

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra ekologie lesa



Bakalářská práce

Přírůst smrku ztepilého na Šumavě

Autor: Jan Ziegler

Vedoucí práce: Ing. Vojtěch Čada, Ph.D.

© 2019 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jan Ziegler

Lesnictví

Název práce

Přírůst smrku ztepilého na Šumavě

Název anglicky

Spruce increment in the Bohemian Forest

Cíle práce

Prvním cílem práce bude shrnout dosavadní vědecké znalosti o dynamice (tloušťkového) růstu a jeho souvislosti s prostředím se zaměřením na smrk ztepilý. Druhým cílem bude pomocí letokruhové analýzy smrku ztepilého na síti ploch na Šumavě kvantifikovat jeho intenzitu růstu a zhodnotit jeho vztah s podmínkami stanoviště (např. pomocí lesního vegetačního stupně, či bonity dle lesního hospodářského plánu).

Metodika

V rámci prvního cíle bude zpracován rozbor literatury (literární rešerše) s důrazem na aktuální domácí i zahraniční vědeckou literaturu. V rámci druhého cíle bude provedena letokruhová analýza smrku ztepilého na síti ploch na Šumavě. Práce bude probíhat v rámci většího projektu katedry a ve spolupráci s NP Šumava. Práce bude sestávat z terénního odběru vzorků, přípravy vzorků pro měření a měření šířek letokruhů v laboratoři. Šířky letokruhů v posledních několika letech budou použity ke kvantifikaci intenzity tloušťkové růstu, který bude dán do souvislosti s podmínkami stanoviště.

Harmonogram zpracování:

Duben 2018 — Zadání BP

Jaro 2018 — Studium literatury

Počátek léta 2018 — Terénní práce, odběr vzorků

Léto – podzim 2018 — Příprava vzorků a měření v laboratoři

Zima 2018/2019 — Zpracování dat, příprava textu práce

Prosinec 2018 — Odevzdání osnovy práce a kostry literárních zdrojů školiteli

Březen 2019 — Konzultace finální podoby práce se školitelem

Duben 2019 — Předložení práce

Doporučený rozsah práce

30 – 40 stran

Klíčová slova

Letokruhová analýza, produkce, dendrochronologie, *Picea abies*.

Doporučené zdroje informací

- Altman, J., Fibich, P., Santruckova, H., Dolezal, J., Stepanek, P., Kopacek, J., Hunova, I., Oulehle, F., Tumajer, J., Cienciala, E., 2017. Environmental factors exert strong control over the climate-growth relationships of *Picea abies* in Central Europe. *Sci. Total Environ.* 609, 506–516.
- Babst, F., Poulter, B., Trouet, V., Tan, K., Neuwirth, B., Wilson, R., Carrer, M., Grabner, M., Tegel, W., Levanič, T., Panayotov, M., Urbinati, C., Bouriaud, O., Ciais, P., Frank, D., 2013. Site- and species-specific responses of forest growth to climate across the European continent. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 22, 706–717.
- Dobbertin, M., 2005. Tree growth as indicator of tree vitality and of tree reaction to environmental stress: a review. *Eur. J. For. Res.* 124, 319–333.
- Fraver, S., D'Amato, A.W., Bradford, J.B., Jonsson, B.G., Jönsson, M., Esseen, P.-A., 2013. Tree growth and competition in an old-growth *Picea abies* forest of boreal Sweden: influence of tree spatial patterning. *J. Veg. Sci.* 25, 374–385.
- Hlásny, T., Trombik, J., Bošeľa, M., Merganič, J., Marušák, R., Šebeň, V., Štěpánek, P., Kubišta, J., Trnka, M., 2017. Climatic drivers of forest productivity in Central Europe. *Agric. For. Meteorol.* 234–235, 258–273.
- Pretzsch, H., 2010. *Forest Dynamics, Growth and Yield, Forest Research.*
- Speer, J.H., 2010. *Fundamentals of Tree-ring Research.* University of Arizona Press,
- Tremel, V., Ponocná, T., Büntgen, U., 2012. Growth trends and temperature responses of treeline Norway spruce in the Czech-Polish Sudetes Mountains. *Clim. Res.* 55, 91–103.
- Vacchiano, G., Deroose, R.J., Shaw, J.D., Svoboda, M., Motta, R., 2013. A density management diagram for Norway spruce in the temperate European montane region. *Eur. J. For. Res.* 132, 535–549.
- Wilson, R.J.S., Hopfmueller, M., 2001. Dendrochronological investigations of Norway spruce along an elevational transect in the Bavarian Forest, Germany. *Dendrochronologia* 19, 67 – 79.
-

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Vojtěch Čada, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra ekologie lesa

Elektronicky schváleno dne 6. 3. 2019

prof. Ing. Miroslav Svoboda, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 18. 3. 2019

prof. Ing. Marek Turčáni, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 07. 04. 2019

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Přírůst smrku ztepilého na Šumavě" jsem vypracoval samostatně pod vedením Ing. Vojtěcha Čady, Ph.D. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že zveřejněním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze dne 18.04.2019

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé práce Ing. Vojtěchu Čadovi, Ph.D. za jeho čas, odborné konzultace a rady. Mé díky také patří Ing. Jitce Zenáhlíkové, Ph.D., NP a CHKO Šumava za poskytnutá data k výzkumu, který probíhal na jejich plochách, a nakonec mé matce Ing. Ivaně Zieglerové a sestře Markétě Zieglerové za připomínky a podněty jak ke stylistické, tak obsahové stránce této práce.

Přírůst smrku ztepilého na Šumavě

Abstrakt

Tato bakalářská práce v první části formou literární rešerše shrnuje dosavadní vědecké znalosti o smrku ztepilém (*Picea abies* L.), dynamiku jeho přírůstu, faktory, které přírůst ovlivňují a jejich souvislosti s prostředím, ve kterém se porosty nacházejí. Také je zde obecný úvod o dendrochronologii jakožto způsobu získávání informací o proběhlém klimatu, stanovištních podmínkách a disturbancích, kterým musely porosty čelit.

Druhá část práce se zaměřuje na interpretaci výsledků letokruhové analýzy, která probíhala na síti zkusných ploch v Národním parku a Chráněné krajinné oblasti Šumava. Je zde popsána metodika sběru dat od navrtávání stromů v terénu nebo zezem až po analýzu získaných vývrtů v laboratorním prostředí. Cílem praktické části této práce je kvantifikovat intenzitu růstu smrku a zhodnotit vztah tloušťkového přírůstu a podmínek stanovišť. Zde byla ověřena rozdílná dynamika tloušťkového přírůstu u mladších a starších jedinců, závislost přírůstu na nadmořské výšce, edafické kategorii stanoviště či na lesním vegetačním stupni. Také jsou zde odůvodněny případné rozdílnosti od očekávaných výsledků.

Klíčová slova: Letokruhová analýza, produkce, dendrochronologie, *Picea abies*.

Spruce increment in the Bohemian Forest

Abstract

In its first part, this bachelor thesis summarizes existing scientific knowledge about Norway spruce (*Picea abies* L.), dynamics of its increment, factors influencing increment and their context with environment in which those stands are located. General introduction to dendrochronology, as a way of getting data about past climate, site conditions and disturbances that stands had to face, can be found there as well.

Second part focuses on interpretation of dendrochronology results, which took place on sample plots located in NP and CHKO Šumava. Methods from coring with auger to analysing obtained cores in laboratory are described in this part. The goals are to quantify the intensity of spruce growth and valorize the relation between radial growth and site conditions. Different dynamics in radial growth of younger and older trees was proved, as well as dependence of radial growth on altitude, soil category and altitudinal zone. Differences from expected results were also justified in this part.

Keywords: Tree rings analysis, production, dendrochronology, Norway spruce.

Obsah

1	Úvod	9
2	Cíl práce	10
3	Literární rozbor	11
3.1	Smrk ztepilý	11
3.2	Dynamika tloušťkového přírůstu a jeho souvislost s prostředím	13
3.2.1	Faktory ovlivňující přírůst	14
4	Dendrochronologie	17
4.1.1	Křížové datování	17
5	Metodika	19
5.1	Studovaná oblast	19
5.2	Metodika sběru dat	20
5.2.1	Práce v terénu	20
5.2.2	Práce v laboratoři	21
6	Výsledky	23
7	Diskuse	26
8	Závěr	31
9	Seznam použitých zdrojů	32

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Umístění zkusných ploch na mapě (zdroj: google.com)	20
Obrázek 2 - Rozdíl v průměrném přírůstu stromů mladších a starších 45 let.	23
Obrázek 3 - Porovnání průměrného ročního tloušťkového přírůstu do 45 let a nad 45 let.	24
Obrázek 4 - Průměrný roční tloušťkový přírůst v závislosti na edafické kategorii stanoviště.	24
Obrázek 5 - Průměrný roční tloušťkový přírůst v závislosti na nadmořské výšce.	25
Obrázek 6 - Průměrný roční tloušťkový přírůst dle lesních vegetačních stupňů	25

1 Úvod

Smrk ztepilý (*Picea abies* L.) je s více jak 50% zastoupením nejrozšířenější dřevinou v lesích České republiky. Zastoupení smrku je tak vysoké především díky obchodovatelnosti s jeho dřevem a nepřilísné náročnosti na stanovištní podmínky. Právě tyto vlastnosti přiměly lesníky k jeho pěstování i na pro smrk nepřirozených stanovištích, především v nížinách. Zde se projevuje jeho náročnost jak na horizontální, tak vertikální srážky a nízká stabilita díky mělkému kořenovému systému, což způsobuje časté vývraty.

Zkoumání dynamiky růstu a činitelů, kteří ji ovlivňují, je jedna z hlavních složek pro stanovení obnovních cílů a vhodné dřevinné skladby. Toto hodnocení se může provádět různými způsoby, např. dle bonity, výšky porostu nebo jak je provedeno v této práci, dle věku stromů, edafické kategorie stanoviště, nadmořské výšky nebo lesního vegetačního stupně. Další složkou, které je v současné době věnována velká pozornost, je stabilita smrkových porostů. K boji proti nízké stabilitě již byly přijaty opatření v podobě vyhlášky č. 298/2018 Sb., která stanovuje minimální podíl melioračních a zpevňujících dřevin. Obecně panuje shoda, že předčasným rozpadem trpí hlavně smrkové monokultury sázené na nevhodných stanovištích, stejnověké a jednoetážové porosty.

Předpokládá se, že v rámci klimatických změn bude docházet k častějšímu výskytu klimatických extrémů, což způsobí výraznější výkyvy v přírůstu stromů a produkci lesů. Tyto změny lesních podmínek prověří lesníky v hledání vhodných alternativ v oblasti hospodářské úpravy lesa, založené na znalostech reakce jednotlivých druhů na průběh klimatu. Proto je nezbytné, aby lesníci dobře rozuměli tomu, jaké faktory přírůst stromů ovlivňují a jakým způsobem je co možná nejúčinněji eliminovat. Proto bych svojí bakalářskou prací chtěl přispět k lepšímu poznání tématu dynamiky přírůstu smrku ztepilého, shrnout faktory, které jej ovlivňují a zjistit hodnoty tloušťkového přírůstu v závislosti na různých stanovištních charakteristikách u porostů především v bezzásahových zónách NP a CHKO Šumava. Zabývat se tématem tloušťkového přírůstu je v dnešní době velmi důležité, obzvláště protože je to jedna z hlavních složek produkce dřeva, tedy hlavním motorem řídícím ekonomiku v lesním hospodářství. Pochopení a eliminace faktorů negativně ovlivňujících přírůst může vést k sestavení doporučení pro pěstování našich hospodářských dřevin a ke zvýšení produkce a výnosovosti českých lesů.

2 Cíl práce

Tato práce si v první části klade za cíl shrnutí dosavadních znalostí o problematice přírůstu lesních dřevin, jeho dynamice a různých faktorech, které ho ovlivňují s důrazem na tloušťkový přírůst smrku ztepilého.

Cílem druhé - praktické - části je kvantifikace intenzity tloušťkového přírůstu na zkoumaných plochách. Dále se zde zhodnocuje jeho vztah se stářím zkoumaných stromů, edafickou kategorií, nadmořskou výškou a lesním vegetačním stupněm stanoviště.

3 Literární rozbor

3.1 Smrk ztepilý

Smrk ztepilý (*Picea abies* L.) je jehličnatá dřevina z čeledi borovicovité - (*Pinaceae*), rodu smrk - (*Picea*) A. Dietr, která se dožívá 350 - 400 let (v České republice měl nejstarší smrk 632 let (Hochmanová, 2016)), dorůstá až do 50 m výšky, tloušťky maximálně 1,5 m a nejmohutnější jedinci mohou mít i 30 m³. Dřevo je žlutobílé, bezjaderné a stejnorodé. Používá se jako dřevo stavební, truhlářské, nástrojářské nebo rezonanční, využívá se také na výrobu papíru nebo jako palivo (Úradníček, 2001). Kůra je červenohnědá až šedá, i ve vyšším věku poměrně slabá, odlupuje se v tenkých šupinách. Mladí jedinci mají kůru hladkou, s postupem času podélně praská (Slávik, 2016). Jehlice jsou čtyřhranného průřezu, leskle zelené, zašpičatělé, dlouhé 1 - 3 cm (Úradníček, 2001). Na letorostu zůstávají po opadu jehlic výstupky, na zdravých jedincích vydrží jehlice až 10 let. Samčí květy jsou ve formě červených, později žlutých šištic rozmístěny po celém stromě, samičí květy jsou v horní části koruny jako zelené nebo červené šištice. Plod je žluto-hnědé kapkovité semeno, které je ve lžičce svíráno křídélkem (Holkup, 2013). Je uloženo v hnědé válcovité šišce, která bývá velmi proměnlivá jak délkou (8 - 20 cm), tak tvarem semenných šupin. Koruna je většinou pravidelná, kuželovitá. Kořenový systém je plošný, také nazývaný talířový. U smrku mohl vytvořit např. proto, že se jeho předchůdce vyvíjel v místech s chladným až arktickým klimatem, kde byla trvale zamrznutá spodní vrstva půdního profilu a kořeny se do větší hloubky nedostaly (Slávik, 2016).

Smrk se hodnotí jako polostinná dřevina, avšak v mladém věku (do výšky okolo 1 m) je více tolerantní k zástínu, což umožňuje zmlazení v porostu, který je jenom mírně prosvětlený (Holkup, 2013). Díky jeho původu v horských oblastech není náročný na půdu ani klima s výjimkou vysoké citlivosti na nedostatek jak vertikálních, tak horizontálních srážek (Pagan, 1987) a nízké odolnosti vůči větru a imisím (Tumajer, 2017; Úradníček, 2001). Porosty s převahou smrku silně ovlivňují půdotvorný proces svým kyselým opadem, který vytváří silné vrstvy surového humusu. Jeho ukládání v půdě se při nedostatku vláhy a vápníku stupňuje a může vést až k podzolizaci. To výrazně omezuje přísun živin všem dřevinám na daném stanovišti a vede ke snížení produkce jak těchto dřevin, tak i smrku, způsobující tuto změnu. Tato nevýhoda ve snížení produkčního potenciálu stanoviště mu ale dává velkou konkurenční výhodu nad dřevinami, které takový pokles přístupu živin nejsou schopny přežít (Slávik, 2016).

Smrk je považován za naši morfologicky nejvíce variabilní jehličnatou dřevinu. To je dáno především jeho původním rozšířením od střední Evropy až po východní Asii a růstem od půd s velmi malým podílem minerálních horizontů (edafická kategorie Y), přes rašeliniště či podmáčená stanoviště až po bohatá hlinitá stanoviště. Zde se jevil jako konkurenčně silnější naší původně nejvíce rozšířené dřevině - buku lesnímu (*Fagus sylvatica* L.) Všechna tato stanoviště, na kterých smrk převládal, mají společný vyšší než šestý vegetační stupeň. Strop jeho výskytu je pozorován ve 1350 m n.m. Pokud se chtěl smrk rozšířit do šestého vegetačního stupně a níže, musel čelit silnému konkurenčnímu tlaku právě buku, který ho většinou dokázal překonat nebo alespoň potlačit do formy porostní příměsi, ve které byl schopný žít i ve 300 m n.m. (Lagercrantz, 1990; Úřadníček, 2001). V rámci České republiky je nejrozšířenější hospodářskou dřevinou (Holkup, 2013), v roce 2017 bylo jeho zastoupení 50,3 % z celkové plochy porostní půdy (MZe ČR, 2018). Díky zpeněžitelnosti jeho dřeva a relativně snadnému vypěstování ho lidé začali pěstovat i na stanovištích pro něj nevhodných. To vedlo ke snížené stabilitě těchto porostů a jejich narušování větrem a následně dřevokazným hmyzem v čele s lýkožroutem smrkovým (*Ips typographus* L.), kterého se stále nepodařilo zastavit v šíření (Tumajer, 2017). Právě lýkožrout způsobil v České republice více než pětinasobné zvýšení hmyzové nahodilé těžby za čtyřleté období mezi léty 2014 a 2017 (MZe ČR, 2018).

3.2 Dynamika tloušťkového přírůstu a jeho souvislost s prostředím

Tloušťkový přírůst stromu se tvoří činností sekundárních neboli druhotných pletiv, které vznikají v důsledku činnosti sekundárních meristémů kambia a felogenu. Ty jsou zodpovědné za tvorbu dřeva, lýka a kůry.

Kambium svou dělivou činností vytváří sekundární vodivá a zpevňující pletiva uspořádaná do souvislého kruhu, která oddělují dovnitř druhotné dřevo a vně druhotné lýko. Činnost kambia je v temperátní oblasti vázána na vegetační období - svou činnost zahajuje na jaře a ukončuje během podzimu před nástupem dormance. Je tedy ovlivňována jak teplotou, tak měnící se fotoperiodou (délkou denního světla za 24 hodin, po jehož dobu je rostlina schopna fotosyntetizovat). Činnost kambia se tedy v našich zeměpisných šířkách projevuje tvorbou letokruhů, na kterých vidíme hranici mezi jarním (tenkostěnným) dřevem s velkými buňkami a letním dřevem (tlustostěnným) s malými buňkami. Tento anatomický předěl je určován dostupností vody a velkou metabolickou aktivitou na jaře oproti nižší aktivitě v letním období na konci vegetační sezóny. V případech extrémního sucha či defoliace v důsledku žíru listožravého hmyzu může vytvořit kambium během jednoho roku dva nebo naopak žádný letokruh.

Felogen produkuje sekundární krycí pletiva a u sekundárně tloustnoucích rostlin tak nahrazuje funkci pokožky. Tento meristéum odděluje směrem ven buňky korku a směrem dovnitř buňky felodermu, také nazývaným zelenou kůrou. Pokožka postupně odumírá a je přirůstající sekundární pokožkou potrhána. Felogen se u různých druhů rostlin zakládá v různých vrstvách a nemusí mít kruhový tvar. Buňky korku jsou impregnovány suberinem a ligninem, díky čemuž je jejich buněčná stěna neprostupná pro vodu a částečně i pro vzduch. Dospělé buňky jsou obvykle odumřelé a vyplněné vzduchem (Tomášková, 2016).

Přístup a důležitost zdrojů řídicích přírůst dřevin závisí na stanovišti, rozměrech stromu, jeho umístění v porostu a růstových vlastnostech dané dřeviny (Cienciala, 2018). Na strom působí zpravidla více stresorů najednou v podobě konkurence ostatních stromů, nedostatku vláhy či živin atd. Pokud míra jednoho stresoru či jejich kombinace přesáhne určitou hranici, začne se strom soustředit pouze na zajištění životně důležitých a obranných funkcí a ty méně důležité omezí nebo zcela zastaví. Jako první tedy zpravidla omezuje dělení buněk a růst. Ušetřená energie se začne využívat na zajištění fotosyntézy, respirace, růstu kořenů nebo na syntézu specifické stresové bílkoviny chránící strukturu makromolekul. Pokud je stresový

faktor překonán, začne strom opět tvořit větší tloušťkový přírůst, pokud však přetrvává, může tlumení růstu pokračovat až do úhynu (Dobbertin, 2005, Tomášková, 2016).

V posledních letech přírůst a mortalitu stromů ovlivňují zvyšující se teploty, změny srážkových úhrnů a častější výskyt extrémních událostí (Bošela, 2014). Jedním z nejvíce efektivních přístupů k regulování škod na přírůstu je zvýšení diverzity lesního ekosystému. Zpestření dřevinné skladby zvyšuje stabilitu porostu, snižuje počet stromů v porostu, na které se daný škůdce specializuje a zároveň navyšuje pravděpodobnost výskytu jeho přirozených nepřátel - patogenů, predátorů nebo parazitů (de Groot, 2018).

3.2.1 Faktory ovlivňující přírůst

3.2.1.1 Biotické faktory

3.2.1.1.1 Vliv stáří stromu na jeho přírůst

Cienciala (2018) ve svém výzkumu prokázal rozdíl v tloušťkovém přírůstu mezi mladými a staršími smrky. Stromy do 40 let vykazují průměrný roční tloušťkový přírůst o 0,38 mm větší než stromy rostoucí na podobných stanovištních podmínkách ve věku 60 let. To bylo ověřeno párovým t-testem, kdy $p < 0,001$, mladší stromy mají tedy vyšší přírůst o 23 - 28 %. Je tomu tak nejspíše proto, že si strom snaží vytvořit dominantní postavení v porostu a k tomu potřebuje co nejrychleji narůstat jak do výšky, tak do šířky, aby měl vysoký strom podporu a stabilitu. Snižující tloušťkový přírůst však neznamená nutně snižování produkce stromu. To protože na kmeni s větší kruhovou základnou při stejné šířce letokruhu přiroste více dřeva než na kmeni s nižší kruhovou základnou. Silnější stromy tedy nemusejí mít tak velký tloušťkový přírůst, aby jim za rok přirostla stejná nebo dokonce větší hmota než u stromů slabších.

3.2.1.1.2 Rostlinná konkurence

Druhým biotickým faktorem ovlivňujícím dynamiku přírůstu je konkurence ostatních rostlinných organismů. Už od vyklíčení působí na dřeviny stres v podobě konkurence ostatních rostlin, omezující množství světla, živin a vody, které semenáček může přijmout. Některé expanzivní trávy mohou dokonce svým růstem zabránit přirozené obnově dřevin (Kovář, 2013; Tomášková, 2016). Po odrostu tomuto stresoru přichází další v podobě sousedních stromů porostu. Míra stresu, kterým na sebe stromy vzájemně působí, záleží na velikosti jejich korun a jejich vzdálenosti od sebe. Tyto faktory omezují přísun světla, které se ke sledovanému jedinci může dostat a také na velikosti a hloubce kořenových systémů. Ty

stromy, které mají kořenový systém při povrchu půdy mají dříve k dispozici prosakující vodu, zatímco hluboko kořenicí dřeviny jsou schopny získat živiny z větších hloubek půdního profilu. V hospodářských lesích se lesníci snaží u většiny dřevin výchovnými zásahy snížit stres, který mezi sebou stromy vytvářejí a tím podpořit tloušťkový přírůst (Fraver, 2014). Kvůli dosažení kvalitních a co nejlépe zpeněžitelných sortimentů však nemohou konkurenci mezi jedinci v porostu vyloučit zcela, protože by se jednotlivé stromy začaly příliš zavětvovat a tím vytvořily neatraktivní sortimenty (Kovář, 2013).

3.2.1.1.3 Efekt smíšení

Na základě analýzy rozsáhlého souboru dat z celé Evropy bylo dokázáno, že porostní směsi mají kladný vliv na produkci lesů, ale že zároveň nezvyšují tloušťkový ani výškový přírůst jednotlivých stromů. To je dáno lepším využitím celé hloubky půdních horizontů díky rozdílné charakteristice a dosahu kořenových systémů jednotlivých dřevin a vyšší hustotou smíšených porostů. Zvýšení produkce těchto porostů je tedy dosaženo efektivnějším čerpáním živin z půdy a lepším využitím porostní plochy. Další pozitivní aspekt efektu smíšení je pozorován zejména na chudých půdách. Listnaté dřeviny zde opadem zvyšují kvalitu stanoviště a kompenzují tak růstová omezení vytvořená v důsledku nedostatku živin u stanovišť pod jehličnatými monokulturami (Vejpustková, 2018).

3.2.1.2 Abiotické faktory

3.2.1.2.1 Klimatické faktory

Letní teploty v aktuální vegetační sezóně a letní a podzimní teploty předešlého roku jsou nejběžnější klimatické faktory ovlivňující přírůst smrku ztepilého napříč Evropou (Bošeřa, 2014). Pro stanoviště zejména ve vyšších nadmořských výškách platí, že zvyšující se teploty prodlužují vegetační období a díky vyššímu úhrnu srážek umožňují růst stromů po delší část roku. V nižších nadmořských výškách toto neplatí, protože jsou zde limitujícím faktorem srážky a množství vody celkově, nikoliv teplota (Čihák, 2018). Zvýšení přírůstu vlivem změny klimatických poměrů v naší krajině zaznamenal ve své studii i Cienciala (2018). Ten prostřednictvím letokruhové analýzy 1 246 sledovaných jedinců smrku ztepilého z celé České republiky zjistil, že vlivem zvýšené depozice dusíku a jeho dostupnosti v půdě, zvyšující se koncentrace CO₂, společně s lepší úrovní managementu v lesích se od šedesátých let minulého století zvýšil tloušťkový přírůst o průměrně 28 %. Také zde konstatoval, že se za toto sledované období zvýšil také výškový přírůst o přibližně stejnou hodnotu.

Byl však stanoven předpoklad, že pokud se bude nadále zvyšovat frekvence suchých roků, přírůst našich hlavních hospodářských dřevin by se naopak mohl začít snižovat. To by bylo způsobeno nízkým úhrnem srážek a následným poklesem hladiny spodní vody a její zneprístupnění i pro hluboko kořenící dřeviny, které na její nedostatek nejsou adaptovány (Babst, 2013).

3.2.1.2.2 Znečištění ovzduší

Zdravotní stav jehličnatých porostů byl ve střední Evropě od šedesátých let minulého století výrazně narušován vlivem převážně oxidu siřičitého, který produkovaly uhelné elektrárny. Ty stály v místě zvaném „černý trojúhelník“ na rozmezí Krušných hor a přilehlých oblastí bývalé NDR a Polska a tvořily jeden z největších zdrojů znečištění ovzduší na světě. Produkovaný oxid siřičitý nejenže znečistil ovzduší, ale kyselými spady způsobil také acidifikaci půdy a podzemní vody. Kyselost mohla být částečně neutralizována ještě před vstupem do půdy poléťavým prachem nebo popílkem, také produkovaným elektrárnami, ale kterého však mezi léty 1986 a 1998, kdy probíhalo snižování emisí elektráren, ubylo. Výsledkem tohoto snižování emisí tedy bylo snížení produkce oxidu siřičitého o 90 %, ale také odstranění možnosti jeho neutralizace před vstupem do ekosystému. To ke zotavení porostů stále nestačilo a vyústilo v další žloutnutí, řídnutí korun a zhoršení zdravotního stavu porostů náchylných dřevin, které vedlo ke snížení produkce a odumírání velkých ploch převážně jehličnatých porostů v řádu desítek tisíc hektarů (Bošeřa, 2014; Cienciala, 2018; Godek, 2015; Krejčí, 2001).

Za to, že se rozpadaly především stálezelené porosty a těch opadavých se tato problematika příliš netýkala, může fakt, že listnaté dřeviny mají v době, kdy se tvoří námraza, již opadané asimilační orgány. Bylo totiž zjištěno, že kyselá námraza poškozuje jehličí nejvíce. K poškození dochází, když má námraza pH nižší než 3. Jehličnaté porosty tedy byly poškozovány jak námrazou, jejíž kyselost klesla v roce 1995 až na hodnotu pH 2,33, tak kyselými dešti v průběhu jarních, letních a podzimních měsíců. Tyto kyselé srážky naruší voskovou vrstvu na povrchu jehlic, z níž se poté vylouhují živiny, zejména vápník, draslík a hořčík. V těsné blízkosti velkých zdrojů znečištění mohou být stromy poškozovány i přímým kontaktem asimilačních orgánů s oxidem siřičitým, který ničí chlorofyl a jehličí uschne (Krejčí, 2001).

4 Dendrochronologie

V průběhu tloušťkového přírůstu tvoří strom vlivem kambialní činnosti letokruhy. Toho si všiml a popsal již Theophrastus v roce 322 před naším letopočtem a v 15. století Leonardo da Vinci popsal, že tloušťka letokruhů souvisí se srážkami v daném roce. V průběhu staletí se znalosti o letokruzích prohlubovaly, ve 30. létech 20. století byla v Arizoně založena první laboratoř na výzkum letokruhů, kde A. E. Douglass položil základy moderní dendrochronologie. Mnoho postupů, které zde byly vyvinuty, se používají dodnes (Speer, 2010).

Dnes již víme, že tloušťka letokruhu spojuje dynamiku růstu stromu a celého ekosystému a ukazuje období a intenzitu ekologických procesů, které měly vliv na vitalitu daného stromu (Filippo, 2017). Těmito procesy jsou myšleny srážky, průběh klimatu a disturbancí, vliv člověka či různých škodlivých organismů na ekosystém a další, které letokruhy zaznamenávají až několik set let do minulosti (Łuszczynska, 2017; Myers-Smith, 2015). To zvyhodňuje chronologii letokruhů před ostatními metodami získávání informací o podmínkách stanoviště a umožňuje zjišťování, případně predikci možných opakujících se období, např. chudých nebo naopak bohatých na srážky, na výskyt lesních požárů atd. Také pomáhá zjišťovat odolnost jednotlivých dřevin či porostů na tyto období (Gholami, 2015).

V této práci sledovaná dřevina - smrk - se na účel dendrochronologie výborně hodí: je relativně dlouhověký (v ČR až 630 let) s přirozeným areálem po téměř celé Evropě, který se rozprostíral na severu až k polárnímu kruhu, na jihu na hranicích Řecka a Bulharska, západní hranice tvořily Alpy a ty východní byly v Ruském vnitrozemí. Máme tedy k dispozici spoustu jedinců vhodných ke sledování z rozdílných prostředí, které můžeme díky dendrochronologii podrobit výzkumu za účelem zjištění vhodnosti na daném stanovišti, porovnání s jinými druhy dřevin či zjištění klimatických podmínek ovlivňujících růst těchto jedinců v průběhu jejich života (Levanič, 2009).

4.1.1 Křížové datování

Křížové datování (anglicky crossdating) je analytický proces, který je nutné provést u každého získaného vývrtu z toho důvodu, že v kterékoli části může chybět letokruh nebo se naopak mohly vytvořit letokruhy dva. U tohoto procesu si klademe za cíl zařazení získaných jednotlivých letokruhů k roku, ve kterém byly stromem skutečně vytvořeny. Toho je dosaženo porovnáváním schémat námi změřených tlouštěk letokruhů s tzv. standartní chronologií, což je chronologie, která byla vytvořena ze vzorků letokruhů již přiřazených ke správnému roku.

To se dělá tak, že se vyhledají letokruhy s nějakou viditelnou odlišností od sousedních let (např. extrémně široký letokruh, který je ve vzdálenosti určitého počtu let od jiného velikého přírůstu) a sleduje se, zda tuto odlišnost najdeme jak na sledovaném vzorku, tak na standardní chronologii. Toto porovnání by mělo probíhat vizuálně a následně se výsledek statisticky ověřuje (Myers-Smith, 2015).

5 Metodika

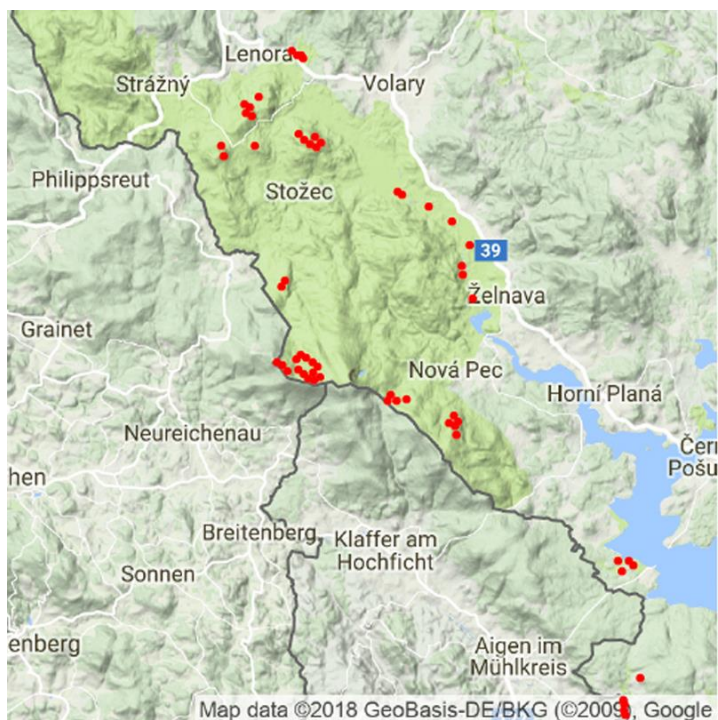
5.1 Studovaná oblast

Sběr dat probíhal na zkusných plochách umístěných v Národním parku a Chráněné krajinné oblasti Šumava, nachází se v jihozápadní části České republiky na hranicích s Německem a Rakouskem. Pro tuto práci byly použity data ze 43 ploch, které se nalézají v nadmořských výškách od 690 do 1 351 m n.m. Na těchto plochách jsou zbytky pralesů, vrchovištní rašeliniště a mokřady.

Většina Šumavy patří do geomorfologického celku Šumavské podhůří a část do Šumavské hornatiny. Podloží na plochách je většinou chudé. Na 19 plochách je stanoviště ekologických kategorií kyselé a extrémní, které kromě edafické kategorie *K* patří k plochám s nejmenším přírůstem, 9 ploch je na živné kategorii, 8 na kategorii obohacené vodou a 7 na kategorii obohacené humusem. Z hlediska klimatu se Šumava nachází na rozhraní mezi kontinentálním a oceánickým podnebím, kde se projevují malé roční výkyvy teplot a rovnoměrné rozložení srážek během roku. Průměrná teplota je ve 1300 m n.m. + 3.0 °C, průměrné roční srážky na meteorologické stanici v Březníku 1600 mm (NP Šumava, 2018).

V této oblasti má zdaleka největší zastoupení smrk ztepilý (*Picea abies* L.), jehož dominance v původních šumavských lesích nebyla tak znatelná, ale po zjištění jeho výhodných vlastností začala přeměna ze smíšených porostů na smrkové monokultury, jak je známe dnes. Dále zde můžeme najít jako příměs buk lesní (*Fagus sylvatica* L.) a další horské listnaté dřeviny jako javor klen (*Acer pseudoplatanus* L.) anebo jeřáb ptačí (*Sorbus aucuparia* L.).

Zkoumané plochy byly založeny v rámci projektu *Silva Gabreta Monitoring - Realizace přeshraničního monitoringu biodiversity a vodního režimu*, který byl vytvořen za účelem dokázání pozitivních efektů bezzásahových zón Národního parku Šumava, Národního parku Bavorský les a cenných lokalit této soustavy. Díky tomuto projektu byla poprvé v historii zkoumána biodiverzita lesů, rašelinišť a sladkých vod na obou stranách státní hranice pomocí jednotných, standardizovaných a moderních metod.



Obrázek 1 - Umístění zkušních ploch na mapě (zdroj: google.com).

5.2 Metodika sběru dat

5.2.1 Práce v terénu

V rámci projektu *Silva Gabreta* byly odebrány půdní vzorky a provedeny chemické analýzy půd, na základě kterých byly určeny edafické kategorie jednotlivých stanovišť. Dále byla sebrána biotická data v podobě pastí pro monitoring hmyzu, ručního sběru měkkýšů, mapování rostlinného pokryvu a pomocí fotopastí, záznamových zařízení a síťového mapování byla zajištěna data o stavu savců, netopýrů a ptáků.

Každá plocha byla v terénu nalezena pomocí GPS souřadnic jejího středu, který byl označený barevným kolíkem nehybně ukotveným v zemi. Dle poskytnutých materiálů NP Šumava, které mimo pořadových čísel stromů a jejich polohy zobrazují také dřeviny či informaci, zda se jedná o živý nebo mrtvý strom, případně směr ležících kmenů, se pro lepší orientaci pomocí připínáčků a předtištěných cedulek očíslovaly všechny stromy na ploše. Dále byly vizuálně určeny nejstarší stromy na ploše.

Odběr vzorků na letokruhovou analýzu byl prováděn tzv. nebozezem. To je dutý manuální vrták ve tvaru T, který umožňuje získání vývrťů o síle přibližně 5 mm. Vývrty byly odebírány ve výšce 1 m nad terénem. Vývrty byly odebírány přednostně na straně s větší korunou a na svahu ve směru vrstevnice. V případě výskytu vady na kmeni se vyhledalo jiné

vhodné místo na vytvoření vývrtní. Při vrtání se dbalo na co nejpřesnější směřování na předpokládaný střed stromu. Pokud středu nebylo dosaženo nebo pokud byla na vývrtní nějaká nedokonalost místního charakteru (zarostlý suk, hniloba), vývrt se opakoval o několik centimetrů výše.

Jako další krok je potřeba zajistit bezpečné přepravení do laboratoře. To se provádělo vložením vývrtů do plastových brček a jejich zajištěním kancelářskou sešívačkou z obou stran. Pořadová čísla jednotlivých vývrtů byla označena lihovým fixem na brčko, ve kterém se nacházela. Toto označení se skládalo z: tříčíselného označení plochy; zkratky S (pokud byl strom uznán jako starý) a dvojmístného označení stromu. Všechna brčka z dané plochy byla poté slepena k sobě lepenkou a umístěna do plastového tubusu pro snazší přepravu.

5.2.2 Práce v laboratoři

V laboratoři byly získané vývrty vyjmuty z brček a připevněny na dřevěné držáky, na kterých byly vzorky obroušeny čím dál jemnějším smirkovým papírem až do hrubosti papíru 400 tak, aby vzorky byly dokonale hladké. Tloušťky letokruhů byly změřeny s přesností 0,01 mm pomocí binolupy Olympus, posuvného stolu RINNTECH připojeného k počítači a programu Tsap-Win (www.rinntech.com), který zaznamenával data o šířkách jednotlivých letokruhů.

Pro co nejvyšší přesnost získaných dat bylo pomocí softwaru PAST 4 provedeno křížové datování a zjistily se případné chybějící letokruhy. Tímto způsobem zjištěná a opravená data se poté převedla do MS Excel. Zde se k nim přidaly informace o nadmořské výšce, lesním typu, výšce stromu a jeho průměru ve výšce 1,3 m, které byly zjištěny z materiálů poskytnutých k projektu *Silva Gabreta*. Pro grafy použité v kapitole 5 byly z ročních přírůstů jednotlivých stromů udělány průměrné hodnoty přírůstu dřeva bez kůry za rok na poloměr stromu. Tato hodnota byla tedy vytvořena průměrem všech šířek letokruhů daného stromu. Dále se pracovalo pouze s těmito daty.

Do prvního sloupce grafu na Obrázku 2 byly použity data všech stromů do 45 let, do sloupce druhého byly použity data stromů s věkem vyšším nebo rovným 45 let. Z dat pro jednotlivé sloupce byl udělán průměr, ze kterého byly vytvořeny jednotlivé sloupce.

Pro Obrázek 3 byly průměrné roční přírůsty jednotlivých stromů rozděleny na přírůsty před a po dosažení 45 roku života s tím, že se na tvorbu prvního sloupce využily data do zmiňované hranice a do sloupce druhého se využily data po této hranici.

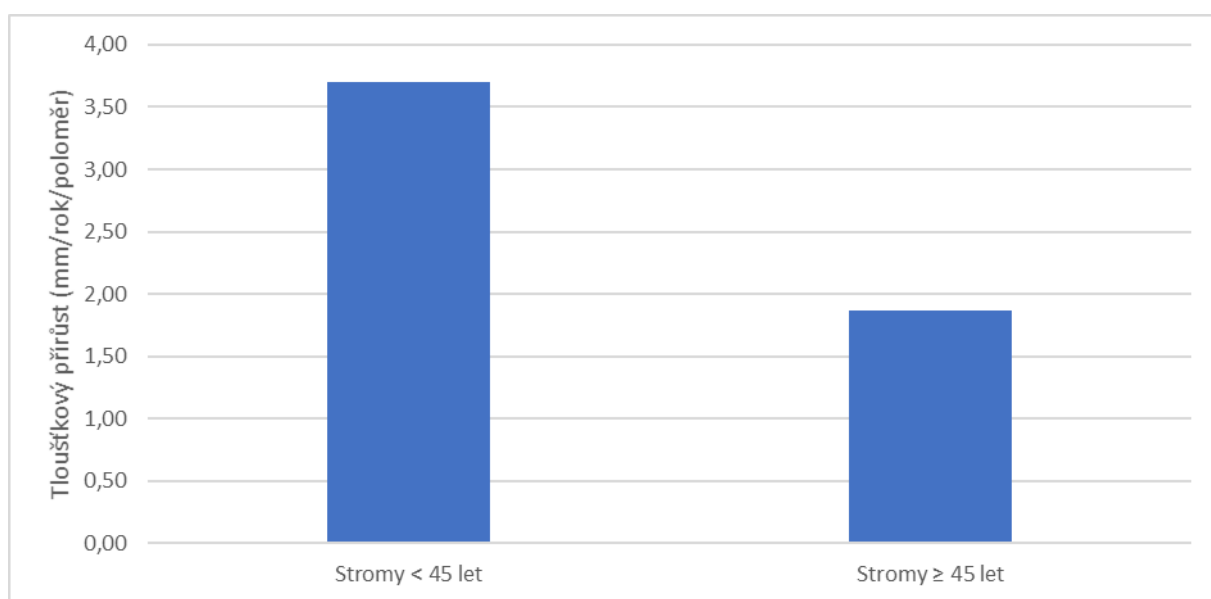
Při tvorbě Obrázku 4 byly shromážděny data stromů jednotlivých edafických kategorií, která byla převzata z určených lesních typů. Ty rozdělují stanoviště podle obsahu živin, skeletu, vody nebo organické složky v půdě do 25 skupin. Každá skupina je označena jiným písmenkem abecedy. Edafické neboli půdní kategorii je nadřazená ekologická řada, která charakterizuje skupinu edafických kategorií. Ekologických řad je osm (extrémní, kyselá, živná, obohacená humusem /javorová/, obohacená vodou /jasanová/, oglejená, podmáčená a rašelinná) (ÚHÚL, 2018). Na sledovaných plochách se vyskytovaly následující edafické kategorie: *K, S, A, B, L, D, J, N, R, V, F* a *Y*.

Na Obrázku 5 byly průměrné přírůsty jednotlivých stromů rozříděny do osmi skupin dle nadmořské výšky, ve které se stanoviště těchto stromů nacházelo. Tyto skupiny byly po 100 m a následně byl vytvořen průměrný přírůst všech stromů v dané skupině.

Pro vytvoření Obrázku 6 byly využity informace o lesních typech na jednotlivých stanovištích. Daným lesním typem se označují stanoviště s jednotnými půdními i porostními vlastnostmi a vyjadřuje, v jakém se nachází lesním vegetačním stupni, na jaké je edafické kategorii a pomáhá upřesnit stanovištní podmínky nějakou bližší charakteristikou, nejčastěji typickou stanovištní rostlinou (Kovář, 2013). Z lesního typu se pro tvorbu tohoto grafu použily pouze data o lesních vegetačních stupních. Ty jsou, kromě nultého stupně, charakterizovány vztahem klimatických podmínek a rostlinných společenstev a nazývány charakteristickým klimaxovým porostním smíšením. Nultý stupeň je jako jediný určený dle velmi chudých či jiným způsobem nepříznivých stanovišť, na kterých původně žila téměř výhradně borovice. Lesní vegetační stupně vyskytující se v tomto výzkumu jsou: 5 - jedlobukový, 6 - smrkobukový, 7 - bukosmrkový, 8 - smrkový a 0 - přirozené bory (ÚHÚL, 2018).

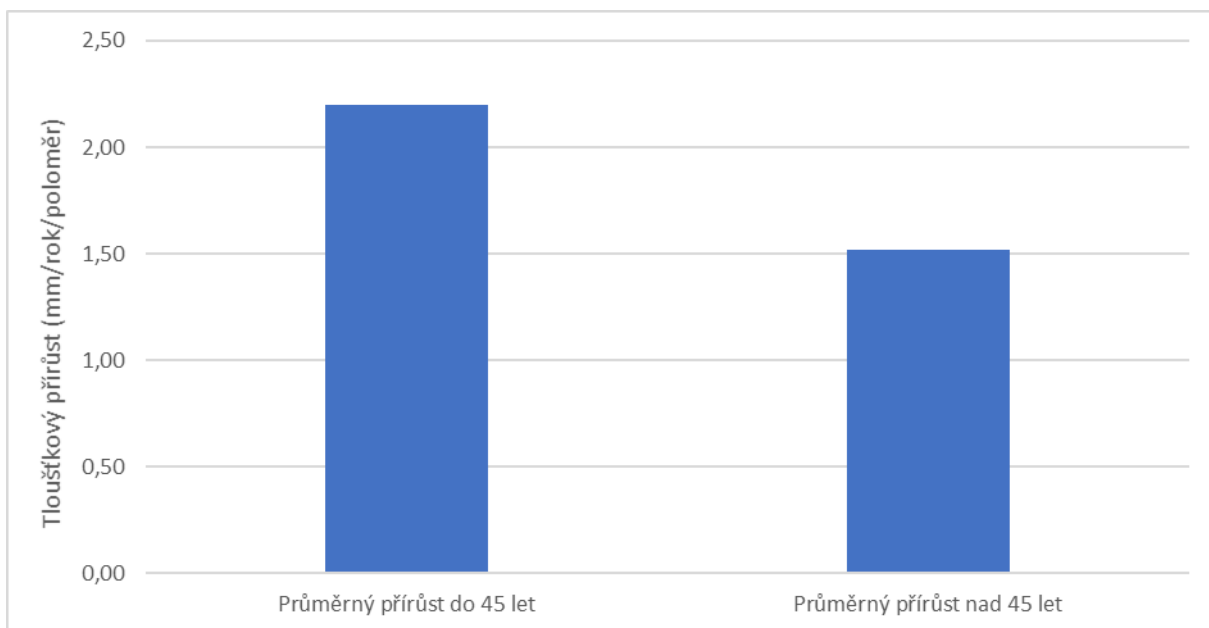
6 Výsledky

Ze 46 sledovaných ploch se pro tuto práci získalo 140 vývrtů. Z důvodu velké rozdílnosti hodnot přírůstu mladých a starších stromů (popsané v kapitole 3.2.1.1.1) a z toho vyplývající negativní ovlivňování hodnot, byli ze získaných dat odstraněni jedinci mladší 45 let včetně. Tento rozdíl byl ověřen na Obrázku 2, který ukazuje, že stromy do 45 let mají průměrný roční tloušťkový přírůst 3,7 mm, zatímco výběr, který vznikl odstraněním těchto stromů má průměrný přírůst 1,87 mm. Průměrný přírůst za posledních 45 let obsahující data těchto mladších jedinců je 2,09 mm, zatímco bez těchto dat je 1,68 mm. Odstraněním vzorků do 45 let se tedy zamezilo zkreslení a tím vznikl konečný výběr 99 vzorků.



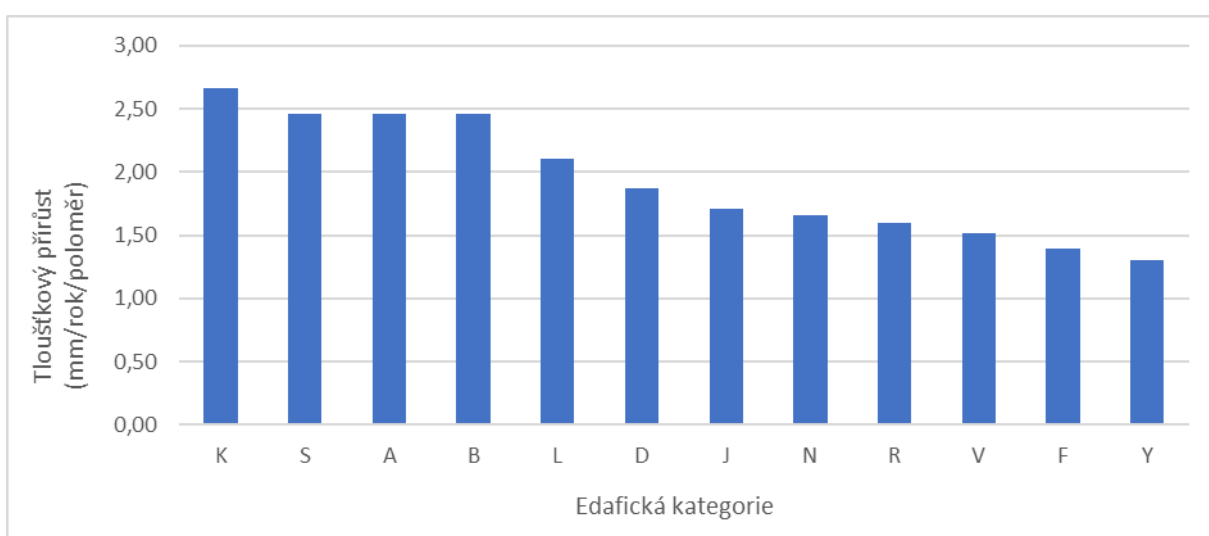
Obrázek 2 - Rozdíl v průměrném přírůstu stromů mladších a starších 45 let.

Na následujícím grafu se porovnává mocnost průměrného ročního tloušťkového přírůstu pouze u stromů nad 45 let. Zde je vidět rozdílná rychlost přirůstání mezi mladšími a staršími fázemi vývoje stromu. První sloupec je hodnota průměrného ročního přírůstu u těchto stromů za prvních 45 let života s hodnotou 2,2 mm a druhý sloupec zobrazuje průměrný přírůst ve věku nad 45 let s hodnotou 1,52 mm.



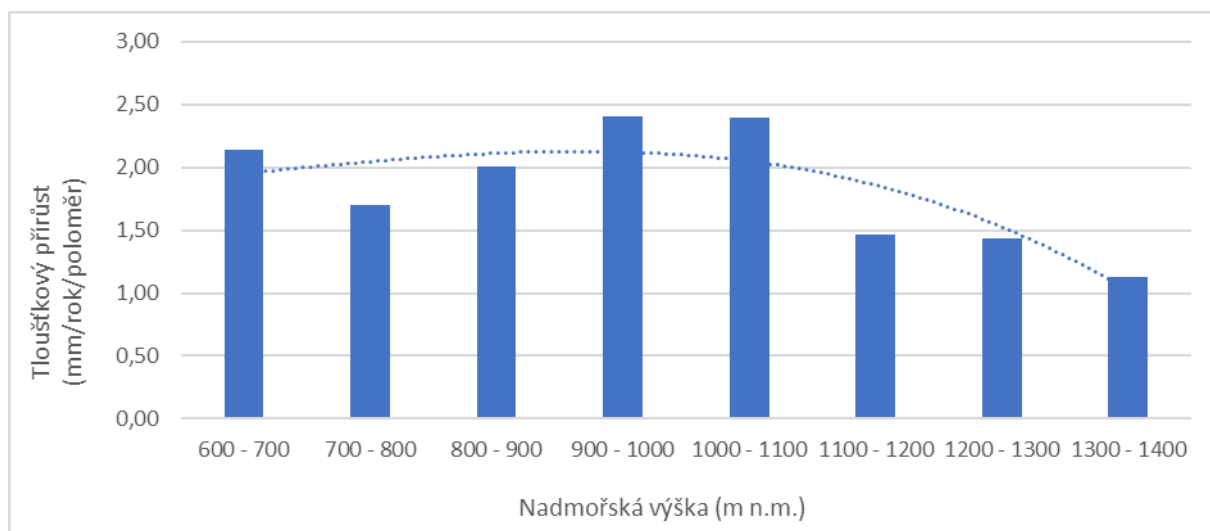
Obrázek 3 - Porovnání průměrného ročního tloušťkového přírůstu do 45 let a nad 45 let.

Na Obrázku 4 lze vidět závislost průměrného ročního tloušťkového přírůstu stromů na edafické kategorii. Nejnižší hodnoty byly zjištěny na extrémních stanovištích, kde je v půdě velmi málo minerální zeminy a čím hodnota přírůstu stoupala, tím bohatější sledujeme půdy jak na obsah minerální zeminy, tak na obsah živin. Hodnoty přírůstu tedy byly (od nejvyšších po nejnižší): 2,66 mm na edafické kategorii *K*, shodně 2,46 mm hned u tří kategorií najednou - *S*, *A* a *B*. Dále se přírůst snižoval na 2,10 mm na půdní kategorii *L*, 1,87 mm na *D*, 1,71 mm na *J*, 1,66 mm na *N*, 1,60 mm na *R*, 1,51 mm na *V*, 1,39 mm na *F* a nakonec 1,30 mm na kategorii *Y*.



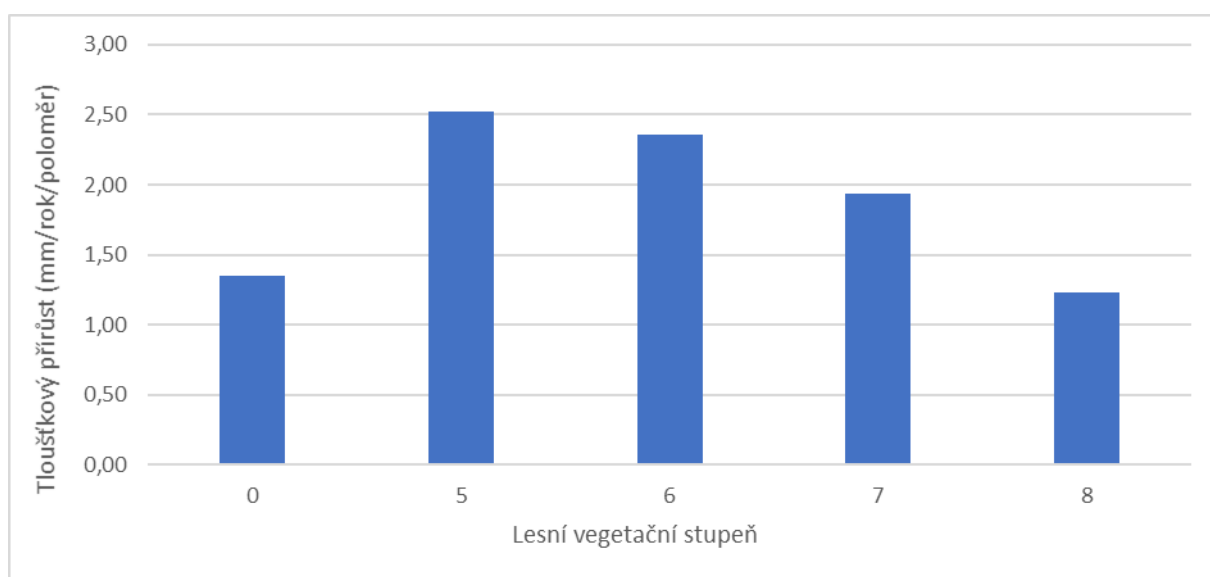
Obrázek 4 - Průměrný roční tloušťkový přírůst v závislosti na edafické kategorii stanoviště.

Obrázek 5 zobrazuje průměrnou mocnost průměrného ročního tloušťkového přírůstu v závislosti na nadmořské výšce. Ta byla rozdělena do intervalů po 100 m, tyto intervaly sahaly od 600 až po 1400 metrů nad mořem. Naměřené hodnoty přírůstu v jednotlivých intervalech byly: 2,14 mm v intervalu 600 - 700 m n.m., 1,70 mm v 700 - 800 m n.m., 2,01 mm v 800 - 900 m n.m., 2,41 mm v 900 - 1000 m n.m., 2,40 mm v 1000 - 1100 m n.m., 1,47 v 1100 - 1200 m n.m., 1,44 mm v 1200 - 1300 m n.m., 1,13 mm v 1300 - 1400 m n.m.



Obrázek 5 - Průměrný roční tloušťkový přírůst v závislosti na nadmořské výšce.

Poslední graf zobrazuje závislost průměrného ročního tloušťkového přírůstu na lesním vegetačním stupni. Na přirozených borových stanovištích označených číslem 0 byl průměrný přírůst 1,35 mm, v 5 lesním vegetačním stupni byl přírůst 2,52 mm, v 6 stupni 2,36 mm, v 7 stupni 1,93 mm a v osmém stupni přirostlo průměrně 1,23 mm za rok.



Obrázek 6 - Průměrný roční tloušťkový přírůst dle lesních vegetačních stupňů.

7 Diskuse

Na **Obrázku 2** bylo ověřeno, že stromy v nižším věku vytváří širší letokruhy stejně tak, jak to dokázal Cienciala, (2018). Jedinci do 45 let měli průměrný roční přírůst 3,7 mm, což je o 98 % více než hodnota 1,87 mm, kterou měli jedinci nad 45 let. To však neznamená, že by starší stromy měly nižší hodnotu produkce. Silnější stromy, které jsou většinou starší, pouze pro zachování stejné či vyšší hmotové produkce nepotřebují přirůstat o tolik jako stromy mladší.

Obrázek 3 rozvíjí Obrázek 2 a zobrazuje rozdíl mezi přírůstem stromů starších 45 let. Poukazuje zde na rozdíl mezi přírůstem před a po dosažení 45 roku, kdy výsledky byly 2,2 mm resp. 1,52 mm. Rozdíl mezi Grafem č. 4 a Grafem č. 1 je tedy ten, že se v prvním grafu porovnává průměrný roční přírůst jedinců, kteří ještě nedosáhli věku 45 let s těmi, kteří mají věk vyšší než 45 let, zatímco ve čtvrtém grafu se porovnává průměrný roční přírůst pouze jedinců nad 45 let. Jak je z daných výsledků patrné, je veliký rozdíl v tloušťkovém přírůstu v různých životních fázích stromu.

S nejvyšší hodnotou tloušťkového přírůstu z **Obrázku 4** vyšla kategorie *K* s přírůstem 2,66 mm, která měla výskyt po jedné ploše v nadmořských výškách 700 - 800, 900 - 1000, 1200 - 1300 a 1300 - 1400 m n.m. Jedná se o kyselou ekologickou řadu s kyselým podložím průměrné polohy. To, že se na sledovaných plochách spíše průměrně bohatá edafická kategorie umístila na prvním místě v hodnocení šířky tloušťkového přírůstu přisuzují faktu, že průměrný věk jedinců na kategorii *K* je 91 let (nejnižší ze všech kategorií), zatímco celkový průměrný věk je 128 let. To znamená, že by zde mohl stále být vliv většího přírůstu mladých stromů.

Na druhém místě v žebříčku hodnocení nejvyššího tloušťkového přírůstu se umístily hned tři půdní kategorie se shodnou hodnotou 2,46 mm. Jedná se o kategorii *A* (zahliněnou nitrofilní suť, edafická řada obohacená humusem), *B* (na živném podloží, průměrné polohy, řada živná) a *S* (přechody kyselé a živné řady). Tyto tři edafické kategorie se nacházely především v pásu od 800 do 1200 m n.m. V nižších nadmořských výškách se nevyskytovaly vůbec, ve vyšších nadmořských výškách byl jejich výskyt ojedinělý. Průměrný věk těchto kategorií se příliš nelišil od celkového průměrného věku 128 let: 128 let u půdní kategorie *A*, 124 let u kategorie *B* a 138 let u kategorie *S*.

S hodnotou přírůstu 2,1 mm se jako pátá umístila kategorie *L* charakterizována jako úvalové luhy na řadě obohacené vodou. Tato edafická kategorie se však objevila pouze na jedné sledované ploše, kde byl průměrný věk 117 let.

Následující půdní kategorie *D* se vyskytovala na jediném změřeném exempláři v nadmořské výšce 940 m. Jedná se o řadu obohacenou humusem a průměrný roční přírůst byl 1,87 mm. Tento jediný strom stáří 195 let může za to, že má edafická kategorie *D* v tomto průzkumu nejvyšší průměrný věk.

Těžiště výskytu následující kategorie *J* (javořiny) je v 1000 - 1100 m n.m. Je to opět řada obohacená humusem, tentokrát však o něco extrémnější varianta nitrofilních sutí. Průměrný přírůst této kategorie je 1,71 mm za rok, v hodnocení průměrného věku se tato kategorie umístila na 3 místě se 166 roky.

Na osmém místě byla edafická kategorie *N* s průměrným tloušťkovým přírůstem 1,66 mm za rok. Jedná se o kategorii kamenitou s nevyváženými kamenitými svahy, patří do kyselé ekologické řady a její věk je se 121 roky mírně podprůměrný.

Těsně za ní se umístila kategorie *R*, tedy rašelinná. Ta se obecně rozděluje na středně bohaté a chudé rašelinné půdy. V našem případě se jednalo pouze o chudá rašeliniště s omezeným růstem a o rašelinné bory. Tato kategorie se vyskytovala prostřednictvím třiceti jedinců pouze v nadmořské výšce 700 - 800 m, průměrný věk těchto jedinců byl 111 let.

V pořadí desátá nejproduktivnější edafická kategorie je kategorie *V* s průměrným přírůstem 1,51 mm. Jedná se o mírně nitrofilní báze svahů z ekologické řady obohacené vodou. Průměrný věk této kategorie byl v porovnání s ostatními vysoký - 164 let.

Předposlední jedenáctou půdní kategorií je *F*, která se vyskytovala pouze u jedné plochy, na které byl změřen pouze jeden strom. Ten byl v nadmořské výšce 1146 m, jeho průměrný přírůst byl 1,39 mm a věk 186 let, což dělá z této kategorie druhou nejstarší na zkoumaných plochách.

Edafická kategorie s nejnižším zjištěným ročním přírůstem je skeletovitá kategorie *Y*. Ta se vyskytuje v extrémní ekologické řadě a charakterizuje balvanité svahy s velmi špatnými podmínkami pro růst jakýchkoli dřevin (ÚHÚL, 2018). Tato kategorie byla pozorována v nadmořských výškách 800 - 1000 m a poté 1300 - 1400 m a měla průměrný přírůst 1,3 mm za rok, tedy méně než polovinu přírůstu první kategorie *K*. Střední věk kategorie *Y* byl nadprůměrných 144 let.

Obrázek 5 na první pohled neodpovídá tomu, co by se od něj dalo očekávat a to, že se bude přírůst s rostoucí nadmořskou výškou vlivem kratšího vegetačního období snižovat. Spojnice trendu na tomto grafu na začátku mírně stoupá, aby dosáhla před polovinou inflexního bodu a začala již dle očekávání strmě klesat. Odůvodnění takto neobvyklého trendu je ale nasnadě.

První interval (600 - 700 m) obsahuje pouze jednu plochu se změřeným jedním vzorkem s průměrným přírůstem 2,14 mm. To je sice od středního přírůstu 1,88 mm mírně nadprůměrný výsledek, ale v místech, kde bychom očekávali přírůst nejvyšší. Tato plocha neměla jako jediná určenou edafickou kategorii.

V druhém intervalu (700 - 800 m) jsou data ze 34 stromů z celkem 7 ploch s průměrným ročním přírůstem 1,7 mm. 5 z těchto 7 ploch (celkem 30 stromů) je na rašelinném podkladu, který je charakteristický vysokou kyselostí a omezeným růstem stromové vegetace. To bylo dokázáno v předchozím grafu.

Třetí interval nadmořské výšky (800 - 900 m) obsahuje data z 8 stromů na 3 plochách, průměrný přírůst je 2,01 mm. První plocha je na edafické kategorii *Y*, což patří do extrémní ekologické řady a jak bylo dokázáno, je to ze všech zkoumaných kategorií ta s nejnižším přírůstem. Druhá plocha je na půdní kategorii *V*, která se z hlediska tloušťkového přírůstu jeví jen o něco málo lépe, než kategorie *Y*. Průměr celého výškového intervalu zvedá až třetí plocha, která je na edafické kategorii *A*. Ta je v porovnání se všemi edafickými kategoriemi zahrnutými v tomto výzkumu na druhém místě, avšak její vysoký přírůst nestačil na kompenzaci podprůměru ostatních kategorií intervalu.

Ve čtvrtém výškovém intervalu (900 - 1000 m) je 8 ploch s celkovým počtem 16 stromů a průměrným přírůstem 2,41 mm. 10 stromů je na přírůstově nadprůměrných podložích kategorie *A*, *B* a *K*, převážně díky nimž se tento interval jeví jako ten s největším přírůstem, dalších 5 jedinců je na průměrných kategoriích *D*, *J* a *N* a jediná plocha je na podprůměrném stanovišti *Y*.

Pátý výškový interval (1000 - 1100 m) je velmi podobný tomu předchozímu: 7 ploch, změřených 17 stromů s průměrným přírůstem 2,4 mm - pouze o 0,01 mm nižším než u předchozího intervalu. Opět většina stromů (10) roste na nadprůměrných stanovištích kategorií *A*, *B*, *S*, 5 jedinců na průměrné kategorii *J* a dva exempláře na podprůměrném stanovišti *V*.

Ve výškovém intervalu 1100 - 1200 m sledujeme již značný pokles tloušťkového přírůstu na hodnotu 1,47 mm, a to i přes to, že se 3 z celkových 7 stromů nachází na půdní

kategorii *S*, která z výzkumu vyšla jako nadprůměrná. Dále se jeden strom nachází na stanovišti průměrné kategorie *N* a zbylí 3 jedinci na podprůměrných kategoriích *V* a *F*.

Výškový interval 1200 - 1300 m má velmi podobné výsledky přírůstu jako ten předchozí (1,44 mm). Ze 7 jedinců rostli 2 na nadprůměrných kategoriích *K* a *S*, 3 na průměrné kategorii *N* a zbylé 2 na podprůměrné *V*.

Poslední výškový interval (1300 - 1400 m) má zjištěný také nejnižší průměrný roční tloušťkový přírůst s hodnotou 1,13 mm. Z hlediska půdních vlastností stanoviště je to dáno tím, že z 9 stromů v tomto intervalu je pouze jeden na nadprůměrné půdní kategorii *K*, jeden na průměrné kategorii *N* a zbylých 7 jedinců je na podprůměrných kategoriích *V* a *Y*. Fakt, že má tento interval nejnižší přírůst, by se také dal vysvětlit tím, že má nejkratší vegetační období a fotoperiodu, takže sledované stromy nemohou přirůstat po tak dlouhou dobu jako jedinci rostoucí v nižších nadmořských výškách.

Obrázek 6 ukazuje závislost lesního vegetačního stupně na průměrném ročním přírůstu.

V prvním sloupci je nultý vegetační stupeň. Ten jako jediný není charakterizován vztahem klimatických podmínek a rostlinných společenstev, ale tím, že se jedná o nepříznivá stanoviště, na kterých původně žila téměř výhradně borovice. Na tomto lesním vegetačním stupni je tedy smrk nepůvodní a má průměrný roční přírůst 1,35 mm.

V druhém sloupci je zobrazen 5 lesní vegetační stupeň nazývaný jedlobukový. V tomto stupni byl smrk původní pouze na rašelinné ekologické řadě, na ostatních stanovištích byl pouze v minoritních procentech zastoupení. Přesto jeho přírůst (2,52 mm) je nejvyšší ze všech stupňů, a to z toho důvodu, že by v něm měla být nejvyšší průměrná roční teplota a také nejdelší vegetační období (130 - 140 dní) ze všech vegetačních stupňů obsažených v tomto výzkumu v délce. Na druhou stranu by v tomto stupni měl být nejnižší roční úhrn srážek v rozmezí 800 - 900 mm, což pro smrk není ideální.

Třetí sloupec charakterizuje tloušťkový přírůst 6 vegetačního stupně, zvaného smrkobukový. Zde se již začal smrk dostávat do porostních směsí s bukem, ale stále jej, opět s výjimkou rašelinišť, nebyl schopen konkurenčně potlačit. Jeho průměrný roční přírůst v tomto lesním vegetačním stupni je 2,36 mm, což je v rámci tohoto grafu druhá nejvyšší hodnota.

Na sedmém, bukosmrkovém, lesním vegetačním stupni byl sledován roční přírůst 1,93 mm. To je hodnota téměř shodná s celkovým průměrným ročním přírůstem všech stromů zahrnutých ve výzkumu (1,88 mm). V bukosmrkovém stupni již získal smrk většinové

zastoupení na všech edafických kategoriích, s výjimkou kategorií na ekologické řadě obohacené humusem a jedné kategorie (*L*) na řadě obohacené vodou.

Poslední, osmý, lesní vegetační stupeň má hodnotu průměrné šířky letokruhu 1,23 mm. Tento stupeň se nazývá smrkový a jsou zde přirozené porosty s převahou smrku, případně doplněné o příměs horských listnatých dřevin či kleče. Tento stupeň by měl mít ze všech sledovaných nejvyšší roční úhrn srážek (v rozmezí 1200 až 1500 mm), nejkratší vegetační období (60 - 100 dní) a měl by být v nejvyšší nadmořské výšce (1050 - 1350 m n.m.) (Duda, 2005).

8 Závěr

Tato práce na téma přírůstu smrku ztepilého na Šumavě ukázala, že je velký rozdíl v tloušťkovém přírůstu mladých a starších jedinců. Z toho se dá vydedukovat, že ve fázi mlaziny a tyčkoviny má tedy porost nejvyšší tendenci zvyšovat svoji tloušťku, která se postupně se získáním dominantního postavení v porostu snižuje. Proto byly oborem hospodářské úpravy lesa stanoveny doby obmýetí, které zachycují dobu, kdy dochází ke kulminaci přírůstu a daný porost se již vyplatí obnovit.

Další výstup práce je ten, že tloušťkový přírůst je největší na hlinitých a bohatých půdách, snižuje se přechodem přes chudá a svahovitá stanoviště a nejnižší přírůst vykazují příkrá a skeletovitá stanoviště.

Jako další byl sledován trend snižování přírůstu s rostoucí nadmořskou výškou. Ten je způsoben především zkracováním vegetačního období směrem do vyšších nadmořských výšek, kde však nebyl dokázán dostatečně vysoký přírůst u nejnižše položených stanovišť. To bylo odůvodněno nedostatkem dat a výskytem stromů nižší nadmořské výšky na velmi chudých a poměrně raritních rašelinných stanovištích.

V poslední části byl zkoumán vliv lesního vegetačního stupně stanoviště na přírůstu. Zde bylo zjištěno, že nejnižší přírůst je v osmém lesním vegetačním stupni, kde mají stromy nejvíce omezen přístup ke světelné a tepelné energii v průběhu roku. Zde vykazovaly stromy dokonce nižší přírůst než na přirozených borových stanovištích nultého lesního vegetačního stupně, který je charakteristický velmi nehostinnými podmínkami pro růst v podstatě jakékoli vegetace. U ostatních vegetačních stupňů byly pozorované očekávatelné trendy, kdy se přírůst s klesajícími vegetačními stupni zvyšoval.

Mým osobním názorem je, že výzkum dynamiky přírůstu je velmi důležitý, a to zejména pro stanovení doporučení pro pěstování lesa na určitých stanovištích za účelem výchovy zdravých a stabilních porostů plnicích jak produkční, tak mimoprodukční funkce lesa. Dále by bylo jistě potřeba pečlivě a komplexně prozkoumat růstové charakteristiky u všech hospodářských dřevin České republiky za účelem upevnění pozice našeho národa na předních příčkách v oblasti evropského a dost možná i světového lesnictví.

9 Seznam použitých zdrojů

Babst, F., Poulter, B., Trouet, V., Tan, K., Neuwirth, B., Wilson, R., Carrer, M., Grabner, M., Tegel, W., Levanić, T., Panayotov, M., Urbinati, C., Bouriaud, O., Ciais, P., Frank, D., 2013. Site- and species-specific responses of forest growth to climate across the European continent. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 22, 706–717.

Bošeľa, M., Sedmák, R., Sedmáková, D., Marušák, R., Kulla, L., 2014. Temporal shifts of climate-growth relationships of Norway spruce as an indicator of health decline in the Beskids, Slovakia. *Forest Ecology and Management* 325, 108-117.

Cienciala, E., Altman, J., Doležal, J., Kopáček, J., Štěpánek, P., Stáhl, G., Tumajer, J., 2018. Increased struce tree growth in Central Europe since 1960s. *Science of the Total Enviroment* 619-620, 1637-1647.

Čihák, T., 2018. Růst a produkce hlavních středoevropských dřevin v podmínkách změny klimatu: Simulace a doporučení pro management lesa. Praha: Disertační práce, Katedra hospodářské úpravy lesa.

de Groot, M., Diaci, J., Orgis, N., 2018. Forest management history is an important factor in bark beetle outbreaks: Lesson for the future. *Forest Ecology and Management* 433, 467-474.

Dobbertin, M., 2005. Tree growth as indicator of tree vitality and of tree reaction to environmental stress: a review. *Eur. J. For. Res.* 124, 319–333.

Duda, M. Vegetační lesní stupně v České republice. Michal Duda: Technologie [online]. 24.10.2009 [16.4.2019]. Dostupné z WWW: <<http://obnova-lesa.euweb.cz/VLS.pdf>>.

Filippo, A., Biondi, F., Piovesan, G., Ziaco, E., 2017. Tree ring-based metrics for assessing old-growth forest naturalness. *Journal of Applied Ecology* 54, 737-749.

Fraver, S., D'Amato, A.W., Bradford, J.B., Jonsson, B.G., Jönsson, M., Esseen, P.-A., 2014. Tree growth and competition in an old-growth *Picea abies* forest of boreal Sweden: influence of tree spatial patterning. *J. Veg. Sci.* 25, 374-385.

Gholami, V., Chau, K.W., Fadaee, F., Torkaman, J., Ghaffari, A., 2015. Modeling groundwater level fluctuations using dendrochronology in alluvial aquifers. *Journal of Hydrology* 529, 1060-1069.

Godek, M., Sobik, M., Błaś, M., Polkowska, Ź., Owczarek, P., Bokwa, A., 2015. Tree rings as an indicator of atmospheric pollutant deposition to subalpine spruce forests in the Sudetes (Southern Poland). *Atmospheric Research* 151, 259-268.

Hochmanová, L., Lehmannová, R., 2016. Nejstarší smrk České republiky rostl na Šumavě. Dožil se 632 let. iROZHLAS [online]. 20.6.2016 [10.4.2019]. Dostupné z WWW: <https://www.irozhlas.cz/veda-technologie_priroda/nejstarsi-smrk-ceske-republiky-rostl-na-sumave-dozil-se-632-let_201606201950_kspicakova>.

Holkup, J., Polanská, L., 2013. Učební texty z předmětu Lesnická botanika. Vyšší odborná škola lesnická a Střední lesnická škola Bedřicha Schwarzenberga Písek.

Kovář, K., Hrdina, V., Bušina F., 2013. Učební texty z předmětu Pěstování lesů. Vyšší odborná škola lesnická a Střední lesnická škola Bedřicha Schwarzenberga Písek.

Krejčí, R., Černý, J., Havel, M., Hruška, J., Davies, T., Bridges, K., Peters, N., Húnová, I., Zeman, Z. 2001. Poškození smrkového lesa v Krušných horách: Vliv námrazy a změn ve složení emisí elektráren [online]. 2001, 10 [14.4.2019]. Dostupné z WWW: <<https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2001/cislo-10/poskozeni-smrkoveho-lesa-krusnych-horach.html>>.

Lagercrantz, U., Ryman, N., 1990. Genetic structure of Norway spruce (*Picea abies*): concordance of morphological and allozymic variation. *Evolution*, 38-53.

Levanič, T., Gričar, J., Gagen, M., Jalkanen, R., Loader, N., McCarroll, D., Oven, Robertson, I., 2009. The climate sensitivity of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] in the southeasteren European Alps. *Trees*, 23, 169-180.

Łuszczynska, K., Wistuba, M., Malik, I., 2017. Dendrochronology as a source of data for landslide activity - an example from Beskid Żywiecki Mountains (Western Carpathians, Poland). *Environ. Socio.-econ. Stud.*, 5, 3: 40-46.

MZe, Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2017 [online]. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2018 [9.4.2019]. Dostupné z WWW: <http://www.uhul.cz/images/ke_stazeni/zelenazprava/ZZ_2017.pdf>.

Myers-Smith, I., Hallinger, M., Blok, D., Sass-Klaassen, U., Rayback, S., Weijers, S., Trant, A., Tape, K., Naito, A., Wipf, S., Rixen, C., Dawes, M., Wheeler, J., Buchwal, A., Baittinger, C., Macias-Fauria, M., Forbes, B., Lévesque, E., Boulanger-Lapointe, N., Beil, I., Ravolainen, V., Wilmking, M., 2015. Methods for measuring arctic and alpine shrub growth: A review. *Earth-Science Reviews* 140, 1-13.

NP Šumava, [2018]. Příroda: Základní údaje. Národní park Šumava [online]. [2018] [15.4.2019]. Dostupné z WWW: <<http://www.npsumava.cz/cz/1261/sekce/zakladni-udaje/>>.

Pagan, J., Randuška, D., 1987. Atlas dřevín 1 (Pôvodné dreviny). Obzor Bratislava, 65, 013-87.

Slávik, M., Bažant, V., 2016. Dřevařská dendrologie I. Dřeviny nahosemenné - Gymnospermophytae. Česká zemědělská univerzita v Praze.

Speer, J.H., 2010. Fundamentals of Tree-ring Research. University of Arizona Press,

Tomášková, I., Kubásek, J., 2016. Fyziologie lesních dřevin I.: Fyziologie, produkce a stresy dřevin. Česká zemědělská univerzita v Praze.

Tumajer, J., Altman, J., Štěpánek, P., Treml, V., Doležal, J., Cienciala, E., 2017. Increasing moisture limitation of Norway spruce in Central Europe revealed by forward modeling of tree growth in tree-ring network. *Agricultural and Forest Meteorology* 247, 56-64.

ÚHÚL, 2018. Lesnická typologie. Ústav pro hospodářskou úpravu lesa [online]. [1.2.2018] [cit. 9.4.2019]. Dostupné z WWW: <<http://www.uhul.cz/nase-cinnost/lesnicka-typologie>>.

Úředníček, L., Maděra, P. a kolektiv, 2001. Dřeviny České republiky. Matice Lesnická, Písek.

Vejpustková, M., Čihák, T., Šrámek, V., 2018. Tloušťkový přírůst smrku (*Picea abies* (L.) Karst.) a buku (*Fagus sylvatica* L.) ve stejnorodých a smíšených porostech. *Zprávy lesnického výzkumu* 4:272-280.