

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ

**Lesnická a dřevařská fakulta
Ústav nauky o dřevě**



Vliv klimatu na radiální přírůst smrku ztepilého na vybraných lokalitách Beskyd

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem práci Vliv klimatu na radiální přírůst smrku zteplého na vybraných lokalitách Beskyd zpracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona c. 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 c. 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 nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně, dne:..... podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu své bakalářské práce Ing. Tomáši Kolářovi, Ph.D., za odborné vedení, ochotu, cenné rady a trpělivost při vypracování této práce. Dále prof. Mgr. Ing. Miroslavu Trnkovi, Ph.D. za poskytnutá klimatická data. Velké díky patří i mé rodině a přítelkyni za podporu při studiu a trpělivost.

Tato bakalářská práce vznikla díky finanční podpoře grantového projektu Rámce a možnosti lesnických adaptačních opatření a strategií souvisejících se změnami klimatu (EHP-CZ02-OV-1-019-2014).

Filák J., Vliv klimatu na radiální přírůst smrku ztepilého na vybraných lokalitách Beskyd

Abstrakt

Vliv klimatu na růst dřevin je velmi důležitým tématem s ohledem na jeho změnu. Smrk ztepilý (*Picea abies* (L.) Karst.) je pro oblast Beskyd hlavní pěstovanou dřevinou, a proto je velice potřebné sledovat příčiny změn jeho přírůstu. Cílem této bakalářské práce bylo stanovení vlivu klimatu na radiální přírůst smrku. Vzorky pro analýzu byly odebírány pomocí Presslerova přírůstového nebozezu v devíti porostech Slezských a Moravskoslezských Beskyd nad 50 let a v nadmořské výšce od 549 do 950 m. Standardní dendrochronologická metodika byla použita pro měření šířek letokruhů, křížové datování, tvorbu letokruhových chronologií a modelování závislosti radiálního růstu na klimatu pro období 1961–2014. Dobře proložená regionální letokruhová chronologie ukazuje na největší snížení přírůstu v letech 1980, 1993, 2003, 2006, kde reagovalo více než 40 % stromů negativně. Radiální přírůst smrku statisticky kladně koreluje hlavně s teplotami a efektivní globální radiací v období březen až květen aktuálního roku. Srážky korelují významně ve vegetačním období předcházejícího roku a navíc v červnu aktuálního roku. Relativní dostupnost vody v půdě se vyznačovala negativní hodnotou korelace v dubnu aktuálního roku. Klouzavé korelace navíc ukazují na rostoucí negativní vliv teplot a pozitivní vliv vlhkosti půdy a srážek. Výsledky naznačují, že klimatická změna pravděpodobně povede k nezbytným lesnickým adaptačním opatřením.

Klíčová slova: Beskydy, dendrochronologie, klimatické faktory, radiální přírůst, smrk ztepilý

Filak J., Influence of climate on radial growth of Norway spruce at selected locations in the Beskid Mountains

Abstract

The influence of climate on the growth of trees is a very important issue with respect to the climate change. Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) is a main grown tree species in the Beskid Mts., and therefore, it is necessary to monitor the causes of changes in its radial increment. The aim of this work was to determine the influence of

the selected climate factors on radial growth of Norway spruce. Samples for analysis were taken using Pressler increment borer at nine stands between 549 and 950 m above sea level across the Silesian and the Moravian-Silesian Beskids. Standard dendrochronological methodology was used to measure tree-ring widths, cross-dating, the creation of tree-ring chronologies and modelling dependence of radial growth on climate factors for the period 1961–2014. Well replicated regional tree-ring chronology shows the narrowest tree-ring widths in 1980, 1993, 2003 and 2006 when more than 40% of trees responded negatively. Radial growth statistically significant positive correlates mainly with temperatures and effective global radiation in the period March-May of the current year. Precipitation has positive effect on the radial growth during the previous growing season and in addition in June of the current year. The relative availability of water in the soil has negative effect on tree-ring width in April of the current year. Moreover, moving correlations shows increasing negative effect of temperature and positive effect of soil moisture and precipitation. The results present that climate change probably lead to necessary forest adaptation measures.

Key words: the Beskid Mountains, dendrochronology, climate factors, radial growth, Norway spruce

OBSAH

1 ÚVOD.....	9
2 CÍL PRÁCE	10
3 LITERÁRNÍ PŘEHLED	11
3.1 Smrk ztepilý – <i>Picea abies</i> (L.) Karst.....	11
3.1.1 Popis a ekologie	11
3.1.2 Rozšíření	11
3.1.3 Význam pro hospodářství ČR.....	12
3.1.4. Využití smrku v dendrochronologii.....	12
3.2 Dendrochronologie	13
3.2.1 Definice a historie dendrochronologie.....	13
3.2.2 Dendroklimatologie – letokruhová analýza.....	14
3.2.3 Standardní chronologie	15
3.2.4 Křížové datování.....	16
3.3 Radiální přírůst dřevin	16
3.3.1 Tvorba letokruhu.....	16
3.3.2 Tvar a šířka letokruhu	17
3.3.3 Faktory ovlivňující tloušťkový růst dřevin	17
3.3.4 Vegetační období smrku ztepilého v ČR.....	18
3.4 Vliv abiotických faktorů na přírůst.....	19
3.4.1 Sluneční energie a teplota	19
3.4.2 Vodní režim	20
3.4.3 Atmosférické srážky v ČR.....	21
3.5 Antropogenní faktory ovlivňující přírůst.....	22
3.6 Klimatické zařazení ČR.....	24
3.7 Dlouhodobé změny klimatu v ČR	24
4 MATERIÁL.....	26
4.1 Charakteristika studovaných lokalit.....	26
4.2 Geomorfologické a půdní poměry Moravskoslezských Beskyd	27
4.3 Klimatické poměry studované oblasti.....	29

4.4 Imise.....	32
5 METODIKA	32
5.1 Odběr a příprava vzorků	32
5.2 Křížové datování.....	33
5.3 Odstranění věkového trendu	36
5.4 Modelování vlivu klimatu na šířku letokruhu.....	37
5.6 Analýza významných negativních let	38
6 VÝSLEDKY	38
6.1 Statistiky chronologií	38
6.2 Vliv klimatu na radiální přírůst.....	42
6.3 Klouzavá korelace.....	46
6.4 Analýza významných negativních let	48
7 DISKUSE.....	49
7.1 Statistiky chronologií	49
7.2 Vliv klimatu na radiální přírůst.....	50
7.3 Analýza významných negativních let	52
8 ZÁVĚR	53
9 POUŽITÁ LITERATURA	55
9.1 Citace elektronických pramenů	60
10 SUMMARY	61

1 ÚVOD

Hlavní hospodářskou dřevinou se zastoupením 50,7% (Mze, 2014) je v ČR smrk ztepilý (*Picea abies* (L.) Karst.). Stanovištně nenáročná, rychle rostoucí dřevina poskytující dřevo vysoké kvality způsobila, že člověk rozšířil tuto dřevinu v podobě monokultur i mimo její ekologické optimum. Porosty smrku jsou oslabovány suchem a dalšími klimatickými vlivy, což vede k přetrhávání kořenů a dřevina je predisponována k infekci václavkou (*Armillaria* sp.) a narušený kořenový systém zhoršuje zásobování stromů. Takto stresované stromy jsou následně napadány podkorním hmyzem (Holuša, Liška 2002).

Významné klimatické změny v posledních letech vedou k prohlubování stresu, chřadnutí a odumírání smrkových porostů. Proto se v poslední době sestavilo mnoho prací, které se tímto tématem zabývají. Plošná a významná onemocnění dřevin mají u nás historii začínající počátkem 80. let a v první polovině 90. let. V současné době se nacházíme v další etapě chřadnutí lesů (Mrkva, 2000). Toto je problém celé střední Evropy kde podkorní hmyz, výkyvy počasí a další stresory jako například imise, kterými byli ovlivněny hlavně smrky v horských oblastech na severu ČR, zapříčinily významné škody na lesním hospodářství.

Smrkové porosty na LS (Lesní správy) Jablunkov byly v minulosti také poškozovány působením imisí a v současnosti jsou ovlivněny i klimatickým stresem, projevujícím se hlavně prudkými změnami teplot a srážkovým deficitem. V současnosti je tedy aktuální téma celkový zdravotní stav dřevin, jejich adaptační potenciál a schopnost reakce na stres. Vysvětlení je nutno hledat ve fyziologii smrku a jeho reakci na klimatické extrémny (Čermák, 2007).

Vhodným retrospektivním ukazatelem vitality stromu je radiální přírůst, protože kolísání klimatu se odráží ve změnách šířky letokruhu. Jako indikátor vitality jej lze použít je pro delší časová období, protože reakce na krátkodobý stres se nemusí shodovat s dlouhodobými fyziologickými změnami stromu (Čermák, 2007). K tomu slouží obor dendrochronologie, který je jedním z nevýznamnějších oborů pro záznam různých přírodních procesů a monitorování člověkem způsobených změn (Speer, 2010).

2 CÍL PRÁCE

Prvním úkolem bylo shromáždit literaturu, týkající se vlivu klimatu na radiální přírůst smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) Karst.) a oboru dendrochronologie.

Dalším cílem bylo provést dendrochronologickou analýzu porostů, zjistit dlouhodobé změny růstu smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) Karst.) a analyzovat vliv klimatických faktorů na radiální růst. V další části byla provedena analýza významných negativních let..

3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

3.1 Smrk ztepilý – *Picea abies* (L.) Karst.

3.1.1 Popis a ekologie

Jehličnan patřící do čeledi borovicovitých. Má průběžný, přímý kmen a přeslenité větvení. Dosahuje výšky až 50 m, průměru kmene až 1,5 m a objemu přes 30 m³. Dožívá se 400 let. Dřevo je žlutobílé se zřetelnými letokruhy. Jehlice jsou čtyřhranné, zašpičatělé, 1–3 cm dlouhé. Kořenový systém je rozvinut do plochy, bývá slabě zakotven, a proto trpí vývraty (Úradníček a kol. 2001).

Smrk patří mezi světlomilné dřeviny, snášející v mládí zástin, takže snadno vniká do porostů jiných dřevin a nahrazuje je. Smrkové porosty silně zastíňují půdní povrch. Protože má povrchovou kořenovou soustavu je silně náročný na obsah vody v půdě, ale dobře snáší i nadbytečnou vlhkost. Smrk není náročný na klima, ale je citlivý k vysokým teplotám. Vlaha a teploty jsou proto limitujícím faktorem dobrého růstu smrku (Úradníček a kol. 2001).

Na geologické podloží a složení půdy nemá smrk velké nároky, i když na chudých křemičitých půdách a kyselých rašelinách roste špatně, protože nesnáší nedostatečně provzdušněné půdy (Chmelař, 1980). Je málo odolný vůči působení větru, poškozován bývá i sněhem a námrazou, která působí vrcholové zlomy. Regenerační schopnosti smrku při poranění jsou malé. Trpí loupáním a vytloukáním zvěří. Smrk je citlivý na znečištění a je velmi choulostivý vůči imisím, zejména SO₂ (Úradníček a kol. 2001).

3.1.2 Rozšíření

Původní rozšíření bylo ve střední a jihovýchodní Evropě (od Alp po Balkán), kde tvořil spolu s dalšími dřevinami horské a podhorské lesy. V nižších polohách byl smrk přirozenou součástí porostů mokřin a rašeliníšť nebo obsazoval kaňonovitá údolí s teplotní inverzí. Souvislé původní porosty se nacházely v severní a severovýchodní Evropě, kde sahaly od Norska přes Polsko až na východ po Bělorusko a horní Povolží (Hejný, Slavík 1988).

Současný je souvislý výskyt v severní a severovýchodní Evropě, ostrůvkovitý v horách střední a jižní Evropy. Na našem území je zastoupen horský smrk hercynsko-karpatské oblasti, vyskytuje se téměř ve všech nižších i vyšších pohořích (300–1350 m).

Těžištěm rozšíření jsou okrajová příhraniční horstva. Bez smrku jsou teplé úvaly velkých řek. V posledních 200 letech byl druhotně rozšířen všude ve střední Evropě. Smrk tak vytlačil většinu původních dřevin (Úradníček a kol. 2001).

V našich podmínkách se smrk přirozeně vykytuje od 5. lesního vegetačního stupně (Ivs), který se nachází ve výškách od 600 m n.m, až do 8. lesního vegetačního stupně, kde po horní hranici lesa zcela dominuje. V 6. až 7. lesním vegetačním stupni v hercynské směsi má smrk nejlepší růstové podmínky. Jelikož má smrk povrchovou kořenovou soustavu, má vysoké nároky na vlhkost svrchní části půdy, proto je výskyt smrku v nižších polohách vázán na stanoviště s dostatečným zásobením vodou (Tesař, 2008)

3.1.3 Význam pro hospodářství ČR

Přestože smrk ztepilý je hlavní hospodářskou dřevinou v České republice, v přirozené dřevinné skladbě by jeho zastoupení bylo pouze 11 %. Nesmíšené porosty vytvářel pouze v jemu vlastním smrkovém lesním vegetačním stupni. Maximální objemové produkce smrku dosahuje ve 4. a 5. lesní vegetační stupeň. Vysokému riziku jsou vystaveny porosty smrku na stanovištích s úhrnem srážek pod 600 mm a stresem z nedostatečného zásobování vodou zvyšuje riziko napadení podkorním hmyzem (Tesař, 2008).

Zastoupení smrku za posledních 50 let kleslo o téměř 10 % zejména na úkor buku, dubů a jedle. Smrkové monokultury chápány jako smrkové porosty se zastoupením jiných dřevin do 10 % zaujímají v okrajových pohořích více jak polovinu výměry. Doporučená dřevinná skladba předpokládá snížení zastoupení smrku na 37 %. Zejména v nižších a středních polohách by měl být smrk nahrazen stanovištně vhodnými dřevinami, které zvyšují stabilitu porostu a příznivě ovlivňují koloběh látek v prostředí (Tesař, 2008).

Vlivem klimatických změn můžeme očekávat další zhoršování zdravotní stavu smrkových porostů také v oblasti lesní správy Jablunkov. Abiotické vlivy spolu s účastí vlivů antropogenních a biotických může mít vliv na další zhoršování stavu porostů a jejich odumírání.

3.1.4. Využití smrku v dendrochronologii

Smrk ztepilý má obrovský dendrochronologický potenciál v Evropě, kde jsou v horských oblastech běžné i 300 let staré stromy. Jeho rozšíření a pravidelná struktura

letokruhů je vhodná i pro radiodenzitometrické datování. Může být využit jak pro účely datování (např. Rybníček, 2004, Haneca a kol. 2009, Kolář a Rybníček 2011, 2015), tak pro rekonstrukci klimatických podmínek pro období i více jak tisíc let (Büntgen a kol. 2011, Dobrovolný a kol. 2015).

Obrovský význam smrku v Evropě byl důvodem pro zpracování mnoha vědeckých prací vlivu prostředí na jeho růst. Oblíbeným tématem je vliv emisí produkovaných člověkem. Tato problematika byla rozsáhle studována ve starších pracích např. Vinš (1962), Schweingruber (1987) nebo v posledních letech např. Rychal a Wilson (2012) nebo Kolář a kol. (2015).

3.2 Dendrochronologie

3.2.1 Definice a historie dendrochronologie

Slovo dendrochronologie má kořeny v řeckém dendron znamenající strom a chronos tedy čas (Drápela a Zach 1995). Dendrochronologie je vědní obor zabývající se studiem a datováním letokruhů (Fritts, 1976). Za zakladatele dendrochronologie je považován americký astronom Andrew Ellicott Douglass. Douglass si uvědomil souvislost mezi změnami klimatu a přírůstu letokruhů a vyvodil oblasti použití pro datování starých vzorků dřeva a použití letokruhových sérií jako záznamu o klimatických vlivech prostředí (Drápela a Zach 1995). Navzdory těmto nedávným začátkům, myšlenka, že strom vytváří roční letokruhy, bylo naznačeno již v době Theofrasta v roce 322 př. n. l. (Speer, 2010).

V užším slova smyslu je dendrochronologie chápána jako nauka používající letokruhových analýz k datování událostí (Bitvinskas, 1974). Samotné datování letokruhů je jen součástí dendrochronologie a tento obor je daleko širší (Fritts, 1976). Kromě datování jsou sem zahrnovány hlavně aplikace do různých oborů, z nichž některé se vyvinuly v samostatné dendrochronologické podobory (Drápela a Zach 1995). Z tohoto vychází jedna z možných aplikací v dendrochronologii a to možnost rekonstrukce klimatu, protože stromy reagují na své okolí a jsou podrobeny vlivům klimatických stresů. Obor zabývající se těmito jevy se nazývá dendroklimatologie (Speer, 2010).

U nás začali po 2. světové válce dendrochronologii rozvíjet astronomové a meteorologové Šebík a Polák (1990). Již v roce 1948 upozornil na význam letokruhů při

studiu podnebných změn meteorolog S. Hanzlík. Postupně začal tento obor pronikat i do lesnictví a jedním z průkopníků byl B. Vinš, který jako jeden z prvních v Evropě (s Rakušanem Polanschützem) pochopil význam dendrochronologie pro studium vlivu faktorů prostředí na růst lesních porostů (Drápela a Zach 1995).

3.2.2 Dendroklimatologie – letokruhová analýza

Dendrochronologie je jednou z nejvýznamnějších technik pro zaznamenání ekologických procesů a monitorování člověkem způsobených změn na životní prostředí. Stromy slouží jako dlouhodobé bioindikátory všech ekologických faktorů, které přímo či nepřímo ovlivňují proces růstu letokruhů (Speer, 2010). Jedním z nejvýznamnějších a nejlépe propracovaných podoborů dendrochronologie je dendroklimatologie. Klimatický vliv je druhým členem Cookova modelu a je to obecně platný stochastický signál (Drápela a Zach 1995).

Stromy rostoucí na stejném území a ve stejných klimatických podmínkách reagují tvorbou kambia a felogenu stejně, což se projevuje v šířce letokruhu. Existuje podobnost ve změně šířky letokruhu v rámci porostu, zejména pokud se jedná o hodnoty extrémní (Douglass, 1937).

Letokruhové analýzy se již několik desítek let používají pro studium působení škodlivých faktorů na růst lesa. Výsledky se získávají pomocí matematicko-statistických postupů a jejich účelem je získávání informačního signálu a potlačení šumu (Drápela a Zach 1995). Signál je definován jako informace získaná z letokruhové řady a je důležitá k řešení problému, naopak šum je informace netýkající se jeho řešení (Cook a Kairiukstis 1990). Dá se tedy říci, že letokruh je spojením různých signálů (např. věkového, klimatického a genetického) a je jen na řešiteli a cíli, kterou ze složek bude považovat za signál a kterou za šum (Drápela a Zach 1995).

Růst dřevin můžeme vyjádřit pomocí Cookova modelu (Cook, 1985), který určuje přírůst dřevin jako výsledek několika signálů jakékoli letokruhové řady:

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

kde je

R_t šířka letokruhu v čase t

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 proti očekávaným hodnotám

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

E_t náhodná odchylka

A_t je věkový trend související se změnami v tloušťkovém přírůstu v souvislosti s věkem. Průběh je znám jako přírůstová funkce. Tato funkce zpočátku prudce stoupá, v určitém věku kulminuje a potom klesá k nule.

C_t je druhá část modelu, která zahrnuje všechny klimaticky podmíněné vlivy prostředí. Patří sem typické klimatologické charakteristiky např. srážky nebo teploty, ale i méně obvyklé veličiny. Oddělení klimatického signálu se provádí pomocí kalibrace a response funkcí.

Členy $D1_t$ a $D2_t$ obsahují binární indikátor δ , který určuje přítomnost ($\delta=1$) nebo nepřítomnost ($\delta=0$) tohoto faktoru v informaci určitého letokruhu. Člen $D1$ je endogenní vliv působící například jen na jeden strom. Může být způsoben konkurenčním bojem, výchovnými zásahy nebo lokálními změnami ve výživě. Odstranění tohoto vlivu je prakticky nemožná. Člen $D2$ představuje charakteristickou reakci stromů na vliv působící v rámci celé oblasti. K vlivům patří například požáry, nebo kalamity způsobené biotickými a abiotickými činiteli. Odstranění $D2$ je reálnější než $D1$. E_t je součástí každého modelu, protože žádný model není schopen vysvětlit veškerý rozptyl hodnot (Drápela a Zach 1995).

Abychom docílili zesílení klimatického signálu, musíme z rovnice odstranit ostatní faktory růstu, tedy šum (Cook a Kairiukstis 1990).

3.2.3 Standardní chronologie

V dendrochronologické praxi se tento termín používá pro letokruhové řady, které jsou dostatečně dlouhé a jsou na podstatné části svého průběhu dostatečně proloženy, obvykle alespoň 40 individuálními letokruhovými řadami (Vinař et al. 2005). Takto vzniklá standardní chronologie odráží maximálním způsobem klima určitého konkrétního období a minimalizuje vliv lokálních podmínek růstu jednotlivých stromů v něm obsažených. Jednotlivé standardní chronologie se od sebe liší oblastí, pro kterou se dají použít a délkou časového intervalu, do kterého spadají. Standard je neustále doplňován, prodlužován a vylepšován. Jeho budování je otázkou mnoha let a desetiletí (Rybniček, 2003).

Standardní chronologie se tvoří pro každou dřevinu zvlášť a vznikají postupným překrýváním letokruhových sekvencí od současnosti směrem do minulosti.

V současné době jsou pro ČR sestaveny standardní chronologie pro dub, jedli, borovici a smrk. V případě, že datovaný předmět byl na naše území v minulosti importován z jiného území, je nutné k jeho datování použít standardní chronologii vytvořenou pro území jeho původu (www.dendrochronologie.cz).

3.2.4 Křížové datování

Při zpracování vzorků stromů je prvním krokem po jejich změření vzájemné srovnání jednotlivých letokruhových křivek. Snahou je nelézt takovou pozici křivky, v níž spolu výborně korelují (Rybniček 2007). Vytvořená křivka je tedy grafickým znázorněním hodnoty tloušťkového přírůstu pro jednotlivé roky na časové ose (Drápela a Zach 1995). Na základě tohoto poznatku lze každému letokruhu přiřadit rok jeho vzniku (Kaennel a Schweingruber 1995).

Křížové datování je základním principem dendrochronologie (Speer, 2010). Je to nalezení synchronní polohy dvou letokruhových sérií. Obě série jsou porovnány ve všech možných pozicích a cílem je rozpoznat, které letokruhy byly v obou sériích vytvořeny ve stejném roce. Pokud je nalezena synchronní pozice, projeví se dostatečně vysokou podobností v místě, kde se překrývají (Cook a Kairiukstis, 1990).

Základní metodou bylo a dosud je okulární porovnání letokruhových řad, tento proces synchronizace je ale velmi časově náročný a je ovlivněn značnou mírou rozhodování dendrochronologa. Proto byly odvozeny další postupy založené na matematických a statistických postupech. Jedním z prvních byl skeleton plot. Jednalo se o grafické znázornění hlavních významných bodů, které tvořily kostru letokruhové řady. Nejpoužívanější metodou numerické synchronizace se stalo procento souběžnosti (Schweingruber, 1993).

3.3 Radiální přírůst dřevin

3.3.1 Tvorba letokruhu

Letokruh je prstenec dřeva, ve kterém se na ploše příčného řezu kmenem projevuje vytvořený plášť činnosti kambia za příslušné vegetační období (Drápela a Zach 1995).

Činností dělivých pletiv – kambia a felogenu – zvětšuje strom každý rok svoji tloušťku tím, že na stromě vzniká nový plášť dřeva a kůry. Buňky, vytvořené v první

polovině vegetačního období jsou tenkostěnné, široké a tvoří tzv. jarní dřevo. Ke konci vegetačního období se tvoří užší, zploštělé a silnostěnné buňky tvořící tzv. letní dřevo. Právě vizuální rozdíl mezi tmavším a zpravidla užším letním dřevem a světlejším a zpravidla širším jarním dřevem umožňuje rozpoznání hranice letokruhů (Šlezingerová a Gandelová 2002). Jarní dřevo se tvoří pod vlivem rašících pupenů a nejmladších listů, které zaplaví kambium stimulačními hormony, po dospění listů v polovině června tvorba jarního dřeva ustane. Dospělý list, již není zdrojem stimulačních hormonů, ale inhibičních. V létě počátkem července však poněkud poklesnou zábrany v dospělých listech, které znovu umožní aktivitu kambia a výsledkem je přírůst letního dřeva. V pozdním létě však stoupne inhibice natolik, že je tím uvedeno kambium do klidu po celý podzim a zimu až do nového rašení pupenů (Procházka a kol. 1994).

3.3.2 Tvar a šířka letokruhu

Tloušťka se zpravidla měří ve výčetní výšce 1,3 m nad patou kmene, v této výšce už tloušťka není ovlivněna kořenovými náběhy (Cook a Kairiukstis 1990). To znamená, že tloušťkový vývoj stromu můžeme sledovat až poté, co strom doroste do této výšky, což bývá podle dřeviny a podmínek růstu většinou 5–15 let, zpravidla 10 let (Drápela a Zach 1995).

U většiny hospodářsky významných dřevin se šířka letokruhu pohybuje v rozmezí 1 až 5 mm. V důsledku stáří dochází ke snižování šířek letokruhů. S výškou kmene šířka letokruhů vzrůstá od báze k vrcholu, čímž se kmen stává plnodřevnější. Se vzrůstající zeměpisnou šířkou a nadmořskou výškou se průměrná šířka letokruhů snižuje. Letokruhy ale nemusí být po obvodu kmene stejně široké, vlivem sněhu, větru, svážného terénu apod. dochází k excentrické stavbě kmene. Šířka letokruhů je tedy značně proměnlivá a závislá na celé řadě působících činitelů (Šlezingerová a Gandelová 2002).

3.3.3 Faktory ovlivňující tloušťkový růst dřevin

Rostliny jsou vázány k místu, kde rostou. Musí být proto velmi přizpůsobivé a značně tolerantní ke stresovému prostředí, více než například lidé. Je to zřetelné limitem růstu dřevin v různých typech prostředí jako například na horní hranici lesa (Schulze a kol. 2005).

Tloušťkový přírůst a činnost kambia ovlivňuje řada faktorů, lze je rozdělit na biotické (způsobené živými organismy), abiotické a antropogenní (činností člověka)

(Schweingruber, 1996). Mezi další důležité faktory patří vlastnosti dřeviny, stanovištní podmínky, sociální postavení stromu v porostu (Drápela a Zach 1995).

Podstatný vliv má také postavení stromu v porostu. Ukázalo se, že zvětšováním stromového rozestupu se tloušťkový přírůst zvětšoval, ale jen do určité míry. Po překonání optimálního rozestupu už k dalšímu zvýšení přírůstu nedocházelo. Také jakákoli porucha ve výživě stromu způsobená biotickými, abiotickými nebo antropogenními vlivy může mít značný vliv na tloušťkový přírůst. Při prudkých změnách růstových podmínek, může dojít i k nepravidelné tvorbě letokruhu, což se může projevit jednak vytvořením dvojitého letokruhu, jednak tím, že se v daném roce měřitelně veliký letokruh nevytvoří. Dvojité nebo chybějící letokruhy mohou způsobit velké problémy při datování letokruhových řad (Drápela a Zach 1995).

3.3.4 Vegetační období smrku ztepilého v ČR

Kamlerová (2006) uvádí, že tloušťkový přírůst smrku ztepilého na Dražanské vrchovině (výzkum v roce 2002) měřený pomocí dendrometrů probíhal tak, že první změny byly zaznamenány na přelomu března a dubna., kdy stromy začaly přijímat vodu, zvětšovat svůj objem, aniž by však probíhal skutečný přírůst pletiv. Rozdílné sociální postavení stromů v porostu na tuto fázi příjmu vody rostlinou nemělo vliv. První tloušťkový přírůst, byl zaznamenán začátkem května. Kulminace tloušťkového přírůstu v hodnoceném vegetačním období nastalo v červenci. Od tohoto období se již tloušťkový přírůst výrazněji nemění a končí v září. Zkoumaný porost se nacházel ve výšce 620 m n.m. a je součástí klimatické oblasti MT7 (Quitt, 1971).

Vichrová a kol. (2013) studovali vegetační období smrku v oblasti Dražanské vrchoviny (600–660 m n.m.) v roce 2010. Ze studie vyplývá, že stromy započaly růst na konci dubna a vegetační doba končila v polovině října. Na druhou stranu Tremel a kol (2015) se zabývali tvorbou dřeva v Krkonoších v nadmořských výškách mezi 1300 a 1450 m n.m. v letech 2010–2012. Výsledky ukazují, že počátek vegetačního období nastal v měsících dubnu a květnu. Konec dělení buněk pak nastal mezi koncem srpna a počátkem září. Podobné studie pro Beskydy nebyly nalezeny.

3.4 Vliv abiotických faktorů na přírůst

3.4.1 Sluneční energie a teplota

Hlavním vstupem energie do ekosystému je sluneční záření, které nezávisí na vlastnostech biotopu ani na činnosti organismů (Slavíková, 1986). Záření je složeno s širokého spektra vlnových délek a množství energie, které dopadne na zem je v průměru 47 % absorbováno v biomase lesního porostu a přeměněno na teplo a pouze asi 1% je využito pro fotosyntézu, přestože ve slunečním spektru je asi 40–50 % fotosynteticky účinné složky (Poleno a kol. 2007). Velikost energie je závislá na úhlu dopadajících paprsků, která se mění během dne, roku i zeměpisné šířky a vliv má také úhel sklonu ozařované plochy a její orientace ke světovým stranám (Slavíková, 1986).

Ve středoevropských podmínkách se za vegetační dobu považuje souvislé období s průměrnými denními teplotami 10 °C a vyššími. Pro smrk je vegetační doba ohraničována teplotou 8 °C a ukončení vegetační doby nastává při teplotách kolem 5 °C (Poleno a kol. 2007). Růst kořenového systému je rozdělen na dvě periody a to jarní a letní. Všechny naše dřeviny obnovují růst při teplotách půdy kolem 5 °C a ukončují jej v květnu. V tomto období je růst velmi intenzivní. Druhá perioda trvá u jehličnanů od druhé poloviny srpna do teploty půdy 6 °C (Mauer, 2009).

Na radiální růst mají vliv teploty nadprůměrné i podnormální. Vysoké teploty v roce předcházejícím, mohou spolu s radiací intenzivně zvýšit výpar a následné snížení půdní vlhkosti omezí tvorbu zásobních látek a dostupnost vody během následujícího jarního období, zejména bude-li toto období srážkově podnormální. Nadprůměrné teploty během vegetační sezóny většinou pozitivně ovlivňují radiální růst. V extrémně horkých a suchých dnech dochází k přivírání průduchů a omezení produkce. Stejně tak mohou negativně ovlivnit přírůst extrémně nízké zimní teploty, nejvýznamněji v nejvyšších horských polohách (Čermák, 2007).

Nezbytným faktorem pro fyziologické procesy je teplota rostlin, většinou však bývá jejich teplota o 2 °C až 8 °C vyšší než teplota vzduchu. V mnoha případech při vysokém oslunění, snížené transpiraci a bezvětří dochází ke značnému přehřívání povrchu rostlin proti okolnímu vzduchu. Většinou jsou ale teploty povrchu rostlin blízké teplotě vzduchu a proto se vliv teploty na život rostlin porovnává s teplotami vzduchu (Slavíková, 1986).

3.4.2 Vodní režim

Ani jeden z ekologických faktorů neurčuje tak podstatně existenci a rozšíření rostlin jako voda. Je základním komponentem živé hmoty a pro normální funkci každé buňky, pletiva a orgánu je nutná. Důležitost vody je spojená s fyzikálními a chemickými vlastnostmi, je rozpouštědlem a prostředím ve kterém probíhá pohyb a přeměna látek, ovlivňuje jevy hydratace, má schopnost výparu při různé teplotě a tím chrání rostlinu před přehřátím (Procházka a kol. 1994).

Hlavním zdrojem vody jsou atmosférické srážky, které ovlivňují vodní bilanci v závislosti na své intenzitě a časovém rozdělení během vegetačního období (Penka, 1985) a jsou tedy hlavním faktorem, který omezuje růst stromu v nižších nadmořských výškách (Larcher, 1988).

Vodní bilance rostliny je určována rozdílem mezi množstvím přijaté vody (absorpce) a množstvím vody vydané (transpirace). Vodní bilance je vyrovnaná tehdy je-li množství vody, které rostlina přijala, a množství, které vydala transpirací, stejné. Tento stav nebývá vždy a velmi často je během dne výdej vody vyšší než příjem. Tím dochází k různému stupni vodního deficitu v rostlině a při vyšším deficitu rostlina vadne. Mírný vodní deficit je nutný pro udržení transpiračního proudu, zároveň je tím zabezpečováno zásobení vodou a minerální výživa. Tyto malé výkyvy se zpravidla neprojevují negativně, jsou v rámci normální amplitudy. Dlouhotrvající vodní deficit po delším období sucha se naopak jeví jako limitující faktor, ovlivňuje tvorbu biomasy, všechny růstové procesy, nedovoluje absorpci základních živin z půdy a způsobit velký rozsah biochemických, anatomických a morfologických změn (Slavíková, 1986).

Všeobecně se předpokládá, že na aktivní příjem vody kořenovým systémem připadá přibližně 50 % přijaté vody. Pasivní příjem je vyvolán tím, že ztráta vody v procesu transpirace vyvolá změnu vodního potenciálu v listech, který se přes kmen, kde se vytváří podtlak, přenáší až ke kořenům. Rostliny mohou přijímat vodu i ostatními orgány hlavně v podmínkách vodního deficitu. Zdrojem vody při absorpci z povrchu rostliny může být mlha nebo rosa. Příjem vody kořeny je ovlivněn i teplotou půdy, při jejím snižování se příjem vody zeslabuje, až se nakonec zastaví. Optimální podmínky jsou při teplotách 20–25 °C (Procházka a kol. 1994).

Na radiální růst stromu mohou mít vliv jak srážky v roce předcházejícím vzniku letokruhu, tak srážky v daném roce. Zásadní jsou především jarní srážky v minulém roce a zimní, jarní a letní srážky v roce aktuálním (Čermák, 2007). Pozitivní korelace

mezi srážkami a růstem je doložena především z nižších a středních poloh, v nejvyšších partiích vztah často není doložitelný, a to ani v pohořích, v kterých je v nižších nadmořských výškách silný, například v Alpách. Negativní korelace šířky letokruhu se srážkami, tj. snížení přírůstu v důsledku nadprůměrných srážek především během července a srpna (tj. v měsících, kdy je realizována značná část ročního přírůstu), byla zjištěna pouze v oblastech s nadstandardně vysokými srážkami, například na německé straně Krušných hor (Čermák, 2007).

Dostatečné jarní či letní srážky podporují jak růst kmene, tak růst kořenů. Jarní srážky prospívají mykorhízám spojeným s jemnými kořeny i celkovému růstu kořenů; výrazné sucho ve stejném období může zapříčinit inhibici růstu kořenů či poškození mykorhíz v povrchové části půdy. Růst kořenů smrku je tedy se srážkami v silné interakci, důležité jsou zřejmě především jarní srážky během dubna a pak v období od června do srpna (Čermák, 2007).

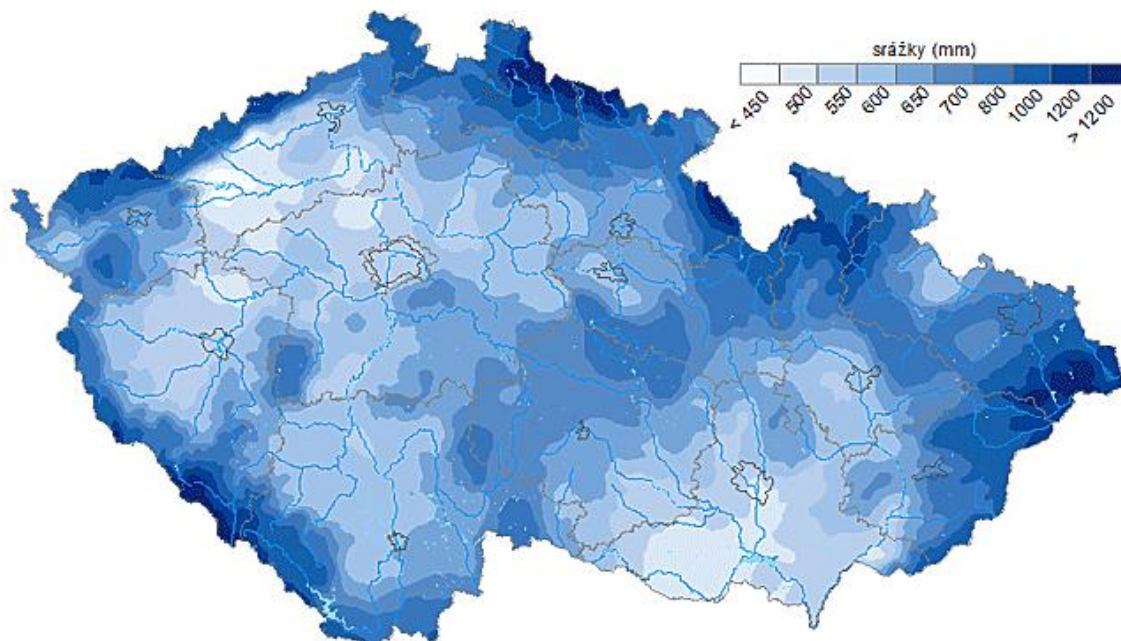
3.4.3 Atmosférické srážky v ČR

V Česku, ležícím v oblasti hlavního evropského rozvodí, jsou atmosférické srážky hlavním zdrojem vody, mají proto klíčový význam pro charakter přírodního prostředí (Tolasz, 2007).

Srážky v zimním půlroce (říjen–březen) jsou charakterizovány zpravidla menší intenzitou a delším trváním, naopak v měsících letního půlroku (duben–září) mají srážky často krátké trvání s vysokou intenzitou (Tolasz, 2007).

Geografické rozložení průměrných ročních úhrnů srážek ukazuje na existenci dvou výrazně sušších oblastí. Jedna zasahuje z Podkrušnohoří do Polabí a středních Čech, nejsušší oblast na Moravě zahrnuje především jižní Moravu. Nejvyšší úhrny připadají na pohraniční pohoří Česka. Obdobné rozložení ročních úhrnů srážek jsou obdobné také v zimě. Oproti obvyklému červencovému maximu bylo v letech 1961–2000 častěji zastoupeno maximum červnové, přičemž v severozápadních Čechách se hlavní maximum přesunulo až na srpen a v severních Čechách dokonce až na prosinec. Podobné je to i v případě hlavního srážkového minima kde došlo vedle ledna k jeho častějšímu posunu na měsíc únor, přičemž v oblasti severních a východních Čech, části Šumavy a Krušných hor bylo hlavní minimum dosaženo dokonce až v dubnu a na několika stanicích i v říjnu (Tolasz, 2007).

Jako srážkově nejproměnlivější se jeví měsíc říjen a na některých místech leden. Tendence k poklesu nebo vzestupu srážek je patrná pouze v kratších časových úsecích, dlouhodobý chod ukazuje spíše na cyklický charakter kolísání srážek (Tolasz, 2007).



Obr. 1: Roční úhrn srážek v mm mezi roky 1961 až 2000 (zdroj: www.in-pocasi.cz)

3.5 Antropogenní faktory ovlivňující přírůst

Výrazné znečištění ovzduší v posledních desetiletích, které je důsledkem industrializace, urbanizace a automobilizace, hraje mimořádnou roli v přírodním prostředí. Zatímco v dřívějších dobách byl vliv společnosti na životní prostředí jen lokální (např. problémy s čistotou ovzduší kolem hutí byly známy již před 150 lety), vytvořila se v druhé polovině 20. století taková situace, že i neoptimističtější zastáncům průmyslového pokroku došlo, že existuje něco jako maximální únosnost přírodního prostředí (Poleno a kol. 2007).

Znečišťující látky, které unikají z nějakého zdroje, se nazývají emise. Jestliže se dostanou do styku s půdou, vodou nebo organismy, nazývají se imise. Imise poté mohou být dále přemísťovány vodou či větrem (Slavíková, 1986).

Dlouhodobými měřeními, že koncentrace plyných emisí v ovzduší se mění během roku v závislosti na teplotě vzduchu. V letním období je zatížení emisemi

relativně menší, než v zimě a jarních měsících. Negativně působí hlavně zvýšený počet dní s teplotní inverzí v zimě (Slavíková, 1986).

Lesy a ostatní formy stromové a keřové vegetace, působí jako filtr pro všechny pevné (prachové) částice ve vzduchu, tuto funkci plní především asimilační orgány. Hektar smrkového lesa může zachytit ročně až 30 t prachu, u lesa bukového je to 60–70 t (Poleno a kol. 2007).

Od začátku 50. let docházelo v našich lesích již k hromadnému zhoršování zdravotního stavu jedle, které vedlo k rychlému snížení zastoupení této dřeviny v lesích. V sedmdesátých letech se podobná situace začala projevovat i u smrku, zejména v horských a podhorských polohách. Jen o málo později došlo k podobným jevům chřadnutí a odumírání lesů i v dalších evropských státech (Poleno a kol., 2007). Toto onemocnění a chřadnutí lesů, není zřejmě přesně časově omezený jev, ale proces, který začal před dlouhou dobou a jehož konci nemůžeme spolehlivě odhadnout (Poleno a kol. 2007).

V ČR je možné bezesporu za hlavní příčinu považovat zejména SO_2 , jehož průměrné koncentrace dosahovaly ve východním Krušnohoří v osmdesátých letech 60–80 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ vzduchu. Při inverzi dosáhly krátkodobé koncentrace SO_2 i více než 2200 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Historicky maximální krátkodobá koncentrace SO_2 byla dosažena v roce 1993 v Krušných horách, kde překročila 3400 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (Poleno a kol. 2007).

Některé emise (především SO_2) a aerosoly rozpuštěné v dešťových srážkách vytváří kyseliny (Slavíková, 1986). Ve srážkách jsou převážně obsaženy sírové, dusičné a chlorovodíkové anionty. Kyselými srážkami se označují srážky pod pH 4,2 což je u nás velice častý případ hlavně v severních pohořích (pH 3) (Poleno a kol. 2007).

Oxid siřičitý poškozuje přímo strukturu a funkci asimilačních orgánů stromů, poškozena je především kutikulární vrstva jehličí a dochází k umrtvení regulační funkce průduchů, což vede k neregulovanému výparu a k přímému pronikání toxicky působících látek do asimilačních orgánů (Poleno a kol. 2007).

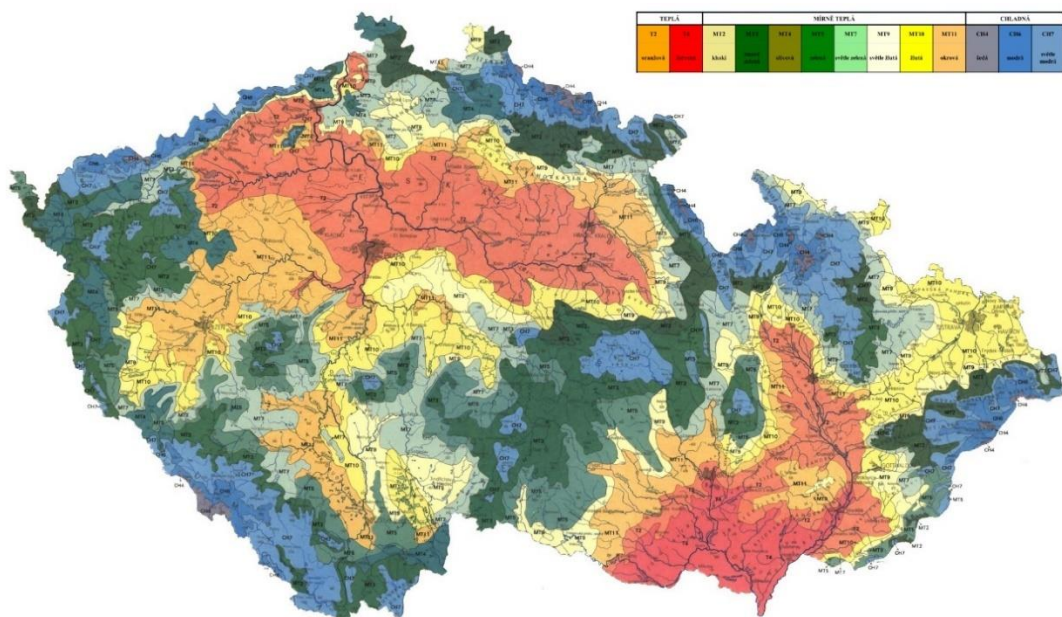
Významnou roli hrají také oxidy dusíku (NO_x), jejichž průměrné roční koncentrace jsou v například v Německu 60-90 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. U nás je koncentrace poněkud nižší, v posledních letech avšak dochází k jejich markantnímu nárůstu. Významná je role oxidů dusíku při vzniku toxického ozonu, ten lze v současné době považovat za nejvýznamnější plynnou škodlivinu, jejíž limit byl v roce 2005 překročen na více než 98% území ČR (Poleno a kol. 2007).

3.6 Klimatické zařazení ČR

Klima je výslednicí dlouhodobého působení radiačních poměrů, všeobecné cirkulace atmosféry, nadmořské výšky, terénu, sklonu, orientace a lidských zásahů. Klimatické klasifikace souhrnně vyjadřují klimatické poměry s přihlédnutím ke vzájemným vazbám mezi jednotlivými meteorologickými prvky (Tolasz, 2007).

Nejvíce rozšířenou a všeobecně uznávanou klasifikaci klimatu vypracoval W.Köppen v roce 1906 na základě rozdělení ročního průběhu teplot a srážek ve vztahu k vegetaci. Tato klasifikace rozděluje světové klima na pásma A až E v nichž se rozlišuje 11 typů a další množství podtypů. V ČR se vyskytuje podtyp podnebí listnatých lesů mírného pásma, boreální klima a na hřebenech Krkonoš a Jeseníků i klima ET (tundra) (Tolasz, 2007).

Další klasifikací je Quittova, která rozlišuje 23 jednotek ve třech oblastech (teplá, mírně teplá a chladná), nížiny spadají do oblasti teplé a vyšší polohy do oblasti chladné. Tato klasifikace je u nás v současnosti nejpoužívanější (Tolasz, 2007).



Obr. 2: Klimatické oblasti ČR dle Quitta (1971) (zdroj www.migesp.cz)

3.7 Dlouhodobé změny klimatu v ČR

V poslední době se zvyšuje zájem veřejnosti o vývoj klimatu na Zemi. Studie minulého vývoje klimatu nám může dát představu o jeho proměnlivosti a

mechanismech příčin, které by měly platit i v budoucnu. Cook a kol. (2004) například zkoumali proměnlivost klimatu za posledních 1200 let v západních Spojených státech a zjistili, že vyšší teploty (jako například středověké teplé období zde rekonstruováno v letech 900–1300) korespondují se suchem a naznačují, že budoucí oteplování klimatu může mít za následek zvýšený výskyt suchých oblastí na studovaném území. Studium minulosti se tedy můžeme připravit na změny klimatu v budoucnosti (Speer, 2010).

Průměrná roční teplota vykazuje dost výrazné změny s trendem nárůstu o téměř 0,3 °C za desetiletí. v posledních dvou desetiletích (1991–2010) došlo v porovnání se standardním obdobím (1961–1990) ke zvýšení průměrné roční teploty o 0,8 °C. K výraznějším vzestupům teplot docházelo v teplé polovině roku a zároveň se zvyšovala i jejich extremita. Jedním z parametrů teploty je i její mezidenní proměnlivost, která vykazuje zřetelný roční chod s vyšší proměnlivostí v zimě a nižší v létě. Z porovnání obou uvedených období vyplývá, že v posledních dvou desetiletích se proměnlivost v zimě dále zvyšuje a naopak v létě dále snižuje (Pretel, 2013).

Průběh průměrných ročních srážkových úhrnů charakterizuje jeho velmi vysoká proměnlivost (srážkově nejbohatším byl rok 2002: 855 mm, srážkově nejchudším hned následující rok 2003: 505 mm). Celkově vykazují úhrny velmi mírně vzestupný trend (méně než 2 % za desetiletí). Zřetelnější jsou změny v teplé polovině roku, kdy jsou ale poklesy úhrnů v období od dubna do června do značné míry kompenzovány jejich nárůsty v červenci až září. Přestože ve změnách počtu dnů s limitními srážkovými úhrny nebyly na vybraných stanicích zjištěny žádné statisticky významné rozdíly, mezidenní proměnlivost úhrnů vykazuje ještě výraznější roční chod než u teploty a zvyšuje se v teplé a snižuje v chladné polovině roku. Příčinou je jak častější výskyt letních srážek s extrémnějšími úhrny (přivalové srážky), po nichž se může vyskytnout období bezesrážkové, tak i celkový pokles srážek na jaře. Tyto změny jsou ještě podtrženy prostorovou proměnlivostí srážek i jejími změnami, které jsou v porovnání s teplotou až trojnásobně vyšší a kulminují v období od června do srpna (Pretel, 2013).

Ke změnám ve vývoji globálního i regionálního klimatu dochází a jinak tomu nebude ani v příštích desetiletích. Snaha o snižování emisí skleníkových plynů je určité na místě, ale snaha o promyšlené omezování většinou negativních dopadů změn musí sehrávat stále významnější úlohu. Omezíme-li produkci látek zesilujících přirozený skleníkový efekt, průměrná teplota troposféry se určitě sníží – kdy a o kolik, to stále vytváří široký prostor ke spekulacím – tyto látky jsou totiž schopny působit v atmosféře desítky a některé až tisíce let (Pretel, 2013).

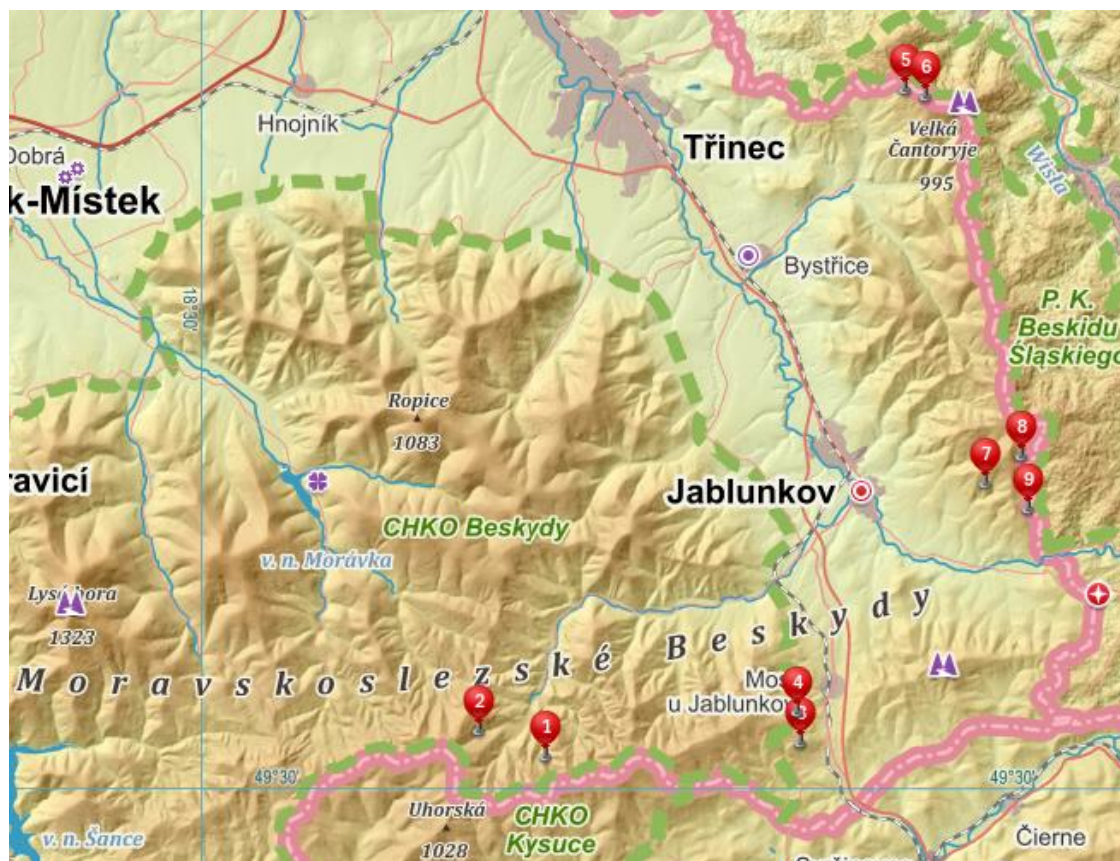
4 MATERIÁL

4.1 Charakteristika studovaných lokalit

Studované území je součástí LS Jablunkov, jež je nejvýchodnější správou státního podniku Lesy České republiky. Jedná se o devět lokalit, z nichž čtyři se nacházejí v jihovýchodní části Moravskoslezských Beskyd, téměř na hranici se Slovenskem a zbylých pět leží na území Slezských Beskyd, které naopak blízko sousedí s Polskem. Celá oblast je součástí PLO (přírodní lesní oblast) č.40 Moravskoslezské Beskydy. Studované plochy se nacházejí v nadmořské výšce od 549 do 950 m.n.m a patří do 5. lesního vegetačního stupně, na stanovištích převažujících edafických kategorií svahová (F), středně bohatá (S), kyselá (K), obohacená humusem (A) a kamenitá (N) (Tab.1). 5. lvs je jedlobukový, na základě lokálních rozdílů převažují buď buk lesní, nebo jedle bělokorá. Přirozeně je přítomen už i smrk ztepilý, který má v tomto lvs produkční optimum. Zcela chybí dub zimní. Jedle bělokorá je častější na těžších půdách a v polohách hřbetů, kde se nehromadí buková hrabanka. Naopak místa s hromaděním bukové hrabanky a tedy častějším výskytem jejích slehlých pláství podstatně vyhovují buku lesnímu. 5. lvs zaujímá 30,04 % ploch lesů ČR (Viewegh, 1999). V rámci každé plochy byly zaznamenány GPS souřadnice, expozice a sklon svahu.

Tab. 1: Detailní přehled ploch (SLT – soubor lesních typů)

Porost	Revír	PDK	PSL	SO	AK	Rbar	Začátek	Délka	Konec
HL1	Horní Lomná	105	2,16	1,178	0,861	0,642	1903	112	2014
HL2	Horní Lomná	122	1,83	1,005	0,886	0,604	1883	132	2014
M1	Mosty	107	1,66	0,591	0,729	0,594	1998	117	2014
M2	Mosty	95	1,89	0,781	0,763	0,666	1913	102	2014
N1	Nýdek	78	2,31	1,591	0,91	0,552	1932	83	2014
N5	Nýdek	45	3,51	1,554	0,708	0,676	1962	53	2014
P1	Písek	98	2,18	1,02	0,782	0,63	1889	126	2014
P2	Písek	71	2,83	1,181	0,807	0,632	1929	86	2014
P3	Písek	77	2,71	1,193	0,844	0,583	1935	80	2014
průměr	Beskydy	90	2,19	1,015	0,812	0,562	1883	132	2014

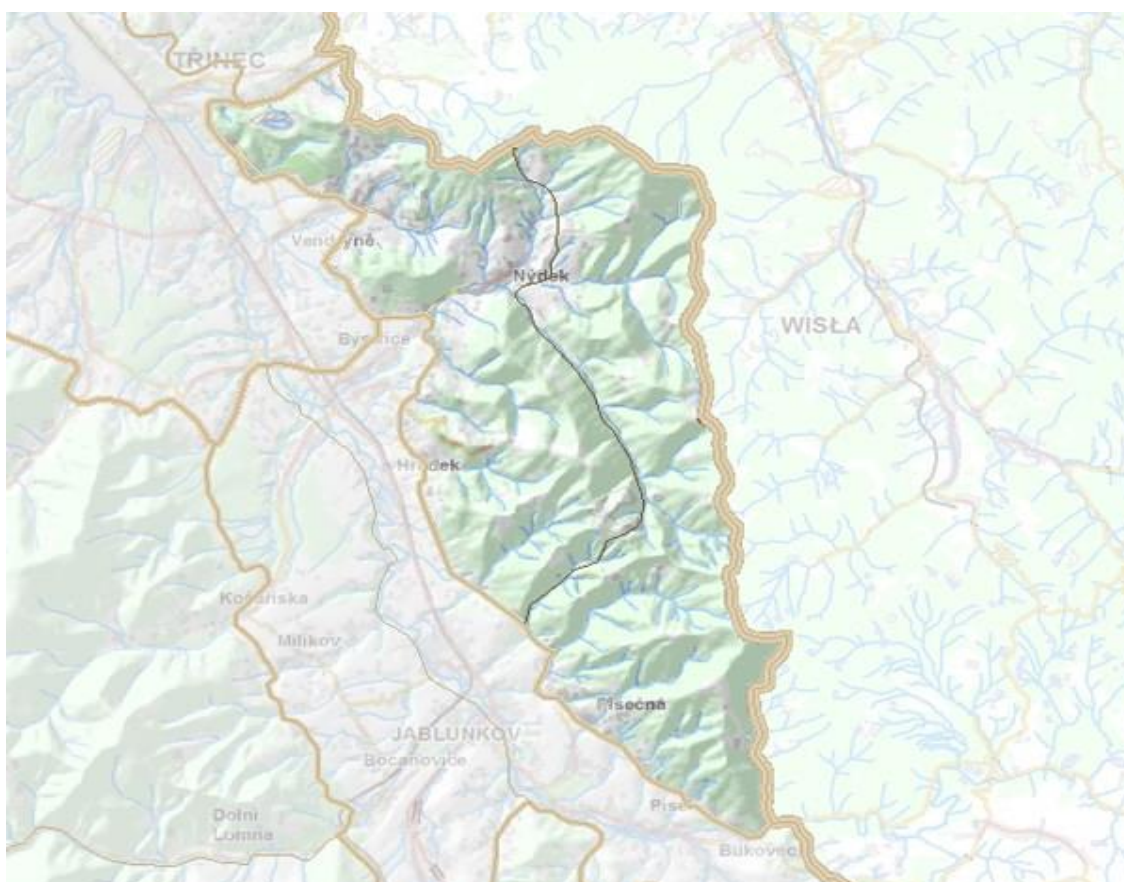


Obr. 3: Přehled studovaných porostů, označní jednotlivých lokalit – revír Horní Lomná (porosty 1-HL1, 2-HL2), revír Mosty (porosty M1-3, M2-4), revír Nýdek (porosty 5-N1, 6-N5), revír Písek (porosty 7-P1, 8-P2, 9-P3) (zdroj: www.mapy.cz).

4.2 Geomorfologické a půdní poměry Moravskoslezských Beskyd

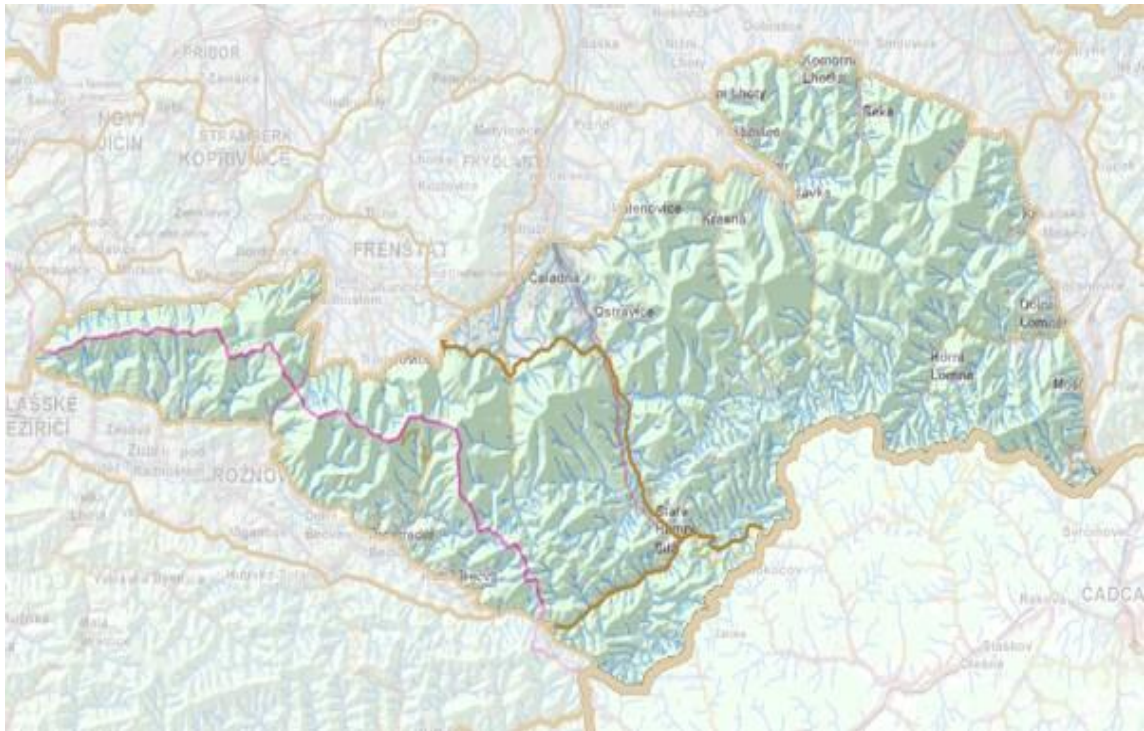
Podle geomorfologického třídění (Demek, 1987) náleží území k provincii Západní Karpaty, subprovincii Vnější Západní Karpaty a oblasti Západní Beskydy. Ve všech pohořích Západních Karpat se střídají pásma pahorkatin, vrchovin a hornatin.

Slezské Beskydy jsou plochá hornatina o rozloze 54 km², střední výšce 614 m a středním sklonu 13°03'. Oblast na délku dosahuje přibližně 18,5 km a na šířku téměř 8 km. Severní a východní hranici české části tvoří česko-polská hranice. Slezské Beskydy leží v severovýchodní části geomorfologické oblasti Západní Beskydy. Čantoryjský hřbet tvoří osu pohoří, začíná na severu Velkou Čantoryjí (995 m) a ve výškách minimálně 800 m se táhne k Velkému Stožku (978 m) (www.moravske-karpaty.cz).



Obr. 4: Slezské Beskydy (zdroj www.moravske-karpaty.cz)

Moravskoslezské Beskydy jsou členitá hornatina o rozloze 623 km², střední výšce 703 m a středním sklonu 14°46'. Oblast má délku přibližně 55 km a šířku blížící se 20 km. Moravskoslezské Beskydy se v severní části zvedají do největších výšek Západních Beskyd, na jižní straně pozvolna z vrcholů klesají na území Slovenska do údolí Kysuce, která je odděluje od Javorníků. Nejvyšším bodem je Lysá hora (1 323 m). Významnými vrcholy jsou Travný (1203 m), Javorový (1031 m), Smrk (1276 m), Kněhyně (1257 m), Čertův Mlýn (1257 m) a Radhošť (1129 m) (www.moravske-karpaty.cz).



Obr. 5: Moravskoslezské Beskydy (zdroj www.moravske-karpaty.cz)

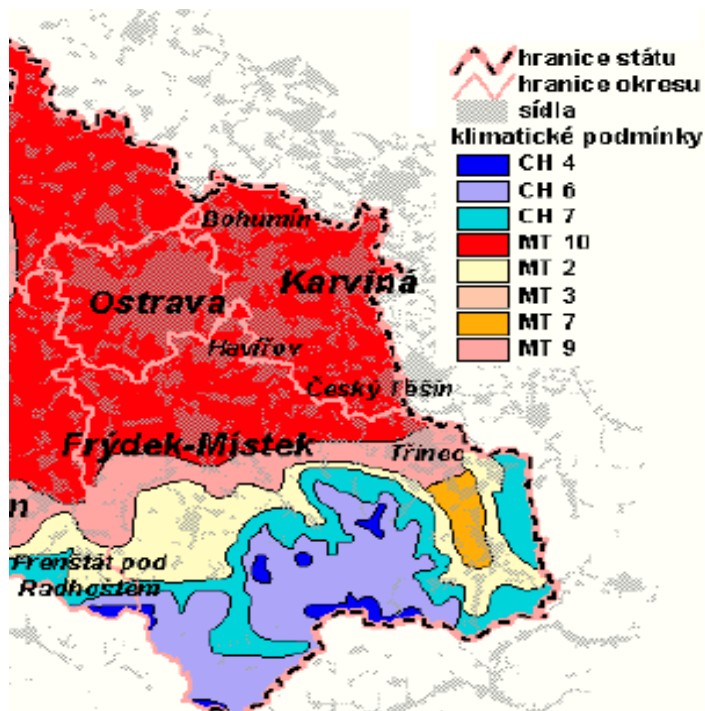
Na zkoumaných stanovištích se nachází půdní typ Kambizem, jsou to půdy s kambickým hnědým (braunifikovaným) horizontem, vyvinutým převážně v hlavním souvrství svahovin magmatických, metamorfických a zpevněných sedimentárních hornin. Půdy se vytvářejí hlavně ve svažitých podmínkách pahorkatin, vrchovin a hornatin, v menší míře (sytké substráty) v rovinatém reliéfu. Vznik těchto půd z tak pestrého spektra substrátů podmiňuje jejich velkou rozmanitost z hlediska trofismu, zrnitosti a skeletovitosti. Původními společenstvy jsou listnaté a smíšené lesy (dub, buk, jedle), u oligobazických i jedle a smrk (Němeček a kol. 2008).

4.3 Klimatické poměry studované oblasti

Dle Quitta (1971) leží studované porosty revírů Nýdek, Písek a Mosty u Jablunkova v oblasti CH7, jeden porost revíru Písek leží v oblasti MT2 a Horní Lomná na rozhraní CH6 a CH4.

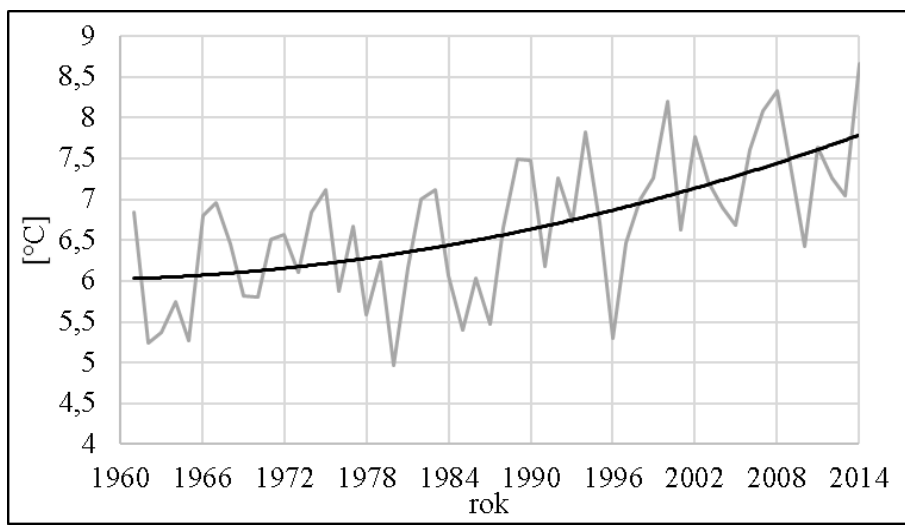
Oblast CH6 se vyznačuje průměrnou dubnovou teplotou 2–4°C a červencovou teplotou 14–15°C. Suma srážek za vegetační období je 600–700 mm a v zimním období 400–500 mm. Počet zamračených dní je 150–160 v roce a počet jasných dní 40–50. Oblast CH7 má průměrnou dubnovou teplotou 4–6°C a červencovou teplotou 15–16°C.

Suma srážek za vegetační období je 500–600 mm a v zimním období 350–400 mm. Počet zamračených a jasných dní je stejný jako v CH6. V oblasti MT2 je dubnová teplota 6–7°C a červencová teplota 16–17°C. Suma srážek za vegetační období je 450–500 mm a v zimním období 250–300 mm. Počet zamračených dní je 150–160 a počet jasných dní 40–50 v roce (Quitt,1971).

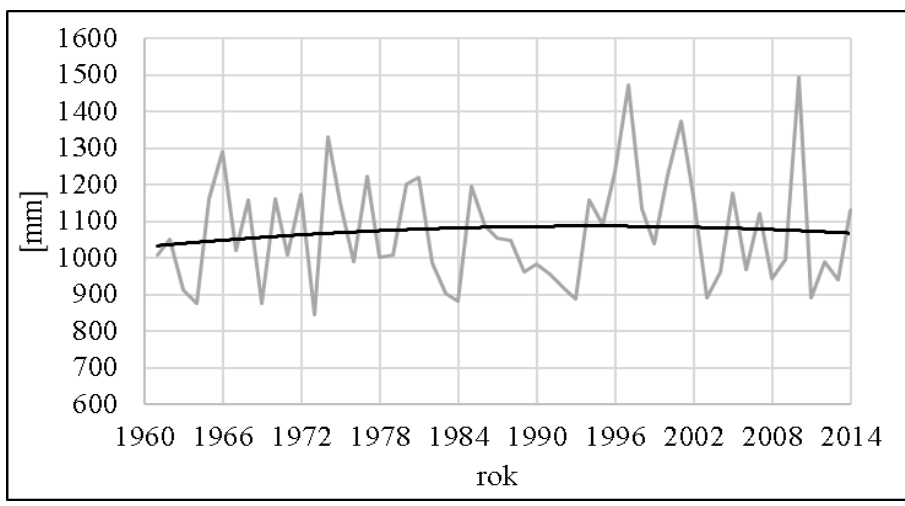


Obr. 6: Mapa Quittovy klasifikace pro oblast Moravskoslezských Beskyd (zdroj <http://iszp.kr-moravskoslezsky.cz/assets/temata/koncepce/popisna-cast---uvod-a-zemedelstvi.pdf>)

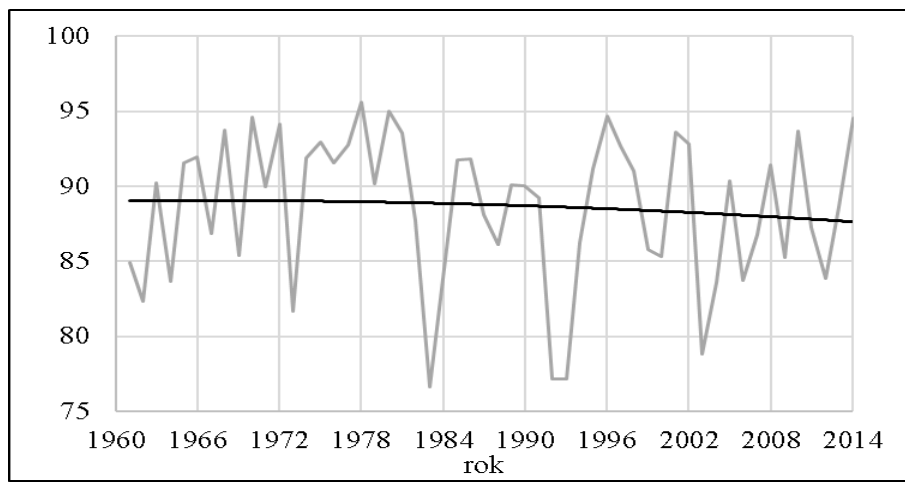
Z meteorologických dat poskytnutých Ústavem agrosystémů a bioklimatologie na Agronomické fakultě Mendelovy univerzity, byly vytvořeny grafy průměrných ročních teplot (Obr. 7), sumy úhrnů srážek (Obr. 8) a relativní dostupnosti vody v půdě 0–130 cm (AWR) (Obr. 9), pro oblast Moravskoslezských Beskyd v období 1961–2014. Do grafu byla zanesena polynomická funkce, která ukazuje trend klimatických hodnot ve studovaném období. Uvedené grafy ukazují, že teplota má rostoucí trend, srážky jsou poměrně stabilní a relativní dostupnost vody v půdě mírně klesá.



Obr. 7: Trend průměrných ročních teplot v období 1961-2014.



Obr. 8: Trend roční sumy srážek v období 1961-2014.



Obr. 9: Trend průměrné roční relativní dostupnosti vody v půdě 1961-2014 vyjádřena v procentech.

4.4 Imise

Převážná část škodlivin, pochází z průmyslových činností, zejména z těžby a zpracování uhlí, hutní výroby a zpracování nerostných surovin (Tolasz, 2007).

Nízké obsahy živin jsou s největší pravděpodobností důsledkem dlouhodobé imisní zátěže dané oblasti, která vrcholila v sedmdesátých a osmdesátých letech dvacátého století. Současná úroveň znečištění ovzduší je relativně nízká – koncentrace oxidu siřičitého se po celý rok pohybují pod hodnotou $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (imisním limitem pro poškození vegetace je průměrná koncentrace zimního období $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), koncentrace oxidů dusíku jsou na stejné úrovni (imisním limitem je roční průměrná koncentrace $30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) (Šrámek a kol. 2008).

Spad látek se srážkami je v současné době výrazně nižší než v minulosti, není však nevýznamný. Hodnota pH srážek dosahuje v průměru 4,9 – déšť je tedy méně kyselý než lesní půdy. Spad síry na volné ploše se pohybuje okolo $13 \text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ a dusíku okolo $14 \text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$, což jsou hodnoty vyšší než průměr v ČR (Šrámek a kol. 2008). Kvalitu ovzduší také ovlivňuje dálkový transport škodlivin tuhých látek, především z oblastí, kde je stále využíváno spalování nekvalitního uhlí – Polsko, Ukrajina. Tento transport je stále nezanedbatelný (Braniš, 2002).

5 METODIKA

5.1 Odběr a příprava vzorků

Pro dendrochronologickou analýzu bylo odebráno z 20 stromů v každém porostu 20 vývrtů. Celkem bylo odebráno ze všech porostů 180 vývrtů. Z každého vytipovaného stromu byl odebrán jeden vzorek v prsní výšce 1,3 m, pomocí Presslerova přírůstového nebozezu. Vzorky byly odebírány po vrstevnici, aby byl eliminován vliv reakčního dřeva. Poté byl nalepen do dřevěné lišty a pro fixaci přelepen páskou. Všechny vzorky pak byly zbroušeny brusným papírem o zrnitosti zrnitostí 400. Takto připravené vzorky byly měřeny na speciálním měřicím stole VIAS TimeTable (SCIEM). Měřicí stůl je vybaven šroubovým mechanismem a impulsmetrem, který zaznamenává posuv desky stolu, a tím šířku letokruhu (Rybníček, 2003). Šířka letokruhů byla měřena s přesností na 0,01 mm. Letokruhové křivky byly ukládány do programu PAST4 (SCIEM), kde byla získaná data dále zpracovávána.

5.2 Křížové datování

Pro vzájemné porovnávání letokruhových křivek byly použity programy PAST4 (SCIEM) a COFECHA (Grissino–Mayer, 2001). Pro posouzení správné vzájemné polohy byly kromě vizuálního porovnání, které je pro konečné srovnání rozhodující (Rybníček, 2007), použity v programu PAST4 následující statistické parametry:

Souběžnost (Gleichläufigkeit)

Tato hodnota ukazuje procento souběžnosti křivky vzorku a standardu v překrývající se části těchto dvou křivek. Souběžnost se vypočítá následujícím způsobem:

1. Standard i vzorek jsou převedeny na hodnoty po jednoletých intervalech. Možné hodnoty jsou -1 pro klesající trend, 0 pro neměnicí se trend a +1 pro zvyšování hodnot.
2. Hodnoty překrývajících se standardu a vzorku jsou po roce porovnány a intervaly se stejným trendem jsou sečteny.
3. Počet let se stejným trendem k počtu překrývajících se let dává procento souběžnosti (0 až 100%).

Hodnota souběžnosti by neměla být nižší než 60%. Tento test naznačuje zda hodnota souběžnosti ve srovnání s celkovou délkou má nějakou statistickou významnost nebo ne. Významnost je označena symboly #, ## nebo ### (PAST 4):

Hladina významnosti nad 95 (p=5%)

$$\text{Gleichläufigkeit} \geq 50 + \frac{1,645}{\sqrt{n}} \dots \dots \dots \#$$

Hladina významnosti nad 99 (p=1%)

$$\text{Gleichläufigkeit} \geq 50 + \frac{2,326}{\sqrt{n}} \dots \dots \dots \##$$

Hladina významnosti nad 99,9 (p=0,1%)

$$\text{Gleichläufigkeit} \geq 50 + \frac{3,09}{\sqrt{n}} \dots \dots \dots \###$$

n...počet překrývajících se letokruhů

Studentův t-test

Studentův t-test je porovnáním vzorku se standardem jako dvěma soubory dat. K posouzení míry podobnosti je využívána korelace a statistická významnost je ověřena t-testem. Před provedením statistických testů jsou data transformována. Dále se uvedené testy liší způsobem transformace dat, která jsou pak již shodně použita k výpočtu koeficientu korelace (PAST 4).

Baillie-Pilcherova transformace:

$$y_{bp_i} = \ln \left(\frac{y_i \times 5}{y_{i-2} + y_{i-1} + y_i + y_{i+1} + y_{i+2}} \right)$$

Hollsteinova transformace:

$$y_{h_i} = \ln \left(\frac{y_i}{y_{i+1}} \right)$$

Hodnoty šířek letokruhů jsou v transformovaných řadách nahrazeny bezrozměrnými hodnotami letokruhových indexů. Účinek obou transformací není zcela shodná. Zatímco Hollsteinova transformace v podstatě zcela ruší vliv všech trendů a ponechává pouze změny mezi dvěma po sobě následujícími roky, Baillie-Pilcherova transformace ponechává vliv krátkodobých výkyvů s délkou výkyvu do pěti let (Vinař et al. 2005).

Transformované a indexové datové řady standardu a vzorku jsou použity pro kalkulaci korelačního koeficientu (jsou reprezentovány proměnnými s_i a r_i v následujícím vzorci) (PAST4):

$$c_{\text{coeff}} = \frac{\sum_{i=x..y} (s_i - \bar{s}) \times (r_i - \bar{r})}{\sqrt{\sum_{i=x..y} (s_i - \bar{s})^2 \times (r_i - \bar{r})^2}}$$

x, y ...hranice překrytí křivek

r_i, s_i ...hodnoty letokruhů po transformaci

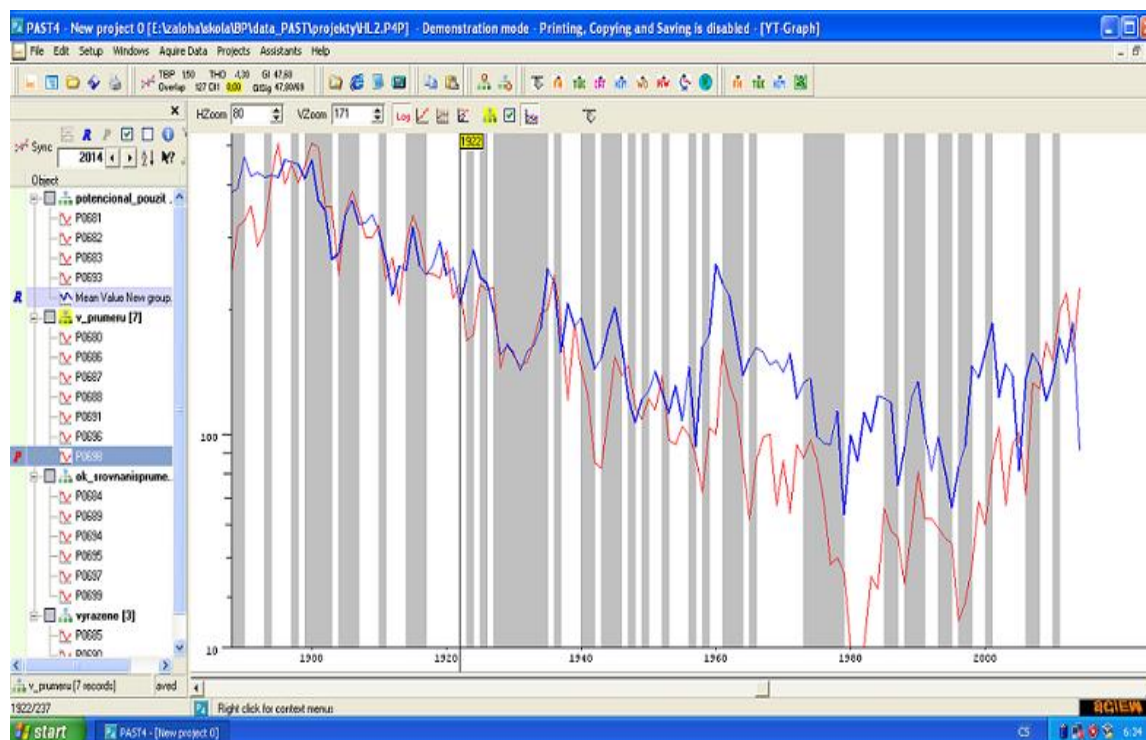
\bar{r}, \bar{s} ...průměrné hodnoty transformovaných letokruhových řad

Konečná hodnota T-testu má pak podobu (PAST4):

$$t_{dp} / t_{ko} = \frac{c_{\text{coeff}} \times \sqrt{n-2}}{(1 - c_{\text{coeff}}^2)}$$

n ...počet překrývajících se let

Použité letokruhové křivky byly použity pouze ty, které dosáhly v testu souběžnosti hladinu významnosti nad 99 ($p=1\%$). Z výborně korelujících křivek byly poté vytvořeny průměrných letokruhových chronologií jednotlivých porostů.



Obr. 10: Prostředí programu PAST4 (SCIEM) ve Windows

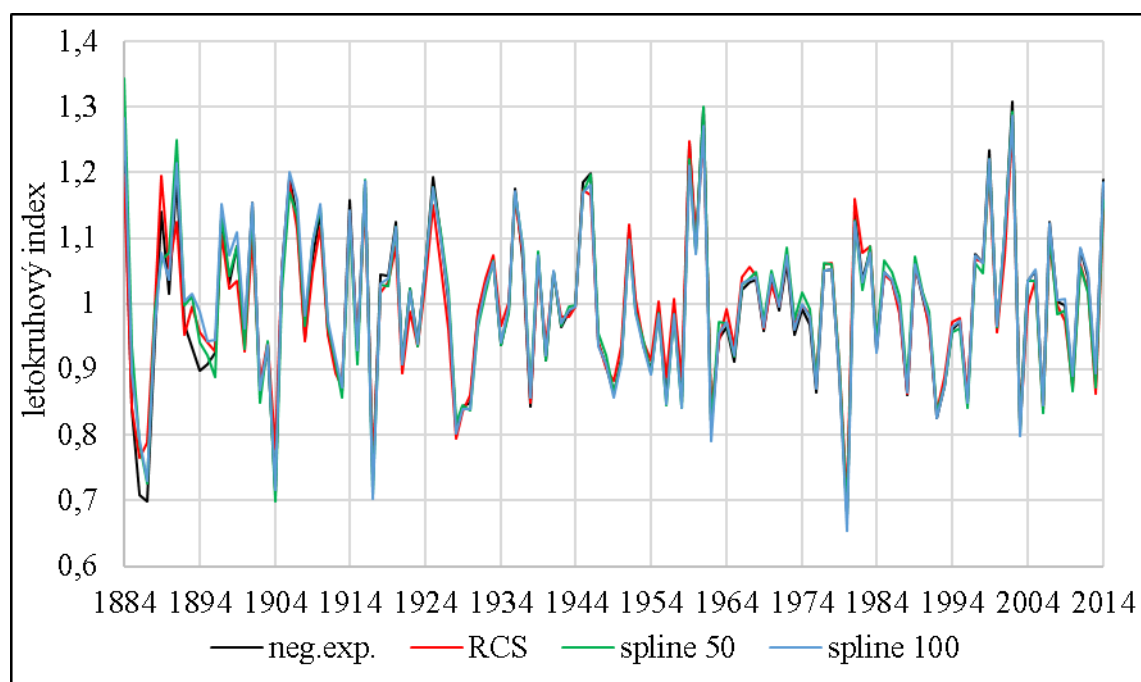
M2COF - Poznámkový blok															
Soubor Úpravy Formát Zobrazení Nápověda															
Seq	Series	Interval	No. Years	No. Segmt	No. Flags	Corr with Master	Mean msmt	Max msmt	Std dev	Auto corr	Mean sens	Max value	Std dev	Auto corr	AR
1	0P0701	1919 2014	96	4	0	.746	2.27	4.33	.672	.658	.191	2.58	.456	.001	1
2	0P0702	1916 2014	99	4	0	.793	1.52	3.68	.731	.811	.217	2.51	.322	-.004	2
3	0P0704	1953 2014	62	2	0	.802	1.69	3.08	.480	.409	.252	2.53	.483	.058	1
4	0P0705	1922 2014	93	4	0	.597	1.60	3.68	.791	.878	.189	2.48	.356	.014	1
5	0P0707	1915 2014	100	4	0	.667	1.68	3.41	.819	.906	.198	2.57	.428	-.078	1
6	0P0708	1915 2014	100	4	0	.544	2.13	5.14	.879	.793	.209	2.64	.426	-.082	2
7	0P0709	1921 1997	77	3	0	.751	1.34	2.56	.384	.568	.215	2.56	.443	.049	1
8	0P0710	1917 2013	97	4	0	.651	1.88	3.41	.564	.486	.241	2.60	.489	-.025	2
9	0P0711	1913 2014	102	4	0	.671	2.38	5.17	1.124	.901	.156	2.43	.350	-.003	1
10	0P0712	1919 2014	96	4	0	.636	1.61	4.02	.875	.869	.239	2.61	.403	.034	1
11	0P0713	1913 2013	101	4	0	.674	1.78	4.20	.748	.824	.180	2.62	.569	-.055	1
12	0P0714	1916 2014	99	4	0	.762	2.58	6.18	1.083	.827	.199	2.78	.517	-.052	1
13	0P0715	1922 2014	93	4	0	.601	1.93	4.42	.755	.814	.188	2.41	.300	.058	1
14	0P0717	1913 2014	102	4	0	.623	1.84	4.85	.903	.804	.194	2.51	.348	.015	1
15	0P0718	1914 2014	101	4	0	.691	2.14	4.68	.841	.681	.223	2.63	.351	-.023	1
16	0P0719	1916 2014	99	4	0	.519	1.67	4.04	.626	.805	.172	2.84	.544	-.037	1
Total or mean:			1517	61	0	.666	1.89	6.18	.781	.763	.203	2.84	.423	-.011	

- = [COFECHA M2 COF] = -

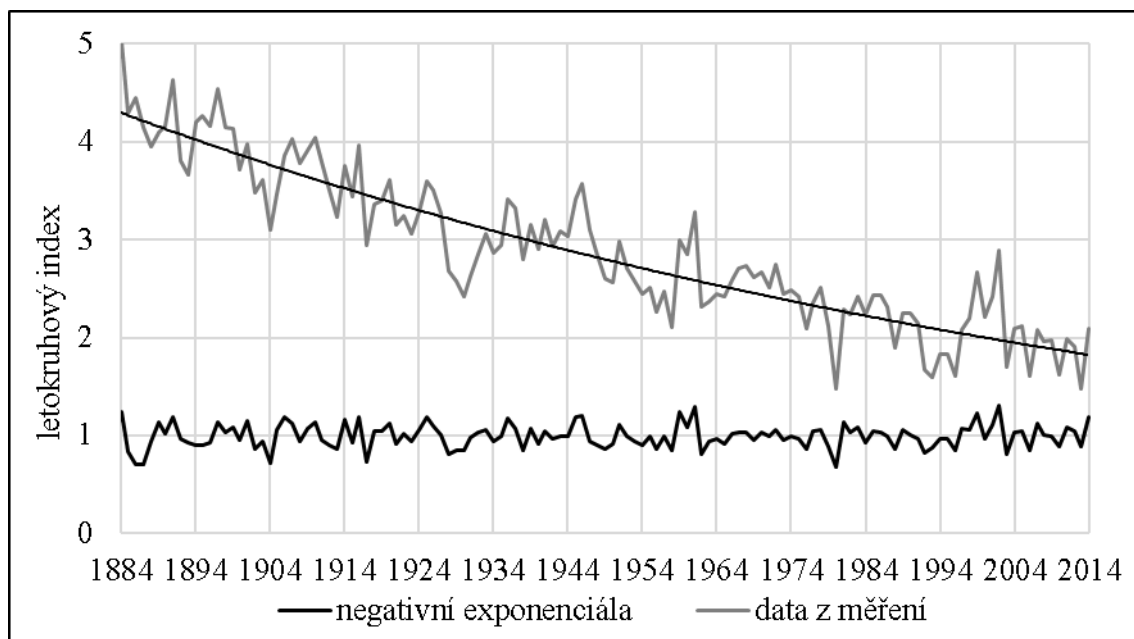
Obr. 10: Výstup ve formátu txt z programu COFECHA (Grissino-Mayer, 2001)

5.3 Odstranění věkového trendu

Z důvodu ovlivnění letokruhových křivek tzv. růstovým trendem, který zeslabuje hledaný společný signál, byla provedena jejich detrendace (Cook a Kairiukstis 1990). Jedná se vlastně o matematické modelování A Cookova modelu a jeho odstranění z časové řady (Drápela a Zach 1995). Proto byly pro odstranění věkového trendu všechny křivky vyexportovány do programu ARSTAN (Grissino–Mayer a kol. 1992). Detrendace letokruhových křivek byla provedena pomocí negativní exponenciály, 50-ti letou a 100-letou spline funkcí a metodou RCS. Vzhledem k tomu, že mezi výslednými indexovými chronologiemi byly velmi malé rozdíly, byla zvolena letokruhová chronologie detrendovaná pomocí negativní exponenciály, která nejvíce odpovídala trendu původních letokruhových křivek (Obr. 11). Z takto detrendovaných letokruhových křivek byla vytvořena regionální indexová residuální letokruhová chronologie bez autokorelace a zároveň byla sestavena regionální standardní letokruhová chronologie. Spolehlivost vytvořené chronologie byla hodnocena použitím hodnoty vyjádřeného populačního signálu (EPS, „expressed population signal“) a průměrné mezisériové korelace letokruhových křivek (R_{bar}). Pro výpočet obou parametrů byl použit interval 30 let a překryv 15 let.



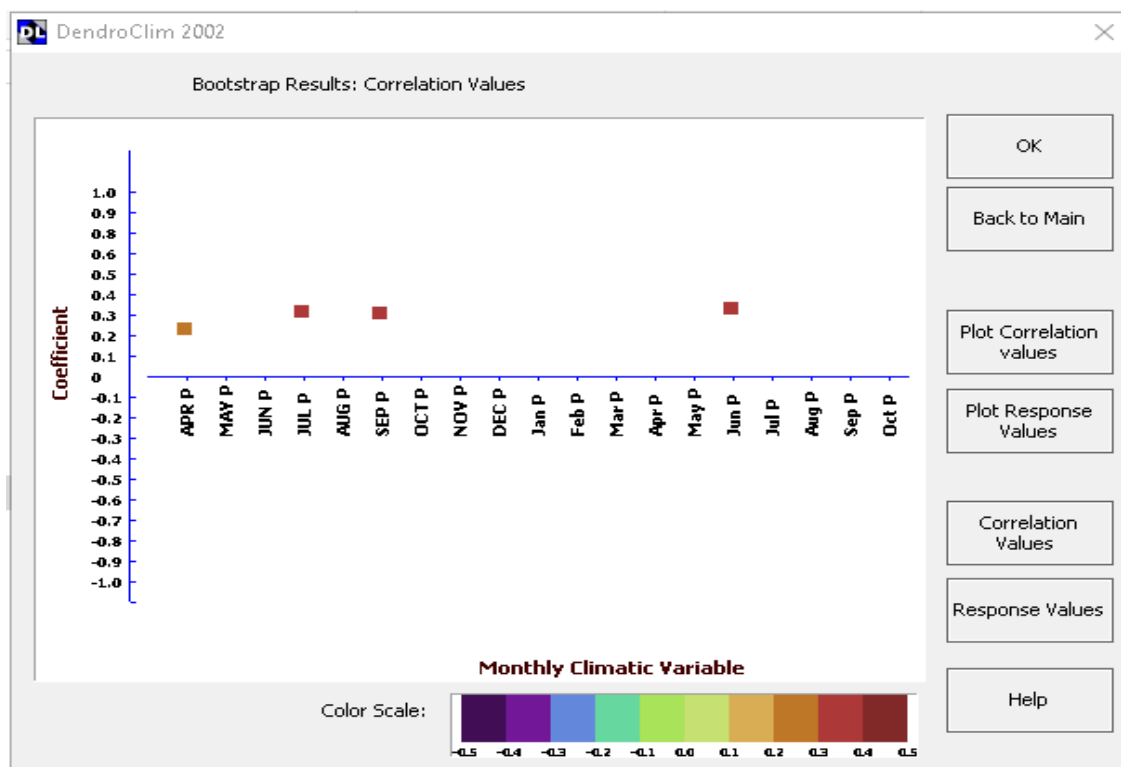
Obr. 11: Porovnání detrendované standardní letokruhové chronologie



Obr. 12: Porovnání nedetrendovaných dat z měření, které jsou proloženy exponenciální křivkou, zobrazující snižování přírůstu a detrendovaných dat pomocí negativní exponenciály

5.4 Modelování vlivu klimatu na šířku letokruhu

Regionální indexová residuální letokruhová chronologie a klimatická data byla převedena do formátu *txt*. Klimatická data pro danou oblast byla pro studii poskytnuta Ústavem agrosystémů a bioklimatologie na Agronomické fakultě Mendelovy univerzity v Brně. Výpočet korelací mezi radiálním přírůstem a klimatickými faktory byl proveden v programu DendroClim2002 (Biondi a Waikul, 2014). Pro studovanou plochu byla použita databáze klimatických dat obsahující měsíční průměrnou, minimální a maximální teplotu (T_{avg} , T_{min} , T_{max}), průměrné měsíční srážky ($prec$), efektivní globální radiaci (EGR), relativní dostupnost vody v půdě v hloubce 0–130 cm (AWR) a 0–40 cm ($AWR1$). Všechna klimatická data byla dostupná od roku 1961 do 2015. Korelační koeficienty byly počítány od května předchozího roku do září aktuálního roku, celkem tedy pro 17 měsíců, což je období, které by mělo mít na vybraných stanovištích největší vliv na radiální přírůst. Dále byly vypočítány korelace období 1. poloviny vegetačního období od března do května, 2. poloviny vegetačního období od června do srpna, vegetační sezony od dubna do září a korelace vlivu podzimního období v září a říjnu.



Obr. 13: Výsledek korelační analýzy v programu DendroClim 2002 (Biondi a Waikul, 2014)

5.6 Analýza významných negativních let

Hedání souvislostí mezi klimatem a radiálním přírůstem je založeno na statistickém srovnání letokruhových chronologií s dlouhodobou řadou měsíčních meteorologických dat. Tento přístup umožňuje vysvětlení průměrného vztahu mezi klimatem a růstem, ale jen zřídka vyhodnotit nápadné informace, které mohou být obsaženy v letokruzích (Schweingruber a kol. 1990). Pro vyhodnocení těchto informací obsažených v letokruzích, byla použita analýza významných negativních let. Negativní významný rok je definován jako extrémně úzký letokruh, vykazující redukcí růstu překračující 40 % v porovnání s průměrnou šířkou letokruhů za čtyři předcházející roky a projevil se nejméně u 20 % stromů (Schweingruber a kol. 1990).

6 VÝSLEDKY

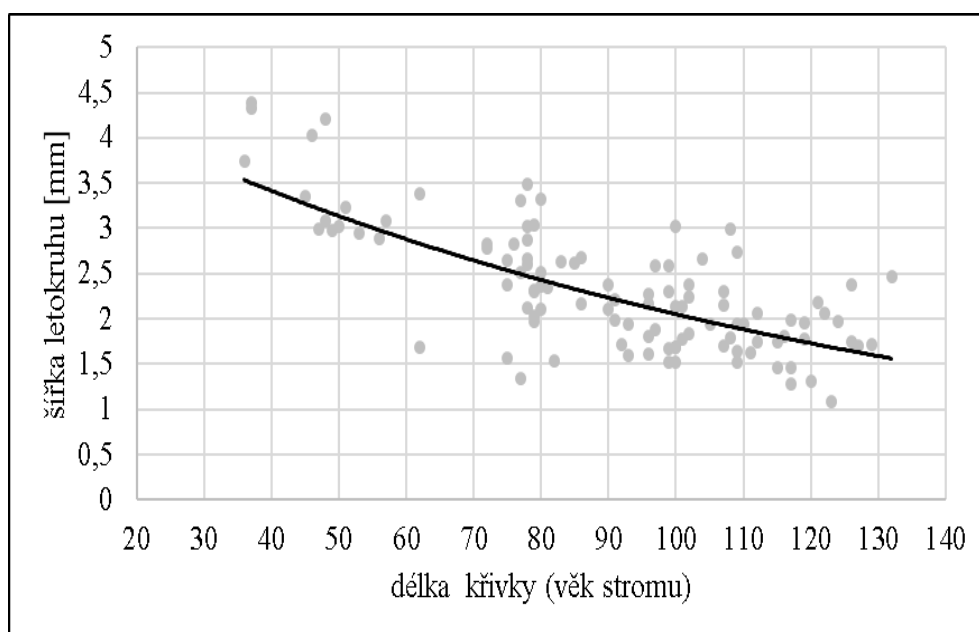
6.1 Statistiky chronologií

Chronologie devíti zpracovávaných lokalit se mění v délce a to od 53 do 132 letokruhů, končí v roce 2014, ve kterém probíhal odběr vzorků, a pokrývají velké

výškové rozpětí v Beskydech. Vysoká spolehlivost křivek byla potvrzena hodnotou R_{bar} ($>0,55$; vypočteno v Cofecha). Průměrná délka křivky za všechny stanoviště kromě nejmladšího porostu N5 neklesla pod hranici 71 letokruhů (Tab. 2). Průměrná šířka letokruhu v závislosti na věku je prezentována v grafu, z něj je patrné, že s věkem stromu klesá jeho přírůst (Obr. 14).

Tab. 2: Charakteristiky chronologií (PDK – průměrná délka křivek, PSL – průměrná šířka letokruhu, SO – směrodatná odchylka, AK – autokorelace prvního řádu, R_{bar} – mezisériová korelace)

Porost	Revír	PDK	PSL	SO	AK	R_{bar}	Začátek	Délka	Konec
HL1	Horní Lomná	105	2,16	1,178	0,861	0,642	1903	112	2014
HL2	Horní Lomná	122	1,83	1,005	0,886	0,604	1883	132	2014
M1	Mosty	107	1,66	0,591	0,729	0,594	1998	117	2014
M2	Mosty	95	1,89	0,781	0,763	0,666	1913	102	2014
N1	Nýdek	78	2,31	1,591	0,91	0,552	1932	83	2014
N5	Nýdek	45	3,51	1,554	0,708	0,676	1962	53	2014
P1	Písek	98	2,18	1,02	0,782	0,63	1889	126	2014
P2	Písek	71	2,83	1,181	0,807	0,632	1929	86	2014
P3	Písek	77	2,71	1,193	0,844	0,583	1935	80	2014
průměr	Beskydy	90	2,19	1,015	0,812	0,562	1883	132	2014



Obr. 14: Závislost průměrné šířky letokruhu na věk stromu, ečkami jsou označeny jednotlivé stromy ze kterých byly odebírány vývrty

Kritické hodnoty studentova t-rozdělení jsou pro 60 až 120 let 3,46–3,373 (Chajdiak a kol. 1997). Při vzájemném porovnání průměrných chronologií jednotlivých lokalit v křížové tabulce, jsou hodnoty T-testů výrazně vyšší než 3,373, což potvrzuje vysokou míru synchronizace mezi průměrnými letokruhovými křivkami za dané porosty (Tab. 3).

Tab. 3: Synchronizace průměrných křivek porostů

	HL1	HL2	M1	M2	N1	N5	P1	P2	P3
HL1		79,9	67,0	75,5	71,1	69,8	78,6	69,8	73,1
HL2	13,5/13,3		71,8	72,5	65,7	59,4	72,2	66,9	73,8
M1	9,87/8,63	9,9/8,89		72,1	63,9	66,0	79,1	75,6	73,1
M2	10,7/9,11	8/6,8	89,7/8,16		61,4	71,7	77,9	65,1	68,1
N1	7,15/7,35	5,36/5,6	7,14/6,7	7,03/6,86		76,4	65,1	68,1	70,0
N5	6,51/4,79	4,54/3,69	6,25/3,46	9,05/4,67	5,72/4,63		66,0	67,0	73,6
P1	9,4/7,77	9,74/8,36	12,5/10,6	11,6/10,7	7,01/7,11	5,75/3,81		68,6	73,1
P2	11,7/9,23	9,47/8,1	9,69/8,23	9,47/7,65	6,6/6,53	6,55/4,65	10,4/9,5		81,3
P3	10,1/9,05	9,57/9,09	9,83/9,31	8,6/7,29	6,97/6,77	5,63/3,37	12,3/11	13,6/11,5	

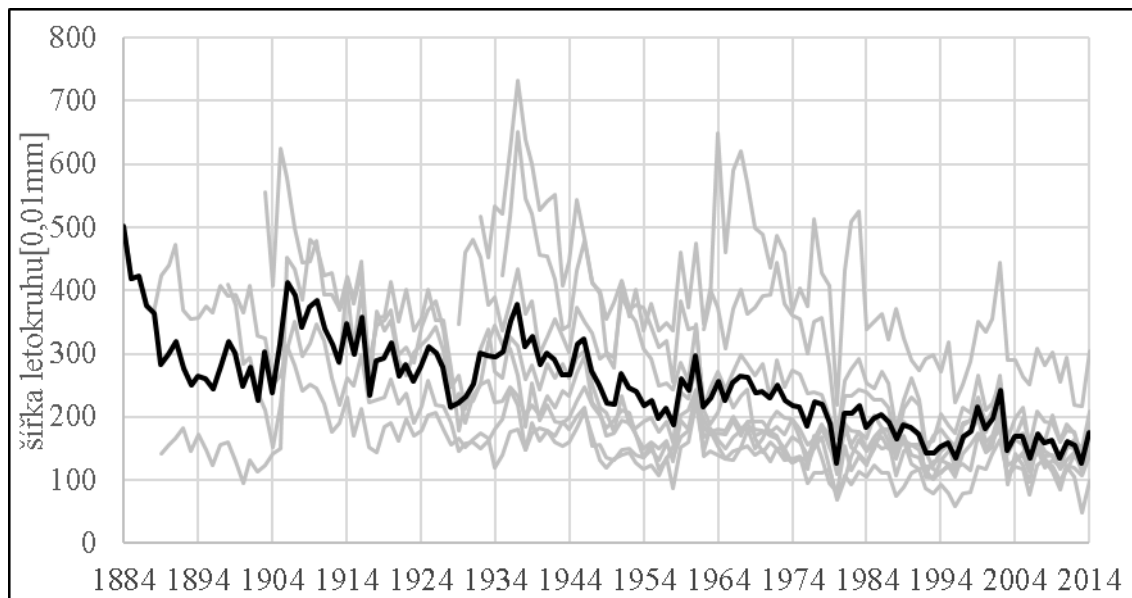
Správnost synchronizace byla také posouzena vizuálně (Obr. 15), posouzením shody v hlavních extrémních hodnotách. Vzhledem k velké vzájemné podobnosti průměrných letokruhových křivek mohla být vytvořena jedna společná regionální letokruhová chronologie za celou oblast Beskyd. Délka sestavené regionální letokruhové chronologie byla od roku 1883 do 2014.

Regionální letokruhová chronologie (Obr. 15) má po celou dobu klesající charakter. V 1. polovině 20. století jsou některé výkyvy průměru způsobeny větším podílem juvenilního dřeva, které vstupuje do průměru například rok 1905, nebo začátek 30. let. V druhé polovině 20. století dochází k prvnímu zvýšení radiálního růstu v roce 1959 a trvá do roku 1961, kdy křivka začne klesat. Pokles s propadem v roce 1976 a s výrazným ovlivněním růstu v roce 1980, trvá až do roku 1996. Po tomto roce dochází k nárůstu šířky let a v roce 2003 přírůst opět klesne, což trvá až do současnosti.

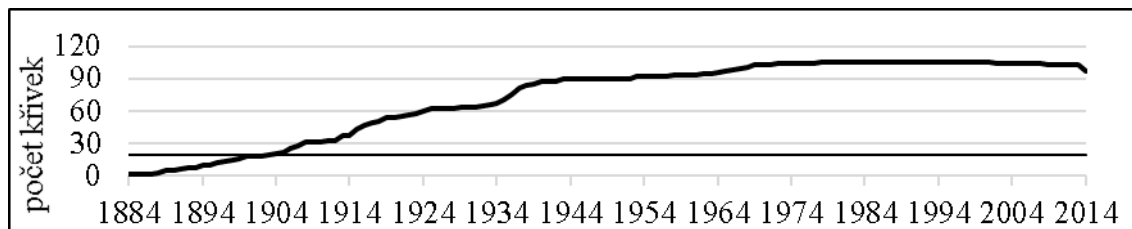
Celkový počet křivek, tvořící regionální letokruhovou chronologii, bylo 106 a proto je dostatečně dlouhá a je v celé délce studovaného období dostatečně proložena, viz kapitola 3.2.3. Směrem do minulosti od začátku studovaného období (1961–2014) neklesl počet vzorků vstupujících do chronologie pod 92. Od roku 1904 byl počet vzorků vstupujících do chronologie více než 20 (Obr. 16), pro výpočet významných

negativních let byla právě tato hodnota rozhodující a výpočty probíhaly od tohoto roku.

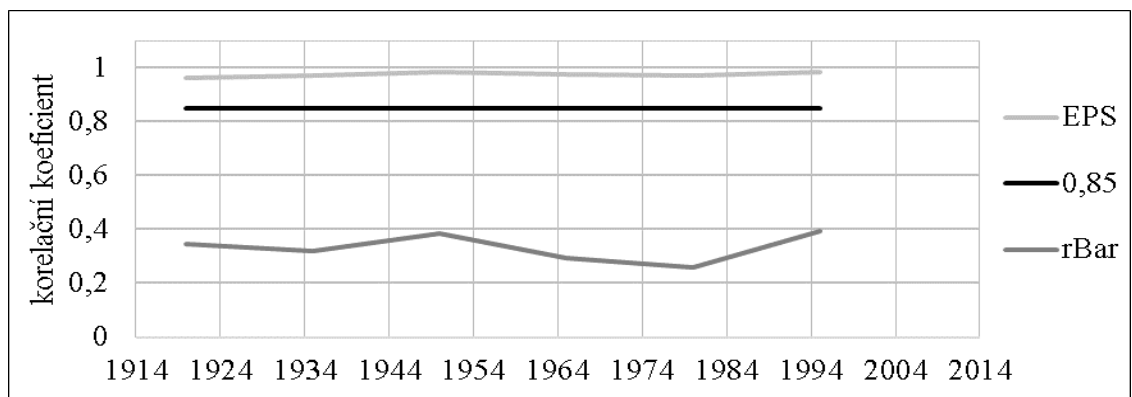
Hodnoty R_{bar} ($>0,25$; vypočteno v ARSTAN) a EPS ($>0,96$), která zůstala nad hranicí 0,85 (Wigley et.al, 1984), ukazují na dostatečnou sílu signálu po celou dobu analýzy (Obr. 17).



Obr. 15: Regionální letokruhová chronologie (černá křivka), a průměrné chronologie jednotlivých porostů (šedé křivky)



Obr. 16: Graf znázorňující počet křivek vstupujících do regionální letokruhové chronologie (vodorovná černá čára označuje hranici dvaceti letokruhů)



Obr. 17: Hodnoty R_{bar} a EPS (ARSTAN)

6.2 Vliv klimatu na radiální přírůst

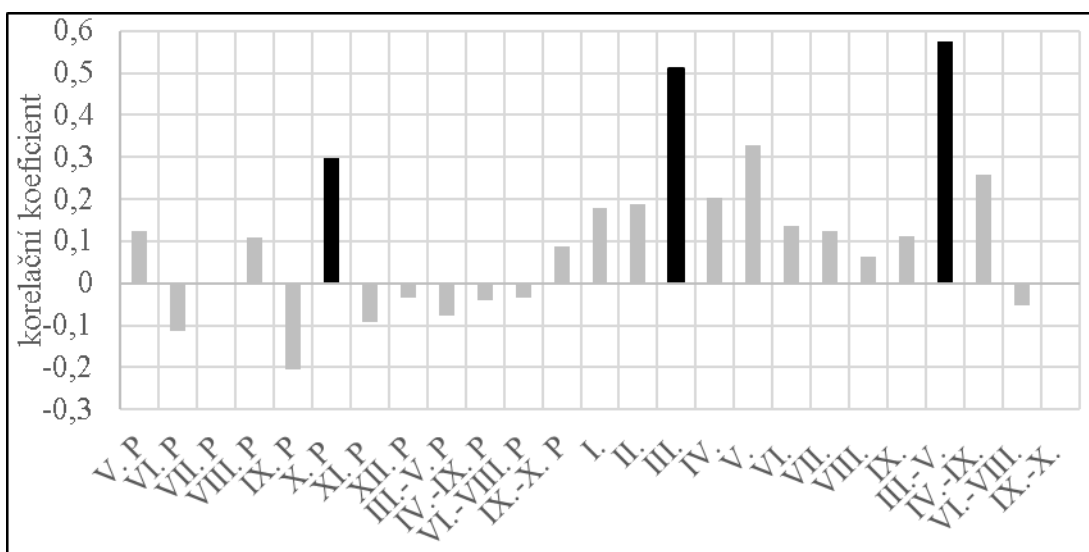
Na základě meteorologických dat z období 1961–2014 byly s residuální indexovou chronologií v programu DendroClim2002 (Biondi a Waikul 2014) korelovány měsíční průměrná, minimální a maximální teplota, efektivní globální radiace (EGR), suma měsíčních srážek a relativní dostupnost vody v hloubce půdního profilu 0–130cm (AWR) a 0–40cm (AWR1). Korelace radiálního přírůstu s průměrnými měsíčními teplotami vykazovaly pouze kladné hodnoty od ledna až po konec vegetačního období. U tloušťkového přírůstu se kladně projevíly teploty v říjnu roku předchozího a březnu aktuálního roku, které byly statisticky významné. Nejvyšší hodnoty korelace (0,57) byly dosaženy pro období března až květen aktuálního roku (Obr. 18).

Korelace s maximálními a minimálními teplotami byly velmi podobné těm s průměrnými teplotami. Maximální měsíční teplota kladně ovlivňovala přírůst v březnu a květnu aktuálního roku. Období března až květen vykazovalo hodnotu korelace 0,55 a potvrdilo jeho statistickou významnost (Obr. 19). Minimální teplota byla podobně jako maximální významná v březnu a v období března až květen aktuálního roku s hodnotou korelace 0,57 a také působila na růst teplotou v říjnu předcházejícího roku (Obr. 20). Obecně lze říci, že vyšších hodnot korelačních koeficientů bylo dosaženo během aktuálního roku s minimálními teplotami než s maximálními.

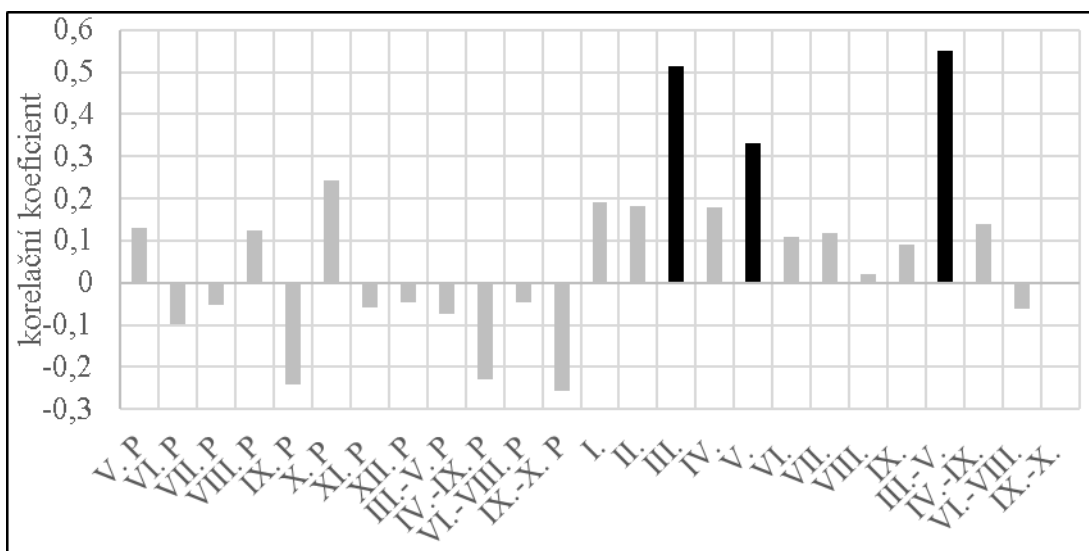
Výsledky korelace efektivní globální radiace s radiálním přírůstem jsou velmi podobné korelacím s teplotou. Efektivní globální radiace kladně korelovala v měsících březnu a květnu aktuálního roku. Korelace s jarní částí vegetačního období (března až květen) dosahovaly hodnoty téměř 0,5 (Obr. 21).

Korelace se srážkami byly obecně nižší než s teplotami a EGR, přičemž nejvyšší hodnoty se pohybovaly kolem 0,33. Srážky korelovaly statisticky významně především v předcházejícím roce v měsících dubnu, červenci, září a za celou předcházející vegetační sezonu. Statisticky významné pozitivní korelace byly navíc zjištěny v červnu aktuálního roku (Obr. 22).

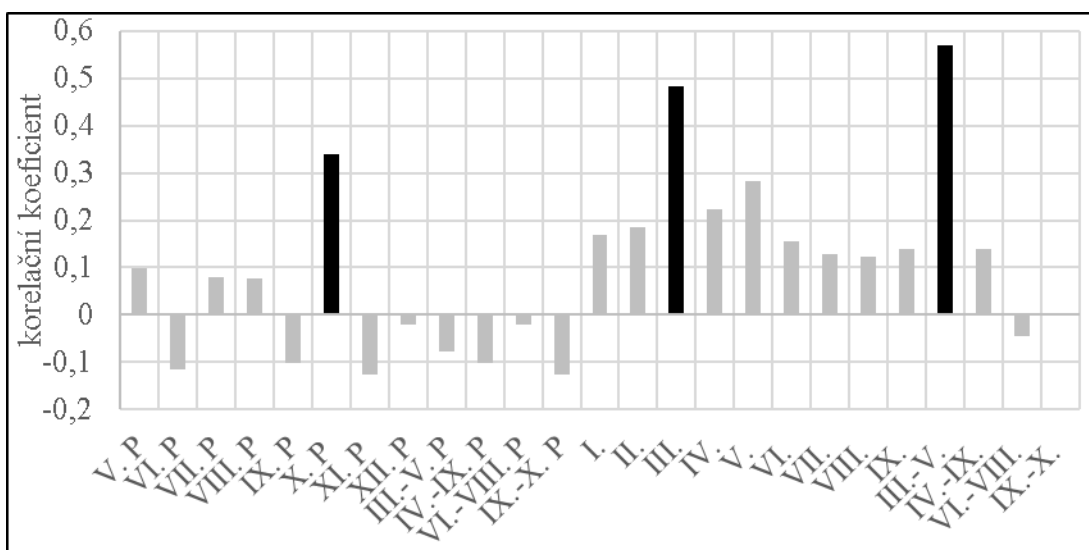
Hodnota AWR pozitivně ovlivnila přírůst v období září až říjen předcházejícího roku, kde se jako významné ukázaly oba tyto měsíce a tedy i jejich společné období. Negativně se ukázal měsíc duben aktuálního roku (Obr. 23). AWR1 se projevila příznivě v září předchozího roku a negativně ovlivnila růst dubnu aktuálního roku a v období od března do května (Obr. 24).



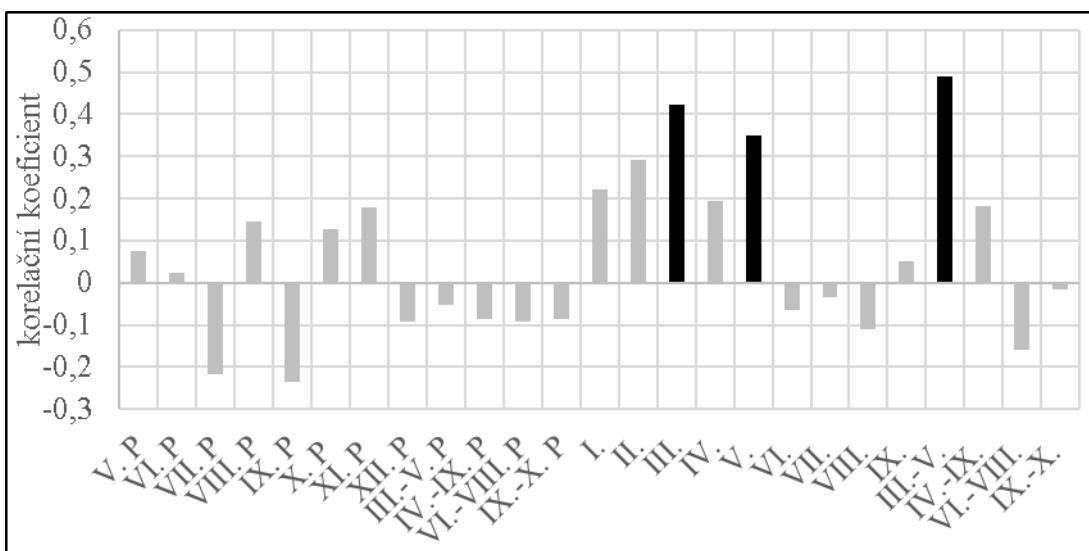
Obr. 18: Hodnoty korelačních koeficientů residuální indexové letokruhové chronologie s průměrnou měsíční teplotou od května roku předchozího (V. P) do září aktuálního roku (IX.). Zobrazeny jsou i období od března do května (III. –V.), od června do srpna (VI. –VIII.), celé vegetační období (IV. –IX.) a konec vegetačního období (IX. –X.), pro předchozí (P) i aktuální rok. Koeficienty jsou vypočítány pro období 1962–2013 a statisticky významné hodnoty ($\alpha=0,05$) jsou označeny černě



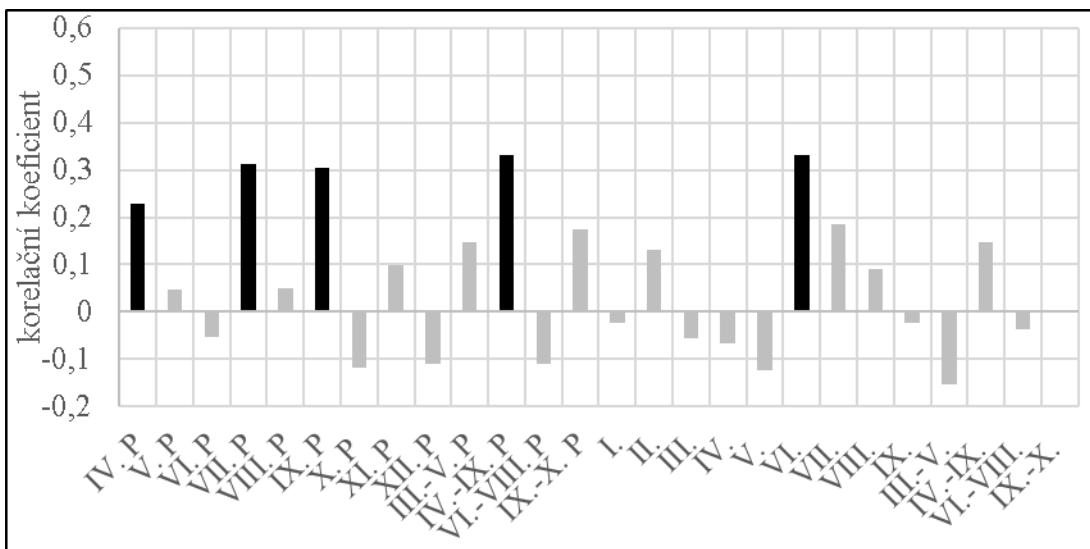
Obr. 19: Hodnoty korelačních koeficientů residuální indexové letokruhové chronologie s maximální měsíční teplotou od května roku předchozího (V. P) do září aktuálního roku (IX.). Zobrazeny jsou i období od března do května (III. –V.), od června do srpna (VI. –VIII.), celé vegetační období (IV. –IX.) a konec vegetačního období (IX. –X.), pro předchozí (P) i aktuální rok. Koeficienty jsou vypočítány pro období 1962–2013 a statisticky významné hodnoty ($\alpha=0,05$) jsou označeny černě



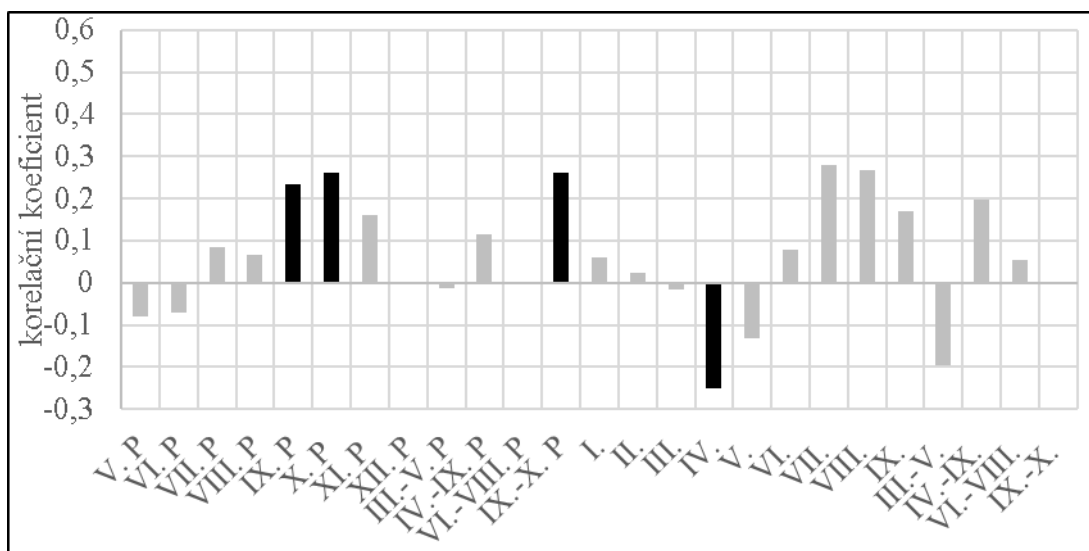
Obr. 20: Hodnoty korelačních koeficientů residuální indexové letokruhové chronologie s minimální měsíční teplotou od května roku předchozího (V. P) do září aktuálního roku (IX.). Zobrazeny jsou i období od března do května (III. –V.), od června do srpna (VI. –VIII.), celé vegetační období (IV. –IX.) a konec vegetačního období (IX. –X.), pro předchozí (P) i aktuální rok. Koeficienty jsou vypočítány pro období 1962–2013 a statisticky významné hodnoty ($\alpha=0,05$) jsou označeny černě



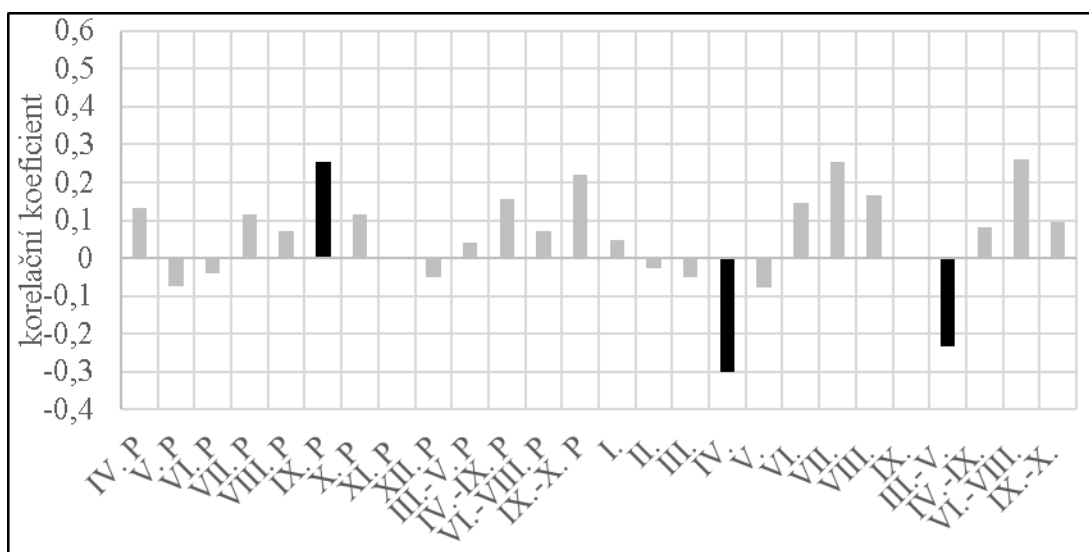
Obr. 21: Hodnoty korelačních koeficientů residuální indexové letokruhové chronologie s hodnotou EGR od května roku předchozího (V. P) do září aktuálního roku (IX.). Zobrazeny jsou i období od března do května (III.–V.), od června do srpna (VI.–VIII.), celé vegetační období (IV.–IX.) a konec vegetačního období (IX.–X.), pro předchozí (P) i aktuální rok. Koeficienty jsou vypočítány pro období 1962–2013 a statisticky významné hodnoty ($\alpha=0,05$) jsou označeny černě



Obr. 22: Hodnoty korelačních koeficientů residuální indexové letokruhové chronologie s průměrnými měsíčními srážkami od dubna roku předchozího (IV. P) do září aktuálního roku (IX.). Zobrazeny jsou i období od března do května (III.–V.), od června do srpna (VI.–VIII.), celé vegetační období (IV.–IX.) a konec vegetačního období (IX.–X.), pro předchozí (P) i aktuální rok. Koeficienty jsou vypočítány pro období 1962–2013 a statisticky významné hodnoty ($\alpha=0,05$) jsou označeny černě



Obr. 23: Hodnoty korelačních koeficientů residuální indexové letokruhové chronologie s hodnotou AWR od května roku předchozího (V. P) do září aktuálního roku (IX.). Zobrazeny jsou i období od března do května (III.–V.), od června do srpna (VI.–VIII.), celé vegetační období (IV.–IX.) a konec vegetačního období (IX.–X.), pro předchozí (P) i aktuální rok. Koeficienty jsou vypočítány pro období 1962–2013 a statisticky významné hodnoty ($\alpha=0,05$) jsou označeny černě



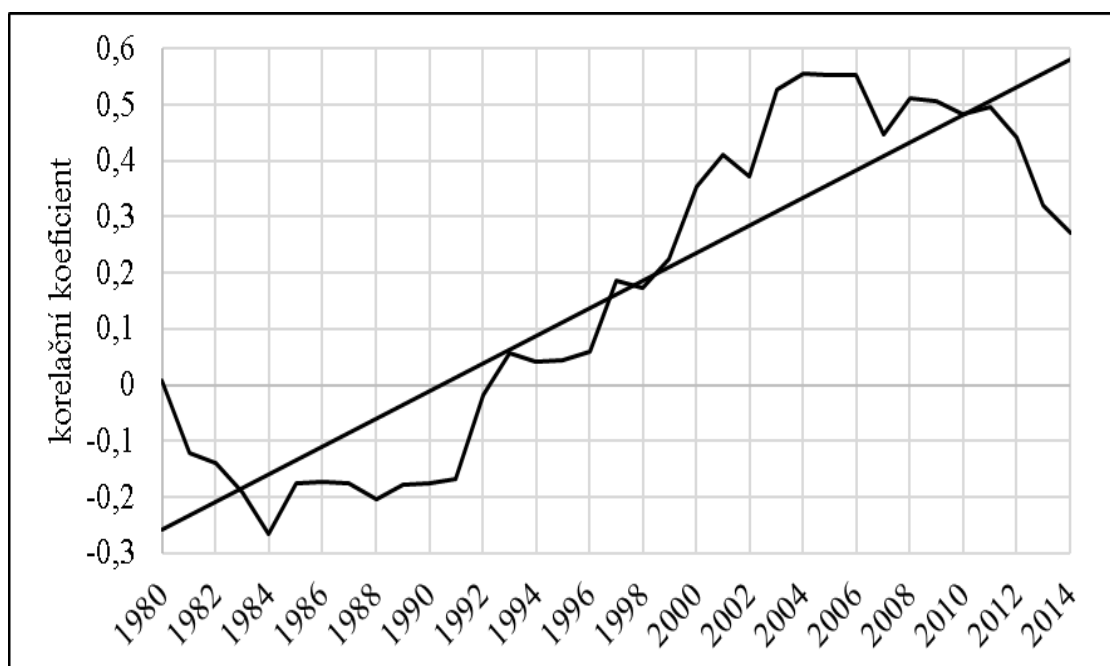
Obr. 24: Hodnoty korelačních koeficientů residuální indexové letokruhové chronologie s hodnotou AWR1 od května roku předchozího (V. P) do září aktuálního roku (IX.). Zobrazeny jsou i období od března do května (III. –V.), od června do srpna (VI. –VIII.), celé vegetační období (IV. –IX.) a konec vegetačního období (IX. –X.), pro předchozí (P) i aktuální rok. Koeficienty jsou vypočítány pro období 1962–2013 a statisticky významné hodnoty ($\alpha=0,05$) jsou označeny černě

6.3 Klouzavá korelace

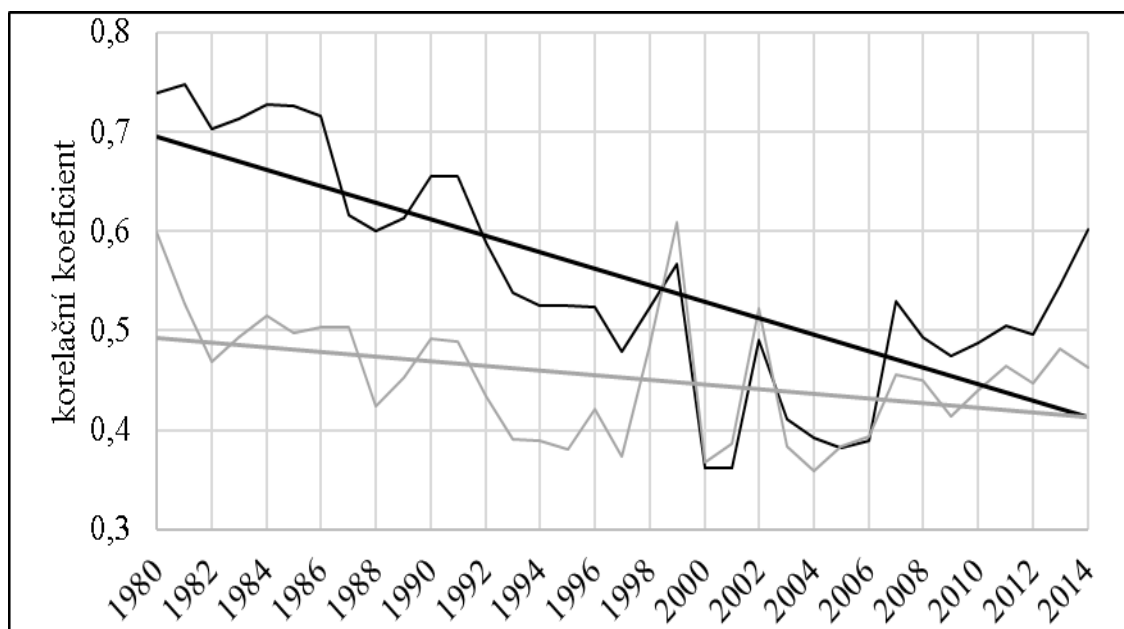
Pro období 1980–2014 byla provedena klouzavá korelace pomocí Pearsonova korelačního koeficientu. Tento korelační koeficient porovnává hodnoty dvou proměnných a vytváří křivku, která nejlépe vystihuje jejich vzájemný vztah. Pro lepší znázornění vlivu meteorologických dat byla použita exponenciální spojnice trendu. Korelace byly počítány pro období, které se v kapitole 6.2 ukázaly jako nejvýznamnější pro radiální růst smrku.

Vliv srážek v měsíci červnu se výrazně zvyšuje. Korelace, se od roku 1980 mění ze záporných hodnot až do významných kladných hodnot (Obr. 25). Pro období březen až květen byly spočítány klouzavé korelace s průměrnou teplotou a EGR. Zatímco vliv EGR pouze pozvolna klesá, vliv průměrné teploty se výrazně snižuje (Obr. 26). Působení relativní dostupnosti vody v půdě v měsíci dubnu pozvolna klesá (Obr. 27), zatímco v průběhu vegetačního období má vzrůstající vliv na přírůstek (Obr. 28). Vliv

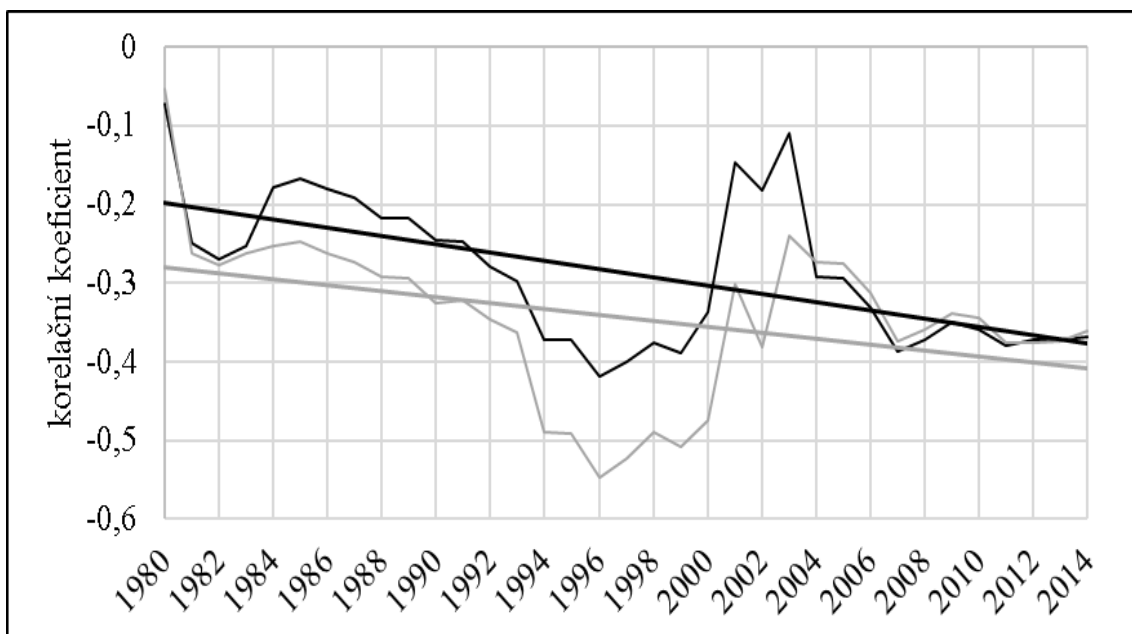
srážek se v celém vegetačním období zvyšuje, naopak působení teploty se snižuje (Obr. 28).



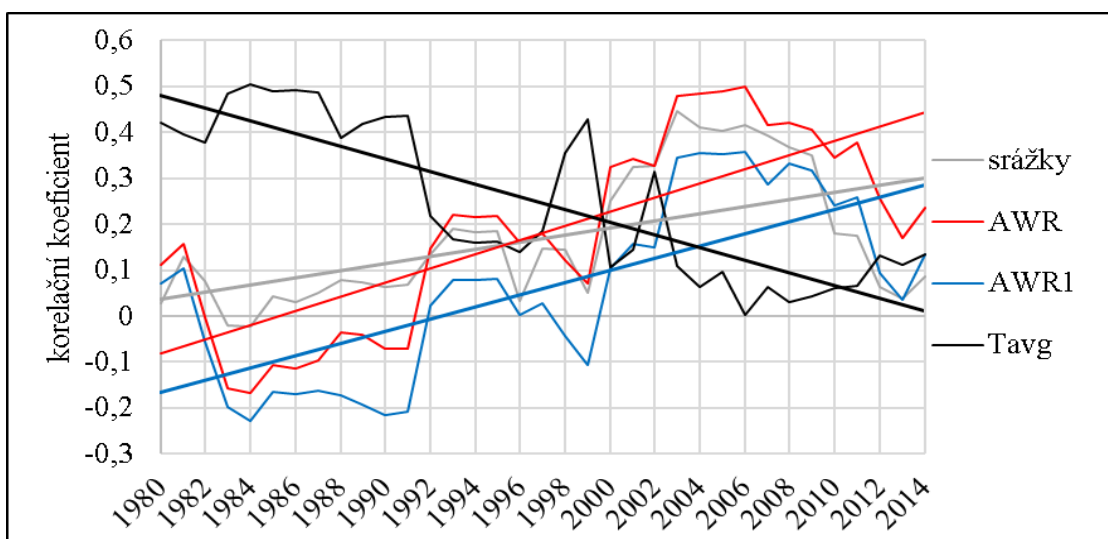
Obr. 25: Vliv srážek na přírůst v měsíci červnu



Obr. 26: Vliv průměrné teploty (černá křivka) a EGR (šedá křivka), za období duben až květen



Obr. 27: Vliv AWR(černá křivka) a AWR1(šedá křivka) v měsíci dubnu

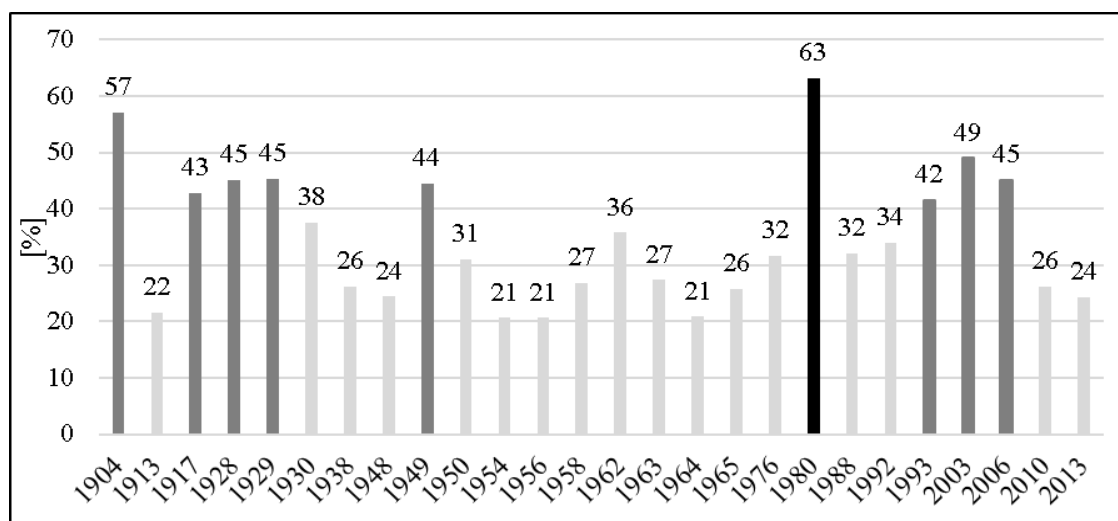


Obr. 28: Vliv srážek, AWR, AWR1 a průměrné teploty na přírůst ve vegetačním období (duben–září)

6.4 Analýza významných negativních let

Analýza negativních významných let (Obr. 29), byla vypočítána pro období, kdy je regionální letokruhová chronologie tvořena alespoň 20 křivkami (1904–2014). Analýza ukázala celkem 26 let, kdy negativně reagovalo více než 20% stromů. Nejvíce stromů reagovalo snížením přírůstu v roce 1980 a to 63%, naopak v letech 1959–1961 reagoval negativně v každém roce je jeden strom a v roce 1998 žádný. Více jak 50%

stromů reagovalo v roce 1904 a více jak 40% stromů v letech 1917, 1928–1929, 1949, 1993, 2003 a 2006.



Obr. 29: Negativní významné roky a procento stromů, které reagovaly negativně. Světle šedý sloupec 20-40% stromů reagujících negativně, tmavě šedý 40-60%, černý více než 60%

7 DISKUSE

7.1 Statistiky chronologií

Regionální letokruhová chronologie je sestavena ze 106 jednotlivých letokruhových křivek pro období 1883–2014 a reprezentuje téměř celou oblast východních Beskyd s výškovým rozpětím 549–950 m n.m..

Na revíru Horní Lomná porost HL1, který je situován jihozápadním směrem, vykazuje v průměru vyšší šířky letokruhů než porost HL2, mající severozápadní expozici. Tyto porosty jsou v přibližně stejné nadmořské výšce a HL1 je o dvacet let mladší než HL2. Rozdíl je nejspíše ovlivňován nižším věkem HL1 a tedy větším zastoupením juvenilního dřeva.

Na revíru Mosty je porost M1 jen o patnáct let starší než M2. M1 je na svahu s jižní expozicí a sklonem 10° a oproti ostatním porostům je třetím nejnižše položeným, přesto vykazuje nižší přírůsty než M2, který má východní expozici. M1 v porovnání s porostem P1, který má západní expozici má hodnoty přírůstu přibližně o 0,5 cm vyšší,

porost P1 je v tomto případě starší o 9 let. Obecně se dá říci, že porosty na revíru Mosty mají nižší přírůsty, než porosty na ostatních revírech.

Porost N5 na revíru Nýdek vykazuje mnohem větší přírůsty než ostatní lokality. Je to způsobeno mládím porostu a to i přesto, že se nachází oproti ostatním lokalitám na horní hranici 5. lvs.

Porost N1 oproti lokalitám P2 a P3 na revíru Písek vykazuje nižší přírůsty. Nachází se v přibližně stejné nadmořské výšce jako P2, ale jeho expozice je severozápadní na rozdíl od P2, který je orientován na jihozápad. Porost P1 jako druhý nejstarší (126 let) má vyšší přírůsty, než například srovnatelně starý porost M1 (117 let), také má podobnou hodnotu přírůstu jako porost N1, který je o 43 let mladší (83 let). Možný je vliv toho, že porost N1 leží na řadě obohacené humusem (javorová), tato řada je pro smrk sice vhodná obsahem živin a humusu, ale vzhledem k tomu, že je kamenitá, neudrží se ve svrchních vrstvách půdy voda. Na všech stanovištích je znatelný trend poklesu přírůstu se zvyšováním věku.

7.2 Vliv klimatu na radiální přírůst

Z analýzy klimatických dat a residuální indexové chronologie v programu DendroClim 2002, vyplývají jako statisticky významné zejména průměrná teplota v 1. polovině vegetačního období tj. od března do května aktuálního roku. Velmi podobných výsledků bylo dosaženo také v případě maximálních, minimálních teplot a EGR. Průměrná i minimální teplota kladně ovlivnila růst také v září předchozího roku. Srážky ovlivňují přírůst v celém vegetačním období od dubna do září v předchozím roce a v červnu v roce aktuálním. Hodnoty AWR a AWR1 mají pozitivní vliv na konci vegetačního období předchozího roku a negativní vliv se projevil v dubnu roku aktuálního. AWR1 negativně působí v období března až květen aktuálního roku.

Vliv červencových srážek a obecně za celé vegetační období roku předcházejícího a červnových srážek aktuálního roku je ve vegetačním období důležité, protože výrazná část tvorby letokruhu připadá právě na tyto měsíce. Smrk má povrchový kořenový systém, a pokud je teplota v tomto období nadprůměrná, zvýší se transpirace a svrchní horizonty půdy rychle vysychají a může dojít k nedostatečnému zásobení vodou. Stres se obvykle může projevit až příští rok. Pozitivní vliv srážek v červenci předchozího roku byl zaznamenán také v nižších nadmořských výškách Krušných hor (600 m)

(Kroupová, 2002), ve vyšších polohách Orlických hor (800–910 m n.m.) (Rybníček a kol., 2009), nebo na Českomoravské vrchovině (680–780 m n.m.) (Rybníček a kol., 2012). Lze usuzovat, že v celém 5. lvs mají srážky v letním období pozitivní vliv na přírůst smrku.

Srážky na konci vegetačního období v září předcházejícího roku mají vliv na zásobu vody v půdě pro následující rok tvorby letokruhu. Srážky v celém vegetačním období předcházejícího roku se projevily jako významný faktor přírůstu smrku. Pozitivní vliv srážek v září roku předcházejícího byly zjištěny v Beskydech (Čermák a kol. 2010). Pozitivní vliv úhrnu srážek za celé vegetační období předchozího roku byl zjištěn na polesí Bukowiec (Feliksik, 1993). Další obdobné výsledky vlivu srážek na přírůst smrku zteplého byly zaznamenány v západních Polských Beskydech (Feliksik, 2004) a v Bavorském lese (Dittmar a Elling, 1999).

Růst smrku pozitivně koreluje s průměrnými a minimálními teplotami v říjnu roku předcházejícího tvorbě letokruhu. Je to umožněno tím, že s vyšší teplotou je většinou spojena i větší intenzita světla a tím se zvýší množství uložených produktů fotosyntézy pro příští vegetační období. Navíc lze předpokládat, že tento vliv teplot přispěje k transferu a uložení asimilátů (Rybníček a kol. 2012). Obdobná korelace byla pozorována na Drahanské vrchovině ve výšce 500–600 m n.m. (Rybníček a kol. 2012), v nadmořských výškách 680–780 m na Českomoravské vrchovině (Rybníček a kol. 2012) a ve vyšších nadmořských výškách východních Karpat (Sidor a kol. 2015) nebo Krkonoš (Tremel a kol. 2015).

Kladně koreloval také přírůst s průměrnými, minimálními i maximálními teplotami v měsíci březnu aktuálního roku. Maximální teploty měly vliv také v květnu aktuálního roku. Teploty celkově vykazovaly vysoké hodnoty korelace v 1. polovině vegetačního období od března do května. Zvýšené teploty v těchto měsících podporují zvýšení kambiální aktivity a dřívější rozmrznutí půdy (viz. kapitola 3.4.1). Výsledky byly pozorovány také v oblasti Bavorského lesa (Wilson, 2001) nebo v Krkonoších (Sander a kol. 1995).

Efektivní globální radiace pozitivně působí na tvorbu letokruhu v 1. polovině vegetačního období od března do května. Sociální postavení stromu má obrovský vliv na využití radiace pro zvýšení produkce biomasy. Fotosynteticky aktivní sezona začíná dříve na jaře než sezona přírůstu (Bergh a kol. 2005). Z tohoto pohledu má právě efektivní globální radiace největší vliv na přírůst v brzkém začátku vegetačního období.

Relativní dostupnost vody v půdě v hloubce 0–130 cm (AWR) kladně koreluje s přírůstem v září a říjnu roku předcházejícího vytvoření letokruhu, toto období bylo také potvrzeno jako významné. Negativní vliv má ale v dubnu aktuálního roku. Vzhledem k mělkému kořenového systému smrku, je pro jeho růst důležitá také relativní dostupnost vody v půdě v hloubce 0–40cm (AWR1), která kladně korelovala s přírůstem v září předcházejícího roku. Na druhou stranu negativní vliv se projevil na jaře aktuálního roku. Je to ovlivněno nadprůměrnými teplotami, zářením a malým množstvím srážek na začátku 1. poloviny vegetačního období.

Na základě Pearsonovy korelace bylo zjištěno, že od roku 1980 mají srážky výrazně zvyšující se vliv na přírůst smrku ztepilého (Obr. 25). Vzhledem k tomu, že se snižuje vliv teplot (Obr. 25), růst jimi již není tak značně omezen ve vyšších polohách a naopak v nižších polohách je závislý hlavně na množství atmosférických srážek.

7.3 Analýza významných negativních let

První snižování přírůstu proběhlo v roce 1904, kdy nastalo jedno z nejvýraznějších such (Tremml, 2011) a v tomto roce reagovalo negativně 57 % stromů. Od začátku 20. století až do poloviny 20. let, v období do 1.světové války a v jejím průběhu mohla mít také vliv na přírůst velká průmyslová výroba, např. v roce 1917 negativně reagovalo 43 % stromů. V letech 1928–1930 reagovalo negativně každý rok více než 38 % stromů. Toto období se projevilo mrazivými zimami. Podle teplotních měření z 11. února 1929, byly na meteorologické stanici v Jablunkově teploty dokonce až -42 °C (Vašků, 2015). Poté přišlo období zvyšování šířky letokruhů. Začátkem 30. let byly tyto hodnoty ovlivněny nejspíše nových letokruhových křivek vstupujících do regionální letokruhové chronologie a tedy vyšším zastoupením juvenilního dřeva. Období 1947–1953 bylo obecně velmi suché (Tremml, 2011) a projevilo se poklesem šířky letokruhů. Uprostřed tohoto období v roce 1949 reagovalo negativně 44 % stromů. Začátkem 60.let v roce 1962 reagovalo negativně 36% stromů a v dalších letech 1963–1965 více než 20 % stromů. Začátkem 70. let dochází ke znatelnému snižování přírůstu. V roce 1976 reaguje negativně 32 % a v roce 1980 dokonce 63 % stromů. Tyto změny přírůstu mohou být způsobeny kombinací klimatu a vlivem imisí v 70. a 80. letech 20.století (Kolář a kol. 2015) a v roce 1976 vlivem výrazného sucha (Brázdil a kol. 2009). Rok 1980 byl celkově ovlivněn znečištěním ovzduší (Kroupová, 2002). Negativní vliv imisí byl v této době doložen také z polských Beskyd (Feliksik, 1995).

V letech 1988, 1992 a 1993 se dále prohluboval trend snižování přírůst, způsobené zejména výraznými suchy (Brázdil a kol. 009). Po roce 1993 následuje období do roku 1999, v němž se radiální přírůst zvyšoval. V roce 2003 došlo vlivem extrémně suchého a teplého léta (Brázdil a kol. 009) ke snížení přírůstu a v tomto roce reagovalo negativně 49 % stromů. V roce 2006 panovalo celý rok extrémní počasí. Dlouhá zima přešla rovnou do léta, ve kterém se střídaly výkyvy počasí od such až po chladné počasí s vysokými srážkami. Roky 2010 a 2013 byly především ovlivněny prudkými změnami počasí, vyznačovaly se extrémním suchem a vysokými teplotami, poté přicházely bouřky, přívalové deště a často prudké ochlazení.

8 ZÁVĚR

Z devíti lokalit Moravskoslezských a Slezských Beskyd, na území Lesní správy Jablunkov, byly odebrány vzorky a vytvořeny průměrné letokruhové chronologie jednotlivých oblastí. Vysoká podobnost letokruhových křivek umožnila vytvoření regionální letokruhové chronologie pro celou zkoumanou oblast. Tato chronologie měla vysoké hodnoty EPS a Rbar a po okulárním srovnání se shodovala ve svých výrazných maximech i minimech se všemi průměrnými letokruhovými křivkami. V celé délce regionální letokruhové chronologie je patrné postupné snižování radiálního přírůstu.

Provedením klimatické analýzy bylo zjištěno, že vliv srážek na přírůst je hlavně ve vegetačním období roku předcházejícího, na podzim roku předcházejícího a v červnu roku aktuálního. Korelace s teplotami se projevila jako důležitá v říjnu roku předcházejícího a na začátku vegetačního období aktuálního roku. Efektivní globální radiace vykazovala velmi podobné korelace s teplotami, protože čím větší je intenzita slunečního záření, tím vyšší jsou teploty. Výsledek korelací přírůstu s relativní dostupností vody v půdě se projevila kladně na konci předcházejícího vegetačního období a negativně na začátku vegetačního období v dubnu roku aktuálního.

Analýzou významných negativních let byly potvrzeny všechny propady regionální letokruhové chronologie v celé její délce. Roky s největším podílem negativně reagujících stromů byly 1904, 1917, 1928-1930, 1949, 1962, 1976, 1980, 1993, 2003 a 2006.

Smrk ztepilý bude ještě dlouhou dobu na prvním místě v zastoupení dřevin. Problémy s přestárlými porosty, které jsou nejvíce náchylné na klimatické změny a

následné působení biotických faktorů budou nadále podléhat rozpadu. Při obnově lesa by se mělo maximálně využívat přirozené obnovy všech dřevin. V Moravskoslezských Beskydech bylo na největší ploše původní zastoupení hlavně bukem s jedlí bělokorou, jilmem horským, javorem klenem, olší šedou a lepkavou a břízou bradavičnatou. K nim sestupoval z vyšších poloh smrk ztepilý. V nižších polohách hlavně na jižních svazích se nacházely navíc dřeviny jako lípa malolistá a velkolistá, dub zimní a habr obecný. Změnou klimatických podmínek se posouvají lesní vegetační stupně směrem vzhůru. Dřeviny, které vyžadují dostatek srážek, jsou omezeny v růstu v nižších polohách. Tak tomu je u smrku ztepilého, který je mimo své ekologické optimum. Se zvyšujícími se teplotami se otevírají možnosti pro pěstování teplomilnějších dřevin v nižších polohách na jižních svazích 5. lvs.

9 POUŽITÁ LITERATURA

BAAS, Pieter a Fritz H. SCHWEINGRUBER. Ecological Trends in the Wood Anatomy of Trees, Shrubs and Climbers from Europe. *IAWA Journal* [online]. 1987, 8(3), 245-274 [cit. 2016-05-02]. DOI: 10.1163/22941932-90001053. ISSN 0928-1541

BERGH, Johan, Sune LINDER a Johan BERGSTRÖM. Potential production of Norway spruce in Sweden. *Forest Ecology and Management* [online]. 2005, 204(1), 1-10 [cit. 2016-05-01]. DOI: 10.1016/j.foreco.2004.07.075. ISSN 03781127

Büntgen, U., Tegel, W., Nicolussi, K., McCormick, M., Frank, D., Trouet, V., Kaplan, J., Herzig, F., Heussner, U., Wanner, H., Luterbacher, J., Esper, J., 2011. 2500 years of European climate variability and human susceptibility. *Science* 331, 578–582.

Bitvinskas T.T., 1974. Dendroclimatological Investigations. Hidrometeoizdat, Leningrad.

Braniš, M.: *Emise versus imise, aneb jak vyjádřit a chápat změny v kvalitě ovzduší*. Ochrana ovzduší, Praha, 1/2002, 24 s. ISSN: 1211-0337

COOK, E. KAIRIUKSTIS, L. *Methods of Dendrochronology*. Applications in the Environmental Sciences. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers and International Institute for Applied Systems Analysis, 1990.

COOK, Edward R., Jan ESPER a Rosanne D. D'ARRIGO. Extra-tropical Northern Hemisphere land temperature variability over the past 1000 years. *Quaternary Science Reviews* [online]. 2004, 23(20-22), 2063-2074 [cit. 2016-05-02]. DOI: 10.1016/j.quascirev.2004.08.013. ISSN 02773791.

Chajdiak J., Rublíková E., Gudába M.: *Štatistické metódy v praxi*. Statis, Bratislava 1997

ČERMÁK, p. Defoliace a radiální růst ukazatelé vitality smrku ztepilého. *Lesnická práce* [online]. 2007, 86(11) [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://www.lesprace.cz/>

SPEER, James H. *Fundamentals of tree-ring research*. Tucson: University of Arizona Press, c2010. ISBN 0816526842.

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. *The Beskids bulletin* 3 (1): 9–18
- Dittmar, C., Elling, W., 2004. Radial growth of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] at the Coulissenhieb site in relation to environmental conditions and comparison with sites in the Fichtelgebirge and Erzgebirge. *Biogeochemistry of Forested Catchments in a Changing Environment. Ecological Studies* 172, pp. 291–311.
- Dobrovolný, P., Rybníček, M., Kolář, T., Brázdil, R., Trnka, M., and Büntgen, U.: A tree-ring perspective on temporal changes in the frequency and intensity of hydroclimatic extremes in the territory of the Czech Republic since 761 AD, *Climate of the Past*, 11, 1453-1466.
- DOUGLASS A.E., 1937. Tree rings and chronology. *Bulletin, University of Arizona* 8 (4). *Physical Science Series* 1, s. 3–6.
- DRÁPELA K., ZACH J., 2000. *Dendrometrie (Dendrochronologie)*. Mendelova zemědělska a lesnická univerzita, Brno, 149 s.
- DEMEK, Jaromír, a kolektiv. *Zeměpisný lexikon ČSR. Hory a nížiny*. Brno : Academia, 1987. 584 s.
- FELIKSIK, E., 1993. Wpływ klimatu na wielkość przyrostów radialnych lasotwórczych, gatunków, występujących na terenie leśnictwa Bukowiec. *Acta Agraria et Silvestria, Series Silvestris*, 31: 39–46.
- FELIKSIK, E., 1995. Dendrological monitoring of the treat to the forests of Western Beskids created by industrial immission. *The Beskids Bulletin*, 7: 23–34.
- Feliksik E and Wilczyński S, 2004b. The dendrochronological monitoring of the Western Beskid Mountains (southern Poland) on the basis of radial increments of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Electronic Journal Polish Agricultural University, series Forestry* 7(2).
- FRITTS, H. *Tree Rings and Climate*. London: Academic Press, 1976. 567 s. ISBN0122684508.
- GRISSINO–MAYER H.D., HOLMES R., FRITTS H.C., 1992. International tree–ring data bank program library. Version 1.1. Laboratory of Tree–Ring Research, University of Arizona, Tucson.
- GRISSNO-MAYER, H.D., 2001. Evaluating crossdating accuracy: A manual and tutorial for the computer program Cofecha, *Tree-ring research, Tree-Ring Society*. Vol.57(2), 205-221 s.

Haneca, K., Čufar, K., Beeckman, H., 2009. Oaks, tree-rings and wooden cultural heritage: a review of the main characteristics and applications of oak dendrochronology in Europe. *Journal of Archaeological Science* 36, 1–11.

Hejný, S. et Slavík, B. (eds.), 1988: Květena ČSR – 1. díl. Academia Praha. 557p.

Helle G, Schleser H (2004) Beyond CO₂-fixation by Rubisco – an interpretation of ¹³C/¹²C variations in tree rings from novel intra-seasonal studies on broad-leaf trees. *Plant Cell Environ* 27:367–380

HOLUŠA, J. a J. LIŠKA. Hypotéza chřadnutí a odumírání smrkových porostů ve Slezsku. *ZPRÁVY LESNICKÉHO VÝZKUMU*. Jiloviště-Strnady, 2002, (1). ISSN 0322-9688.

Kennel, M. and F. H. Schweingruber, 1995: Multilingual Glossary of Dendrochronology : Terms and Definitions in English, German, French, Spanish, Italian, Portugues and Russian. Haupt. 467pp.

KAMLEROVÁ a SCHEJBALOVÁ. VLIV KLIMATICKÝCH FAKTORŮ NA SEZÓNÍ DYNAMIKU TLOUŠŤKOVÉHO PŘÍRŮSTU SMRKU ZTEPILÉHO. In: ROŽNOVSKÝ, a kol. *Fenologická odezva proměnlivosti podnebí*. Brno, 2006. ISBN 80-86690-35-0.

KOLÁŘ, Tomáš a Michal RYBNÍČEK. Dendrochronological and radiocarbon dating of subfossil wood from the Morava River basin. *Geochronometria* [online]. 2011-01-1, 38(2), - [cit. 2016-05-01]. DOI: 10.2478/s13386-011-0021-x. ISSN 1897-1695.

Kolář, T., Rybníček, M., 2011: Dendochronological and radiocarbon dating of subfossil wood from the Morava River basin. *Geochronometria* 38 (2): pp. 155–161. ISSN 1733-8387.

Kolář, T., Čermák, P., Oulehle, F., Trnka, M., Štěpánek, P., Cudlín, P., Hruška, J., Büntgen, U., Rybníček, M., 2015: Pollution control in the 1980s contributed to unprecedented spruce growth in the “Black Triangle”, the Czech-Polish border region. *Science of the Total Environment* 538: 703–711.

Kolář, T., Rybníček, M., Vít, J., 2015: Seskupení historických dřev v Odře u Petřvaldíku je staré zhruba 800 let. *Poodří* 18 (1): 60–61.

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.

LARCHER W., 1988. Fyziologická ekologie rostlin. Academia, Praha, 361s.

Mauer O. Zakládání Lesů 1, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2009

MRKVA, R. CHŘADNUTÍ DŘEVIN JAKO VÝZNAMNÝ A OČEKÁVANÝ PROBLÉM OCHRANY LESA. *Lesnická práce* [online]. 2000, 79(6) [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://www.lesprace.cz/>

NĚMEČEK, a kol. *TAXONOMICKÝ KLASIFIKAČNÍ SYSTÉM PŮD ČESKÉ REPUBLIKY*. Praha: ČZU Praha, 2008.

PAST4: Personal Analysis Systém fot Treering Research, User manual, by SCIEM

PENKA M., 1985. Transpirace a spotřeba vody rostlinami. Academia, Praha, 250s

POLENO, Zdeněk, Stanislav VACEK a Vilém PODRÁZSKÝ. *Pěstování lesů*. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2007. ISBN 978-80-87154-07-6.

Procházka a kol., 1994, *Morfologie a fyziologie rostlin: Určeno pro posl. AF, ZF*. Brno: Vysoká škola zemědělská, 1994. ISBN 80-7157-108-3.

QUITT , 1971. Klimatické oblasti Československa. Geografický ústav ČSAV, 73s

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

RYBNÍČEK, M., 2004: Dendrochronologická analýza krovu kostela Nanebevzetí Panny Marie a sv. Ondřeje ve Starém Hobzí, *Acta universitatis agriculturae Mendeliana Brunensis*, LII, No. 5, 155–168 p.

RYBNÍČEK, M. *Dendrochronologické datování dřevěných částí historických staveb, archeologických vzorků a výrobků ze dřeva -- sestavení národní dubové standardní chronologie*. 2007. Disertační práce. MENDELOVA ZEMĚDĚLSKÁ A LESNICKÁ UNIVERZITA V BRNĚ. Vedoucí práce Prof. Dr. Ing. Petr Horáček.

RYBNÍČEK, M., ČERMÁK, P., KOLÁŘ, T., PŘEMYSLOVSKÁ, E., ŽID, T., 2009. Influence of temperatures and precipitation on radial increment of Orlicke hory Mts. spruce stands at altitudes over 800 m a.s.l. *Journal of Forest Scienc* 55(6): 257–263

RYBNÍČEK, Michal, Petr ČERMÁK, Tomáš KOLÁŘ a Tomáš ŽID. Growth responses of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) to the climate in the south-eastern part of the Českomoravská Upland (Czech Republic). *Geochronometria* [online]. 2012-01-1, 39(2), - [cit. 2016-05-01]. DOI: 10.2478/s13386-012-0003-7. ISSN 1897-1695

Rydval, M., Wilson, R., 2012. The impact of industrial SO₂ pollution on North Bohemia conifers. *Water Air Soil Pollut.* 223 (9), 5727–5744.

SCHULZE, Ernst-Detlef, Erwin BECK a Klaus MÜLLER-HOHENSTEIN. *Plant ecology*. Heidelberg: Springer, 2005. ISBN 3-540-20833-X.

Sander, C., Eckstein, D., Kyncl, J., Dobrý, J., 1995. The growth of spruce (*Picea abies* [L.]Karst.) in the Krkonoše Mountains as indicated by ring width and wood density.

Ann. For. Sci. 52, 401–410

Schweingruber, F.H., Eckstein, D., Serre-Bache F. and Bräker, O.U. 1990.

IDENTIFICATION, PRESENTATION AND INTERPRETATION OF EVENT YEARS AND POINTER YEARS IN DENDROCHRONOLOGY. Dendrochronologia 8,9-38

SCHWEINGRUBER F.H., 1983. Der Jahrring, Standort, Methodik, Zeit und Klima in der Dendrochronologie. Bern, Paul Haupt, 234 s.

SCHWEINGRUBER, F H. *Tree rings and environment dendroecology*. Berne: Paul Haupt Publishers, 1996. 609 s. ISBN 3258054584.

SCHWEINGRUBER, F H. *Trees and Wood in Dendrochronology : Morphological, Anatomical, and Tree Ring Analytical Characteristics* . Berlin: Springer Verlag, 1993. 6 s. Springer Series in Wood Science. ISBN 3540549153.

SIDOR, Cristian Gheorghe, Ionel POPA, Radu VLAD a Paolo CHERUBINI. Different tree-ring responses of Norway spruce to air temperature across an altitudinal gradient in the Eastern Carpathians (Romania). *Trees* [online]. 2015, 29(4), 985-997 [cit. 2016-05-01]. DOI: 10.1007/s00468-015-1178-3. ISSN 0931-1890

SLAVÍKOVÁ J., 1986. Ekologie rostlin. SPN Praha, 366 s.

SOUČEK, Jiří a Vladimír TESAŘ. *Metodika přestavby smrkových monokultur na stanovištích přirozených smíšených porostů: recenzovaná metodika*. Strnady: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, 2008. Lesnický průvodce. ISBN 978-80-7417-000-3.

SPEER, J H. *Fundamentals of tree ring research*. Tucson: University of Arizona Press, 2010. 333 s. ISBN 9780816526840.

ŠLEZINGEROVA J., GANDELOVA L., HORAČEK P. (2002): *Nauka o dřevě*. MZLU v Brně, Brno, 184 s.

ŠRÁMEK V., SOUKUP F., SLODIČÁK M., 2008. Chřadnutí lesních porostů na LS Jablunkov, závěrečná zpráva projektu. VULHM, Strnady. 91 s.

Šebík, Polák 1990-citováno z DRÁPELA K., ZACH J., 2000. Dendrometrie (Dendrochronologie). Mendelova zemědělska a lesnicka univerzita, Brno, 149 s.

TOLASZ, Radim. *Atlas podnebí Česka*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007. ISBN 978-80-244-1626-7.

Tremel, P. 2011. Největší sucha na území České republiky v období let 1875–2010. Meteorologické zprávy, roč. 64, č. 6, s. 168—176. ISSN 0026-1173.

TREML, Václav, Jakub KAŠPAR, Hana KUŽELOVÁ a Vladimír GRÝC. Differences in intra-annual wood formation in *Picea abies* across the treeline ecotone, Giant Mountains, Czech Republic. *Trees* [online]. 2015, 29(2), 515-526 [cit. 2016-05-02]. DOI: 10.1007/s00468-014-1129-4. ISSN 0931-1890

ÚRADNÍČEK, L. & MADĚRA, P. a kol. (2001): Dřeviny České republiky. Matice lesnická, Písek. 334 str. ISBN 8086271099

VIEWEGH, J. *KLASIFIKACE LESNÍCH ROSTLINNÝCH SPOLEČENSTEV (se zaměřením na Typologický systém ÚHÚL)*. Praha: ČZU Praha, 1999.

Vinš B.: Použití letokruhových analýz k průkazu kouřových škod II. Lesnictví 1962:263-280 (1962).

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. *J. Clim. Appl. Meteorol.* 23, 201–213.

WILSON. Dendrochronological investigations of Norway spruce along an elevation transect in the Bavarian forest, Germany. *Dendrochronologia*. 2001, 19(1), 67-69.

Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky: Report on the state of forests and forestry in the Czech Republic : stav k 2014. Praha: Ministerstvo zemědělství v nakl. Lesnická práce, 1995.

9.1 Citace elektronických pramenů

PRETEL, J. Změny klimatu v Česku. *Vesmír* [online]. 2013, (11) [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://casopis.vesmir.cz/clanek/zmeny-klimatu-v-cesku>

Moravské-karpaty [online]. [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: www.moravske-karpaty.cz

VAŠKŮ. Mrazivá zima 1928/1929. *Vesmír* [online]. 2015, 94(2) [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://casopis.vesmir.cz/clanek/mraziva-zima-1928-1929>
www.dendrochronologie.cz

10 SUMMARY

On the nine sites of the Moravian-Silesian and the Silesian Beskid Mountains, the territory of the Forest administration Jablunkov, samples were taken from trees and regional tree-ring chronology was created. High similarity of tree-ring series enabled creation of the regional tree-ring chronology for the entire area. This tree-ring chronology showed high values of EPS and Rbar and this tree-ring chronology fitted very well with all site chronologies by ocular comparison in the most significant extremes. In the entire length of the regional tree-ring chronology is evident gradual reduction of the radial increment.

Making climate analysis was found that the influence of precipitation on the increment is positive mainly during the vegetation period and autumn of the previous year and June of the current year. Correlation with temperatures was found out as an important in October of the previous year and at the beginning of the growing season of the current year. Effective global radiation showed very similar results as temperature, because greater intensity of solar radiation is accompanied by higher temperature. Results of correlations between tree-ring width and the relative availability of water in the soil show positive effect at the end of the previous growing season and negative effect at the beginning of the current growing season.

Analysis of negative pointer years confirmed all visible significant negative extremes of the regional tree-ring chronology in its full length. Years, with the largest proportion of negatively responded trees were follows 1904, 1917, 1928-1930, 1949, 1962, 1976, 1980, 1993, 2003 and 2006.

Norway spruce will be for a long time at the first place in a species composition. Problems with the aged stands that are most vulnerable to climate change and the influence of biotic factors will continue to decay. When restoring the forest, there should be make maximum use of natural regeneration of all trees. In the Beskids, it was on the largest portion of the original representation mostly European beech with Silver fir, Mountain elm, Sycamore, Alder gray and Silver birch.. Norway spruce descended there from higher elevations. Especially on the southern slopes at lower altitudes trees

as a Small-leaved lime and Large-leaved lime, Sessile oak and Hornbeam were present. Climate change is probably one of the main factors leading to shift of the forest vegetation zones upwards. Species, requiring enough rainfall, are limited in their growth at lower altitudes. This is the case of Norway spruce, which is beyond its ecological optimum. With increasing temperatures, possibilities for growing warm loving trees at lower elevations on the southern slopes of the fifth forest vegetation zone are opened up.