

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra ekologie lesa



**Fakulta lesnická
a dřevařská**

**Vyhodnocení krátkodobé reakce buku na klimatické
podmínky v rámci ČR, z dat z TVP VÚLHM**

Bakalářská práce

Autor: Miroslav Tomášek

Vedoucí práce: Ing. Iva Ulbrichová, Ph.D.

2024

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Miroslav Tomášek

Lesnictví

Ochrana a pěstování lesních ekosystémů

Název práce

Vyhodnocení krátkodobé reakce buku na klimatické podmínky v rámci ČR, z dat z TVP VULHM

Název anglicky

Evaluation of beech short-time response to the climatic factors within Czech Republic, based on data from VULHM permanent research plots

Cíle práce

V poslední době je reakce jednotlivých druhů dřevin na očekávané výkyvy klimatu čím dál více diskutované téma. Cílem práce je vyhodnotit data z dendrometrů umístěných na TVP VULHM v hospodářských lesích v rámci gradientu podmínek v České Republice a stažených na podzim 2022 a popsat krátkodobou dynamiku růstu buku a její reakci na klimatické faktory (teplota vzduchu a srážky), a případné ovlivnění této dynamiky stanovištními faktory (jako je nadmožská výška, geologický substrát).

Metodika

V rámci práce by měla být upravena (vyčištěna od chyb a úmyslných posunů) již získaná data z dendrometrů na vybraných plochách a následně vyhodnocena v odpovídající aplikaci (PLOTer) pro program R Studio.

Pro hodnocení a popis vlivu klimatických faktorů budou použita data o teplotě a srážkách z modelu ERA 5 (volně dostupná na internetu) pro dané lokality podle souřadnic, nadmožská výška plochy a případně další dostupné stanovištní charakteristiky.

Časový harmonogram:

1. únor- květen 2023: studium literatury
2. duben- říjen 2023: zpracování a "vyčištění" dat z dendrometrů, stažených v rámci TVP VULHM v r. 2022.
3. listopad- prosinec 2023: zpracování dat; hledání trendů a závislostí mezi klimatickými faktory a křivkami tloušťkového přírůstu buku
4. do konce února 2024: odevzdání první verze práce
5. do poloviny března 2024: odevzdání finální verze práce školiteli

Doporučený rozsah práce

35-40 str.

Klíčová slova

Fagus sylvatica, Dendrometr, tloušťkový přírůst, klima, reakce na sucho

Doporučené zdroje informací

- Brinkmann N., Eugster W., Zweifel R., Buchmann N., Kahmen A. 2016. Temperate tree species show identical response in tree water deficit but different sensitivities in sap flow to summer soil drying, *Tree Physiology* 36 (12): 1508–1519.
- Etzold S., Sterck F., Bose A.K., Braun S., Buchmann N., Eugster W., Gessler A., Kahmen A., Peters R.L., Vitasse Y., Walthert L., Ziemnińska 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(2): 427-439.
- Latte N., Lebourgeois F., Claessens H., 2015. Increased tree-growth synchronization of beech (*Fagus sylvatica* L.) in response to climate change in northwestern Europe. *Dendrochronologia*, 33: 67-77.
- Pretzsch H., Rötzer T., Matyssek R. et al. 2014. Mixed Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst) and European beech (*Fagus sylvatica* [L.] stands under drought: from reaction pattern to mechanism. *Trees* 28, 1305–1321.
- Roibu C.-C., Palaghianu C., Viorica N., Ionita M., Sfecla V., Mursa A., Crivellaro A., Stirbu M., Cotos M.-G., Sfecla I., Ionel P., Popa A. 2022. The Response of Beech (*Fagus sylvatica* L.) Populations to Climate in the Easternmost Sites of Its European Distribution. *Plants*. 11 (23) No. 3310.
- Salomón R.L., Peters R.L., Zweifel R. et al. 2022. The 2018 European heatwave led to stem dehydration but not to consistent growth reductions in forests. *Nature Communications* 13, 28.

Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Iva Ulbrichová, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra ekologie lesa

Elektronicky schváleno dne 6. 9. 2023

prof. Ing. Miroslav Svoboda, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 28. 1. 2024

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 11. 03. 2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Vyhodnocení krátkodobé reakce buku na klimatické podmínky v rámci ČR, z dat z TVP VÚLHM vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil, a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, 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 vědom, 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 verzi tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 1. 4. 2024

Miroslav Tomášek

Poděkování

Rád bych poděkoval především vedoucí mé práce Ing. Ivě Ulbrichové, Ph.D. za odborné vedení, rady, připomínky, trpělivost a pomoc při zpracování této bakalářské práce. Rovněž bych rád poděkoval doc. Ing. Radimovi Matulovi, Ph.D. za poskytnutí dat k mé bakalářské práci. V neposlední řadě mé poděkování patří celé mé rodině, zejména mým rodičům a mé sestře, a to za podporu nejen při studiu, ale i v životě.

Vyhodnocení krátkodobé reakce buku na klimatické podmínky v rámci ČR, z dat z TVP VÚLHM

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá působením klimatických faktorů na krátkodobý růst buku lesního. Tloušťkový přírůst buku byl sledován na sedmnácti výzkumných plochách umístěných ve stejnověkových bukových hospodářských lesích po celé České republice, přičemž většina z nich se nachází ve východní části území. Na každé z ploch byl prostřednictvím dendrometrů v letech 2020–2022 monitorován tloušťkový růst 3–6 buků. Získaná data z dendrometrů byla nejprve upravena v programu RStudio a následně byla statisticky vyhodnocena v programech Statistica a MS Excel.

Výsledky práce ukázaly, že působení klimatických faktorů na tloušťkový přírůst buku bylo během sledovaného období rozdílné. Teplota měla na tloušťkový přírůst negativní vliv, jelikož s rostoucí teplotou bylo možné sledovat pokles tloušťkového přírůstu. Naopak rostoucí úhrny srážek měly na tloušťkový přírůst pozitivní vliv. Značný pozitivní vliv na tloušťkový přírůst byl zjištěn také u srážek z předchozího roku. Vliv teploty z předchozího roku na tloušťkový přírůst se nepodařilo prokázat. Vliv nadmořské výšky na tloušťkový přírůst se na studovaných plochách sice neprokázal, ale bylo možné pozorovat, že ve vyšších polohách se buku dařilo lépe. Je tedy patrné, že vlivem klimatické změny se optimální podmínky pro růst buku pravděpodobně posouvají do vyšších nadmořských výšek.

Klíčová slova: *Fagus sylvatica*, dendrometr, tloušťkový přírůst, klima, reakce na sucho

Evaluation of beech short-time response to the climatic factors within Czech Republic, based on data from VÚLHM permanent research plots

Summary

This bachelor thesis examines the effect of climatic factors on the short-term growth of beech. Radial increment was monitored in seventeen research plots located in the same-aged beech commercial forests in the Czech Republic, most of which are situated in the eastern part of the territory. In each of the plots, between 2020 and 2022, 3–6 beech trees were monitored using dendrometers to track their radial increment. The data obtained from the dendrometers were first processed in RStudio and then statistically evaluated in Statistica and MS Excel.

The results of the study showed that the effect of climatic factors on the radial increment of beech trees during the study period varied. There was a negative effect of rising temperature on the radial increment. Increasing precipitation had a positive effect on the radial increment. A substantial positive effect on the radial increment was also found for the previous year's precipitation. The previous year's temperature effect was nonsignificant. Although there is no clear statistically significant evidence of altitude on radial increment, it seems that for beech more suitable stands are at higher altitudes. Therefore, the study suggests that the optimal conditions for beech growth shift to higher altitudes due to climate change.

Keywords: *Fagus sylvatica*, dendrometer, radial increment, climate, response to drought

Obsah

1 Úvod	10
2 Cíl práce	11
3 Literární rešerše	12
3.1 Buk lesní (<i>Fagus sylvatica</i>).....	12
3.1.1 Charakteristika a popis buku.....	12
3.1.2 Ekologické nároky a rozšíření buku	13
3.2 Tloušťkový přírůst	16
3.2.1 Faktory ovlivňující tloušťkový přírůst.....	17
3.2.1.1 Vodní režim	18
3.2.1.2 Teplota	22
3.2.1.3 Světlo	24
3.2.1.4 Délka vegetační sezony	24
3.2.1.5 Nadmořská výška	25
3.2.1.6 Semenný rok	26
3.2.1.7 Skladba porostu	27
3.3 Měření tloušťkového přírůstu dřevin	28
3.4 Klima v České republice	28
3.4.1 Atmosférické srážky v České republice.....	29
3.4.1.1 Roční chod srážek.....	30
3.4.2 Teplota vzduchu v České republice	30
4 Metodika	32
4.1 Studované plochy	32
4.2 Sběr dat.....	33
4.3 Klimatologická data	34
4.4 Zpracování dat.....	35
5 Výsledky	37
5.1 Kontrola normality dat	37
5.2 Tloušťkový přírůst ve sledovaném období a v závislosti na stanovištních, dendrometrických a porostních charakteristikách.....	37
5.3 Tloušťkový přírůst v závislosti na teplotě vzduchu	38
5.4 Tloušťkový přírůst v závislosti na úhrnu srážek	39

5.5	Vliv nadmořské výšky na tloušťkový přírůst.....	41
6	Diskuse	42
6.1	Tloušťkový přírůst ve sledovaném období a v závislosti na stanovištních, dendrometrických a porostních charakteristikách.....	42
6.2	Tloušťkový přírůst v závislosti na teplotě vzduchu	43
6.3	Tloušťkový přírůst v závislosti na úhrnu srážek	44
6.4	Vliv nadmořské výšky na tloušťkový přírůst.....	46
7	Závěr.....	47
8	Seznam literatury a použitých zdrojů	48
9	Samostatné přílohy	56

Seznam použitých zkratk

TVP VÚLHM – trvalé výzkumné plochy Výzkumného ústavu lesního hospodářství a myslivosti

1 Úvod

V důsledku globálního oteplování lze v Evropě na mnoha lokalitách sledovat zvýšenou produkci lesů, jelikož se zrychluje proces fotosyntézy, a díky tomu mohou stromy rychleji vytvářet biomasu. To je jeden z mnoha projevů probíhající změny klimatu, avšak tyto klimatické změny mohou mít i dopad zcela opačný (Keenan et al. 2014). Vlivem zvyšujících se teplot lze u dřevin pozorovat dřívější zahájení růstu (Pretzsch et al. 2014). Časnější začátek vegetačního období však nemusí vždy vést k systematickému prodloužení jejich růstové fáze, pouze dochází k posunu růstové fáze časněji do jara (Matula et al. 2023 a). Ačkoliv rostoucí teploty na začátku vegetačního období dřevinám spíše prospívají, během letních měsíců v důsledku zvýšené evapotranspirace a nepravidelného rozložení srážek u nich vyvolávají vodní deficit (Aryal et al. 2020). Snížení dostupnosti vody totiž i přes mnohé fyziologické mechanismy, které snižují dopad sucha, vystavuje dřeviny stresu. Nedostatečný přísun vody má za následek snížení přírůstu, anebo dokonce krátkodobé smrštění kmene (Roibu et al. 2022). Jelikož se ve střední Evropě do roku 2070 očekává zvýšení průměrných ročních teplot o 2,3–2,7 °C, což bude mít za následek častější a intenzivnější sucha a vlny veder, má smysl se působení současného klimatu na tloušťkový přírůst dřevin věnovat (Kasper et al. 2022).

Jednou ze dřevin, která je nedostatkem vody výrazně limitována, je buk lesní. Je důležité pochopit, jak tento druh reaguje na měnící se podmínky klimatu, protože se předpokládá, že do roku 2050 by mohlo být 56–96 % evropských bukových lesů mimo současnou bioklimatickou niku (Czúcz et al. 2011).

Buk se v mnoha zemích řadí mezi nejdůležitější listnaté hospodářské dřeviny. Pro svou schopnost snášet vysoké stupně zastínění a širokou toleranci podmínek dominuje na širokém spektru stanovišť. Zároveň to je dřevina citlivá na sucho, a proto trpí na nedostatek vláhy (Vacek et al. 2022). V oblastech s nedostatkem srážek je buk vystavován stresu, což se projevuje výrazným snížením tloušťkového přírůstu (Bytebier et al. 2022). Tento problém se týká především nížin a jižní oblasti areálu rozšíření, kde vlivem vysokých teplot a nedostatku vody mnohdy dochází k odumírání bukových porostů (Mazza et al. 2024). Proto lze sledovat posun optimálních podmínek pro růst buku přes severní hranici areálu rozšíření a do vyšších nadmořských výšek, kde je také v posledních desetiletích možné pozorovat zvýšené tloušťkové přírůsty (Dolar et al. 2023).

Jelikož je buk v současnosti s podílem 9 % naše nejvíce zastoupená listnatá dřevina (MZe 2021), je důležité porozumět tomu, jak současné klima ovlivňuje růst buku v České republice. K tomu od roku 2020 významně přispívá monitorovací síť automatických dendrometrů, které umožňují sledovat změny jeho tloušťkového přírůstu (Matula et al. 2022). Empirických informací o tom, jak současná variabilita klimatu ovlivňuje růst buku v České republice, je však doposud málo. Tato práce tedy může přispět k hlubšímu poznání problematiky vlivu současného klimatu na růst buku v České republice.

2 Cíl práce

Reakce dřevin na očekávané výkyvy klimatu je čím dál více diskutované téma. Tato bakalářská práce by měla přispět k lepšímu porozumění toho, jak buk lesní na území České republiky reaguje na současné klima. Cílem této práce tedy bylo zpracovat data z dendrometrů umístěných na TVP VÚLHM v hospodářských bukových lesích v rámci gradientu podmínek České republiky. V rámci toho bylo cílem popsat a statisticky vyhodnotit krátkodobou dynamiku tloušťkového růstu buku v závislosti na klimatických faktorech (teplota vzduchu a srážky) v letech 2020–2022 a případně vyhodnotit, zda byl přírůst ovlivněn nějakými dalšími stanovištními faktory.

3 Literární rešerše

3.1 Buk lesní (*Fagus sylvatica*)

3.1.1 Charakteristika a popis buku

Buk lesní (*Fagus sylvatica*) je v České republice nejrozšířenější listnatá dřevina, jejíž přirozené zastoupení v druhové skladbě lesa by mělo být zhruba 40 %, ovšem vlivem přeměny původních bučin v hospodářské monokultury smrku dosahuje současné zastoupení zhruba 9 % (MZe 2021). Jedná se o našeho jediného domácího zástupce z čeledi bukovitých (*Fagaceae*).

Buk se vlastnostmi svého dřeva řadí nejen u nás, ale i v mnoha evropských státech, mezi nejdůležitější hospodářskou listnatou dřevinu (Musil et Möllerová 2005). V minulosti byl buk považován za méně hodnotnou dřevinu, ovšem v posledních desetiletích jeho význam v souvislosti s chemickým zpracováním roste. Oproti slovenskému dřevozpracujícímu průmyslu je u nás využití bukového dřeva menší, ovšem i v českém dřevozpracujícím průmyslu jsou ceněny především hladké rovné části kmene, jelikož bukové dřevo má všestranné využití (Úradníček et al. 2001). Používá se pro výrobu dých a překližek, nábytku, sudů, parket, topůrek, hraček a dalších drobných předmětů. Dřevo z buku se navíc speciálně využívá pro tradiční výrobu ohýbaného nábytku (Chmelař 1987). Společně s dubem je nejznámějším celoevropským využitím použití bukového dřeva na železniční pražce. Slibnou a kvantitativně významnou oblastí použití jsou stavební výrobky z bukového dřeva. Ty mohou prokázat svůj plný potenciál zejména při použití v primární nosné konstrukci. Bukové dřevo umožňuje zmenšit průřezy součástí, což vede k architektonicky zajímavějším konstrukcím (Torno 2022). Použití dřeva pro pilařské zpracování je však u buku mnohdy limitováno tvorbou nepravého jádra, které je způsobeno houbovými patogeny. Takto znehodnocené dřevo je s ostatními méně kvalitními částmi buku, které nejsou vhodné pro dřevozpracující průmysl (např. větve a menší kusy), využito v papírenském průmyslu, při výrobě dřevěného uhlí nebo je zpracováno na palivové dříví (Úradníček et Chmelař 1998). Vysoká výhřevnost a dlouhá doba hoření totiž dělají z bukového dřeva žádané palivo, např. v Bavorsku jsou dvě třetiny vytěženého bukového dříví využity přímo pro energetické účely (Schulz et Blaschke 2022). Velké oblibě se buk těší v okrasném zahradnictví. Kromě starých buků, které jsou běžnou ozdobou zámeckých parků, zde nacházejí uplatnění mnohé kultivary, které se liší barvou listů, tvarem kmene nebo typem růstu (Mergl 1984). Významnou roli u buku hrají také bukvice, které tvoří výrazný podíl ve výživě zvěře. V minulosti byl z bukovic lisován olej (Svoboda 1955).

Jedná se o mohutnou dřevinu s rovným válcovitým kmenem, na kterém je nápadná hladká tenká šedá kůra. Koruna dorůstá do výšky 35–40 m a průměr kmene může být až 1,5 m (Úradníček et Chmelař 1998). Předností buku je do hloubky se větvící srdcovitá kořenová soustava, jejíž základ v mládí tvoří kulový kořen, který je v dalších letech růstu obohacen o horizontálně i vertikálně rostoucí kořeny. Takto stavěný kořenový systém řadí buk mezi významné meliorační a zpevňující dřeviny (Musil et Möllerová 2005). Proto se při vichřici buk spíše zlomí, než vyvrátí (Mergl 1984). Bohatě větvená koruna má na volném prostranství kulovitý tvar, zatímco v porostu je spíše metlovitá (Chmelař 1987).

Na lysých červenohnědých letorostech vyrůstají na krátkých řapících střídavě postavené listy. Ty mají eliptický tvar a jsou 5–10 cm dlouhé, celokrajné se zvlňeným okrajem. Na podzim se listy před každoročním opadem výrazně barví od žluté přes červenou po tmavě hnědou barvu (Kremer 1984).

Buk plodí nepravidelně v intervalech 5–10 let a plodem jsou tříboké nažky (bukvice), po 2–3 ve čtyřchlopnové ostnitě číšce (Musil et Möllerová 2005). Samčí a samičí květy se vyskytují odděleně na stejném stromu a jsou citlivé na jarní mrazy. Pyl z květů se šíří větrem a může se dostat až do vzdálenosti 500 m (Wagner et al. 2010). Plody jsou šířeny především zvěří, v jejíž výživě tvoří významnou složku. Bukvice ke klíčení potřebují listnatý pokryv, jelikož jsou schopny klíčit pouze ve tmě (Kremer 1984). Výmladková schopnost buku je velmi malá. Dochází k ní pouze u mladších a potlačených jedinců (Svoboda 1955).

Z hlediska růstového rytmu se buk řadí mezi pomaleji rostoucí dřeviny (Barna et al. 2011). Rychlost výškového přírůstu je u buku zpočátku nižší a vrcholí mezi 30. a 50. rokem života. Výškový růst, který ustává obvykle okolo věku 100 let, je závislý na stanovišti (Mergl et al. 1984). Buky rostoucí na lokalitách v severní části areálu a ve vysokých nadmořských výškách rostou pomaleji než ty, které rostou v nižších polohách ve střední části areálu (Svoboda 1955). Tloušťkový růst není věkem nijak výrazně omezen. Trvá, i když jedinec výškově už nepřirůstá (Chmelař 1987), ovšem velikost přírůstu ve vyšším věku mírně klesá (Kremer 1984).

Morfologická proměnlivost v závislosti na ekologických podmínkách je u buku celkem malá, avšak provenienční pokusy ukazují značné ekologické rozdíly (Svoboda 1955). Severské ekotypy buku nízkých poloh se vzrůstem značně liší od středoevropských buků horských poloh (Úradníček et Chmelař 1998). Buky ze severu mají košatější koruny a kratší kmen, zatímco středoevropské buky dosahují větších výšek a vyznačují se štíhlejším růstem a průběžným kmenem (Chmelař 1987).

V optimálních podmínkách u nás buk dosahuje věku 200–400 let (Úradníček et al. 2001), ovšem v současnosti se v Krušných horách nachází buk, jehož stáří je okolo 470 let (Silvarium 2024). V délce života buku však hrají důležitou roli faktory klimatu a topografie. Dlouhověkost buku je totiž spojena se severně orientovanými svahy ve vyšších nadmořských výškách evropských pralesů (Piovesan et al. 2003). Drsnější podmínky takového stanoviště prodlužují věk buku vlivem snížené rychlosti růstu. Nejstarší jedinci mohou za těchto podmínek dosáhnout stáří až 550 (Tratsiuk et al. 2012) nebo 578 let (Pavlin et al. 2021).

3.1.2 Ekologické nároky a rozšíření buku

Rozšíření

Buk je evropskou dřevinou mírného pásma a vyšších poloh jižní Evropy. Hlavní těžiště jeho výskytu leží v západní, střední a jihovýchodní části evropského kontinentu. Buku totiž vyhovuje klima oceánického nebo suboceánického charakteru (Roibu et al. 2022). Areál jeho rozšíření se rozprostírá na více než 910 000 km² (Leuschner 2020). Severní hranici výskytu buku tvoří jih Anglie a jižní oblasti Norska a Švédska (Mráček 1989). Ta je vymezena teplotou, respektive výskytem mrazů po vyrašení pupenů (Pretzsch et al. 2014) a krátkou délkou vegetačního období (Cailleret et Hendrik 2010). Ve východní Evropě úplně chybí, jelikož východní hranice areálu buku postupuje ze Švédska přes Polsko na jihovýchodní úpatí Karpat (Mráček 1989). Jeho rozšíření směrem na východ je omezeno horkými léty kontinentálního klimatu (Bytebier et al. 2022). Na jihu je rozšířen v horských oblastech Balkánského a Apeninského poloostrova a zasahuje až do pohoří na Sicílii. V západní části areálu je rozšířen ve východním a západním pásu Pyrenejí a po celém západním pobřeží Francie (Chmelař 1987). Kontinentální klima je pro buk nevyhovující, jelikož je citlivý na pozdní mrazy a nízkou vzdušnou vlhkost. Vyžaduje dostatek srážek a v letním období dostatečnou relativní vzdušnou vlhkost (Ningre et Colin 2007). Proto uvnitř areálu chybí v teplých oblastech

s nedostatkem srážek (např. Maďarská nížina) a v oblastech s kontrastním klimatem (např. centrální Alpy) (Úradníček et Chmelař 1998).

Vertikální rozšíření je závislé na zeměpisné šířce. Okolo severní hranice areálu se vyskytují bučiny v nížinách v 100–200 m n. m. (Dittmar et al. 2003), kde buk potřebuje roční úhrn srážek aspoň 500 mm (Svoboda 1955). Ve střední Evropě má buk optimum mezi 400–1 000 m n. m. (Mergl 1984) s požadavkem na roční úhrn srážek 600–1 200 mm a průměrné roční teploty mezi 3–9 °C (Barna et al. 2011). Ovšem optimální průměrná roční teplota pro buk se v této oblasti udává 5,5–8,5 °C (Thomasius 1991). V pohořích jižní Evropy nesestupuje pod 1 000 m n. m. a dosahuje výšek až 2 000 m n. m. (Úradníček et al. 2001). Výskyt buku nad horní hranicí jeho vertikálního rozšíření limitují nízké teploty (Dolar et al. 2023), zatímco spodní hranici určuje nízká tolerance vůči letnímu suchu (Cailleret et Hendrik 2010). V oblastech optima se buk nachází ve všech expozicích. Preferuje však jihovýchodní expozici, kde se mu daří nejlépe (Svoboda 1955). Podle Dittmara (2003) je z hlediska klimatických podmínek ideálním místem pro buk jižní Švédsko, jelikož zdejší klima je během vegetačního období pro buk příznivé a po většinu let vyrovnané. Jako primární limitující faktor zde nelze odvodit žádný klimatický parametr, rozpoznatelná je pouze malá závislost na srážkách.

Buk je rozšířen i v okolních státech. V Německu, kde tvoří 16 % rozlohy lesů, se s výjimkou podmáčených oblastí na severu vyskytuje na celém území. Přibližná hranice jeho výškového rozšíření je v pohoří Harz 750 m n. m., v Bavorském lese 1 300 m n. m., v Černém lese 1 450 m n. m. a v Bavorských Alpách dosahuje nadmořské výšky 1 500 m n. m. (Aas 2022). V alpských zemích (Rakousko, Švýcarsko) je jeho výskyt limitován nízkými teplotami. To se projevuje absencí buku ve vysokých nadmořských výškách a například v oblasti centrálních Alp se tak nevyskytuje (Úradníček et Chmelař 1998). Na Slovensku jde o hojně rozšířený druh dřeviny, která často tvoří čisté bučiny a její rozšíření zaujímá zhruba 41 % plochy lesů (Barna et al. 2011). Vyskytuje se zde od nadmořské výšky 300 m n. m. a do maximální nadmořské výšky 1 400 m n. m. stoupá na jižních svazích Nízkých Tater (Chmelař 1987). Ve Vysokých Tatrách a na severních svazích Nízkých Tater chybí, jelikož jeho výskyt je zde limitován mrazy (Mráček 1989). Z důvodu nedostatku srážek a kontinentálního charakteru klimatu téměř úplně chybí na území Maďarska (Mergl 1984). V Polsku je buk rozšířen téměř po celém území, výjimkou je oblast středního a východního Polska, kde je růst buku limitován působením kontinentálního klimatu (Chmelař 1987).

Vegetační doba v České republice musí být pro zdárný vývoj buku dlouhá aspoň 3–4 měsíce a musí zahrnovat minimálně 26 letních dnů, během kterých je teplota vyšší jak 20,5 °C. Zároveň se však může vyskytovat maximálně 120 zimních dnů, při kterých teplotní maximum nepřesáhne 5 °C (Mráček 1989). Proto na území České republiky buk dominuje v nadmořských výškách 400–700 m n. m., kde svým dominantním zastoupením vytváří bukový lesní vegetační stupeň. Průměrná roční teplota se v těchto oblastech pohybuje okolo 7–7,5 °C a roční srážky se pohybují v rozmezí 700–800 mm (Vacek et al. 2020). V nižších polohách na buk navazuje dub zimní, kterému zde buk nemůže konkurovat kvůli suššímu a teplejšímu klimatu, místy ovšem může sestupovat až do 200 m n. m. (Úradníček et Chmelař 1998). V podhorských oblastech buk tvoří společně s jedlí, javorem klenem a se smrkem smíšené lesy, na které navazují horské smrčiny s dominantním zastoupením smrku, kterému zde buk nemůže konkurovat z důvodu nižších teplot. I přes to např. na Šumavě buk vystupuje do výšky přes 1 000 m n. m. (Chmelař 1987).

V budoucnu však bude buk v oblasti jižní hranice areálu a v nižších nadmořských výškách omezován pravděpodobným nárůstem sucha a zvýšením teplot, proto se oproti současnému rozšíření očekává posun areálu a zvýšení rychlosti růstu směrem přes současnou severní hranici jeho rozšíření a do vyšších nadmořských výšek (Dolar et al. 2023, Roibu et al. 2022, Latte et al. 2015). Řada studií v této souvislosti poukazuje na jeho proměnlivé chování, jelikož oproti mnohým jiným druhům dřevin buk dokáže na klima reagovat plastickým a adaptivním růstem (Decuyper et al. 2020). To by pro buk mohlo představovat konkurenční výhodu, jak se vyrovnat se změnou klimatu (Hackett-Pain et al. 2017).

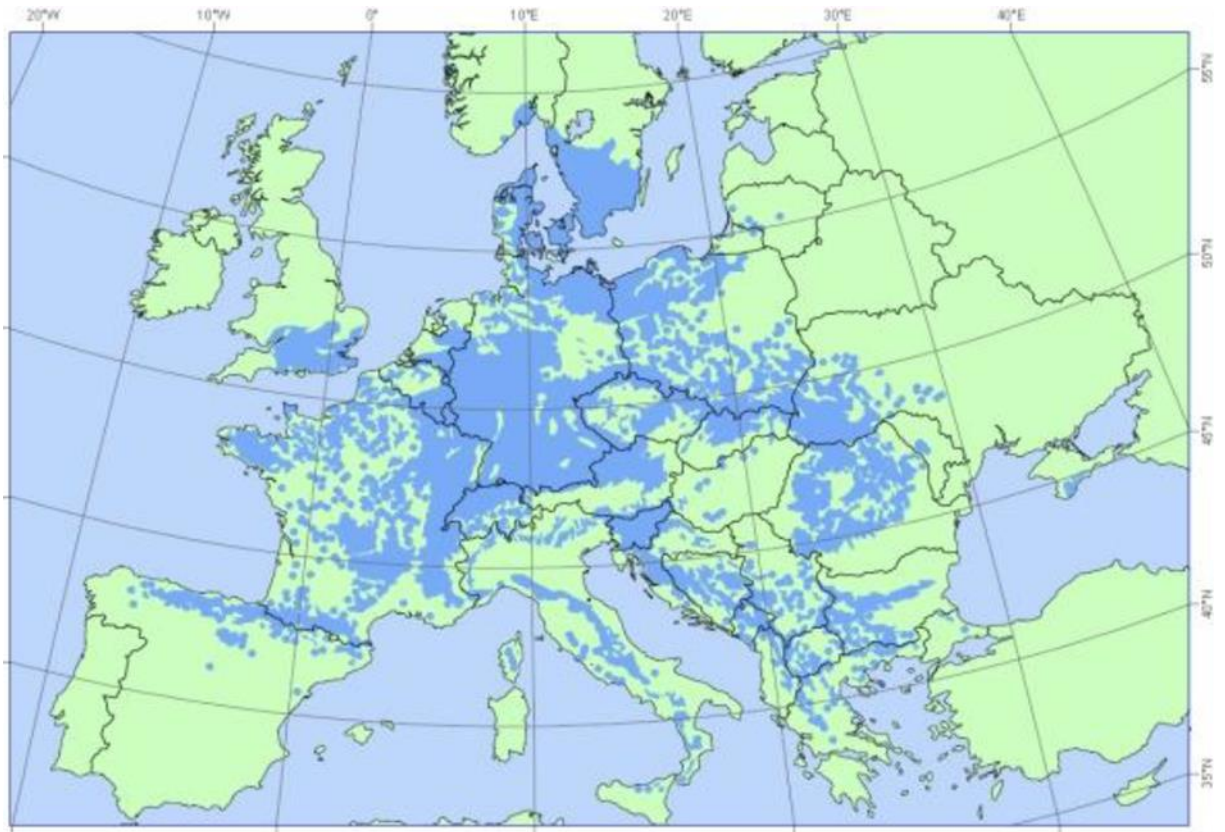
Ekologické nároky

Buk preferuje čerstvě vlhké půdy v oblastech s dostatkem srážek. Vyhýbá se suchým půdám, což je hlavní limitující faktor jeho výskytu v nížinách. Rovněž nesnáší trvale zamokřené půdy, kde hladina spodní vody stoupá až k povrchu půdy, a zaplavované lužní oblasti v okolí vodních toků (Musil et Möllerová 2005). Z půdních stanovišť vynechává pouze suché písky a nepropustné jíly, jinak se vyskytuje na všech typech půd, které ovšem musí být dostatečně hluboké, vlhké a provzdušněné. Nejlépe však roste na humózních půdách, které jsou dobře zásobeny vápníkem (Poleno et al. 2009). Naopak nejméně se mu daří na půdách s nedostatkem kyslíku, což jsou stanoviště s vysokou hladinou spodní vody nebo husté jílovité půdy, a na kamenitých půdách, zejména v suťových lesích s častým padáním kamení (Aas 2022). Na stanovištích, kde klima a jiné faktory nejsou pro růst buku optimální, se zvyšují jeho nároky na půdu. Bohatý listový opad značně ovlivňuje půdu, na které buk roste. Tvorbou vysoké vrstvy nadložního humusu přispívá k obohacování stanoviště. Ovšem pokud není na stanovišti dostatek světla a vlhkosti, dochází k nedostatečnému rozkladu opadu, což zabraňuje růstu semenáčků (Úradníček et al. 2001).

Nebezpečí pro semenáčky buku představuje především sucho, na které jsou velmi citlivé a během období extrémního sucha často dochází k jejich úhynu (Wagner et al. 2010). Mladí jedinci jsou také obzvláště citliví na mraz (Mergl 1984). Buk totiž raší poměrně brzy a pozdní mrazy mohou nejen spálit nově vyrašené letorosty, ale také úplně zničit mladé jedince. Proto se buku nedaří v mrazových kotlinách a není vhodný pro zalesňování velkých holin (Úradníček et Chmelař 1998).

Buk patří mezi dřeviny, které tolerují silný zástín (Klimo 1994). Listy stromů uzavřených uvnitř porostu se nedostatkem světla přizpůsobily odlišnou anatomickou stavbou (Úradníček et Chmelař 1998). To umožňuje vznik víceetážových bukových porostů, kde bývají velice husté mlaziny, které z těchto stanovišť vytlačují většinu ostatních druhů dřevin náročnějších na světlo (Aas 2022). Tolerance buku k zastínění umožňuje hustou výsadbu sazenic. Ta snižuje boční větvení stromů a napomáhá k tvorbě průběžných kmenů, které jsou ceněny ve dřevozpracujícím průmyslu (Wagner et al. 2010). Husté olistění během léta způsobuje také silné zastínění půdy, takže během letních měsíců se v podrostu bučin vyskytují pouze sciofyty, neboli stinofilné rostliny (Chmelař 1987).

Ke znečištěnému ovzduší je buk středně citlivý (Chmelař 1987). Je ovšem citlivý na imise, ale ve srovnání se smrkem dokáže lépe odolávat vysokým koncentracím SO₂. Z oblastí zasažených imisemi však postupně ustupuje, avšak díky opadu olistění se z těchto oblastí stahuje ve srovnání se smrkem o něco pomaleji (Vacek et al. 2021).



Obrázek 1 – Areál rozšíření buku lesního (zdroj: Euforgen 2023)

3.2 Tloušťkový přírůst

U dřevin mírného pásma dochází v důsledku vegetačního klidu během zimy k přerušení růstu. Na stromě tak během vegetační sezony činností dělivých pletiv – kambia a felogénu – vzniká nová plášť dřeva a kůry a to tak, že na poslední vrstvu pláště dřeva navazuje vrstva kambia a z ní se směrem dovnitř tvoří nová vrstva dřeva a směrem ven nová vrstva kambia (Drápela et Zach 1995).

Produktem dělivých pletiv jsou vodivá pletiva, tedy vrstva nového pláště dřeva. Ta se skládají z floému (lýka), který vzniká z felogénu a rozvádí roztoky asimilátů z listů k místu jejich uložení, a xylému (dřeva), který vzniká z kambia a slouží k dopravě vody a minerálních látek od kořenů k listům (Černý et Karlík 2021). Xylém tvoří dva typy mrtvých buněk s vodivou funkcí. A to fylogeneticky starší cévice (tracheidy), typické pro nahosemenné, a cévy (tracheje), které jsou společně s cévicemi vodivými elementy u krytosemenných (Tomášková et Kubásek 2016). Tloušťkový růst dřevin tedy zahrnuje tvorbu nových xylémových a floémových buněk.

Tloušťkový přírůst dřeva vytvořený během jedné vegetační sezony se nazývá letokruh (Etzold et al. 2022). Ten tvoří dvě strukturálně a u některých dřevin i barevně rozdílné vrstvy – jarní a letní dřevo. Světlejší a řidší vrstva buněk – jarní dřevo – se tvoří v první polovině vegetačního období a buňky jsou tenkostěnné a široké. Tmavší a hustší vrstva letokruhu – letní dřevo – se vytváří ve druhé polovině vegetačního období a je tvořena užšími, zploštělými a silnostěnnými buňkami (Šlezingerová et Gandelová 2005). Jarní dřevo se tvoří pod vlivem rašících pupenů a nejmladších listů, protože kambium je zaplaveno stimulačními fytohormony (auxin, giberlin). Po dospění listů, což je zhruba v polovině června, tvorba jarního dřeva ustane, protože dospělý list je zdrojem inhibičních fytohormonů. V létě však produkce inhibičních

fytohormonů poklesne, takže se opět obnoví aktivita kambia a během července a začátku srpna dochází k tvorbě buněk letního dřeva. V pozdním létě se opět zvýší účinky inhibičních fytohormonů, které uvedou kambium do klidu až do nového rašení pupenů (Procházka et al. 2007).

Na základě odlišné struktury uspořádání buněk letokruhu se dřeviny člení na tři skupiny – jehličnany, kruhovitě pórovité listnáče a roztroušeně pórovité listnáče (Štícha et al. 2015). U jehličnanů (např. smrk, borovice) je vlivem rozdílné anatomické struktury buněk patrná barevná odlišnost jarního a letního dřeva, jelikož jednotlivé vrstvy letokruhu mají rozdílné šířky buněk a tloušťky buněčných stěn. Listnaté dřeviny s kruhovitě pórovitou stavbou (např. dub) mají rovněž v důsledku rozdílných šířek buněk a tlouštěk buněčných stěn dobře barevně rozlišeny jednotlivé vrstvy letokruhu. U roztroušeně pórovitých listnatých dřevin (např. buk, javor) je hranice mezi jarním a letním dřevem těžko rozlišitelná, jelikož přechod mezi nimi je postupný v důsledku rovnoměrnějšího zastoupení jednotlivých anatomických elementů v letokruhu (Matovič 1988).

Tloušťkový přírůst dřevin se zpravidla měří ve výšce 1,3 m nad patou kmene, kde již není ovlivněn kořenovými náběhy. Šířka letokruhu je proměnlivá a závisí na komplexu vzájemně působících faktorů. Většinou se u dřevin pohybuje roční tloušťkový přírůst v rozmezí 1–5 mm. Za nepříznivých podmínek růstu může šířka letokruhu klesnout pod 1 mm. S přibývajícím věkem dochází k postupnému snížení šířek letokruhů (Šlezingerová et Gandelová 2005).

Velikost tloušťky letokruhu není na celé výšce kmene stejná (Šmelko 2000). Tloušťkový přírůst nabývá na různých místech po obvodu příčného průřezu kmene různých hodnot, které kolísají v určitých mezích. Na tom se podílejí zejména sklon terénu, expozice nebo převládající směry větru (Drápela et Zach 1995).

Jako důsledek namáhání kmene vlivem větru vzniká reakční dřevo, jehož projevy jsou u jehličnatých a listnatých dřevin rozdílné. U jehličnatých dřevin se projevuje na závětrné straně kmene nebo na spodní straně větve, proto se nazývá dřevo tlakové, a v zasaženém místě je v příčném řezu patrné hnědé rozšíření letokruhu do tvaru půlměsíce, jelikož je zde 3–4krát vyšší podíl letního dřeva. U listnatých dřevin se projevuje na návětrné straně kmene a na horní straně větví, proto se nazývá tahové dřevo, které má rovněž v daném místě zvětšenou šířku letokruhu vlivem zvýšeného podílu letního dřeva, a na příčném řezu se projevuje jako bílá lesklá plocha ve tvaru půlměsíce (Gandelová et al. 2009).

3.2.1 Faktory ovlivňující tloušťkový přírůst

Tloušťkový přírůst dřevin ovlivňuje mnoho faktorů. Mezi ty, které se nejvíce podílejí na velikosti a průběhu tloušťkového přírůstu, patří klimatické podmínky a pozice jedince v porostu, která určuje přísun živin a dostatek světla (Drápela et Zach 1995). Důležitou roli ve velikosti přírůstu hraje také kvalita a složení půdy. Ta má zásadní podíl na dostupnosti živin a vody. Rozhodujícím faktorem šířky letokruhu je také druh dřeviny, jelikož různé druhy dřevin mají v závislosti na délce vegetační sezony rozdílnou rychlost růstu. Ta je dále ovlivněna věkem a zdravotním stavem dřeviny. Mladé a zdravé stromy obecně rostou rychleji než starší a oslabení jedinci. Nemalou roli hrají také vlastnosti dřeviny a její nakládání se zásobními látkami a s vodou. Vlivy jednotlivých činitelů působících na tloušťkový přírůst se však navzájem prolínají a různým způsobem kombinují, jelikož růst dřevin je komplexní proces (Šmelko 1982). Prudké změny těchto faktorů mohou vést k náhlému zvětšení či zmenšení

přírůstu nebo k nepravidelné tvorbě letokruhů. To znamená, že se v daném roce vytvoří tzv. dvojité letokruh, kdy se během vegetačního období vytvoří dva letokruhy, nebo že se v daném roce měřitelně velký letokruh nevytvoří (Štícha et al. 2015).

Z vnějších vlivů je tloušťkový přírůst ovlivněn zejména teplotou a dostupností vody, jejichž vliv na přírůst se navzájem ovlivňuje. Rostoucí průměrné roční teploty sice vedou ke zvýšení tloušťkového přírůstu, ovšem v důsledku vyššího výparu a nepravidelného rozdělení srážek během roku se pro dřeviny snižuje dostupnost vody, což naopak vede k výraznému snížení tloušťkového přírůstu. Jestli se ve výsledku tloušťkový přírůst zvýší či sníží, záleží na tom, zda převládne pozitivní vliv vyšší teploty, nebo negativní vliv nedostatku vody (Matula et al. 2023 a). Většinou převáží vliv sucha, jelikož nedostatek vody je pro dřeviny hlavní limitující faktor. Působení klimatických faktorů na přírůst však významně závisí na stanovištních podmínkách, a to zejména na nadmořské výšce. Zatímco v nížinách je tloušťkový přírůst limitován nedostatkem srážek a vyššími teplotami, ve vysokých nadmořských výškách přírůstu vyšší teploty a nižší srážky prospívají (Dittmar et al. 2003).

Tloušťkový přírůst dřevin je ovlivněn také podmínkami z předchozího roku. Ve srovnání s jehličnany je přírůst listnáčů závislý na sacharidech uložených z předchozího roku více. To je dáno tím, že k růstu kořenů a letorostů dochází ještě před vyrašením listů (van der Maaten 2012).

Na velikost tloušťkového přírůstu má značný vliv také sociální postavení daného stromu v porostu (Drápela et Zach 1995). Při náhlém zvětšení stromového rozestupu se začne tloušťkový přírůst zvětšovat, ovšem pouze do určité míry. Tato reakce na uvolnění je daleko prudší u stíntolerantních druhů dřevin, kterými jsou např. buk nebo jedle, u kterých se tato změna projeví zvětšením šířky letokruhu až o 20 % (Šebík et Polák 1990).

Tloušťkový přírůst buku se v mnoha středoevropských regionech během 20. století zvýšil. Pravděpodobnými příčinami jsou vliv atmosférické depozice dusíku, rostoucí koncentrace CO₂ v atmosféře, delší vegetační období, změněné hospodaření v lesích a obnova půdy po staletích hrabání steliva (Piovesan et al. 2008). V horských polohách střední Evropy však zhruba od 50. do 80. let 20. století převládaly u buku negativní růstové trendy, které pravděpodobně souvisely se znečištěním ovzduší (Dittmar et al. 2003).

Vlivem klimatické změny lze v současnosti sledovat v nížinách a na jižní hranici výskytu buku klesající růstové trendy (Latte et al. 2015), zatímco ve vyšších polohách a okolo severní hranice se tloušťkové přírůsty buku zvyšují (Dolar et al. 2023).

3.2.1.1 Vodní režim

Ekologickým faktorem, který má nejvýznamnější podíl na růstu rostlin a přírůstu dřevin, je voda (Procházka et al. 2007). Proto jsou rostliny rostoucí mimo stanoviště s vodním tokem nebo vysokou hladinou spodní vody závislé na množství atmosférických srážek, které jsou rostlině k dispozici. Jedním z nejužívanějších nástrojů pro klasifikaci oblastí dle dostupnosti vláhy je Langův dešťový faktor (LDF), který klasifikuje a hodnotí oblasti podle dostupnosti vláhy v půdě pro rostliny, což do značné míry určuje teplota (Tolasz 2007). Zejména vysoké teploty při dlouhotrvajících letních vlnách veder zvyšují výpar vody neboli evaporaci (Salomón et al. 2022). Při zvýšení nedostatku vody v půdě rostliny trpí vodním deficitem, což ovlivňuje mnohé fyziologické procesy, mimo jiné i tloušťkový přírůst stromů (Brinkmann et al. 2016, van der Maaten 2012). Dostupnost vody pro rostlinu je navíc ovlivněna několika faktory, a to

reliéfem terénu, u kterého je důležitá světová orientace a úhel sklonu, dále nadmořskou výškou, vlastnostmi půdy a také strukturou porostu (Slavíková 1986).

Vodní bilanci u rostlin určuje rozdíl přijaté vody (absorpce) a vydané (transpirace). Pokud je množství přijaté a vydané vody stejné, vodní bilance rostliny je vyrovnaná, ovšem velmi často výdej převažuje nad příjmem, a tím dochází k vodnímu deficitu (Procházka et al. 2007). U rostlin se proto vyvinulo několik anatomických, morfologických či biochemických mechanismů na obranu proti poškození suchem. Některé z nich sice u dřevin vedou ke snížení tloušťkového přírůstu, ovšem zabezpečí jejich přežití i při výraznějším vodním deficitu.

Jako jednu z prvních reakcí na nedostatek vody lze pozorovat uzavření průduchů, což omezuje ztrátu vody transpirací. To je řízeno mnoha mechanismy, například poklesem turgoru svěřacích buněk vlivem vodního deficitu, ovšem v případě sucha se na tomto procesu významně podílí kyselina abscisová (ABA). Jedná se o fytohormon, jehož syntéza probíhá v kořenech již při prvních příznacích sucha v půdě. Jeho význam po transportu do nadzemních orgánů spočívá v tom, že koordinuje reakce rostlin, které vedou ke zvýšené odolnosti vůči suchu (Tomášková et Kubásek 2016).

Za účelem zvýšení příjmu vody a zvýšení odolnosti proti dehydrataci během stresu z nedostatku vody dochází v buňkách ke zvýšení koncentrace osmoticky aktivních látek. Jedná se o sacharidy, cukerné alkoholy nebo aminokyseliny (např. prolin), které mají za úkol snížit vodní potenciál vakuoly a protoplastu vůči prostředí a zvýšit příjem vody v období sucha (Leuschner 2020).

U dřevin je mírný stres ze sucha obvykle spojen se zvýšenou produkcí nestrukturálních sacharidů (rozpuštěné cukry a někdy také škrob). Tato reakce vede k osmotickým změnám v buňce. Rozpuštěné cukry chrání strom před buněčnou dehydratací a navíc posilují obranu proti patogenům, vůči kterým jsou stromy v období sucha náchylnější. Jakmile období sucha skončí, hladina nestrukturálních sacharidů se opět sníží (Tomasella et al. 2019).

Pokud je dřevina vystavena stresu suchem, může také docházet k syntéze specifických stresových bílkovin. Ty chrání strukturu makromolekul a podílí se na genové expresi jiných proteinů. Při silném nedostatku vody jsou pro rostlinu důležité tzv. LEA proteiny, mezi které patří dehydriny. Jedná se o extrémně hydrofilní proteiny, které při vodním deficitu ochraňují celistvost biomembrán a udržují strukturu ostatních proteinů. Dehydriny a cukerné alkoholy působí v rostlině jako antioxidanty a zneškodňují volné kyslíkové radikály, které mohou vzniknout vlivem sucha (Tomášková et Kubásek 2016).

Dostupnost vody pro dřeviny během suššího období zvyšuje také ektomykorhiza, což je symbiotický vztah mezi kořeny dřevin a houbovými vlákny. Ta může zvýšit odolnost hostitelského stromu vůči suchu prostřednictvím několika mechanismů, zejména rozšířením povrchové plochy absorbující vodu nebo zvýšením hydraulické vodivosti na rozhraní půda–kořen. Odolnost vůči suchu se však liší podle druhů hub, se kterými tvoří stromy ektomykorhizu (Nickel et al. 2018).

Růst nadzemních částí dřevin je obecně citlivější na nedostatek vody než růst kořenů. Proto lze jako dlouhodobou a systémovou adaptaci během sucha u dřevin pozorovat přednostní alokaci sacharidů do kořenů, čímž se zvyšuje poměr kořene a nadzemní části (tzv. R/S ratio) (Hommel et al. 2016). To se zdá být jednou z klíčových reakcí na suchu, protože tím jednak dochází ke stimulaci růstu jemných kořenů, které významně zvyšují absorpční povrch kořene, a také se tak v kořenech zvyšuje hladina nestrukturálních sacharidů. A právě ty prostřednictvím

osmotického nastavení a stabilizace membrán a proteinů umožňují, aby si kořeny udržely růst i během sucha (Chuste et al. 2020).

Z morfologických adaptací na sucho můžeme u listnatých dřevin sledovat pokles listové plochy, která je navíc chráněna hydrofobní vrstvou kutikuly. V případě extrémního sucha potom dochází ke shazování fotosynteticky méně aktivních listů. To může pomoci chránit větve, kmeny a kořeny před kritickou ztrátou vody a vyhnout se embolii (Schuldt et al. 2020). Opad listů má však za následek výraznější snížení tloušťkového přírůstu, jelikož fotosyntetická aktivita určuje množství sacharidů dostupných pro fyziologické procesy, tedy i tvorbu dřeva (Decuyper et al. 2020). Vlivem sucha může u buku dojít k restrukturalizaci koruny (Aas 2022). Aby buk chránil své listy před nadměrným zářením, které urychluje transpiraci, dospělé stromy vytvoří jako ochranný štít vrstvu malých slunečních listů (Kutsch et al. 2009). V bukových porostech tak bývají proti suchu odolnější subdominantní buky, jelikož mají nižší hydraulické namáhání a těžší z nižší potřeby vody. Na druhou stranu velký počet menších stromů v porostu může snížit zásobu vody pro velké stromy, a tím zvýšit jejich stres ze sucha (Pretzsch et al. 2022).

I přes mnohé mechanismy, které snižují dopad sucha na dřeviny, se stromy potýkají během dlouhých suchých období s vodním deficitem (Roibu et al. 2022). Ten způsobuje pokles buněčného turgoru. Nedostatečný přísun vody tak může mít za následek snížení přírůstu, anebo dokonce krátkodobé smrštění kmene (Pretzsch et al. 2014). Při následném doplnění vody se turgor buňky opět zvýší a dojde k návratu buněk do původní velikosti (Aryal et al. 2020). K těmto procesům, při kterých se mění obsah vody v buňkách, může dojít několikrát během dne, jelikož zásadní roli hraje vodní potenciál a transpirace dřevin (Šebík et Polák 1990). Stromy obvykle rostou zejména v nočních hodinách s maximálním přírůstem po půlnoci (Zweifel et al. 2021) a před východem slunce (Krišāns et al. 2016), jelikož v této části dne bývají nejlépe zásobeny vodou. Se vzrůstající transpirací v průběhu dne se tloušťkový přírůst dřevin většinou postupně snižuje a v odpoledních hodinách bývá nejnižší. Ovšem pokud má dřevina dostatečný přísun vody, jsou rozdíly v tloušťkovém přírůstu během dne minimální (Drápela et Zach 1995). Ačkoli jsou listnaté dřeviny oproti jehličnanům vůči suchu odolnější, dlouhotrvající sucho vede k postupnému vadnutí stromu, které se projevuje především defoliací, až nakonec strom uschne a odumře (Salomón et al. 2022).

Ve střední Evropě se buk vyskytuje převážně v oblastech, kde se roční úhrn srážek pohybuje mezi 600 a 1 200 mm (Barna et al. 2011). Výše úhrnu srážek má na růst buku významný vliv, protože šířka letokruhu je více ovlivněna srážkami a půdní vlhkostí než teplotou a slunečním zářením (García-Suárez et al. 2009). Největší tloušťkové přírůsty jsou u buku obvykle zaznamenány ve středoevropských oblastech s ročními srážkovými úhrny kolem 600–700 mm (Felbermeier 1993). Nicméně vliv srážek na tloušťkový přírůst souvisí s nadmořskou výškou, protože v nižších a středních nadmořských výškách je růst buku oproti vyšším polohám závislý na dostupnosti vody, která v těchto polohách tvoří limitující faktor rozšíření buku (Dittmar et al. 2003). V nižších nadmořských výškách je přírůst buku výrazně podporován vyššími srážkami, zatímco na nižší úhrny srážek buk reaguje snížením tloušťkového přírůstu (Cailleret et Hendrik 2010). Ve vyšších nadmořských výškách je vliv srážek na přírůst buku méně významný. Ovšem lze zde pozorovat, že přírůst je podporován nižšími srážkami, zatímco vyšší úhrny srážek mají na tloušťkový přírůst buku negativní vliv (Decuyper et al. 2020).

Pro buk je důležitá schopnost ukládat značné množství vody do kmene a kořenů. Tato schopnost mu umožňuje přečkat období nedostatku vláhy a zároveň snižovat kolísání vodního potenciálu v listech. Během dne buk částečně odebírá akumulovanou vodu, což pomáhá vyrovnávat nedostatek vody. Podíl akumulované vody ku každodenní spotřebě vody se u buku může pohybovat od 10 do 60 % (Köcher et al. 2012). Schopnost ukládat vodu z předchozích období dokazuje, jak dobře dokáže buk využívat své zásoby vody a přizpůsobovat se nepříznivým podmínkám, protože během výrazného sucha může skladovaná voda pokrývat až 67 % denní spotřeby vody (Betsch et al. 2011).

Tloušťkový přírůst buku je významně ovlivněn množstvím srážek na začátku vegetační sezony a v průběhu jara. Tato doba je pro růst klíčová, protože na konci tohoto období buk dosahuje díky tvorbě tenkostěnných buněk s větším průměrem 30–70 % ročního přírůstu. Proto má nedostatek srážek během jarních měsíců na přírůst negativní vliv (Lebourgeois et al. 2005). Největší vliv srážek na tloušťkový růst buku je však pozorován během letních měsíců. Mnoho studií ukazuje, že nízké srážkové úhrny v létě, zejména v červnu a červenci, způsobují výrazné snížení tloušťkového růstu (Ježík et al. 2016). To bylo možné sledovat například v Belgii, kde je průměrný roční tloušťkový přírůst buku 2,20 mm (Latte et al. 2015), nebo ve Francii, kde se průměrný roční přírůst pohybuje kolem 2,26 mm. Zde nedostatek srážek způsobuje průměrné snížení tloušťkového přírůstu o 32 % (Lebourgeois et al. 2005) a v mimořádně suchých letech až o 49 % (Michelot et al. 2012). Reakce buku na nízké srážky v letních měsících je zesílena vysokými teplotami a je patrná zejména u stromů rostoucích na teplejších severozápadních a jihozápadních svazích. To bylo pozorováno například v jihozápadním Německu, kde je průměrný roční tloušťkový přírůst buku na severozápadním svahu 1,54 mm a na jihozápadním svahu 1,48 mm, zatímco na severovýchodním svahu s příznivějšími podmínkami dosahuje asi 1,80 mm (van der Maaten 2012). Naopak pokud jsou během letních měsíců zaznamenány vyšší úhrny srážek, tloušťkový přírůst buku je pozitivně ovlivněn (Bytebier et al. 2022) a například ve Francii se díky tomu může tloušťkový přírůst zvýšit až o 53 % (Lebourgeois et al. 2005). Pozitivní spojitost mezi přírůstem buku a vyššími letními srážkami je pozorovatelná i na Slovensku, kde průměrný roční přírůst buku činí přibližně 2,00 mm (Ježík et al. 2011), a v Lotyšsku, kde se průměrný roční přírůst pohybuje kolem 1,80 mm (Krišāns et al. 2016). Příznivý vliv vysokých letních úhrnů srážek na tloušťkový přírůst je výrazně podpořen vysokými teplotami. Tento jev byl pozorován v roce 2022 v České republice, kde se vlivem vysokých teplot a dostupnosti vody tloušťkový přírůst oproti předchozím dvěma rokům zdvojnásobil a přesáhl 2,50 mm (Matula et al. 2023 a). Reakce tloušťkového přírůstu na nedostatek vody je však závislá na období, ve kterém suché období nastane (Šebík et Polák 1990). Například nedostatek vody ke konci vegetační sezony nemusí nutně vést ke snížení přírůstu, protože přírůst většiny stromů je již ukončen. V takovém případě dochází spíše k dočasnému smrštění buněk, což sice zmenší obvod kmene, ale na samotný tloušťkový přírůst to téměř nemá vliv (Salomón et al. 2022).

Přírůst buku závisí nejen na srážkových úhrnech daného roku, značný vliv mají také úhrny srážek z předchozího roku. Mnoho studií prokázalo, že přírůst v daném roce je pozitivně ovlivněn vyššími srážkovými úhrny v předchozím roce. Tento jev byl sledován v Belgii (Bytebier et al. 2022) nebo v Lotyšsku (Krišāns et al. 2016). Příznivý vliv vyšších srážek spočívá v tvorbě a ukládání zásobních látek, které jsou následující jaro využity při počáteční fázi tvorby letokruhů (Roibu et al. 2022). Naopak nedostatek srážek z minulého roku má na tloušťkový přírůst v aktuálním roce negativní vliv. Nicméně v dalším roce se přírůst vrátí na úroveň před suchem (Verschuren et al. 2023).

3.2.1.2 Teplota

Teplota je rovněž důležitým činitelem pro fyziologické procesy rostlin. Z pohledu fungování dřevin má zásadní význam, protože patří k faktorům, které ovlivňují průběh fotosyntézy a významně se podílejí na produkci a tloušťkovém přírůstu (Slavíková 1986). Pro většinu rostlin je teplotní fotosyntetické optimum 20–35 °C (Tomášková et Kubásek 2016). Při teplotách nižších než 10–15 °C, a naopak vyšších než 40–45 °C, fotosyntéza výrazně klesá. Při teplotě nad 45–50 °C pak nad fotosyntézou převládá dýchání a rostlina ztrácí uhlík. Ještě vyšší teploty způsobí nevratné poškození buněk (Tomášková et Kubásek 2016). V rozmezí optimální teploty se růst řídí Van't Hoffovým pravidlem, tedy stoupne-li teplota o 10 °C, růstová rychlost se přibližně zdvojnásobí až ztrojnásobí (Procházka et al. 2007).

Rostliny nemají vnitřní regulaci teploty, proto je teplota rostlin ovlivněna okolím. Zejména při přímém oslunění bývá teplota rostlin o 2–8 °C vyšší, než je teplota okolního vzduchu. Při obzvláště silném oslunění a nízké transpiraci pak dochází k výraznému přehřátí povrchu rostlin, a to až o 10–20 °C vůči okolnímu vzduchu. Většinou se však teplota povrchu rostlin blíží teplotě okolního vzduchu, proto se při zkoumání vlivu teplot na rostliny bere v úvahu teplota vzduchu (Slavíková 1986).

Během vývoje u rostlin došlo k řadě přizpůsobení, která pomáhají rostlinám zvládat vysoké teploty a přehřátí organismu. Jedná se zejména o snížení listové plochy, syntézu HSP proteinů a osmolytů a regulaci transpirace.

Jednou z adaptací na vysoké teploty je pokles listové plochy. Menší list je díky slabší hraniční vrstvě vzduchu v lepším kontaktu s atmosférou, a díky tomu se tak lépe ochlazuje. To ovšem může být nevýhodné, pokud je teplota vzduchu příliš vysoká, proto se na listu mohou objevit chloupky neboli trichomy. Ty částečně odrážejí a pohlcují sluneční záření, což přispívá k nižšímu ohřívání slunečním zářením (Leuschner 2020).

Dalším přizpůsobením ke vzdorování vysokým teplotám je syntéza proteinů teplotního šoku, tzv. HSP proteinů. Jejich účinek je podobný jako u LEA proteinů v případě vodního deficitu. HSP proteiny jsou v buňce běžně přítomné, ale při nastalém stresu vysokou teplotou se jejich množství několikanásobně zvýší, jelikož chrání další struktury a bílkoviny v buňce před působením vysokých teplot (Tian et al. 2021). Adaptivním mechanismem rostlin pro přežití při extrémně vysokých teplotách je akumulace osmolytů. Ty mají nízkou molekulovou hmotnost a zahrnují cukry, cukerné alkoholy a aminové kyseliny. Takto zvýšený osmotický potenciál listů dokáže před působením zvýšené teploty ochránit dýchací cesty a fotosyntetický aparát (Precival 2023).

Ochlazování rostlin, a zejména listů, je však závislé především na transpiraci. Pokud má rostlina k dispozici dostatek vody, zvládne díky probíhající transpiraci čelit bez úhony i vyšším teplotám (Hejník et al. 2007). Problém ovšem nastává, pokud rostlina trpí vodním deficitem. V tomto případě se rostlina snaží zabránit nadměrným ztrátám vody uzavřením průduchů. To však vede k výraznému poklesu transpirace, a díky tomu je omezeno ochlazování rostliny, především listů, transpirací. To vede k rychlému nárůstu teploty rostliny až o několik °C. Následné přehřátí může rostlině s omezenou transpirací při dlouhotrvajícím působení vysoké teploty způsobit větší poškození mnohem dříve, než dojde ke kritickému nedostatku obsahu vody v buňkách (Tomášková et Kubásek 2016).

Působení teploty na velikost tloušťkového přírůstu se liší v závislosti na nadmořské výšce. Ve vyšších polohách je teplota limitující faktor produkce. Proto zde lze v souvislosti s velikostí letokruhu pozorovat pozitivní vliv vyšších teplot, zatímco nízké teploty přírůst ve vyšších polohách snižují (Vospornik et Nothdurft 2018). Také v nížinách mají vyšší teploty na přírůst pozitivní vliv, ovšem pouze v souvislosti s dostatečným množstvím srážek. Pokud tato podmínka není splněna, tak přírůstu prospívají spíše nižší teploty (Cailleret et Hendrik 2010).

Ve střední Evropě se buk vyskytuje v oblastech, kde se průměrná roční teplota pohybuje mezi 3–9 °C (Barna et al. 2011), přičemž optimální podmínky pro růst buku v této oblasti nastávají při průměrné roční teplotě v rozmezí 5–8,5 °C (Thomasius 1991). Nejvyšších přírůstů bývá u buku dosaženo při průměrných ročních teplotách okolo 7–8 °C (Felbermeier 1993). Na území České republiky buk dominuje na stanovištích, kde se průměrná roční teplota pohybuje okolo 7–7,5 °C (Vacek et al. 2020). Výše ideální teploty pro růst se však mění v závislosti na stanovišti, proto ve vyšších polohách, například v Krkonoších, to může být pouze 5,5–6,5 °C (Šimůnek et al. 2019).

Tloušťkový přírůst buku bývá ovlivněn nejen teplotami během vegetační sezony, ale také teplotami v zimních měsících. Pokud se vyskytne mírná zima s vyššími teplotami následovaná rychlým oteplením, může být přírůst v následujícím roce pozitivně ovlivněn (Šimůnek et al. 2019). Nicméně toto neplatí pro všechna stanoviště, výjimkou jsou například bukové porosty ve Francii, které na mírné zimy nereagují (Lebourgeois et al. 2005). Naopak silné mrazy během zimy mohou přírůst omezit v následující vegetační sezóně tím, že poškodí pupeny a růstová pletiva (van der Maaten 2012). Nebezpečí pro tloušťkový přírůst představují také pozdní mrazy v předjaří a na jaře. Ty mohou spálit již narašené pupeny a výrazně omezit přírůst v daném roce (Jurča 1988).

Přírůst buku bývá pozitivně ovlivněn vyššími teplotami během jarních měsíců (březen, duben a květen), protože po zimě je půda dobře zásobena vodou. Vyšší jarní teploty také umožňují dřívější ukončení vegetačního klidu a zahájení fotosyntetických procesů, což vede k časnějšímu začátku růstu dřevin (Dittmar et al. 2003). V nejteplejších měsících vegetační sezony (červen, červenec, srpen) je tloušťkový přírůst buku pozitivně ovlivněn nadprůměrně vysokými teplotami. Nicméně to je podmíněno dostatečnými úhrny srážek, protože vysoká teplota zvyšuje transpiraci a stromy potřebují dostatečný přísun vody (Ježík et al. 2016). Tuto reakci tloušťkového přírůstu je možné sledovat například v Moldavsku, kde se průměrný tloušťkový přírůst pohybuje okolo 2,50 mm (Roibu et al. 2016). Naopak nedostatek srážek během letních měsíců pozitivní vliv vyšších teplot snižuje a vyšší přírůsty jsou zaznamenány při průměrných nebo lehce podprůměrných teplotách (Decuyper et al. 2020). Během horkých a suchých dní stromy trpí stresem ze sucha a za účelem zamezení ztrát vody uzavírají průduchy, což však vede k omezení tloušťkového přírůstu (Ježík et al. 2011). To se ukázalo například ve střední Itálii, kde se tloušťkový přírůst vlivem vyšších teplot může snížit o 20 % (Mazza et al. 2024). Ovšem tato reakce přírůstu není pravidlem a závisí na konkrétních podmínkách. To se ukázalo například ve velmi teplém roce 2018, kdy u buku na několika místech ve střední Evropě došlo během vegetační sezony vlivem vyčerpání zásob vody až ke dvojnásobnému smrštění letokruhu, ale tloušťkový přírůst v tomto roce nebyl v porovnání s předchozími dvěma roky nějak výrazně snížen (Salomón et al. 2022).

Tloušťkový přírůst buku je ovlivněn teplotami jak ze současného roku, tak i z roku předcházejícího. Vyšší teploty z předchozího roku mají na přírůst negativní dopad, zejména

pokud je v tomto období nedostatek srážek. Tloušťkový přírůst v následujícím jarním období pak bývá limitován, protože vyšší loňské teploty vedou k omezení tvorby zásobních látek a dostupnosti vody (Michelot et al. 2012). Naopak pokud sledovanému roku předchází chladnější léto, buky si dokážou uchovat dostatek zásobních látek a tloušťkový přírůst pak bývá v daném roce pozitivně ovlivněn, jak se ukázalo například v nížinných lokalitách Belgie, kde průměrný tloušťkový přírůst dosahuje 2,90 mm (Bytebier et al. 2022). K omezení přírůstu mohou vést také vyšší teploty z předcházejícího podzimu, a to z důvodu prodloužení trvání olistění. To rovněž může omezit tvorbu metabolických rezerv (protože dýchání převyšuje fotosyntézu) a následně snížit přírůst v nadcházejícím roce (Latte et al. 2015).

3.2.1.3 Světlo

Rostliny potřebují ke svému životu dostatek světla. Ovšem požadavky na přísun světla se liší nejen mezi jednotlivými druhy dřevin, ale můžou se vlivem podmínek měnit i u daného druhu. Nicméně minimální nutné ozáření udává kompenzační bod fotosyntézy (Hejnák et al. 2007). Ten udává takovou hustotu fotosynteticky aktivního záření, při které se množství CO_2 , jež je vázané při fotosyntéze, rovná množství CO_2 , které je vydáváno při dýchání, a čistý příjem CO_2 rostlinou je tak nulový. Aby mohla rostlina růst, musí ležet průměrná denní hustota ozáření nad kompenzačním bodem. Naopak saturační bod ozáření udává takovou hustotu záření, při které asimilace CO_2 už neroste (Tomášková et Kubásek 2016).

Jak bude světelné záření na rostlinu působit, závisí na postavení Slunce, zeměpisné šířce, ale také na úhlu dopadajících paprsků, tedy na expozici. V zeměpisných šířkách České republiky dopadá nejvíce energie ze světelného záření na jižní a jihozápadní svahy (Slavíková 1986). Nejvyšších tloušťkových přírůstů dřevin proto bývá dosaženo na jihozápadních svazích (van der Maaten 2012). Po dopadu záření na povrch rostlin je menší část záření odražena, nebo listy pronikne, a největší část je rostlinami absorbována, proto na povrch půdy dopadá podstatně menší intenzita světelného záření. Během vegetační sezony je v listnatém lese intenzita záření volné plochy snížena zhruba na 10–20 %, zatímco mimo vegetační období dosahuje průnik záření 50–70 % (Klimo 1994).

Buk, který toleruje i silný zástín a v tomto ohledu se mu z našich dřevin vyrovná málokterý druh, dokáže zachytit až 35–78 % přímého slunečního záření, avšak absorpce záření jednotlivými listy je závislá na hustotě olistění koruny (Klimo 1994). Proto uvnitř koruny vlivem zvyšující se hustoty olistění relativní ozářenost klesá a například u hustě olistěné koruny buku dosahuje procházející záření pouze 1,2 %. Vlivem různé dávky dopadajícího záření tak došlo k anatomické adaptaci listů na slunné listy, které jsou na okraji koruny, a stinné listy, které jsou uvnitř koruny. Slunné listy jsou oproti stinným listům přizpůsobeny vyšším dávkám záření řadou adaptací, například mají menší listovou plochu, větší hustotu průduchů menších rozměrů a vyšší rychlost fotosyntézy, dýchání a transpirace, takže mají účinnější průduchovou regulaci (Slavíková 1986).

3.2.1.4 Délka vegetační sezony

Část roku, ve které panují klimatické podmínky umožňující vývoj a růst rostlin, se nazývá vegetační sezona. Do vegetační sezony se pro rostliny mírného pásu zahrnuje souvislé období dnů, jejichž průměrná teplota je vyšší než 10 °C (Klimo 1994). K ukončení vegetační sezony dochází při nižších teplotách, a to okolo 5 °C (Poleno et al. 2011).

Průběh přírůstu během vegetační sezony je druhově specifický. Schober (1949) při studiu tloušťkového přírůstu zjistil, že růstové křivky a z nich odvozené přírůstové křivky mají během vegetační sezony tvar protáhlého písmene S. Z průběhu těchto křivek je patrná odlišná kulminace tloušťkového přírůstu jednotlivých druhů dřevin, jak ukazuje Tabulka 1 (Šebík et Polák 1990).

Tabulka 1 – Relativní hodnoty měsíčního přírůstu (v % celkové šířky letokruhu) podle Schobera (1949) (zdroj: Drápela et Zach 1995)

Dřevina	Nadm. výška (m n. m.)	Měsíce					
		duben	květen	červen	červenec	srpen	září
dub	300	4	17	22	33	24	-
	500	4	18	18	34	26	-
buk	300	-	8	32	33	21	6
	500	-	10	18	32	38	2
borovice	300	-	28	42	29	2	-
	500	-	15	23	29	27	6
smrk	300	-	10	36	35	15	4
	500	-	3	24	33	28	12
modřín	300	-	8	46	31	13	2
	500	-	8	25	30	22	15

Začátek vegetační sezony je určen teplotou. To je patrné v nižších nadmořských výškách, kde vyšší teploty umožňují dřívější zahájení růstu (Dittmar et al. 2003). Dřívější nástup vegetační sezony vlivem vyšších jarních teplot ovšem nevede k prodloužení růstové fáze dřevin, pouze dochází k posunutí růstového cyklu do první části roku. To je nejspíše způsobeno fotoperiodismem, jelikož tloušťkový přírůst většiny dřevin kulminuje okolo letního slunovratu, kdy v mírném pásmu nastává nejdelší den. Po tomto datu se přírůst zpomaluje a postupně ustává, jelikož nově vytvořené buňky letokruhu se dotváří ještě následujících 40 dní a k tomu jsou potřeba dostatečně vysoké teploty (Matula et al. 2023 a). Obecně se signálem pro omezení růstu ve druhé polovině vegetační sezony zdá být zkracující se fotoperioda, která podporuje ukládání energie a zásob před zimou do jiných struktur (např. plodů, pupenů) (Etzold et al. 2021).

Vegetační sezona buku musí být dlouhá minimálně 130 dnů (Poleno et al. 2011). U přírůstu je ale důležité zohlednit rozdíl mezi celkovým počtem dnů vegetační sezony (podle teplot) a počtem dnů, kdy skutečně strom roste, což např. u buku může být cca 80 % dní vegetační sezony (Etzold et al. 2021). Buk mívá v porovnání s ostatními dřevinami nejkratší denní dobu růstu a také nejmenší denní tempo růstu, ale naopak má během vegetační sezony nejvyšší počet dní růstu, což je pravděpodobně způsobeno tenkou kůrou a rychlým obnovením růstu po suchých obdobích (Etzold et al. 2021).

3.2.1.5 Nadmořská výška

S měnící se nadmořskou výškou se liší působení klimatických faktorů na rostliny. Nejvíce je tato změna v mírném podnebném pásmu patrná v případě teploty a vyjadřuje ji tzv. vertikální teplotní gradient. Ten vyjadřuje pokles průměrné roční teploty se vzrůstající nadmořskou výškou o cca 0,65 °C na 100 m výšky (Soukupová 2011). Zatímco teplota s vyšší nadmořskou výškou klesá, s rostoucí nadmořskou výškou se zvyšuje úhrn srážek. Zvýšení

srážek ve vyšších polohách souvisí s teplotou, jelikož pokles teploty způsobuje kondenzaci vzdušné vlhkosti, což vede k tvorbě deště (Poleno et al. 2011).

Souvislost nadmořské výšky s limitujícími klimatickými faktory ukazují rozdílné tloušťkové přírůsty buku v různých nadmořských výškách. Na stanovištích v nižších a středních nadmořských výškách je přírůst stromů závislý na vztahu mezi teplotou a dostupností vody a jsou zde oproti stanovištím ve vyšších nadmořských výškách pozorovány vyšší přírůsty (Latte et al. 2015). Zatímco ve vyšších polohách, kde je klíčovým faktorem růstu teplota, je v porovnání s nížinami dosaženo menších přírůstů (Dittmar et al. 2003). To lze pozorovat například na území Belgie, kde průměrný tloušťkový přírůst v nižších polohách dosahuje 2,70 mm a ve srovnání s vyššími polohami je zhruba o 0,90 mm vyšší (Latte et al. 2015). Zhruba od roku 1850 se rozdíl v tloušťkovém přírůstu buku mezi nížinami a vyššími polohami zmenšuje, avšak stále zůstávají patrné rozdíly (Pretzsch et al. 2021).

V nižších nadmořských výškách podporují přírůst buku během léta nižší teploty a vysoké srážky, a to především v červnu a červenci. Vyšší teploty mají v nížinách pozitivní vliv na růst na začátku vegetační sezony, jelikož teplota úzce souvisí s délkou vegetačního období. Díky tomu je umožněno dřívější zahájení růstu (Vospornik et Nothdurft 2018). Naopak v letních měsících vyšší teploty přírůst snižují, zejména v kombinaci se suchem, jelikož zvyšují výpar vody, což u dřevin mnohdy vede k vodnímu deficitu. V nížinách tak hraje u přírůstu zásadní roli dostupnost vody (Cailleret et Hendrik 2010). Ta se odvíjí především od srážkových úhrnů, takže v nižších polohách je během vegetační sezony tloušťkový přírůst pozitivně ovlivněn vysokými úhrny srážek (Decuyper et al. 2020). To se ukázalo třeba v suchém a teplém roce 2015 v Rakousku, kdy se meziročně průměrný roční tloušťkový přírůst snížil v nižších polohách o 50 %, zatímco ve vyšších polohách jen o 10 % (Vospornik et Nothdurft 2018).

Na výše položených místech je oproti nižším nadmořským výškám zřejmé opačné působení teplot a srážek. Na přírůst buku zde mají v letních měsících výrazně pozitivní účinky vyšší teploty a nižší srážky (Šimůnek et al. 2019). Naopak nižší teplota a vyšší úhrn srážek je s přírůstem v negativní korelaci, jak se ukázalo například na svahu hory Mount Ventoux, kde tloušťkový přírůst buku dosahuje v průměru 0,99 mm (Cailleret et Hendrik 2010). Závislost přírůstu na vyšší teplotě ve vyšších polohách zřejmě souvisí s délkou slunečního svitu. Tím může být vysvětlen negativní vliv vyšších srážek na přírůst buku, jelikož oblaka snižují intenzitu slunečního záření dopadajícího na zemský povrch, což vede ke snížení teploty vzduchu (Dittmar et al. 2003).

V posledních desetiletích lze u buku v nížinných lokalitách pozorovat oproti minulosti snížení tloušťkových přírůstů (Latte et al. 2015), a to až o 24 % (Dolar et al. 2023), zatímco ve vyšších polohách jsou patrné zvýšené přírůsty. To je nejspíše způsobeno postupující klimatickou změnou, která zlepšuje optimální podmínky pro růst ve vyšších nadmořských výškách, což má za následek postup buku do vyšších nadmořských výšek. Například ve Slovinsku lze ve vyšších polohách pozorovat nárůst tloušťkového přírůstu až o 12 % (Dolar et al. 2023).

3.2.1.6 Semenný rok

Semenný rok je periodicky se opakující událost, která je charakterizována velmi vysokým počtem plodících stromů jednoho druhu v daném roce. Mezi těmito roky je v závislosti na druhu dřeviny různě dlouhý interval, a to od každoroční produkce až po několik let (Kelly 1994). V případě buku se jedná o nepravidelné 5–10leté intervaly. Ovšem

za nepříznivých podmínek se mohou semenné roky opakovat až po 9–12 letech (Chmelař 1987).

Plodnost buku je spojena s působením klimatických faktorů v předcházejících 2 letech semenného roku. Obvykle se jedná o kombinaci teploty, srážek a slunečního záření, ovšem nejméně je semenný rok ovlivněn vysokými letními teplotami (Övergaard et al. 2007). Ke zvýšené produkci bukovic obvykle dochází po roce, ve kterém jsou zaznamenány vysoké letní teploty a nízké srážky (Latte et al. 2015). V tomto roce se zpravidla v červnu a červenci vyskytují vysoké průměrné teploty vzduchu převyšující dlouhodobé normály asi o 1,5 °C (Vacek et al. 2022). Naopak před tímto rokem obvykle panují naprosto opačné podmínky, tedy chladnější léto s vyššími úhrny srážek (Piovesan et al. 2001).

Z hlediska vlivu na tloušťkový přírůst buku má semenný rok význam v tom, že pro tvorbu semen a plodů odebírá dřevinám energii, kterou by jinak věnovaly růstu. Semenné roky tak mají na tloušťkový přírůst negativní vliv, jak se ukázalo například v Belgii, kde je průměrný roční tloušťkový přírůst buku 1,93 mm (Verschuren et al. 2023). Tento negativní faktor je způsoben kvůli využití zásob sacharidů v plodech namísto jejich uložení v nově vytvořených dřevních buňkách (Ježík et al. 2011). V roce, ve kterém se vyskytne výrazné sucho a zároveň také semenný rok, dochází k výraznému snížení přírůstu. To je způsobeno vlivem kombinace stresu z nedostatku vody a snížení přísunu potřebné energie. Omezení přírůstu vlivem semenného roku však většinou nepřesáhne jednu vegetační sezonu, takže u buku nejsou v souvislosti se semenným rokem pozorovány dlouhodobé dopady (Hacket-Pain et al. 2017).

3.2.1.7 Skladba porostu

V poslední době se v Evropě oproti pěstování monokultur prosazuje pěstování smíšených porostů. To je přijímáno jako významné opatření, které má za úkol zmírnit změny klimatu, zejména postupující sucho, a také zvýšit odolnost porostů vůči kalamitním škůdcům. Odpověď na otázku, zda je produkce, potažmo tloušťkový přírůst vyšší v čistých nebo smíšených porostech, však není jednoznačná (Pretzsch et al. 2021, Vejputková et al. 2018).

V monokultuře, tedy čistém porostu, buku bývají vyšší přírůsty zaznamenány v nižším věku, poté následuje trvalý pokles přírůstu. Naopak ve smíšeném porostu se smrkem je u buku počáteční tloušťkový přírůst oproti monokultuře nižší, ale zhruba okolo 70. roku věku dochází k vyrovnání přírůstů a nadále je tloušťkový přírůst vyšší ve smíšeném porostu. Trend růstu ve směsi je dán kompeticí se smrkem, jelikož buk se nejprve soustředí na výškový přírůst (Vejputková et al. 2018). Z klimatických faktorů ovlivňuje tloušťkový přírůst ve smíšených porostech buku a smrku spíše teplota, srážky mají na růst menší vliv (Vacek et al. 2021). Pozitivní efekt na tloušťkový přírůst se sice u smíšeného porostu buku a smrku může dostavit až později, avšak směsi lépe odolávají suchu. To je nejspíše dáno odlišnou stavbou kořenového systému daných dřevin a je to patrné zejména na lokalitách, kde jsou omezené zdroje (Pretzsch et al. 2014). To ovšem nemusí platit v kombinaci s jinými druhy dřevin, jelikož ve smíšených porostech buku s dřevinami rodů *Tilia*, *Fraxinus* a *Acer*, mívá buk vyšší přírůsty na úrodných půdách s dostupnými zdroji (Mölder et al. 2014).

Tloušťkový přírůst buku v čistých a smíšených porostech může rovněž nabývat odlišných hodnot v rozdílných nadmořských výškách. V lesích nižších nadmořských výšek je dosahováno větších tloušťkových přírůstů buku v monokulturách než ve směsích (Pretzsch et al. 2021). Naopak ve vyšších polohách jsou přírůsty vyšší ve smíšených porostech. To je nejspíše dáno vyšší odolností vůči mrazům (Vacek et al. 2021).

3.3 Měření tloušťkového přírůstu dřevin

Pro stanovení tloušťkového přírůstu dřevin se používá mnoho metod. Základem je měření tloušťky pomocí průměrky s dvěma rovnoběžnými rameny kolnými na stupnici, přičemž jedno rameno je pevné, zatímco druhé je pohyblivé (Kučelka et al. 2017). Úhlové a finské parabolické průměrky mají menší přesnost měření, a proto se dnes již tyto typy průměrek příliš nevyužívají. Tloušťku stromů lze také určit z obvodu kmene pomocí pásma, které obsahuje dvě stupnice – milimetrovou udávající délku obvodu a π -stupnici zobrazující tloušťku stromu v místě měření (Šmelko 2000). V posledních letech se stále častěji využívají pro kontinuální sledování změn tvaru kmene elektronické automatické dendrometry (Salomón et al. 2022). Při letokruhových analýzách se ze stromů odebírají vzorky ve formě kmenových kotoučů nebo vývrtů. Z nich lze následně určit tloušťkový přírůst přímým měřením šířek letokruhů mikroskopem, případně denzitometrickou metodou, která je založena na principu rozdílné hustoty jarního a letního dřeva, nebo také prostřednictvím počítačové analýzy obrazu (Drápela et Zach 1995).

Hodnocení tloušťkového přírůstu není úplně jednoduché, jelikož část změn poloměru kmene je nezávislá na tvorbě dřeva (Aryal et al. 2020). Obecně jsou změny poloměru kmene způsobeny dvěma fyziologickými procesy. Jednak kmeny stromů podléhají smršťování a bobtnání, což je způsobeno měnícím se obsahem vody v buňkách, a pak také nevratnému rozpínání, které je vyvoláno tvorbou nových buněk (Brinkmann et al. 2016).

Pro měření tloušťkového přírůstu se v současné době používají 2 typy dendrometrů. Jedním z nich je páskový dendrometr. Ten tvoří pásek, který je obepnutý po obvodu kmene, a senzor snímající pohyby páska. Data jsou pak vyhodnocována na základě změny obvodu kmene (Korpela et al. 2010). Druhým typem je bodový dendrometr, u kterého jsou změny poloměru kmene zaznamenány tlakem pružiny na senzor. Tlak působící na pružinu je výsledkem buněčného smršťování, bobtnání nebo dělení (růst). Díky automatizovanému měření dendrometry umožňují sledovat reakce stromů v různých časových intervalech na rozsáhlých plochách, a proto představují významný zdroj dat při hodnocení tloušťkového přírůstu stromů (Knüsel et al. 2021).

Jelikož dendrometry zaznamenávají obrovské množství údajů, musí se stažená data před hodnocením a analýzami ještě upravit (Knüsel et al. 2021). Je potřeba data vyčistit, tedy odstranit náhlé skoky dat a chyby měření, které by mohly významně ovlivnit výsledné hodnocení dat. Zmíněné skoky a chyby mohou být způsobeny například mechanickými vlivy při stahování dat nebo poškozením zařízení zvířaty (Aryal et al. 2020).

Výhodu dendrometrů představuje nejen automatický monitoring stromů na rozsáhlém území, ale také jejich odolnost, nízká cena a malá náročnost na údržbu (Salomón et al. 2022).

3.4 Klima v České republice

Česká republika se nachází ve střední Evropě, kde jsou klimatické podmínky velmi příznivé, a přírodní poměry jsou zde charakterizovány mírně vlhkým podnebím se střídáním čtyř ročních období (Petřík et al. 1986). Vzhledem k poloze je klima České republiky přechodné, střídají se zde oceánické a kontinentální vlivy. Oceánické západní až jihozápadní proudění z Atlantiku přináší vlhký vzduch. Naopak pokud převládá severní a severovýchodní

proudění, území České republiky je ovlivněno spíše vlivem kontinentálního klimatu a přináší suché, v zimě mrazivé počasí (Soukupová 2011). Celkově na našem území převládá západní proudění a tím pádem oceánický charakter podnebí s mírným nárůstem kontinentality směrem k východu (Tolasz 2007).

3.4.1 Atmosférické srážky v České republice

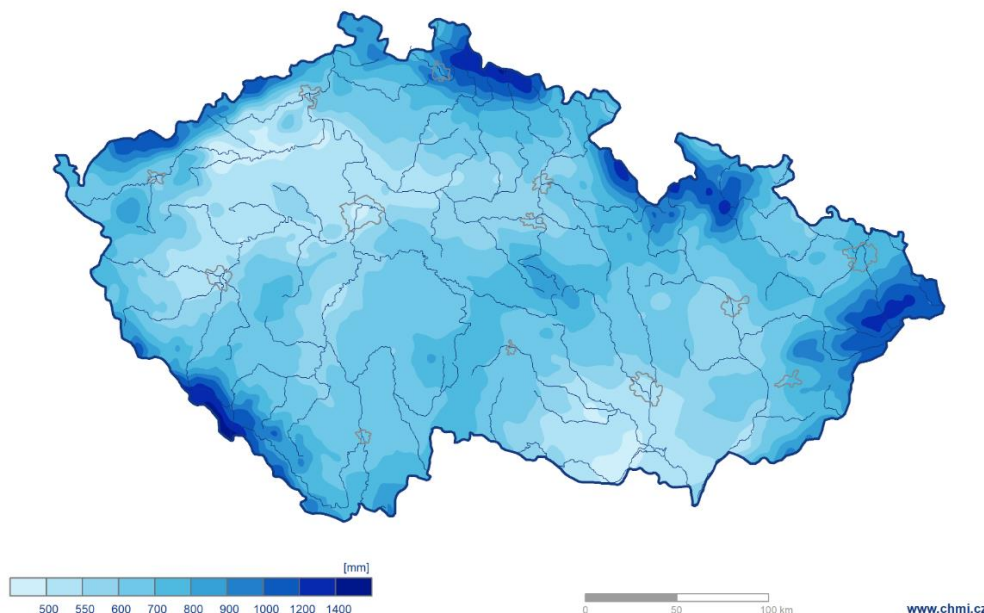
Srážky, zejména déšť a sněžení, jsou v České republice, která leží v oblasti evropského rozvodí, hlavním zdrojem vody, a proto mají zásadní význam pro přírodní prostředí (Karas et al. 2007).

Během zimního půlroku, tedy od října do března, je působení srážek spojeno s přechody frontálních systémů a tlakových níží, které zpravidla charakterizuje menší intenzita s delším trváním. Naproti tomu během letního půlroku, tedy od dubna do září, srážky souvisí s výstupnými konvekčními pohyby vzduchu s tvorbou kupovité až bouřkovité oblačnosti. Tyto srážky jsou charakterizovány větší intenzitou a kratším trváním (Tolasz 2007).

Množství spadlých srážek je ovlivněno nejen nadmořskou výškou, ale i polohou daného místa vůči horským hřbetům. Většinu srážek přináší na území České republiky západní, jihozápadní a severozápadní proudění, a proto jsou oblasti, které leží vůči těmto větrům v závětří, výrazně sušší (Petřík et al. 1986). V nížinách dosahují průměrné roční srážky 500–600 mm/rok. Nejnížší průměrné úhrny srážek bývají zaznamenávány ve srážkovém stínu na Žatecku, a to pouze 410–450 mm/rok. Naopak nejvyšší průměrné roční srážky se vyskytují ve vyšších polohách, zejména na návětrných svazích. Zde průměrný roční úhrn srážek přesahuje 1 000 mm/rok a nejvyšší hodnoty připadají na pohraniční pohoří Jizerské hory (Bílý Potok 1 705 mm/rok) a Beskydy (Lysá hora 1 532 mm/rok) (Soukupová 2011).

Průměrný roční úhrn srážek za období 1991 – 2020

Český
hydrometeorologický
ústav



Obrázek 2 – Průměrný roční úhrn srážek v ČR v letech 1991–2020 (zdroj: ČHMÚ 2024)

3.4.1.1 Roční chod srážek

Pro růst rostlin však není důležitý pouze zdroj vody, kterým jsou především srážky, ale také její pravidelný přísun, respektive rozložení srážek v průběhu roku. Na našem území je roční rozdělení srážek během roku poměrně příznivé, a to v poměru 40 % léto, 25 % jaro, 20 % podzim a 15 % zima (Jurča 1988), přičemž srážkové maximum připadá na měsíc červen nebo červenec a srážkové minimum na měsíc leden nebo únor (Soukupová 2011). Ačkoli je podíl srážek v zimních měsících nejnižší, pro rostliny má značný význam, jelikož se většinou jedná o srážky v pevné formě. Sněhová pokrývka působí jednak jako tepelný izolátor, ale také je to významný zdroj vody v půdě. Při tání sněhu je voda do půd uvolňována pozvolna, v nižší intenzitě a oproti srážkové vodě se daleko lépe vsakuje do půdy (Slavíková 1986).

V posledních letech roční úhrny srážek zůstávají v České republice zhruba na stejné úrovni. Příkladem je srážkově nadnormální rok 2020, kdy průměrný roční úhrn srážek 766 mm představuje 112 % normálu srážek z let 1981–2010, srážkově normální rok 2021 s průměrným ročním úhrnem srážek 683 mm, což představuje 100 % normálu z let 1991–2020, a srážkově normální rok 2022, který s průměrným ročním úhrnem srážek 634 mm představuje 93 % normálu z let 1991–2020. Zatímco celkové roční úhrny srážek se příliš nemění, ke změně dochází u intenzity srážek, která se zvyšuje, a také u intervalu mezi jejich spadem, který se prodlužuje (ČHMÚ 2023, 2022, 2021).

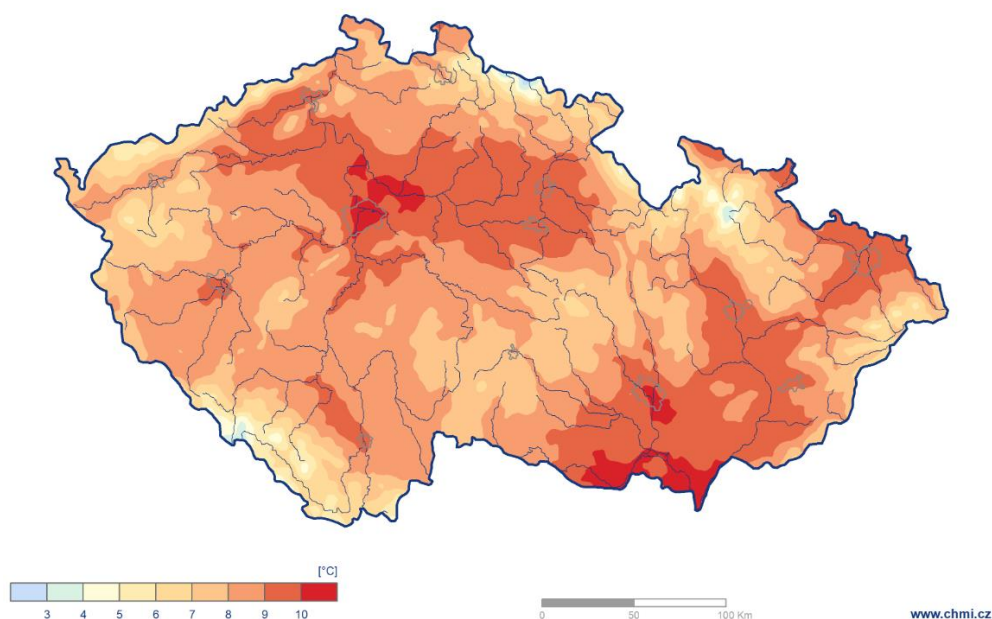
Při výhledu do budoucna, založeném na pokračování současného trendu, se očekává, že se změní intenzita a interval srážek spadlých během roku. To bude mít se zvyšujícími se teplotami za následek častější a závažnější letní sucha, což povede ke změně rozšíření rostlinných druhů (Matula et al. 2023 a, van der Maaten 2012).

3.4.2 Teplota vzduchu v České republice

Také teplota vzduchu má zásadní podíl na charakteru přírodního prostředí. Její dlouhodobé působení ovlivňuje především vegetaci, zejména to je patrné při vlně horkých dní, která výrazně přispívá k zesílení sucha (Tolasz 2007).

Teplotní charakteristiky jsou ovlivněny vertikálním teplotním gradientem, tj. pokles teploty o 0,65 °C na 100 m nadmořské výšky, a proto s rostoucí nadmořskou výškou klesají (Karas et al. 2007). Proto se nejnižší teploty vyskytují ve výše položených oblastech, zatímco nejvyšší teploty jsou zaznamenávány zpravidla v nížinách. Lokálně ovšem může vlivem terénu, pokrytím vegetace či výstavby dojít ke změně obecného rysu teplot. To je patrné například v údolích nebo na severních svazích, kde se oproti jižním svahům, vyskytují nižší teploty (Tolasz 2007).

Průměrná roční teplota vzduchu se v České republice pohybuje v rozmezí 0,2 °C (Sněžka) a 9,5 °C (Hodonín). Mezi nejteplejší oblasti patří Dolnomoravský úval a Pražská kotlina. Zde průměrné roční teploty přesahují 9 °C, zatímco ve zbylých nížinných oblastech se pohybují v rozmezí 8–9 °C. Ve vyšších horských polohách dosahují průměrné roční teploty méně než 5 °C (Soukupová 2011). Nejchladnějším měsícem v roce je leden, ovšem někdy to je únor. Naopak měsícem s nejvyššími teplotami je červenec (Petřík et al. 1986).



Obrázek 3 – Průměrná roční teplota vzduchu v ČR v letech 1991–2020 (zdroj: ČHMÚ 2024)

Oproti minulosti lze v poslední době na území České republiky sledovat zvyšující se průměrné roční teploty. V období let 1991–2010 se průměrné roční teploty oproti období v letech 1961–1990 zvýšily o 0,8 °C (Pretel 2013). Tento trend podporuje také porovnání novějšího normálového období z let 1991–2020 a předchozího z let 1981–2010. Ty se ve dvaceti letech překrývají, takže údaje jsou ze dvou třetin stejné, avšak průměrná roční teplota pro období 1991–2020 je oproti předchozímu období o 0,4 °C vyšší. Menší teplotní změna je patrná na jaře a na podzim. K nejvýraznějšímu oteplení dochází v zimních a letních měsících (ČT24 2022).

V posledních desetiletích tak dochází ke zvýšení četnosti a intenzity vln veder, což jsou období, během nichž panují vysoké teploty (Latte et al. 2015). Navíc se předpokládá, že se účinky veder budou nadále zvyšovat, což se mimo jiné projeví ve změně areálu rostlinných druhů (Roibu et al. 2022). V případě buku se rostoucí teploty stanou limitujícím faktorem v nížinách a na současném jižním okraji areálu jeho rozšíření, avšak na druhou stranu umožní jeho výstup do vyšších nadmořských výšek a přes současnou severní hranici jeho areálu rozšíření (Dolar et al. 2023).

4 Metodika

V této bakalářské práci byla zpracována data z monitorovací sítě automatických dendrometrů umístěných na sedmnácti TVP VÚLHM. Ty se nachází v hospodářských lesích s bukovými porosty v rámci gradientu podmínek v České republice a jsou součástí většího souboru 70ti ploch umístěných nejen v bukových porostech.

4.1 Studované plochy

Data pro tuto bakalářskou práci byla získána z TVP VÚLHM. Na sedmnácti studovaných plochách, umístěných v hospodářských lesích s dominantním zastoupením buku, byl během let 2020–2022 sledován tloušťkový růst buku lesního v závislosti na klimatických podmínkách. Studované plochy se nachází po celé České republice, přičemž většina z nich se nachází na Moravě a ve Slezsku (Obrázek 4).



Obrázek 4 – Poloha studovaných ploch (zdroj: Mapy.cz 2023)

Plochy mají kruhový tvar o výměře 1 000 m² a jsou rozmístěny tak, aby zahrnovaly různé nadmořské výšky od nížin až po hory, a bylo tak možné sledovat působení klimatických vlivů na tloušťkový přírůst buku v rámci jeho celého vertikálního rozšíření v ČR.

Základní informace o studovaných plochách a jejich stanovištních podmínkách jsou uvedeny v Tabulce 2. Pro zjištění půdního typu byla využita Půdní mapa v měřítku 1:50 000 (ČGS 2023). Geologické podloží bylo zjištěno z Geologické mapy v měřítku 1:50 000 (ČGS 2023). Soubor lesních typů a věk porostu byl zjištěn z geoportálu ÚHÚL (ÚHÚL 2023) a sklon svahu na webu Mapy.cz (Mapy.cz 2023). Pro odhad délky vegetační doby byla využita tabulka Přehledu lesních vegetačních stupňů v ČR (Poleno et al. 2011).

Tabulka 2 – Tabulka popisující základní informace o studovaných plochách

Název plochy	Souřadnice		Nadmořská výška (m n. m.)	Půdní typ	Horšina	Soubor lesních typů	Sklon svalu	Odhad délky vegetační doby (dny)	Počet jedinců na hektar	Průměrná tloušťka jedinců v porostu (mm)	Průměrná výška jedinců v porostu (m)	Stáří porostu (roky)
	x	y										
1	49°52'39.366"N	18°4'46.775"E	337	glej kambický	jílovité břidlice, prachovce, droby	3F	J, 12 °	150-160	290	409	35,6	90
1340	50°6'22.024"N	16°35'33.323"E	635	kambizem dystrická	amfibolit, gabroamfibolit	5K	SV, 2 °	130-140	460	295	27,0	-
1545	49°56'49.742"N	17°9'39.019"E	592	kambizem mesobazická	biotit-chlorit-muskovitický fylonit	4B	V, 12 °	130-140	610	286	28,1	100
1819	49°45'12.313"N	14°14'44.973"E	411	kambizem oglejná mesobazická	pískito-hlinitý až hlinito-pískitý sediment	3O	SZ, 3 °	150-160	210	234	25,1	-
1832	49°45'15.706"N	15°41'24.499"E	493	kambizem mesobazická	vápnitě jílovce až slínovce	3S	J, 1 °	140-150	180	368	30,3	-
2155	49°29'49.576"N	18°13'39.247"E	826	kambizem rankerová mesobazická	pískovec, jílovec	5F	SV, 35 °	115-130	380	296	24,3	90
2351	49°21'52.184"N	17°46'44.963"E	697	kambizem mesobazická	kamenitý až hlinito-kamenitý sediment	5B	JZ, 18 °	115-130	660	266	30,0	-
2647	49°9'30.358"N	17°19'41.178"E	370	kambizem modální	pískovec, jílovec, slepenec	3B	V, 18 °	150-160	850	265	29,9	80
2652	49°8'50.045"N	17°52'26.725"E	461	kambizem modální	pískovec, jílovec	3B	JZ, 13 °	140-150	300	371	28,5	-
2754	49°4'3.69"N	18°5'29.021"E	551	kambizem modální	pískito-hlinitý až hlinito-pískitý sediment	3L	V, 7 °	130-140	170	384	32,0	100
2852	49°0'6.22"N	17°51'59.572"E	634	kambizem modální	pískovec, jílovec	4B	S, 17 °	130-140	450	317	28,6	-
3	49°51'36.787"N	17°41'34.017"E	534	kambizem mesobazická	jílovité břidlice, prachovce, droby	4S	JZ, 7 °	140-150	200	445	26,2	100
5	49°16'56.606"N	16°43'56.042"E	477	rendzina kambická	vápence	4W	Z, 4 °	140-150	510	245	29,4	-
7	50°22'58.163"N	16°57'37.106"E	470	kambizem mesobazická	řula	3S	S, 22 °	140-150	330	340	32,4	90
B151	50°44'5.01"N	15°32'22.475"E	930	rezivá půda	migmatická řula	3S	V, 23 °	115-130	250	430	30,7	-
L271	49°17'22.188"N	18°11'1.296"E	805	kambizem mesobazická	pískovec, jílovec	5D	SV, 24 °	115-130	330	352	34,6	100
Q103	49°13'47.852"N	14°17'59.75"E	606	hnědá půda kyselá	migmatit	4S	JV, 11 °	130-140	430	400	38,8	130

4.2 Sběr dat

Na každé ploše jsou na 3–6 jedincích umístěny bodové dendrometry (Obrázek 5). Dendrometry jsou na stromech instalovány ve výšce 1,3 m nad zemí a každých 15 minut zaznamenávají tloušťkové změny kmene s vysokou přesností ($< 1 \mu\text{m}$). Všechny dendrometry jsou označeny osmimístným evidenčním číslem (např. 92192512), které je důležité pro další práci s daty. Mimo tloušťkových změn kmene dendrometry dále zaznamenávají teplotu vzduchu. Dendrometry, vyrobené českou firmou TOMST, jsou odolné vůči povětrnostním vlivům, a jsou vybaveny lithiovou baterií, která zajistí jejich nepřetržitý provoz po dobu 10 let (Matula et al. 2023 a, Matula et al. 2022).

Ačkoliv je na každé ploše instalováno 3–6 dendrometrů, počet sledovaných buků se v jednotlivých letech měnil v závislosti na jejich odumírání a rozšiřování monitorovací sítě dendrometrů. V roce 2020 bylo sledováno 71 buků, v roce 2021 76 buků a v roce 2022 68 buků. Pro sledované stromy byly také zaznamenány základní dendrometrické veličiny – výčetní tloušťka s přesností na 0,5 cm a celková výška s přesností na 1 m. Průměrná tloušťka všech zkoumaných buků byla 362 mm a jejich průměrná výška byla 30,8 m.

Již získaná data byla z dendrometrů stažena po konci vegetační doby na podzim 2022.

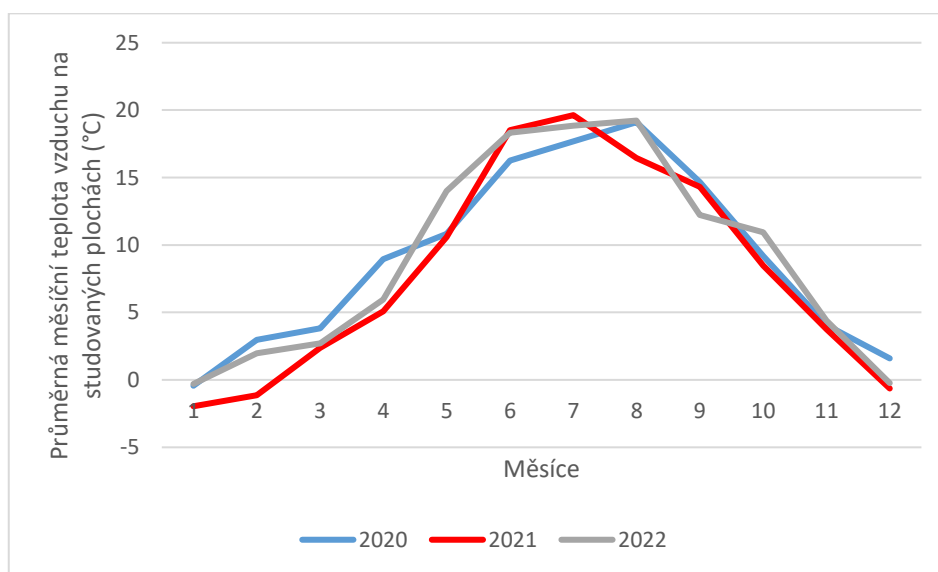


Obrázek 5 – Dendrometr TOMST s evidenčním číslem 92192512 zaznamenávající průběh tloušťkového růstu buku lesního (zdroj: autor práce)

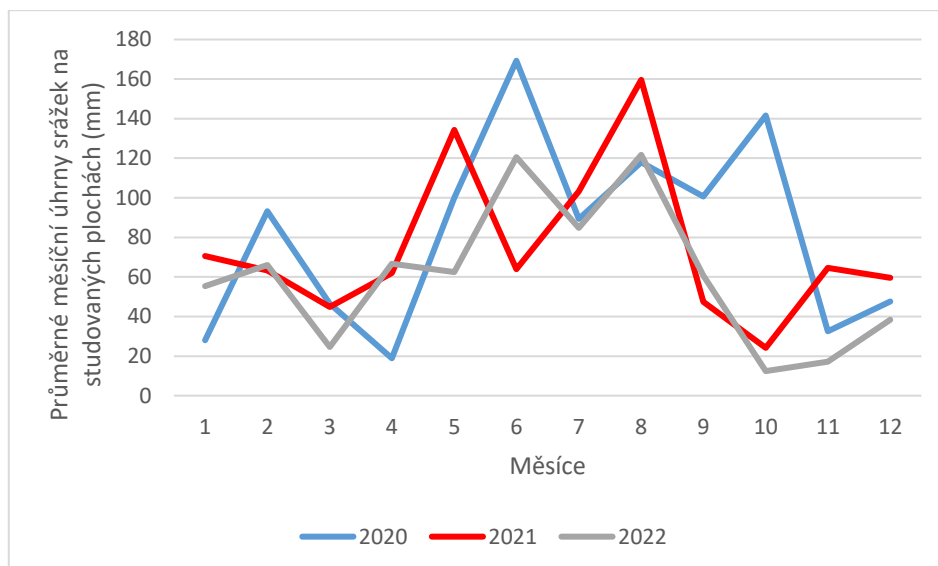
4.3 Klimatologická data

Data pro hodnocení klimatických podmínek byla získána podle souřadnic jednotlivých studovaných ploch z modelu ERA5 (ERA5 2023). Z tohoto modelu byla stažena data měsíčních úhrnů srážek a průměrných měsíčních teplot v letech 2020–2022, ze kterých byly následně pro dané lokality stanoveny roční úhrny srážek a průměrné roční teploty, aby bylo možné vyhodnotit vliv klimatických faktorů na roční tloušťkový přírůst buku.

Průměrné měsíční teploty na studovaných plochách jsou zobrazeny na Grafu 1. Graf 2 zobrazuje průměrné měsíční úhrny srážek na studovaných plochách. Roční teplotní a srážkové charakteristiky jednotlivých studovaných ploch jsou zobrazené v Tabulce 3.



Graf 1 – Průměrná měsíční teplota vzduchu na studovaných plochách (°C)



Graf 2 – Průměrné měsíční úhrny srážek na studovaných plochách (mm)

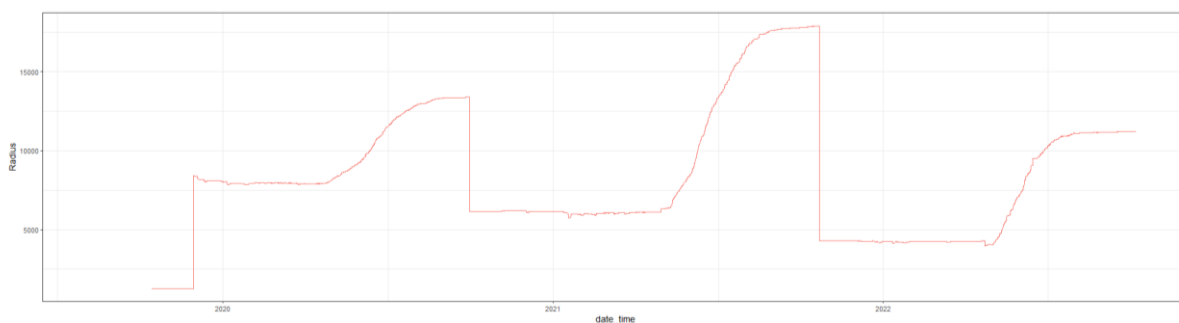
Tabulka 3 – Roční teplota a úhrn srážek v letech 2020–2022

Název plochy	Úhrn srážek (mm)				Průměrná roční teplota (°C)			
	2020	2021	2022	Průměr	2020	2021	2022	Průměr
1	929	813	696	812	9,92	8,78	9,70	9,47
1340	1190	1021	929	1047	8,09	6,91	7,92	7,64
1545	951	780	664	799	8,43	7,29	8,40	8,04
1819	759	881	774	804	10,00	8,52	9,92	9,48
1832	939	909	783	877	9,10	7,86	9,08	8,68
2155	1106	1001	829	978	8,71	7,68	8,58	8,32
2351	995	876	677	849	9,13	8,11	9,06	8,76
2647	906	796	526	743	9,75	8,76	9,86	9,46
2652	993	873	634	833	9,29	8,37	9,34	9,00
2754	988	860	628	826	9,32	8,41	9,41	9,05
2852	985	855	616	819	9,37	8,51	9,46	9,11
3	984	845	735	855	9,13	8,00	8,96	8,69
5	891	787	534	737	9,68	8,66	9,83	9,39
7	1067	909	826	934	9,27	7,99	9,02	8,76
B151	1179	1185	989	1118	7,10	5,86	6,96	6,64
L271	1091	995	770	952	8,21	7,21	8,08	7,83
Q103	798	870	817	828	9,51	8,28	9,53	9,10
Průměr	985	897	731	871	9,06	7,95	9,01	8,67

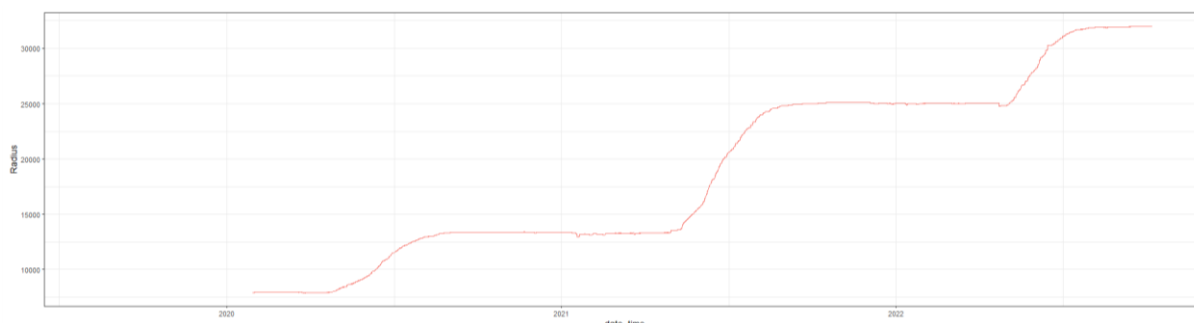
4.4 Zpracování dat

Pro práci s daty z dendrometrů byl použit volně dostupný program RStudio (Posit 2023). Do tohoto programu byl dále nainstalován balíček PLOTer (Matula et al. 2023 b), vyvinutý speciálně pro práci s daty z dendrometrů.

Ten umožňuje zobrazit přírůstové křivky jednotlivých dendrometrů a ty dále upravovat – vyčistit od chyb měření a náhlých posunů (Obrázek 6, 7). Chybná měření vznikají například před instalací dendrometru na strom, poškozením dendrometru od zvěře nebo odumřením stromu. Prudké skoky v průběhu měření vznikají v důsledku otřesu, který může být způsoben například uvolněním pružiny dendrometru nebo při stahování dat z dendrometru.



Obrázek 6 – Dendrometr s evidenčním číslem 92192259 před úpravou dat v PLOTeRu



Obrázek 7 – Dendrometr s evidenčním číslem 92192259 po úpravě dat v PLOTeRu

V rámci statistického zpracování dat bylo první hodnocení zaměřeno na zjištění, jestli naměřená data mají normální rozdělení či nikoliv. K tomu byl použit v programu Statistica (Tibco 2022) Shapiro Wilkův W test na hladině významnosti $p < 0,05$.

Pro ověření, zda se tloušťkové přírůsty ve sledovaných letech mezi sebou statisticky významně liší, byla v programu Statistica (Tibco 2022) provedena Friedmanova Anova. Pro vícenásobné porovnání přírůstů byl prokázán rozdíl, proto byl pro jednotlivé kombinace sledovaných roků ve stejném programu na hladině statistické významnosti $p < 0,05$ proveden Wilcoxonův párový test.

Jelikož testovaná data normální rozdělení nevykazovala, byl pro hodnocení statistické závislosti mezi tloušťkovým přírůstem a faktory ovlivňujícími tloušťkový přírůst použit neparametrický Spearmanův korelační koeficient. Zjištěné korelace jsou statisticky významné na hladině významnosti $p < 0,05$. Korelační koeficienty byly zjištěny v programu Statistica (Tibco 2022).

Sledované vztahy mezi tloušťkovým přírůstem a faktory ovlivňujícími tloušťkový přírůst byly graficky zpracovány v programu MS Excel (Microsoft Corporation 2021).

5 Výsledky

5.1 Kontrola normality dat

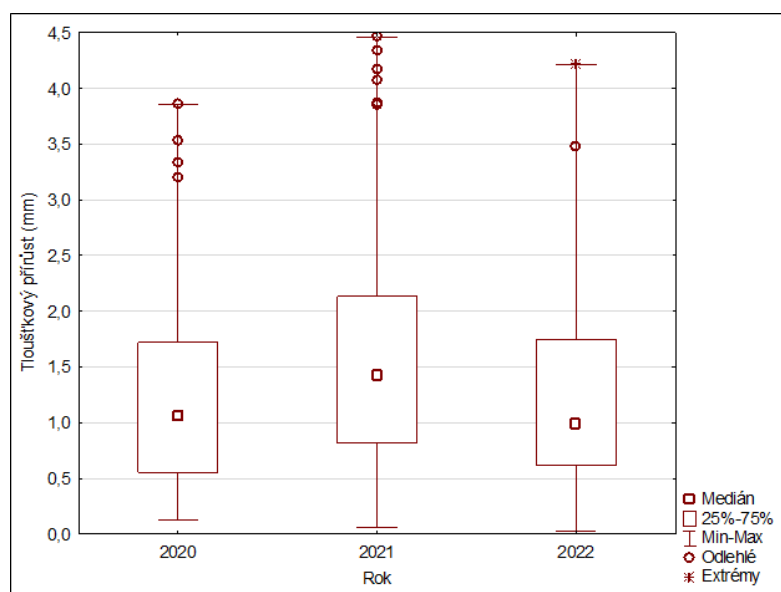
Výsledkem ověření normality dat bylo, že hodnoty nadmořské výšky a tloušťkových přírůstů, průměrných ročních teplot a celkových úhrnů srážek v jednotlivých letech normální rozdělení nevykazují (Příloha 1). Data ostatních sledovaných faktorů s výjimkou tloušťky a výšky stromů také nemají normální rozdělení.

5.2 Tloušťkový přírůst ve sledovaném období a v závislosti na stanovištních, dendrometrických a porostních charakteristikách

Nejvyššího průměrného přírůstu (průměr 1,63 mm a maximum až 4,46 mm) bylo během sledovaného období dosaženo v roce 2021, zatímco v letech 2020 a 2022 byl zaznamenán nižší průměrný přírůst (Tabulka 4, Graf 3).

Tabulka 4 – Průměrné tloušťkové přírůsty ve sledovaných letech

Rok	2020	2021	2022	2020-2022
Průměrný přírůst (mm)	1,24 ($\pm 0,83$)	1,63 ($\pm 1,03$)	1,21 ($\pm 0,85$)	1,36 ($\pm 0,23$)



Graf 3 – Graf zobrazuje tloušťkové přírůsty ve sledovaných letech

Z výsledků Wilcoxonových párových testů na hladině významnosti $p < 0,05$ je patrné, že se přírůsty v letech 2020 a 2022 oproti roku 2021 statisticky významně liší, zatímco v letech 2020 a 2022 mezi přírůsty statisticky významný rozdíl zaznamenán nebyl (Tabulka 5).

Tabulka 5 – Wilcoxonovy párové testy

	Wilcoxonův párový test		
	Zvýrazněné hodnoty jsou významné na hladině $p < 0,05$		
	2020 & 2021	2020 & 2022	2021 & 2022
hodnota p	0,000	0,682	0,000

Tabulka 6 zobrazuje Spearmanovy korelační koeficienty, které vyjadřují statistickou závislost mezi sledovanými faktory ovlivňujícími tloušťkový přírůst a tloušťkovým přírůstem sledovaných buků. Statisticky významné korelační koeficienty na hladině významnosti $p < 0,05$ jsou červeně zvýrazněny.

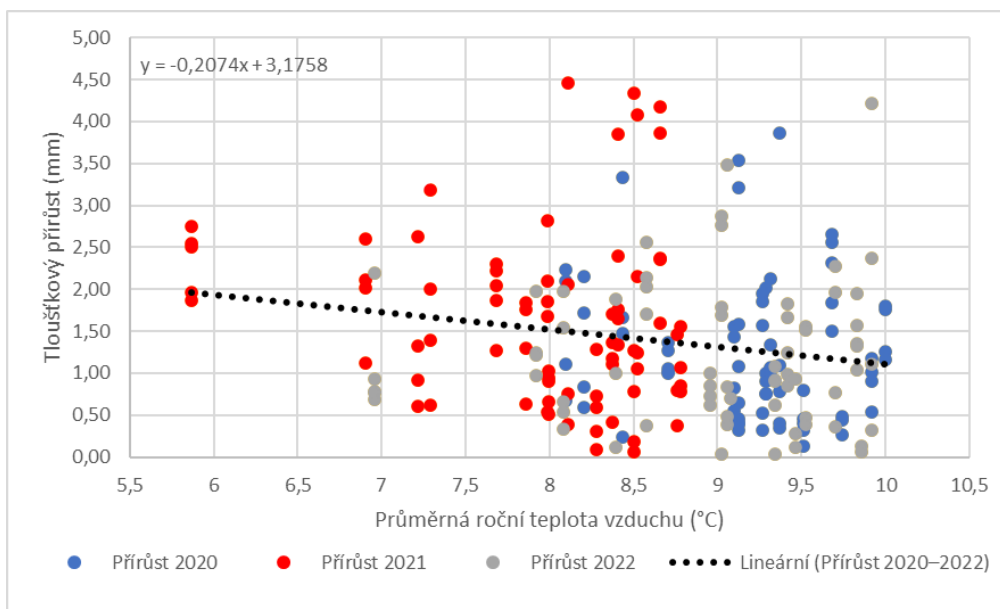
Tabulka 6 – Korelační matice s hodnotami Spearmanova korelačního koeficientu vyjadřující statistickou závislost mezi faktory ovlivňující tloušťkový přírůst a tloušťkovým přírůstem v letech 2020–2022

	Spearmanovy korelace Označ. korelace jsou významné na hlad. $p < 0,05000$												
	Srážky	Srážky předch. rok	Teplota	Teplota předch. rok	Nadm. výška	Délka veg. sezony	Sklon svahu	Tloušťka stromu	Výška stromu	Počet jedinců/ha	Prům. tloušťka jedinců v porostu	Prům. výška jedinců v porostu	Věk porostu
Tloušťkový přírůst	0,172	0,260	-0,202	0,005	0,087	-0,097	-0,048	0,035	0,003	0,001	-0,248	-0,115	-0,148

Tabulka 6 ukazuje, že nízké hodnoty Spearmanových korelačních koeficientů na hladině významnosti $p < 0,05$ pro stanovištní (délka vegetační sezony a sklon svahu) a dendrometrické (tloušťka a výška stromu) charakteristiky nejsou statisticky významné a na přírůst neměly vliv. Z porostních charakteristik (věk porostu, počet jedinců na hektar a jejich průměrná tloušťka a výška) byl tloušťkový přírůst výrazněji ovlivněn pouze hodnotou průměrné tloušťky jedinců v porostu. Vzhledem k tomu, že jinak korelační koeficienty stanovištních, dendrometrických a porostních charakteristik mají velmi nízkou hodnotu, ukazuje se, že faktory, které by významně ovlivňovaly přírůst, nebyly v rámci sběru dat zachyceny, nebo byly na různých plochách odlišné.

5.3 Tloušťkový přírůst v závislosti na teplotě vzduchu

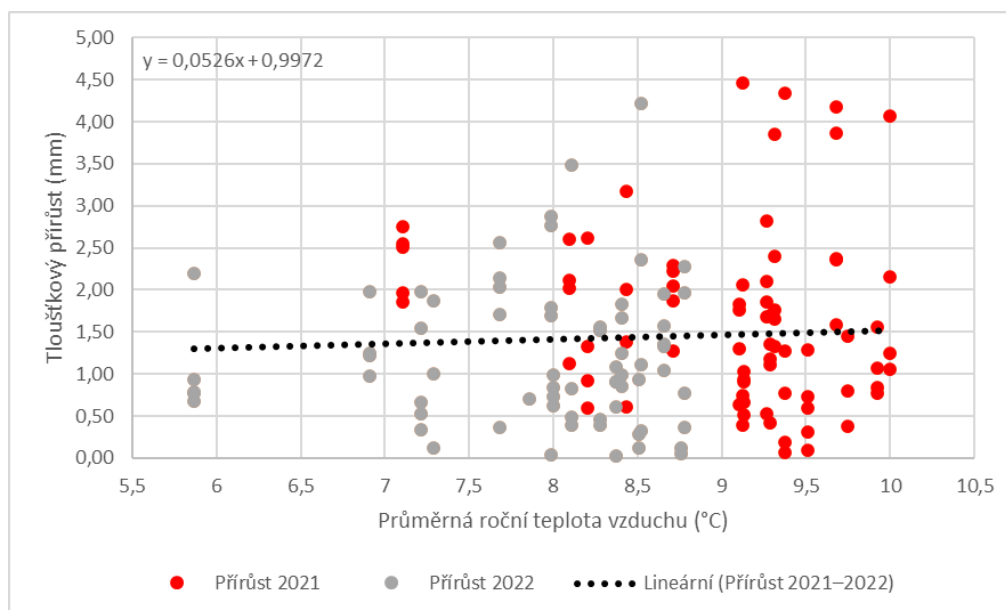
Z Grafu 4 je patrné, že v chladnějším roce 2021 sledované buky přirůstaly nejvíce, zatímco v letech 2020 a 2022, které byly výrazně teplejší, bylo dosaženo nižších tloušťkových přírůstů. Tento rozdíl je statisticky významný (Tabulka 5). Nejvyšších přírůstů bylo během sledovaného období dosaženo při průměrných ročních teplotách 8–9 °C.



Graf 4 – Graf popisuje tloušťkové přírůsty v letech 2020, 2021 a 2022 v závislosti na roční průměrné teplotě vzduchu na studovaných plochách. Graf je proložen lineární spojnicí, která ukazuje trend v letech 2020–2022.

Statisticky významná hodnota Spearmanova korelačního koeficientu -0,202 na hladině významnosti $p < 0,05$ v Tabulce 6 ukazuje, že tloušťkový přírůst sledovaných buků byl během let 2020–2022 teplotou negativně ovlivněn.

Na Grafu 5 lze pozorovat, jak byl přírůst ovlivněn teplotou z předchozího roku. Nejvyšší tloušťkové přírůsty v roce 2021 byly po výrazně teplém roce 2020 zaznamenány na plochách, na kterých se vyskytovaly v roce 2020 nejvyšší teploty. V roce 2022 bylo po chladnějším roce 2021 dosaženo nižších přírůstů.

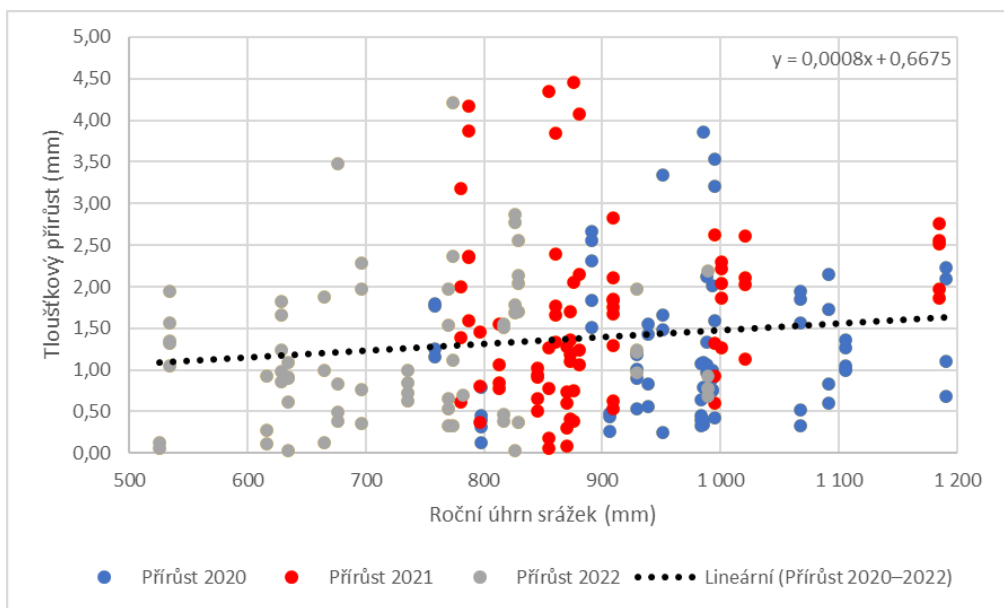


Graf 5 – Graf popisuje tloušťkové přírůsty v letech 2021 a 2022 v závislosti na roční průměrné teplotě vzduchu na studovaných plochách v předchozím roce. Graf je proložen lineární spojnici, která ukazuje trend v letech 2021–2022.

Tloušťkový přírůst v závislosti na teplotě v předchozím roce nebyl během sledovaného období téměř vůbec ovlivněn. To je vyjádřeno velmi nízkou hodnotou Spearmanova korelačního koeficientu $-0,005$, která není na hladině významnosti $p < 0,05$ statisticky významná (Tabulka 6).

5.4 Tloušťkový přírůst v závislosti na úhrnu srážek

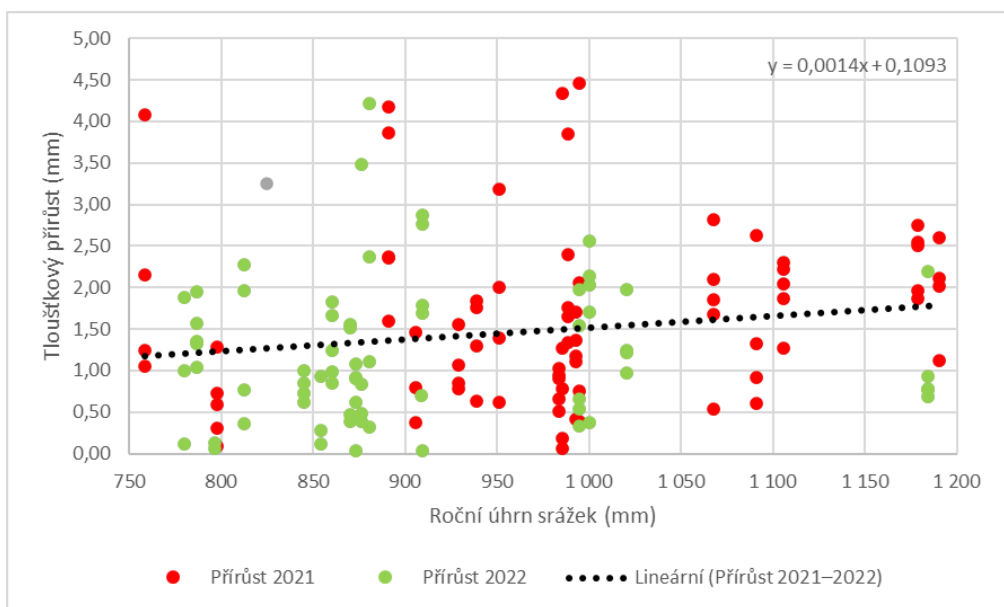
Graf 6 ukazuje, že vyšší přírůsty sledovaných buků byly zaznamenány v srážkově bohatším roce 2021. Ačkoliv nejvyšší úhrny srážek byly zaznamenány v roce 2020, přírůst nebyl na hladině významnosti $p < 0,05$ v tomto roce oproti suššímu roku 2022, kdy byly zaznamenány nejnižší přírůsty, statisticky významně rozdílný (Tabulka 5). Nejvyšších přírůstů bylo během let 2020–2022 dosaženo při srážkových úhrnech okolo 800–1 000 mm.



Graf 6 – Graf popisuje tloušťkové přírůsty v letech 2020, 2021 a 2022 v závislosti na ročním úhrnu srážek na studovaných plochách. Graf je proložen lineární spojnicí, která ukazuje trend v letech 2020–2022.

Ze statisticky významné hodnoty Spearmanova korelačního koeficientu 0,172 na hladině významnosti $p < 0,05$ v Tabulce 6 je zřejmé, že srážky měly na tloušťkový přírůst sledovaných buků během let 2020–2022 pozitivní vliv.

Graf 7 ukazuje závislost přírůstu a srážek z předchozího roku. Vyšších přírůstů bylo v roce 2021 dosaženo na plochách, kde byly v srážkově bohatém roce 2020 zaznamenány vyšší úhrny srážek. Nejvyšších přírůstů bylo dosaženo na plochách, na kterých se v předchozím roce pohybovaly roční úhrny srážek okolo 850–1 000 mm.

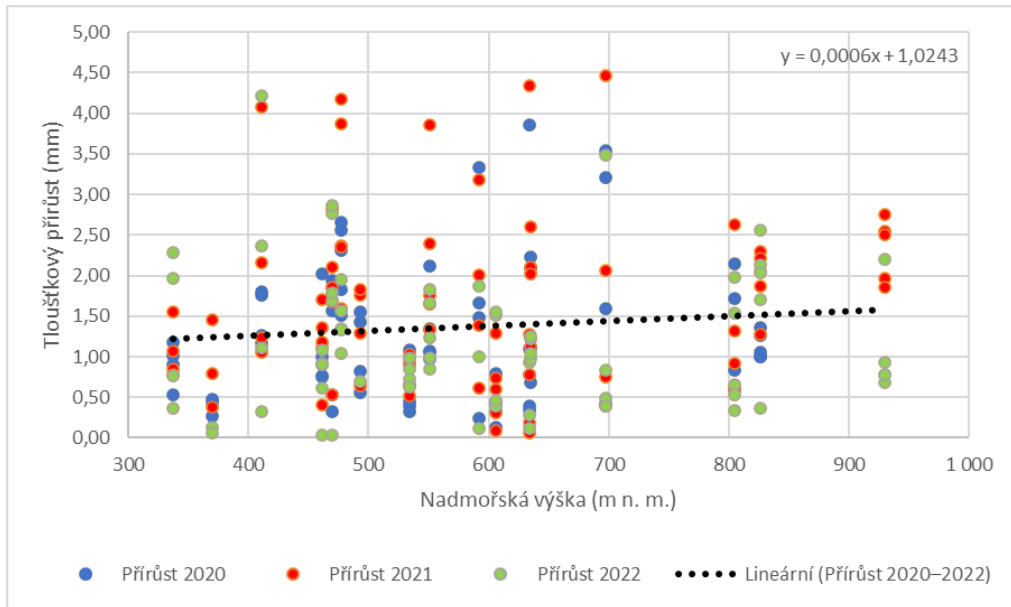


Graf 7 – Graf popisuje tloušťkové přírůsty v letech 2021 a 2022 v závislosti na ročním úhrnu srážek na studovaných plochách v předchozím roce. Graf je proložen lineární spojnicí, která ukazuje trend v letech 2021–2022.

Srážky v předchozím roce měly na přírůst pozitivní vliv, což vyjadřuje hodnota Spearmanova korelačního koeficientu 0,260, která je na hladině významnosti $p < 0,05$ statisticky významná (Tabulka 6).

5.5 Vliv nadmořské výšky na tloušťkový přírůst

Na Grafu 8 lze pozorovat, že během let 2020–2022 byly nejvyšší tloušťkové přírůsty zaznamenány u buků, které se nachází v nadmořské výšce 400–700 m n. m. Je také patrné, že zhruba od 700 m n. m. tloušťkový přírůst neklesal pod 0,5 mm, zatímco v nižších nadmořských výškách ano.



Graf 8 – Graf popisuje tloušťkové přírůsty v letech 2020, 2021 a 2022 v závislosti na nadmořské výšce studovaných ploch. Graf je proložen lineární spojnici, která ukazuje trend v letech 2020–2022.

Vliv nadmořské výšky na přírůst není během sledovaného období zřejmý, jelikož hodnota Spearmanova korelačního koeficientu 0,087 není na hladině významnosti $p < 0,05$ statisticky významná (Tabulka 6).

6 Diskuse

V této bakalářské práci byl hodnocen tloušťkový přírůst buku lesního v letech 2020–2022 v závislosti na klimatických faktorech. Data o přírůstu byla získána z bodových dendrometrů. Ty jsou instalovány na sedmnácti výzkumných plochách po celé České republice, přičemž většina ploch se nachází ve východní části území. Rozsah nadmořských výšek studovaných lokalit se pohyboval od 337 do 930 m n. m. Studované lokality jsou zařazeny do 3.–5. lesního vegetačního stupně. Že se nejedná o extrémní lokality, dokládá to, že se na plochách nachází velmi podobné podloží a že na nich nejsou extrémně vysoké průměrné teploty nebo nízké průměrné srážky. Vliv půdy na přírůst nelze v této práci prokázat.

6.1 Tloušťkový přírůst ve sledovaném období a v závislosti na stanovištních, dendrometrických a porostních charakteristikách

Velikost tloušťkového přírůstu buku se v letech 2020–2022 na sledovaných lokalitách pohybovala od 0,06 mm do 4,46 mm s průměrem 1,36 mm. V porovnání s obvyklým přírůstem na bukových lokalitách v Evropě (např. v Belgii 1,89 mm (Verschuren et al. 2023), na Slovensku 2,00 mm (Ježik et al. 2011) nebo ve Francii 2,26 mm (Lebourgeois et al. 2005)) jde o nižší hodnotu. Nejpodobnějších hodnot přírůstu bylo dosaženo v sousedním Německu, a to 1,60 mm (van der Maaten 2012). Že velikost průměrného přírůstu během sledovaného období v této práci vychází nižší, je způsobeno nejspíše tím, že ze tří sledovaných let byly dva roky nadnormálně teplé a sledovanému období předcházelo sucho (van der Maaten et al. 2024).

U několika buků dendrometry zaznamenaly roční přírůst menší než 0,5 mm, ačkoli na stejné ploše byly zaznamenány přírůsty převyšující průměr za sledované období. Důvodem je patrně to, že velikost přírůstu značně závisí na sociálním postavení stromu v porostu (Šebík et Polák 1990). Specifická byla plocha 2647, kde se pod hodnotou přírůstu 0,5 mm pohybovala skoro všechna měření, ačkoli stanovištní a dendrometrické charakteristiky zde byly podobné jako na ostatních lokalitách. Příčinou je pravděpodobně nejvyšší porostní hustota (850 ks/ha) v rámci sledovaných lokalit, což v osmdesátiletém porostu s průměrnou výškou 29,9 m a tloušťkou 265 mm vede ke zvýšené kompetici okolních jedinců (Drápela et Zach 1995).

Vliv konkurence je totiž jedním z nejvýznamnějších faktorů ovlivňující tloušťkový přírůst buku. Při umělé obnově počty buků dosahují 10 000/ha. Vzhledem k vlastnostem buku se však využívá především přirozená obnova, při které počty nových jedinců běžně přesahují 100 000 ks/ha. Vysoká konkurence v bukových mlazinách sice zajistí průběžné kmeny bez větví, ale působí negativně na tloušťkový přírůst (Vacek et al. 2020 b).

Porostní hustota je v hospodářských lesích regulována výchovnými zásahy – probírkami. Pokud dojde ke snížení porostní hustoty, je možné pozorovat zvýšený tloušťkový přírůst, jelikož daný strom získá lepší přístup ke světlu a k živinám v půdě. Silné reakce na uvolnění jsou patrné zejména u stinných dřevin jako je buk (Vacek et al. 2018). Pokud nedojde ke včasnému snížení porostní hustoty, v porostu převažují tenké stromy s nízkými tloušťkovými přírůsty. Proto je třeba během výchovy vybrat cílové buky, které mají nejvyšší produkční potenciál, a ty postupně uvolňovat, ale zároveň je nutné v porostu ponechat dostatek stromů s funkcí krycí a výchovné etáže (Vacek et al. 2022). Roční přírůst kruhové základny v obhospodařovaném bukovém porostu je totiž až o 54 % vyšší než v neobhospodařovaném porostu (Donfack et al. 2023). Bez výchovných zásahů může průměrná výčetní tloušťka po

26 letech dosahovat v porostu s počátečním stavem jedinců 10 000/ha 9–10 cm, zatímco v porostu s počátečním stavem 5 000 jedinců na hektar okolo 12 cm (Dassot et al. 2015).

Podle Remeše (2016) by v porostu ve věku 30–40 let mělo po výchovném zásahu zůstat 300–400 cílových buků/ha. V porostu stáří od 40 let by se pak mělo vyskytovat 130–200 cílových buků/ha, kdy by mezi stromy měly být rozestupy 7–9 m, což vytváří dostatečný prostor na stimulaci jejich tloušťkového růstu. V porostech s nedostatečnou počáteční hustotou by v tomto věku měl počet stromů na hektar dosahovat 500 kusů s průměrným rozestupem 4,5 m.

Počet buků se na studovaných plochách pohyboval od 170 do 850 ks/ha, s průměrem 389 ks/ha. Na většině ploch byly počty jedinců podobné a odpovídaly výše uvedeným hodnotám. Oproti ostatním lokalitám se v tomto ohledu výrazněji lišily 2 studované plochy, na kterých se počet jedinců na hektar pohyboval pod 180 ks/ha, a dále 3 lokality, kde počet jedinců na hektar převyšoval 610 ks/ha a v jednom případě dokonce 850 ks/ha.

Záporná korelace mezi průměrnou tloušťkou a výškou porostu a přírůstem ukazuje, že vyšších přírůstů bylo na sledovaných lokalitách dosaženo v porostech s nižší průměrnou tloušťkou a výškou. Z toho by se dalo usuzovat, že stromy na studovaných plochách rostly rychleji v mladších porostech (Šmelko 1982). To se ovšem nepotvrdilo u sledovaných stromů, protože výška a tloušťka na jejich přírůst téměř neměla vliv. Vysvětlením této nesrovnalosti může být to, že většina sledovaných stromů má podobné rozměry, jejichž hodnoty jsou soustředěny okolo průměrné hodnoty. Počet stromů na ploše také téměř neměl na přírůst vliv. Tento fakt je zřejmě způsoben tím, že počet jedinců na několika lokalitách s vyšší porostní tloušťkou a výškou převyšuje počet jedinců na lokalitách s nižší porostní tloušťkou a výškou.

Většina korelací tloušťkového přírůstu a stanovištních, dendrometrických a porostních faktorů dosahuje velmi nízkých hodnot, takže se z výsledků zdá, že tyto faktory neměly na přírůst velký vliv, nebo byly na různých plochách odlišné. To bylo možné sledovat u vlivu délky vegetační sezony, která je napříč lokalitami podobná, a pokud vyšší teploty umožní dřívější zahájení růstu, ten je pak také dříve ukončen (Matula et al. 2023 a). Rovněž nebyl, například oproti studii v Německu (van der Maaten 2012), prokázán vliv sklonu svahu a expozice lokalit, což mohlo být způsobeno nízkým počtem lokalit nebo malými rozdíly v expozici a sklonu svahu na sledovaných lokalitách.

6.2 Tloušťkový přírůst v závislosti na teplotě vzduchu

Porovnáme-li teploty ve sledovaném období s teplotním normálem z let 1991–2020, byly zaznamenány teplotně nadnormální roky 2020 a 2022 a teplotně normální rok 2021 (ČHMÚ 2023, 2022, 2021). Uvádí se, že optimální průměrná roční teplota pro růst buku v České republice se pohybuje kolem 7,0–7,5 °C (Vacek et al. 2020 a). Během sledovaného období však byly průměrné roční teploty studovaných lokalit vyšší. Důvodem je probíhající klimatická změna, která způsobuje zvyšování teplot. Výše uvedeným hodnotám se na studovaných lokalitách nejvíce blížila teplota 7,9 °C zaznamenaná v roce 2021, kdy byl také sledován nejvyšší roční přírůst. Ve zbývajících letech průměrné roční teploty na studovaných lokalitách překročily 9,0 °C a roční přírůsty dosahovaly v porovnání s rokem 2021 nižších hodnot. Někteří autoři jako Thomasius (1991) a Barna (2011) však uvádí, že buku ve střední Evropě vyhovují průměrné roční teploty až 8,5 °C, respektive 9,0 °C. Nejvyšších přírůstů, pohybujících se okolo 4 mm, totiž bylo na studovaných plochách dosaženo při teplotách 8,0–9,0 °C. To bylo však pozorováno pouze u několika jedinců na různých lokalitách. S rostoucí teplotou bylo totiž možné sledovat klesající trend přírůstu. Ačkoli hodnota statisticky

významné korelace $r = -0,202$ ($p < 0,05$) mezi přírůstem a teplotou není příliš vysoká, je patrné, že teplota měla během sledovaného období na tloušťkový přírůst negativní vliv.

Teploty vyšší, než je udávané optimum pro růst buku, vedou ke snížení tloušťkového přírůstu. K tomu přispívají zejména velmi vysoké letní teploty v kombinaci s nízkými srážkami (Decuyper et al. 2020, Roibu et al. 2016). Nejmenšího přírůstu tak bylo na studovaných plochách dosaženo v roce 2022, který byl v letech 2020–2022 nejteplejší a nejsušší. Během sledovaného období byl tento negativní vliv vysokých teplot zvláště patrný na lokalitě 2647, kde byly v porovnání s ostatními lokalitami opakovaně zaznamenány jedny z nejvyšších teplot a nejnižších srážek a většina přírůstů nepřesáhla 0,5 mm. Vysoké teploty totiž zrychlují transpiraci. Při nedostatku vody vyšší teploty zvyšují stres ze sucha a buk za účelem zamezení ztrát vody uzavírá průduchy, což ale vede k omezení tloušťkového přírůstu (Ježík et al. 2011). Tato reakce ovšem není pravidlem. Například Salomón (2022) ve velmi teplém a suchém roce 2018 na několika místech ve střední Evropě zaznamenal pouze dočasné smrštění kmene, zatímco přírůst dosahoval podobných hodnot jako v předchozích dvou letech.

Ačkoliv vyšší teploty během letních měsíců mají na přírůst negativní vliv, teplejší zima a jaro přírůstu prospívá (Kolář et al. 2017). To se však na studovaných plochách nepotvrdilo, jelikož vyšších přírůstů bylo dosaženo v roce 2021, kdy bylo chladnější zimní a jarní období. Bylo tedy dosaženo podobných výsledků jako ve Francii (Lebourgeois et al. 2005).

Mnoho studií také poukazuje na fakt, že přírůst buku je ovlivněn teplotami z předchozího roku (Michelot et al. 2012). Tato závislost však nebyla v této práci prokázána a není zcela jasné, proč se tyto výsledky neshodují s ostatními autory. Nejspíše to je způsobeno tím, že větší vliv měla teplota současného roku, nebo spíše převládl vliv srážek.

Působení teploty na růst buku je však v evropských státech rozdílné. Lze sledovat, že pozdní mrazy a nízké teploty, které zkracují délku vegetačního období, omezují přírůst buku v severní části jeho areálu a ve vyšších polohách, zejména v Alpách a v Karpatech (Pretzsch et al. 2014). I přes to přírůsty buku v Lotyšsku při průměrné roční teplotě 6,3 °C dosahují 1,80 mm (Krišāns et al. 2016). Na úpatí vrcholu Mont Ventoux sice panuje podobná průměrná roční teplota, a to 6,8 °C, ale velikost přírůstu buku se pohybuje okolo 1,00 mm (Cailleret et Hendrik 2010). Ve východoevropských státech je přírůst omezován horkými léty kontinentálnějšího klimatu. V Moldavsku, tedy v nejvýchodnější lokalitě rozšíření buku, se proto průměrné roční teploty pohybují přes 11,0 °C, ale jak je vidět, buku se zde i přes to docela daří, protože průměrné přírůsty dosahují 2,50 mm (Roibu et al. 2016). Pro buk nejsou vhodné ani vysoké teploty v jihoevropských státech, takže v posledních třiceti letech je v Itálii možné pozorovat pokles přírůstu o 20 % (Mazza et al. 2024). Nejvíce buku vyhovují teploty v zemích střední a severozápadní Evropy, kde převládá oceánické klima, a jejich působení na přírůst je podobné jako na území České republiky (Ningre et Colin 2007). Jedná se například o Belgie, kde byl při průměrné roční teplotě 8,9 °C zaznamenán přírůst 2,26 mm (Latte et al. 2015), a jihozápad Francie, kde má buk optimum v horských pásmech s průměrnou roční teplotou do 10,5 °C (Bert et al. 2022). Výsledky mé práce se nejvíce shodují s ostatními stredoevropskými studii. V Německu byl při teplotě 7,0 °C zaznamenán přírůst 1,60 mm (van der Maaten 2012) a na Slovensku byl při teplotě 7,9 °C pozorován přírůst 2,00 mm (Ježík et al. 2011).

6.3 Tloušťkový přírůst v závislosti na úhrnu srážek

Ve vztahu k dlouhodobému průměru lze ve sledovaném období pozorovat srážkově nadnormální rok 2020 a srážkově normální roky 2021 a 2022 (ČHMÚ 2023, 2022, 2021).

V oblastech optima růstu buku u nás se srážkové úhrny pohybují okolo 700–800 mm (Vacek et al. 2020 a). Ačkoli Felbermeier (1993) uvádí, že nejvyšší tloušťkové přírůsty buku jsou ve střední Evropě v oblastech s ročními srážkovými úhrny kolem 600–700 mm, nejvyšších přírůstů bylo na studovaných lokalitách dosaženo při srážkových úhrnech okolo 800–1 000 mm. Roli zřejmě hrál fakt, že několik studovaných ploch se nachází v Beskydech, což je oblast velmi bohatá na srážky. Ve střední Evropě však optimum buku může být i v oblastech se srážkami okolo 1 200 mm (Barna et al. 2011). Růstu buku totiž obecně prospívají vyšší srážky. To ukazují i výsledky mé práce, jelikož se zvyšujícími se úhrny srážek byl na studovaných lokalitách vidět rostoucí trend přírůstu. Hodnota statisticky významné korelace $r = 0,172$ ($p < 0,05$) mezi přírůstem a srážkami ovšem není příliš vysoká, ačkoli dva ze tří sledovaných roků byly srážkově normální a třetí dokonce nadnormální.

Ačkoli sledované období bylo z pohledu ročních úhrnů srážek příznivé, důležité je pozorovat rozložení srážek během roku. Tloušťkový přírůst je podporován vyššími srážkami v zimě a na jaře (Lebourgeois et al. 2005). Proto byly na studovaných plochách nejvyšší přírůsty pozorovány v roce 2021, kdy byly během sledovaného období v zimních a jarních měsících zaznamenány nejvyšší srážky. Největší vliv srážek na tloušťkový růst buku je však sledován během letních měsíců. Ve střední Evropě buk pro svůj zdárný růst potřebuje v tomto období aspoň 350 mm srážek (Škrk et al. 2022). Mnoho studií ukazuje, že nízké srážkové úhrny v létě, zejména v červnu a červenci, způsobují výrazné snížení tloušťkového růstu (Ježík et al. 2016). To je pravděpodobně jedna z příčin, proč bylo v letech 2020 a 2022 dosaženo nižších přírůstů, jelikož průměrné červencové úhrny srážek se v těchto letech na studovaných lokalitách pohybovaly pod hranicí 100 mm. Naopak vysoké srážkové úhrny, a zejména v kombinaci s vysokými teplotami, by měly vést k výraznému navýšení přírůstu (Roibu et al. 2016). V mé práci se však toto tvrzení nepotvrdilo, jelikož v teplotně i srážkově nadnormálním roce 2020 bylo dosaženo podobných přírůstů jako v teplotně nadnormálním a srážkově normálním roce 2022. Jelikož tento výsledek mé práce nesouhlasí s mnoha dalšími studiemi (např. Matula et al. 2023 a, Michelot et al. 2012), je otázka, proč tomu tak je. Vysvětlením může být to, že v tomto roce převládl spíše negativní vliv vysoké teploty, nebo byl přírůst ovlivněn podmínkami, které sledovanému období předcházely, jelikož v letech 2018–2020 byl růst stromů ve střední Evropě silně ovlivněn extrémním suchem (van der Maaten et al. 2024).

Tloušťkový přírůst je totiž ovlivněn nejen srážkami ze současného roku, značný vliv mají také úhrny srážek z předchozího roku. Zejména se jedná o výši srážek v letních měsících (Verschuren et al. 2023). Tato souvislost byla na studovaných lokalitách prokázána, srážky z předchozího roku měly na přírůst pozitivní vliv. Příznivý vliv vyšších srážek z předchozího roku spočívá v tvorbě a ukládání zásobních látek, které jsou následující jaro využity při počáteční fázi tvorby letokruhů (Roibu et al. 2022). Dokonce se zdá, že srážky z předchozího roku ovlivňují přírůst více než ty ze současného roku. Statisticky významná korelace mezi tloušťkovým přírůstem a srážkami z předchozího roku je totiž oproti srážkám ze současného roku vyšší a má hodnotu $r = 0,260$. Největší podíl lze přisuzovat tomu, že srážkově normálnímu roku 2021, kdy byly zaznamenány nejvyšší přírůsty předcházely srážkově nadnormální rok 2020.

Příznivý vliv srážek na přírůst je možné pozorovat po celé Evropě. Jedná se zejména o oblasti oceánického klimatu, které převládá i u nás. V těchto oblastech je tloušťkový přírůst ovlivněn spíše srážkami než teplotou a slunečním zářením (García-Suárez et al. 2009). Příkladem může být Belgie, kde byl při srážkách 815 mm zaznamenán průměrný přírůst buku 2,90 mm (Bytebier et al. 2022), nebo Francie, kde bylo studováno několik lokalit s průměrným srážkovým úhrnem 887 mm a výše průměrného přírůstu dosáhla 2,26 mm (Lebourgeois et al.

2005). Velikost průměrného přírůstu na sledovaných plochách se nejvíce blížila studiím provedených v sousedních státech. V Německu byl při srážkovém úhrnu 900 mm zaznamenán průměrný tloušťkový přírůst 1,60 mm (van der Maaten 2012) a na Slovensku buk při srážkách 715 mm průměrně přirostl o 2,00 mm (Ježík et al. 2011). Okolo jižní a východní hranice areálu jsou nízké úhrny srážek limitujícím faktorem (Dittmar et al. 2003). V jihoevropských státech má buk problémy v místech, kde se letní srážky pravidelně pohybují pod hranicí 100 mm (Mazza et al. 2024). A například ve Slovinsku se proto buku nejvíce daří ve vyšších polohách, kde se průměrné roční srážky pohybují okolo 1 700 mm (Škrk et al. 2022). Ve východní Evropě, konkrétně v Mongolsku, se buku i přes nižší srážky docela daří, jelikož zde byl při průměrném ročním srážkovém úhrnu 572 mm sledován průměrný tloušťkový přírůst 2,50 mm. Ovšem v letech, kdy výše srážek v této oblasti během vegetační sezony nedosahuje 200 mm, je přírůst buku výrazně nižší (Roibu et al. 2016). Srážkové úhrny jsou limitujícím faktorem také v evropských nížinných lokalitách. Ty se oproti vyšším lokalitám vyznačují větším přírůstem, což lze pozorovat například v Belgii, kde je v nižších polohách velikost průměrného přírůstu o 0,90 mm vyšší než ve vyšších polohách, ale jeho velikost je velmi závislá na srážkách (Latte et al. 2015). Déletrvající sucho může například v nížinách na severu Francie při průměrném ročním srážkovém úhrnu 750 mm snížit meziroční přírůst až o 49 % (Michelot et al. 2012).

6.4 Vliv nadmořské výšky na tloušťkový přírůst

V České republice se optimální podmínky pro růst buku nachází ve vrchovinách mírně teplých oblastí, pro které je charakteristická nadmořská výška 400–700 m n. m. (Vacek et al. 2020 a). Studované lokality se nacházely v rozsahu 337–930 m n. m., přičemž většina ležela v rozmezí 450–650 m n. m. Nejvyšší tloušťkové přírůsty byly během sledovaného období zaznamenány na lokalitách, které se nachází v rozmezí 400–700 m n. m. Ačkoli v mé studii nebyla prokázána statisticky významná závislost přírůstu a nadmořské výšky, což může být dáno malým počtem sledovaných lokalit, můžeme pozorovat mírný nárůst přírůstu ve vyšších polohách. To lze sledovat zhruba od výšky 700 m n. m., kde přírůst až na výjimky neklesal pod 0,5 mm, zatímco v nižších výškách, a to i v rozmezí optima, ano. Trend zvýšení tloušťkového přírůstu buku ve vyšších polohách je v posledních desetiletích možné pozorovat po celé Evropě (Latte et al. 2015). Děje se tak v důsledku změn klimatických podmínek, které posouvají optimum pro růst buku přes severní hranici areálu rozšíření a do vyšších nadmořských výšek. V těchto oblastech lze proto sledovat zvýšení tloušťkového přírůstu až o 12 % (Dolar et al. 2023). Naopak v evropských nížinách, s výjimkou nejsevernějších lokalit, lze v posledních desetiletích sledovat snížení tloušťkového přírůstu zhruba o 24 % (Dolar et al. 2023). Tento trend je patrný především spodní hranici vertikálního rozšíření v jižní části areálu, což dokazuje snížení přírůstu buku v Katalánsku od roku 1950 o 49 %. Důvodem, proč tomu tak je, jsou zvyšující se teploty, které nejsou kompenzovány dostatečnými úhrny srážek (Jump et al. 2006).

Proto v nižších polohách nejen u nás, ale i v celé Evropě, přírůstu prospívají nižší teploty v kombinaci s vyššími srážkami (Vospersnik et Nothdurft 2018). Naopak ve vyšších polohách, v České republice zhruba od 800 m n. m., by měl být tloušťkový přírůst podporován vyššími teplotami a nižšími úhrny srážek (Kolář et al. 2017). Ovšem ukázalo se, že buk během sledovaného období v nadmořských výškách od 800 m n. m. rostl lépe v roce 2021, který byl oproti roku 2022 chladnější a deštivější, což bylo sledováno například na lokalitě B151. Jelikož na výše položených lokalitách bylo většinou dosaženo přírůstů, jejichž velikost převyšovala průměr za celé sledované období, je možné, že i v těchto oblastech se již vytvořily takové podmínky, ve kterých je přírůst ovlivněn spíše srážkami.

7 Závěr

Průměrný tloušťkový přírůst buku v letech 2020–2022 dosáhl na sledovaných plochách 1,36 mm, což je v porovnání s okolními státy mírně nižší hodnota.

Mezi hlavní faktory, které mají na tloušťkový přírůst vliv, patří působení klimatických podmínek. Z výsledků práce je ovšem patrné, že ačkoliv byl vliv klimatických faktorů na tloušťkový přírůst buku ze sledovaných faktorů nejvýznamnější, korelační koeficienty vykazují poměrně nízké hodnoty, a to i u statisticky průkazných korelací. Průměrná roční teplota měla na přírůst slabě negativní vliv ($r = -0,202$), roční úhrn srážek v daném a v předchozím roce měl na přírůst pozitivní vliv ($r = 0,172$; respektive $r = 0,260$). Vliv teplot z předchozího roku na tloušťkový přírůst byl nevýznamný ($r = 0,005$).

Dendrometrické faktory neměly na tloušťkový přírůst sledovaných buků téměř vliv. Jediná dendrometrická charakteristika, která hrála významnější roli, byla se statisticky významnou negativní korelací ($r = -0,248$) průměrná tloušťka jedinců v porostu.

Stanovištní faktory (charakter půd, sklon svahu) byly na studovaných plochách podobné, proto se jejich vliv na tloušťkový přírůst nepodařil prokázat.

I přes to, že přírůst nebyl ve sledovaném období nadmořskou výškou téměř ovlivněn ($r = 0,087$), je možné sledovat, že se buku dařilo lépe ve vyšších polohách. Zhruba od výšky 700 m n. m. přírůst ve srovnání s nižšími polohami až na výjimky neklesal pod 0,5 mm.

V důsledku klimatických změn tak lze patrně pozorovat posun optimálních podmínek pro růst buku do vyšších nadmořských výšek.

Z výsledků také vyplývá, že buk lépe prospíval ve vlhčích oblastech, proto by bylo vhodné v bukových porostech, a to zejména na srážkově chudších lokalitách, provádět opatření zaměřená na zadržování vody.

Dále by bylo vhodné v rámci monitoringu tloušťkového růstu buku na území České republiky rozšířit výzkumné plochy s automatickými dendrometry také v bukových porostech v oblasti jižních a západních Čech. Tím by se docílilo přesnějších výsledků pro celou Českou republiku.

8 Seznam literatury a použitých zdrojů

- AAS, G., 2022: Die Rotbuche (*Fagus sylvatica*): Verwandtschaft, Morphologie, Verbreitung und Ökologie. LWF Wissen 86, dostupné z https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/waldbaubergwald/dateien/lwf_wissen_86_aas.pdf.
- ARYAL S., HÄUSSER M., GRIEBINGER J., FAN Z., BRÄUNING A., 2020: “dendRoAnalyst”: A tool for processing and analysing dendrometer data. *Dendrochronologia*, 64: 125772.
- BARNA, M., KULFAN, J., BUBLINEC, E., et al. 2011: Buk a bukové ekosystémy Slovenska. Bratislava: VEDA, vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied. ISBN: 978-80-224-1192-9.
- BERT, D., LEBOURGEOIS, F., OUAYJAN, A., DUCOUSSO, A., OGÉE, J., HAMPE, A., 2022: Past and future radial growth and water-use efficiency of *Fagus sylvatica* and *Quercus robur* in a long-term climate refugium. *Dendrochronologia*, 72: 125939.
- BETSCH, P., BONAL, D., BRÉDA, N., MONTPIED P., 2011: Drought effects on water relations in beech: the contribution of exchangeable water reservoirs. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151: 531–543.
- BRINKMANN, N., EUGSTER, W., ZWEIFEL, R., BUCHMANN, N., KAHMEN, A., 2016: Temperate tree species show identical response in tree water deficit but different sensitivities in sap flow to summer soil drying. *Tree Physiology*, 36/12: 1508–1519.
- BYTEBIER, J., DE MIL, T., VANHELLEMONT, M., VERHEYEN, K., HANECA, K., VAN DEN BULCKE, J., 2022: Linking wood density records of common beech (*Fagus sylvatica* L.) with temperature and precipitation variability from a temperate lowland site. *Dendrochronologia*, 76: 126018.
- CAILLERET, M., HENDRIK, D., 2010: Effects of climate on diameter growth of co-occurring *Fagus sylvatica* and *Abies alba* along an altitudinal gradient. *Trees*, 25: 265–276.
- CZÚCZ, B., GÁLHIDY, L., MÁTYÁS, C., 2011: Present and forecasted xeric climatic limits of beech and sessile oak distribution at low altitudes in Central Europe. *Annals of Forest Science*, 68: 99–108.
- ČERNÝ, T., KARLÍK, K., 2021: Botanika pro lesnické obory. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská. ISBN: 978-80-213-3153-2.
- ČGS (Česká geologická služba), 2023, Geologická mapa 1:50 000 z r. 2018, (cit. 2023-11-19), dostupné z <https://mapy.geology.cz/geocr50/>
- ČGS (Česká geologická služba), 2023, Půdní mapa 1:50 000 z r. 2017, (cit. 2023-11-19), dostupné z <https://mapy.geology.cz/pudy/>
- ČHMÚ, 2024, (cit 2024-16-01) dostupné z <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mapy-charakteristik-klimatu>
- ČHMÚ, 2021: Hydrologická ročenka České republiky 2020. Praha: Český hydrometeorologický ústav. ISBN: 978-80-7653-030-0.
- ČHMÚ, 2022: Hydrologická ročenka České republiky 2021. Praha: Český hydrometeorologický ústav. ISBN: 978-80-7653-049-2.
- ČHMÚ, 2023: Hydrologická ročenka České republiky 2022. Praha: Český hydrometeorologický ústav. ISBN: 978-80-7653-061-4.

- ČT 24, 2022, (cit 2023-19-09), dostupné z <https://ct24.ceskatelevize.cz/pocasi/3439870-meteorologove-stanovili-nove-klimaticke-normaly-ukazuji-jak-se-cesko-otepluje>
- DASSOT, M., CONSTANT, T., et al., 2015: Impact of stand density on tree morphology and growth stresses in young beech (*Fagus sylvatica* L.) stands. *Trees*, 29: 583–591.
- DITTMAR C., ZECH, W., ELLING, W., 2003: Growth variations of Common beech (*Fagus sylvatica* L.) under different climatic and environmental conditions in Europe – a dendroecological study. *Forest Ecology and Management*, 173/1-3: 63–78.
- DECUYPER, M., CHÁVEZ, R., O., ČUFAR, K., ESTAY S., A., CLEVERS, J., PRISLAN, P., GRIČAR, J., ČREPINŠEK, Z., MERELA, M., DE LUIS, M., NOTIVOLI, R. S., et al. 2020: Spatio-temporal assessment of beech growth in relation to climate extremes in Slovenia – An integrated approach using remote sensing and tree-ring data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 278: 107925.
- DRÁPELA, K., ZACH, J., 1995: *Dendrometrie (Dendrochronologie)*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. ISBN 80-7157-178-4.
- DOLAR, N., Š., DEL CASTILLO, E., M., SERRANO-NOTIVOLI, R., DE LUIS ARRILLAGA, M., NOVAK, K., MERELA, M., ČUFAR K., 2023: Spatial and temporal variation of *Fagus sylvatica* growth in marginal areas under progressive climate change. *Dendrochronologia*, 81: 126135.
- DONFACK, L.S., SCHALL, P., MUND, M. et al., 2023: Effects of competition reduction on intra-annual radial growth of European beech (*Fagus sylvatica* L.) at stem base and crown base. *Trees*, 37: 435–447.
- ERA5, 2023, (cit 2023-11-06), dostupné z <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressurelevels?tab=overview>
- ETZOLD, S., STERCK F., BOSE A. K., BRAUN S., BUCHMANN N., EUGSTER W., GESSLER A., KAHMEN A., PETERS R. L., VITASSE Y., WALTHERT L., ZIEMIŃSKA K., ZWEIFEL R., 2022: Number of growth days and not length of the growth period determines radial stem growth of temperate trees. *Ecology letters*, 25/2: 427–439.
- EUFORGEN, 2023, (cit 2023-23-3), dostupné z <https://www.euforgen.org/species/fagus-sylvatica/>
- FELBERMEIER, B., 1993: *Der Einfluß von Klimaänderungen auf die Areale von Baumarten. Methodenstudie und regionale Abschätzung für die Rotbuche (Fagus sylvatica L.) in Bayern.* Forstliche Forschungsberichte München, 134 s.
- GANDELOVÁ, L., HORÁČEK, P., ŠLEZINGEROVÁ J., 2009: *Nauka o dřevě*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. ISBN: 978-80-7375-312-2.
- GARCÍA-SUÁREZ, A. M., BUTLER, C. J., BAILLIE, M. G. L., 2009: Climate signal in tree-ring chronologies in a temperate climate: A multi-species approach. *Dendrochronologia*, 27: 183–198.
- HACKET-PAIN A. J., LAGEARD J. G. A., THOMAS P. A., 2017: Drought and reproductive effort interact to control growth of a temperate broadleaved tree species (*Fagus sylvatica*). *Tree psychology*, 37/6: 744–754

- HEJNÁK, V., ZÁMEČNÍKOVÁ, B., ZÁMEČNÍK, J., HNILIČKA, F., 2007: Fyziologie rostlin. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů. ISBN 978-80-213-1667-6
- HOMMEL, R., SIEGWOLF, R., ZAVADLAV, S., AREND, M., SCHAUB, M., GALIANO, L., HAENI, M., KAYLER, Z.E., GESSLER A., 2016: Impact of interspecific competition and drought on the allocation of new assimilates in trees. *Plant Biology*, 18: 785–796.
- CHMELAŘ J., 1987: Dendrologie s ekologií lesních dřevin 2. část – Hospodářsky významné listnáče. Praha: Státní pedagogické nakladatelství Praha. ISBN 17-387-86.
- CHUSTE, P.-A., MAILLARD, P., BRÉDA, N., LEVILLAIN, J., THIRION, E., WORTEMANN, R., MASSONNET C., 2020: Sacrificing growth and maintaining a dynamic carbohydrate storage are key processes for promoting beech survival under prolonged drought conditions. *Trees*, 34: 381–394.
- JEŽÍK, M., BLAŽENEC, M., STŘELCOVÁ, K., DITMAROVÁ, L., 2011: The impact of the 2003–2008 weather variability on intra-annual stem diameter changes of beech trees at a submontane site in central Slovakia. *Dendrochronologia*, 29/4: 227–235.
- JEŽÍK, M., BLAŽENEC, M., KUČERA, J., STŘELCOVÁ, K., DITMAROVÁ, L., 2016: The response of intra-annual stem circumference increase of young European beech provenances to 2012-2014 weather variability. *iForest – Biogeosciences and Forestry*, 9/6: 960–969.
- JUMP, A., S., HUNT, J., M., PEÑUELAS, J., 2006: Rapid climate change-related growth decline at the southern range edge of *Fagus sylvatica*. *Global change biology*, 12: 2163-2174.
- JURČA, J., 1988: Pěstění lesů. Brno: Vysoká škola zemědělská v Brně. 293 s.
- KARAS, P., ZÁRYBNICKÁ, A., MÍKOVÁ, T., 2007: Skoro jasno: průvodce televizní předpovědi počasí. Praha: Česká televize. ISBN 978-80-85005-78-3.
- KASPER, J., Leuschner, C., Walentowski, H., Petritan, A., M., Weigel, R., 2022: Winners and losers of climate warming: Declining growth in *Fagus* and *Tilia* vs. stable growth in three *Quercus* species in the natural beech–oak forest ecotone (western Romania). *Forest Ecology and Management*, 506: 119892.
- KEENAN, T., F., Gray, J., Friedl, M., A., Toomey, M., Bohrer, G., Hollinger, D., Y., Munger, J., W., O’Keefe, J., Schmid, H., P., Wing, I., S., Yang, B., Richardson A., D., 2014: Net carbon uptake has increased through warming-induced changes in temperate forest phenology. *Nature climate change*, 4: 598-604.
- KELLY, D., 1994: The evolutionary Ecology of mast seeding. *Tree*, 9/12: 465–470.
- KLIMO, E., 1994: Lesnická ekologie. Vysoká škola zemědělská v Brně. 167 s.
- KOLÁŘ, T., ČERMÁK, P., TRNKA, M., ŽID, T., RYBNÍČEK, M., 2017: Temporal changes in the climate sensitivity of Norway spruce and European beech along an elevation gradient in Central Europe. *Agric. Pro. Meteorol.*, 239: 24–33.
- KORPELA M., MÄKINEN H., NÖJD P., HOLLMÉN J., SULKAVA M., 2010: Automatic detection of onset and cessation of tree stem radius increase using dendrometer data. *Neurocomputing*, 73/10-12: 2039–2046.

- KÖCHER, P., HORNA, V., BECKMEYER, L., LEUSCHNER C., 2012: Hydraulic properties and embolism in small-diameter roots of five temperate broad-leaved tree species with contrasting drought tolerance. *Annals of forest science*, 69: 693–703.
- KNÜSEL S., PETERS R., HAENI M., WILHELM M., ET ZWEIFEL R., 2021: Processing and Extraction of Seasonal Tree Physiological Parameters from Stem Radius Time Series. *Forests*, 12/6: 765.
- KREMER, B. P., 1984: *Bäume*. Mosaik Verlag GmbH, München: 287 s.
- KRIŠANS O., PURIŅA L., MESTERS D., KĀPOSTIŅŠ R., RIEKSTS-RIEKSTIŅŠ J., JANSONS Ā., 2016: Intra-annual radial growth of European beech – a case study in north easternmost stand in Europe. *Metsanduslikud Uurimused*, 65/1: 34–42.
- KUTSCH, W. L., WIRTH, C., KATTGE, J., NÖLLERT, S., HERBST M., KAPPEN L., 2009: Ecophysiological Characteristics of Mature Trees and Stands – Consequences for Old-Growth Forest Productivity. *Old-Growth Forest*, 207: 57–79.
- LATTE, N., LEBOURGEOIS, F., CLAESSENS, H., 2015: Increased tree-growth synchronization of beech (*Fagus sylvatica* L.) in response to climate change in northwestern Europe. *Dendrochronologia*, 33: 69–77.
- LEBOURGEOIS, F., BRÉDA, N., ULRICH, E., GRANIER, A., 2005: Climate-tree-growth relationships of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in the French Permanent Plot Network (RENECOFOR). *Trees*, 19: 385–401.
- LEUSCHNER, C., 2020: Drought response of European beech (*Fagus sylvatica* L.) – A review. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 47: 125576.
- van der MAATEN, E., 2012: Climate sensitivity of radial growth in European beech (*Fagus sylvatica* L.) at different aspects in southwestern Germany. *Trees*, 26: 777–788.
- van der MAATEN, E., STOLZ, J., THURM, E., A., SCHRÖDER, J., et al. 2024, Long-term growth decline is not reflected in crown condition of European beech after a recent extreme drought. *Forest ecology and management*, 551: 121516.
- MAPY.CZ, 2023, (cit. 2023-11-20), dostupné z <https://mapy.cz/zakladni?x=14.3770720&y=50.1294380&z=11>
- MATOVÍČ, A., 1988: *Nauka o dřevě*. Brno: Vysoká škola zemědělská: 259 s.
- MATULA, R., SVOBODA, M., KOPECKÝ, M., WILD, J., VEJPUSTKOVÁ, M., 2022: Nová monitorovací síť pro studium vlivů klimatu na lesy v České republice. *Lesnická práce*, 101/2: 38–39.
- MATULA, R., SVOBODA, M., PLICHTA, R., KOPECKÝ, M., WILD, J., VEJPUSTKOVÁ, M., 2023 A: Růst hlavních druhů dřevin v klimatickém gradientu České republiky v letech 2020-2022. *Lesnická práce*, 102/6: 34–35.
- MATULA, R., KNÍŘOVÁ, S., VÍTÁMVÁS, J., ŠRÁMEK, M., KNÍŘ, T., ULBRICHOVÁ, I., SVOBODA, M., PLICHTA, R., 2023 B: Shifts in intra-annual growth dynamics drive a decline in productivity of temperate trees in Central European forest under warmer climate. *Science of the Total Environment*, 905(June): 166906.
- MAZZA, G., MONTEVERDI, M., C., ALTIERI, S., BATTIPAGLIA, G., 2024: Climate-driven growth dynamics and trend reversal of *Fagus sylvatica* L. and *Quercus cerris* L. in

- a low-elevation beech forest in Central Italy. *Science of The Total Environment*, 908: 168250.
- MICROSOFT CORPORATION, 2021. Excel (software). Instalace 30. 8. 2021. Dostupné z <https://www.microsoft.com/cs-cz/microsoft-365/excel>.
- MICHELOT, A., BRÉDA, N., DAMESIN, C., DUFRÊNE, E., 2012: Differing growth responses to climatic variations and soil water deficits of *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea* and *Pinus sylvestris* in a temperate forest. *Forest Ecology and Management*, 265/2: 161–171.
- MERGL, J., 1984: *Lesnická botanika: učebnice pro 2. roč. středních lesnických škol*. Praha: SZN, 231 s.
- MUSIL, I., MÖLLEROVÁ, J., 2005: *Listnaté dřeviny Přehled dřevin v rámci systému rostlin krytosemenných*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha. ISBN 80-213-1367-6.
- MÖLDER I. ET LEUSCHNER C., 2014: European beech grows better and is less drought sensitive in mixed than in pure stands: tree neighbourhood effects on radial inkrement. *SpringerLink*, 28: 777–792.
- MRÁČEK, Z., 1989: *Pěstování buku*. Praha: SZN, 223 s.
- MZe, 2021: *Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2020*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 124 s.
- NICKEL, U.T., WEIKL, F., KERNER, R., SCHÄFER, C., KALLENBACH, C., MUNCH, J.C., PRITSCH K., 2018: Quantitative losses vs. qualitative stability of ectomycorrhizal community response to 3 years of experimental summer drought in a beech-spruce forest. *Glob Chang Biol.*, 24: 560–576.
- NINGRE, F., COLIN, F., 2007: Frost damage on the terminal shoot as a risk factor of fork incidence on common beech (*Fagus sylvatica* L.). *Annals of Forest Science*, 64/1: 1286–4560.
- ÖVERGAARD, R., GEMMEL, P., KARLSSON, M., 2007: Effects of weather conditions on mast year frequency in beech (*Fagus sylvatica* L.) in Sweden. *Forestry*, 80/5: 555–565.
- PAVLIN, J., NAGEL, A. T., SVITOK, M., PETTIT, J. L., BEGOVIĆ, K., MIKAC, S., DIKKU, A., et al. 2021: Disturbance history is a key driver of tree life span in temperate primary forests. *Journal of Vegetation Science*, 32/5: e13069.
- PERCIVAL, G. C., 2023: Heat tolerance of urban trees – A review. *Urban Forestry & Urban Greening*, 86: 128021.
- PETRÍK, M., HAVLÍČEK, V., UHRECKÝ, I., 1986: *Lesnícka bioklimatológia*. Bratislava: Príroda, vydavateľstvo kníh a časopisov, 352 s.
- PIOVESAN G., BERNABEI M., FILIPPO A., ROMANGOLI M., SCHIRONE B., 2003: A long-term tree-ring beech chronology from a high elevation old-growth forest in Central Italy. *Dendrochronologia*, 21: 13–22.
- POLENO, Z., VACEK, S., PODRÁZSKÝ, V., et.al., 2009: *Pěstování lesů III., Praktické postupy pěstování lesů*. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce. ISBN 978-80-87154-34-2.
- POLENO, Z., VACEK, S., 2011: *Pěstování lesů I. Ekologické základy pěstování lesů*. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce. ISBN 978-80-87154-99-1.

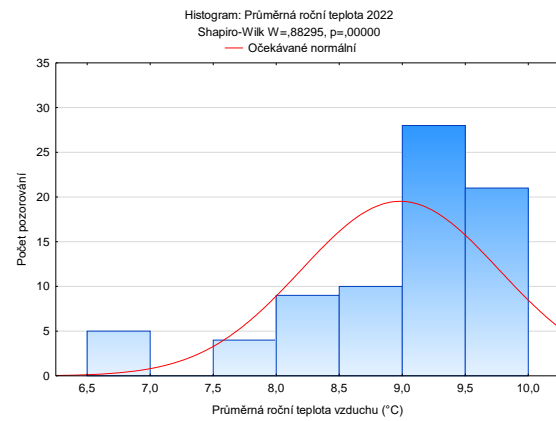
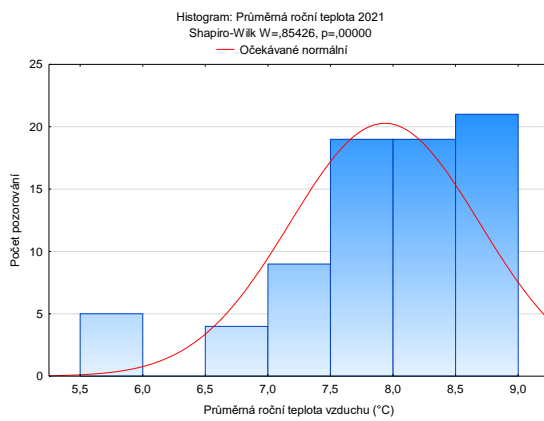
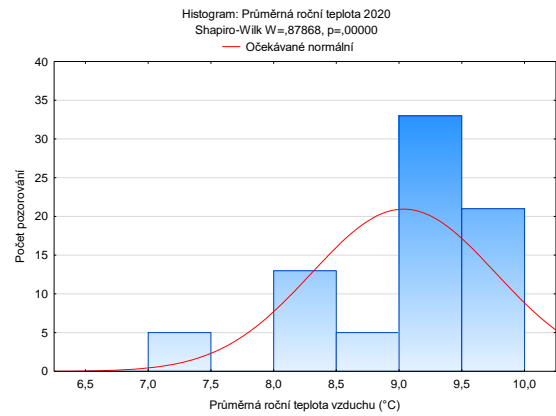
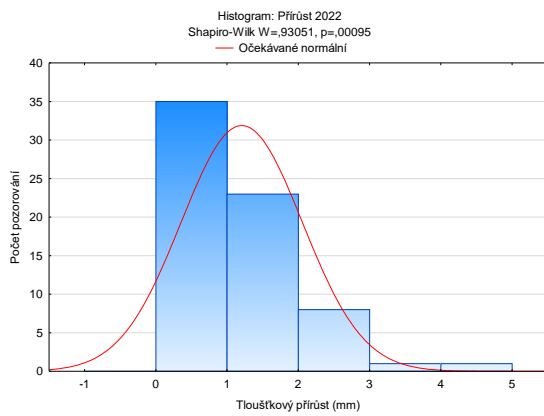
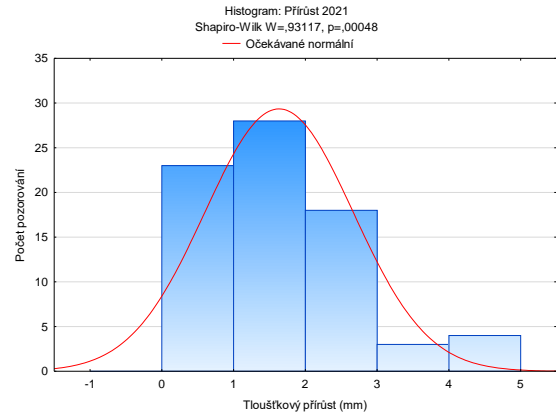
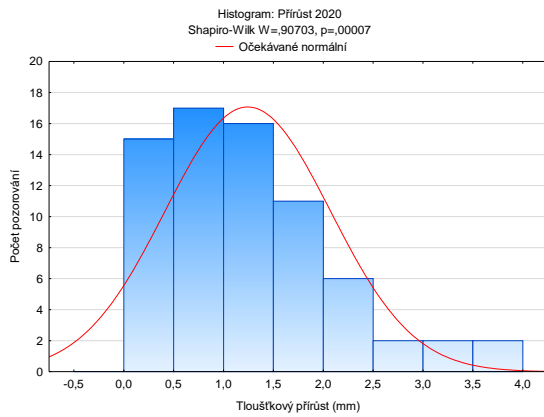
- POSIT, 2023. RStudio (software). Instalace 19. 6. 2023. Dostupné z <https://posit.co/download/rstudio-desktop/>. Požadavky na systém: Windows 11, 10 / 8.1/8 / 7 / Vista / XP / 2000; velikost 216 MB.
- PRETEL, J., 2013: Změny klimatu v Česku. *Vesmír*, 92: 605.
- PRETZSCH, H., BIELAK, K., BLOCK, J., BRUCHWALD, A., DIELER, J., EHRHART, H. P., et al. 2013: Productivity of mixed versus pure stands of oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus robur* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) along an ecological gradient. *European Journal of Forest Research*, 132/2: 263–280.
- 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*, 28: 1305–1321.
- PRETZSCH H., HILMERS T., UHL E., BIELAK K., BOSELA M., DEL RIO M., DOBOR L., FORRESTER D. I., NAGEL T. A., PACH M., AVDAGIĆ A., BELLAN M., BINDER F., BONČINA A., BRAVO F., et al., 2021: European beech stem diameter grows better in mixed than in mono-specific stands at the edge of its distribution in mountain forests. *European Journal of Forest Research*, 140: 127–145.
- PRETZSCH, H., 2022: Sie wächst und wächst und wächst – Fakten zum Wachstum der Buche. LWF Wissen 86, dostupné z https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/waldbau-bergwald/dateien/lwf_wissen_86_pretzsch.pdf
- PROCHÁZKA, S., et al., 2007: *Botanika Morfologie a fyziologie rostlin*. Brno: Vysoká škola zemědělská. ISBN 80-7157-108-3.
- REMEŠ, J., NOVÁK, J., ŠTEFANČÍK, I., DUŠEK, D., SLODIČÁK, M., BÍLEK, L., PULKRAB, K., 2016: Postupy výchovy k dosažení pěstebně-ekologického a ekonomického optima v bukových porostech na chs 43 a 45. Strnady: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti. ISBN: 978-80-7417-123-9.
- ROIBU C.-C., PALAGHIANU C., NAGAVCIUC V., IONITA M., SFECLA V., MURSA A., CRIVELLARO A., STIRBU M.-I., COTOS M.-G., POPA A., SFECLA I., POPA I., 2022: The Response of Beech (*Fagus sylvatica* L.) Populations to Climate in the Easternmost Sites of Its European Distribution. *Plants*, 11/23: 3310.
- SALOMÓN R. L., PETERS R. L., ZWEIFEL R., SASS-KLAASSEN U. G. W., STEGEHUIS A. I., SMILJANIC M., POYATOS R., BABST F., CIENCIALA E., FONTI P., LERINK B. J. W., et al., 2022: The 2018 European heatwave led to stem dehydration but not to consistent growth reductions in forests. *Nature Communications*, 13/1: 28.
- SCHULDT, B., BURAS, A., AREND, M., VITASSE, Y., BEIERKUHNLEIN, C., et al., 2020: A first assessment of the impact of the extreme 2018 summer drought on Central European forests. *Basic and Applied Ecology*, 45/6: 86–103.
- SILVARIUM, 2024, (cit 2024-02-02), dostupné z <https://www.silvarium.cz/zpravy-z-oboru-lesnictvi-a-drevarstvi/nejstarsi-buk-v-republice-je-u-horniho-jiretina-vedci-stari-odhadli-na-470-let>
- SLAVÍKOVÁ, J., 1986: *Ekologie rostlin*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství Praha, 366 s.

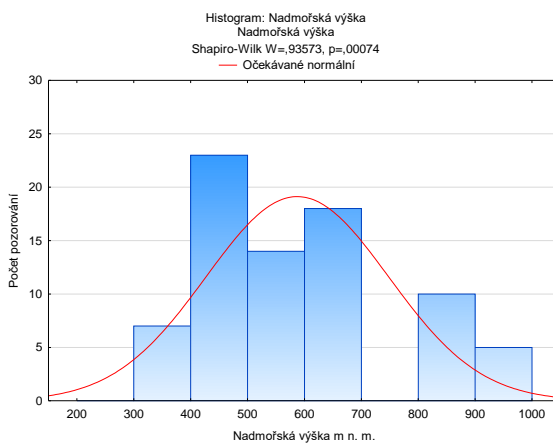
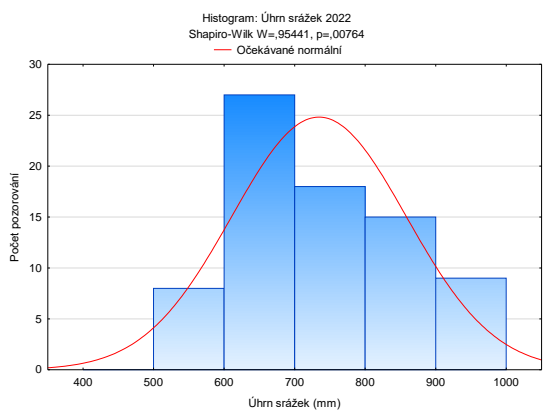
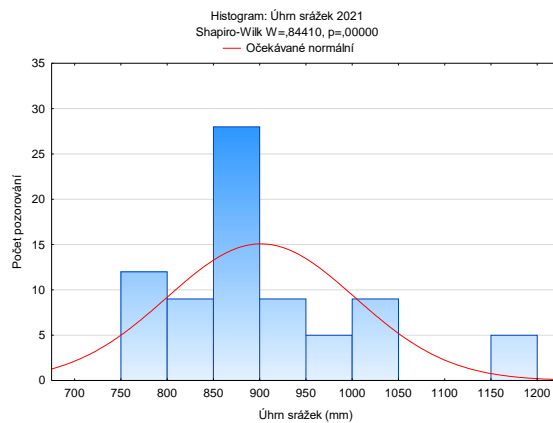
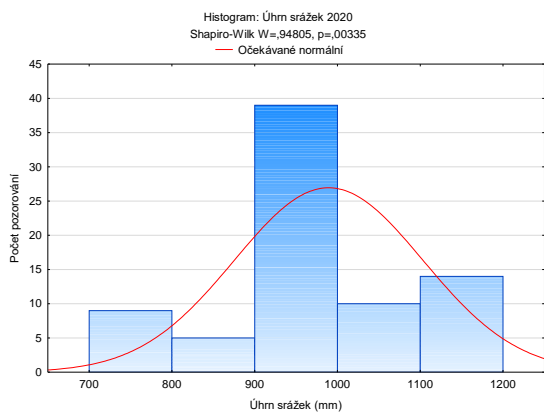
- SOUKUPOVÁ, J., 2011: Atmosférické procesy (základy meteorologie a klimatologie). Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, ISBN 9978-80-213-2234-9.
- SCHULZ, CH., BLASCHKE, M., 2022: Die Besonderheiten der Buche beim Klimaschutz. LWF Wissen 86, dostupné z <https://www.lwf.bayern.de/boden-klima/baumartenwahl/319104/index.php>
- SVOBODA, P., 1955: Lesní dřeviny a jejich porosty: Část II. Praha: SZN, 573 s.
- ŠEBÍK, L., POLÁK, L., 1990: Náuka o produkci dřeva. Bratislava: Príroda. ISBN 80-07-00268-5.
- ŠIMŮNEK, V., VACEK, Z., VACEK, S., KRÁLÍČEK, I., VANČURA, K., 2019: Growth variability of European beech (*Fagus sylvatica* L.) natural forests: Dendroclimatic study from Krkonose National Park. *Lesnický Časopis*, 65/2: 92–102.
- ŠLEZINGEROVÁ, J., GANDELOVÁ, L., 2005: Stavba dřeva. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. ISBN 80-7157-636-0.
- ŠKRK, N., SERRANO-NOTIVOLI, R., de LUIS, M., ČUFAR K., 2022: Dominance of *Fagus sylvatica* in the growing stock and its relationship to climate – an analysis using modeled stand-level climate data. *Plants*, 11: 2541.
- ŠMELKO, Š., 2000: Dendrometria. Zvolen: Technická univerzita vo Zvoleně. ISBN: 80-228-0962-4.
- ŠMELKO, Š., 1982: Biometrické zákonitosti rastu a prírastku lesných stromov a porastov. Bratislava: Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied v Bratislave. 184 s.
- ŠTÍCHA, V., et al. 2015: Lesní hospodářství. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská. ISBN: 978-80-231-2613-2.
- THOMASIUS, H., 1991: Mögliche Auswirkungen einer Klimaveränderung auf die Wälder in Mitteleuropa. *Forstwiss. Centralblatt*, 110: 305–330.
- TIAN, F., HU, X.-L., YAO, T., YANG, X., CHEN, J.-G., LU, M.-Z., ZHANG, J., 2021: Recent Advances in the Roles of HSFs and HSPs in Heat Stress Response in Woody Plants. *Plant science*, 12. dostupné z <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.704905>.
- TIBCO, 2023. Statistica (software). Instalace 29. 9. 2023. Dostupné z <https://statistica.pro/produkty-category/tibco-desktop/>. Požadavky na systém: Windows 10/8/7; velikost 231 MB.
- TOLASZ, R., 2007: Atlas podnebí Česka. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-1626-7.
- TOMASELLA, M., NARDINI, A., HESSE, B.D., MACHLET, A., MATYSSEK, R., HÄBERLE K.-H., 2019: Close to the edge: effects of repeated severe drought on stem hydraulics and non-structural carbohydrates in European beech. *Tree Physiology*, 39: 717–728.
- 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.

- TRATSIUK, V., HOBI, M. L., COMMARMOT B., 2012: Age structure and disturbance dynamics of the relic virgin beech forest Uholka (Ukrainian Carpathians). *Forest Ecology and Management*, 265: 181–190.
- ÚHÚL, 2023, Typologická mapa, (cit. 2023-11-20), dostupné z <https://geoportal.uhul.cz/mapy/MapyOpri.html>
- ÚRADNÍČEK, L., CHMELAR, J., 1998: Dendrologie lesnická 2. část Listnáče 1 (Angiospermae). Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. ISBN 80-7157-169-5.
- ÚRADNÍČEK, L., MADĚRA, P., KOLIBÁČOVÁ, S., KOBLÍŽEK, J., ŠEFL, J., 2001: Dřeviny České republiky. Písek: Matice lesnická. ISBN 80-86271-09-9.
- VACEK, S., REMEŠ, J., VACEK, Z., BÍLEK, L., ŠTEFANČÍK, I., BALÁŠ, M., PODRÁZSKÝ, V., 2018: Pěstování lesů. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská. ISBN 978-80-213-2891-4.
- VACEK, S., REMEŠ, J., VACEK, Z., BÍLEK, L., ŠTEFANČÍK, I., BALÁŠ, M., PODRÁZSKÝ, V., 2022: Pěstování lesů. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská. ISBN 978-80-213-3203-4.
- VACEK, Z., PROKŮPKOVÁ, A., VACEK, S., BULUŠEK, D., ŠIMŮNEK, V., HÁJEK, V., KRÁLÍČEK I., 2021: Mixed vs. monospecific mountain forests in response to climate change: structural and growth perspectives of Norway spruce and European beech. *Forest Ecology and Management*, 488: 119019.
- VACEK, Z., VACEK, S., PODRÁZSKÝ, V., BALÁŠ, M., 2020 a: Lesní ekosystémy a jejich management. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská. ISBN 978-80-213-3059-7.
- VACEK, Z., VACEK, S., BÍLEK, L., BALÁŠ, M., 2020 b: Základy pěstování lesů. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská. ISBN 978-80-213-3043-6.
- VEJPUSTKOVÁ, M., ČIHÁK, T., ŠRÁMEK, V., 2018: Tloušťkový přírůst smrku (*Picea abies* (L.) Karst.) a buku (*Fagus sylvatica* L.) ve stejnorodých a smíšených. *Zprávy lesnického výzkumu*, 63/4: 272–280.
- VERSCHUREN, L., DE MIL, T., DE FRENNE, P., HANECA, K., VAN ACKER, J., VANDEKERKHOVE, K., VAN DEN BULCKE, J., 2023: Heading for a fall: The fate of old wind-thrown beech trees (*Fagus sylvatica*) is detectable in their growth pattern. *Science of The Total Environment* 903: 166148.
- VOSPERNIK, S. et. NOTHDURFT, A., 2018: Can trees at high elevations compensate for growth reductions at low elevations due to climate warming?. *Canadian Journal of Forest Research*, 48/6: 650–662.
- WAGNER, S., COLLET, C., MADSEN, P., NAKASHIZUKA, T., NYLAND, R. D., SAGHEB-TALEBI, K. (2010): Beech regeneration research: from ecological to silvicultural aspects. *Forest Ecology and Management*, 259: 2172–2182.
- ZWEIFEL, R., STERCK, F., BRAUN, S., BUCHMANN, N., EUGSTER, W., GESSLER, A., HÄNI, M., PETERS, R. L., WALTHERT, L., WILHELM, M., ZIEMIŃSKA, K., ETZOLD, S., 2021: Why trees grow at night. *New phytologist*, 231/6: 2174–2185.

9 Samostatné přílohy

Příloha 1: Výsledky ověření normality dat s grafickým vyjádřením





Příloha 2: Tloušťkové přírůsty a charakteristiky jednotlivých stromů

Plocha	Číslo dendrometru	Tloušťkový přírůst 2020 (mm)	Přírůst 2020 % poloměru tloušťky	Tloušťkový přírůst 2021 (mm)	Přírůst 2021 % poloměru tloušťky	Tloušťkový přírůst 2022 (mm)	Přírůst 2022 % poloměru tloušťky	Nadmořská výška (m.n.m.)	Výška (m)	Tloušťka (mm) 2019	Roční úhrn srážek (mm)			Průměrná roční teplota (°C)			
											2020	2021	2022	2020	2021	2022	
	1	92192038	0,90	0,28	1,07	0,33	1,97	0,60	337	36	649	929	813	696	9,92	8,78	9,70
	1	92192266	0,54	0,38	0,84	0,59	0,77	0,54	337	36	284	929	813	696	9,92	8,78	9,70
	1	92192700	1,18	0,45	0,78	0,29	0,36	0,14	337	37	528	929	813	696	9,92	8,78	9,70
	1	92192273	1,01	0,49	1,56	0,75	2,28	1,09	337	36	415	929	813	696	9,92	8,78	9,70
	1340	92192610	2,23	1,53	2,60	1,78	1,24	0,85	635	30,5	288	1190	1021	929	8,09	6,91	7,92
	1340	92192645	1,11	0,81	2,11	1,54	0,97	0,71	635	29,5	271	1190	1021	929	8,09	6,91	7,92
	1340	92192662	2,10	1,45	2,02	1,39	1,98	1,35	635	30,5	287	1190	1021	929	8,09	6,91	7,92
	1340	92192528	0,68	0,43	1,13	0,72	1,22	0,77	635	28,5	312	1190	1021	929	8,09	6,91	7,92
	1545	92192051	0,24	0,16	0,61	0,40	0,12	0,08	592	29	309	951	780	664	8,43	7,29	8,40
	1545	92192302	3,34	2,27	1,39	0,94	1,00	0,68	592	31	291	951	780	664	8,43	7,29	8,40
	1545	92192259	1,48	0,83	3,18	1,76	1,88	1,03	592	32	356	951	780	664	8,43	7,29	8,40
	1545	92192171	1,67	1,18	2,00	1,41			592	32,5	281	951	780	664	8,43	7,29	8,40
	1819	92192630	1,26	1,32	1,24	1,29	1,11	1,15	411	24	190	759	881	774	10,00	8,52	9,92
	1819	92192601	1,80	0,85	4,07	1,90	4,21	1,95	411	28	423	759	881	774	10,00	8,52	9,92
	1819	92192640	1,76	0,88	2,15	1,07	2,37	1,17	411	27	398	759	881	774	10,00	8,52	9,92
	1819	92192632	1,16	1,38	1,06	1,25	0,32	0,38	411	20	167	759	881	774	10,00	8,52	9,92
	1832	92192276	0,83	0,57	1,30	0,89			493	32	290	939	909	783	9,10	7,86	9,08
	1832	92192279	0,56	0,24	0,64	0,27			493	32	470	939	909	783	9,10	7,86	9,08
	1832	92192297	1,43	1,35	1,76	1,65	0,70	0,65	493	20	210	939	909	783	9,10	7,86	9,08
	1832	92192693	1,56	1,03	1,83	1,21			493	26	300	939	909	783	9,10	7,86	9,08
	2155	92192278	1,01	0,66	1,27	0,83	0,37	0,24	826	28	303	1106	1001	829	8,71	7,68	8,58
	2155	92192272	1,06	0,50	2,30	1,09	2,14	1,01	826		418	1106	1001	829	8,71	7,68	8,58
	2155	92192274	1,26	0,93	2,22	1,61	2,03	1,47	826	29	272	1106	1001	829	8,71	7,68	8,58
	2155	92192316	1,00	0,41	2,05	0,83	2,56	1,03	826	24	491	1106	1001	829	8,71	7,68	8,58
	2155	92192295	1,36	1,00	1,86	1,36	1,70	1,24	826		271	1106	1001	829	8,71	7,68	8,58
	2351	92192318	3,53	3,16	0,39	0,35	0,39	0,35	697	30	220	995	876	677	9,13	8,11	9,06
	2351	92192696	1,59	0,87	2,06	1,13	0,83	0,45	697	30	362	995	876	677	9,13	8,11	9,06
	2351	92192282	3,21	2,22	4,46	3,04	3,48	2,34	697	30	286	995	876	677	9,13	8,11	9,06
	2351	92192280	0,42	0,30	0,75	0,54	0,49	0,35	697	30	278	995	876	677	9,13	8,11	9,06
	2647	92192042	0,48	0,43	1,45	1,29			370	29	224	906	796	526	9,75	8,76	9,86
	2647	92192018	0,26	0,26	0,37	0,36	0,12	0,12	370	26	205	906	796	526	9,75	8,76	9,86
	2647	92192178	0,44	0,18	0,80	0,32	0,06	0,02	370	32	495	906	796	526	9,75	8,76	9,86
	2652	92192185	0,90	0,40	1,18	0,53	0,61	0,27	461	33	446	993	873	634	9,29	8,37	9,34
	2652	92192023	0,75	1,01	0,41	0,55	0,03	0,04	461	19	148	993	873	634	9,29	8,37	9,34
	2652	92192050	2,02	0,82	1,70	0,68	0,91	0,37	461	35	492	993	873	634	9,29	8,37	9,34
	2652	92192175	0,76	0,35	1,11	0,51	0,90	0,42	461	35	429	993	873	634	9,29	8,37	9,34
	2652	92192043	0,99	0,53	1,36	0,73	1,08	0,58	461	28	372	993	873	634	9,29	8,37	9,34
	2754	92192262	1,07	1,21	1,76	1,97	0,99	1,10	551	23	176	988	860	628	9,32	8,41	9,41
	2754	92192649	1,05	0,42	1,66	0,67	1,24	0,50	551	33	494	988	860	628	9,32	8,41	9,41
	2754	92192264	0,97	0,62	1,33	0,85	0,85	0,54	551		312	988	860	628	9,32	8,41	9,41
	2754	92192691	1,34	0,59	2,40	1,06	1,83	0,80	551		450	988	860	628	9,32	8,41	9,41
	2754	92192268	2,12	0,88	3,85	1,58	1,66	0,68	551	33	480	988	860	628	9,32	8,41	9,41
	2852	92192031	0,79	0,73	0,06	0,06			634	23	213	985	855	616	9,37	8,51	9,46
	2852	92192021	0,34	0,29	0,78	0,65	0,12	0,10	634	28	237	985	855	616	9,37	8,51	9,46
	2852	92192176	1,09	0,68	1,27	0,79	0,93	0,57	634	29	321	985	855	616	9,37	8,51	9,46
	2852	92192041	3,86	2,72	4,34	3,01	0,28	0,19	634	25	280	985	855	616	9,37	8,51	9,46
	2852	92192030	0,40	0,15	0,19	0,07			634	30	523	985	855	616	9,37	8,51	9,46
	3	92192698	0,33	0,10	0,91	0,29	0,84	0,27	534	35	627	984	845	735	9,13	8,00	8,96
	3	92192017	1,08	0,81	1,03	0,77	0,73	0,54	534	25	266	984	845	735	9,13	8,00	8,96
	3	92192275	0,45	0,14	0,51	0,16	0,62	0,19	534	31	649	984	845	735	9,13	8,00	8,96
	3	92192186	0,64	0,20	0,94	0,30			534	33	631	984	845	735	9,13	8,00	8,96
	3	92192033	0,39	0,13	0,66	0,22	0,99	0,34	534	32	586	984	845	735	9,13	8,00	8,96
	5	92192656	1,83	1,20	4,18	2,69	1,95	1,25	477	32	305	891	787	534	9,68	8,66	9,83
	5	92192224	2,56	2,41	3,87	3,57	1,57	1,44	477	31	210	891	787	534	9,68	8,66	9,83
	5	92192658	2,31	1,70	2,36	1,72	1,04	0,76	477	28	270	891	787	534	9,68	8,66	9,83
	5	92192204	2,66	1,29	2,37	1,14	1,35	0,65	477	33	410	891	787	534	9,68	8,66	9,83
	5	92192231	1,50	0,83	1,59	0,88	1,33	0,73	477	34	360	891	787	534	9,68	8,66	9,83
	7	92192160	1,85	0,62	2,82	0,94	1,69	0,56	470	37	595	1067	909	826	9,27	7,99	9,02
	7	92192198	1,95	1,19	2,10	1,27	2,87	1,72	470	32	326	1067	909	826	9,27	7,99	9,02
	7	92192164	1,56	0,82	1,68	0,88	2,77	1,44	470	31,5	378	1067	909	826	9,27	7,99	9,02
	7	92192165	0,33	0,32	0,53	0,52	0,03	0,03	470	24	202	1067	909	826	9,27	7,99	9,02
	7	92192311	0,53	0,24	1,85	0,84	1,79	0,81	470	38	438	1067	909	826	9,27	7,99	9,02
	B151	92201419			1,86	0,88	2,20	1,04	930	32	420	1179	1185	989	7,10	5,86	6,96
	B151	92201285			1,97	1,50	0,77	0,59	930	19	260	1179	1185	989	7,10	5,86	6,96
	B151	92201281			2,76	10,44	0,93	3,46	930	31	50	1179	1185	989	7,10	5,86	6,96
	B151	92201283			2,55	1,27	0,68	0,34	930	30	400	1179	1185	989	7,10	5,86	6,96
	B151	92201300			2,51	1,00	0,78	0,31	930	33	500	1179	1185	989	7,10	5,86	6,96
	L271	92192688	0,60	0,40	0,60	0,40	0,34	0,22	805	33	300	1091	995	770	8,21	7,21	8,08
	L271	92192692	2,15	0,94	2,62	1,14	1,98	0,86	805	36	454	1091	995	770	8,21	7,21	8,08
	L271	92192287					1,54	0,72	805	36	425	1091	995	770	8,21	7,21	8,08
	L271	92192292	1,72	0,79	1,32	0,61	0,53	0,24	805	36	433	1091	995	770	8,21	7,21	8,08
	L271	92192283	0,84	0,43	0,92	0,48	0,66	0,34	805	35	386	1091	995	770	8,21	7,21	8,08
	Q103	92192539	0,45	0,21	0,73	0,34	1,56	0,73	606	39	425	798	870	817	9,51	8,28	9,53
	Q103	92192523	0,80	0,34	1,28	0,54			606	41	473	798	870	817	9,51	8,28	9,53
	Q103	92192535	0,32	0,18	0,30	0,17	0,46	0,26	606	38,5	350	798	870	817	9,51	8,28	9,53
	Q103	92192537	0,40	0,16	0,60	0,24	1,51	0,61	606	38	495	798	870	817	9,51	8,28	9,53
	Q103	92192512															

Příloha 3: Přehled měsíčních úhrnů srážek (mm) na studovaných plochách v jednotlivých letech

Plocha	1/2020	2/2020	3/2020	4/2020	5/2020	6/2020	7/2020	8/2020	9/2020	10/2020	11/2020	12/2020	Celkový roční úhrn (mm)
1	26	71	40	14	111	147	97	109	99	147	30	38	929
1340	38	142	57	21	110	227	92	163	109	146	38	48	1190
1545	26	89	43	10	93	175	84	100	99	134	36	62	951
1819	18	83	43	20	93	127	44	117	62	88	29	35	759
1832	22	105	49	19	101	172	69	117	94	118	38	35	939
2155	33	104	48	19	122	166	113	124	122	174	33	48	1106
2351	30	85	46	16	95	163	100	112	109	159	27	52	995
2647	25	52	40	20	77	176	94	78	119	139	30	54	906
2652	30	88	50	20	85	170	100	102	106	159	28	55	993
2754	27	96	53	19	87	152	103	101	105	161	28	56	988
2852	28	85	50	20	80	178	98	100	105	156	28	57	985
3	24	75	41	16	109	168	106	123	100	145	32	44	984
5	22	48	38	21	79	176	90	91	115	116	34	62	891
7	28	95	46	18	109	220	67	135	115	158	44	32	1067
B151	48	172	58	18	123	179	79	190	70	158	39	45	1179
L271	31	111	54	20	109	151	123	123	114	173	30	52	1091
Q103	18	81	32	30	118	132	61	120	69	76	28	34	798
Průměr	28	93	46	19	100	169	89	118	101	142	33	48	985

Plocha	1/2021	2/2021	3/2021	4/2021	5/2021	6/2021	7/2021	8/2021	9/2021	10/2021	11/2021	12/2021	Celkový roční úhrn (mm)
1	58	63	46	70	98	57	66	170	51	21	63	49	813
1340	90	73	60	64	155	69	126	146	69	31	63	74	1021
1545	64	67	46	50	120	77	77	111	38	16	63	52	780
1819	66	57	39	40	144	109	132	136	38	21	47	52	881
1832	75	67	46	50	148	63	133	122	59	36	49	60	909
2155	75	70	54	82	139	45	102	211	56	23	75	68	1001
2351	70	61	44	62	147	38	93	176	38	18	71	58	876
2647	56	55	29	51	141	44	85	161	43	14	67	50	796
2652	71	60	39	63	140	28	88	191	40	21	73	60	873
2754	72	61	41	68	131	29	81	181	42	21	73	60	860
2852	69	58	35	62	139	25	85	189	40	22	73	59	855
3	56	63	46	65	114	92	78	155	54	17	59	46	845
5	56	57	32	47	127	84	102	109	39	18	65	51	787
7	73	69	50	74	119	68	98	140	72	30	53	62	909
B151	104	73	68	84	150	111	140	190	52	50	78	85	1185
L271	79	69	51	83	141	44	103	210	50	22	76	66	995
Q103	65	52	36	38	130	105	165	114	28	31	47	60	870
Průměr	71	63	45	62	134	64	103	160	47	24	65	60	897

Plocha	1/2022	2/2022	3/2022	4/2022	5/2022	6/2022	7/2022	8/2022	9/2022	10/2022	11/2022	12/2022	Celkový roční úhrn (mm)
1	39	46	35	78	50	105	87	146	51	6	14	40	696
1340	86	108	24	69	98	129	94	183	60	16	20	41	929
1545	46	63	28	62	75	91	54	130	48	13	20	35	664
1819	47	44	23	62	52	213	67	122	83	14	24	24	774
1832	62	62	24	50	80	154	72	141	63	14	22	38	783
2155	62	71	27	91	63	114	130	125	71	13	14	48	829
2351	53	61	22	67	48	107	91	103	58	10	14	43	677
2647	33	34	19	42	42	105	61	80	49	10	13	38	526
2652	51	63	21	60	42	92	94	89	59	12	12	42	634
2754	56	68	22	63	42	76	93	80	61	12	12	43	628
2852	46	60	21	58	41	88	91	90	58	12	11	41	616
3	37	51	35	81	67	107	83	163	53	9	15	35	735
5	36	29	17	40	60	98	53	87	51	9	22	33	534
7	51	77	36	69	71	117	96	199	43	9	19	37	826
B151	116	154	17	91	98	147	72	140	73	20	22	39	989
L271	71	83	24	81	60	88	122	93	75	13	13	48	770
Q103	49	48	25	68	74	220	83	97	77	20	27	28	817
Průměr	55	66	25	67	63	121	85	122	61	12	17	38	731

Příloha 4: Přehled průměrných měsíčních teplot (°C) na studovaných plochách v jednotlivých letech

Plocha	1/2020	2/2020	3/2020	4/2020	5/2020	6/2020	7/2020	8/2020	9/2020	10/2020	11/2020	12/2020	Průměrná roční teplota (°C)
1	0,72	4,08	4,63	9,50	11,45	17,19	18,46	19,86	15,48	10,37	5,05	2,26	9,92
1340	-1,49	1,75	2,81	7,85	9,96	15,34	16,59	17,82	13,74	8,46	3,53	0,75	8,09
1545	-1,56	2,07	3,26	8,55	10,37	15,99	17,09	18,54	14,22	8,68	3,30	0,67	8,43
1819	1,50	4,54	4,56	9,97	11,99	16,76	18,69	20,10	15,25	9,83	4,66	2,16	10,00
1832	0,38	3,28	3,66	8,84	10,74	15,86	17,38	18,80	14,52	9,18	4,64	1,95	9,10
2155	-0,96	2,60	3,64	8,36	10,11	16,01	17,37	18,64	14,26	9,03	3,84	1,60	8,71
2351	-0,78	3,00	4,01	9,10	10,86	16,47	17,85	19,26	14,76	9,18	4,00	1,80	9,13
2647	-0,14	3,71	4,51	9,74	11,72	17,06	18,44	19,94	15,32	9,71	4,57	2,36	9,75
2652	-0,68	3,06	4,25	9,20	11,07	16,64	18,17	19,57	15,04	9,29	3,91	1,94	9,29
2754	-0,78	2,90	4,32	9,39	11,15	16,71	18,33	19,74	15,19	9,27	3,75	1,83	9,32
2852	-0,65	3,11	4,34	9,26	11,20	16,73	18,31	19,70	15,17	9,39	3,91	2,00	9,37
3	-0,56	3,05	3,82	8,89	10,82	16,55	17,76	19,24	14,91	9,50	4,09	1,47	9,13
5	-0,35	3,71	4,70	9,91	11,89	16,99	18,53	19,88	15,30	9,57	4,37	1,70	9,68
7	0,33	3,42	3,91	8,71	10,70	16,28	17,60	19,10	14,54	9,81	4,88	1,92	9,27
B151	-1,79	0,46	1,15	7,00	8,77	14,20	15,35	17,05	12,93	7,47	2,91	-0,24	7,10
L271	-1,40	1,75	3,11	8,04	9,66	15,44	16,87	18,31	13,95	8,32	3,26	1,16	8,21
Q103	0,81	3,96	4,35	9,79	11,50	16,21	18,05	19,24	14,86	9,30	4,46	1,61	9,51
Průměr	-0,43	2,97	3,82	8,95	10,82	16,26	17,70	19,11	14,67	9,20	4,07	1,59	9,06

Plocha	1/2021	2/2021	3/2021	4/2021	5/2021	6/2021	7/2021	8/2021	9/2021	10/2021	11/2021	12/2021	Průměrná roční teplota (°C)
1	-1,03	-1,17	3,15	5,86	11,83	19,10	21,01	17,43	14,74	9,63	4,90	-0,09	8,78
1340	-3,06	-2,18	1,42	3,90	9,57	17,55	18,23	15,42	13,63	7,53	2,84	-1,99	6,91
1545	-3,22	-2,41	1,86	4,46	10,15	18,07	19,29	16,06	14,05	7,82	3,16	-1,86	7,29
1819	-1,33	-0,34	3,58	5,76	10,85	19,04	18,85	16,64	15,31	8,83	3,81	1,25	8,52
1832	-1,86	-1,14	2,26	4,71	10,16	18,48	18,56	16,05	14,42	8,48	3,76	0,40	7,86
2155	-1,99	-1,34	2,00	4,71	10,59	17,97	19,75	16,20	13,54	8,35	3,68	-1,28	7,68
2351	-1,71	-1,11	2,40	5,37	10,87	18,58	20,27	16,65	14,27	8,63	3,90	-0,84	8,11
2647	-0,93	-0,19	2,89	6,06	11,35	19,16	20,80	17,26	14,91	9,22	4,53	0,08	8,76
2652	-1,50	-0,28	2,61	5,63	10,95	18,97	20,75	16,93	14,41	8,68	3,96	-0,66	8,37
2754	-1,55	-0,21	2,70	5,68	11,00	19,21	20,88	17,09	14,53	8,55	3,82	-0,81	8,41
2852	-1,38	-0,02	2,72	5,78	11,02	19,17	20,95	17,09	14,52	8,75	4,01	-0,53	8,51
3	-2,15	-2,09	2,48	5,15	11,00	18,60	20,13	16,77	14,37	8,72	4,04	-1,05	8,00
5	-1,47	-0,65	3,20	6,10	11,38	19,35	20,29	17,39	15,22	8,94	4,15	-0,02	8,66
7	-1,78	-1,78	2,42	4,99	10,85	18,40	19,26	16,51	14,48	8,93	4,26	-0,67	7,99
B151	-3,95	-3,17	0,14	2,31	8,12	16,61	16,77	14,05	12,79	6,83	2,15	-2,28	5,86
L271	-2,48	-1,37	1,47	4,27	9,84	17,62	19,29	15,67	13,20	7,69	3,13	-1,77	7,21
Q103	-1,86	0,25	3,09	5,56	10,42	18,71	18,62	16,34	14,97	8,62	3,49	1,12	8,28
Průměr	-1,96	-1,13	2,38	5,08	10,59	18,51	19,63	16,44	14,32	8,48	3,74	-0,65	7,95

Plocha	1/2022	2/2022	3/2022	4/2022	5/2022	6/2022	7/2022	8/2022	9/2022	10/2022	11/2022	12/2022	Průměrná roční teplota (°C)
1	0,57	3,16	2,92	6,48	14,81	18,88	19,71	19,86	12,98	11,83	4,98	0,22	9,70
1340	-1,18	0,88	1,54	4,95	12,78	17,10	17,49	18,02	11,07	10,08	3,49	-1,20	7,92
1545	-1,03	1,21	2,31	5,51	13,39	17,79	18,56	18,95	11,69	10,15	3,45	-1,21	8,40
1819	1,38	3,33	3,82	6,82	15,04	19,04	18,97	19,49	12,94	11,99	5,31	0,85	9,92
1832	0,32	2,31	3,02	6,05	13,96	17,96	18,19	18,86	12,02	11,25	4,77	0,25	9,08
2155	-0,98	1,53	2,19	5,38	13,53	17,88	18,44	18,81	11,91	10,67	4,11	-0,55	8,58
2351	-0,65	1,89	2,80	6,09	14,13	18,47	19,18	19,47	12,41	10,88	4,37	-0,32	9,06
2647	0,32	2,80	3,38	6,85	15,05	19,09	20,24	20,41	13,09	11,54	5,12	0,44	9,86
2652	-0,57	1,98	2,99	6,31	14,43	18,94	19,50	19,85	12,70	11,04	4,75	0,21	9,34
2754	-0,73	1,79	3,18	6,42	14,52	19,28	19,77	20,06	12,80	10,96	4,72	0,20	9,41
2852	-0,44	2,05	3,07	6,46	14,56	19,10	19,64	20,00	12,80	11,09	4,87	0,38	9,46
3	-0,36	2,08	2,53	5,89	14,09	18,26	19,08	19,23	12,29	10,93	4,10	-0,65	8,96
5	0,64	2,93	3,66	7,11	14,96	19,17	20,11	20,40	12,99	11,22	4,87	-0,08	9,83
7	0,20	2,55	2,38	5,84	13,87	18,02	18,42	18,80	12,20	11,40	4,44	0,16	9,02
B151	-1,88	-0,32	0,94	3,77	11,73	16,18	16,34	17,21	10,00	9,21	2,48	-2,16	6,96
L271	-1,74	0,54	1,77	4,95	12,94	17,68	18,05	18,52	11,39	10,10	3,70	-0,92	8,08
Q103	1,02	2,84	3,70	6,39	14,43	18,51	18,77	18,90	12,64	11,66	4,98	0,50	9,53
Průměr	-0,30	1,97	2,72	5,96	14,01	18,31	18,85	19,23	12,23	10,94	4,38	-0,23	9,01