

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra ekologie lesa



**Fakulta lesnická
a dřevařská**

**Vliv nadmořské výšky na růst a vodní deficit smrku
ztepilého (*Picea abies*) v České republice**

Bakalářská práce

Eva Čiháková

Doc. Ing. Radim Matula, Ph.D.

2022/2023

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Eva Čiháková

Lesnictví

Ochrana a pěstování lesních ekosystémů

Název práce

Vliv nadmořské výšky na růst a vodní deficit smrku ztepilého (*Picea abies*) v České republice

Název anglicky

The effect of altitude on growth and water deficit of Norway spruce (*Picea abies*) in the Czech Republic

Cíle práce

Smrk ztepilý je nejdůležitější hospodářskou dřevinou České republiky, avšak jeho porosty byly v posledních letech silně zasaženy suchem, které způsobilo jejich rozsáhlé odumírání. Klimatické modely ale předpovídají, že v důsledku klimatické změny budou sucha a extrémně vysoké teploty stále častější a intenzivnější a smrk tak bude možné rozsáhleji pěstovat pouze ve vyšších polohách, než tomu bylo do současnosti. Doposud však existuje jen překvapivě málo empirických informací o tom, jak se liší růst a vodní stres u smrku v rámci rozdílných klimatických podmínek České republiky. Cílem práce bude vyhodnotit růst a vodní deficit smrku ztepilého na gradientu nadmořských výšek v rámci monitorovací sítě vlivů klimatu na hlavní dřeviny České republiky.

Metodika

Data budou sbírána na trvalých výzkumných plochách monitorovací sítě vlivů klimatu na hlavní dřeviny České republiky, kterou spravuje Katedra ekologie lesa. Tato síť pomocí automatických bodových dendrometrů kontinuálně (každých 15 minut) měří tloušťkové změny kmenů více než 650 stromů rozmístěných systematicky po celém území České republiky, a to od nížin po hory. Za účelem této práce budou z této sítě vybrány plochy s výskytem smrku ztepilého, které budou následně navštíveny za účelem stažení dat z dendrometrů a změření základních parametrů sledovaných stromů.

Získaná data budou v prvním kroku vyčištěna a zpracována pomocí balíčku PLOTer v programu R. V rámci následných statistických analýz bude z dat vypočítán růst a vodní deficit pro každý bod měření. Pro vyhodnocení dynamiky růstu a vodního deficitu v čase budou použity zobecněné aditivní modely. Pro srovnání přírůstu a dalších proměnných bude použito obecných nebo zobecněných lineárních modelů. Všechny tyto analýzy budou provedeny v programu R.

Harmonogram

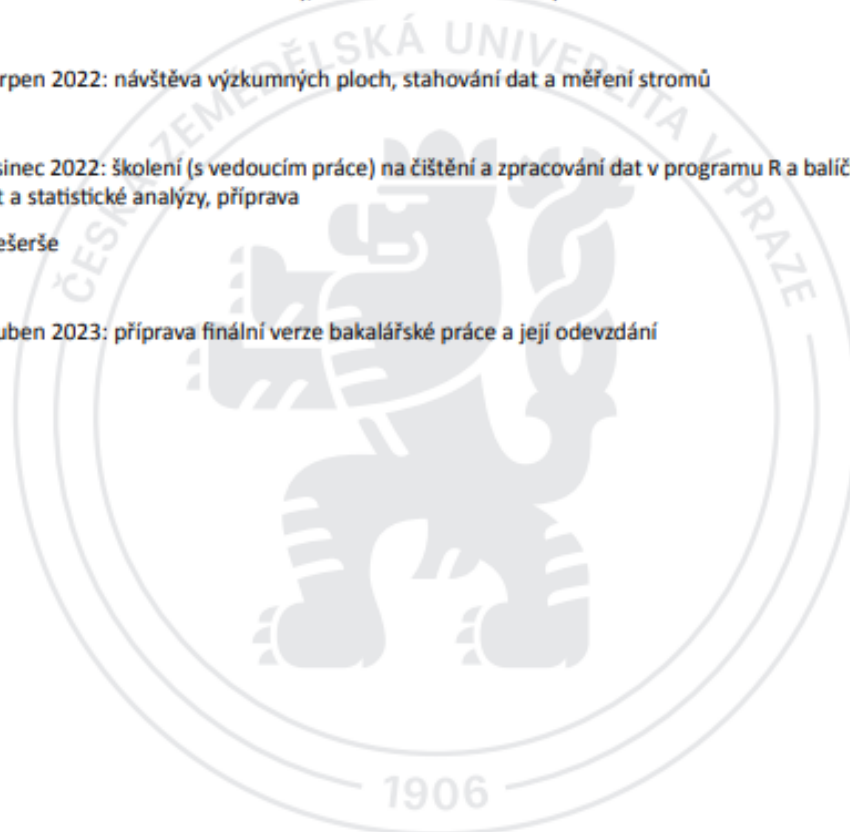
březen – květen 2022: studium literatury, konzultace s vedoucím práce

duben – srpen 2022: návštěva výzkumných ploch, stahování dat a měření stromů

září – prosinec 2022: školení (s vedoucím práce) na čištění a zpracování dat v programu R a balíčku PLOTer, čištění dat a statistické analýzy, příprava

literární rešerše

leden – duben 2023: příprava finální verze bakalářské práce a její odevzdání



Doporučený rozsah práce

30 stran

Klíčová slova

smrk ztepilý, růst stromu, sucho, klimatický gradient, dendrometry

Doporučené zdroje informací

- Dietrich, L., Zweifel, R., Kahmen, A., 2018. Daily stem diameter variations can predict the canopy water status of mature temperate trees. *Tree Physiology*. 38, 941–952.
- Etzold, S., Sterck, F., Bose, A.K., Braun, S., Buchmann, N., Eugster, W., Gessler, A., Kahmen, A., Peters, R.L., Vitasse, Y., Walthert, L., Ziemirńska, K., Zweifel, R., 2022. Number of growth days and not length of the growth period determines radial stem growth of temperate trees. *Ecology Letters*. 25, 427–439.
- Pretzsch, H., Rötzer, T., Matyssek, R., Grams, T.E.E., Häberle, K.H., Pritsch, K., Kerner, R., Munch, J.C., 2014. Mixed Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst) and European beech (*Fagus sylvatica* [L.] stands under drought: from reaction pattern to mechanism. *Trees – Structure and Function*. 28, 1305–1321.
- Salomón et al., 2022. The 2018 European heatwave led to stem dehydration but not to consistent growth reductions in forests. *Nature Communications*. 13, 1–12.
- Zweifel, R., 2016. Radial stem variations – a source of tree physiological information not fully exploited yet. *Plant, Cell Environment*. 39, 231–232.

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FLD

Vedoucí práce

doc. Ing. Radim Matula, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra ekologie lesa

Elektronicky schváleno dne 25. 4. 2022

prof. Ing. Miroslav Svoboda, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 31. 8. 2022

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 25. 03. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: „*Vliv nadmořské výšky na růst a vodní deficit smrku ztepilého (Picea abies) v České republice*“ vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila, a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne: 4.4. 2023

Podpis autora:

Poděkování

Děkuji především doc. Ing. Radimovi Matulovi, Ph.D., za jeho odborné vedení, trpělivost a pomoc při zpracování mé bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat Janu Limpouchovi za pomoc při sběru dat v terénu. V neposlední řadě děkuji mým přátelům a rodině za nekonečnou podporu v mém studiu.

Vliv nadmořské výšky na růst a vodní deficit smrku ztepilého (*Picea abies*) v České republice

Abstrakt

Smrk ztepilý řadíme mezi nejvýznamnější hospodářskou dřevinu v České republice. Je to nejvíce zastoupená dřevina u nás. Přirozené rozšíření má zejména v horách, vysazuje se ale i na stanovištích, kde není původní. Smrk velmi dobře roste v místech, kde je dostatek vláhy. Sucho snáší velmi špatně. A právě v posledních letech byly jeho porosty silně poškozeny suchem, což značně ovlivnilo stabilitu těchto porostů a v důsledku toho začaly rozsáhle odumírat. Poslední roky data zaznamenala velká sucha a extrémně vysoké teploty. Klimatické modely předpovídají, že se budou tato období sucha stále častější a intenzivnější. Předkládaná bakalářská práce se zaměřuje na zhodnocení růstu a vodního deficitu smrku ztepilého. Zkoumáno je celkem 17 ploch, které jsou rozmístěny po celé České republice v různých nadmořských výškách. Plochy jsou umístěny v hospodářských lesích. Data pro tuto bakalářskou práci byla získána pomocí dendrometrů a statisticky vyhodnocena v programu R studio a Microsoft Excel. Výsledky této práce ukázaly, že se přírůsty smrku lišily v jednotlivých letech v závislosti na klimatických podmínkách a nadmořské výšce. Nejvíce smrk přirostl v roce 2022. V tomto období méně přirůstal v místech s nejvyšší teplotou. Naopak velmi dobře se mu dařilo tam, kde bylo nejvlhčeji. Nejvíce srážek zaznamenal rok 2021. Ukázalo se, že v tomto roce v místech s nejvyššími srážkami rostl smrk nejméně. Naopak tam, kde bylo v roce 2021 nejtepleji, rostl nejvíce. Stejně tak tomu bylo i v roce 2020. Tam kde bylo tepleji, smrk přirůstal více. Ve vyšších nadmořských výškách rostl smrk lépe pouze v roce 2022. V ostatních letech data ukázala, že se smrkům více dařilo v nižších nadmořských výškách. Do budoucna by se výsledky této práce mohly upřesnit o detailnější klimatologická data. Tím by bylo docíleno přesnějšimu obrazu o podmínkách ve studovaných porostech smrku.

Klíčová slova: smrk ztepilý, růst stromu, sucho, klimatický gradient, dendrometry

The effect of altitude on growth and water deficit of Norway spruce (*Picea abies*) in the Czech Republic

Summary

European spruce (*Picea abies*) is economically one of the most important trees in the Czech Republic. It is the most frequent tree in our country. Its natural distribution is mainly in the mountains, but it is also planted in habitats where it is not native. The spruce grows well in places where there is enough moisture. It tolerates drought very poorly. And just in recent years, its stands have been severely damaged by drought. This greatly affected the stability of these stands, and as a result, the spruces began to die off extensively. Recent years have shown severe drought and extremely high temperatures. Climate models predict that these droughts will become more frequent and intense. The presented bachelor's thesis focuses on the assessment of the growth and water deficit of European spruce (*Picea abies*). Total of 17 areas are investigated. They're located in the Czech Republic in different places with different altitudes. These areas are located in commercially used forests. The data for this bachelor's thesis were obtained by using dendrometers. Afterwards they were statistically evaluated in R studio and Microsoft Excel. The results of this work showed that spruce growth varied in individual years depending on climatic conditions and altitude. Spruce grew the most in 2022. In this period, it grew less in places with the highest temperature. On the contrary, it grew well in places with the highest humidity. The year 2021 recorded the highest amount of precipitation. It turned out that in this year, spruce grew the least in places with the highest precipitation. On the contrary, in the warmest places in 2021, it grew the most. It was the same in 2020. The warmer the weather, the faster the spruce grew. At higher altitudes, spruce grew faster only in 2022. In other years, the data showed that spruce grew faster at lower altitudes. In the future, the results of this work could be refined with more detailed climatological data. This would achieve more accurate picture of the conditions in the studied spruce stands.

Keywords: european spruce, tree growth, drought, climate gradient, dendrometers

Obsah

1. Úvod	11
2. Cíl práce	12
3. Literární rešerše	13
3.1 Úvod do problematiky.....	13
3.1.1 Charakteristika smrku ztepilého	13
3.1.2 Výskyt smrku ztepilého v České republice.....	14
3.2 Příčiny odumírání smrkových porostů	14
3.2.1 Stres v podobě abiotických činitelů	15
3.2.1.1 Klimatická změna.....	15
3.2.1.2 Vodní deficit.....	16
3.2.1.3 Větrné polomy.....	16
3.2.1.4 Sněhové polomy.....	17
3.2.1.5 Sněhové laviny	17
3.2.2 Stres v podobě biotických činitelů	17
3.2.2.1 Kůrovcová kalamita	18
3.2.2.2 Houbové patogeny	18
3.2.2.3 Vliv zvěře	19
3.3 Dendrometry	19
4. Metodika	20
4.1 Studované plochy	20
4.2 Geologické podloží a půdní podmínky	21
4.3 Sběr dat	22
4.4 Klimatologická data	24
4.5 Statistické metody	25
5. Výsledky práce	27
5.1 Tloušťkové přírůsty v jednotlivých letech	27
5.2 Tloušťkový přírůst v závislosti na průměrné teplotě vzduchu	28
5.2.1 Závislost přírůstu stromů na teplotě vzduchu v roce 2020	28
5.2.2 Závislost přírůstu stromů na teplotě vzduchu v roce 2021	29
5.2.3 Závislost přírůstu stromů na teplotě vzduchu v roce 2022	30

5.3	Tloušťkový přírůst v závislosti na ročním úhrnu srážek	31
5.3.1	Tloušťkový přírůst v závislosti na ročním úhrnu srážek v roce 2020	31
5.3.2	Tloušťkový přírůst v závislosti na ročním úhrnu srážek v roce 2021	32
5.3.3	Tloušťkový přírůst v závislosti na ročním úhrnu srážek v roce 2022	33
5.4	Kruhá výčetní základna v závislosti na nadmořské výšce	34
5.4.1	Kruhá výčetní základna v závislosti na nadmořské výšce v roce 2020	34
5.4.2	Kruhá výčetní základna v závislosti na nadmořské výšce v roce 2021	35
5.4.3	Kruhá výčetní základna v závislosti na nadmořské výšce v roce 2022	36
5.5	Kruhá výčetní základna v závislosti na ročním úhrnu srážek	37
5.5.1	Kruhá výčetní základna v závislosti na ročním úhrnu srážek v roce 2020	37
5.5.2	Kruhá výčetní základna v závislosti na ročním úhrnu srážek v roce 2021	38
5.5.3	Kruhá výčetní základna v závislosti na ročním úhrnu srážek v roce 2022	39
5.6	Kruhá výčetní základna v závislosti na průměrných ročních teplotách	40
5.6.1	Kruhá výčetní základna v závislosti na průměrných ročních teplotách za rok 2020	40
5.6.2	Kruhá výčetní základna v závislosti na průměrných ročních teplotách za rok 2021	41
5.6.3	Kruhá výčetní základna v závislosti na průměrných ročních teplotách za rok 2022	42
6.	Diskuse	43
6.1	Klimatologická data a nadmořská výška.....	43
6.1.1	Průměrné roční teploty	43
6.1.2	Roční úhrn srážek	44
6.1.3	Nadmořská výška	44
6.1.4	Doporučení a prognóza do budoucna	44
7.	Závěr a přínos práce	45
8.	Seznam literatury	46

1. Úvod

Probíhající globální oteplování negativně ovlivňuje lesní porosty. Lesy jsou v dnešní době vystavovány stále extrémnějším výkyvům klimatu. Nejvýznamnější faktory, které ovlivňují stabilitu a zdravotní stav porostů jsou sucho, extrémně vysoké teploty, bořivé a přepadové větry a v neposlední řadě také změna chemismu prostředí v podobě emisí. Tyto negativní vlivy na rostliny působí jako stres (Fanta et al. 2021). Dlouhotrvajícím vystavováním suchu se na stromech začnou projevovat znaky, které jsou okem na první pohled patrné. Výše zmíněné extrémní vlivy počasí způsobují změnu zbarvení asimilačních orgánů či defoliaci (Jucker et al. 2017, Plichta & Matula 2023).

Smrk je v České republice nejdůležitější hospodářskou dřevinou. V současné době je u nás nejzastoupenější dřevinou. Je poměrně rychle rostoucí, má nízké nároky na půdní prostředí a má dobrou kvalitu dřeva. Z těchto důvodů se jedná o velmi oblíbenou dřevinu. Klimatickou změnou jsou u nás nejvíce postiženy právě smrkové porosty. Nejčastěji trpí na nedostatek vláhy. Klimatické modely předpovídají, že v důsledku klimatické změny budou sucha a vysoké teploty stále častější a extrémnější. V oblastech s nedostatkem srážek není smrk trvale schopen růstu. Zejména v nižších polohách v oblastech s vyššími teplotami tyto porosty odumírají (Larcher 2003). Ve chvíli, kdy je smrk oslaben nedostatkem vláhy, může být v důsledku toho sekundárně napaden škůdci. Avšak nejen sucho ohrožuje vitalitu smrkových porostů. Z abiotických činitelů je to dále především vítr, sníh a námraza (Souček & Tesař 2008).

V současné době není jasné, v jakých nadmořských výškách je u nás nejvhodnější smrk pěstovat. Klimatická změna způsobuje změny, kvůli kterým bude nejspíše možné pěstovat smrkové porosty jen ve vyšších nadmořských výškách. Je to způsobeno tím, že v nižších polohách jsou často vyšší teploty, které nejsou pro smrk příznivé. O této problematice je ale velmi málo dostupných empirických informací. Moje bakalářská práce má přispět k širšímu poznání problematiky a přiblížit, jak se odlišuje růst u smrku v rámci rozdílných klimatických podmínek a nadmořské výšce v České republice.

2. Cíl práce

Cílem práce bylo vyhodnotit růst smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) H. Karst.) v závislosti na nadmořské výšce v letech 2020–2022. Dalším cílem bylo zhodnotit, jak variabilita klimatických podmínek v závislosti na nadmořské výšce ovlivnily spolu s meziroční variabilitou přírůst a produkci dřevní biomasy. Data byla získávána ze sítě monitorovacích ploch, které se nacházejí systematicky po celé České republice od nížin po hory.

3. Literární rešerše

3.1 Úvod do problematiky

3.1.1 Charakteristika smrku ztepilého

Smrk ztepilý je dřevina kontinentálního klimatu. Je poměrně málo náročná na půdu. Dokáže růst na širokém rozpětí stanovišť, a to od kyselých až po chudé půdy (Novák et al. 2014). Řadíme ho do čeledi borovicovité (*Pinaceae*). Jedná se o stálezelenou dřevinu. Jehlice vyrůstají z listových polštářků a jsou 4hranné (Poleno et al. 1994).

Smrk ztepilý je naše původní dřevina. U nás má těžiště přirozeného rozšíření v horských a podhorských oblastech. V nadmořské výšce nad 1000 m n. m. označujeme tyto porosty jako klimaxové smrčiny. V těchto lokalitách rostou v monokulturách nebo s příměsí jeřábu ptačího (*Sorbus aucuparia*). Mezi 700-1000 m n. m. roste ve směsi s bukem lesním (*Fagus sylvatica*), jedlí bělokorou (*Abies alba*) a javorem horským (*Acer pseudoplatanus*) V nižších polohách je tato dřevina častá v suprakolinním vegetačním stupni (Poleno et al. 1994). V 8. lesním vegetačním stupni je smrk jedinou přirozeně dominantní dřevinou a také jedinou dlouhověkovou dřevinou. Výborně roste na vlhké půdě. Nedostatek srážek snáší velmi špatně (Kindlmann et al. 2012).

Smrk je známý svou velkou proměnlivostí (Svoboda 1953). Rozlišujeme u něj tři základní formy tvaru semenných šupin. Variety *europaea*, *acuminata* a *obovata* (Poleno et al. 1994). Smrk je také dřevinou, která snáší velký zástín. Kvůli husté koruně porosty vytváří souvislý kryt. Jeho kořenový systém je plochý. Kořeny má rozložené na svrchnějších horizontech půdy, takže nezasahují do hlubších vrstev. Kvůli tomu často trpí na vývraty (Svoboda 1953). K vývratům nejčastěji přispívají abiotičtí činitelé jako je například těžký sníh, protože ho koruny smrku nejsou schopny unést, nebo nepříznivé povětrnostní podmínky. Silný vítr dokáže smrkové porosty značně narušit. Nejničivější je vítr bořivý, který dosahuje až 80 km/h. Předcházet takovýmto vlivům lze probírkami (Bezecký 1975).

U smrku dochází k anemogamnímu opylení neboli opylení větrem. Plodnost smrku určuje jeho stáří, nadmořská výška nebo genetické dispozice. Dřeviny neplodí každý rok, ale v určitých intervalech. Pro smrk se uvádí, že plodí v intervalu jednou za 5-6 let (Tomášková & Kubásek 2017).

Dřevo smrku je nejpoužívanější pro stavební konstrukce. Oproti jiným dřevinám má nízkou hustotu (435 kg.m^{-3}) a proto je oblíbený zejména pro dřevěné konstrukce. Nemale

využití má i v nábytkářství a v chemickém průmyslu pro výrobu buničiny (Dick et al. 2018, Sandberg 2018).

3.1.2 Výskyt smrku ztepilého v České republice

Smrkové porosty mají v České republice největší zastoupení. Vyskytují se od nížin až po vysokohorskou lesní hranici (Neumann 1986). Celkové doporučené zastoupení smrku v ČR je 36,5 %. Přirozeně se však vyskytuje pouze na 11 % našeho území. Přehled zastoupení našich nejvýznamnějších dřevin je uveden v tabulce 1.

Tabulka 1. – Zastoupení hlavních dřevin v České republice v roce 2021 (MZe ©2022).

Zastoupení hlavních evropských dřevin u nás					
skladba lesů	smrk	borovice	dub	buk	modřín
Přirozená	11,2	3,4	19,4	40,2	0,0+
Současná	48,1	16,0	7,6	9,3	3,9
Doporučená	28,3	13,2	12,7	22,5	4,2

Přirozené zastoupení smrku začíná v suprakolinním vegetačním stupni (200-550 m n. m.). V montánním vegetačním stupni (750-1100 m n. m.) roste přirozeně s jedlí a bukem a tvoří tak klimax horského smíšeného lesa. U horní hranice lesa (1000-1370 m n. m.) vytváří smrk takzvané klimaxové smrčiny. Tento vegetační stupeň nazýváme supramontánní (Musil et al. 2002).

Smrk se řadí k našim nejcitlivějším dřevinám vůči imisím. Mimo to je velmi náchylný na řadu abiotických i biotických vlivů, kvůli kterým v posledních letech značně odumírá. Zejména pak kalamita způsobená kůrovcem (*Ips typographus*) velmi ovlivnila stav našich lesů. Tím, že byly v přírodě příhodné podmínky pro šíření tohoto druhu, začal se šířit i ve smrčinách nad 900 m n. m. Mimo jiné značně ovlivňuje smrkové lesy i poškození sněhem, námrazou a větrem. Z pohledu těchto abiotických vlivů bývají smrky spolu s borovicí dominantně zasaženy polomy. I přes to zastoupení smrku v České republice k roku 2021 tvořilo 48,1 %. Těžba jehličnatých dřevin činila v roce 2021 bez mála 29 mil. m³. Velký rozdíl je vidět v porovnání s těžbou listnatých dřevin. Ta činila v tento rok 1,54 mil. m³ (MZe ©2022).

3.2 Příčiny odumírání smrkových porostů

Obecně lze říci, že odumírání jakéhokoliv druhu dřevin začíná stresováním daného jedince. Druhy stresů se odlišují podle toho, co ho způsobuje. Mezi abiotické činitele řadíme především extrémní teploty, sucho, námrazy, stres v podobě nedostatku živin v půdě nebo

přítomnost toxických látek. Biotické faktory ve vztahu k lesním dřevinám způsobují herbivorní živočichové, parazitické houby, viry nebo hmyzí škůdci (Fanta et al. 2021).

Nejen Česká republika se potýká s chřadnutím smrkových porostů. Biotičtí i abiotičtí činitelé způsobují, že je nutné ve smrkových porostech těžít především nahodilou těžbou. Smrk má pro svůj růst optimální podmínky v 6. a 7. lesním vegetačním stupni. Ideální podmínky jsou chladnější a vlhčí klimata, kde teplota nepřevyšuje 6°C a ročními srážky se pohybují nad 800 mm. Avšak v důsledku globálního oteplování se mění klimatické podmínky a není zcela jasné, v jakých podmínkách je možné smrk pěstovat. V minulosti byl smrk vysazován i do jiných lesních vegetačních stupňů, zejména do nižších nadmořských výšek. Zde jsou ale tyto porosty velmi nestabilní a neodolné například vůči špatným povětrnostním podmínkám (Novák et al. 2014).

Sucho je v České republice nejaktuálnější příčina stresu (Fanta et al. 2021). Není vyloučeno, že odumírání smrku na lokalitách s nevhodnými ekologickými podmínkami pro smrk bude spočívat v jarních a letních přísuších. To je způsobeno především nárůstem teploty a nepravidelnými srážkami (Novák et al. 2014). V rámci střední Evropy je smrk ztepilý aktuálně nejohroženější dřevinou. Je zřejmé, že pěstování smrku ztepilého ve středních a nižších polohách není zcela vhodné (Krejza et al. 2021). Vlny veder jsou pro lesní ekosystémy často velmi ničivé a jeho následky nevratné. Oproti listnatým dřevinám mají jehličnaté stromy nižší odolnost vůči suchu (Salomón et al. 2022).

3.2.1 Stres v podobě abiotických činitelů

3.2.1.1 Klimatická změna

Z Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC) je patrné, že se planeta otepluje nejrychleji za posledních 500 let. Nejnovější modely ukazují, že změna klimatu probíhá globálně a je nasnadě začít reagovat na její dopady (Novák et al. 2014). Extrémní teploty často způsobují nebezpečí odumření rostliny, a to především proto, že rostlině znemožňuje příjem vody v tekutém skupenství. Rostlina má řadu mechanismů, jak se proti tomu bránit. Ovšem při opravdu vysokých teplotách nastává nebezpečí poškození membrán buněk rostliny a denaturace enzymů. Proces monitoringu dopadů sucha na rostliny je velmi složitý. Existují takzvané gazometrické přístroje, které jsou schopny změřit všechny parametry ovlivňující fotosyntézu rostliny. Na základě toho jsme schopni zjistit vliv určitých stresů na rostlinu. Další možností měření fyziologických procesů v rostlině jsou ekofyziologické metody, díky kterým dokážeme

přesně určit, jak je strom stresovaný. Nevýhodou však je časová a finanční náročnost (Tomášková & Kubásek 2016, Špinlerová 2014).

Probíhající klimatická změna způsobuje extrémní meteorologické výkyvy. Stále častější období sucha doprovázené vysokými teplotami, způsobuje oslabení a chřadnutí smrkových porostů všech věkových kategorií (Holuša & Liška 2002).

Velmi významnou roli v klimatické změně hraje uhlík. Spolu s vodní parou, je oxid uhličitý jednou z nejdůležitějších sloučenin, která se podílí na skleníkovém efektu atmosférického obalu. Skleníkové plyny dokáží díky svým radiačním vlastnostem propustit krátkovlnnou sluneční radiaci na zemský povrch. Velmi důležitou roli zde hraje dlouhovlnná tepelná radiace. Ta je ohřátá ze zemského povrchu a díky ní, jsou na Zemi příznivé klimatické podmínky. Ve chvíli, kdy se zvyšuje množství skleníkových plynů, roste i teplota na Zemi. Oxid uhličitý svým navyšováním tedy zapříčiňuje globální oteplování. Největší množství CO₂ je do atmosféry uvolňováno antropogenními činnostmi, konkrétně spalováním fosilních paliv. V nemalém množství tomu ale také přispívá velkoplošné kácení lesních ekosystémů (Pokorný 2013).

3.2.1.2 Vodní deficit

Stromy přirůstají nejvíce v červnu a v červenci. Rostliny svojí vegetační dobu určují podle teploty a délky dne. Velkým limitujícím faktorem růstu je vlhkost vzduchu a půdy. Nedostatek vody totiž zapříčiňuje přerušovaný růst (Pretzsch et al. 2014). Vytvoření nových buněk a jejich růst v běli se považuje za nevratnou radiální expanzi kmene (Cuny et al. 2015). Kromě tohoto ale jeho radiálním zvětšováním dochází i ke zvětšování a následnému smršťování kmene. To je způsobeno tím, že v pletivech kmene dochází ke změnám obsahu vody. Nejvíce tato změna probíhá v kůře. Obsah vody v pletivech se mění i v rámci jednoho dne (Zweifel et al. 2018). Bobtnání a smršťování je vyvolané vodním deficitem. To je způsobeno nerovnováhou mezi příjmem vody kořenovým systémem a transpirací daného jedince (Zweifel et al. 2005).

3.2.1.3 Větrné polomy

Velké škody v lesním hospodářství způsobuje vítr. Obecně je to horizontální proudění vzduchu způsobené Coriolisovou silou, odstředivou silou a silou tření. Míru ničivosti větru nám určuje Beaufortova dvanáctidílná stupnice. Rozřazuje intenzitu větru podle jeho rychlosti a průměrného tlaku do 13 kategorií od bezvětří (0) až po orkán (12). Největší škody v lesních porostech způsobuje nárazový bořivý vítr (od 6°B) (Poleno et al. 1995).

To, že je vítr opravdu ničivý dokazuje orkán Kyrill na Šumavě v zimě v roce 2007. Způsobil poškození okolo 700 tisíc m³ dřevní hmoty. Navíc historicky se perioda bořivých větrů zkracovala, a kvůli měnícímu se klimatu se dá očekávat, že tyto kalamity budou stále častější (Ševetínský 1895). Rychlost proudění vzduchu má celou řadu limitujících faktorů, jako jsou například parametry reliéfu. Ty se velkou měrou podílejí na vzniku polomových škod v lesních porostech (Kolejka et al. 2010). Mezi další parametry míry poškození porostu je věk, výška, stabilita a zdravotní stav. U horských smrčín dochází nejčastěji k vyvrácení celého stromu. Je to způsobeno jeho povrchovým kořenovým systémem, kvůli kterému se kmen stromu nezlomí, ale působením větru se celý povalí (Vicena et al. 2004).

3.2.1.4 Sněhové polomy

Sněhové polomy jsou způsobené těžkým mokřým sněhem. Čím déle je sníh v korunách, tím větší je riziko únavy dřeva (Poleno et al. 1995). Například v Moravskoslezských Beskydech v roce 2005-2006 rozsáhle poškodil smrkové porosty těžký sníh. Není tomu tak však každý rok. Na množství sněhových polomů má vliv průběh zimy, množství a hustota sněhové pokrývky (Křístek & Holuša 2014).

3.2.1.5 Sněhové laviny

Dalším stresem vyvolaným abiotickým činitelem jsou laviny. Jedná se o rychlý sesuv sněhu, který se dostává do pohybu z různých příčin (Poleno et al. 1995).

Nejčastější výskyty jsou v místech lavinových svahů. Pro ty je typická vysoká sklonitost terénu s porosty s nízkým zápojem, nebo s úplnou absencí porostu. Obrana proti těmto vlivům jsou husté lesy. Laviny zvyšují erozi půdy, svou činností narušují lesní ekosystémy a tím i zvyšují pravděpodobnost vzniku dalších disturbancí. U smrkových porostů jsou nejvíce zasaženy horské smrčiny. Nejnáchylnější k poškození jsou nižší stromy s menší tloušťkou kmene. Naopak malé pružné stromky odolávají lavinám lépe, protože jsou více ohebné a nedochází u nich ke zlomení (Bebi et al. 2009).

3.2.2 Stres v podobě biotických činitelů

Biotické faktory způsobují herbivorní živočichové, hmyzí škůdci, viry nebo houby. Organismus se před stresem může bránit tím, že si na něj vytvoří odolnost. Zde ale platí, že čím větší je míra stresu, tím se rostlině snižuje schopnost před daným stresem bránit. Další možností je se tomuto vlivu vyhnout. Zde mají ale rostliny zásadní omezení, jelikož se narozdíl od živočichů šíří pomaleji, a to řádově jen stovky metrů za rok (Fanta et al. 2021).

3.2.2.1 Kůrovcová kalamita

Smrk roste přirozeně ve vyšších nadmořských výškách. V důsledku pěstování smrku v nižších polohách došlo k velkému šíření lýkožrouta smrkového (*Ips typographus*). Tento druh je řazen mezi hlavní škůdce na smrku, není však jediný, který na smrku parazituje. Mezi další doprovodné druhy řadíme např. lýkožrouta lesklého (*Pityogenes chalcographus*) a lýkožrouta severského (*Ips duplicatus*). To, v jakých částech stromu se nachází, určuje velikost jeho těla. Lýkožrout smrkový je poměrně velký, a proto potřebuje pro svůj život větší prostor. Z tohoto důvodu se nejčastěji nachází v bazální části kmene. Naopak lýkožrout severský a lesklý je menší. Z toho důvodu se vyskytují v korunové části, zejména ve větvích (Fanta et al. 2021).

Lýkožrout smrkový (*Ips typographus*) je ve střední a severní Evropě řazen mezi nejvýznamnější hmyzí škůdce. Jedná se o druh z čeledi kůrovcovitých, který primárně napadá vytěžené smrkové dříví. Až ve chvíli, kdy nemá dostatek potravy se sekundárně šíří na dospělé stojící smrky. Lýkožrout lesklý (*Pityogenes chalcographus*) je černohnědý brouk z čeledi kůrovcovitých. Napadá čerstvě pokácené dřevo nebo oslabené jedince smrku ale i borovice. Může vytvářet dvě generace, ale v příhodných podmínkách má často i o jednu generaci více. Proti rozšíření tohoto druhu lze použít lapáky a feromonové lapače s agregačním feromonem chalcogran. Lýkožrout severský (*Ips duplicatus*) je další druh z čeledi kůrovcovitých. Typický výskyt tohoto druhu je v severní tajze, kde napadá spíše mladší smrky (Poleno et al. 1994).

3.2.2.2 Houbové patogeny

Dalším významným biotickým stresorem jsou různé druhy parazitických hub. Velmi významná je václavka smrková (*Armillaria ostoyae*). Řadíme ji mezi stopkovýtrusé houby neboli bazidiomycety. Pro tento saprofytický druh je typické, že napadá oslabené smrky v místech, kde nejsou původní. Napadá dřevo kořenů a pařezů (Poleno et al. 1995). Václavka způsobuje takzvanou bílou hnilobu. Svým tělem umí rozložit celulózu i lignin. Mycelium se dokáže šířit na větší vzdálenosti díky rhizomům, které prorůstají i neporušenou kůrou zdravých stromů. Další dřevokazná houba, která způsobuje bílou hnilobu smrku je kořenovník (*Heterobasidion sp.*). Pro něj je typické, že napadá jádrové dřevo smrků. Ve vyšších nadmořských výškách nezpůsobuje velké škody. Je ale i hrozbou v porostech v nižších nadmořských výškách a na zalesněných zemědělských půdách. V neposlední řadě způsobují

škody i troudnatec pásový (*Fomitopsis pinicola*) a pevník krvavějící (*Stereum sanguinolentum*) (Tomášková & Kubásek 2016).

Řada houbových patogenů napadá jehlice. Nákaza se nejčastěji projevuje žloutnutím a usycháním jehlic jehličnatých dřevin. Jedná se o druhy ze třídy vřeckovýtrusých a stopkovýtrusých hub (Poleno et al. 1995). Například *Lophodermium macrosporum* napadá husté, středně staré porosty. Způsobuje světle hnědé zabarvení loňských jehlic. Oproti tomu *Lophodermium piceae* napadá přestárlé jehlice smrku a vytváří na nich malé červené plodničky (Hartmann et al. 2001).

3.2.2.3 Vliv zvěře

Škoda způsobená jelení a dančí zvěří na smrku se nazývá loupání. Projevuje se odtrháváním kůry v pruzích v průběhu léta. Další působení zvěře na porosty se nazývá ohryz, kdy jelení a dančí v zimním období okusují kůru. Tomuto jevu se v myslivecké mluvě říká okus. I drobná zvěř, jako je zajíc obecný, způsobuje škody na smrku, a to převážně na sazenicích a na stromkách v podrostu (Zácha & Bařa 1998). Zásadní problém je v poškození kůry stromu, protože odhalením dřeva se umožní vstup hnilob do rostliny. Parazitické houby znehodnocují kvalitu dřeva. Na smrku se velmi často vyskytuje pevník krvavějící (*Stereum sanguinolentum*). Byl nejvíce zaznamenán u nejvíce poškozených jedinců ve 2. a 4. věkové třídě (Čermák et al. 2003).

3.3 Dendrometry

Bodové dendrometry jsou přístroje, které se používají k zaznamenávání změn tvaru kmene stromu (Drew & Downes 2009). Toto zařízení zaznamenává tloušťku kmene každých 15-60 min. (Krejza et al. 2021). Transport vody a minerálních látek umožňuje vodivé pletivo xylém. Ve chvíli, kdy dojde k velkému výdeji vody rostlinou, dojde ke snížení hydrostatického tlaku v buňkách (Tomášková & Kubásek 2017). Dendrometr dokáže tento pohyb v kmeni zaznamenat s velkou přesností (Zweifel & Sterck 2018). Výhodou je minimální náročnost na údržbu. Termočlánek, který je umístěný ve spodní části těla dendrometru, umožňuje zaznamenávat i teplotu vzduchu. Díky tomuto přístroji dokážeme monitorovat stav a růst stromů a tím i dopady sucha na dospělé stromy (Matula et al. 2022).

4. Metodika

Pro tuto bakalářskou práci byla data získávána ze sítě monitorovacích ploch v České republice. Jednotlivé plochy zahrnovaly různé nadmořské výšky od nížin po hory (tabulka 2). Zpracována byla data za roky 2020, 2021 a 2022. Síť pomocí automatických dendrometrů zaznamenává každých 15 minut tloušťkové změny kmene u našich hlavních hospodářských dřevin (smrk ztepilý, borovice lesní, buk lesní, dub zimní a letní). Přírůsty zaznamenává u více než 650 stromů. První plochy byly zakládány v roce 2020 a dodnes se síť po republice rozšiřuje (Matula et al. 2022).

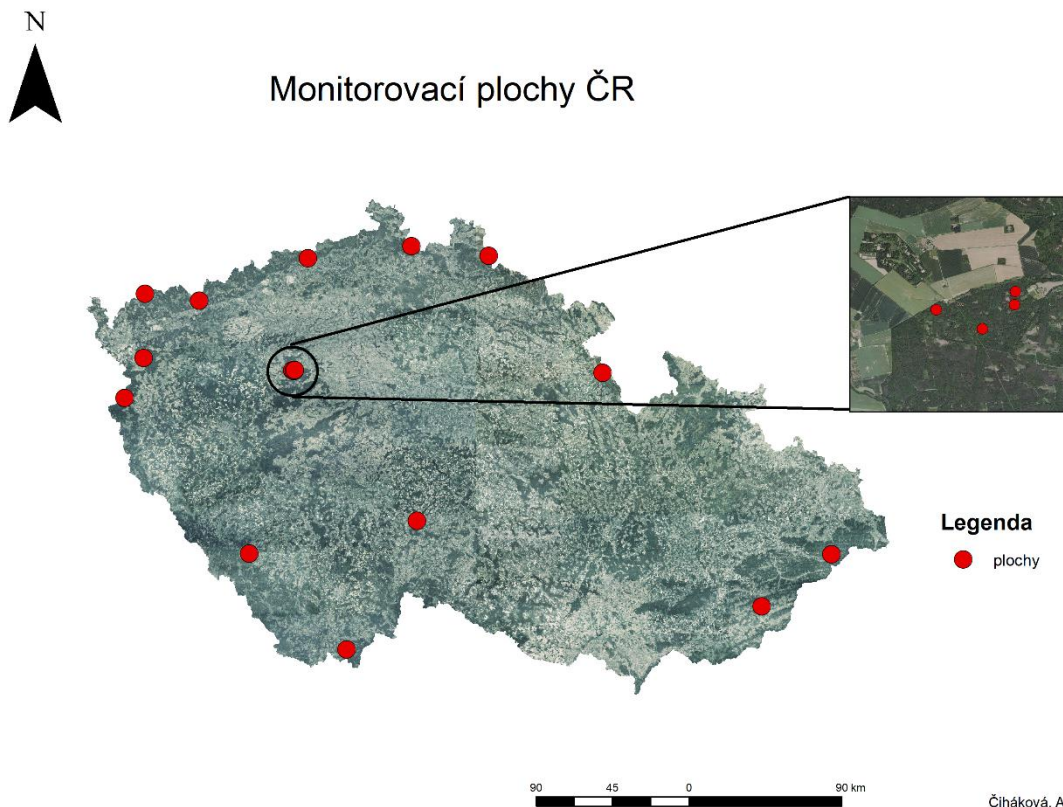
4.1 Studované plochy

Sběr dat probíhal ve smrkových porostech po celé České republice. Pro tuto bakalářskou práci byla data získávána z první systematické celorepublikové sítě výzkumných ploch pro monitoring vlivů klimatu na lesní dřeviny. Monitorovací síť je určena tak, aby zahrnula různé nadmořské výšky od nížin až po hory. Díky tomu můžeme zaznamenat případný vliv nadmořské výšky na růst smrku. Každá z ploch je kruhová a má 1000 m². Všechny informace o daných plochách jsou uvedeny v tabulce číslo 2. Rozmístění ploch je vidět na mapě České republiky (Obr. 1).

Na plochách se dále zaznamenávaly základní dendrometrické veličiny. Výšky stromů byly měřeny pomocí elektrického výškoměru VERTEX. Tloušťky stromů byly získávány měřením pomocí pásma ve výšce kmenu 1,3 metrů nad zemí. Průměrná tloušťka všech zkoumaných stromů byla 38,8 cm a výška 30,7 m. Dále se určovalo růstové postavení stromu v porostu.

Na každé ploše je nainstalováno pět automatických dendrometrů značky TOMST, které zaznamenávají změny tloušťky kmene v 1,3 m. Každý dendrometr je označen osmimístným evidenčním číslem, kdy první dvě číslice jsou vždy 92 (Např. 92192189). Tento kód je důležitý pro další práci s daty. Bodové dendrometry TOMST mají oproti pásovým řadu výhod. Jsou odolné vůči klimatickým extrémům, snadno se instalují a transportují. Obsahují lithiovou baterii, díky které je dendrometr v provozu až deset let. Nevýhodou může být nevyměnitelná baterie. Mimo přírůstu zaznamenává přístroj i teplotu vzduchu.

Dendrometr je díky svému umístění a velikosti odolný vůči povětrnostním vlivům, mrazu, extrémním teplotám, vlhkosti a UV záření. Oproti páskovým dendrometrům jsou vhodnější na stromy s členitým obvodem kmene. (Plichta & Matula 2023).



Obrázek 1. Přehled monitorovacích ploch na ortofoto mapě České republiky. Oblast v kroužku je oblast v okolí obce Amálie. V tomto místě jsou plochy hustě rozmístěny, proto je tato část České republiky zvětšena v rámečku v pravém horním rohu. Mapa byla vyhotovena v programu ArcMap.

4.2 Geologické podloží a půdní podmínky

Informace o geologických a pedologických podmínkách byly zjištěny z České geologické služby. Pro určení podloží byla využita geologická mapa v měřítku 1: 50 000 a pro půdní podmínky půdní mapa v měřítku 1:50 000 (tabulka 2).

Tabulka 2: Tabulka popisuje základní informace o studovaných plochách (Nadmořská výška, podloží, půda, průměrná roční teplota a roční úhrn srážek).

Plocha	Souřadnice		Nadmořská výška	Typ plochy	Půdy	Podloží
	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka				
2326	49,3978	15,0247	676	ICP	kambizem mesobazická	ruly
904	50,3787	12,5507	684	ICP	kryptopodzol modální	granity
908	50,3883	13,0036	1029	ICP	glej zrašelinělý	muskovit
B080	50,6969	13,8424	561	ICP	kambizem dystrická	ryolity, dacity
H020	49,8159	12,5243	678	ICP	hnědá půda kyselá	ruly
M070	49,1041	13,7176	791	ICP	kryptopodzol modální	ruly
P110	48,6730	14,5990	764	ICP	hnědá půda	ruly
Q211	50,8368	15,3362	911	ICP	rašelinistní půda přechodová oligotrofní	muskovit
Q251	50,2925	16,3903	936	ICP	rašelinistní půda vrchovištní	muskovit
Q401	49,4538	18,3990	654	ICP	kambizem mesobazická	pískovce, jílovce
Q521	50,0423	12,6251	880	ICP	kryptopodzol modální	granity
BP I/3	50,0965	13,8503	415	ICP	kambizem mezobazická	břidlice, droby
BP II/2	50,0947	13,8618	439	ICP	kambizem oglejená mesobazická	břidlice, droby
BP III/1	50,0990	13,8685	406	ICP	kambizem oglejená mesobazická	břidlice, droby
BP III/2	50,1010	13,8683	394	ICP	hnědozem luvická	břidlice, droby
323	50.8353	14.68563	615	ICP	kambický ranker	trachyty
2652	49.1472	17.8740	461	ICP	kambizem modální	hlinotopísčité sediment

4.3 Sběr dat

Data byla získávána z bodových dendrometrů, které jsou nainstalované na síti monitorovacích ploch v České republice. Sběr probíhal ve smrkových porostech po ukončení vegetační doby v říjnu a listopadu 2022 (obr.2). Data se stahovala z 17 ploch, z toho na každé ploše se nachází vždy 5 dendrometrů. Data zaznamenávají průběh růstu stromu za roky 2020–2022.

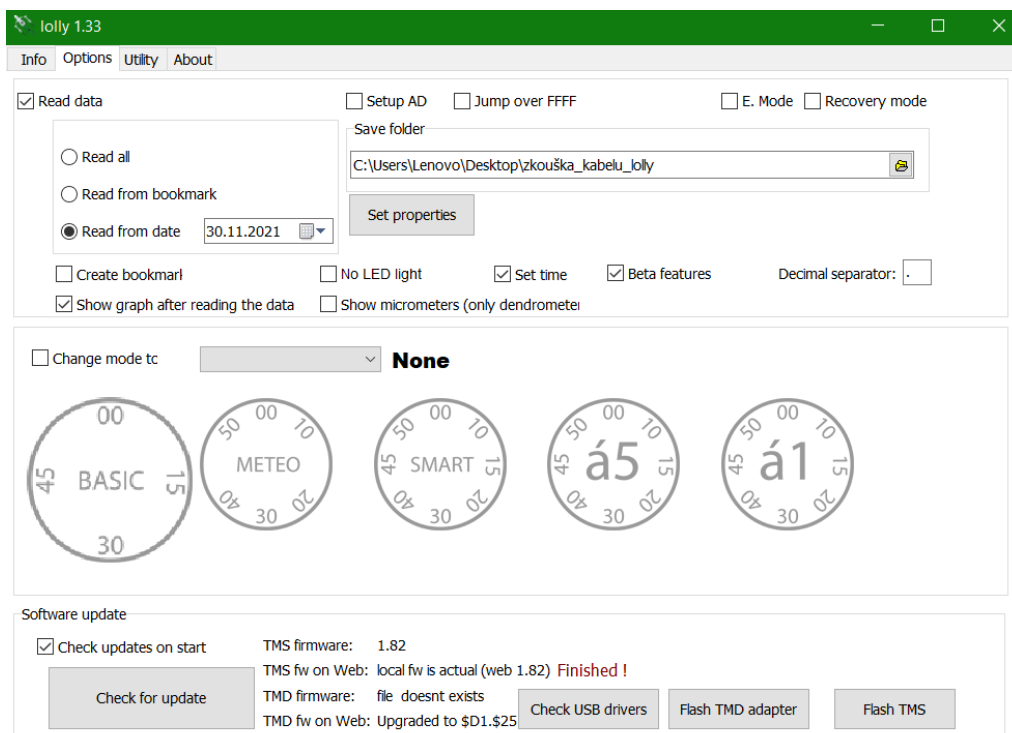
Stahování dat probíhalo pomocí datového kabelu, který byl připojen k počítači a přiložením TMD adaptéru k dendrometru. Tento kabel dodává výrobce spolu se softwarem.

Dále bylo důležité mít nainstalovaný program Lolly manager, který je kompatibilní s Windows. Po nastavení výchozích parametrů je možné data z dendrometru stáhnout. Řádově je doba stahování v rámci v minut. Po skončení stahování se na počítači ukáže průběh teplotní a přírůstové křivky. Je důležité tuto křivku zkontrolovat, protože na jejím základě dokážeme určit funkčnost dendrometru.

Po exportu dat z dendrometru se do příslušné složky ukládají tři soubory ve specifickém formátu (comma-separated values (csv)). S takto uloženým souborem se dále data zpracovávala pomocí statistických metod.



Obrázek 2: Dendrometr TOMST instalovaný na smrku ztepilém s evidenčním číslem (92192530). Přístroj je ke stromu připevněn zavrtaným šroubem.



Obrázek 3: Lolly manager, pomocí kterého může dojít ke stažení dat z dendrometru. Obrázek ukazuje prostředí programu v průběhu stahování dat. Stupnice v dolní straně obrázku ukazuje množství stažených dat.

Z přírůstků byla dále vypočítána kruhová výčetní základna, která se někdy značí jako (g) a nebo BAI. Tato hodnota vyjadřuje plochu příčného průřezu kmene v m^2 (Šmelko 2007). Pro naše účely je uváděna v dm^2 . Data byla dále statisticky analyzována v programu Microsoft Excel.

4.4 Klimatologická data

Klimatologická data byla získána z Českého hydrometeorologického ústavu. Pro vytvoření statistických analýz byla potřeba data pro roční úhrn srážek a průměrné roční teploty. Ty se poté v programu Microsoft Excel dále zpracovávaly (tabulka 3).

Tabulka 3: Celkové roční teploty a úhrny srážek za roky 2020, 2021 a 2022.

Plocha	Roční úhrn srážek v mm			Celkové roční teploty ve °C		
	2020	2021	2022	2020	2021	2022
2326	785,4	731,9	619,0	8,70	7,68	8,88
904	633,3	716,5	624,0	8,09	6,81	8,29
908	632,4	733,7	524,0	9,32	8,19	9,53
B080	632,4	733,7	524,0	9,32	8,19	9,53
H020	785,8	524,0	668,0	8,87	9,53	9,11
M070	860,5	811,7	737,0	8,55	7,73	8,71
P110	928,4	872,9	737,0	8,55	7,53	8,71
Q211	928,8	823,1	757,0	8,63	7,53	8,55
Q251	802,5	983,2	677,0	9,09	7,44	9,01
Q521	716,8	771,3	696,0	8,09	7,84	8,82
BP I/3	493,9	965,2	624,0	9,93	7,93	8,29
BP II/2	493,9	852,7	615,0	9,93	6,81	9,96
BP III/1	493,9	565,3	615,0	9,93	8,72	9,96
BP III/2	493,9	565,3	615,0	9,93	8,72	9,96
323	699,8	762,1	615,0	8,63	7,44	9,96
2652	848,1	727,0	612,0	9,29	8,34	9,39

4.5 Statistické metody

Pro vyhodnocení dat z dendrometrů byl využit statistický program R-Studio. Ten je ke stažení zdarma. Pro další práci s daty je potřeba nainstalovat balíčky Shiny a PLOTer. Po instalaci se nutně do příkazového řádku v R-Studio zadat skript (obrázek 4.).

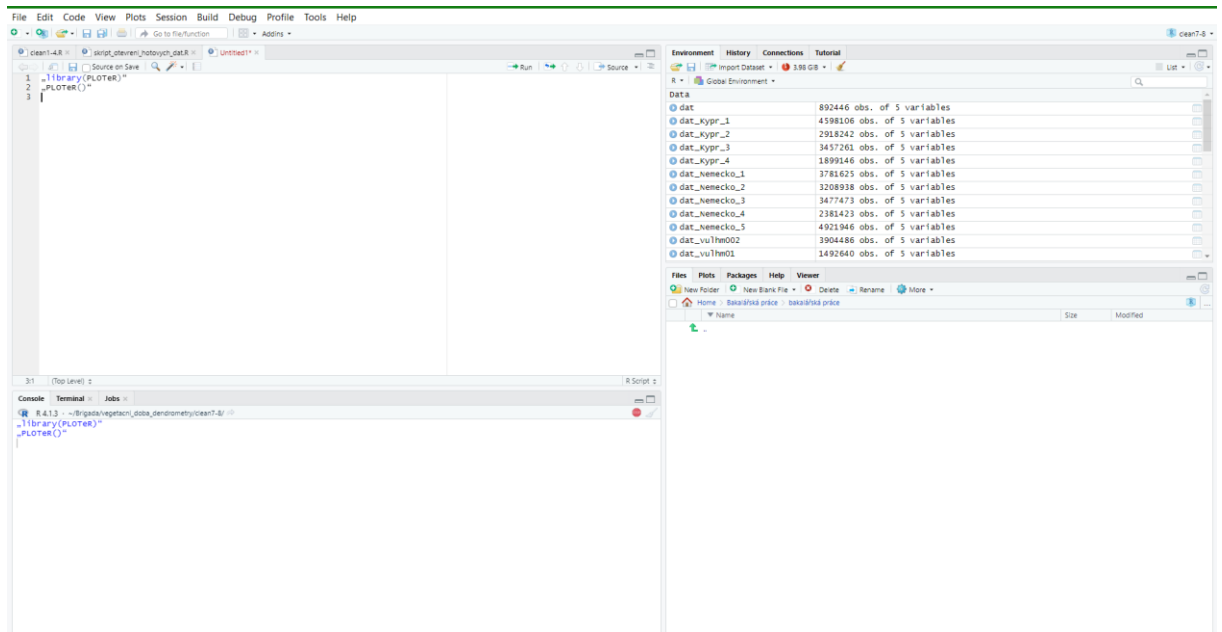
```
„library(PLOTer)“  
„PLOTer()“
```

Po spuštění tohoto skriptu se PLOTer automaticky otevře ve webovém prohlížeči, kde lze po nahrání dat ze složky s daty dále pracovat a provádět úpravy. V prvním kroku je nutné označit všechny dendrometry a zvolit druh grafu (teplota vzduchu, přírůstový graf) na první liště. V druhé liště se již objevují konkrétní grafy teploty vzduchu a přírůstků jednotlivých dendrometrů. Každý graf je označen evidenčním číslem konkrétního dendrometru, ze kterého se data stahovala.

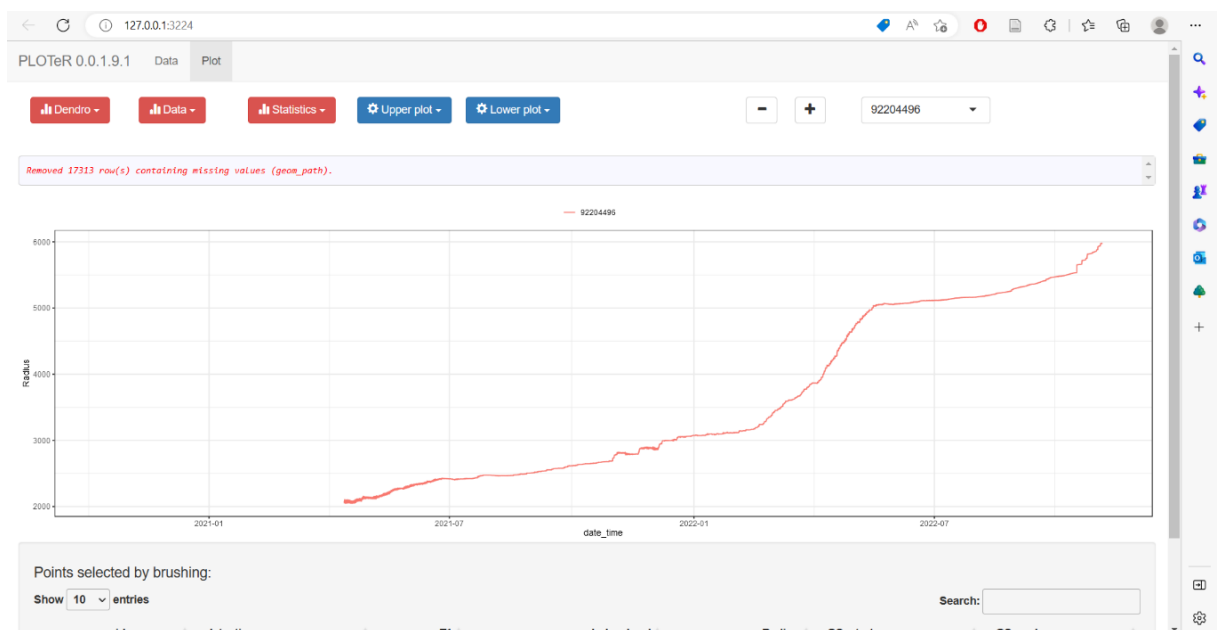
Pro další práci s daty bylo potřeba data vyčistit od chybných částí měření. Ty vznikají například ve chvíli, kdy není dendrometr nainstalován na ploše, ale je například v kanceláři. Tuto část dat je potřeba vymazat přes funkci „delete selected data“. Druhou velmi častou chybou, kterou lze z grafu vyčistit je odskočení dat. Ta se vyskytne ve chvíli, kdy dojde u dendrometru

k nějakému otřesu, který vzniká nejčastěji při manipulaci. To lze odstranit pomocí funkce „level up“ (obrázek 5).

Takto upravená data jsou připravená k dalším analýzám. Pro exportování bylo nutné označit všechny dendrometry a data z PLOTeRu stáhnout pomocí tlačítka „export data“.



Obrázek 4: Ukázka prostředí R-studia. V levém horním rohu je okno pro zadání konkrétního skriptu. Ten se přepisuje do příkazového řádku v levém dolním rohu monitoru. (Console) Okno v pravém dolním rohu nám umožňuje propojit Program s konkrétní složkou v počítači a také spuštění jednotlivých balíčků (packages).

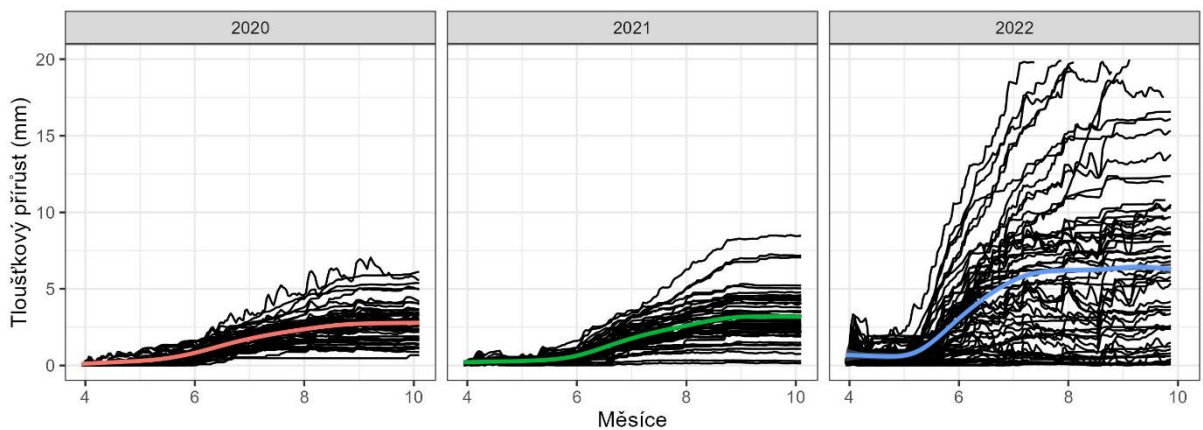


Obrázek 5: Ukázka prostředí PLOTeR, který se otevírá ve webovém prohlížeči. Jednotlivé ikony umožňují úpravu dat. V pravém horním rohu monitoru je evidenční číslo dendrometry. Graf ukazuje přírůsty jednoho konkrétního stromu v mikrometrech v jednotlivých časových intervalech.

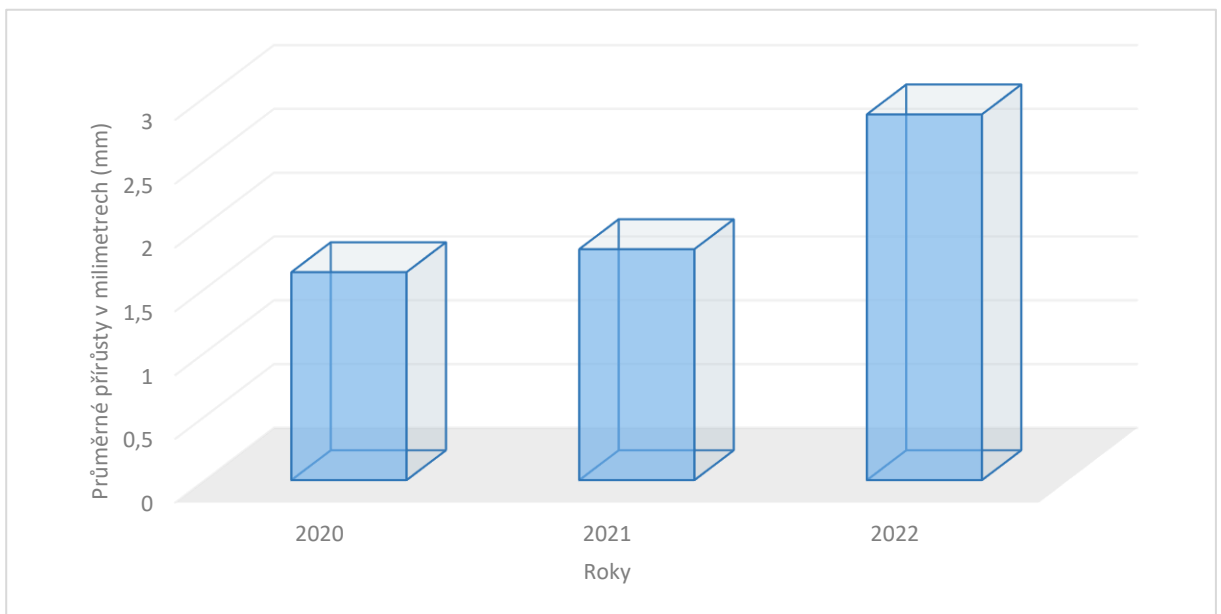
5. Výsledky práce

5.1 Tloušťkové přírůsty v jednotlivých letech

V roce 2020 stromy přirůstaly nejméně za všechny tři sledované roky. Přírůsty za toto období se přiblížily k 2,5 mm. Vegetační doba trvala od začátku května do poloviny září. Průměrné přírůsty za toto období překročily 2,5 mm. Ukázalo se, že za rok 2022 byly přírůsty nejvyšší za všechny sledované roky. Průměrně stromy přirostly o více než 5 mm za rok. Začaly přirůstat velmi rychle na začátku května, ale vegetační období ukončily už v polovině července. Rok 2022 tedy zaznamenal největší přírůsty (obrázek 6 a 7).



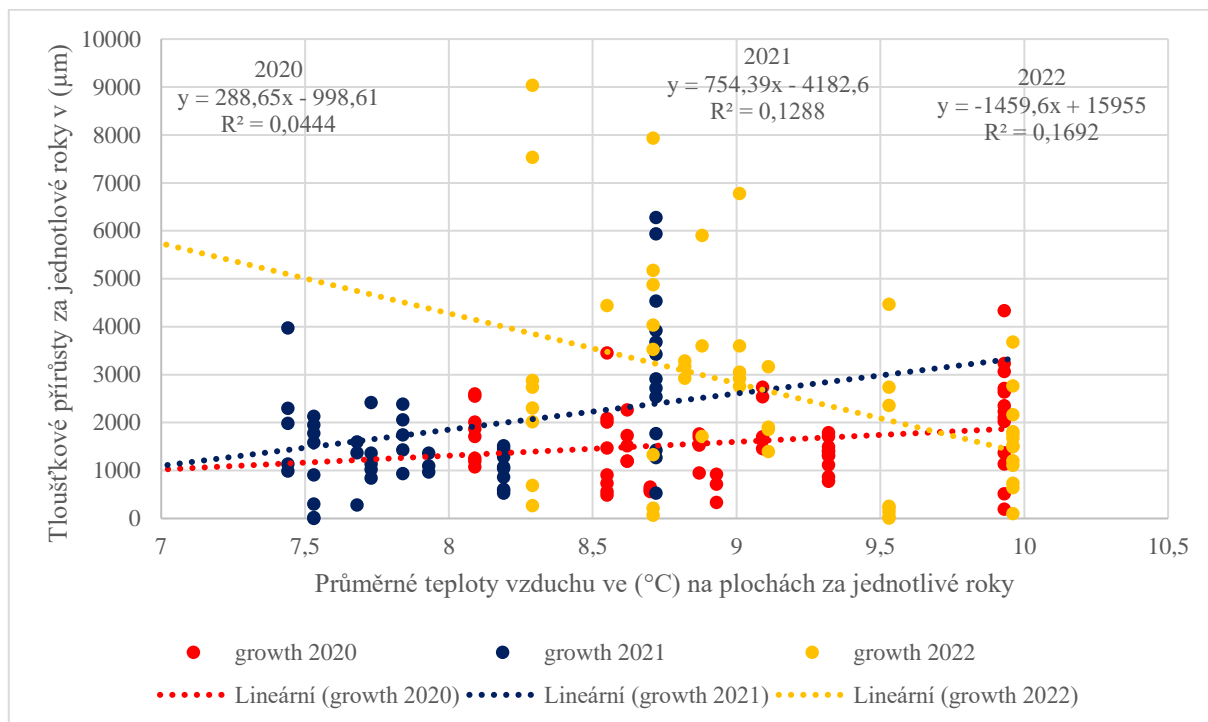
Obrázek 6: Jednotlivé grafy popisují přírůsty v milimetrech za rok 2020, 2021 a 2022. Barevné linie představují průměrný přírůst za sledované období. Graf byl vytvořen v programu R studio.



Obrázek 7: Sloupcový graf popisuje průměrné přírůsty (poloměru kmene) v milimetrech za jednotlivé roky. Pro rok 2020: 1,63 ($\pm 0,8363$) mm, 2021: 1,81 ($\pm 1,2682$) mm, 2022: 2,87 ($\pm 2,0966$) mm.

5.2 Tloušťkový přírůst v závislosti na průměrné teplotě vzduchu

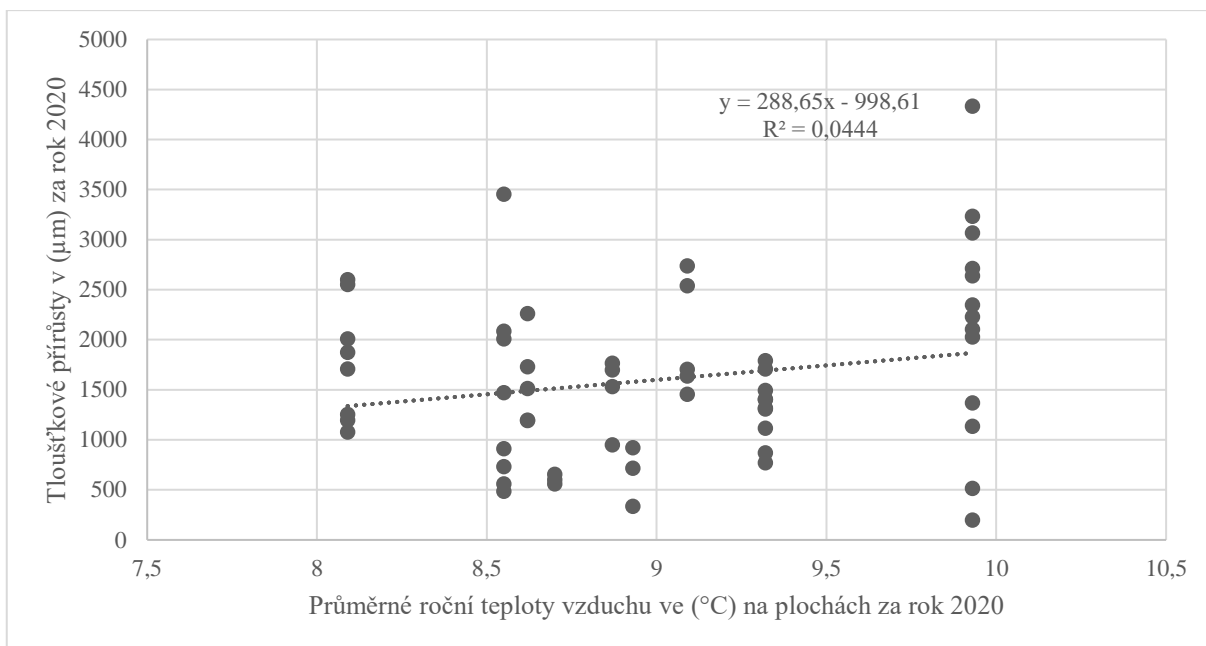
Ukázalo se, že rostoucí teplota vzduchu výrazně ovlivnila růst stromů. Rok 2022 byl ze sledovaných roků nejteplejší a data ukazují, že v tomto roce s přibývajícím teplotou stromy přirůstaly méně. Je tedy patrné, že v roce 2022 teplota negativně ovlivnila přitůst. Nejchladnější byl rok 2021. V tomto období stromy přirůstaly nejméně (obrázek 8).



Obrázek 8: Graf popisuje tloušťkové přírůsty v roce 2020, 2021 a 2022 v závislosti na průměrné teplotě vzduchu na plochách. Jednotlivé roky jsou proloženy lineární spojnící grafu.

5.2.1 Závislost přírůstu stromů na teplotě vzduchu v roce 2020

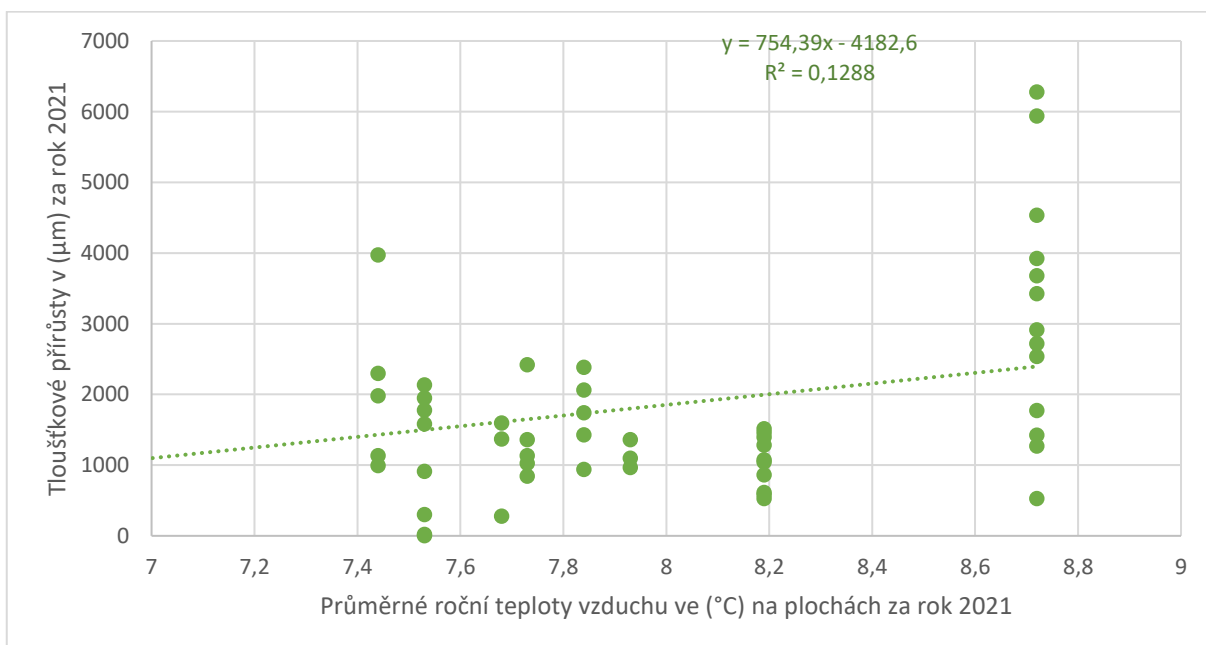
V roce 2020 se průměrné teploty pohybovaly od 8 do 10°C. Nejvíce stromy přirůstaly při teplotě, která se přibližovala 10°C. Data ukazují, že tam, kde bylo tepleji, smrk přirůstal více (obrázek 9).



Obrázek 9: Graf popisuje závislost tloušťkového přírůstu stromů na teplotě vzduchu. Body jsou proloženy lineární spojnicí grafu.

5.2.2 Závislost přírůstu stromů na teplotě vzduchu v roce 2021

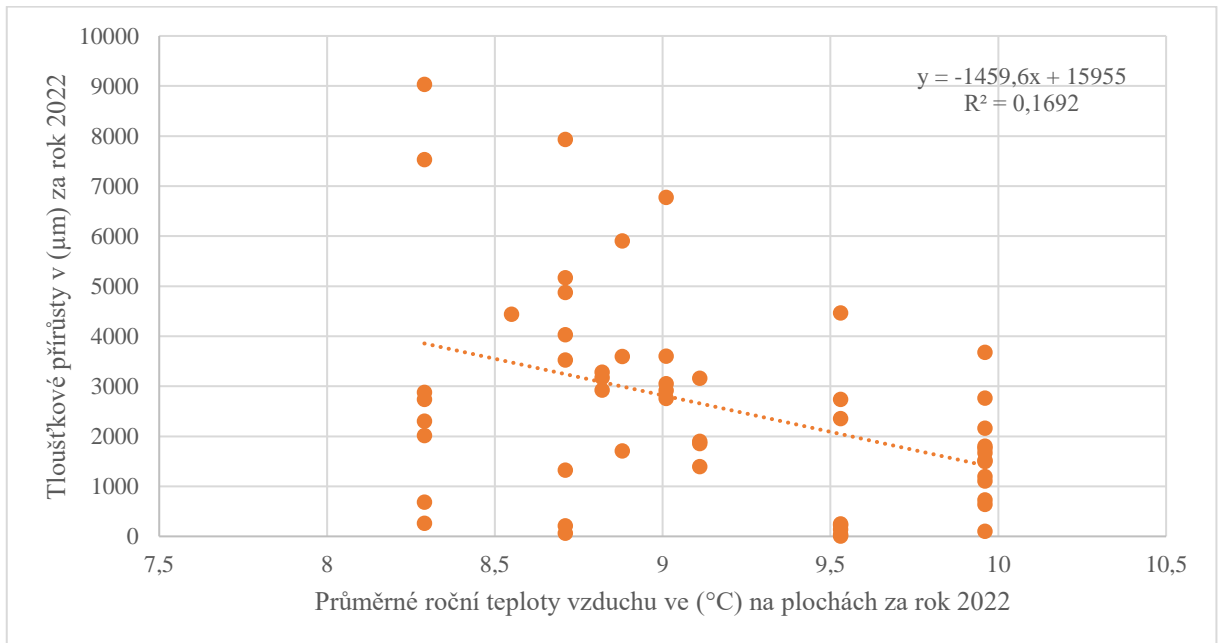
V tomto roce byly zaznamenány nejnižší teploty za sledované období. Ukázalo se, že v roce 2021 s rostoucí teplotou přírůst stoupal. Největší růst byl zaznamenán při teplotě okolo 8°C. Při této teplotě přírůst v extrémních případech převyšoval 6000 µm. Průměrně se hodnota přírůstu pohybovala v nižších hodnotách a to okolo 2000 µm (obrázek 10).



Obrázek 10: Graf popisuje závislost tloušťkového přírůstu stromů v (µm) na průměrné teplotě vzduchu ve (°C) v roce 2021. Body na grafu jsou proloženy lineární spojnicí grafu. Linie ukazuje stoupající trend.

5.2.3 Závislost přírůstu stromů na teplotě vzduchu v roce 2022

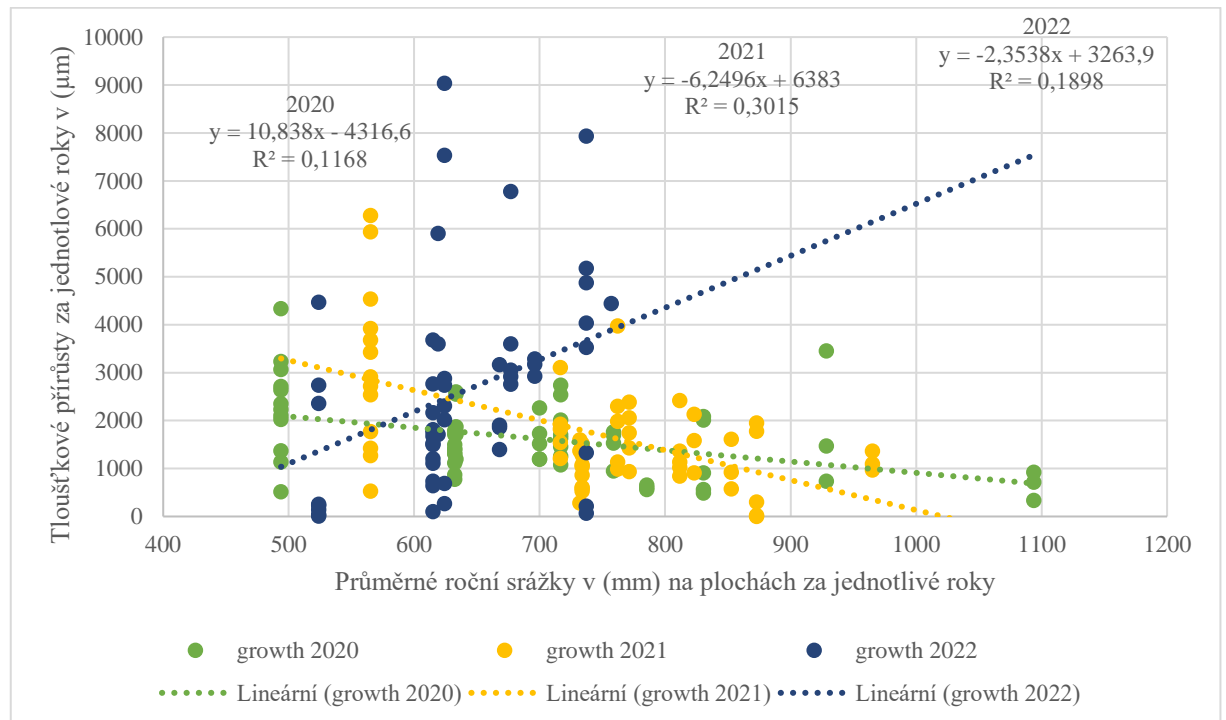
Ukázalo se, že za poslední sledované období stromy nejvíce přirostly při teplotě okolo 8°C. Za všechny tři roky bylo toto období nejteplejší. Přírůst byl v závislosti na teplotě negativně ovlivněn (obrázek 11).



Obrázek 11: Graf popisuje závislost přírůstu stromů v (µm) na průměrné roční teplotě ve (°C) za rok 2022. Bodový graf je proložen lineární spojnicí grafu. V tomto roce byl zaznamenán klesající trend linie.

5.3 Tloušťkový přírůst v závislosti na ročním úhrnu srážek

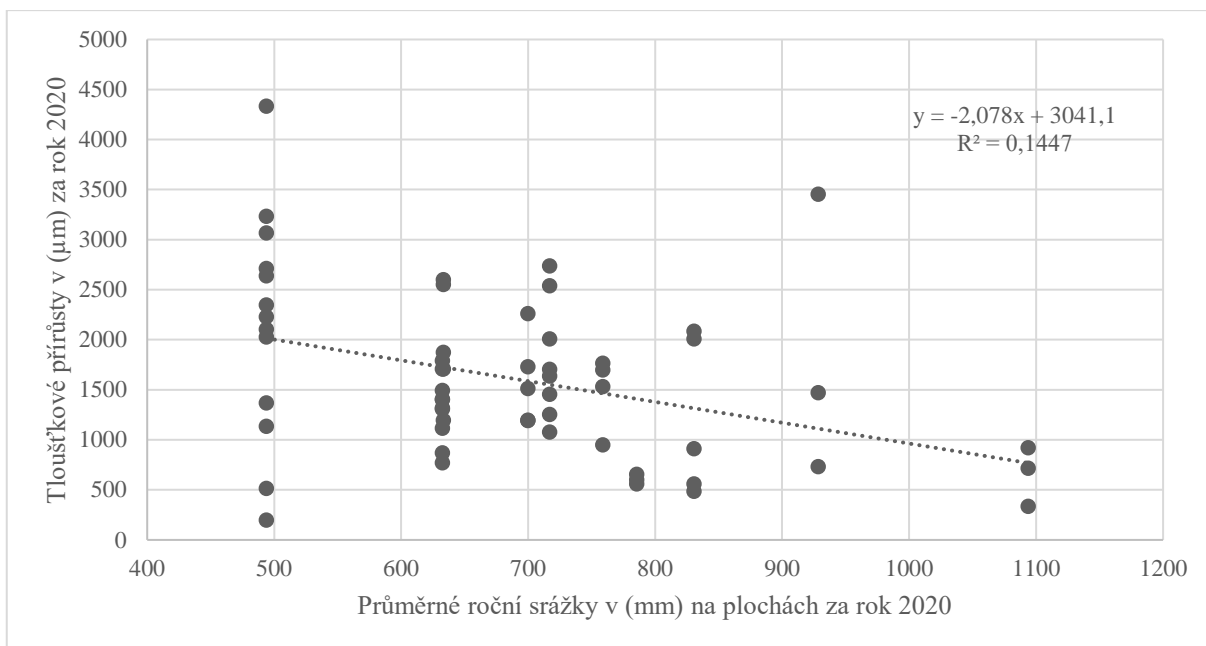
Podobně jako u teploty vzduchu i srážky měly na přírůst stromů velký vliv. Ukázalo se, že v roce 2022 s přibývajícím srážkami přírůst stoupal. Největší přírůst byl zaznamenán při úhrnu srážek 600 mm. V ostatních obdobích (2020 a 2021) byl přírůst srážkami negativně ovlivněn (obrázek 12).



Obrázek 12: Graf popisuje závislost přírůstu stromů v (µm) na ročním úhrnu srážek v (mm) za roky 2020, 2021 a 2022. Jednotlivé roky jsou barevně odlišeny a proloženy lineární spojnicí grafu.

5.3.1 Tloušťkový přírůst v závislosti na ročním úhrnu srážek v roce 2020

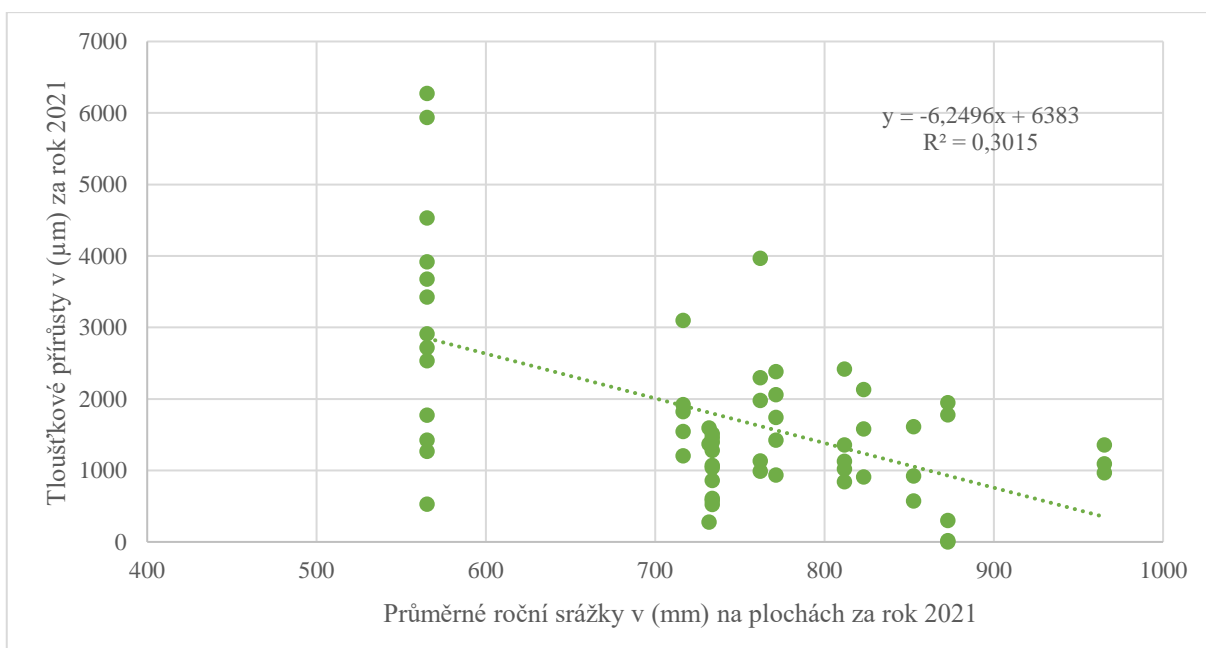
V případě přírůstu za rok 2020 se ukázalo, že nejvíce smrk rostl při ročním úhrnu 500 mm. Naopak nejméně přirostl v místech, kde se srážky přibližovaly hodnotě 1100 mm. Data ukázala, že smrk přirostl méně v místech, kde byl větší úhrn srážek (obrázek 12 a 13).



Obrázek 13: Graf popisuje vztah mezi přírůstem stromů a ročním úhrnem srážek na ploše za rok 2020. Body jsou proloženy lineární spojnicí grafu, která je v tomto případě klesající.

5.3.2 Tloušťkový přírůst v závislosti na ročním úhrnu srážek v roce 2021

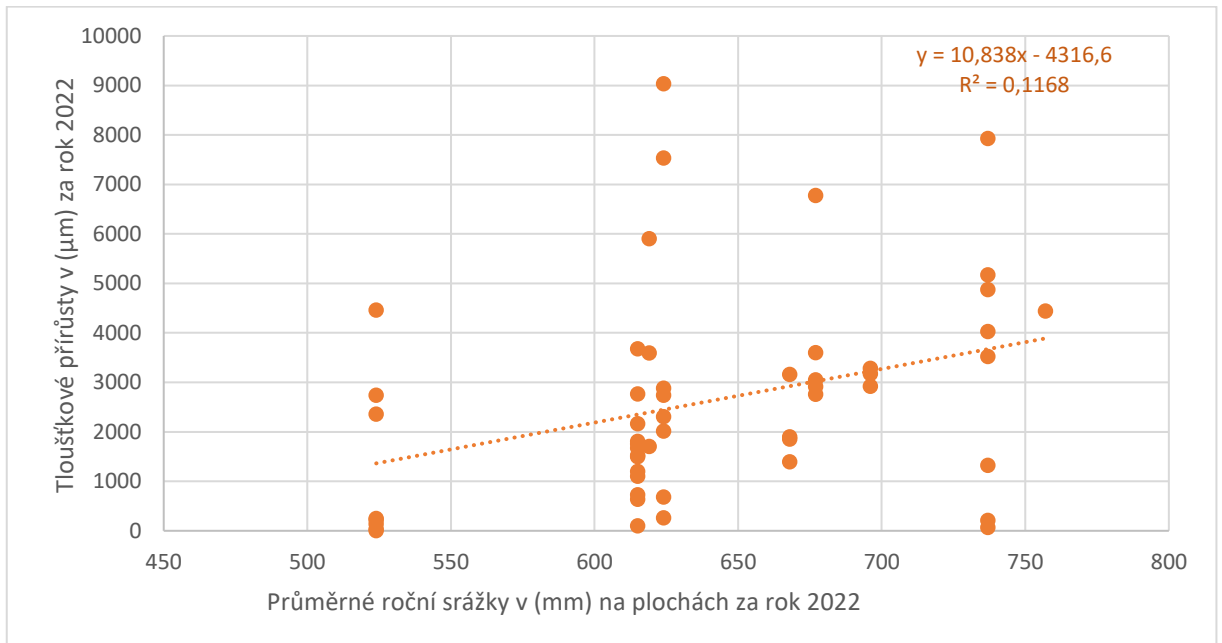
V roce 2021 se roční úhrn srážek na plochách pohyboval v rozmezí 500-1000 mm. Nejvíce stromy přirostly při úhrnu srážek mezi 500–600 mm. V lokalitách, kde byly srážky mezi 700–900 mm za rok, se smrku také dařilo. Největší přírůst byl zaznamenán při úhrnu 565 mm. Při těchto srážkových podmínkách smrk přirostl nad 6000 µm. Ukázalo se, že s přibývajícím srážkami stromy přirůstají méně (obrázek 14).



Obrázek 14: Graf popisuje vztah mezi tloušťkovým přírůstem smrku a průměrnými ročními srážkami na plochách za rok 2021. Graf je proložen lineární spojnicí, která je klesající.

5.3.3 Tloušťkový přírůst v závislosti na ročním úhrnu srážek v roce 2022

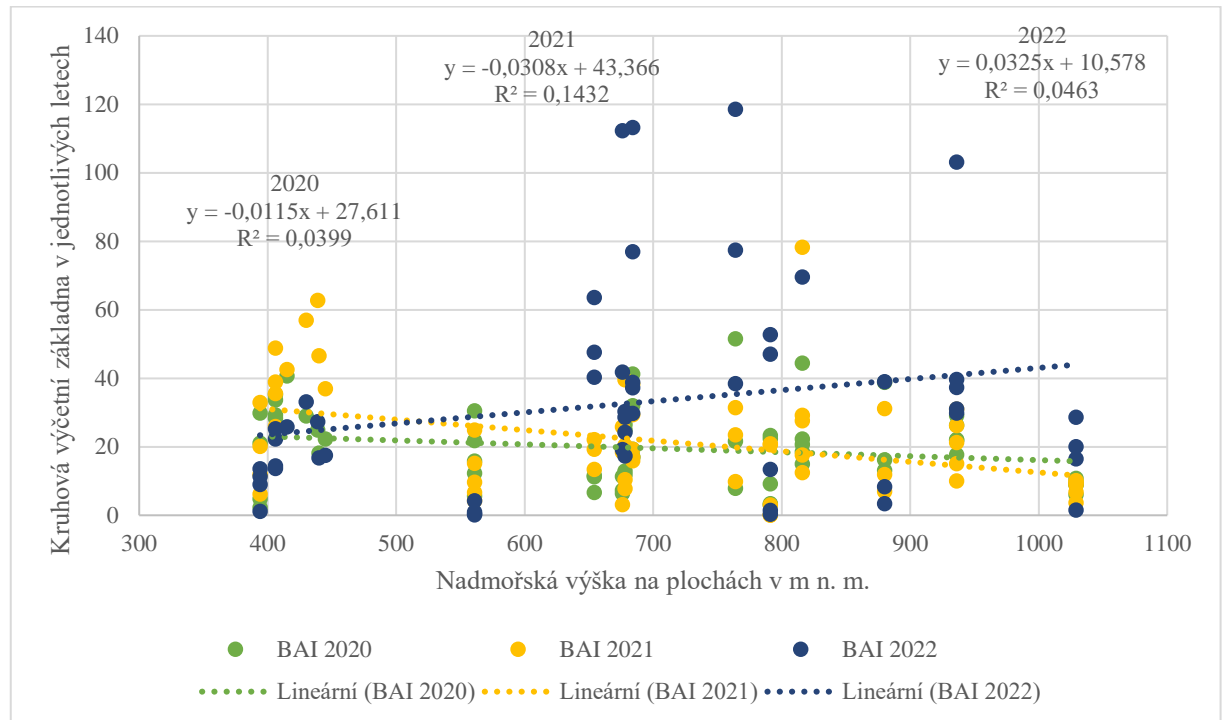
V roce 2022 stromy přirůstaly více při vyšších srážkách. Pouze v tomto sledovaném období byl zaznamenán rostoucí trend přírůstu. Zároveň v tomto roce smrk přirostl nejvíce. Ukázalo se, že v tomto roce smrk rostl lépe tam, kde bylo více srážek (obrázek 15).



Obrázek 15: Graf popisuje vztah mezi tloušťkovým přírůstem smrku a průměrnými ročními srážkami na plochách za rok 2022. Dále je proložen lineární spojnicí grafu.

5.4 Kruhová výčetní základna v závislosti na nadmořské výšce

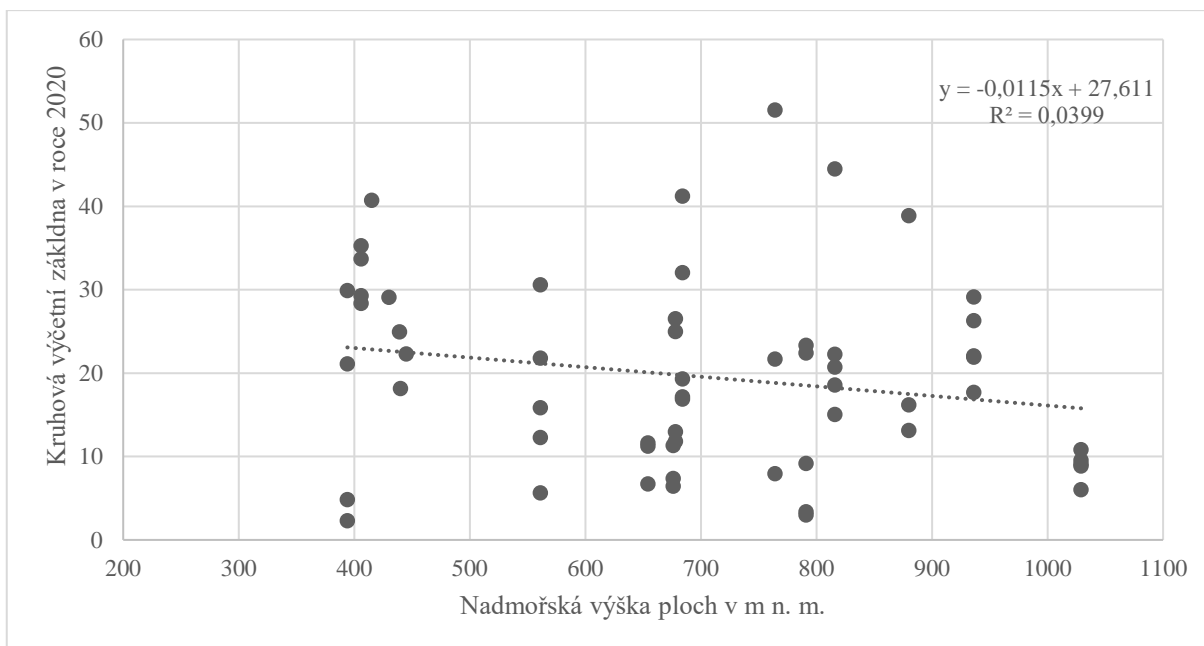
Ukázalo se, že pouze v roce 2022 smrk rostl více ve vyšších nadmořských výškách. V ostatních letech tomu tak nebylo a smrku se lépe dařilo v nižších nadmořských výškách. (obrázek 16).



Obrázek 16: Graf popisuje vztah mezi kruhovou výčetní základnou v (dm^2) a nadmořskou výškou na ploše za všechny tři sledované roky (2020, 2021, 2022). Jednotlivá období jsou rozlišena barevně a také proložena lineární spojnicí grafu. Ta nám ukazuje, zda je trend křivky klesající nebo rostoucí.

5.4.1 Kruhová výčetní základna v závislosti na nadmořské výšce v roce 2020

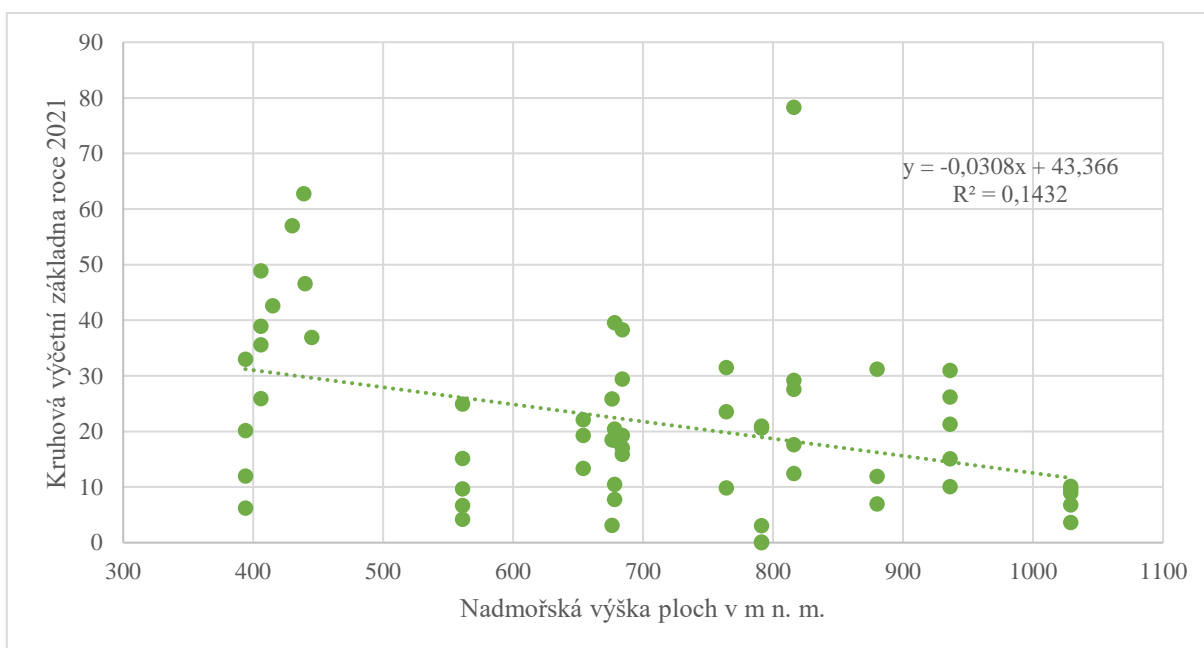
V roce 2020 se podle dat ukázalo, že nadmořská výška negativně ovlivnila hodnoty kruhové výčetní základny. Největší přírůsty byly zaznamenány v nadmořské výšce v rozmezí mezi 700–800 m n. m. Ukázalo se, že v nižších nadmořských výškách (okolo 400 m n. m.) byla hodnota g vyšší než v nadmořské výšce nad 700 m n. m (obrázek 17).



Obrázek 17: Graf popisuje vztah mezi nadmořskou výškou na ploše a kruhovou výčetní základnou (g). Jednotlivé body jsou proloženy lineární spojnicí grafu, aby bylo patrné, zda je jedná o rostoucí nebo klesající trend.

5.4.2 Kruhová výčetní základna v závislosti na nadmořské výšce v roce 2021

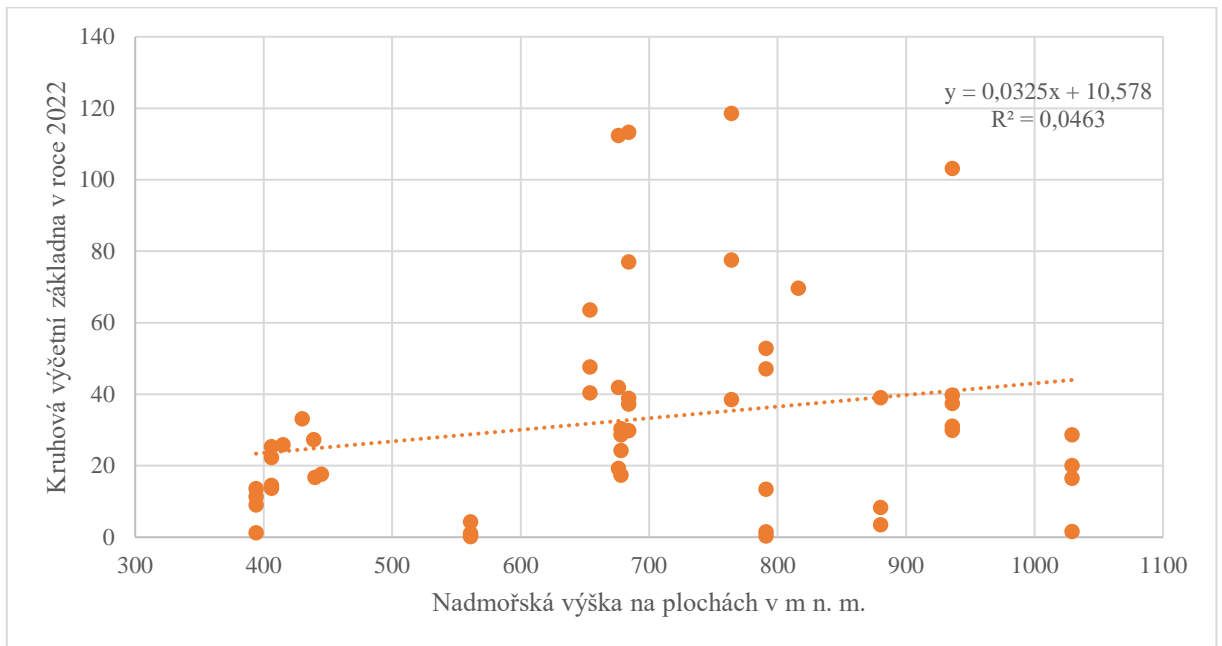
Rok 2021 opět zaznamenal klesající trend. Ve srovnání v rokem 2020 klesala křivka strměji. Ukázalo se, že v tomto sledovaném období, podobně jako v roce 2020, nadmořská výška negativně ovlivnila kruhovou výčetní základnu. To ukazuje, že s rostoucí nadmořskou výškou klesá hodnota g. Smrk má v tomto roce vyšší hodnotu g v nižších nadmořských výškách (obrázek 18).



Obrázek 18: Graf popisuje vztah mezi kruhovou výčetní základnou (g) a nadmořskou výškou v roce 2021. Z lineární spojnice grafu je patrný klesající trend křivky.

5.4.3 Kruhová výčetní základna v závislosti na nadmořské výšce v roce 2022

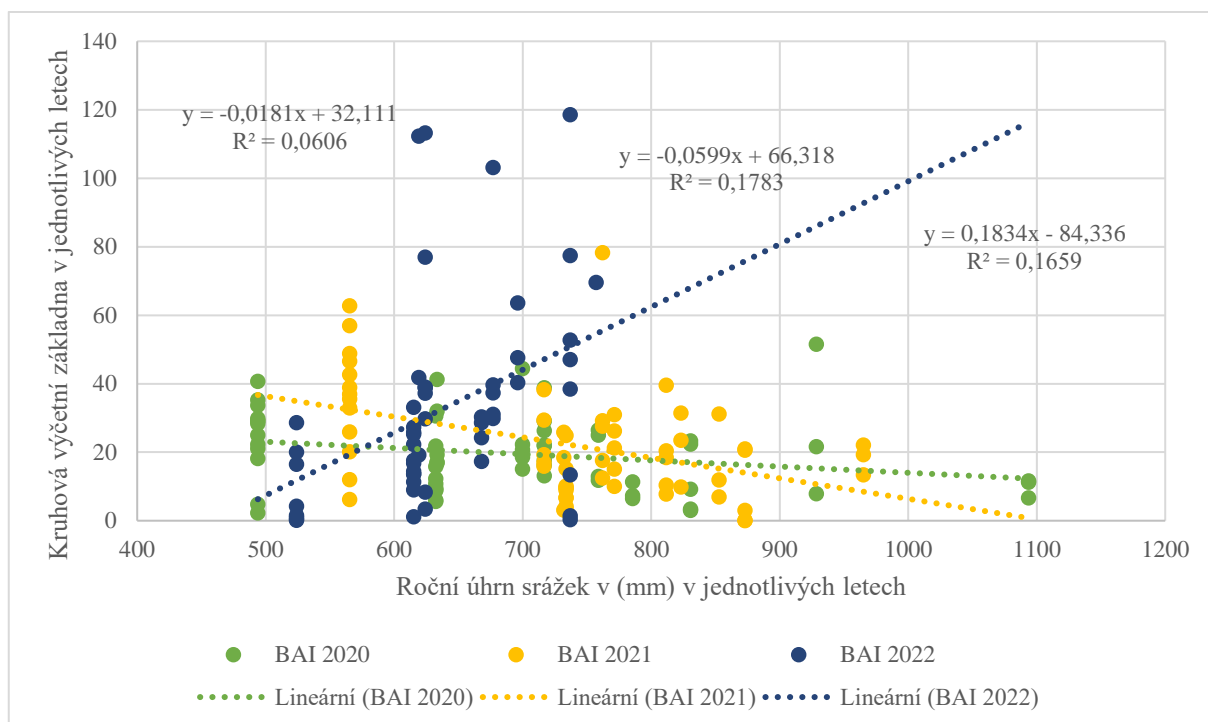
Rok 2022 jako jediný zaznamenal rostoucí trend. Data ukazují, že s nadmořskou výškou rostla hodnota kruhové výčetní základny. Nejvíce stromy přirůstaly v nadmořské výšce mezi 600-800 m n. m. V tomto roce tedy zvyšující se nadmořská výška pozitivně ovlivnila hodnotu g. Z toho vyplývá, že s rostoucí nadmořskou výškou stromy více přirůstaly, tedy se zvyšovala kruhová výčetní základna (obrázek 19).



Obrázek 19: Graf popisuje vztah mezi výčetní kruhovou základnou g a nadmořskou výškou v roce 2022. Lineární křivka, která je grafem proložená, vykazuje rostoucí trend.

5.5 Kruhová výčetní základna v závislosti na ročním úhrnu srážek

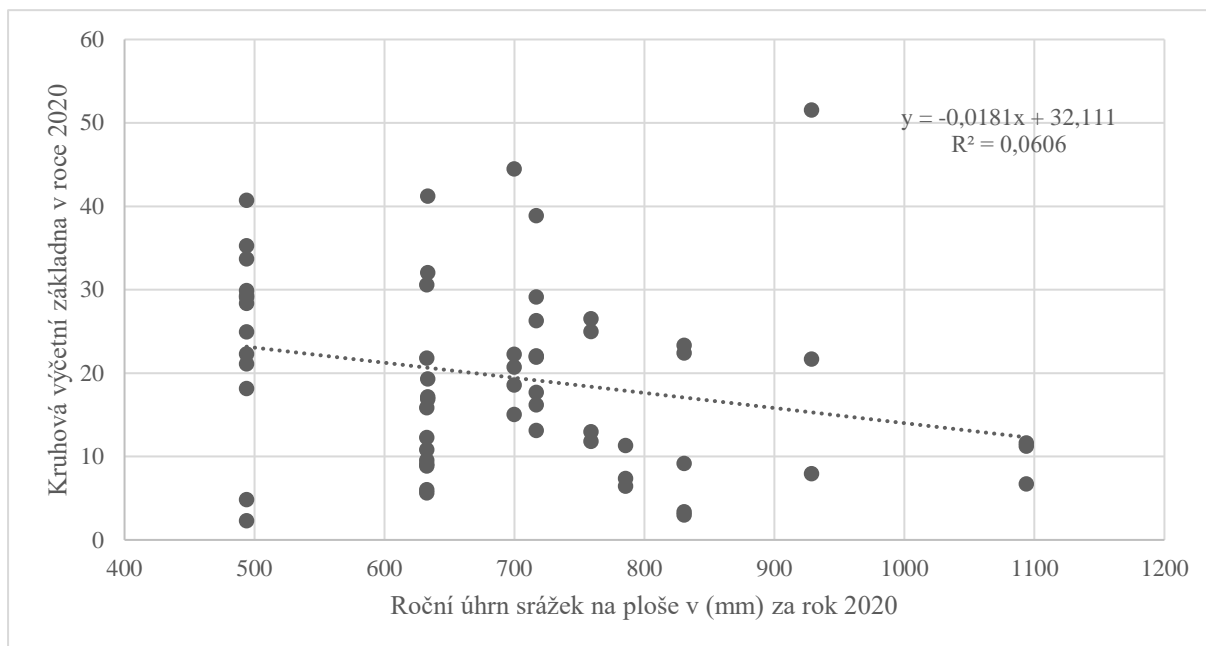
Po porovnání závislosti kruhové výčetní základny s ročním úhrnem srážek bylo zjištěno, že pouze v roce 2022 vztah vykazoval rostoucí trend. V tomto roce křivka strmě stoupá a je patrné, že ze všech tří let stromy v tomto období přirůstaly nejvíce. Konkrétně při ročním úhrnu srážek v rozmezí mezi 600-700 mm. Rok 2022 byl vzhledem ke srážkám optimálním obdobím pro růst smrku (obrázek 20).



Obrázek 20: Graf popisuje vztah mezi kruhovou výčetní základnou g a ročním úhrnem srážek v mm pro všechny tři sledované roky (2020, 2021, 2022). Jednotlivé roky jsou barevně odlišeny a proloženy lineární spojnicí grafu (viz legenda).

5.5.1 Kruhová výčetní základna v závislosti na ročním úhrnu srážek v roce 2020

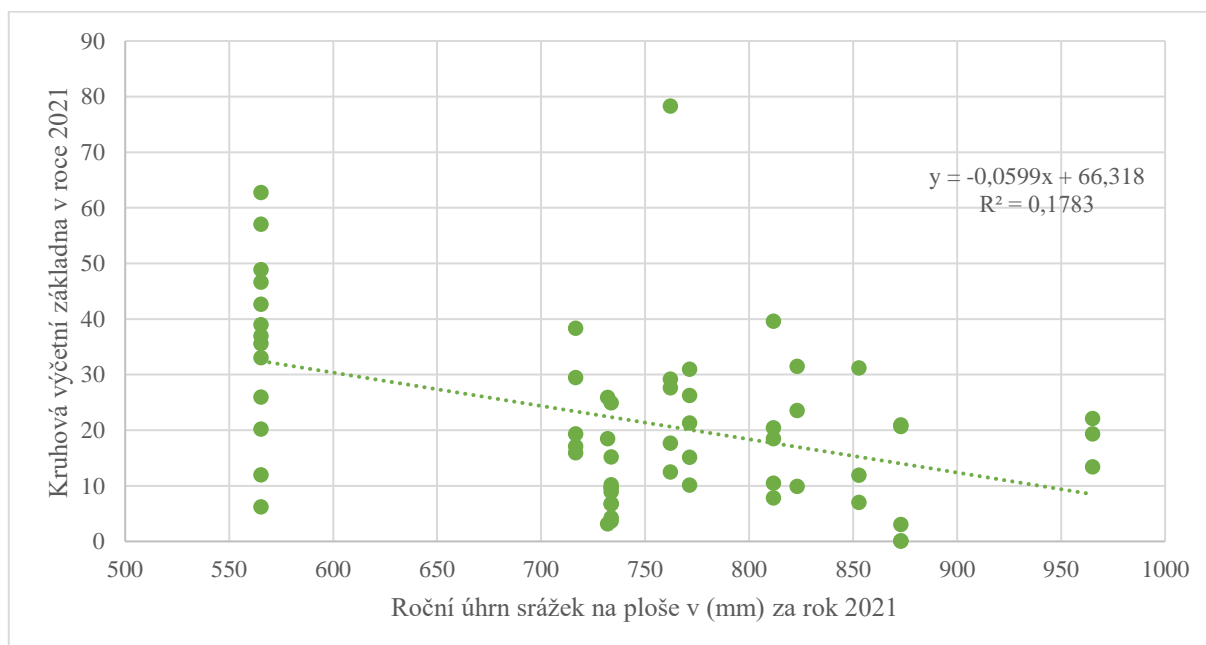
Ukázalo se, že v roce 2020 stromy nejvíce přirůstaly při ročním úhrnu srážek v rozmezí mezi 600-700 mm. V tomto intervalu rostlo nejvíce stromů. Na ploše, na které byl největší úhrn srážek, stromy rostly méně. Je tedy patrné, že s přibývajícím úhrnem klesala hodnota g. Tedy v místech, kde bylo srážek nejméně, stromy rostly více (obrázek 21).



Obrázek 21: Graf popisuje závislost mezi kruhovou výčetní základnou a ročním úhrnem srážek na ploše za rok 2020. Graf je proložen lineární spojnicí grafu. Ta je v tomto případě klesající.

5.5.2 Kruhová výčetní základna v závislosti na ročním úhrnu srážek v roce 2021

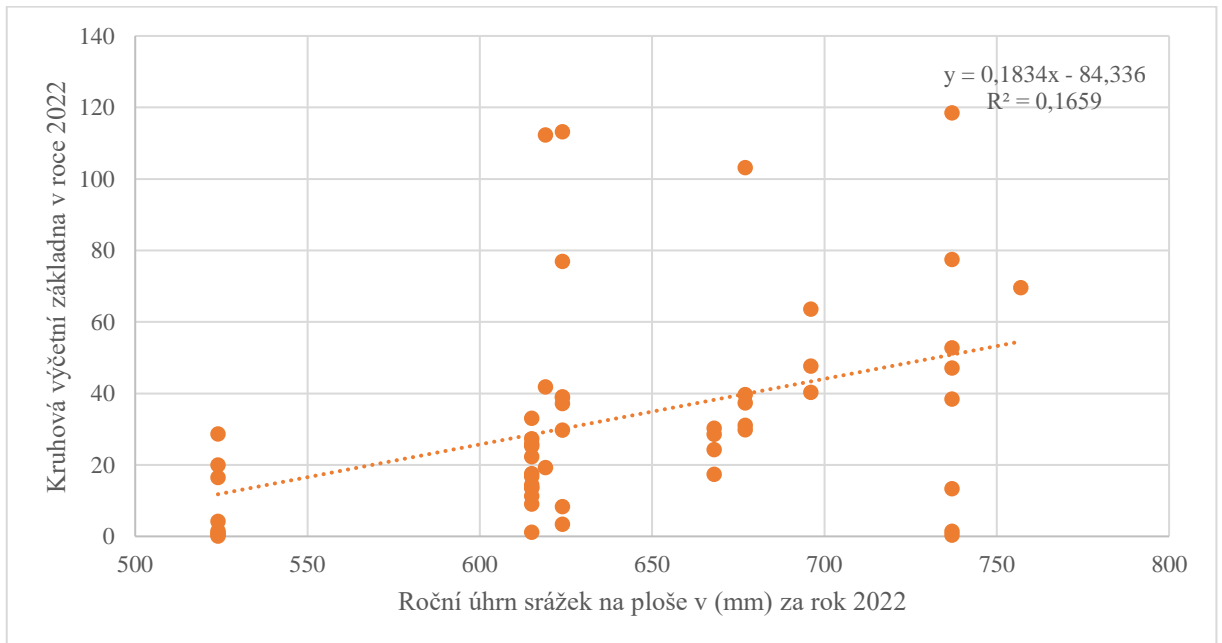
Ukázalo se, že rok 2021 byl nejvlhčí. Data ukazují, že v roce 2021 přirůstaly stromy nejvíce při úhrnu okolo 550 mm. Nejčastěji se na plochách roční úhrny pohybovaly v rozmezí od 700-900 mm. V tomto roce ale smrk rostl méně v místech s vyššími srážkami (obrázek 22).



Obrázek 22: Graf popisuje vztah mezi kruhovou výčetní základnou a ročním úhrnem srážek na ploše za rok 2021. Graf je proložen lineární spojnicí, která je v tomto případě klesající.

5.5.3 Kruhová výčetní základna v závislosti na ročním úhrnu srážek v roce 2022

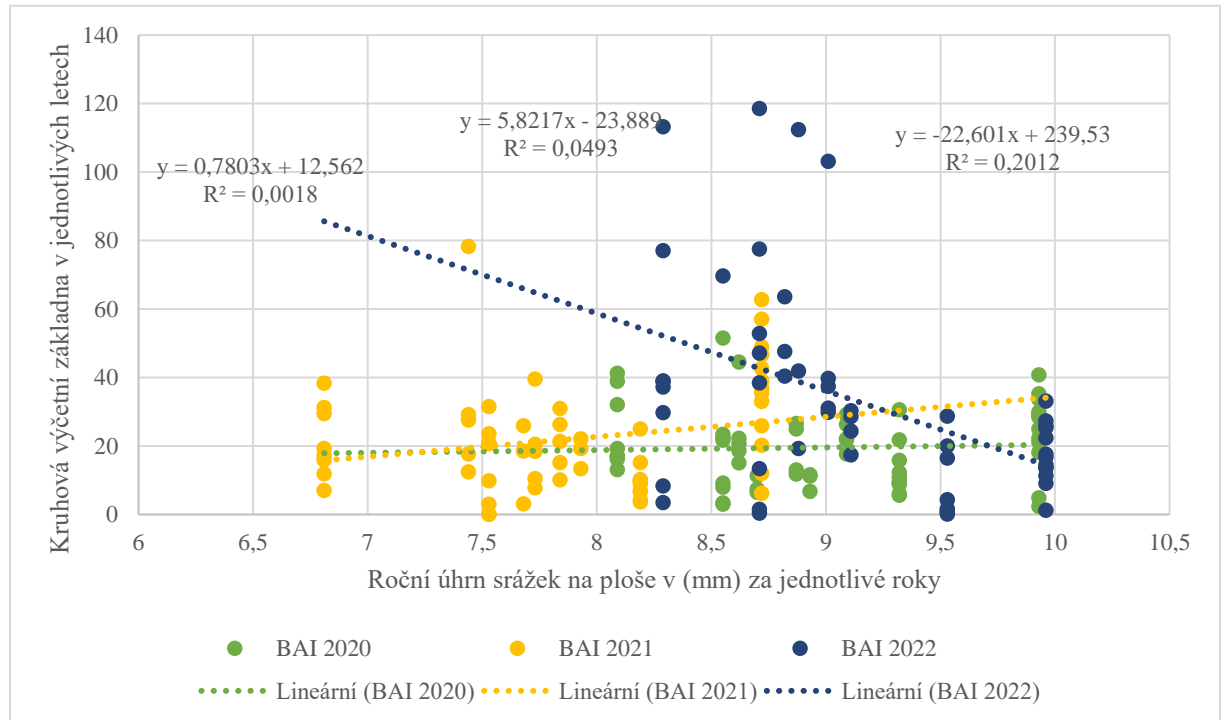
Ukázalo se, že smrk v tomto období nejvíce přirůstal. Na některých místech se hodnota g přiblížila 120 mm². Z dat je tedy patrné, že v tomto roce s přibývajícím srážkami rostla i hodnota kruhové výčetní základny stromu (obrázek 23).



Obrázek 23: Graf popisuje vztah mezi kruhovou výčetní základnou a ročním úhrnem srážek na ploše za rok 2021. Graf je proložen lineární spojnici, která je v tomto případě stoupající.

5.6 Kruhová výčetní základna v závislosti na průměrných ročních teplotách

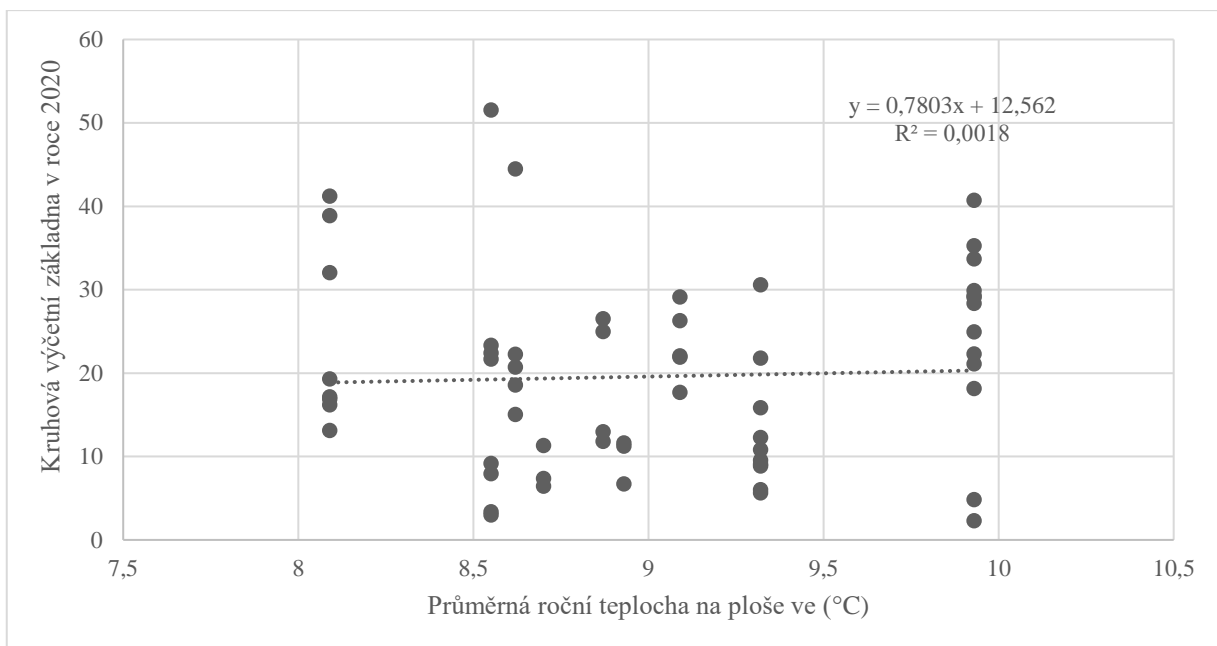
Ukázalo se, že rostoucí teplota negativně ovlivnila hodnotu kruhové výčetní základny. Potvrzuje to rok 2022, kdy byly teploty nejvyšší. V tomto období rostly stromy nejméně tam, kde byla teplota vzduchu nejvyšší. Pouze v roce 2022 je trend této křivky klesající. V ostatních letech křivka stoupá (obrázek 24).



Obrázek 24: Graf popisuje vztah mezi kruhovou výčetní základnou g a ročním úhrnem srážek na ploše za jednotlivé roky. Každý rok je barevně rozlišen a proložen lineární spojnicí grafu.

5.6.1 Kruhová výčetní základna v závislosti na průměrných ročních teplotách za rok 2020

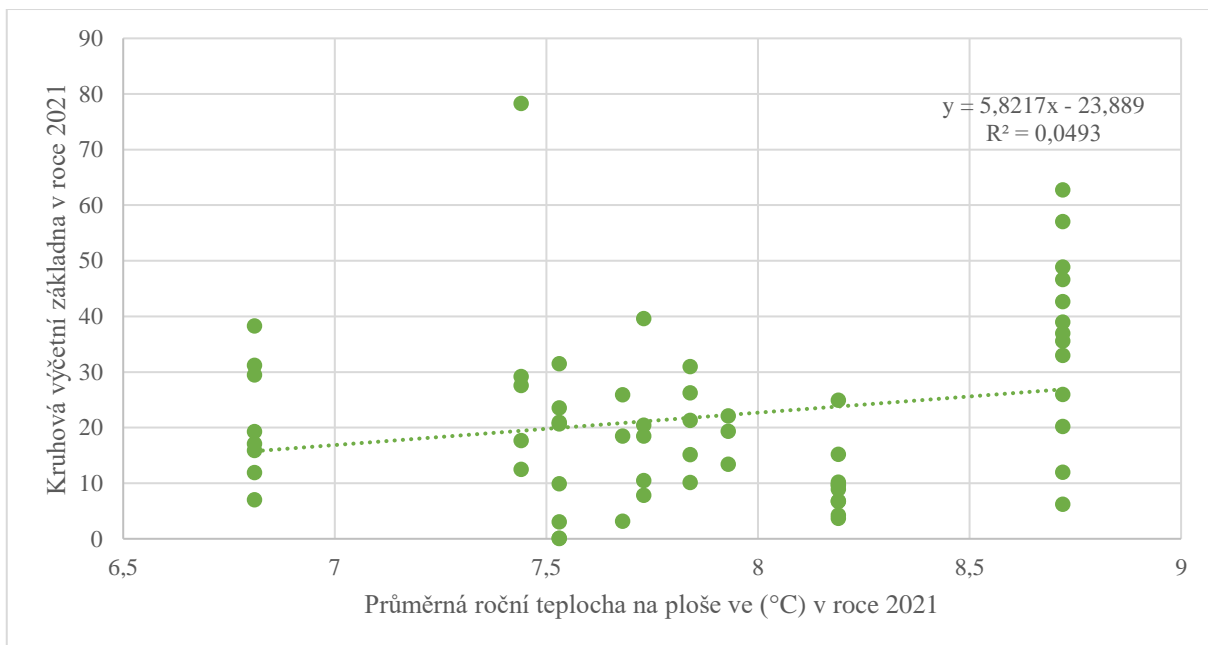
Teploty v roce 2020 se pohybovaly od 8-10°C. Ukázalo se, že smrk při teplotě okolo 8°C dokázal přirůst vůbec nejvíce. Hodnota g zde přesáhla 50 dm² (obrázek 25).



Obrázek 25: Graf popisuje vztah mezi kruhovou výčetní základnou a průměrnou roční teplotou na ploše za rok 2020. Graf je proložen lineární spojnicí grafu, která je v tomto případě stoupající.

5.6.2 Kruhová výčetní základna v závislosti na průměrných ročních teplotách za rok 2021

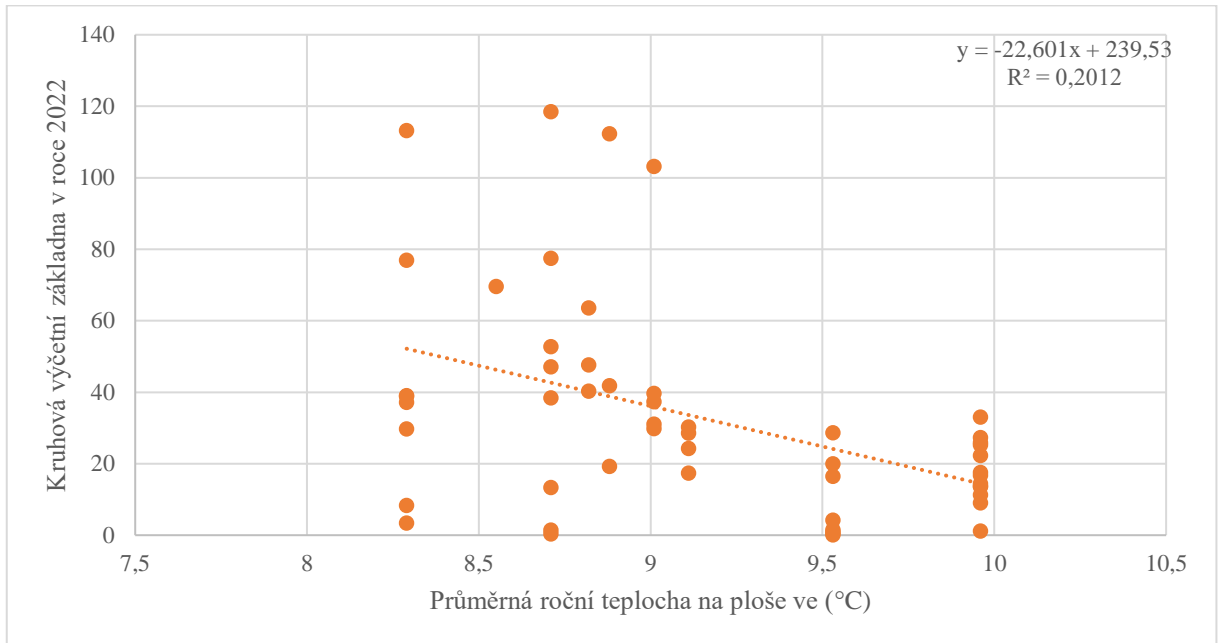
Rok 2021 byl nejchladnější. Teploty klesly i pod 7°C. Ukázalo se, že v tomto období se smrku více dařilo tam, kde byly teploty vyšší (obrázek 26).



Obrázek 26: Graf popisuje vztah mezi kruhovou výčetní základnou g a průměrnou roční teplotou na ploše za rok 2021. Bobový graf je proložen lineární spojnicí, která je rostoucí.

5.6.3 Kruhová výčetní základna v závislosti na průměrných ročních teplotách za rok 2022

Data z roku 2022 ukázala, že tam, kde byly teploty vyšší, hodnoty kruhové výčetní základny klesaly. Z toho vyplývá, že v místech, kde byla vysoká teplota vzduchu, nabývala kruhová výčetní základna nižších hodnot než tam, kde bylo chladněji (obrázek 27).



Obrázek 27: Graf popisuje vztah mezi kruhovou výčetní základnou a průměrnou roční teplotou za rok 2022. Graf je proložen lineární spojnicí, která je v tomto případě klesající.

6. Diskuse

V této práci byla použita data za roky 2020-2022 z bodových dendrometrů TOMST, které byly nainstalované na smrku ztepilém. Pro další analýzy byly z Českého hydrometeorologického ústavu získány průměrné roční teploty a srážky.

Data získaná z dendrometrů byla porovnána s nadmořskou výškou a klimatickými podmínkami. Jednotlivé přírůsty v daných letech se porovnávaly s ročním úhrnem srážek a průměrnou roční teplotou. Výsledky práce ukázaly, že největší přírůst byl v roce 2022. Z dat vyplývá, že nadmořská výška a klimatické podmínky značně ovlivnily přírůst a produkci dřevní biomasy.

6.1 Klimatologická data a nadmořská výška

6.1.1 Průměrné roční teploty

Za sledovaná období se s přibývajícím teplotou smrku více dařilo v letech 2020 a 2021. Pozitivní vliv na přírůst z hlediska teplot má zejména teplé jaro a léto a začátek zimy. Za vhodné podmínky však nelze považovat extrémně vysoké teploty (Rybníček et al. 2010, Rybníček et al. 2009). Data z roku 2022 ukázala, že v místech, kde bylo nejtepleji, byl přírůst nejmenší. V posledním sledovaném období byly zaznamenány nejvyšší teploty za všechny tři roky. Vysoké teploty ve vegetační době způsobují nízký přírůst. Zejména potom horké léto a suché jaro. Nejen vysoké teploty ve vegetační době ovlivňují růst stromů. Negativně působí také chladná zima (Bouriaud & Popa 2009, Dobbertin 2005). Výsledky mé práce ale ne vždy korelují s těmito studiemi. Například v roce 2020 byl přírůst pozitivně ovlivněn rostoucí teplotou i přes to, že průměrná roční teplota přesahovala 9°C. Nelze tedy zcela jasně definovat při jaké teplotě smrk roste nejlépe a je patrné, že výsledky studií neplatí univerzálně.

Uvádí se, že optimální průměrná roční teplota pro pěstování smrku ztepilého se pohybuje okolo 6°C (Musil & Hamerník 2007). Ani v jeden z roků nezaznamenal takovou teplotu. Příčina je pravděpodobně v probíhající klimatické změně, kdy klimatické modely předpovídají, zvyšování průměrné roční teploty. Teploty za tři sledované roky převyšovaly i 9°C. Pouze v roce 2021 bylo chladněji. A právě v tom-to roce byl přírůst pozitivně ovlivněn teplotou. Není ale zcela jasné, proč v roce 2020 byl přírůst pozitivně ovlivněn i přes to, že průměrné roční teploty převýšily 9°C.

6.1.2 Roční úhrn srážek

Porovnáním přírůstu a úhrnu srážek bylo zjištěno, že pouze v roce 2022 byl přírůst vyšší v místech, kde bylo nejvlhčeji. Smrk má pro svůj růst optimum okolo 800 mm za rok (Novák et al. 2014). Průměrné roční srážky se v roce 2022 nejčastěji pohybovaly v tomto rozmezí. Data tedy potvrzují, že takové to množství srážek je pro růst smrku optimální. Pozitivně ovlivňují přírůst smrku přiměřené srážky po celé vegetační období. Smrk také dobře reaguje na vyšší letní srážky způsobené přivalovými dešti a dále potom na vyšší srážky v jarním období a v měsíci září (Rybníček et al. 2009, Rybníček et al. 2010).

V ostatních letech data ukázala, že na lokalitách s nejvyššími srážkami stromy přirůstaly nejméně. V některé literatuře se uvádí, že velmi deštivé léto (červen–srpen) negativně působí na přírůst smrku (Wimmer & Grabner 1997). Zdá se tedy, že smrk reaguje na období, kdy jsou srážky vydatné a naopak.

6.1.3 Nadmořská výška

Smrk má přirozený výskyt v horských a podhorských oblastech. V nižších polohách se vyskytuje u vodních toků, v chladných kotlinách a na rašelinných podmáčených půdách (Musil & Hamerník 2007). Ukázalo se, že ve vyšších nadmořských výškách rostl smrk více pouze v roce 2022. V ostatních letech měl vyšší produkci v nižších nadmořských výškách. Je evidentní, že nadmořská výška ovlivňuje růst smrku ztepilého, ovšem data nevykazují pravidlo, že by smrk více přirůstal v horských oblastech. Zdá se, že na růst smrku mají větší vliv srážky a teploty než nadmořská výška.

6.1.4 Doporučení a prognóza do budoucna

Výsledky této práce ukazují, že oteplování klimatu v některých případech pozitivně působí na přírůst smrku ztepilého. Bylo tomu tak ve středních a vyšších polohách, kde rostoucí teplota zvýšila přírůst a tím i produkci dřeva. V nižších polohách tomu tak však nebylo. Zde je vhodné pěstovat smrk v místech, kde je dostatek vláhy.

Extrémní oteplování a sucho ale může v opačném případě způsobit zvýšení mortality smrku. Stres ve formě nedostatku vláhy a vysokých teplot narušuje stabilitu stromu a tím i celého porostu. Les se tak stává nestabilním a je náchylný pro další abiotické a biotické stresory. Zvyšující teplota tedy na některých místech pozitivně ovlivnila produkci smrku, avšak oteplování nemusí mít vždy jednoznačně pozitivní efekt. Stále je zde riziko, že tento efekt může způsobit zvýšení mortality smrku.

7. Závěr a přínos práce

Smrk ztepilý je v České republice nejdůležitější hospodářskou dřevinou. V současné době není jasné, v jakých nadmořských výškách je u nás nejvhodnější smrk pěstovat. Díky klimatickým změnám bude nejspíše možné pěstovat smrkové porosty jen ve vyšších nadmořských výškách. O této problematice je ale velmi málo dostupných empirických informací. Tato bakalářská práce má přispět k širšímu poznání problematiky a přiblížit, jak se liší růst smrku ztepilého v rámci rozdílných klimatických podmínek České republiky.

Cílem práce bylo vyhodnotit růst smrku ztepilého v závislosti na nadmořské výšce v letech 2020–2022. Dalším cílem bylo zhodnotit, jak variabilita klimatických podmínek v závislosti na nadmořské výšce ovlivnily spolu s meziroční variabilitou přírůst a produkci dřevní biomasy.

Data byla získávána z bodových dendrometrů, které jsou nainstalované na síti monitorovacích ploch v České republice. Sběr probíhal ve smrkových porostech po skončení vegetační doby v říjnu a listopadu 2022. Data se stahovala ze 17 ploch, z toho na každé ploše o rozměrech 1000 m² se nachází vždy 5 dendrometrů. Data zaznamenávají průběh růstu stromu za roky 2020–2022. Dendrometr značky TOMST zaznamenává změny tloušťky kmene v 1,3 m. Získaná data byla zpracována a statisticky vyhodnocena v programu R studio a Microsoft Excel.

Ukázalo se, že v chladnějších letech 2020 a 2021 s rostoucí nadmořskou výškou růst smrku klesal, a naopak v teplém roce 2022 s nadmořskou výškou růst stoupal. S rostoucími teplotami rostly stromy více v roce 2020 a 2021. Naopak v teplém roce 2022 byl růst v teplých oblastech nižší. Srážky měly na produkci smrku velký vliv. V roce 2022 stromy rostly nejvíce ve vlhkých oblastech, ale v ostatních letech byl přírůst s nejvyššími srážkami nižší, než v těch kde pršelo méně.

Výsledky této práce ukázaly, že srážky, teplota a nadmořská výška v jednotlivých letech různě ovlivňovaly přírůst smrku ztepilého. Například vyšší srážky pozitivně ovlivnily růst jen v roce 2022. V ostatních letech tomu bylo naopak. Z dat tedy nevychází univerzální model, v jakých podmínkách by bylo vhodné smrk pěstovat.

Je nasnadě rozšiřovat informace o této problematice a dále zvětšovat síť monitorovacích ploch na našem území, aby bylo k dispozici větší a rozmanitější množství dat. Dále by bylo vhodné získat konkrétní klimatologická data na daných plochách. Díky tomu by byly výsledky této práce přesnější a bylo by docíleno přesného obrazu podmínek v dané lokalitě.

8. Seznam literatury

Odborné knihy, publikace a články

BEBI, P., KULAKOWSKI, D., RIXEN, Ch., 2009: Snow avalanche disturbances in forest ecosystems—State of research and implications for management. *Forest ecology and Management*. 257.9: 1883-1892.

BEZECNÝ, P., 1975: *Pestovanie lesov*. Bratislava: Príroda, Knížnica lesného hospodárstva.

BOURIAUD, O., POPA, I., 2009: Comparative dendroclimatic study of Scots pine, Norway spruce, and silver fir in the Vrancea Range, Eastern Carpathian Mountains. *Trees*. 23.1: 95-106.

ČERMÁK, P. et al., 2015: ‘Damage to spruce stands by deer barking and subsequent rots in Forest Range Proklest, the Křtiny Training Forest Enterprise “Masaryk Forest” (the Drahaný Upland)’, *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 52(2), pp. 165–174.

DIETRICH, L., ZWEIFEL, R., KAHMEN, 2018: Ansgar. Daily stem diameter variations can predict the canopy water status of mature temperate trees. *Tree Physiology*. 38.7: 941-952.

DOBBERTIN, M., 2005: Tree growth as indicator of tree vitality and of tree reaction to environmental stress: a review. *European Journal of Forest Research*. 124: 319-333.

DREW, DOWNES, GEOFFREY, M., 2009: The use of precision dendrometers in research on daily stem size and wood property variation: a review. *Dendrochronologia*. 27.2: 159-172.

FANTA, J., PETŘÍK, P., ed. 2021: *Jiné klima - jiný les*. Praha: Academia, Průhledy (Academia). ISBN 978-80-200-3300-0.

HARTMANN, G., NIENHAUS F., BUTIN, H., 2001: *Atlas poškození lesních dřevin: diagnóza škodlivých činitelů a vlivů: 517 barevných foto*. Praha: Brázda. ISBN 80-209-0297-X.

HOLUŠA, J., LIŠKA, J., JÍLOVIŠTĚ-STRNADY, VÚLHM, 2002: Hypotéza chřadnutí a odumírání smrkových porostů ve Slezsku (Česká republika). *Zprávy lesnického výzkumu*. 47.1: 9-15.

KINDLMANN, P., MATĚJKA K., DOLEŽAL P., 2012: *Lesy Šumavy, lýkožrout a ochrana přírody*. Praha: Karolinum. ISBN 978-80-246-2155-5.

KREJZA, J., CIENCIALA, E., SVETLIK, J., BELLAN, M., NOYER, E., HORÁČEK, P., ŠTĚPÁNEK, P., MAREK, V., M., 2021: Evidence of climate-induced stress of Norway spruce along elevation gradient preceding the current dieback in Central Europe.

KŘÍSTEK, Š., HOLUŠA, J., Abiotické poškození smrkových porostů ve střední Evropě: příkladová studie sněhových polomů z let 2005–2011 v Moravskoslezských Beskydech. *Lesnícky časopis–Forestry Journal*, 2014, 60.4: 214-222.

LARCHER W. 2003: Physiological plant ecology. In: Physiology and stress physiology of functional groups, 4th ed. Springer, Berlin.

MATULA, R., PLICHTA, R., 2022: Metodika kvantifikace dopadů sucha na lesní dřeviny pomocí automatických dendrometrů.

MATULA, R., M. SVOBODA, M. KOPECKÝ, J. WILD a M. VEJPUSTKOVÁ, 2022: Nová monitorovací síť pro studium vlivů klimatu na lesy v České republice. Lesnická práce. 101(2), 38-39. ISSN 0322-9254.

MUSIL, I., HAMERNÍK, J., 2007: Jehličnaté dřeviny: přehled nahosemenných i výtrusných dřevin: lesnická dendrologie 1. Academia.

MUSIL, I., HAMERNÍK J., LEUGNEROVÁ G., 2002: Lesnická dendrologie 1: jehličnaté dřeviny: přehled nahosemenných (i výtrusných) dřevin. Praha: Česká zemědělská univerzita. ISBN 80-213-0992-X.

NOVÁK, J., DUŠEK, D. ed., 2014: Chřadnutí smrku v oblasti severní a střední Moravy: sborník přednášek odborného semináře: Budišov nad Budišovkou 14.10.2014. Opočno: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, Výzkumná stanice Opočno. ISBN 978-80-7417-079-9.

POKORNÝ, R., 2013: Pěstování lesů pod vlivem měnícího se klimatu. Brno, Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova univerzita v Brně.

POLENO, Z., 1994: Lesnický naučný slovník. Praha: Agrospoj. ISBN 80-7084-111-7.

POLENO, Z., 1995: Lesnický naučný slovník. Praha: Agrospoj. ISBN 80-7084-131-1.

RYBNÍČEK, M., et al., 2009: Influence of temperatures and precipitation on radial increment of Orlické hory Mts. spruce stands at altitudes over 800 m asl. Journal of Forest Science. 55.6: 257-263.

RYBNÍČEK, M., et al., 2010: Radial growth and health condition of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands in relation to climate (Silesian Beskids, Czech Republic). Geochronometria. 36.1: 9-16.

RYBNÍČEK, M., et al., 2012: Dendrochronological analysis and habitual stress diagnostic assessment of Norway spruce (*Picea abies*) stands in the Drahany Highlands. Wood research. 57.2: 189-206.

SALOMÓN, Roberto L., et al., 2022: The 2018 European heatwave led to stem dehydration but not to consistent growth reductions in forests. Nature communications. 13.1: 28.

SANDBERG, D., KITEK KUZMAN M., GAFF M., 2018: Engineered wood products: wood as an engineering and architectural = Kompozitní materiály na bázi dřeva : dřevo jako kompozitní a konstrukční materiál. České vydání. Prague: Czech University of Life Sciences, Faculty of Forestry and Wood Sciences. ISBN 978-80-213-2869-3.

SOUČEK, J.; TESAŘ, V., 2008: Metodika přestavby smrkových monokultur na stanovištích přirozených smíšených porostů: recenzovaná metodika. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti.

SVOBODA, P., 1953: Lesní dřeviny a jejich porosty. Praha.

ŠMELKO, Š., 2007: Dendrometria: [vysokoškolská učebnice]. Vyd. 2. Vo Zvolene: Technická univerzita. ISBN 978-80-228-1828-5.

ŠPINLEROVÁ, Z., 2014: Ekofyziologie dřevin. Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7509-158-1.

TOMÁŠKOVÁ, I., KUBÁSEK, J., 2016: Fyziologie lesních dřevin I.: fyziologie, produkce a stresy rostlin. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, katedra genetiky a fyziologie lesních dřevin. ISBN 978-80-213-2608-8.

TOMÁŠKOVÁ, I., KUBÁSEK, J., 2017: Fyziologie lesních dřevin II.: růst, vývoj a rozmnožování. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská. ISBN 978-80-213-2800-6.

VICENA, I., 2004: Příroda je více než kůrovec. Lesnická práce.

WIMMER, R., GRABNER, M., 1997: Effects of climate on vertical resin duct density and radial growth of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.).

ZÁCHA, O., BAŤA M., 1998: Malý myslivecký slovník. Olomouc: Alda. ISBN 80-85600-48-X.

Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky, 2022: Report on the state of forests and forestry in the Czech Republic: stav k .. Praha: Ministerstvo zemědělství.

ZWEIFEL, R., 2016: Radial stem variations - a source of tree physiological information not fully exploited yet. Plant, Cell Environment. 39, 231–232.

ZWEIFEL, R., STERCK, F., 2018: A Conceptual Tree Model Explaining Legacy Effects on Stem Growth.

Podkladová WMS mapa

ČESKÝ ZEMĚMĚŘICKÝ ÚSTAV, ©2023: Ortofotomapa ČR. Český zeměměřičský ústav, Praha, dostupné z: <http://geoportal.cuzk.cz/...spx>