároky	18
3.2.4 Využití smrku ztepilého	19
3.2.5 Stavba dřeva smrku.....	19
3.2.5.1 Makroskopická stavba dřeva	19
3.2.5.2 Mikroskopická stavba dřeva.....	20
3.2.6 Dřevokazné houby na smrku.....	20
3.2.7 Dřevokazný hmyz na smrku	21
3.3 Tvorba letokruhu	21
3.3.1 Letokruhy.....	21
3.4 Dendrochronologie	22
3.4.1 Historie dendrochronologie	22
3.4.2 Letokruhová analýza.....	23
3.5 Dendroklimatologická analýza	23
3.5.1 Cookův vzorec	24
3.6 Charakteristika oblasti Jeseníků	25
3.6.1 Podnebí Jeseníků.....	25
3.6.2 Pedologické poměry.....	28
3.6.3 Ochrana přírody a stav krajiny v Jeseníkách	28
4. Metodika a materiál.....	29
4.1 Odběr vzorků	29
4.2 Počet odebraných vzorků.....	30

4.3 Příprava vzorků.....	31
4.4 Měření letokruhů	31
4.5 Křížové datování.....	32
4.6 Odstranění věkového trendu letokruhových křivek (detrendace).....	32
4.7 Modelování klimatických vlivů	33
4.8 Analýza významných negativních let.....	33
4.9 Lokalizace vybraných porostů.....	34
5. Výsledky.....	36
5.1 Letokruhové křivky	36
5.2 Analýza významných negativních let.....	37
5.3 Modelování vlivu klimatu na radiální přírůst	38
6. Diskuze.....	43
7. Závěr.....	45
8. Summary	46
9. Seznam použité literatury	47
10. Seznam tabulek	51
11. Seznam obrázků	52

1. Úvod

Dendrochronologie je vědní obor, zabývající se studiem a datováním letokruhů (Fritts, 1976). Z širokého oboru dendrochronologie vychází řada dalších disciplín označených předponou dendro. Jednou z těchto disciplín je například dendroekologie, studující ekologické problémy životního prostředí nebo dendroarcheologie, zabývající se datováním různých historických událostí (Schweingruber, 1996).

Každá dřevina tedy podává svědectví o minulosti a okolním prostředí skrz svou strukturu buněk, pletiv a orgánů a také skrz fyziologický stav. Příkladem mohou být informace obsažené v letokruhových řadách stromů, které jsou cenným zdrojem poznatků pro studium prostředí a jeho vlivu na růst stromů (Drápela a Zach, 2000). Stromy dokáží zaznamenat měnící se podmínky prostředí ve svém okolí (Schweingruber, 1996). Přední místo mezi přírodními faktory, které ovlivňují růst stromů, patří klimatické podmínky (Fritts, 1976). Jedna z možností aplikace dendrochronologie je i rekonstrukce klimatu na základě dat získaných z letokruhů. Obor zabývající se touto činností se nazývá dendroklimatologie (Speer, 2010). Růst stromu je ovlivněn i dalšími faktory jako jsou například vlastnosti dřevin, stanovištní podmínky, sociální postavení stromu v porostu či poškození abiotickými nebo biotickými činiteli. Tyto faktory je nutné brát v úvahu při zkoumání růstové odezvy stromů na okolní prostředí (Schweingruber, 1996).

V současné době je velmi aktuální tématem celkový zdravotní stav dřevin a jejich adaptační potenciál, jejich reakce na působení klimatických faktorů, které se odchyľují od svých dlouhodobých normálů a to již v důsledku jak přirozené proměnlivosti klimatu nebo činností člověka. Dopad klimatických změn bude mít i vliv na změnu podmínek pro pěstování smrkových porostů a nadále bude stoupat potřeba změny dřevinné skladby lesních porostů (Janouš 2002).

2. Cíl bakalářské práce

Prvním cílem této bakalářské práce bylo vyhledání literárních zdrojů týkající se vlivu klimatu na radiální přírůst dřeva. Dalším cílem práce bylo provést dendrochronologickou analýzu dřeva smrku ztepilého na vybraných lokalitách Jeseníků a provést dendroklimatologickou analýzu. Jednalo se zejména o vliv průměrných teplot, množství srážek a půdní vlhkosti. Posledním cílem práce bylo provedení analýzy významných negativních let.

3. Literární přehled

3.1 Faktory ovlivňující tloušťkový růst a přírůst dřevin

Činnost kambia a tedy i tloušťkový přírůst ovlivňuje řada faktorů. Mezi tyto faktory patří vlastnosti dřevin, stanovištní podmínky, sociální postavení v porostu, klimatické podmínky a také poškození abiotickými a biotickými činiteli (Drápela a Zach, 2000).

Tloušťkový přírůst slunných a rychle rostoucích dřevin jako je například borovice a bříza zpočátku prudce stoupá a v ranném věku kulminuje a poté velmi rychle klesá. U dřevin snášejících stín je situace poněkud jiná – vzrůst tloušťkového přírůstu je pomalejší, ale trvá déle a kulminace nastává podstatně později. Na horších bonitách je pochopitelně přírůst menší než lepší (Drápela a Zach, 2000).

Podstatný vliv na přírůst má také sociologické postavení stromů v porostu. Bez ohledu na malý výškový rozdíl jsou rozdíly v tloušťkovém přírůstu u různých stromových tříd velké. Potvrzení tohoto poznatku se potvrdil na stálých výzkumných probírkových plochách, kde se výchovnými programy upravoval produkční prostor stromů zhruba stejně vyspělých. Ukázalo se, že se zvětšováním rozestupu mezi stromy se tloušťkový přírůst zvětšoval a to jen do určité míry (Speer, 2010). Po překročení optimálního stromového rozestupu k dalšímu zvýšení přírůstků nedocházelo. Reakce na uvolnění u stín snášejících dřevin je větší než u slunných dřevin. Po silné probírce se může tloušťkový přírůst například u jedle zvýšit až o 20 % a tato změna se ihned projeví značným zvětšením šířky letokruhů (Drápela a Zach, 2000).

Značný vliv na tloušťkový přírůst má také jakákoliv porucha ve výživě stromu, ať už způsobena biotickými nebo abiotickými činiteli (Drápela a Zach, 2000). Pokud na funkci kambia působí alespoň jeden z uvedených faktorů, který může ovlivňovat různé rostlinné procesy ve dřevině a i sám může být ovlivněn působením jiného faktoru, tak se činnost kambia pro radiální přírůst mění. Tento případ platí například pro půdní vlhkost a pro teploty okolního prostředí (Fritts, 1976). Při prudkých změnách růstových podmínek může docházet ke zmenšování nebo zvětšování přírůstu letokruhů nebo i k nepravidelnému tvoření letokruhů. K těmto případům dochází při nepříznivých klimatických podmínkách a to po celou dobu vegetačního období. Tyto letokruhy mohou způsobit velké problémy při datování letokruhových řad (Drápela a Zach, 2000).

3.1.1 Teplota

Teplota patří k nejdůležitějším vnějším faktorům ovlivňujícím růst a vývoj rostlin. Nejvíce škodlivé pro růst jsou extrémní změny teploty, silný zimní mráz nebo pozdní mrazy (Špinlerová, 2014).

Růst a produkce u rostlin probíhá zhruba mezi 5–40 °C, při optimální teplotě je rychlost růstu maximální, a to mezi 15–30 °C. Při extrémních teplotách se růst dřevin zpomaluje (Špinlerová, 2014). Radiální růst může být ovlivněn teplotami nadprůměrnými, tak i teplotami podprůměrnými (Čermák, 2007).

Vysoké teploty v roce předcházejícím, tvorbě letokruhu, společně s vysokou dávkou slunečního záření mohou zvýšit výpar a následné snížení vlhkosti půdy v horní přízemní vrstvě půdy. To pak následně omezuje tvorbu živin a také dostupnost vody během jarních měsíců. Nejvíce se to projeví v případě, že srážky z jarního období jsou pod průměrem (Čermák, 2007).

Nadprůměrné teploty během vegetačního období mají obvykle pozitivní vliv na radiální růst. V případě, že jsou příliš vysoké, mohou vyvolat pokles bilance uhlíku a důsledkem toho je pokles přírůstu (Čermák, 2007).

Podobně i extrémně nízké teploty, v souvislosti se suchem, mohou negativně ovlivnit přírůsty a to významněji v horských polohách (Čermák, 2007). Horské polohy mohou být poškozeny v zimě a začátkem jara důsledkem dlouhodobě zmrzlé půdy kolem kořenového systému dřevin (Schweingruber, 1993).

3.1.2 Srážky

Vodní režim ovlivňuje činnost kambia, i když v některých obdobích vývoje je kambium citlivé na jeho nedostatek více než v jiných obdobích (Rybníček, 2007). Hlavním zdrojem vody v systému jsou atmosférické srážky, které ovlivňují vodní bilanci v závislosti na intenzitě, velikosti a časovém rozdělení během vegetačního období (Špinlerová, 2014).

Na radiální růst stromů mohou mít vliv jednak srážky v předchozím roce, tak i srážky v aktuálním roce. Zásadní jsou srážky na jaře a v zimě minulého roku, a jako významné jsou také jarní a letní srážky v roce aktuálním (Čermák, 2007).

Pozitivní korelace se objevily mezi srážkami a růstem tj. zvyšování růstu s množstvím srážek a to především v nižších a středních polohách. Ve vyšších nadmořských výškách tento vztah není doložitelný (Čermák, 2007).

Negativní korelace šířky letokruhu se srážkami, tj. přírůstový pokles v důsledku nadprůměrných srážek, především během července a srpna, byla zjištěna pouze v oblastech s mimořádně vysokými srážkami (Čermák, 2007).

Propustnost půdy a její schopnost akumulace srážek je určena fyzikálními vlastnosti půdy (Schweingruber, 1993).

Dřeviny přijímají vodu pomocí kořenového systému. Množství vody, kterou jsou kořeny schopné přijmout, závisí na vodním potenciálu půdy. Ten se odvíjí zejména od velikosti půdních částic, čím jsou půdní částice menší, tím je kapacita půdy vyšší (Kolařík a kol., 2010).

3.1.3 Palmerův index sucha (PDSI)

Palmerův index intenzity sucha PDSI (Palmer Drought Severiny Index; Palmer 1965) představuje jiný přístup hodnocení sucha a je celosvětově široce aplikován ke klasifikaci sucha (Brázdil, Trnka a kol., 2015).

Palmerovým záměrem (Palmer, 1965) bylo vytvořit metodu, která by umožňovala časové i prostorové porovnávání sucha. Jeho výpočet vychází z vodní bilance studovaného území, která zahrnuje úhrn srážek za sledované období (typicky jeden měsíc), aktuální obsah vody v půdě a výdejovou evapotranspirační složku (Brázdil, Trnka a kol., 2015).

Palmer (1965) vyšel z předpokladu, že půdní profil je možné redukovat na dvě vrstvy a to na svrchní ornici a spodní vrstvu kořenovou. Protože PDSI reprezentuje kumulativní odchylky v přebytku nebo nedostatku vláh na povrchu s ohledem na průměrné poměry dané lokality, může být vhodným indikátorem epizod dlouhodobého sucha (Lischmann et al., 2001).

Palmerův index má ovšem nedostatky, jimiž se zabýval a které nověji Wells et al. (2004) modifikoval. Tato verze scPDSI (sc-self-calibrated) má lepší statistické vlastnosti a je vhodnější pro srovnávání sucha v klimaticky odlišných oblastech.

Hodnoty scPDSI na dané lokalitě pak kolísají mezi -4,0–4,0 (Tab. 1) přičemž sucho je prezentováno zápornými hodnotami indexu a průměrná hodnota scPDSI je nulová (Brázdil, Trnka a kol., 2015).

Tab. 1: Charakteristika hodnot indexu PDSI podle Lischmann et al. (2001).

PDSI	charakteristika měsíce
$\geq 4,00$	extrémně vlhký
3,00 až 3,99	velmi vlhký
2,00 až 2,99	mírně vlhký
1,00 až 1,99	slabě vlhký
0,50 až 0,99	období začínajícího vlhka
- 0,49 až 0,49	blízko normálu
- 0,99 až - 0,50	období začínajícího sucha
- 1,99 až - 1,00	slabě suchý
- 2,99 až - 2,00	mírně suchý
- 3,99 až - 3,00	drsně suchý
$\leq - 4,00$	extrémně suchý

3.1.4 Sluneční záření

Sluneční záření je zdrojem energie pro život na Zemi. Slunce jako jediný zdroj záření vysílá na hranici atmosféry tok sluneční energie o hodnotě $1,3815 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ za sekundu, jde o tzv. solární konstantu. Z tohoto záření dosáhne zemského povrchu průměrně pouze 47 %, více než polovina záření je odražena zpět do vesmíru, či je rozptýlena nebo pohlcena (Špinlerová, 2014).

Ekosféra přijímá sluneční záření ve vlnovém rozpětí od 290 nm do 3000 nm. Z hlediska spektrálního složení můžeme sluneční záření rozdělit na ultrafialové záření (UV) o vlnové délce 100–380 nm, viditelné světlo v rozsahu 380–780 nm a infračervené záření (IR) v rozsahu 780–3000 nm - toto záření je zdrojem tepla na zemi (Špinlerová, 2014).

Světelné záření o vlnových délkách 380–780 nm se nazývá fotosynteticky aktivní radiace (FAR) a je prakticky shodné s viditelným spektrem záření využitě pro metabolické procesy rostlin. Povrch rostlin část dopadajícího záření odráží, část absorbuje a zbytek propouští. Z absorbované části záření je ale průměrně jen asi 1 % využito pro fotosyntézu (Horáček, 1994).

3.2 Smrk ztepilý

3.2.1 Popis a vlastnosti

Smrk ztepilý (*Picea abies* (L.) Karst.) je strom velkých rozměrů dosahující stáří 350 až 400 let. Kmen stromu je průběžný s pravidelně přeslenitým větvením. Dosahuje výšky kolem 50 m, s průměrem kmene až 1,5 m. Největší exempláře dorůstají objemu přes 30 m³ (Úradníček, Maděra a kol. 2001).

Smrk si zachovává do vysokého věku štíhlý a kuželovitý vrchol. Větve u hlavních přeslenů bývají nejčastěji mírně prohnuté s koncem špičky srpovitě zahnuté. Koruny horských typů bývají někdy štíhlé s jemným ovětvením, nebo můžou být široké se silnými větvemi. Větvení druhého řádu bývá velmi rozmanité, někdy je deskovitě ploché, jindy zcela převislé, nebo zase věnikovité, se všemi možnými přechody. Jehlice jsou čtyřhranné, na konci zašpičatělé, 1 až 3 cm dlouhé, setrvávají 6 až 9 let (Úradníček, 2003).

Smrk ztepilý plodí v porostu zhruba od 60. roku a plodné roky se opakují jednou za 5–8 let. Výjimečně lze pozorovat předčasnou plodnost na zcela mladých jedincích, kteří přežívají na extrémních stanovištích (Úradníček, Maděra a kol., 2001).

Šišky bývají před dozráním zelené nebo červenofialové, které se nejčastěji vyskytují na horách u často rašících jedinců. Okraje šupin šišek mají různé tvary od krajů zaokrouhlených, ut'atých až po okraje zašpičatělé s vlnitými okraji. Jako abnormalita se občas vyskytují šišky s ohrnutými šupinami (Úradníček, 2003).

V severním areálu a na horách jsou častější šišky se zaokrouhlenějšími šupinami. Smrkové šišky dávají velké množství semene a jejich klíčivost trvá několik let (Úradníček, Maděra a kol., 2001).

Semenáček má 5 až 10 štíhlých, nahoru prohnutých děložních lístků a několik primárních jehlic. V druhém roce opadnou děložní lístky a vyrostou útlé jehlice, které jsou odlišného vzezření od dospělých. Od třetího roku se tvoří pravidelné přesleny. Výškový přírůst je v prvních letech pozvolný, stupňuje se ponenáhlu, vrcholí asi ve 40 letech a končí ve 100 letech (Úradníček, 2003).

Kořenový systém u smrku je talířovitě rozvinut do plochy při povrchu, proto bývá v půdě slabě zakotven a dochází často k vývratu smrku (Gregorová a kol., 2006). Ve smrkových monokulturách se často vrchní vrstva půdy vyčerpává díky mělkému zakořenění a kolem horní hranice lesa se stává, že i kořenují k zemi splývající větve a vyrůstají tak skupiny, které obklopují mateřský strom (Úradníček, 2003). Kořenové náběhy u smrku jsou dobře vyvinuté. Smrk ztepilý má dobrou klíčivost a to i na starých pařezech

a padlých kmenech stromů. Na písčito až štěrkovitohlinitých, kyprých a dobře provzdušněných půdách dokáže smrk vytvořit i svislou kořenovou soustavu, dosahující hloubky 3 až 6 m (Mráček a Pařez, 1986).

Smrk ztepilý nikdy netvoří výmladky na kmenu, ale některé jiné druhy rodu mají tuto schopnost. Smrk se dá dobře roubovat, avšak obtížně kořenuje z řízků. Schopnost smrku regenerace při poškození je nepatrná (Úradníček, 2003).

Smrk je choulostivý na okus zvěří a mladé kmínky velmi trpí vytloukáním a loupáním od zvěře. Tyto rány na kmenu jsou vstupní bránou pro hniloby. Smrk ztepilý dobře snáší tvarování i zastříhování (Úradníček, 2003).

3.2.2 Rozšíření smrku ztepilého

Smrk ztepilý má rozlehlý euroasijský areál (Obr. 1). Asijský areál smrku je od Kolského poloostrova k jižním výběžkům Uralu. Evropský areál smrku můžeme dělit na dvě části. První oblast zabírá Skandinávii a také zasahuje na jih do Pobaltí, přes střed evropské části Ruska až k Uralu. Druhou oblast tvoří střední a jihovýchodní Evropa. V této druhé části není areál výskytu souvislý a rozpadá se a to zejména na jihu (Úradníček, 2003).

Tyto rozpadlé části můžeme rozdělit na 4 oblasti, a to na oblast Hercynsko-karpatskou, Alpskou, Dinárskou a Rhodopskou. Ostatní části Evropy, tj. celá západní Evropa a Středomoří jsou mimo areál smrku (Úradníček, 2003).

Výškové rozšíření smrku ztepilého je značně proměnlivé a to v závislosti na zeměpisné šířce. Na severu Evropy roste na pahorkatinách i nížinách do výšky několika set metrů nad mořem. Ve střední Evropě se smrk stává podhorskou i horskou dřevinou a dosahuje zde až k hranici lesa. Optimální polohy smrku zde jsou ve výškách 600–1000 m n. m., zatímco lesní hranice kolísá asi od 1300 (hercynská oblast) až do 1500 m n. m. (východokarpatská oblast) (Úradníček, 2003).

V Rakouských Alpách je optimální rozšíření smrku ve výškách 800–1200 m n. m. I zde vystupuje smrk na lesní hranici do výšek 1700–1900 m n. m. Dále k jihu smrk vystupuje ještě výše. V nejteplejších částech areálu, tj. v Rhodopské oblasti nebo v jižní části švýcarských Alp roste smrk dobře ve výškách 1600–1900 m n. m. a vystupuje na horní hranici lesa do výšek 2000–2200 m n. m. (Úradníček, 2003).

Na území České republiky je zastoupen smrk ztepilý v oblasti Hercynsko-karpatské. Na našem území se hercynský smrk vyskytuje skoro ve všech nížinách a i ve vyšších pohorích. Největší rozšíření smrku jsou však naše okrajová horstva, do kterých patří Šumava,

Krkonoše, Krušné hory, Novohradské hory, Jizerské hory, Jeseníky a Orlické hory (Úradníček, 2003).

Přirozené zastoupení smrku je řídkší ve vnitrozemských horských skupinách, zejména na celé Českomoravské vrchovině, v Brdech, Slavkovském lese, Dražanské vrchovině a Oderských vrších. Z větších horských celků v Čechách chybí smrk výrazně v Doupovských horách a v Českém středohoří; roste zde jen v několika exemplářích na vrcholu Milešovky (Úradníček, Maděra a kol., 2001).

Hercynský smrk u nás obsazuje nejčastěji výšky od 550 do 1000 m n. m. a vystupuje k lesní hranici, pokud jí pohoří dosahují (asi 1350 m n. m.). Karpatský smrk je rozšířen ve všech vyšších polohách karpatského systému, počínaje Vsackými vrchy, Javorníky a na západě Beskydy (Malé a Bílé Karpaty jsou bez smrku). Smrk se také vyskytuje i v pohořích centrálních Karpat (Úradníček, 2003).

Vlivem hospodaření byl smrk v posledních 200 letech druhotně silně rozšířen všude ve střední Evropě. Smrk ztepilý se v první polovině 19. století stal hlavní hospodářskou dřevinou a byl vysazován ve všech porostech na našem území. Svým rychlým růstem a technickými přednostmi dřeva opanoval smrk les a dřevařský trh a vytlačil většinu původních dřevin (Úradníček, Maděra a kol., 2001).

Nevhodným výběrem stanovišť pro růst smrku došlo k rozvoji chorob a škůdců. Na těchto plochách dochází ke kalamitám velkého rozsahu. I silný vítr a těžký sníh působí nepříznivě na smrkové plochy, kde hrozí polomy (Úradníček, 2003).



Obr. 1: Rozšíření smrku ztepilého (<https://is.muni.cz/>)

3.2.3 Ekologické nároky

Smrk je světlomilná dřevina, snášející v mládí zástin, což je jedna z příčin, proč snadno vniká do porostů jiných dřevin a sám zaujímá jejich místo (Úradníček, Maděra a kol. 2001). Jako polostinná dřevina bývá v hospodářských lesích někdy typicky v druhé etáži, např. pod borovicí nebo pod modřínem. Smrkové porosty bývají značně semknuté, pohlcují většinu dopadajícího světla a silně zastiňují půdní povrch (Úradníček, 2003). Porovnáme-li nároky smrku na teplo s nároky jiných dřevin, jsou v nárocích na teplo skromnější jen modřín a limba z jehličnatých a bříza a osika z listnatých dřevin (Mráček a Pařez, 1986).

Smrk ztepilý má povrchovou kořenovou soustavu a díky této soustavě je náročný na půdní vlhkost a to zejména v suchých letních měsících, které ho mohou dosti postihnout. Optimální smrková stanoviště se vyznačují rovnoměrnou vlhkostí (Úradníček, 2003).

Smrkové mlaziny mají velkou spotřebu vody, a tak se stává, že původně mokré půdy pod smrkem poschnou (meliorace). Smrk ztepilý dobře snáší nadbytečnou vlhkost a dokáže vydržet i dlouho stagnující vodu bažin nebo rašelinišť (Úradníček, 2003).

Nedostatek půdní vláhy pro smrk představuje limitní faktor jeho dobrého růstu. Na chudých a suchých půdách s nedostatkem půdní vlhkosti se v určitém stáří smrkového porostu dostavuje ochromení růstu a to především v suchých letech. V řadě druhů dřevin, sestavené podle nároků na vodu, patří smrk spolu s jedlí a bukem do skupiny se střední spotřebou vody (Mráček a Pařez, 1986).

Na půdu a geologické podloží nemá smrk velké nároky; tvoří porosty na prahorách, na vápencích i na naplavených půdách nejrůznějšího druhu, jen když nejsou příliš suché nebo extrémně chudé (Úradníček, 2003).

Smrk ztepilý nejlépe roste na svěžích hlinitopísčítých půdách. Smrk dobře zvládá téměř všechny druhy půd. Na horní hranici lesa roste smrk téměř na kamenitých vrstvách půdy. I když nemá na živiny zvlášť velké nároky, vyžaduje smrk především půdy kyselé s hodnotou pH 4—5 (Mráček a Pařez, 1986).

Podle rozšíření smrku můžeme soudit, že tato dřevina není náročná na klimatické prostředí. Smrk ztepilý je odolnou dřevinou, dobře snášející nízké teploty a zimní mrazy, je ovšem citlivější k vysokým teplotám, sněhu a větru. Na klimaticky exponovaných hřebenech a vrcholech vytváří pod vlivem větru a obrusu sněhem jednostranné, vlajkové koruny a bajonetové vrcholy (Úradníček, 2003).

Smrk je dřevinou citlivou na znečištění ovzduší a trpí na průmyslové exhalace a to zejména na SO₂, proto se nehodí do parků a větších měst, kde je znečištění větší (Úradníček, Maděra a kol., 2001).

3.2.4 Využití smrku ztepilého

Smrk ztepilý je jednou z hlavních dřevin dřevařského průmyslu. Pro rychlý růst a technické přednosti dřeva se stal smrk hlavní hospodářskou dřevinou. Poskytuje bezjaderné stejnorodé dřevo stavební, truhlářské, nástrojařské ale i rezonanční pro výrobu hudebních nástrojů (Úradníček, Maděra a kol., 2001).

Dále se dřevo využívá i v papírenském a také v energetickém průmyslu. Další významné místo zaujímá smrk ztepilý v sadovnictví, kde se využívají smrkové podnože pro roubování smrku stříbrného. V okrasném sadovnictví se ve velké míře vysazují různé kultivary smrku, kterých je několik desítek. Smrk se dříve také používal do stříhaných plotů a vysazoval se hojně např. podél železničních tratí (Úradníček, 2003).

Dříve se i těžila pryskyřice jako surovina pro výrobu bednářské smůly, kalafuny a terpentýnu a kůra jako zdroj tříslovin. Mladé letorosty a pupeny se dají použít ve formě odvaru jako prostředek pro léčbu kurdějí pro svůj bohatý obsah vitamínu C (Úradníček, Maděra a kol., 2001).

3.2.5 Stavba dřeva smrku

3.2.5.1 Makroskopická stavba dřeva

Dřevo smrku je po poloměru kmene jednotně zbarveno, nemá vylišeno jádro a běl, u čerstvě pokáceného dříví lze makroskopicky vylišit vyzrálé dřevo, které je žlutobílé až světle žlutohnědé (Šlezingerová a Gandelová, 2012).

Oloupaný, vyschlý kmen má žlutobílou barvu, na rozdíl od červenějšího kmene borovice. Suky jsou drobné, četné, vybíhající šikmo v ostrém úhlu směrem k vršku a jsou žlutavé barvy na rozdíl od borovice, kde jsou suky zbarveny červenohnědě. Dřeň je úzká, nanejvýše 0,5 cm v průměru, dřeňové paprsky jsou patrné jen pod lupou (Balabán, 1955).

Letokruhy jsou zřetelné s pozvolným přechodem mezi jarním a letním dřevem v rámci letokruhu. Pryskyřičné kanálky jsou drobné, patrné pouze na podélných řezech jako svislé tmavší pásy (Šlezingerová a Gandelová, 2012).

Dřevo příjemně voní pryskyřicí, na podélných řezech je slabě lesklé (Balabán, 1955). Smrk patří k měkkým a lehkým dřevům, je méně trvanlivé a odolné proti biotickým škůdcům, dobře se opracovává, suší a hůře se impregnuje (Šlezingerová a Gandelová, 2012).

3.2.5.2 Mikroskopická stavba dřeva

Smrkové dřevo se vyznačuje pryskyřičnými kanálky, které jsou zvláště dobře patrné na řezu radiálním (vertikální kanálky) a tangenciálním (horizontální kanálky). Vertikální pryskyřičné kanálky jsou dosti řídké a ponejvíce ojedinelé. Epiteliální buňky jsou drobné, tlustostěnné v počtu nejčastěji 10–12 (Balabán, 1955).

Dřeňové paprsky jsou většinou jednovrstevné, méně vícevrstevné, složené uprostřed z parenchymu a na obvodu z příčných tracheid, které mají stěny hladké nebo lehce zvlněné a dvojtečkované. Parenchymatické buňky dřeňového paprsku mají drobnější dvojtečky se šikmým, šterbinovitým pórem. Buňky jsou jinak prázdné, nemívají nikdy uvnitř pryskyřici, stěny všech buněk jsou bezbarvé. Více vrstevnaté dřeňové paprsky mají skoro vždy uprostřed různě velký pryskyřičný kanálek. Dřevní parenchym chybí (Balabán, 1955).

Některé tracheidy v pozdním dřevě jsou vyztužené jemnou šroubovicí. Radiální průměr jarních tracheid se pohybuje v mezích 0,020 až 0,040 mm, tloušťka stěn u jarních tracheid 2–4 μm , v pozdním dřevě 4–8 μm (Balabán, 1955).

Délka tracheid (dřevních vláken) 1,7–2,9–3,7 μm , podíl tracheid ve dřevě 94,5–95,3–96,5 %. Dřeňové paprsky, které jsou 7–11 buněk vysoké, po 25 až 35 na 1 mm^2 . Podíl dřeňových paprsků 4,4–4,7–5,5%, podíl parenchymu (pryskyřičných kanálků) 0–1,4–5,8% (Balabán, 1955).

3.2.6 Dřevokazné houby na smrku

Převážná většina smrkových porostů, které jsou uměle založeny v oblastech mimo původní a přirozené rozšíření smrku jsou ohroženy infekcí kořenů primárně parazitickými dřevokaznými houbami a tj. kořenovníkem vrstevnatým (*Heterobasidion annosus*) a václavkou smrkovou (*Armillaria ostoyae*) (Černý, 1989).

Původní přirozené smrkové porosty jsou infikovány zejména sekundárními parazitickými dřevokaznými houbami, které pronikají do živých stromů v místech mechanického poranění (Černý, 1989). Mezi sekundární parazitické dřevokazné houby na smrku, které se nejčastěji objevují je pevník krvavějící (*Stereum sanguinolentum*) a hnědák Schweinitzův (*Phaeolus schweinitzii*) (Černý, 1989).

Na smrku ztepilém můžeme najít nespočet dalších dřevokazných hub od kořenů až po jehličí (Černý, 1989).

3.2.7 Dřevokazný hmyz na smrku

Hmyz představuje jednu z nejpočetnějších skupin živočichů v biosféře. Dřevokazný hmyz je hmyz, který má schopnost poškodit dřevo, a to buď přímo (požerky) nebo nepřímo (snížení kvality dřeva rostoucích stromů). Ke svému vývoji potřebuje hmyz určité podmínky (Šlezingerová a Gandelová 2012).

Hmyz může poškozovat dřevinu od asimilačního aparátu až po kořeny (Voroncov a Červínková, 1986). Za jednoho z největších škůdců smrkových porostů je považován lýkožrout smrkový (*Ips typographus*), který napadá odumírající a odumřelé stromy, při přemnožení napadá i zdravé stromy, kde vytváří požerek (Zumr, 1995). Mezi další škůdce smrkových porostů například patří i ploskohřbetka smrková (*Cephalcia abietis*), pilatka smrková (*Pristiphora abietina*) a mnoho dalších (Voroncov a Červínka, 1986).

3.3 Tvorba letokruhu

Letokruhem se rozumí tloušťkový (radiální) přírůst dřeva vytvořený během vegetačního období příslušného roku periodickou činností dělivých pletiv – kambia a felogenu (Gandelová, Horáček, Šlezingerová, 2008). To znamená, že na poslední vrstvu pláště dřeva navazuje vrstva kambia, ze které se směrem dovnitř tvoří nová vrstva dřeva a směrem ven nová vrstva kůry – pořadí vrstev kůry a dřeva je tedy opačné (nejstarší vrstva dřeva je u dřeně uprostřed kmene, zatímco nejstarší vrstva kůry je na vnější straně kmene) (Drápela a Zach, 2000).

Struktura a šířka letokruhu nezávisí jen na stáří a druhu dřeviny ale také na stanovištních podmínkách, sociálním postavením v porostu a pěstebních opatřeních (Gandelová, Horáček, Šlezingerová, 2008).

3.3.1 Letokruhy

Letokruh a jeho struktura jsou výsledkem komplexu vlivů, které působí na daném stanovišti. U většiny hospodářsky významných dřevin se šířka letokruhu pohybuje v rozmezí 1–5 mm (Gandelová, Horáček, Šlezingerová, 2008).

Buňky v letokruhu, které se vytváří v první polovině vegetačního období, jsou tenkostěnné a široké a tvoří tzv. jarní dřevo. Ke konci vegetačního období jsou buňky zploštělé a silnostěnné a tvoří tzv. letní dřevo. Tato vrstva jarního a letního dřeva, která se

vytvořila během jednoho vegetačního období, vytváří letokruh. Rozpoznání hranice letokruhu umožňuje vizuální rozdíl mezi tmavším a zpravidla užším letním dřevem a světlejším a zpravidla širším jarním dřevem (Drápela a Zach, 2000).

Na základě odlišné struktury letokruhu, která je patrná na příčném řezu, se dřevo našich dřevin dělí na tři základní skupiny – dřevo jehličnatých dřevin, dřevo listnatých dřevin s kruhovitě pórovitou stavbou a dřevo listnáčů s roztroušeně pórovitou stavbou. Co se týče jehličnatých dřevin, dřevo má v letokruzích výrazně vylišeno jarní dřevo (světlejší a řidší část letokruhu) a letní dřevo (tmavší a hustší část letokruhu) (Šlezingerová, Gandelová, 2012).

Zastoupení jarního dřeva v letokruhu je zpravidla vyšší. Podíl jarního dřeva se obvykle zvyšuje se vzrůstající šířkou letokruhů. Hranice mezi jarním a letním dřevem je buď ostrá nebo pozvolná (Gandelová, Horáček, Šlezingerová, 2008).

Dřevo našich jehličnanů lze podle výraznosti hranice (od ostré k pozvolné) seřadit následovně: modřín, douglaska, borovice, tis, jedle, smrk, jalovec, vejmutovka (Gandelová, Horáček, Šlezingerová, 2008).

3.4 Dendrochronologie

Tento název dendrochronologie vznikl z řeckých slov dendron (strom) a chronos (čas). Je to vědní obor, který se zabývá datováním a studiem letokruhů. Letokruh můžeme chápat jako prstenec dřeva, ve kterém se na ploše příčného řezu kmene projevuje plášť vytvořený činností kambia za příslušné období (Fritts, 1976).

3.4.1 Historie dendrochronologie

První písemné zmínky pocházejí od Leonarda da Vinciho, který pochopil, že existuje vztah mezi každoročním kolísáním u letokruhů a dešťovými srážkami v průběhu vegetačního období stromu (Stallings, 1937).

Za zakladatele dendrochronologie je považován americký astronom Andrew Ellicott Douglass (1896- 1962), který zkoumal sluneční aktivitu a byl přesvědčen, že na změnu tvaru letokruhu mají vliv klimatické podmínky minulých století (Drápela a Zach, 2000). Jelikož Douglass neměl přístup k žádným meteorologickým záznamům, soudil, že šířka letokruhů vytváří druh záznamu klimatických změn a snažil se v nich nalézt důkazy slunečního cyklu (Douglass 1919). Svou teorii Douglass potvrdil zkoumáním borovic rostoucích v Arizoně. Sucho u těchto stromů bylo pravděpodobně jediným faktorem, který ovlivňoval jejich růstovou činnost. V takovýchto podmínkách se velmi zjednodušilo vysvětlení vztahu mezi klimatem a šířkou letokruhu, čemuž dříve biologové příliš nevěřili. To vedlo Douglassa

k poznání, že změny šířky letokruhů po sobě následující jsou identické u všech stromů z téže oblasti (Rybníček 2007).

Mezi průkopníka evropské dendrochronologie patří především německý botanik Bruno Hubera (1899–1969) a také nesmíme opomenout žijící legendy evropské dendrochronologie a autory mnoha článků a publikací Fritze a Schweingruber (Rybníček, 2007). Také v České republice se po druhé světové válce začala dendrochronologie rozvíjet. Jedním z průkopníků, kteří začali tento vědní obor využívat, byl Bohuslav Vinš, který založil dendrochronologickou laboratoř ve Zbraslavi a jako jeden z prvních v Evropě pochopil význam dendrochronologie pro studium vlivu faktorů prostředí na růst lesních porostů (Drápela a Zach, 2000). Mezi další významná pracoviště v ČR, které můžeme jmenovat, jsou například dendrochronologická laboratoř Botanického ústavu AV ČR Třeboň, Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK v Praze a také dendrologická a anatomická laboratoř ústavu Nauky o dřevě, LDF, MENDELU v Brně (www.dendrochronologie.cz).

3.4.2 Letokruhov^á analýza

Letokruhov^á analýza je základním postupem v dendrochronologii. Letokruhov^á analýza je soubor speciálních postupů (měřících, matematických, statistických a jiných), které umožňují řešení určitého problému (např. datování určitých událostí, vliv antropogenních faktorů na tloušťkový přírůst, modelování klimatu apod.) pomocí rozboru šířek letokruhů, jejich vzájemných vztahů a míry působení vlivů okolního prostředí na jejich vznik a velikost (Drápela, Zach, 2000).

Postup analýzy je možné zařadit do těchto kroků: formulace problému, stanovení strategie odběru vzorků, odběr vzorků, proměření šířek letokruhů, datování, odstranění věkového trendu, další statistické a matematické zpracování a zpracování výsledků a jejich interpretace (Drápela, Zach, 2000).

3.5 Dendroklimatologická analýza

Dendroklimatologie se zabývá studiem vlivu klimatu na přírůst dřevní hmoty (Schweingruber, 1993).

Využití datovaných letokruhů pro plošnou rekonstrukci a studiu klimatu v současnosti i v minulosti, patří mezi nejstarší a dobře zpracované úlohy, které řeší dendrochronologie. Klimatický signál je druhým členem v Cookově modelu a patří mezi obecně platné náhodné signály. Má velký význam nejen v dendroklimatologii ale i v dalších studiích zabývajících se vlivem různých faktorů na radiální růst i přírůst (Drápela, Zach, 2000).

Získání informačního signálu by mělo být cílem postupů používaných v letokruhové analýze. Jako první navrhnul Cook (1985) lineární adiční model, který obsahuje základní signály letokruhových řad.

3.5.1 Cookův vzorec

$$R_t = A_t + C_t + \delta D1_t + \delta D2_t + E_t$$

R_t šířka letokruhu v čase

A_t věkový trend letokruhové řady

C_t klimatický signál obsažený v letokruhu

$\delta D1_t$ endogenní faktor jedinečný pro každou letokruhovou sérii způsobující odchylky oproti očekávaným hodnotám

$\delta D2_t$ exogenní faktor společný pro více letokruhových řad

E_t náhodná odchylka

δ binární indikátor přítomnosti ($\delta=1$) nebo nepřítomnosti ($\delta=0$) příslušného faktoru v informaci určitého letokruhu

Věkový trend A: Je obligátním členem modelu a souvisí se změnami v tloušťkovém přírůstu v závislosti na věku. Je běžně znám jako přírůstová funkce. Přírůst zpočátku prudce stoupá, v určitém věku kulminuje a potom klesá k nule. Tento proces je nestacionární tj. časově závislý a pro správně provedenou analýzu je třeba jej eliminovat. To se provádí tzv. standardizací.

Klimatický vliv C: Zahrnuje všechny klimaticky podmíněné vlivy prostředí a je stálou součástí modelu. Patří sem nejen typické klimatologické charakteristiky jako např. srážky a teploty, ale i méně obvyklé veličiny. Separace tohoto signálu se provádí pomocí tzv. Kalibrace a response funkcí.

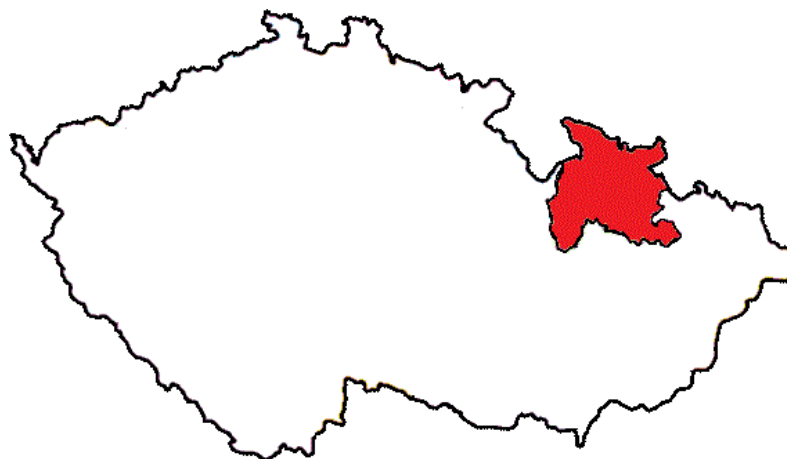
Endogenní vlivy D1: Jsou to zcela lokální vlivy působící jen na jeden strom. Tento vliv se projevuje náhlým pulsem v letokruhové řadě. Jsou způsobeny převážně lokálními změnami prostředí (uvolnění, změna výživy). Jejich separace je prakticky nemožná.

Exogenní vliv D2: Tento vliv představuje charakteristickou reakci stromů v porostu například po požáru případně plošném napadení škůdcem. Tento vliv je patrný ve všech letokruhových řadách.

(Drápela, Zach 2000)

3.6 Charakteristika oblasti Jeseníků

Jeseníky leží na pomezí severní Moravy a Slezska (Obr. 2), okrajově zasahují i do části Polska. Jeseníky zabírají geomorfologické celky Hrubý Jeseník, Králický Sněžník, Rychlebské hory a také část Zlatohorské vrchoviny. Celková rozloha je 1159 km² (Knoz, 1975).



Obr. 2: Oblast Jeseníky (www.oblast.cz)

Jesenický region zahrnuje členité hornatiny na krystalických břidlicích pestrého složení. Zasahuje nejvýše do subalpínského pásma, kde zde však chybí autochtonní kleč. Zde jsou zastoupeny vegetační stupně od 4. bukového až po 8. subalpínský. Vegetace je tvořena květnatými a acidofilními horskými bučinami, a ve vyšších polohách přirozenými smrčiny, alpínskými společenstvy a vrchovišti. Jeseníky patří k jádru výskytu autochtonního sudetského modřínu. Lesy Jeseníků dnes tvoří převážně smrkové kultury a dále zde můžeme nacházet i rozsáhlé zbytky horských bučin, suťových lesů a i přežívajících klimaxových smrčin (Culek a kol., 1996).

3.6.1 Podnebí Jeseníků

Podle Quitta (1971) leží převážující nižší část v klimatické oblasti chladné CH7, vyšší části nad 900 m n. m. v oblasti CH6 a hřbety nad 1200 m n. m. v klimatické oblasti CH4, která je v České republice nejchladnější (Tab. 2).

Na úpatí Jeseníků je klima mírně teplé a průměrně vlhké, oproti Jizerským horám a západním Sudet. Jeseníky tak mají 7,1 °C, 846 mm srážek, Zlaté Hory 7,5 °C, 835 mm, Vrbno pod Pradědem leží již v mírném srážkovém stínu Jeseníků a má roční úhrn srážek 822 mm. Srážky rostou směrem do vyšších poloh nad mořem a teploty tímto směrem naopak klesají. Rejvíz má průměrnou teplotu 5,3 °C a srážky se pohybují na 1029 mm.

Králický Sněžník má průměrnou roční teplotu 1,7 °C a Praděd 0,9 °C a cca 1400 mm srážek (Číhař, 2002).

Na hřebenech Jeseníků tedy panuje drsné větrné a vlhké klima. Charakteristické jsou také pro Jeseníky velké klimatické rozdíly a to na poměrně krátké vzdálenosti a to díky rozdílným nadmořským výškám (Culek a kol., 1996).

Tab. 2: Charakteristika klimatických oblastí (Quitt 1971)

	TEPLÁ		MÍRNĚ TEPLÁ								CHLADNÁ				
	T2	T4	MT2	MT3	MT4	MT5	MT7	MT9	MT10	MT11	CH4	CH6	CH7		
Počet letních dní	50-60	60-70	20-30		30-40			40-50			0-20	10-30			
Počet dní s teplotou alespoň 10°C	160-170	170-180	140-160	120-140	140-160								80-120	120-140	
Počet mrazových dní	100-110		110-130	130-160	110-130	130-140	110-130					160-180	140-160		
Počet ledových dní	30-40		40-50					30-40			60-70		50-60		
Průměrná teplota v lednu (°C)	-2 - -3		-3 - -4		-2 - -3	-4 - -5	-2 - -3	-3 - -4	-2 - -3		-6 - -7	-4 - -5	-3 - -4		
Průměrná teplota v dubnu (°C)	8 - 9	9 - 10	6-7						7-8		2-4		4-6		
Průměrná teplota v červenci (°C)	18-19	19-20	16-17					17-18			12-14	14-15	15-16		
Průměrná teplota v říjnu (°C)	7-9	9-10	6-7				7-8				4-5	5-6	6-7		
Počet dnů se srážkami alespoň 1 mm	90-100	80-90	120-130	110-120		100-120			90-100	120-140	140-160	120-130			
Srážkový úhrn ve vegetačním období (mm)	350-400	300-350	450-500	350-450			400-450			350-400	600-700		500-600		
Srážkový úhrn v zimním období (mm)	200-300		250-300					200-250			400-500		350-400		
Počet dnů se sněhovou pokrývkou	40-50		80-100	60-100	60-80	60-100	60-80	50-60		140-160	120-140	100-120			
Počet dní jasných	120-140	110-120	150-160	120-150	150-160	120-150				130-150	150-160				
Počet dní zatažených	40-50	50-60	40-50			50-60	40-50			30-40	40-50				

3.6.2 Pedologické poměry

V nejvyšších polohách (přibližně nad 1050 m) převládají humuso-železité podzoly, místy zamokřené a zrašelinělé, jinak jsou hlavním zástupcem půd kambizemní podzoly. V nižších částech údolních svahů a při okrajích pohoří se vyskytují dystrické kambizemě (Číhař, 2002).

Zcela poddružně se vyskytují víceméně nasycené typické kambizemě, nepatrné ostrůvky hnědých rendzin na vápencích a půdy nevyvinuté litozemě na strmých srázech se skalními výchozy (Velká Kotlina, Břidličná aj.). Na rašeliništích Revízu a na Skřítku (omezeně i jinde) jsou vyvinuty organozemě (Culek a kol 1996).

3.6.3 Ochrana přírody a stav krajiny v Jeseníkách

Na území Jeseníků byla zřízena chráněná krajinná oblast (CHKO) Jeseníky, která je dále rozdělena na maloplošná chráněná území. K nejvýznamnějším chráněným územím patří NPR Šerák a Keprník, NPR Rejvíz a NPR Rašeliniště Skřítek (Culek a kol 1996).

Spousta menších lokalit je na úrovni přírodních rezervací nebo přírodních památek, jako jsou například jeskyně Na Špičáku, Vřesová studánka, jeskyně Na Pomezí a i národní přírodní rezervace Králický Sněžník (Culek a kol 1996).

Změnu stavu krajiny v Jeseníkách lze pozorovat již od pozdního středověku, kdy byla postupně osidlována. Vyšší polohy jsou v Jeseníkách bez trvalejšího obydlí. Přirozená lesní vegetace v některých oblastech byla zčásti změněna na louky a pastviny a výjimečně i na pole. Takto byla snížena v těchto částech i horní hranice lesa (Číhař, 2002).

V nedávné době byly lesy (zejména na západních, návětrných svazích) těžce poškozeny imisemi, zčásti se projevuje eutrofizace, podmíněná rozvojem rekreace a sportovních aktivit (Culek a kol 1996).

4. Metodika a materiál

4.1 Odběr vzorků

Odběr a zpracování vzorků bylo provedeno podle standardní dendrochronologické metodiky (Cook, Kairiukstis 1990). Řádný odběr materiálu pro dendrochronologické měření je hlavním předpokladem pro jeho možné datování a každý typ materiálu (živé stromy, stavby, archeologická dřeva či subfossilní kmene) vyžaduje specifický přístup a techniku odběru (Rybníček, 2005).

Způsob odběru vzorků ze živých stromů závisí na typu informace, kterou chceme z letokruhu získat (Rybníček, 2007). Pro sestavení standardních chronologií bylo třeba získat letokruhovou řadu, která charakterizuje růstovou variabilitu dané populace, proto bylo nutné odebrat vzorek z části kmene, která je obecně co nejméně zatížena lokálními vlivy, jako jsou kořenové náběhy, poranění kmene nebo reakční dřevo (Rybníček, 2003).

Z hlediska měření je výhodnější příčný řez, neboť lze snadněji posoudit možné vady růstu (falešné letokruhy, excentricitu kmene atd.), ze kterého byly dané prvky vyrobeny (Rybníček, 2007). Nesprávné určení vady růstu by nežádoucím způsobem ovlivnilo přesnost měření (Rybníček, 2004).

Pro získání dendrologických dat je možné použití i vývrtů. Metoda vývrtů byla použita i v případě odběru vzorků pro letokruhovou analýzu v této práci. K odvrtávání vzorků byly použity Presslerovy přírůstkové nebozezy (Obr. 3) a to ve výčetní výšce 1,3 m nad zemí. Podkorní letokruhy jsou pro konečné datování rozhodující, proto bylo důležité, aby vrtání probíhalo kolmo na podélnou orientaci vláken směrem ke středu – dřeni (Schweingruber, 1996).



Obr. 3: Presslerův nebozez (Rybníček 2007)

Výhodou odběru vzorků pomocí této metody je její rychlost, malé poškození stromu a to pouze lokální, skladnost, lehkost a cena nástroje (Drápela a Zach, 2000). Průměr vyvrtaného vzorku je 5 mm a vnější průměr (otvor) je 11,5 mm. Po dosažení požadované hloubky byl do zadní strany vrtáku prostrčen kovový jazýček mezi jádro a vnitřní stěnu tak, až došlo k zaklínění jádrového vývrtu. Poté bylo levostranným vrtacím pohybem jádro ze stromu ulomeno a vytaženo (www.dendrochronologie.cz).

Směr odběru závisí na sklonu svahu. Standardně odebíráme vzorky po vrstevnici, tak aby přírůst nebyl ovlivněn výskytem reakčního dřeva, proto pro odběr vybíráme stromy rostoucí v úrovni a nad úrovní, které nejsou poškozeny korunovým zlomem a nevykazují ani jiné poškození, které by se mohlo projevit na přírůstu (Rybníček, 2007).

4.2 Počet odebraných vzorků

Zásadním problémem v dendrochronologickém měření je počet vývrtů, které jsou potřeba, abychom z jejich minimálního počtu získali co nejúplnější požadovanou informaci (Drápela a Zach, 2000).

Doporučený počet odebraných vývrtů z jednoho stromu kolísá podle různých autorů od 3–4 až do 10 (Fritts 1963; Fletcher 1974). Ve skutečnosti závisí jejich počet na délce jednotlivých posloupností a především na dobré korelaci mezi jednotlivými jedinci (Rybníček, 2007).

Použití čtyř vývrtů oproti jednomu, statisticky významně nesníží variační koeficient tloušťkového přírůstu. Průměrná chyba v určení nejvhodnější hodnoty tloušťkového přírůstu odpovídající přesné hodnotě přírůstu na kruhové výčetní základně je pro jeden strom následující: jeden vývrt 15,4 %, dva vývrty naproti sobě 7,6 %, dva vývrty kolmé na sebe 10,6 %, tři vývrty 6,7 %, čtyři vývrty 4,5 %. Se zvětšující se velikostí výběru se tyto hodnoty zmenšují, ale jejich poměr zůstává nezměněn (Šmelko, 1982).

Pokud se tyto hodnoty považují za výběrový soubor a porovnájí se s nejvhodnější hodnotou tloušťkového přírůstu celého základního souboru, zjistíme, že asi od 15 stromů se jednotlivé odchylky tloušťkového přírůstu natolik vyrovnají, že nejsou mezi nimi statisticky významné odchylky. Na tomto základě je vhodné odebírat jen jeden vývrt z každého stromu a místo jejich odběru měnit, aby se nejvíce vyrovnaly případné systematické nepravidelnosti v ukládání tloušťkového přírůstu po obvodu kmene (Šmelko, 1982).

Pro provedenou analýzu byl zvolen tento systém odběru v porostu, kdy bylo na každé ze 4 lokalit odebráno 40 vzorků, celkem tedy 160 vzorků. Věk porostů se pohyboval kolem 100 až 110 let.

4.3 Příprava vzorků

Jestliže má být šířka letokruhů dobře měřitelná, je nutné vzorky před měřením vhodně upravit (Rybníček, 2003). Šířky letokruhů byly měřeny na příčném řezu, vedeném kolmo na osu kmene (Rybníček, 2007).

Vývrty z Presslerova nebozazu byly upevněny do předem připravených dřevěných vodičů ve tvaru žlábků, zde byly zajištěny před mechanickým poškozením, které je snadno možné, vzhledem k malému průměru vývrty (Bureš, Rybníček, 2005). Jako fixátor pro uchycení vzorků nám posloužilo disperzní lepidlo a následně byl každý vzorek dodatečně zajištěn přelepením papírové pásky, tak bylo dosaženo zajištění vzorku proti poškození při přepravě a další manipulaci. Odebrané a upevněné vývrty v dřevěných lištách byly upevněny do svěráku a jejich povrch byl následně opracován pomocí ruční elektrické kotoučové brusky s brusným papírem o zrnitosti 400. Po opatrném obroušení vzorků vznikla rovná ploška, na které byly dobře čitelné hranice jednotlivých letokruhů.

4.4 Měření letokruhů

Měření upravených vzorků probíhalo v dendrochronologické laboratoři v Ústavu nauky o dřevě. Samotné měření v laboratoři probíhalo na speciálním měřicím stole, který je spojen s počítačem s datovacím programem PAST 32. Stůl je vybaven posuvným šroubovým mechanismem a impulsmetrem zaznamenávající interval posunu desky stolu a tím i šířky letokruhu (Rybníček, 2007).

Měřicí stůl je dodatečně doplněn o stereolupu se samostatným variabilním bodovým osvětlením. Roční přírůsty dřeva jsou měřeny s přesností na 0,01–0,05 mm (Rybníček, 2007). Toto zařízení je v současné době používáno ve většině českých dendrochronologických laboratoří (Vinař et al., 2005).

Předem upravený vzorek byl umístěn na měřicí stůl a ten byl vždy měřen od středu (od nejstaršího letokruhu) směrem k obvodu, vždy kolmo na následující letokruh (Rybníček, 2007). Ke každému měřenému vzorku byla zároveň zadána jeho identifikace, tedy druh dřeviny, lokalita, číslo stromu a identifikační kód letokruhové křivky. Za pomoci posuvného mechanismu se vzorek posouval vždy o jeden letokruh a každý roční přírůstek byl potvrzen kliknutím na tlačítko myši počítače (Rybníček, 2004).

Šířky letokruhů byly ihned po změření zapisovány do propojeného počítače v patřičném formátu. Po doměření a uložení dat bylo možné si prohlédnout letokruhovou sekvenci ve tvaru křivky a případné chyby v měření opravit (Rybníček, 2004).

4.5 Křížové datování

Po změření odebraných vzorků bylo provedeno křížové datování jednotlivých naměřených křivek. Křížové datování znamená nalezení synchronní polohy dvou letokruhových řad (Vinař et al., 2005).

Obě řady jsou vzájemně srovnávány ve všech možných vzájemných polohách. Jde o snahu identifikovat na každém vzorku letokruhy vytvořené ve stejném roce. Existuje-li poloha vzájemně synchronní, projeví se to dostatečně vysokou podobností v úseku, jímž se křivky překrývaly (Vinař et al., 2005).

Z dobře spolusynchronizovatelných křivek byla vytvořena průměrná letokruhová křivka, která zvýraznila společné extrémy, související s klimatickými změnami a potlačila všechny ostatní oscilace způsobené jinými vlivy (Rybníček, 2007). Míra podobnosti mezi letokruhovými křivkami byla posuzována pomocí T-testů a tzv. koeficientu souběžnosti.

Tyto výpočty slouží k usnadnění optického srovnání obou křivek, jež je pro konečné datování rozhodující (Rybníček, 2007).

4.6 Odstranění věkového trendu letokruhových křivek (detrendace)

Detrendace byla provedena z důvodu ovlivnění letokruhových křivek růstovým trendem, který do jisté míry zeslabuje společný hledaný signál (Fritts et al., 1969).

Odstraněním věkového trendu a následné vytvoření indexové residuální chronologie bylo provedeno pomocí programu ARSTAN (Fritts et al., 1969).

Tento program nám umožňuje získat ze vstupních dat indexovou chronologie pro větší počet křivek (Fritts et al., 1969). V programu PAST32 byly vytvořeny průměrné letokruhové křivky pro každou plochu. Do formátu RWL byly převedeny všechny námi vytvořené křivky nejen ty průměrné pro další zpracování v programu.

Program ARSTAN pracuje na principu jednoduchých příkazových řádků a my máme tak možnost vybrat různé možnosti detrendace (Fritts et al., 1969). K odstranění věkového trendu byla použita jednostupňová detrendace a to: lineární regresní přímka, negativní exponenciála, spline funkce délky 90 let, RCS a Friedmanova funkce.

Z detrendovaných letokruhových řad byla v programu ARSTAN vytvořena residuální indexová chronologie, která byla použita pro modelování vlivu klimatu na radiální přírůst.

Pro snížení rizika přírodního a antropogenního rušivého signálu, které mohou být zdrojem nežádoucího neklimatického rušivého signálu, je nutné udržet vysokou replikaci v celé délce chronologie. Tím je dosaženo snížení specifického šumu stromu a zvýrazněn společný klimatický signál (Cooper et al., 2013). Jedním z nástrojů pro hodnocení kvality proložení chronologií je tzv. Expressed Population Signal (EPS), který vyjadřuje, do jaké míry chronologie reprezentuje signál bez daného šumu (Briffa a Jones, 1990). Hodnota EPS se pohybuje od 0 do 1 s prahovou hodnotou spolehlivosti 0,85 (Wigley et al., 1984). Rbar neboli průměrná mezisériová korelace, je statistická veličina zkoumající sílu signálu napříč chronologií (Speer 2010). Je počítána z průměrných korelací mezi všemi sériemi ve třicetiletém okně s patnáctiletým překryvem pro celou chronologii.

4.7 Modelování klimatických vlivů

Pro modelování vlivu klimatických parametrů na radiální přírůst byl použit program DendroClim 2002. S radiálním přírůstem byly korelovány časové řady průměrných měsíčních teplot, měsíční množství srážek, měsíční půdní vlhkost v hloubce 1,3 m a Palmerův index intenzity sucha (PDSI). Pro modelování byly použity hodnoty od roku 1961 až do roku 2012.

Korelace byla vyhodnocena pro interval od dubna předchozího roku do října v roce aktuálním. Tento úsek byl vybrán vzhledem k podmínkám prostředí, kdy je předpokládáno, že radiální přírůst smrku v těchto nadmořských výškách se začíná vytvářet od dubna.

Hodnoty klimatických parametrů byly vypočteny pro konkrétní GPS souřadnice vybraných porostů ústavem Agrosystému a bioklimatologie Agronomické fakulty MENDELU v Brně.

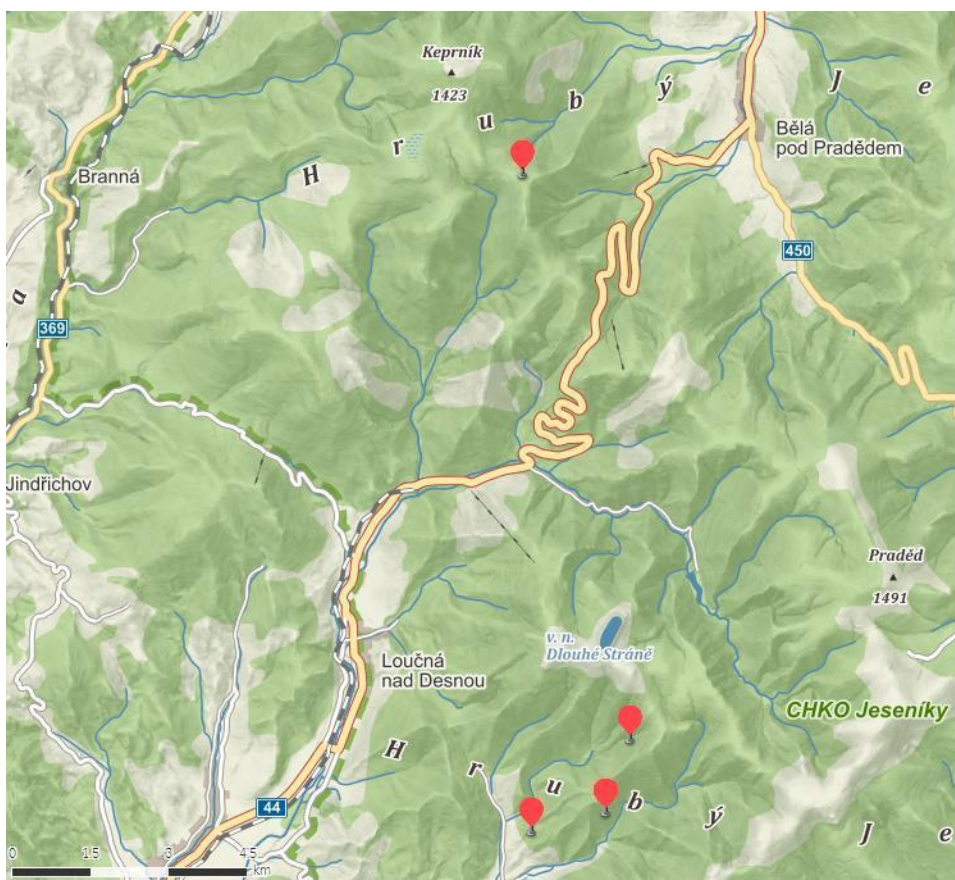
4.8 Analýza významných negativních let

Pro stanovení vlivů klimatických podmínek, které se vyskytují s nízkou frekvencí, ale mají zásadní vliv na růst stromů, byla použita analýza významných negativních let (Kroupová, 2002).

Negativně významný rok byl definován jako extrémně úzký letokruh, vykazující redukci růstu překračující -40 % v porovnání s průměrnou šířkou letokruhů za čtyři předcházející roky a silná redukce přírůstu se projevila minimálně na 20 % stromů z dané lokality (Kroupová, 2002).

4.9 Lokalizace vybraných porostů

Výzkum probíhal na čtyřech smrkových lokalitách v části Hrubý Jeseník poblíž obce Loučná nad Desnou (Obr. 4). První plocha se nacházela ve výšce 841 m n. m. a to pod vrcholem výškového bodu Čepel. Druhá plocha ve výšce 840 m n. m. se nacházela nad Tříramenným potokem u lesní cesty. Třetí plocha ležící ve výšce 980 m n. m. v tak zvaném Úzkém hřbetu směrem na výškový bod Čepel. Čtvrtá plocha se nacházela pod turistickou cestou směrem Pod Šindelnou a nad kaskádami Divokého potoka ve výšce 940 m n. m.



Obr. 4: Umístění výzkumných ploch (www.seznam.cz)

V Tab. 3 můžeme vidět rozdělení ploch a základní údaje o jednotlivých lokalitách. Je zde zmíněna konkrétní porostní skupina, kde se plocha nachází, GPS souřadnice, nadmořská výška, expozice a sklon svahu.

Tab. 3: Základní údaje o zkoumaných plochách

Plocha	Porost	GPS	Nadm. výška (m)	Expozice	Sklon svahu
P1	502C11	N50°03'51.3" E17°07'12.6"	841	Z	20°
P2	507D11	N50°04'41.1" E17°07'49.5"	840	JZ	15°
P3	505C11	N50°04'13.6" E17°07'37.5"	980	SZ	20°
P4	301B11	N50°07'25.8" E17°08'13.8"	940	V	40°

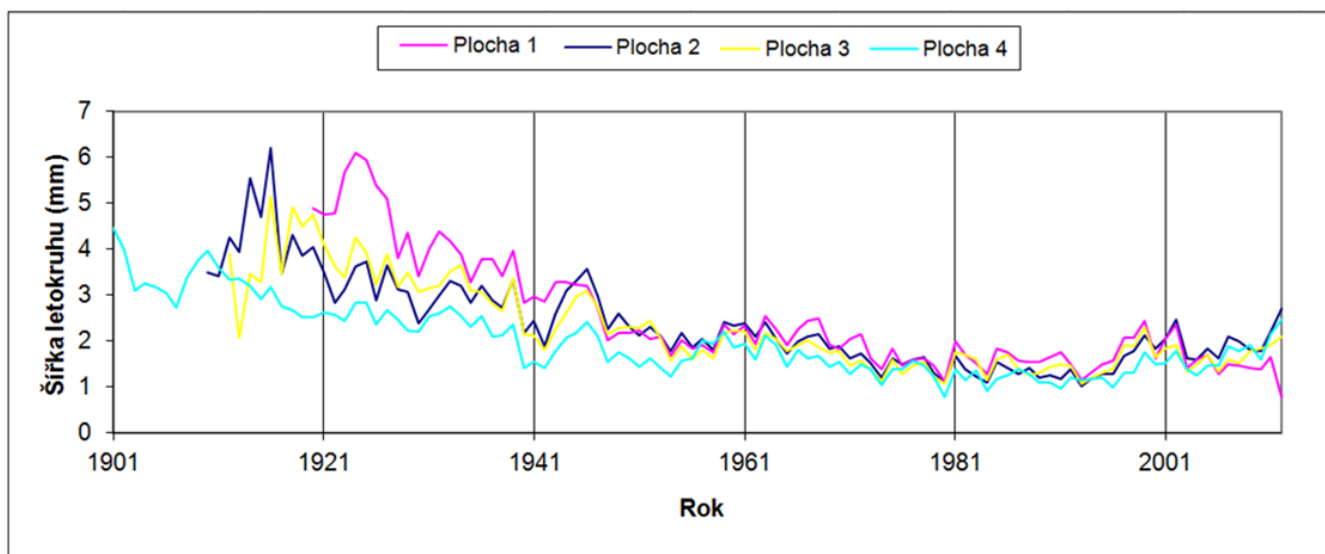
5. Výsledky

5.1 Letokruhové křivky

Při porovnání průměrných letokruhových křivek pro jednotlivé plochy, byly dosaženy vysoké hodnoty statistických parametrů. Při překrytí letokruhových křivek šedesáti letokruhy je kritická hodnota Studentova t-rozdělení při 0,1 % hladině významnosti 3,46 (Šmelko, Wolf 1977). Hodnoty našich t-testů mají výrazně vyšší hodnotu než 3,46, což svědčí o spolehlivosti synchronizace (Tab. 4). Tuto spolehlivost zvyšuje také shoda průměrných letokruhových křivek ve většině extrémních hodnot (Obr. 5).

Tab. 4: Synchronizace průměrných letokruhových křivek jednotlivých ploch

Porovnání křivek	T-test (Baillie&Plicher)	T-test (Holstein)	Souběžnost [%]
Plocha 1 x Plocha 2	8,64	8,88	80
Plocha 1 x Plocha 3	10	10,3	74
Plocha 1 x Plocha 4	6,24	6,94	68
Plocha 2 x Plocha 3	15,8	14,8	81
Plocha 2 x Plocha 4	13,9	10,9	90
Plocha 3 x Plocha 4	10,2	8,26	72



Obr. 5: Synchronizace průměrných letokruhových křivek jednotlivých ploch

Ze všech průměrných letokruhových křivek je patrný stejný trend. Přírůst se s přibývajícím věkem pomalu snižuje. Tento pokles je patrný již od třicátých let 20. století a dále mírně pokračuje až do čtyřicátých let 20. století. Po roce 1940 následuje razantní pokles, který trvá až téměř do začátku 50. let. Na konci 50. let a začátkem 60. let dochází k mírnému nárůstu, který se pozvolna drží až na začátek 70. let. Mezi tímto obdobím můžeme pozorovat propad a to v letech 1962, 1965 a v roce 1971. Od začátku 70. let dochází k dalšímu pozvolnému poklesu šířek letokruhů, kde můžeme zaznamenat rapidní pokles v roce 1974,

od tohoto roku můžeme pozorovat mírný nárůst až do roku 1979 kdy poklesu, který se v roce 1980 ještě více prohloubil. Následný nárůst šířky letokruhů pokračuje a je opět přerušen v roce 1984. Po roce 1984 dochází k pozvolnému nárůstu a narovnání až k mírnému poklesu ke konci 90. let. Tento pokles trvá až do roku 1993 a po tomto roce dochází k růstu, který trvá až do začátku milénia. V roce 2000 následuje pokles, který je vystřídán růstem v roce 2001 a 2002. Následuje silný propad v roce 2003. Po roce 2003 následuje přírůst až do roku 2011, který se jeví jako konstantní mimo rok 2006, kdy dochází k přírůstovému poklesu. V roce 2012 dochází na 3 ze 4 lokalit k rapidnímu nárůstu šířky letokruhu, kdežto u plochy Jeseníky 1 k poklesu.

5.2 Analýza významných negativních let

Roky s nízkým přírůstem patrné z Obr. 5, byly potvrzeny také analýzou významných negativních let a to na začátku 60. let pro rok 1962 a 1965 a dále v 70. letech a to pro roky 1971, 1973, 1974 a 1979. V 80. letech se projeví tři roky jako významně negativní a to roky 1980, 1984 a rok 1989. Od 90. let analýza potvrdila pouze jako negativně významné dva roky a to rok 1990 a rok 1993. Po roce 2000 byly jako negativně významné roky 2003, 2004 a rok 2006. Roky potvrzené analýzou významných negativních let jsou rozděleny podle procenta stromů, které v daném roce negativně reagovali sníženým přírůstem (Tab. 5). Jako nejvýznamnější roky, kdy negativně reagovalo nejvíce procent stromů, se ukázaly roky 1974 (54 %), 1980 (57 %), 1984 (40 %) a rok 2003 (44 %).

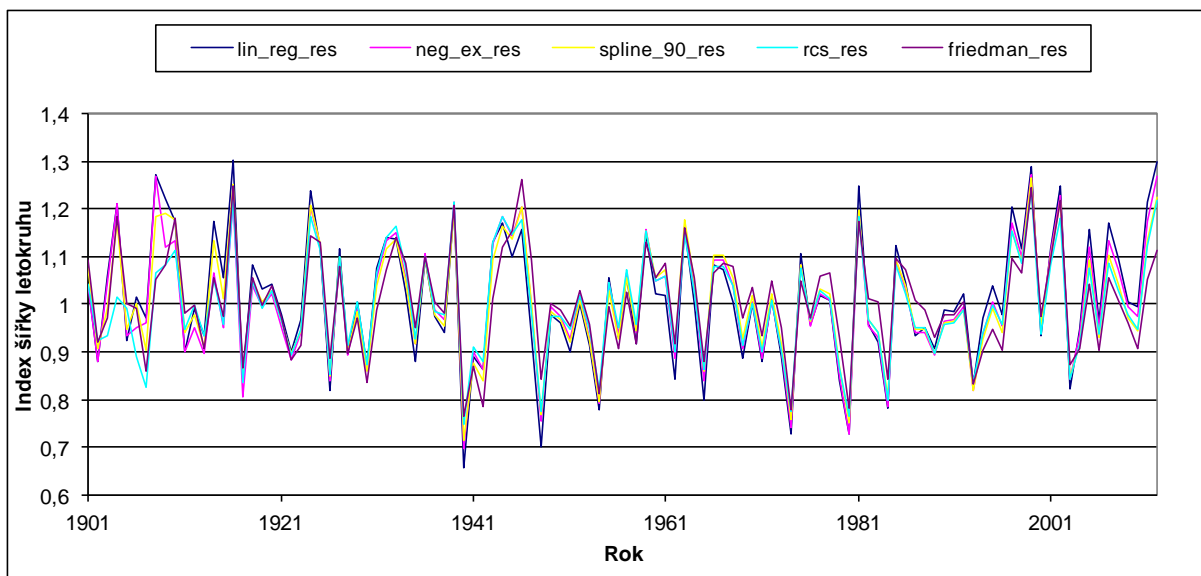
Tab. 5: Přehled negativně významných let a vysvětlení jejich možné příčiny. Světle šedou barvou jsou zvýrazněny negativní reakce zaznamenané u 20-40% stromů tmavě šedou barvou jsou zvýrazněny negativní reakce zaznamenané u 40-60% stromů.

Negativní roky	Abnormální klimatické charakteristiky
1962	malé množství srážek v červnu a nízká teplota v březnu
1965	podprůměrně nízké teploty po celé vegetační období
1971	vysoké teploty pro období duben–srpen
1973	nízké množství srážek pro období duben–srpen a nízká teplota v březnu a dubnu
1974	nízké množství srážek pro období březen–duben a nízká hodnota AWR pro období březen–duben
1979	nízké teploty pro období březen–duben
1980	nízké teploty pro období březen–říjen a nízké srážky v březnu
1984	nízké teploty pro období březen–srpen a srážky pro období březen–srpen
1989	nízké srážky v březnu
1990	vysoké teploty pro období květen až srpen
1993	malé množství srážek od dubna do května
2003	vysoké teploty v červnu a srpnu a malé množství srážek v únoru, březnu, červnu a v srpnu
2004	nízké teploty pro březen–květen a malé srážky pro období květen–červenec
2006	malé množství srážek v červenci a vysoké teploty v červnu a v červenci

5.3 Modelování vlivu klimatu na radiální přírůst

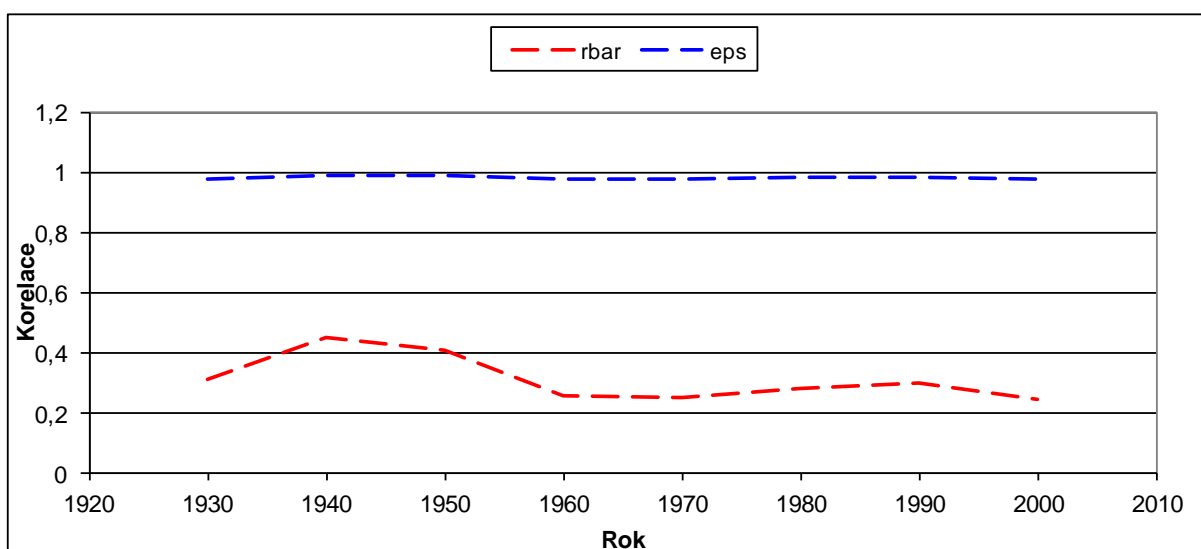
Díky vysoké podobnosti průměrných letokruhových křivek (Obr. 6) byla pro modelování vlivu klimatu na radiální přírůst v programu DendroClim vytvořena ze všech letokruhových křivek pouze jedna residuální indexová chronologie.

Pro detrendaci byly použity funkce: lineární regresní přímka, negativní exponenciální funkce, kubická spline funkce délky 90 let, RCS (Regional Curve Standardization) a Friedmanova funkce. Z grafu (Obr. 6) můžeme pozorovat stejný trend všech vytvořených residuálních chronologií. Pro další výpočty byla zvolena residuální indexová chronologie vytvořená pomocí lineární regresní přímky, která byla použita pro modelování vlivu klimatických parametrů na radiální přírůst.



Obr. 6: Přehled jednotlivých residuálních indexových chronologií

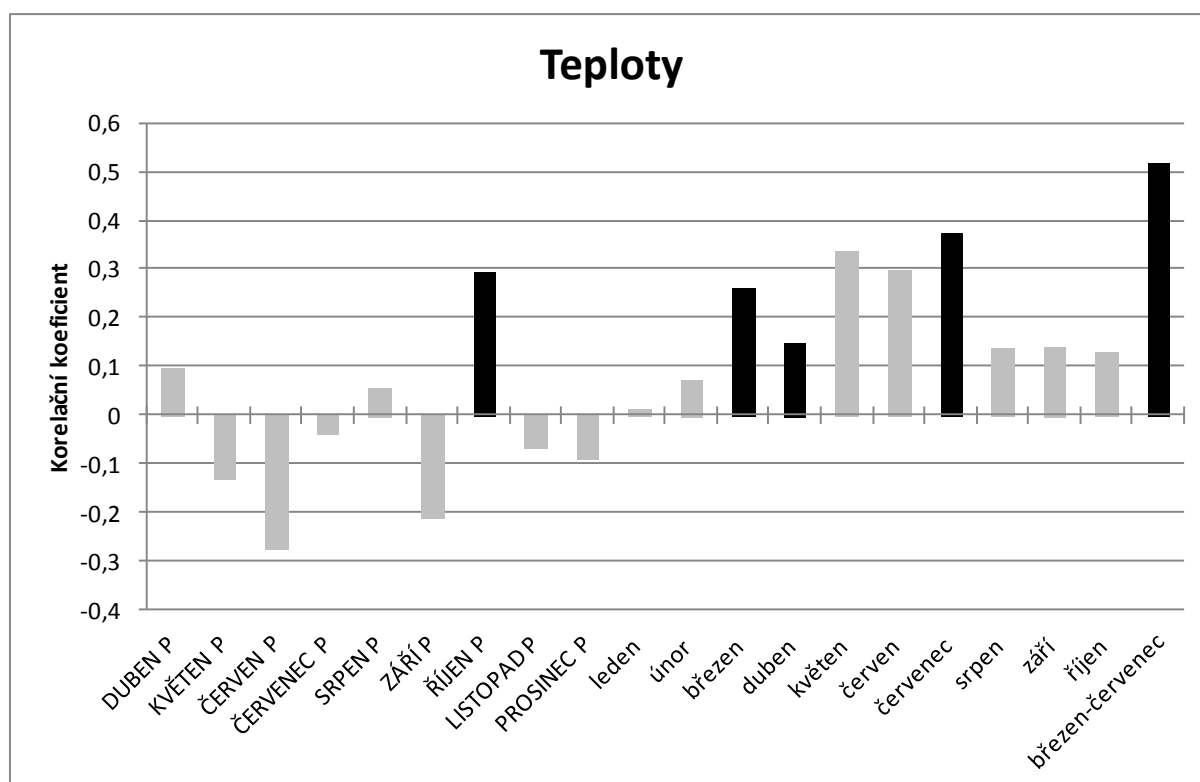
Pro ověření spolehlivosti sestavené lokální standardní chronologie byla použita hodnota EPS (Expressed Population Signal). Hodnota EPS (Obr. 7) se v celé délce chronologie pohybuje nad kritickou hodnotou 0,85. Hodnoty Rbar, neboli mezisériové korelace, vykazují určitou nestabilitu v průběhu celé délky chronologie. Od roku 1930 mají rostoucí trend nad 0,4 a poté klesají a stabilizují se kolem hodnoty 0,2, po roce 1970 mají opět rostoucí trend.



Obr. 7: Hodnoty RBAR a EPS

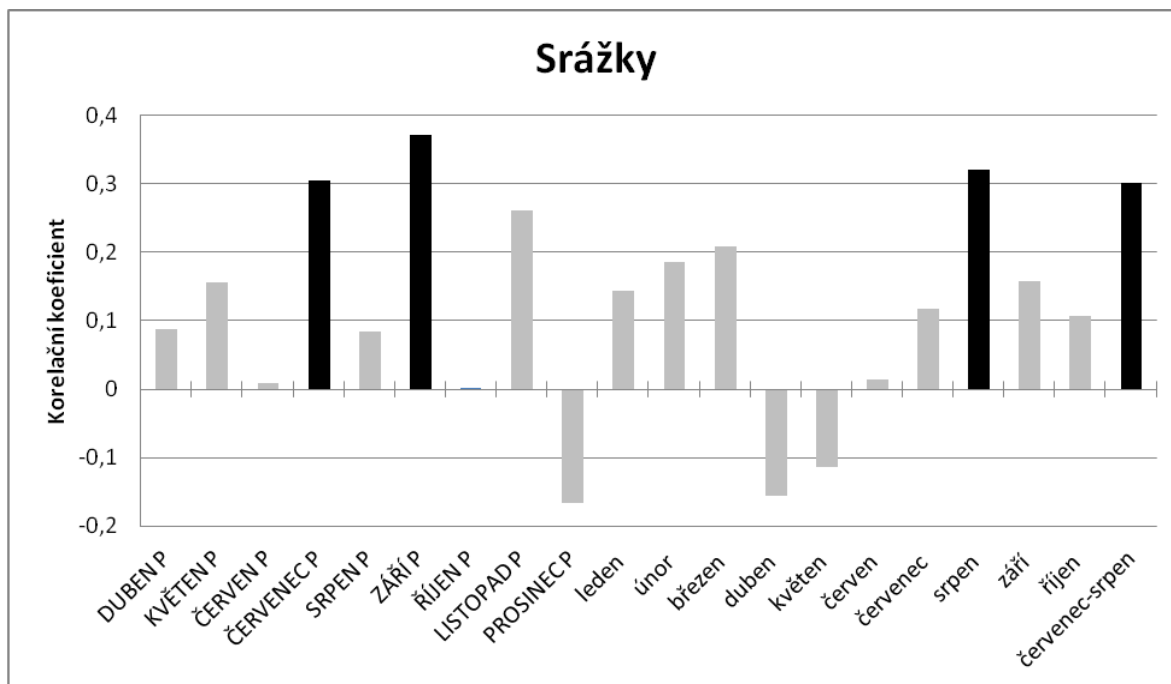
Pro modelování vlivu klimatu na radiální přírůst jsme použili korelace s průměrnými měsíčními hodnotami teplot, měsíčním množstvím srážek, půdní vlhkosti (AWR) do hloubky 1,30 m a Palmerova indexu intenzity sucha (PDSI). Byly dosaženy pouze kladné statisticky významné korelace.

Tloušťkový přírůst statisticky významně kladně koreluje s teplotami v měsíci říjnu předchozího roku a v měsících březen, duben a červenec aktuálního roku (Obr. 8). Nejvyšší statisticky významná kladná korelace vyšla také při porovnání tloušťkového přírůstu s teplotami za období od března do července aktuálního roku.



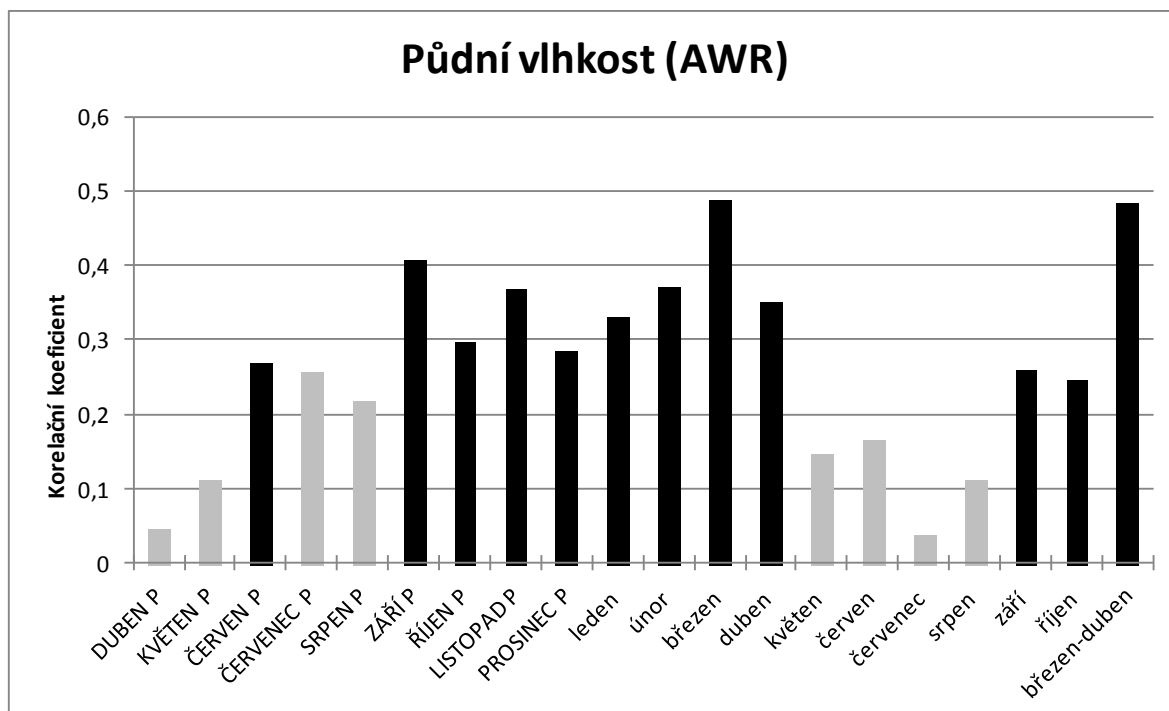
Obr. 8: Hodnoty korelačních koeficientů residuální indexové chronologie s průměrnými měsíčními teplotami od dubna předchozího roku (P) až do října roku aktuálního a období březen-červenec aktuálního roku od roku 1961 až 2012. Hodnoty, které jsou vyznačeny černě, jsou statisticky významné ($\alpha=0,05$).

Růst smrku je statisticky významně ovlivněn srážkami v červenci a v září předchozího roku a srážkami v srpnu aktuálního roku (Obr. 9). Statisticky významná kladná korelace vyšla také při porovnání tloušťkového přírůstu se srážkami za období červenec až srpen aktuálního roku.



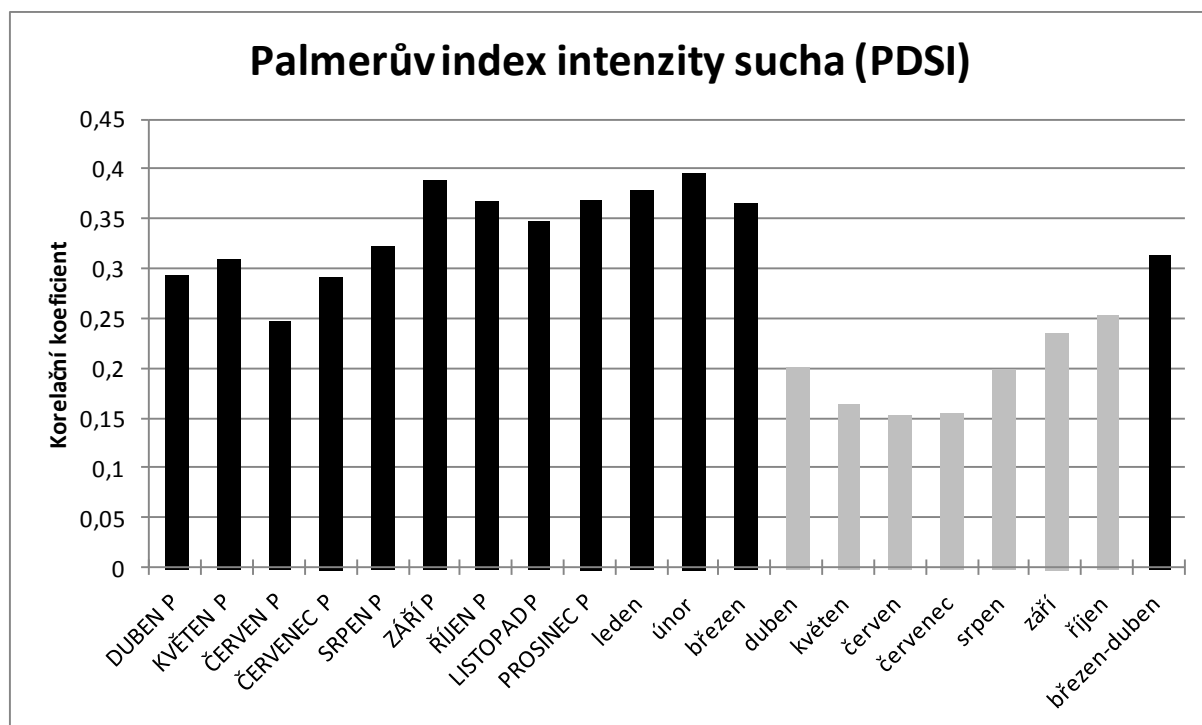
Obr. 9: Hodnoty korelačních koeficientů residuální indexové chronologie s průměrnými měsíčními srážkami od dubna předchozího roku (P) až do října roku aktuálního a období červenec-srpen aktuálního roku od roku 1961-2012. Hodnoty černě vyznačeny jsou statisticky významné ($\alpha=0,05$).

Růst je statisticky nejvýznamněji ovlivněn půdní vlhkostí (AWR) v měsících červen, září až prosinec předchozího roku a měsících leden až duben, září a říjen aktuálního roku. Statisticky významná korelace vyšla také při porovnání tloušťkového přírůstu s půdní vlhkostí za období od března do dubna aktuálního roku (Obr. 10.).



Obr. 10: Hodnoty korelačních koeficientů residuální indexové chronologie s průměrnými měsíčními hodnotami půdní vlhkosti od dubna předchozího roku (P) až do října roku aktuálního a období březnen-duben aktuálního roku od roku 1961 až 2012. Hodnoty černě zvýrazněny jsou statisticky významné ($\alpha=0,05$).

Tloušťkový přírůstek statisticky kladně koreluje s Palmerovým indexem sucha (PDSI) za měsíce duben, květen, červen, červenec, srpen, září, říjen, listopad a prosinec předchozího roku a měsíce leden, únor, březen aktuálního roku (Obr. 11). Jako statisticky významná korelace se projevuje porovnání tloušťkového přírůstu za období březen – duben roku aktuálního.



Obr. 11: Hodnoty korelačních koeficientů residuální indexové chronologie s průměrnými měsíčními hodnotami pro intenzitu sucha od dubna předchozího roku (P) až do října roku aktuálního a období od březen-duben aktuálního roku od roku 1961 až 2012. Hodnoty černě zvýrazněny jsou statisticky významné ($\alpha=0,05$).

6. Diskuze

Z letokruhové analýzy je patrný trend vývoje přírůstu s věkem. Stromy na všech čtyřech lokalitách vykazují podobný trend (Obr. 6). Se stoupajícím věkem dochází k pozvolnému snižování přírůstu a šířka letokruhů se snižuje (Gandelová, Horáček, Šlezingerová, 2008). Pokles radiálního přírůstu je patrný již od 30. let 20. století. Následuje postupné snižování přírůstu, až do roku 1962, kdy se výrazněji projevil pokles s dalším výrazným minimem v roce 1980 a zároveň se tyto roky potvrdily analýzou významných negativních let. Toto období sníženého přírůstu se také projevilo ve smrkových porostech v Krkonoších a v Jizerských horách (Kroupová, 2002). Tento postupný pokles se zastavuje kolem roku 1993 a od této doby dochází k zvyšování přírůstu. Tento rozdíl může být zapříčiněn změnou stanovištních podmínek. Jak uvádí Gandelová, Horáček a Šlezingerová (2008) šířka letokruhu závisí na stáří a druhu dřeviny ale hlavně na stanovištních podmínkách. Ke zvýšení přírůstu mohlo dojít díky mírnějším zimám bez výrazných teplotních extrémů ve vegetační době a také poklesem znečištění ovzduší (Kroupová, 2002). Nízké hodnoty mezisériové korelace (R_{bar}) v 60. až 80. letech potvrzují teorii o silné imisní zátěži v tomto období (Obr. 7).

Z provedené analýzy významných negativních let (Tab. 5) je patrná stejná shoda propadu přírůstu na všech 4 zkoumaných lokalitách Jeseníku za námi sledované období od roku 1961 až 2012 (Obr. 6). Při hlubší analýze hodnot klimatických parametrů během významných negativních let lze najít jejich důvod zejména v nižším množství měsíčních úhrnů srážek, vysokých teplotách během vegetačního období nebo nízkých teplotách na začátku vegetačního období. Vliv nedostatku úhrnu srážek, vysokých nebo nízkých teplot ve vegetačním období byl potvrzen i v letech 1974, 1980, 1984 a 2003, kdy negativně reagovalo nejvíce procent stromů. Shodné výsledky byly zaznamenány i v jiných horských oblastech v ČR, například v oblasti Slezských Beskyd (Rybníček a kol., 2010) a Orlických hor (Rybníček a kol., 2009).

Analýzou vlivu klimatu na radiální přírůst v programu DendroClim 2002 byly jako statisticky nejvýznamnější potvrzeny teploty za období od března do července během aktuálního roku (Obr. 8). Jak uvádí Fritts (1976) teploty při horní hranici lesa v měsících červen a červenec ve střední Evropě mají největší vliv na přírůst jak v roce předcházejícím tak i v roce aktuálním. Toto zjištění bylo potvrzeno také například v Orlických horách (Čermák, 2007). Z analýzy vlivu teplot na radiální přírůst se projevilo období od července do srpna jako statisticky významné pro přírůst smrku (Obr. 10). Smrk má povrchovou kořenovou soustavu

a je do značné míry náročný na půdní vlhkost v nejvyšších vrstvách půdy (Úradníček, Maděra a kol., 2001).

V počáteční fázi při tvorbě jarního dřeva jsou důležité vyšší teploty a zásoba vody v půdě (Horáček, 1994). Toto nám potvrdila i korelační analýza mezi půdní vlhkostí a radiálním přírůstem, která nám vyhodnotila období od března do dubna aktuálního roku tvorby letokruhu jako nejvýznamnější korelaci (Obr. 10). Jak uvádí Horáček (1994) srážky v pozdních letních a podzimních měsících mohou pozitivně působit jako zásoba před případným jarním nedostatkem vláhy. To se nám potvrdilo i hodnotou korelačních koeficientů pro Palmerův index intenzity sucha (PDSI), kde je nejvýznamnější korelace pro období březen–duben aktuálního roku tvorby letokruhu (Obr. 11) a půdní vlhkosti pro totéž období aktuálního roku (Obr. 10). Pro růst smrku ve vyšších nadmořských výškách jsou limitní spíše teploty než srážky (Rybníček a kol., 2010). Důvodem může být vyšší nadmořská výška námi zkoumaných ploch, kde jsou porosty relativně dobře zásobeny srážkami. Množství srážek v nadmořské výšce zkoumaných ploch tedy nelimitují radiální růst a nedochází k půdním přísuškům téměř po celé období (Obr. 11).

Mráček a Pařez (1986) uvádějí, že nároky na potřebu ročních srážek u smrku ve středoevropském prostoru se různí podle stanovištních poměrů. Ve vyšších nadmořských polohách se potřeba srážek za vegetační období pohybuje mezi 430–550 mm. Průměrný úhrn srážek během vegetačního období od roku 1961 do roku 2012 na námi analyzovaných plochách byl 497 mm. Množství srážek na vybraných plochách není tedy limitní pro radiální přírůst smrku.

7. Závěr

Tato bakalářská práce měla za cíl zjistit vliv klimatu na radiální přírůst smrku ztepilého na vybraných lokalitách Jeseníků. Pro zjištění vlivu klimatu na radiální přírůst byla ze všech letokruhových křivek vytvořena residuální indexová chronologie. Tato chronologie byla korelována s měsíčními úhrny srážek, průměrnou měsíční teplotou, půdní vlhkostí a Palmerovým indexem sucha (PDSI) za období od roku 1961 do roku 2012 v programu DendroClim 2002 a to od dubna předchozího roku do října aktuálního roku.

Z výsledků analýzy vyplynulo, že na zkoumaných lokalitách radiální přírůst významně statisticky kladně koreloval s teplotami pro období od března do července aktuálního roku tvorby letokruhu. Zřejmým důvodem je, že v těchto nadmořských výškách, které jsou vyšší, než 800 m n. m. není růst smrku limitován srážkami ale teplotami. Další kladná statisticky významná korelace, která se projevila, byl vliv srážek na radiální přírůst pro období od července do srpna aktuálního roku růstu letokruhu. V tomto období jsou kladeny vysoké nároky na dostatečné zásobení stromů vodou. Aby nedošlo k nedostatku obsahu vody v půdě na začátku vegetačního období roku aktuálního, je důležité zásobení vody v půdě i na podzim a v zimě roku předchozího. Statisticky významná kladná korelace pro půdní vlhkost a PDSI se projevila v období od března do dubna aktuálního roku růstu letokruhu. Protože má smrk mělkou kořenovou soustavu, jsou jeho nároky na stabilní zásobení vodou vysoké a to zejména na začátku vegetačního období.

Analýzou významných negativních let od roku 1961 do roku 2012, bylo zjištěno celkem 14 negativně významných let. Jako nejvýznamnější negativní roky pro radiální přírůst, kdy reagovalo více jak 40 % všech stromů byly roky 1974, 1980, 1984 a rok 2003. Většina negativních významných let byla způsobena nízkými měsíčními úhrny srážek a vysokými teplotami během vegetačního období nebo nízkými teplotami na počátku vegetačního období.

Lze předpokládat, že pěstování smrku ztepilého v těchto nadmořských výškách bude v budoucnu stále perspektivní i za předpokladu, že bude docházet k dalším změnám klimatických podmínek.

8. Summary

The thesis was aimed at investigating the influence of climate on the radial increment of Norway spruce (*Picea abies*) in selected locations of the Jeseník Mountains. To determine the influence of climate on the radial increment, a residual index chronology from all tree-ring curves was used.

This chronology incorporates monthly rainfall, average monthly temperature, soil moisture and the Palmer drought index (PDSI) for the period from 1961 to 2012. Measuring was done with the DendroClin 2002 program, and covered April to October of the previous year to the current year.

The results of the analysis have shown that temperatures were statistically significantly and positively in correlation with the radial increment during the period from March to July of the current year of the annual ring formation. The reason is that at these elevations (higher than 800m alt.) the Spruce growth is not limited by precipitation, but by temperature.

A further positive statistically and significant correlation showed that precipitation influenced radial increment for the period July-August of the current year growth rings. In this period, trees have shown to need a sufficient supply of water. To avoid shortages of water content in the soil at the beginning of the current growing season, it is important to supply water to the soil in the fall and winter of the previous year. A statistically significant and positive correlation between soil moisture and PDSI was reflected in the period March-April of the current year on the growth rings. Due to a shallow root system, spruce has high demands to a stable supply of water, especially at the beginning of the growing season.

An analysis of significant negative years from 1961 to 2012, has found a total of 14 such years. The most negative years for radial increment were 1974, 1980, 1984 and 2003, when more than 40% of all trees were influenced. Most of significant negative years were caused by a low rate of monthly rainfall and high temperatures during the growing season, or by low temperatures at the beginning of the growing season. It can be assumed that the planting of Norway spruce at these altitudes in the future is still prospective, even assuming that there will be future changes in climatic conditions.

9. Seznam použité literatury

BALABÁN, Karel. Nauka o dřevě. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1955. Lesnická knihovna. Velká řada.

BRÁZDIL, Rudolf a Miroslav TRNKA. Historie počasí a podnebí v Českých zemích: minulost, současnost, budoucnost. První vydání. Brno: Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v.v.i., 2015, 400 s.

BRIFF K.R., JONES P.D. (1990): Basic chronology statistics and assessment. In: Cook E.R., Kairiukstis L.A. (eds) Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 137–152.

BUREŠ J., RYBNÍČEK M. (2005): Dendrochronologická analýza dřevěných konstrukcí kostela sv. Bartoloměje v Koči, “Svorník 3“ – Sborník příspěvků z konference “Krovy – střechy“, Praha: Sdružení pro stavebně historický průzkum, s. 81-94.

COOK E. R. (1985): A time series analysis approach to tree-ring standardization. Ph.D. Dissertation, The University of Arizona, Tucson, 171 s.

COOK E.R., KAIRIUKSTIS L.A. (1990): Methods of Dendrochronology – Applications in the Environmental Science. Kluwer Academic Publisher and International Institute for Applied Systems Analysis, Dordrecht, Boston, London, 394 s.

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.

COOPER R.J., MELVIN T.M., TYERS I., WILSON R.J.S., BRIFFA K.R. (2013): A tree-ring reconstruction of East Anglian (UK) hydroclimate variability over the last millennium. Climate Dynamics 40(3–4): 1019–1039.

CULEK, Martin. Biogeografické členění České republiky [CD-ROM]. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 2005.

ČERMÁK P. (2007): Defoliace a radiální růst, ukazatelé vitality smrku ztepilého. Lesnická práce 11, s. 14–15.

ČERNÝ, Alois. Lesnická fytopatologie. 1. vyd. Brno: VŠZ, 1975, 206 s.

ČERNÝ, Alois. Parazitické dřevokazné houby. 1.vyd. Praha: SZN, 1989, 99 s.

ČIHAŘ, Martin. Naše hory. Praha: Cesty, 2002. ISBN 80-7181-760-0.

DRÁPELA, Karel a Jan ZACH. Dendrometrie (Dendrochronologie). 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 1995, 149 s.

FREYTAG ANG BERNDT. Turistické oblasti České republiky. 2016. Databáze online citováno 20. dubna 2016. Dostupné na: <<http://www.oblast.cz/mapa/mapa.phtml?id=27>>

FRITTS H.C. (1976): Tree ring and climate. Academic Press. London, New York, San Francisco, 567 s.

FRITTS H.C., MOSIMANN J.E., BOTTORFF C.P. (1969): A Revised Computer Program for Standardizing Tree – Ring Series. – Tree Ring Bulletin, 29, s. 15–20.

GANDELOVÁ, Libuše, Jarmila ŠLEZINGEROVÁ a Petr HORÁČEK. Nauka o dřevě. 2. vyd. / . Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008, 176 s.

GREGOROVÁ B., VAVRDA T., DRÁPALOVÁ P., ALTMANOVÁ O., PADVĚTOVÁ B., ADÁMEK M., SADÍLKOVÁ I., ŠVECOVÁ A., HUMMEL M., SOUČKOVÁ L., ZICHOVÁ H., KŘIVÁNEK M., ČERVENKA M., KARNECKI J. (2006): Poškození dřevin a jeho příčiny. Praha, AOPK.

HORÁČEK P. (1994): Dynamika radiálního růstu smrku ztepilého (*Picea abies* L./Karst.) v závislosti na ekologických podmínkách. Disertační práce. Ústav lesnické botaniky, dendrologie a typologie, Lesnická a dřevařská fakulta, VŠZ, Brno, 144 s.

JANKOVSKÝ, L., CUDLÍN, P.. Dopady klimatické změny na zdravotní stav smrkových porostů středohor, Lesnická práce, 2002, s. 106

JANOUSH D. (2002): Změna klimatu a globální oteplování. Lesnická práce 1, s. 12–14.

KNOZ, Vladimír. Jeseníky. Praha: OLYMPIA, 1975.

KOLAŘÍK, Jaroslav. Péče o dřeviny rostoucí mimo les. 3., dopl. vyd. Vlašim: ČSOP, 2010, 696 s.

KROUPOVÁ M. (2002): Dendroecological study of spruce growth in regions under long-term air pollution load. Journal of Forest Science. Sv. 48, č. 12, s. 536–548.

LISCHMANN T., KLEMENTOVÁ E., ROŽNOVSKÝ J. (2001): Palmerův index závažnosti sucha a jeho použití v našich podmínkách. In: Transport vody, chemikálií a energie v systému půda – rostlina – atmosféra, Bratislava 29. 11. 2001.

MRÁČEK, Zdeněk a Jan PAŘEZ. Pěstování smrku. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1986, 203 s.

PALMER, W. C. (1965): Meteorological Drought. Office of Klimatology Research Paper 45. U.S. Weather Bureau, Washington, 58 s.

QUITT E., (1971): Klimatické oblasti Československa. Geografický ústav ČSAV 73 s.

RYBNÍČEK M. (2003): Sestavení dendrochronologických standardů pro město Brno. Diplomová práce. MZLU v Brně, 89 s.

RYBNÍČEK M. (2007): Dendrochronologické datování dřevěných částí historických staveb, archeologických vzorků a výrobků ze dřeva- sestavení národní dubové standardní chronologie. Disertační práce. MZLU v Brně, 111 s.

RYBNÍČEK M., (2004): Dendrochronologická analýza krovu kostela Nanebevzetí Panny Marie a Sv. Ondřeje ve Starém Hobzí, Acta univ. Agric. et silvic, Mendel. Brun., LII, No. 5, s. 155–168.

RYBNÍČEK M., (2005): Řeč letokruhů, Archeologie, 1/2005, Ústí nad Labem, s. 20–22.

SCHWEINGRUBER F.H. (1993): Trees and Wood in Dendrochronology, Springer—Verlag Berlin Heidelberg, 402 s.

SCHWEINGRUBER F.H. (1996): Tree Rings and Environment Dendroecology. Birmensdorf, Weiss Federal Institute for Forest, Snow and Landcape Research, Bern, Stuttgart, Vinna, 609 s.

ŠLEZINGEROVÁ, Jarmila a Libuše GANDELOVÁ. Stavba dřeva. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2012, 187 s.

ŠMELKO Š., (1982): Studium rastu a prírastku lesných stromov a porostou. Príroda, Bratislava, 182 s.

ŠMELKO Š., WOLF J. (1977): Štatistické metódy v lesníctve. Príroda, 330 s.

ŠPINLEROVÁ, Zuzana. Ekofyziologie dřevin. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2014, 109 s.

ÚRADNÍČEK L. (2003): Lesnická dendrologie I. (Gymnospermae). MZLU Brno, 102 s.

ÚRADNÍČEK L., MADĚRA P. a kol., (2001): Dřeviny České republiky, Matice Lesnická, spol. s.r.o., Písek, 333 s.

VINAŘ J., KYNCL J., RŮŽIČKA P., ŽÁK J. (2005): Historické krovky II. – průzkumy a opravy, Grada, Praha, 301 s.

VORONCOV A. I. a H. ČERVINKOVÁ. Škůdci dřeva. Praha: SZN, 1986

WELLS N., GODDARD S., HAYES M. J. (2004): A Self-Calibrating Palmer Drought Severity Index. *Američan Meteorological Society*, 17 s. 2335–2351.

WIGLEY T.M.L., BRIFFA K.R., JONES P.D. (1984): On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *Journal of Applied Meteorology* 23: 201–213.

ZUMR, Václav. Lýkožrout smrkový – biologie, prevence a metody boje. Písek: Matice lesnická, 1995.

10. Seznam tabulek

Tab. 1: Palmerův index sucha (PDSI)	14
Tab. 2: Charakteristika klimatických oblastí.....	27
Tab. 3: Základní údaje o zkoumaných plochách.....	35
Tab. 4: Synchronizace průměrných letokruhových křivek jednotlivých ploch	36
Tab. 5: Přehled negativně významných let.	38

11. Seznam obrázků

Obr. 1: Rozšíření smrku ztepilého.....	17
Obr. 2: Oblast Jeseníky	25
Obr. 3: Presslerův nebozez.....	29
Obr. 4: Umístění výzkumných ploch	34
Obr. 5: Synchronizace průměrných letokruhových křivek jednotlivých ploch	36
Obr. 6: Přehled jednotlivých residuálních indexových chronologií.....	39
Obr. 7: Hodnoty RBAR a EPS	39
Obr. 8: Hodnoty korelačních koeficientů residuální indexové chronologie s průměrnými měsíčními teplotami	40
Obr. 9: Hodnoty korelačních koeficientů residuální indexové chronologie s průměrnými měsíčními srážkami.....	41
Obr. 10: Hodnoty korelačních koeficientů residuální indexové chronologie s průměrnými měsíčními hodnotami půdní vlhkosti	41
Obr. 11: Hodnoty korelačních koeficientů residuální indexové chronologie s průměrnými měsíčními hodnotami pro intenzitu sucha	42