

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra ekologie lesa



**Fakulta lesnická
a dřevařská**

**Dynamika růstu buku lesního (*Fagus sylvatica* L.)
v Jizerských horách**

Growth dynamics of European beech (*Fagus sylvatica* L.)
in Jizera Mountains

Bakalářská práce

Mgr. Kateřina Balcarová

Vedoucí závěrečné práce: doc. Ing. Radim Matula, Ph.D.

Praha 2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Kateřina Balcarová

Lesnictví

Ochrana a pěstování lesních ekosystémů

Název práce

Dynamika růstu buku lesního (*Fagus sylvatica* L.) v Jizerských horách

Název anglicky

Growth dynamics of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in Jizera mountains

Cíle práce

Buk lesní je jednou z nejdůležitějších hospodářských dřevin České republiky. Doposud však existuje jen relativně málo empirických informací o jeho růstové dynamice a změnách růstu v důsledku měnícího se klimatu. Cílem této bakalářské práce bude vyhodnotit růstovou dynamiku a roční tloušťkové přírůsty buku lesního na síti trvalých výzkumných ploch v Jizerských horách, kde od roku 2021 probíhají detailní měření růstu stromů pomocí automatických dendrometrů.

Metodika

Data budou sbírána v Jizerských horách na trvalých výzkumných plochách, které jsou součástí monitorovací sítě vlivů klimatu na hlavní dřeviny České republiky (spravuje Katedra ekologie lesa). Tato síť automatických bodových dendrometrů kontinuálně (každých 15 minut) měří tloušťkové změny stromů rovněž v Jizerských horách. Za účelem této práce budou z této sítě vybrány plochy s výskytem buku lesního, které budou následně navštíveny za účelem stažení dat z dendrometrů a změření základních parametrů sledovaných stromů.

Získaná data budou v prvním kroku vyčištěna a zpracována pomocí balíčku PLOTer v programu R. V rámci následných statistických analýz bude z dat vypočítán roční tloušťkový přírůst a denní růstová dynamika. Pro vyhodnocení dynamiky růstu v čase budou použity zobecněné aditivní modely. Pro srovnání přírůstu a dalších proměnných bude použito obecných nebo zobecněných lineárních modelů. Všechny tyto analýzy budou provedeny v programu R a Microsoft Excel.

Harmonogram

březen – květen 2023: studium literatury, konzultace s vedoucím práce

duben – srpen 2023: návštěva výzkumných ploch, stahování dat a měření stromů

září – prosinec 2023: školení (s vedoucím práce) na čištění a zpracování dat v programu R a balíčku PLOTeR, čištění dat a statistické analýzy, příprava

literární rešerše

leden – duben 2024: příprava finální verze bakalářské práce a její odevzdání



Doporučený rozsah práce

30 stran

Klíčová slova

růst stromu, buk lesní, Jizerské hory

Doporučené zdroje informací

- Arend, M., Link, R. M., Zahnd, C., Hoch, G., Schuldt, B., & Kahmen, A. (2022). Lack of hydraulic recovery as a cause of post-drought foliage reduction and canopy decline in European beech. *New Phytologist*, 234(4), 1195–1205.
- Frankovič, M., Janda, P., Mikoláš, M., Čada, V., Kozák, D., Pettit, J. L., Nagel, T. A., Buechling, A., Matula, R., Trotsiuk, V., Gloor, R., Dušátko, M., Kameniar, O., Vostarek, O., Lábusová, J., Ujházy, K., Synek, M., Begović, K., Ferenčík, M., & Svoboda, M. (2021). Natural dynamics of temperate mountain beech-dominated primary forests in Central Europe. *Forest Ecology and Management*, 479, 118522.
- Kasper, J., Leuschner, C., Walentowski, H., & Weigel, R. (2022). Higher growth synchrony and climate change-sensitivity in European beech and silver linden than in temperate oaks. *Journal of Biogeography*, 50(1), 209–222.
- Meyer, P., Spīnu, A. P., Mölder, A., & Bauhus, J. (2022). Management alters drought-induced mortality patterns in European beech (*Fagus sylvatica* L.) forests. *Plant Biology*.
- Weigel, R., Bat-Enerel, B., Dulamsuren, C., Muffler, L., Weithmann, G., & Leuschner, C. (2022). Summer drought exposure, stand structure, and soil properties jointly control the growth of European beech along a steep precipitation gradient in northern Germany. *Global Change Biology*, April 2022, 763–779.
-

Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – FLD

Vedoucí práce

doc. Ing. Radim Matula, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra ekologie lesa

Elektronicky schváleno dne 7. 6. 2023

prof. Ing. Miroslav Svoboda, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 28. 1. 2024

prof. Ing. Róbert Marušák, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 26. 03. 2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Dynamika růstu buku lesního (*Fagus sylvatica* L.) v Jizerských horách vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila, a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

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

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

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

V Praze dne 5. 4. 2024

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala mému vedoucímu práce doc. Ing. Radimovi Matulovi, Ph. D. za odborné a vstřícné vedení práce a také za přínosné konzultace. Dále děkuji své rodině a přátelům za podporu.

Dynamika růstu buku lesního (*Fagus sylvatica* L.) v Jizerských horách

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá reakcí buku v Jizerských horách na měnící se klimatické podmínky. Změna klimatických podmínek přináší zvýšení teploty, snížení úhrnu srážek a s tím související častější výskyt suchých období. Vzhledem k citlivosti této dřeviny na sucho se očekává posun areálu jeho výskytu i nutnost úprav ve způsobu jeho pěstování i v hospodaření s touto významnou dřevinou. Cílem práce bylo vyhodnotit růstovou dynamiku a roční tloušťkové přírůsty buku a tím přispět k pochopení jeho reakce na probíhající změny. Nejprve je v práci představena sledovaná dřevina, následně je rozebrána problematika růstu stromů a poté je charakterizována oblast, ve které se sledovaný soubor stromů nacházel. Data pocházela z trvalých výzkumných ploch v Jizerských horách, kde byly nainstalovány automatické bodové dendrometry. Zaznamenáván byl tloušťkový přírůst, smrštění kmene a data o vegetační sezóně, a to v roce 2021 a v roce 2022. Dále byla využita data o teplotě a úhrnu srážek z Českého hydrometeorologického ústavu. Pro zpracování a vyhodnocení získaných dat byl využíván program R spolu se speciálním balíčkem PLOTer, dále program Statistica 14 a MS Excel. Bylo zjištěno, že rok 2022 byl srážkově chudší a průměrná teplota byla vyšší. Nárůst byl rovněž sledován u průměrného přírůstu tloušťky a došlo k prodloužení vegetační sezóny. Po vyhodnocení byla prokázána souvislost mezi průměrnou teplotou a průměrným přírůstem. Z těchto výsledků vyplývá, že v oblasti Jizerských hor vede zvýšení teploty k vyšším tloušťkovým přírůstům. Otázkou je, jak dlouho bude tento, nyní pozitivní, trend přetrvávat a kdy se projeví negativní vliv sucha. Pro podrobnější závěry a možnost jejich zobecnění je zapotřebí dalších studií a také delší sledované období.

Klíčová slova: růst stromu, buk lesní, Jizerské hory

Growth dynamics of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in the Jizera Mountains

Abstract

The bachelor thesis investigates how European beech in the Jizera Mountains is affected by changing climatic conditions. These changes include a temperature increase, a decrease in total precipitation and more frequent dry periods. Based on this tree species' sensitivity to drought, a shift in distribution area is expected. As well as cultivation and management will adjust accordingly. The aim of the thesis was to evaluate the growth dynamics and annual radial growth increment and thereby contribute to the understanding of its response to ongoing changes. In the literature review, the thesis describes European beech, the issue of tree growth and then of the monitored location. The data set was collected using automatic dendrometers at permanent research plots in the Jizera Mountains. Monitored indicators included radial growth, trunk shrinkage and data on the growing season. The study period consists of the years 2021 and 2022. Furthermore, data on temperature and total precipitation from the Czech Hydrometeorological Institute were used. The R software with the special PLOTeR package, as well as Statistica 14 and MS Excel, were used for the processing and evaluation of the obtained data. It was found that the year 2022 had lower precipitation and higher average temperature. Also, an increase in the average radial growth and an extension of the growing season were observed. A positive correlation was detected between the average temperature and the average radial growth. These results show that an increase in temperature leads to higher thickness increases in the area of the Jizera Mountains. However, it is unclear how long this most likely temporary trend will last and whether and when the negative effect of the drought will become apparent. For more detailed conclusions and the possibility of their generalization, more studies and a longer observation period are needed.

Keywords: tree growth, European beech, Jizera Mountains

Obsah

1	Úvod	11
2	Cíl práce.....	12
3	Literární rešerše.....	13
3.1	Buk lesní (Fagus sylvatica)	13
3.1.1	Popis	13
3.1.2	Ekologie.....	13
3.1.3	Rozšíření	13
3.1.4	Využití	14
3.2	Růst stromů	15
3.2.1	Tloušťkový přírůst dřevin.....	15
3.2.2	Faktory ovlivňující tloušťkový přírůst buku lesního	16
3.2.2.1	Velikost stromu a věk.....	16
3.2.2.2	Sucho	16
3.2.2.3	Zima a pozdní mrazy	17
3.2.2.4	Teplota a vegetační sezóna	18
3.2.3	TWD	18
3.3	Jizerské hory	20
3.3.1	Geologická stavba hor	21
3.3.2	Pedologie	21
3.3.3	Klimatické podmínky	22
3.3.4	Vegetace	24
4	Metodika	25
4.1	Výzkumné plochy	25
4.1	Sběr dat	26
4.2	Bodový dendrometr TOMST	26
4.3	Čištění a zpracování dat	27
5	Výsledky.....	29
5.1	Tloušťkový přírůst za sledované období.....	29
5.2	Klimatologické podmínky lokality	30
5.3	Vegetační sezóna	32
5.1	TWD	35
6	Diskuse	37
7	Závěr	39
8	Literatura	40
9	Zdroje obrázků	45

10	Seznam použitých zkratk	47
11	Seznam obrázků, tabulek, grafů	48
12	Samostatné přílohy	50

1 Úvod

Sledování dynamiky růstu stromů pomáhá k vytvoření představy o reakci jednotlivých dřevin na změny okolních podmínek. Tyto změny mohou být vyvolány záměrně lesním hospodařením (např. změnou zakmenění, druhovou skladbou...) nebo mohou vzniknout změnou ve stanovištních podmínkách, tedy např. proměnlivým množstvím srážek, teplotou, výskytem pozdních mrazů a dalších. Při znalostech odpovědi dřevin na jednotlivé činitele lze lépe plánovat samotné hospodaření i částečně předvídat budoucí vývoj lesních porostů.

Vzhledem k měnícím se klimatickým podmínkám, které vedou k navýšení teploty a snížení množství srážek, což jsou hlavní činitelé vyvíjející tlak na dřeviny a na nutnost jejich adaptace, se předpokládá posun areálu výskytu jednotlivých druhů i vyselektování odolnějších a lépe přizpůsobených jedinců. Buk lesní (*Fagus sylvatica* L.) je považován za nejdůležitější hospodářskou dřevinu v Evropě z řad listnatých dřevin. Ukazuje se, že tento druh bude klimatickou změnou značně ovlivněn, neboť je citlivý na sucho, pozdní mrazy i délku dne, což z části omezuje možnosti posunu jeho areálu. Zatím také nejsou dostatečně prozkoumány reakce buku na opakování těchto klimatických jevů, a proto je vhodné se této problematice věnovat i nadále.

V České republice je pozorována snaha o navýšení smíšenosti porostů a podpora zvýšení zastoupení listnatých stromů, tedy i buku. Dle Zprávy o stavu lesa (eAgri.cz 2023) procento zastoupení buku v průběhu let narůstá, nicméně stále nedosahuje na doporučené množství. Pro prevenci výskytu možných problémů v budoucnosti, které by s sebou mohly klimatické změny přinést, by bylo vhodné se pokusit nalézt ideální postupy pro pěstování buku, při kterých by došlo k jeho dostatečné adaptaci. Pro sledování dynamiky růstu jsou v ČR i v zahraničí vytyčeny výzkumné plochy, na kterých je v různých lokalitách a na různých dřevinách sledován tloušťkový přírůst, délka vegetační sezóny, začátek a konec vegetační sezóny a smrštění kmene v důsledku stresu ze sucha pomocí automatických dendrometrů. Naměřené informace tak mohou sloužit jako jednotlivé dílky do složité mozaiky celkové odpovědi jednotlivých dřevin. V této práci je sledována dynamika růstu u buku v oblasti Jizerských hor.

2 Cíl práce

Tato bakalářská práce má za cíl vyhodnotit růstovou dynamiku a roční tloušťkové přírůsty buku lesního (*Fagus sylvatica* L.) na výzkumných plochách v oblasti Jizerských hor. Na těchto plochách probíhá od roku 2021 detailní měření růstu stromů pomocí automatických bodových dendrometrů. Zpracování těchto dat může přinést další informace o dynamice růstu a o jeho změnách v návaznosti na měnící se klimatické podmínky. Tyto informace mohou být následně použity pro plánování budoucí skladby lesů, kde se se značným zastoupením buku počítá.

3 Literární rešerše

3.1 Buk lesní (*Fagus sylvatica*)

3.1.1 Popis

Buk lesní (*Fagus sylvatica*) je listnatá, opadavá dřevina z čeledi bukovitých (*Fagaceae*), vyznačující se hladkou šedou borkou, válcovitým rovným kmenem a velkými rozměry. Tato dřevina se může dožít 200-400 let a dorůstá výšky 35-45 m a tloušťky 1,5 m (Úradníček a Maděra 2001). Listy buku jsou jednoduché, oválného až eliptického tvaru a ve střídavém postavení. Plodem této dřeviny jsou nažky, bukvice, uložené v číšce s ostny (Musil a Möllerová 2005). Semenné roky jsou každých 5-8 let, přičemž vysoká produkce semen se objevuje nepravidelně, zvláště po horkém létu v předchozím roce (Houston Durrant et al. 2016). Pro kořenový systém dřeviny jsou typické silné kořeny a jejich srdcovité uspořádání, zajišťující stromu dobrou stabilitu (Musil a Möllerová 2005).

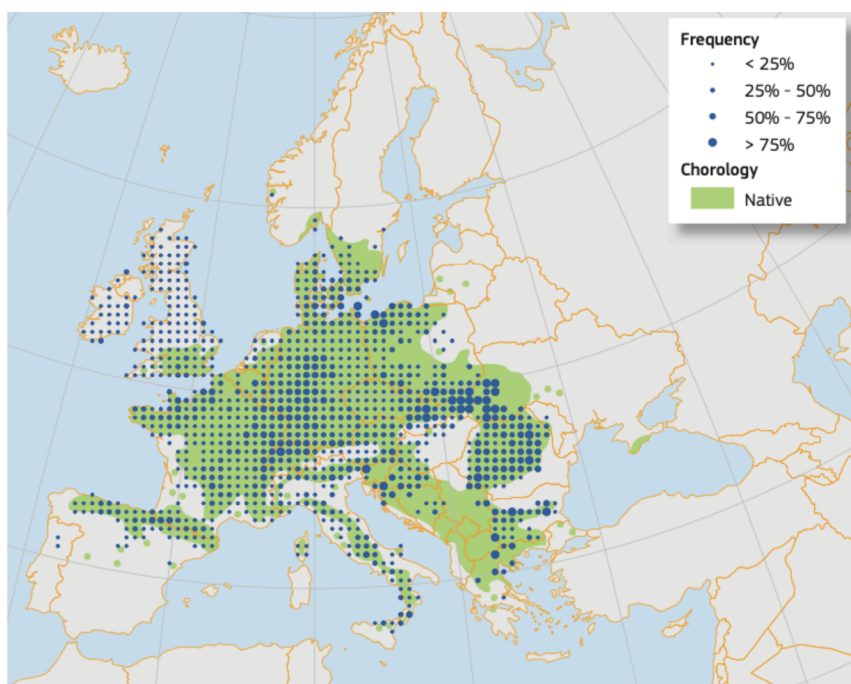
3.1.2 Ekologie

Z ekologického hlediska se buk lesní řadí mezi stín tolerantní dřeviny, tvořící víceetážové, často jednodruhové porosty. Svým zástiněm je velmi silným konkurentem pro ostatní druhy dřevin, což je důvod pro vznik čistých bučin. Ideální podmínky pro optimální růst poskytují čerstvě vlhké humózní půdy s dobrým provzdušněním a bohatým zastoupením minerálů. Jeho nároky na půdní vlhkost nejsou vysoké, potřebuje však dostatek vody v podobě srážek a je citlivý na sucho. Vyšší citlivost vykazuje i k pozdním mrazům (Musil a Möllerová 2005). Pokud se buk vyskytuje v oblastech, které jsou pro jeho rozšíření optimální, vykazuje značnou indiferentnost ke geologickému podloží a je schopen růstu na většině druhů hornin. Nevyskytuje se jen na půdách, které by ho ohrožovaly suchem, či delším zamokřením, tedy na suchých písčích, těžkých nepropustných jílech a na půdách bažinatých a rašelinných. Naopak v oblastech pro jeho růst nepříznivých vykazuje buk zvýšené nároky na půdu (Úradníček a Maděra 2001).

3.1.3 Rozšíření

Hlavní rozšíření buku lesního se nachází v západní, střední a jihovýchodní Evropě (Úradníček a Maděra 2001). Jeho výskyt je směrem na sever omezen délkou vegetačního období, jehož minimální délka je 140 dní. Na východ Evropy je s rostoucí kontinentalitou podnebí nahrazován bukem východním (*Fagus orientalis*) (Houston Durrant et al. 2016).

V budoucnu však může mít dopad na oblast rozšíření buku lesního změna klimatu. Možná je jeho expanze ve Skandinávii a Pobaltí a ústup z jižních částí vlivem sucha (Houston Durrant et al. 2016). Na druhou stranu s předpokládaným posunem areálu (na severovýchod) bude buk vystaven dalším klimatickým jevům, na které vykazuje citlivost, jako je zimní chlad či pozdní jarní mrazy. Je tedy značně diskutabilní, zda tento posun přinese kompenzaci ztrát stanovišť a produktivity populací ovlivněných suchem (Weigel et al. 2018).



Obrázek 1 Areál rozšíření buku lesního (*Fagus sylvatica*), Zdroj: *European Atlas of Forest Tree Species*

Do areálu výskytu buku lesního spadá i Česká republika. Zde přibližně od hranice 400 m n. m. do 800 m n. m. často vytváří čistě bukové porosty. V nižších oblastech se objevuje v kombinaci s dubem a ve vyšších polohách je součástí tzv. hercynské směsi, tedy kombinace s jedlí a se smrkem (Úředníček a Maděra 2001).

Zastoupení buku v druhové skladbě lesů na území ČR činí podle Zprávy o stavu lesa a lesního hospodářství z roku 2022 (eAgri.cz 2023) 9,6 % a rostoucí trend předcházejících let tedy pokračuje. Tato hodnota však stále nedosahuje ani poloviny hodnoty doporučené skladby lesů, která je pro buk 22,5 % (eAgri.cz 2023).

3.1.4 Využití

Buk je u nás, i v Evropě, označován za hospodářsky nejdůležitější listnatou dřevinu. Jeho struktura je jemně zrnitá, bez suků a má světlou, narůžovělou, krémovou

barvu. Jádro a dřevina nejsou rozlišeny, nicméně ve starším věku se často objevuje nepravé jádro (Úradníček a Maděra 2001; Houston Durrant et al. 2016).

Bukové dřevo má velmi široké možnosti pro využití (je uváděno až 250 různých způsobů) díky své pevnosti, odolnosti a díky skvělým vlastnostem pro ohýbání. Využívá se například v interiérech (od podlah a nábytkářství až po kuchyňské náčiní), při stavbě lodí, při výrobě hudebních nástrojů, ale také na buničinu či jako palivo (Houston Durrant et al. 2016).

3.2 Růst stromů

Pretzsch (2009) definuje růst jako tvorbu biomasy, tedy nárůst velikosti či hmotnosti rostliny, během definovaného období, přičemž ovlivňujícími faktory tohoto procesu jsou zdroje (např. světlo, voda, zásobování živinami) a podmínky prostředí (např. teplota, pH půdy, znečištění ovzduší). Biomasa je tvořena rostlinnými pletivy, které dělíme podle schopnosti dělení na pletiva dělivá (meristémy) a trvalá. Meristémy lze dále rozdělit na primární (protoderm, prokambium, základní meristém) a sekundární (kambium, felogen) (Tomášková a Kubásek 2016). Pro potřeby této práce bude pozornost věnována pouze sekundárním meristémům.

3.2.1 Tloušťkový přírůst dřevin

Tloušťkový přírůst dřevin závisí na činnosti sekundárních meristémů, tedy na činnosti kambia a felogenu, které vytvářejí druhotná pletiva (dřevo, lýko, kůra).

Kambium tvoří sekundární vodivá pletiva, přičemž směrem do středu kmene odděluje deuterofloém a směrem ven deuterokambium. V oblastech mírného klimatického pásu je jeho činnost spjata s vegetačním obdobím a závisí tedy na teplotě a fotoperiodě. Dalšími ovlivňujícími faktory jsou druh dřeviny či biotop. V jarním období, kdy dřeviny projevují velkou metabolickou aktivitu a mají dostatek vody, se vytváří velké buňky s tenkými buněčnými stěnami a vzniká tak jarní dřevo. Naopak letní období, které je na konci vegetačního období a předchází stádiu dormance, se vyznačuje nižší metabolickou aktivitou a rozdílů jsou i v dostupnosti vody. V tomto období se vytváří buňky malé, s tloušťkou buněčnou stěnou, které tvoří letní dřevo (Tomášková a Kubásek 2016).

Felogen vytváří sekundární krycí pletiva, kdy směrem od středu odděluje felem (buňky korku) a do středu feloderm (buňky zelené kůry). Dospělé buňky felemu většinou odumírají, jejich vnitřek se vyplní vzduchem a takovéto buňky se označují jako borka (Tomášková a Kubásek 2016).

3.2.2 Faktory ovlivňující tloušťkový přírůst buku lesního

Velikost a rychlost přírůstu je ovlivňována mnoha faktory, a to jak na úrovni celého porostu, tak na úrovni jednotlivých stromů. Mezi tyto faktory se řadí např. individuální schopnosti stromů, klima, konkurence, režim disturbancí, biogeomorfické procesy a další (Kašpar et al. 2020).

Na porostní úrovni má vliv na přírůst jeho vertikální uspořádání, jeho druhové smíšení i způsob hospodářských zásahů (Bončina et al. 2023; Vacek et al. 2020). Mnohé studie uvádějí vyšší produktivitu (a také odolnost) u smíšených porostů (Chamagne et al. 2017; Plaga et al. 2023), nicméně další dokládají závislost tohoto zvýšení na lokalitě, klimatických podmínkách i na porostu (Bončina et al. 2023). Efekt smíšení je rovněž závislý na druzích dřevin a na typu limitujících faktorů pro růst (Toigo et al. 2021).

Tloušťkový přírůst je dále ovlivněn terénními podmínkami, jako je kamenitost či sklon terénu, a to především proto, že mohou silně ovlivňovat vlastnosti půdy (Bončina et al. 2023). Vlivným faktorem je i četnost a intenzita disturbancí, pomocí kterých může docházet ke změnám v konkurenci mezi sousedními stromy a ke změnám v otevřenosti korun, tedy ke změnám faktorů, které rovněž ovlivňují přírůst (Frankovič et al. 2021; Chakraborty et al. 2021).

3.2.2.1 Velikost stromu a věk

S vyšším věkem dřevin je často spojováno snížení rychlosti růstu a zvýšení mortality. Limitujícím faktorem pro fyziologii stromů se však zdá být jejich velikost, obzvláště výška, a nikoliv věk. To samé platí i u jednotlivých buněk dřevin, kdy za klesající rychlost růstu je zodpovědná jejich velikost (Mencuccini et al. 2005). Věk však s růstem také souvisí a jsou vzájemně propojeny. Bylo zjištěno, že snížení rychlosti růstu během raného věku stromu vede k jeho delší životnosti a pokud je růst nepřetržitý (i v případě nízké rychlosti), dochází ke zpomalení stárnutí (Munné-Bosch 2018).

Jako důležitý prediktor tloušťkového přírůstu je i samotná tloušťka stromu, která odráží stav konkurence v prostoru (Bončina et al. 2023).

3.2.2.2 Sucho

Sucho je limitujícím faktorem pro buk v celém areálu jeho výskytu, citlivé se jeví obzvláště jižní populace (Camarero et al. 2021). Existují však i studie (Muffler et al. 2020) uvádějící výjimku u suchého distribučního okraje, kde se dle jejich výsledků zdá být buk na sucho adaptován. V evropské oblasti je sledován trend, kdy jsou buky v nižších nadmořských výškách ovlivněny suchem výrazně negativněji než ty ve vyšších

polohách. Nicméně vliv nadmořské výšky (i věku) na odolnost proti suchu byl proměnlivý v závislosti na intenzitě sucha (Jiang et al. 2024).

Odolnost je ovlivněna i věkem stromu a jeho velikostí. Starší stromy vykazují vyšší odolnost, než mladší podobné velikosti, což je zapříčiněno vývinem kořenového systému, tedy tím, že starší stromy mohou čerpat vodu z hlubších vrstev půdy (Jiang et al. 2024). Na druhou stranu s rostoucí výškou stromu roste i jeho hydraulický odpor a je ovlivněna vodivost xylému, což zvyšuje náchylnost na nedostatek srážek a teplotní stres (Trouillier et al. 2019). Velikostně jsou tedy ve výhodě stromy menší, které profitují ze strategie pomalého růstu a jejich adaptací a také z mikroklimatických podmínek, které jim zajišťují okolní větší stromy (Polle et al. 2019; Thom et al. 2023).

Buk se řadí mezi anizohydrické druhy, tudíž v reakci na suchu dojde k pomalému snižování průduchové vodivosti. Výměna plynů a fotosyntéza přitom zůstávají aktivní. Rizikem této strategie je hydraulické selhání v důsledku kavitace (Obladen et al. 2021). Jako klíčový faktor pro mortalitu buků způsobenou suchem se tedy jeví rezistence na xylémovou embolii. Bylo zjištěno, že míra této odolnosti je nejvíce ovlivněna náhodnou genotypovou variabilitou v rámci populací (Wortemann et al. 2011). Ta je u buku lesního pozorována mezi jednotlivými populacemi i v rámci jedné populace. Lze proto předpokládat, že s měnícími se klimatickými podmínkami dojde k selekci genotypů odolnějších vůči suchu. Dalším ovlivňujícím prvkem je věk větví, kdy ty starší jsou proti embolii odolné méně, než mladší (Weithmann et al. 2022). Bylo zjištěno, že xylém zasažený embolií neobnovuje svou funkci v následujícím vegetačním období, což je vyváženo redukcí listové plochy, konkrétně snížením foliace. Objevuje se tedy podobný mechanismus mezi prvky aklimatizace a škodami po období sucha (Arend et al. 2022).

Na mortalitu a přírůsty má vliv i intenzita sucha a období, ve kterém se vyskytne. Pokud je sucho intenzivní, obvykle způsobí vysokou mortalitu stromů. Co se týče vlivu na přírůst, tak se největší citlivost objevuje při výskytu sucha na jaře a na počátku léta, tedy v období od dubna do června (Obladen et al. 2021). Jako nejvíce důležitý ukazatel pro pokles růstu se jeví vodní disbalance v létě, přičemž její vliv je dále umocněn vyšší kmenovou hustotou a suššími stanovištními podmínkami s větším obsahem písku (Weigel et al. 2023; Kasper et al. 2023).

3.2.2.3 Zima a pozdní mrazy

Přestože zimu přečkává buk ve stádiu dormance, může ovlivnit jeho růst ve vegetačním období. Citlivost na chladná období se zvyšuje směrem k jižnímu okraji reálu jeho výskytu (Muffler et al. 2020). Jelikož pupeny a nadzemní část biomasy jsou ve stádiu dormance odolné i proti značným mrazům, je snížení růstu pravděpodobně nepřímo způsobeno poškozením jemných kořenů mrazem (Weigel et al. 2018).

Již byla zmíněna citlivost buku na pozdní mrazy. Ty se mohou objevit po tzv. falešném jaru, během kterého dojde k vypuštění listů a následně kvůli mrazu k jejich poškození. To vede k výraznému poklesu v přírůstu (až o 46 %) během daného vegetačního období, což dokládá nízkou rezistenci buku k pozdním mrazům. Naopak mrazová rezilience je vysoká, neboť následující roky je rychlost růstu opět schopna dosahovat hodnot před jarním mrazem. Vzhledem k měnícímu se klimatu je možný častější výskyt těchto událostí, přičemž zatím není zcela známá reakce buku na jejich častější opakování (Príncipe et al. 2016).

3.2.2.4 Teplota a vegetační sezóna

Se zvyšováním průměrné roční teploty by se dalo očekávat prodloužení vegetační sezóny, k čemuž ovšem nedochází a ačkoli růst v horkém roce začíná dříve, také dříve vrcholí i končí, oproti roku s běžnou teplotou. To ve finále vede ke zkrácení vegetačního období. Také produkce je během teplejšího roku nižší, neboť vyšší teploty snižují maximální rychlost růstu i počet dní růstu (Matula et al. 2023; Rathgeber a Fonti 2022). Účinek zvýšení teploty je však patrně závislý na období, kdy k němu dojde (Rathgeber a Fonti 2022). Studie sledující změny procesů rašení a senescence listů listnatých dřevin v závislosti na části roku, kdy došlo ke zvýšení teploty, došla k závěrům, že pokud došlo k celoročnímu zvýšení teploty, rašení listů se urychlilo a stárnutí nastalo později. Při zvýšení teplot v létě a na podzim bylo posunuto stárnutí listů a při oteplení v zimě a na jaře byly urychleny oba procesy. Při zhodnocení oteplování v Evropě je patrné, že v případech zimních a jarních měsíců dochází k oteplování dvakrát rychleji, než v případech letních a podzimních měsíců, což tedy vede k posunu vegetační doby (Zohner a Renner 2019). Je tedy zřejmé, že se změnou klimatických podmínek bude ovlivněna i dynamika růstu a produktivita stromů (Matula et al. 2023).

Bylo zjištěno, že roční radiální růst určuje především počet růstových dní, zatím co celková délka vegetačního období se podílí na ročním přírůstu méně. Růstová aktivita je úzce spjata s délkou dne, a tak v období kolem letního slunovratu růst obecně prudce klesá. Většina (80 %) ročního růstu u listnatých stromů je tak dokončena již v období před koncem června. Buk se řadí mezi druhy, které jsou velmi citlivé na délku dne a radiální přírůsty dále korelují se slunečními cykly, tedy s počty slunečních skvrn (Etzold et al. 2022; Šimůnek et al. 2021).

3.2.3 TWD

Tree water deficit, neboli TWD, je ukazatel, který poskytuje informaci o vodním statusu rostliny na základě měření změn tloušťky a umožňuje tak interpretovat míru fyziologického stresu ze sucha (Nehemy et al. 2021; Zweifel et al. 2005). Společně s růstem (GRO) se podílejí na transformacích tloušťky kmene v čase, přičemž TWD

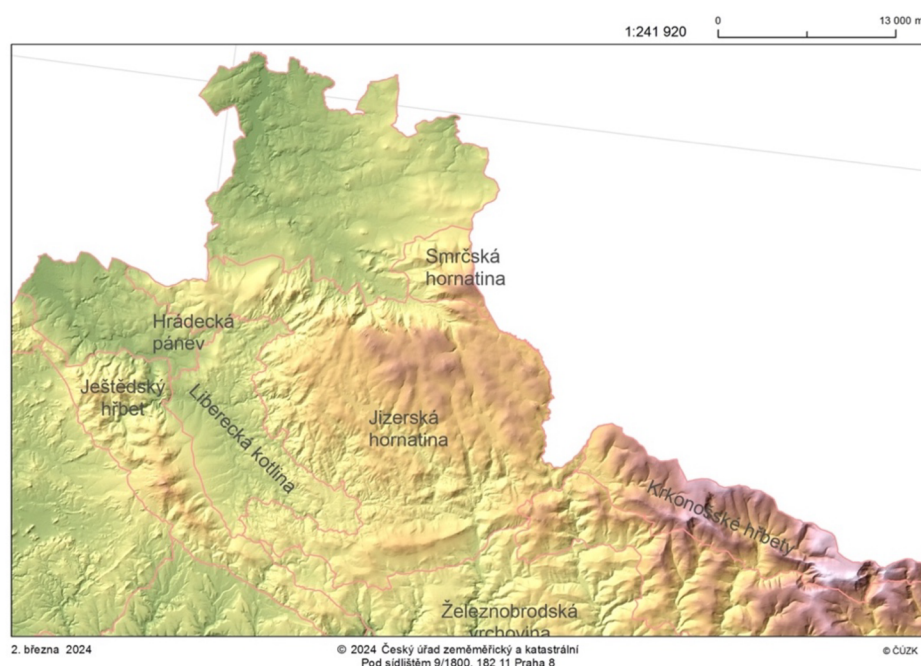
způsobuje reverzibilní změny (smrštění), zatímco GRO ireverzibilní, expanzivní změny (Zweifel 2016). TWD vykazuje denní variabilitu, která je spojena s reakcí stomat na krátkodobé změny podmínek prostředí a závisí na kapacitě kmene (stonku). K jeho nárůstu dochází, když se zvýší rychlost transpirace a dojde k poklesu půdní vlhkosti během období s omezenou dostupností vody (Nehemy et al. 2021).

Po delším období se zvýšeným TWD je sledováno malé navýšení rychlosti růstu. To je vysvětlováno tím, že buňky vzniklé v období s vyšším TWD nejsou pravděpodobně prodlouženy kvůli sníženému turgoru v kambiu a následně po překnutí tohoto období a opětovném zvýšení turgoru dojde k jejich prodloužení, což je detekováno jako nárůst růstové aktivity (Zweifel et al. 2016).

3.3 Jizerské hory

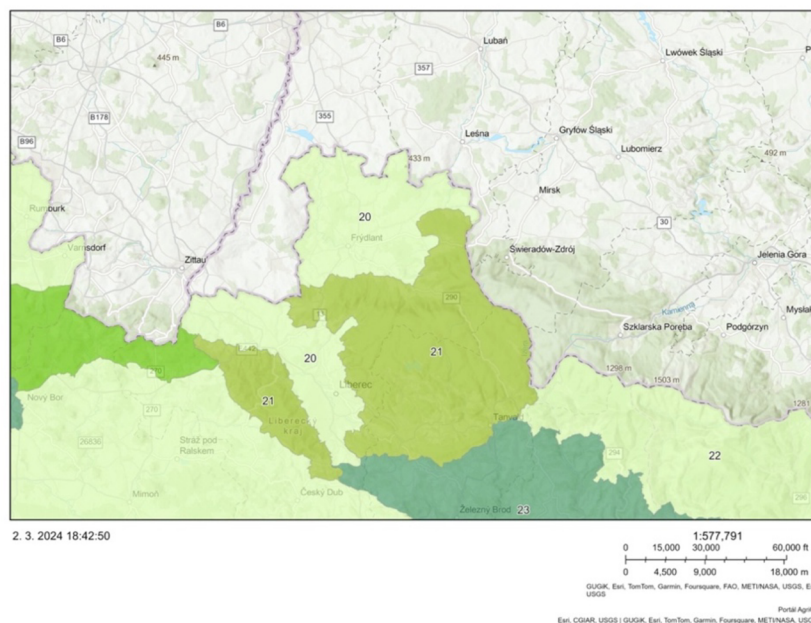
Oblast Jizerských hor se nachází na severu České republiky a pokračuje dále do Polska. Jedná se o nejsevernější pohoří ČR, které směrem na východ přechází v Krkonoše, se kterými tvoří přirozenou hranici státu. Svě jméno získalo pohoří podle řeky Jizery, která ho odvodňuje a která pramení na úbočí nejvyšší hory české části Jizerských hor, na Smrku (1124 m n. m.). Nejvyšší bod celého pohoří leží na polské části a je jím Wysoká kopa (1126 m n. m.). Průměrná výška Jizerských hor je 696 m n. m., přičemž značná část území (40 %) se nachází v rozmezí nadmořských výšek 700-950 m n. m. Nad touto hranicí, tedy ve výšce nad 950 m n. m., je přibližně 5 % území, které zahrnuje na české straně 15 a na polské straně 13 vrcholů přesahujících 1000 m n. m. Stavba Jizerských hor je značně asymetrická, kdy k jihu a k jihozápadu se hory svažují mírně do Liberecké kotliny, a naopak na sever a severovýchod, tedy do Frýdlanstské pahorkatiny a do polského Jizerského podhůří, jsou svahy strmé (Karpaš 2009; Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem - pobočka Jablonec nad Nisou 2020b).

Hlavní oblastí zájmu pro tuto práci je přírodní lesní oblast číslo 21 - Jizerské hory a Ještěd, konkrétně oblast Jizerských hor, tedy 21b (Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem [b.r.]).



Obrázek 2 Analýza výškopisu oblasti Jizerských hor, Zdroj: Analýzy výškopisu ČÚZK

Přírodní lesní oblasti



Obrázek 3 Mapa přírodních lesních oblastí, Zdroj: Portál AgriGIS

3.3.1 Geologická stavba hor

Prvohorní segment, který obklopuje severní část Českého masivu a zahrnuje i Jizerské hory, je označován jako lugikum. Pohoří Jizerských hor patří do krkonošsko-jizerského krystalinika a zahrnuje pestrou skladbu geologických útvarů různého stáří. Jádro celého bloku je tvořeno žulovým plutonem a jeho plášť je tvořen horninami s různým složením i různým stupněm metamorfózy. Vyskytují se zde svory, ortoruly, fylity a různé břidlice. Nejrozšířenější horninou je žula, která určuje charakter především vyšších poloh, a to ve formě balvanů, skal a skalek i sklaních stěn. Hlavními typy žul krkonošsko-jizerskohorského plutonu v Jizerských horách jsou jizerský granit, liberecký granit, tanvaldský granit a fojtecký granit, přičemž jednotlivé typy jsou odlišné barvou, velikostí zrn, množstvím tmavých minerálů a slíd či zastoupením vyrostlic (Karpaš 2009).

3.3.2 Pedologie

Půdotvorným substrátem je v oblasti Jizerských hor žulová zvětralina. Půda se tedy řadí mezi silně kyselé, obsah jílových částic je nízký a humusová vrstva obsahuje vyšší množství nekvalitního humusu. Půdními typy oblasti jsou hnědá horská půda, hnědá podzolovaná půda a humusoželezitý podzol (Burda et al. 2000).

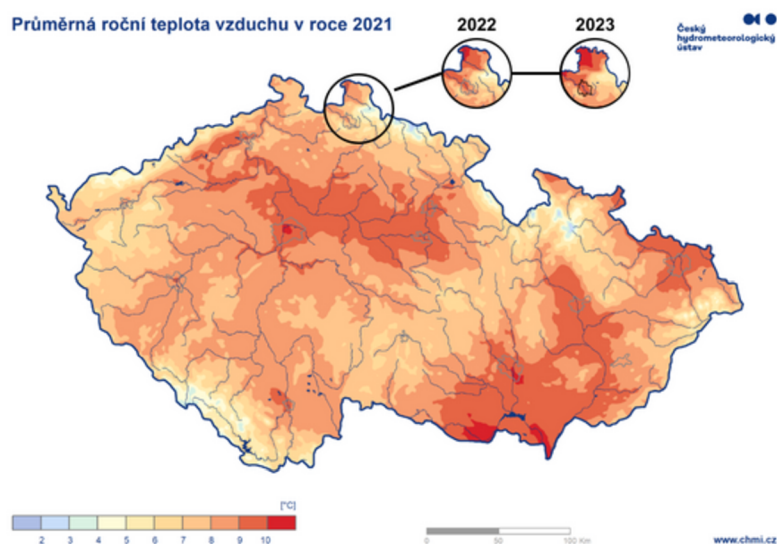
Z ekologických řad má největší zastoupení kyselá řada (59 %), přičemž v ní převažuje edafická kategorie K – kyselá (47,3 %), dále je to ekologická řada živná (18,1 %) s edafickou kategorií S – svěží (16,3 %) a kategorie rašelinná (3,6 %) (Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem - pobočka Jablonec nad Nisou 2020a).

3.3.3 Klimatické podmínky

Charakteristiky klimatu dané oblasti jsou získávány pomocí měření meteorologických prvků a vyhodnocováním pozorování. Pro tyto účely slouží síť klimatologických stanic Českého hydrometeorologického ústavu. Klimatologické stanice jsou různého druhu – jedná se o synoptické meteorologické stanice, klimatologické základní stanice a klimatologické srážkové stanice. Jednotlivé druhy se liší frekvencí pozorování, kvalifikací obsluhy, šíří pozorovacího programu atd. Všechny však zahrnují měření teploty, spadlých srážek, měření výšky sněhové pokrývky a její vodní hodnoty (Karpaš 2009).

Průměrné měsíční teploty jsou nejnižší v lednu, únoru a také v prosinci. Hodnoty vyšší než 10 °C jsou v nižších oblastech charakteristické pro období od května do září, kdy nejtepleji bývá v červenci (průměrně 16,2-17,4 °C ve výšce 400 m n. m.), a v polohách s nadmořskou výškou 800 m n. m. je tento interval posunutý na červen až srpen, přičemž nejteplejším měsícem je rovněž červenec s průměrnými hodnotami 13,6-15,1 °C (Karpaš 2009).

Roční průměrná teplota pro rok 2021 se pohybovala mezi hodnotami 4,4-5,5 °C a pro rok 2022 v rozmezí hodnot 5,0-6,3 °C (Pobříslavová 2023; 2022). Co se týče roku 2023, tak z dat poskytnutých ČHMÚ (Vajskebr 2024 [osobní komunikace, elektronická pošta]) vyplývá, že rozmezí průměrných teplot bylo 5,6-6,7 °C.

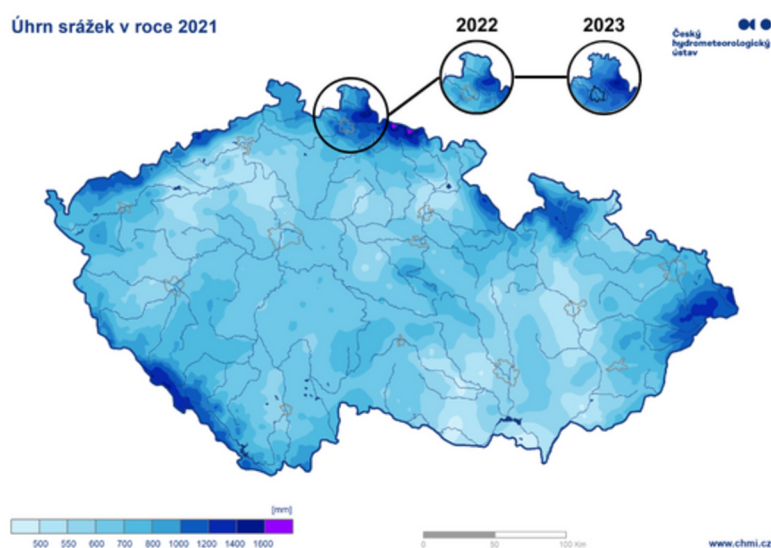


Obrázek 4 Mapa průměrných ročních teplot v roce 2021 s výřezy pro oblast zájmu za rok 2022 a 2023, Zdroj: ČHMÚ

Nejvyšší průměrné hodnoty srážek za měsíc se v Jizerských horách vyskytují obvykle v červenci, srpnu, v některých letech i v červnu. Ve vyšších oblastech rovněž

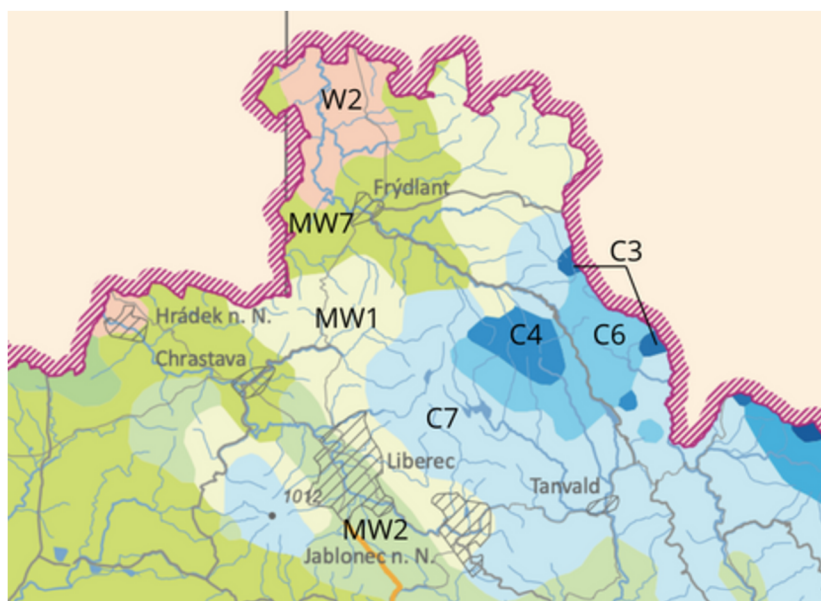
v lednu a prosinci. Naopak nejnižší hodnoty jsou z hlediska dlouhodobého průměru v únoru, březnu a občas i v říjnu (Karpaš 2009).

V hydrologické ročence od ČHMÚ za rok 2021 byly úhrny srážek za vegetační období (květen až říjen) mírně podprůměrné a byly v rozmezí 662 mm a 848 mm. Za vegetační období 2022 se úhrny srážek pohybovaly mezi hodnotami 484 mm a 650 mm. Tyto hodnoty jsou ozančovány za podprůměrné, ve srovnání s dlouhodobými průměry (Pobříšlová 2023; 2022). Nejnovější data z klimatických stanic uvádějí pro vegetačního období roku 2023 interval úhrnů srážek mezi 444 mm a 754 mm (Vajskebr 2024 [osobní komunikace, elektronická pošta]).



Obrázek 5 Mapa úhrnu srážek v roce 2021 s výřezy pro sledovanou oblast za rok 2022 a 2023, Zdroj: ČHMÚ

Jizerské hory spadají podle Quittova klimatického členění z roku 2000 do chladné (C3, C4, C6, C7) a mírně teplé oblasti (MW1, popř. MW7, MW2). Jednotlivé oblasti jsou charakterizovány 14 parametry, viz. Tabulka 1 (Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem - pobočka Jablonec nad Nisou 2020b). Nicméně kvůli měnícím se klimatickým podmínkám může v budoucnu docházet ke změnám či posunům těchto oblastí a následně vlivem limitujících faktorů i ke změnám ve složení vegetace atd. Pro limitující faktory platí pravidlo, že pro vyšší nadmořské výšky, kde je relativní dostatek srážek, je limitující teplota, zatím co pro nižší polohy je limitující faktor množství srážek. Odolnost a ekologická stabilita porostů vůči klimatickým změnám je podmíněna kombinací několika atributů, jako jsou ekologické limity jednotlivých dřevin, půdní vlastnosti stanoviště, klimatické podmínky, či stresové klimatické faktory (Macků a Kosová 2018).



Obrázek 6 Výřez mapy se zobrazením klimatických oblastí, Zdroj: Klimatické oblasti Česka: klasifikace podle Quitta za období 1961–2000

Tabulka 1 Charakteristiky oblastí: Klimatické oblasti Česka: klasifikace podle Quitta za období 1961–2000

Parametr	Klimatické charakteristiky chladné oblasti				Klimatické charakteristiky mírné teplé oblasti			Klimatické charakteristiky teplé oblasti
	C3	C4	C6	C7	MW1	MW2	MW7	W2
Počet letních dní	0–20	0–20	10–30	10–30	20–30	20–30	30–40	50–60
Počet dní s průměrnou teplotou 10 °C a více	80–120	80–120	120–140	120–140	120–140	140–160	140–160	160–170
Počet dní s mrazem	160–180	160–180	140–160	140–160	160–180	110–130	110–130	100–110
Počet ledových dní	60–70	60–70	60–70	50–60	40–50	40–50	40–50	30–40
Průměrná lednová teplota [°C]	-7 – -8	-7 – -6	-4 – -5	-3 – -4	-5 – -6	-3 – -4	-2 – -3	-2 – -3
Průměrná červencová teplota [°C]	12–14	12–14	14–15	15–16	15–16	16–17	16–17	18–19
Průměrná dubnová teplota [°C]	0–2	2–4	2–4	4–6	5–6	6–7	6–7	8–9
Průměrná říjnová teplota [°C]	2–4	4–5	5–6	6–7	6–7	6–7	7–8	7–9
Průměrný počet dní se srážkami 1 mm a více	120–140	120–140	140–160	120–130	120–130	120–130	100–120	90–100
Suma srážek ve vegetačním období [mm]	600–700	600–700	600–700	500–600	500–600	450–500	400–450	350–400
Suma srážek v zimním období [mm]	400–500	400–500	400–500	350–400	300–350	250–300	250–300	200–300
Počet dní se sněhovou pokrývkou	140–160	140–160	120–140	100–120	100–120	80–100	60–80	40–50
Počet zatažených dní	140–150	130–150	150–160	150–160	120–150	150–160	120–150	120–140
Počet jasných dní	30–40	30–40	40–50	40–50	40–50	40–50	40–50	40–50

3.3.4 Vegetace

Průměrná lesnatost v PLO Jizerské hory je 73 %. V oblasti převládají jehličnany - 78 %, s 69% zastoupením smrku ztepilého, 3 % modřínu, 3 % skmrkových exotů (pozůstatky po zalesňování z období po imisní kalamitě v 80. letech 20. století), dále zde zaujímá 1 % borovice, 1 % borovice kleč a 1 % tvoří ostatní jehličnany. Listnaté dřeviny jsou zastoupeny 22 %, přičemž nejvýraznější zastoupení má buk 15 %, dále bříza 2 % a poté shodně zastoupené po 1 % duby, jasan, javory, olše a ostatní listnaté dřeviny (Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem - pobočka Jablonec nad Nisou 2020b).

4 Metodika

4.1 Výzkumné plochy

Sběr dat pro tuto bakalářskou práci probíhal na trvalých výzkumných plochách v oblasti Jizerských hor, konkrétně v NPR Jizerskohorské bučiny. Celkový počet ploch je šest, přičemž čtyři se nacházejí jihozápadně a zbylé dvě východně od města Hejnice. Jejich umístění se pohybuje v rozmezí nadmořských výšek 594–777 m n. m. Jedná se převážně o kamenitý terén ve svazích, kde je maximální sklonitost svahů dle analýzy výškopisu od Českého ústavu zeměměřického a katastrálního (ČÚZK 2023) v intervalu od 75,7°–78,3°. Rozměr výzkumných ploch je 30 x 30 m.

Měřený soubor se skládal z 25 stromů buku lesního (*Fagus sylvatica* L.) a sledovaný časový interval zahrnoval dvě vegetační období, a to v roce 2021 a 2022. Výzkumné plochy jsou ve většině případů v čistě bukovém porostu, případně v bukovém porostu s příměsí smrku ztepilého (*Picea abies*), či s příměsí javoru kleny (*Acer pseudoplatanus*). Zvolený zkoumaný soubor buků na výzkumných plochách byl sledován v období od května roku 2021 do dubna roku 2023, nicméně vzhledem k neúplnosti vegetačního období v roce 2023 byl tento rok ze sledování vyřazen.



Obrázek 7 Výřez mapy s vyznačením oblastí zahrnující výzkumné plochy, zdroj: Národní geo portál INSPIRE



Obrázek 8 Výřez mapy s vyznačením oblastí a výzkumných ploch, zdroj: Národní geo portál INSPIRE



Obrázek 9 Automatický dendrometr



Obrázek 10 Označení měřených stromů



Obrázek 11 Výzkumná plocha (čistě bukový porost)



Obrázek 12 Výzkumná plocha (příměs smrku ztepilého)

4.1 Sběr dat

Data pro tuto práci byla získána z automatických bodových dendrometrů, které se nachází na jednotlivých výzkumných plochách ve sledovaném území. Tyto dendrometry byly nainstalovány v roce 2021 a každý dendrometr nese specifické číselné kódové označení. Pro stažení naměřených hodnot byl použit speciální TMD adaptér a software Lolly manager (TOMST s.r.o.). Stažení dat bylo provedeno v dubnu 2023.

4.2 Bodový dendrometr TOMST

Bodový dendrometr od českého výrobce TOMST s. r. o. je přístroj o rozměrech 25 x 113 mm, který funguje na základě potenciometru a umožňuje automatické měření změn tloušťky kmene. Měření probíhá v intervalech, které lze individuálně nastavit a měřitelné jsou změny $<1 \mu\text{m}$, což zajišťuje velmi precizní výsledky měření. Dendrometr

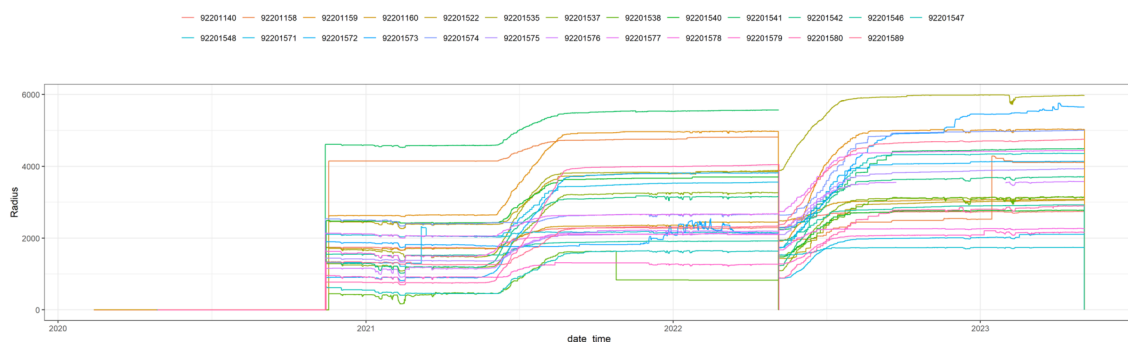
umožňuje měřit zvláště změny kůry a změny dřeva a díky přítomnosti termočlánku je zajištěno i měření okolní teploty. Konstrukce dendrometru je přizpůsobena pro používání v extrémních přírodních podmínkách a vykazuje vysokou odolnost. Uzpůsobena je i výdrž baterie, kdy výrobce udává životnost 10 let, a kapacita paměti, která je schopna zaznamenat až 14 let při 15minutovém intervalu měření (Tomst 2019).

Sledovanými ukazateli, získanými měřením pomocí bodových dendrometrů, jsou přírůst, TWD a délka vegetačního období, přičemž u jednotlivých ukazatelů jsou dále sledovány specifické hodnoty jako maximum, minimum či den, kdy byla daná hodnota naměřena. Datum je zaznamenáváno dvěma způsoby, a to buď klasicky formou den-měsíc-rok, nebo formou doy (day of year), tedy pořadím dne v roce.

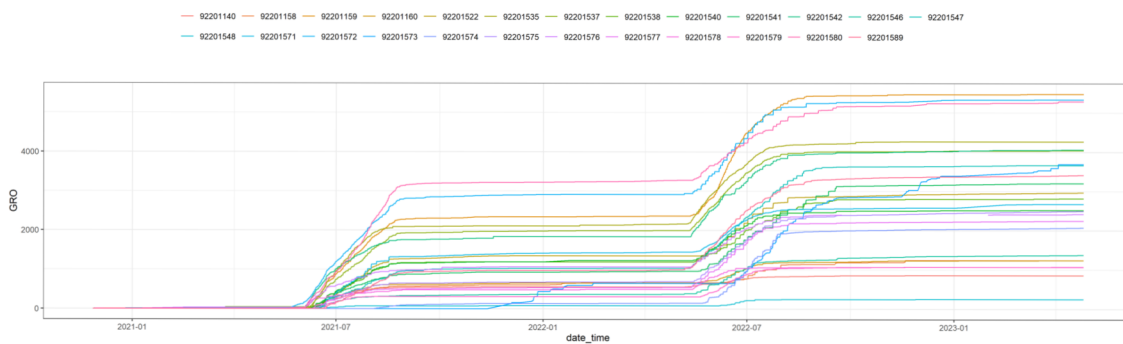
4.3 Čištění a zpracování dat

Samotnému zpracování naměřených dat předcházelo čištění, které mělo za cíl eliminovat výskyt či opravit případné chyby v datech a dále data homogenizovat a připravit pro další zpracování. Pro práci s daty byl využíván program R (R Core Team 2023) a speciální balíček PLOTeR.

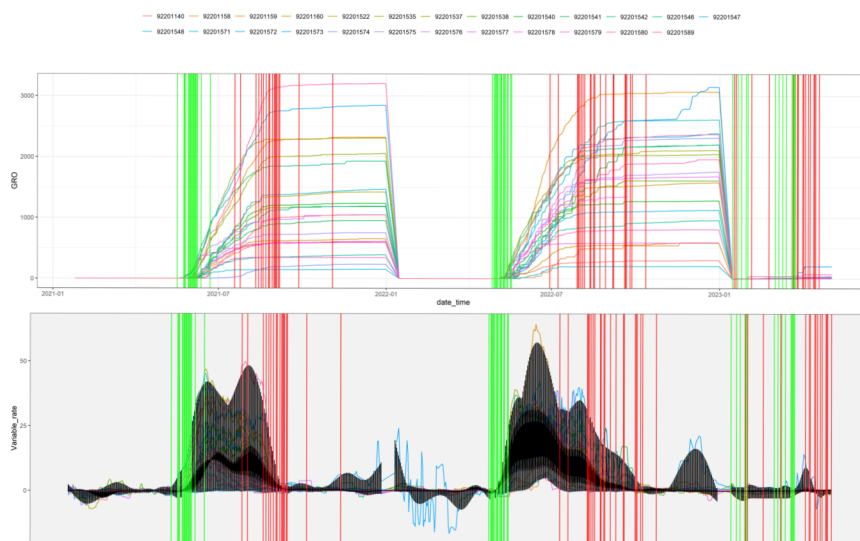
Nejprve byl upraven interval sledování změn, a to z 15 min. na 1 hod., pro usnadnění práce s daty a snížení objemu dat. Poté byly pomocí vizuální kontroly opraveny chyby, odstraněny poklesy a začátky všech křivek byly srovnány na nulu. Následně byly opraveny grafy zobrazující vegetační období. Zkontrolovaná, opravená a vyčištěná data byla poté exportována a zpracována v R. Nakonec byla data vyhodnocena pomocí box-plot grafů v programu Statistica 14 (Cloud Software Group 2024) a některé doplňující grafy byly vytvořeny v programu MS Excel.



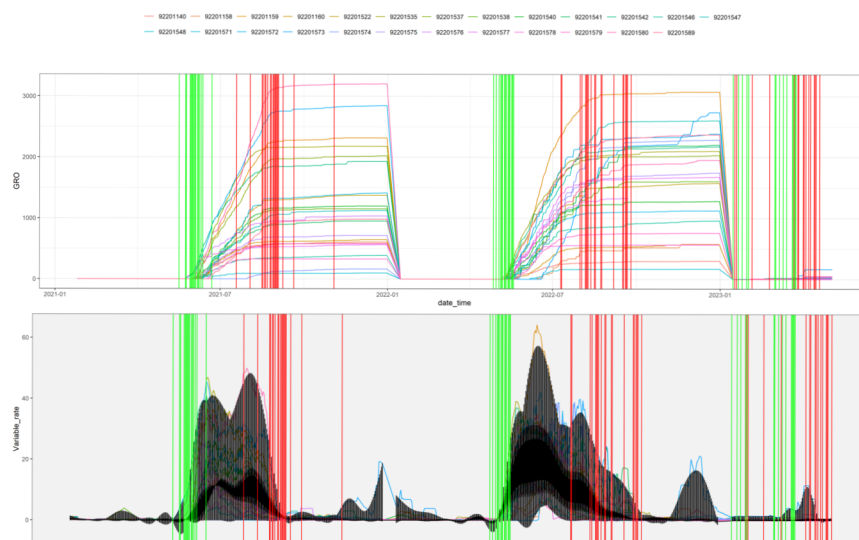
Obrázek 13 Data před čištěním (PLOTeR)



Obrázek 16 Vyčištěná data bez poklesů s počátečním bodem 0 (PLOTeR)



Obrázek 15 Grafy začátku a konce vegetačního období – před úpravami (PLOTeR)



Obrázek 14 Grafy začátku a konce vegetační doby – po provedených úpravách (PLOTeR)

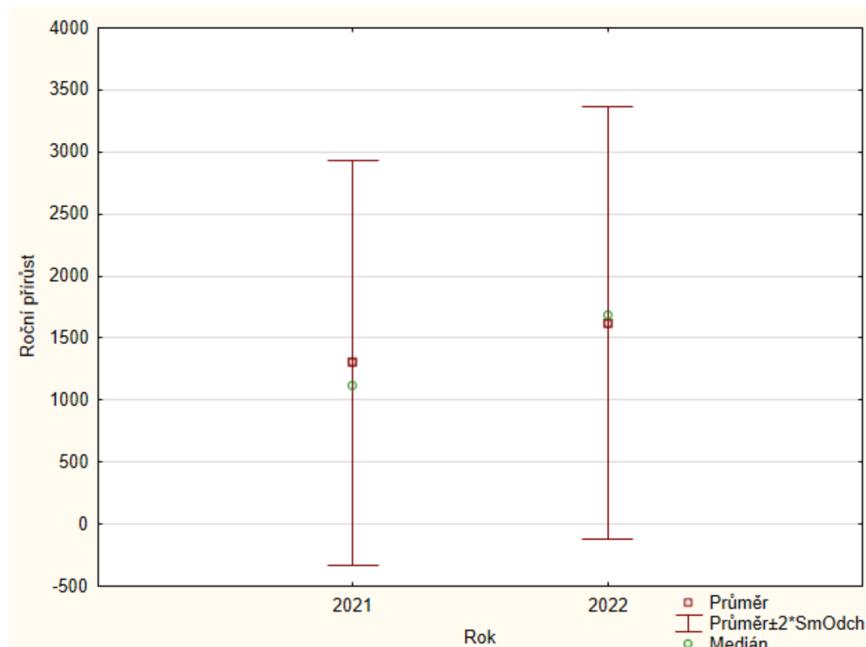
Klimatické podmínky ve vybrané lokalitě byly stanoveny na základě dat od ČHMÚ, ze kterých byly také vytvořeny grafy. Po prozkoumání mapy s vyznačením jednotlivých klimatologických stanic a po zvážení možností byla jako referenční klimatologická stanice vybrána stanice Bílý Potok – Smědava.

Pro nalezení souvislostí mezi proměnnými byly v programu Statistica 14 vytvořeny korelační matice. Jelikož se nejednalo o normální rozložení dat, byly použity neparametrické korelace, konkrétně Spearmanovy korelace, přičemž hladina významnosti byla $p < 0,05$. Pro získání jednotlivých p-hodnot byly vygenerovány detailní výsledky Spearmanovy korelace pro dvojice proměnných.

5 Výsledky

5.1 Tloušťkový přírůst za sledované období

Průměrný roční tloušťkový přírůst v roce 2021 byl 1,30 mm. V roce 2022 byly hodnoty přírůstů mírně vyšší, oproti předchozímu roku a průměrná hodnota byla 1,62 mm. Statisticky se však přírůsty v obou letech nelišily ($P = 0,541$). Co se týče minimálních a maximálních hodnot ročních přírůstů, tak minimum pro rok 2021 bylo 0,23 mm a maximum 3,20 mm. Pro rok 2022 bylo minimum 0,21 mm a maximum 3,15 mm.

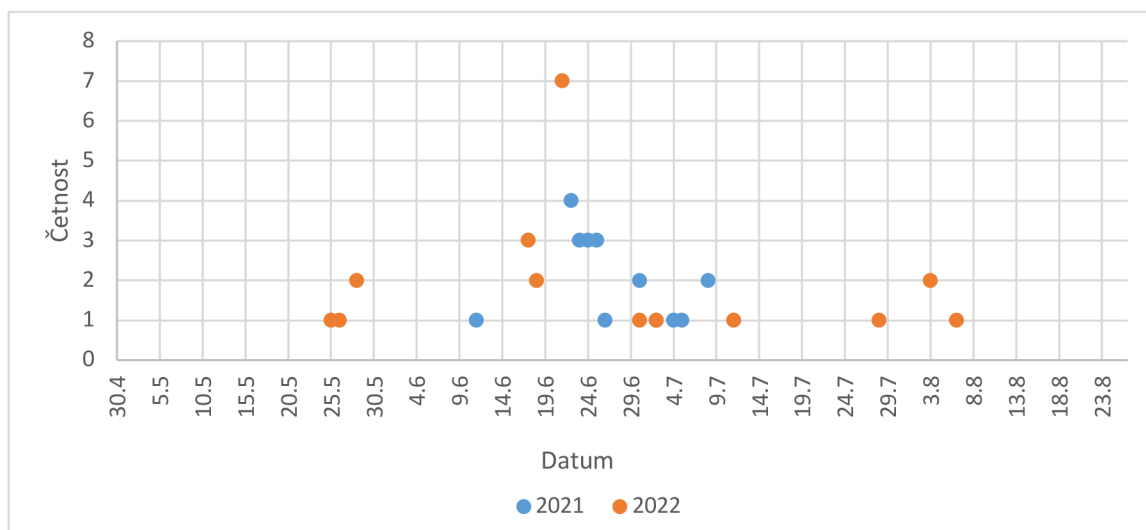


Graf 1 Roční přírůst poloměru kmene [μm]

Tabulka 2 Základní statistiky ročního přírůstu průměru kmene

Roční přírůst [μm]	Průměr	Interval spolehlivosti -95 %	Interval spolehlivosti +95 %	Medián	Minimum	Maximum
2021	1301,45	939,40	1663,50	1115,56	233,04	3204,32
2022	1621,33	1245,32	1997,33	1678,42	206,05	3148,92

V **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**, který zobrazuje data, kdy jednotlivé stromy dosáhly nejvyššího denního přírůstu během roku, je nejvyšší hustota bodů v období od 11. června do 11. července. Přičemž v průměru stromy dosahovaly nejvyššího přírůstu 28. června (doy 179). Dále je možné v grafu sledovat, že interval data výskytu maximálního přírůstu je v roce 2022 mnohem variabilnější, než v případě roku 2021, a že některé stromy měly maximální přírůst poměrně brzy, a to již koncem května. Při sestavení korelačních matic (viz. Samostatné přílohy) byla zjištěna významná korelace (na hladině významnosti $p < 0,05$) mezi průměrným tloušťkovým přírůstem za měsíc a průměrnými měsíčními teplotami, a to v obou sledovaných rocích (2021: $p = 0,000014$; 2022: $p = 0,00034$). Naopak korelace s měsíčním úhrnem srážek významná nebyla (2021: $p = 0,71$; 2022: $p = 0,50$).

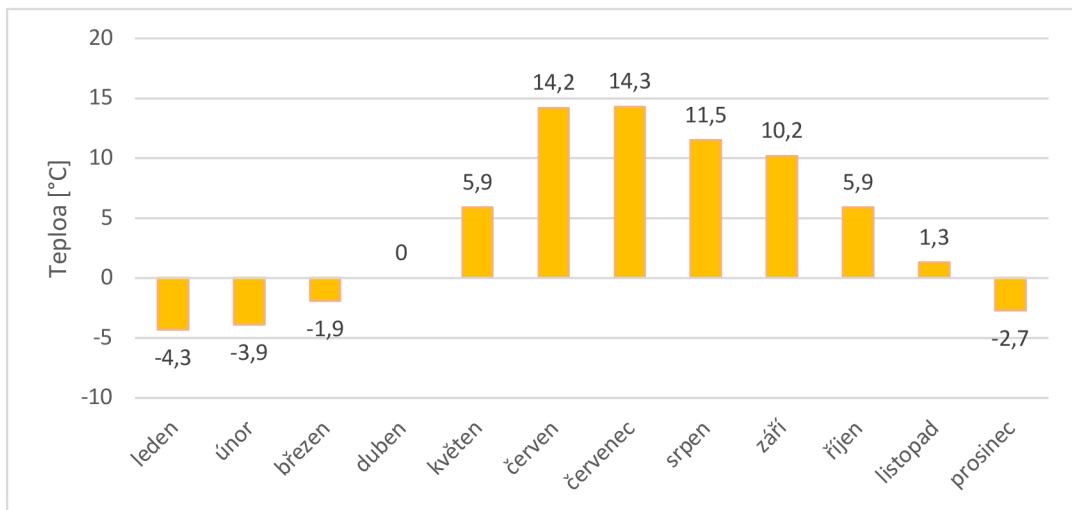


Graf 2 Datum s maximálním denním tloušťkovým přírůstem

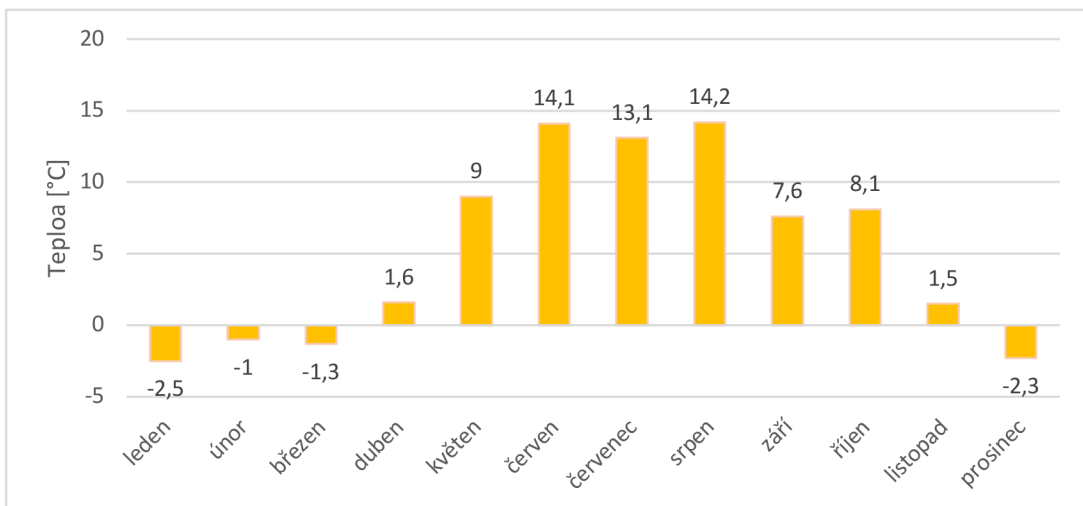
5.2 Klimatologické podmínky lokality

Z grafů je patrné, že nejchladnějším měsícem byl v obou rocích leden, zatím co nejteplejším byl v roce 2021 červenec a v roce 2022 srpen. Dále je možné sledovat

vzestup průměrných teplot v roce 2022, oproti roku předchozímu. To dokládá i průměrná roční teplota, která měla za rok 2021 hodnotu 4,2 °C a za rok 2022 5,1°C.

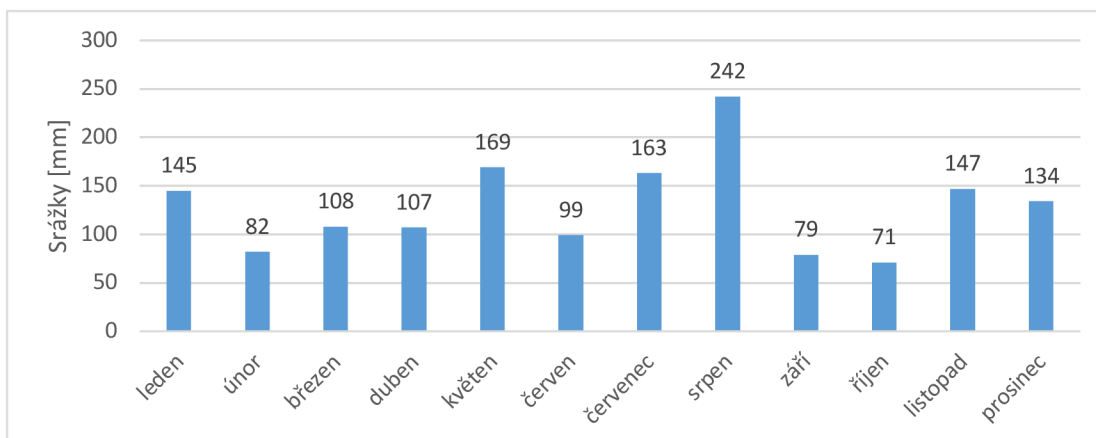


Graf 4 Průměrné měsíční teploty v roce 2021

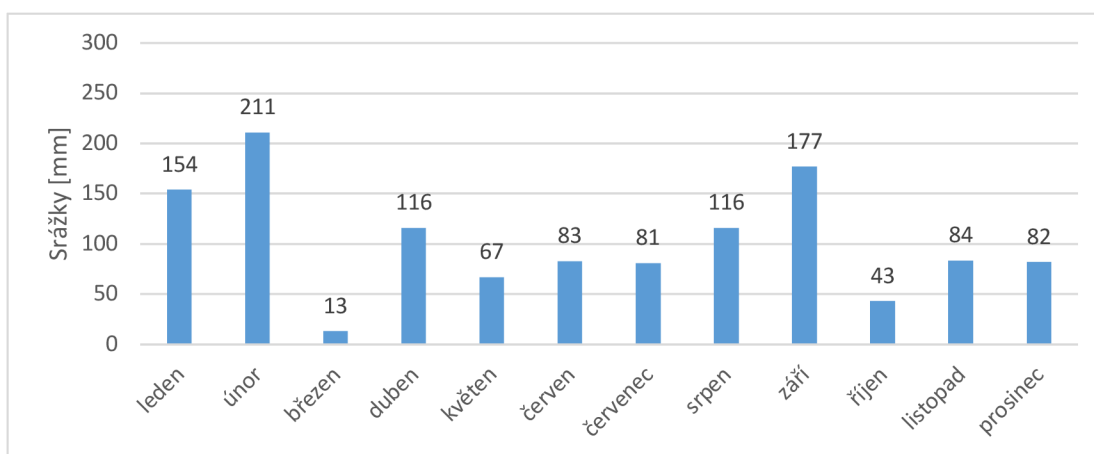


Graf 3 Průměrné měsíční teploty v roce 2022

Srážkově vydatnější byl rok 2021, u kterého byla hodnota celoročního úhrnu rovna 1546 mm. Za rok 2022 byl roční úhrn srážek roven 1227 mm. Průměrná hodnota množství srážek za rok 2021 rovnala 128,83 mm na měsíc a v roce 2022 byla rovna množství 102,21 mm za měsíc. Celkově nejvíce srážek bylo v srpnu 2021 a nejméně v březnu 2022.



Graf 6 Měsíční úhrn srážek v roce 2021



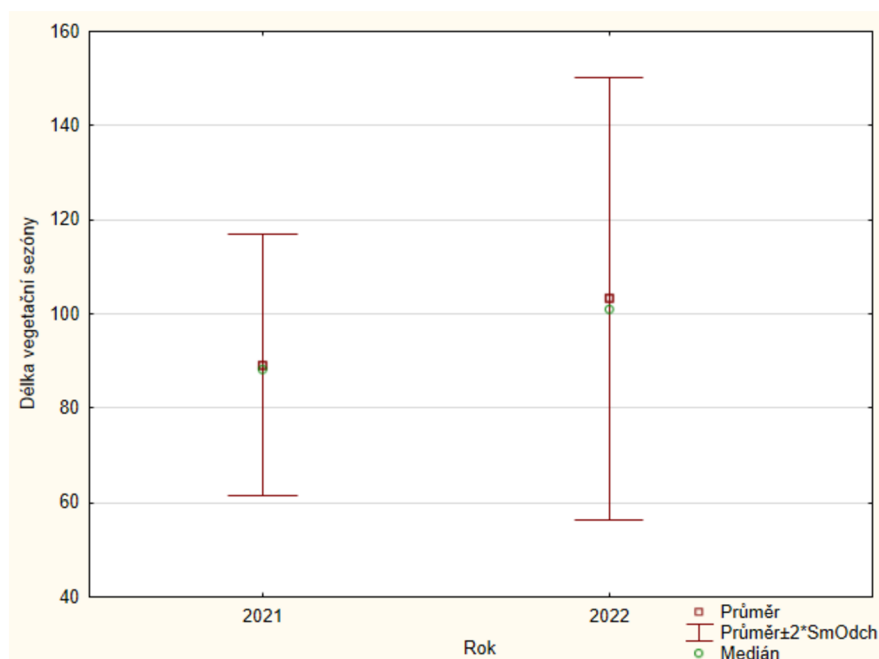
Graf 5 Měsíční úhrn srážek v roce 2022

5.3 Vegetační sezóna

Celková průměrná délka vegetační sezóny byla 96,35 dní. V roce 2021 byla průměrná délka 89 dní a v roce 2022 103 dní. Vegetační sezóna roku 2022 byla delší a začala i skončila dříve, než ta z roku 2021.

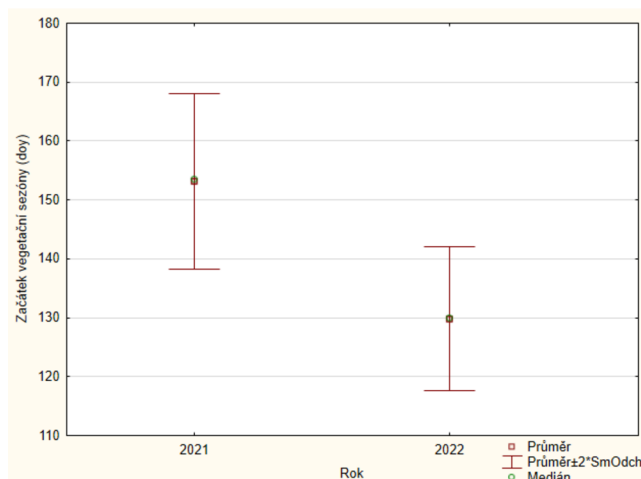
Tabulka 3 Základní statistiky vegetační sezóny

Vegetační sezóna		Průměr	Interval spolehlivosti -95 %	Interval spolehlivosti +95 %	Medián	Minimum	Maximum
2021	Délka VS	89,14	82,99	95,28	88,00	72,00	134,00
	Začátek VS (doy)	153,18182	149,88191	156,48173	153,5	137	173
	Konec VS (doy)	242,32	234,96	249,67	240,50	228,00	307,00
2022	Délka VS	103,26	93,09	113,43	101,00	56,00	145,00
	Začátek VS (doy)	129,78	127,14	132,42	130,00	117,00	139,00
	Konec VS (doy)	233,04348	223,19416	242,89279	228	191	263

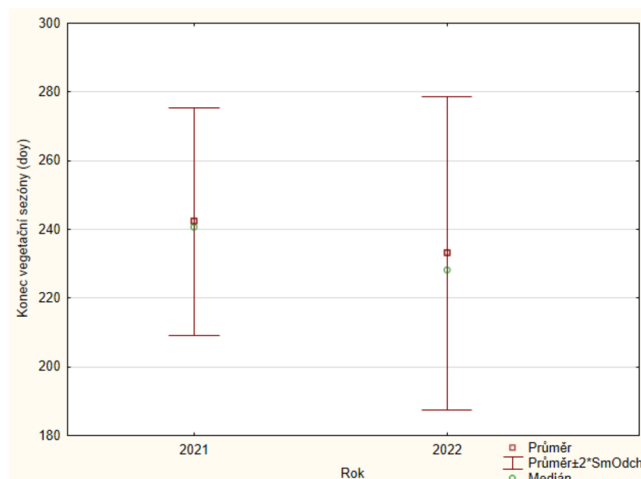


Graf 7 Vegetační sezóna

Průměrný začátek vegetační sezóny v roce 2021 byl 2. června (doy 153) a konec 30. srpna (doy 242). První zaznamenaný tloušťkový přírůst se objevil 17. května a poslední 3. listopadu. V roce 2022 byl průměrný začátek vegetační sezóny 10. května (doy 130) a konec 21. srpna (doy 233). V tomto roce se první zaznamenaný tloušťkový přírůst objevil dříve než v předchozím roce, a to již 27. dubna. Poslední záznam přírůstu tloušťky byl 20. září.



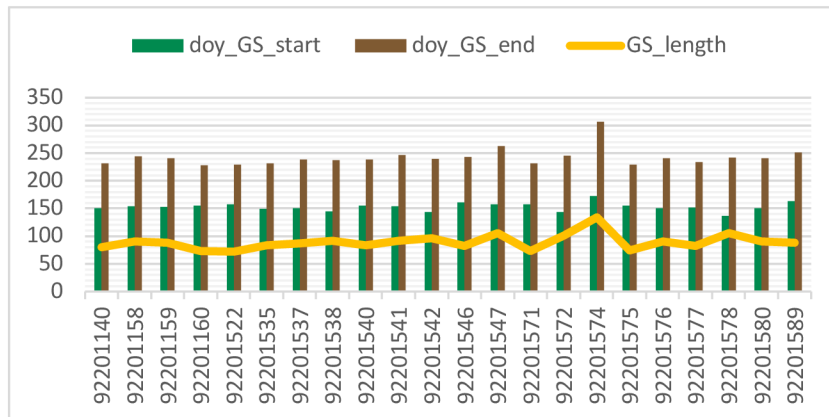
Graf 8 Začátek vegetační sezóny (doy)



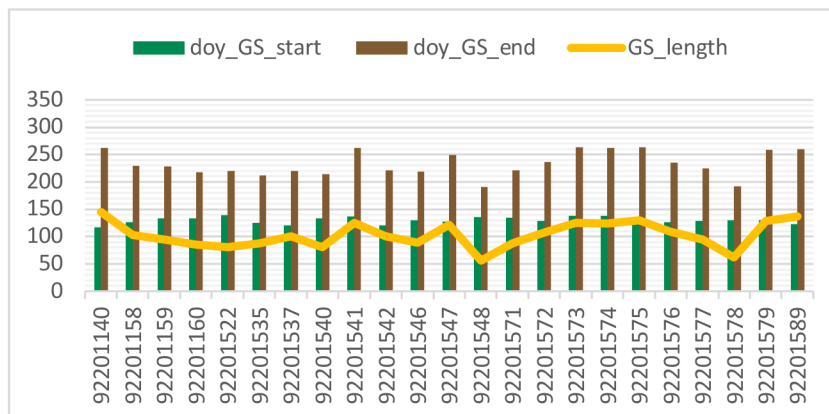
Graf 8 Konec vegetační sezóny (doy)

Z Graf 9 a Graf 10 je patrné, že u většiny stromů, u kterých začala vegetační sezóna dříve, došlo k jejímu ukončení nepatrně dříve, či víceméně shodně s ostatními stromy. K prodloužení vegetační sezóny vlivem dřívějšího začátku docházelo jen v několika

případech. Dále je zajímavé srovnání délky vegetační sezóny meziročně, které zachycuje nárůst její délky v roce 2022, a to u většiny sledovaných stromů.



Graf 9 Začátek, konec a délka vegetační sezóny u jednotlivých stromů v roce 2021



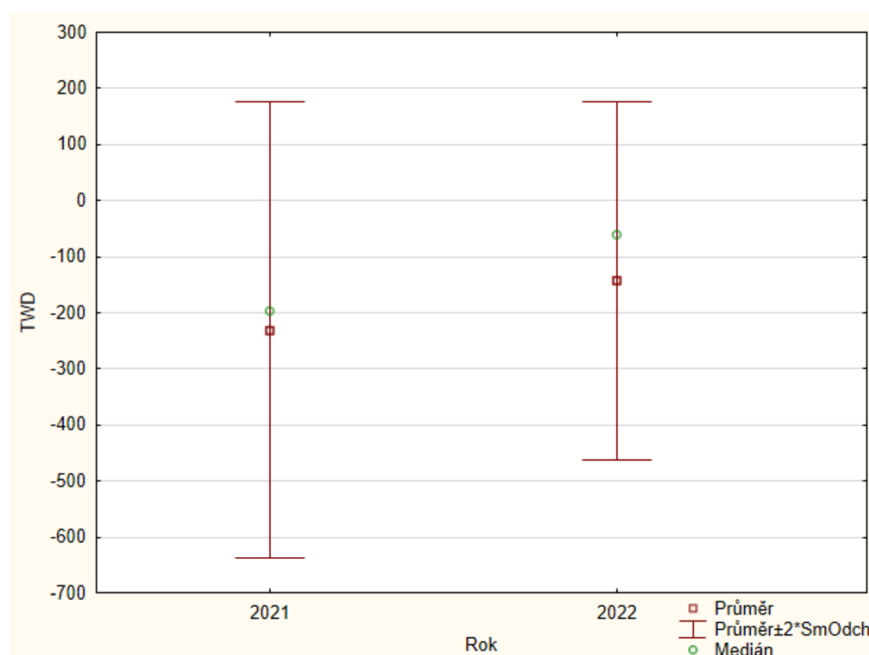
Graf 10 Začátek, konec a délka vegetační sezóny u jednotlivých stromů v roce 2022

Tabulka 4 Délka vegetační sezóny v jednotlivých rocích a její rozdíl

	2021	2022	Rozdíl
92201140	80	145	65
92201158	90	103	13
92201159	88	95	7
92201160	73	85	12
92201522	72	81	9
92201535	83	87	4
92201537	87	100	13
92201538	92		
92201540	83	81	2
92201541	92	125	33
92201542	96	101	5
92201546	82	89	7
92201547	105	122	17
92201548		56	
92201571	73	87	14
92201572	101	107	6
92201573		125	
92201574	134	124	10
92201575	74	130	56
92201576	90	109	19
92201577	82	95	13
92201578	105	62	43
92201579		129	
92201580	91		
92201589	88	137	49

5.1 TWD

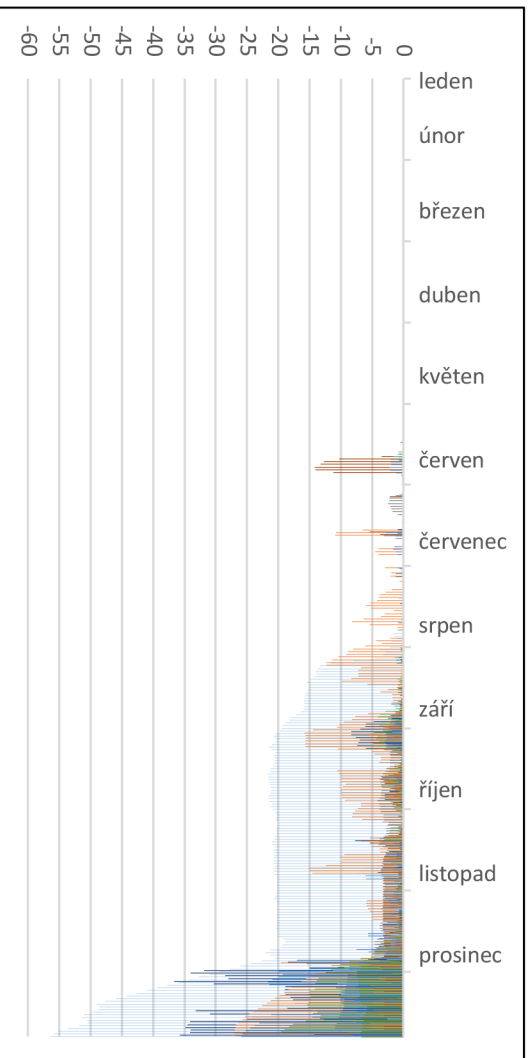
Průměrná hodnota smrštění neboli celkové hodnoty TWD, byla v roce 2021 - 231,11 μm a v roce 2022 -143,98 μm , z čehož je patrné, že v roce 2021 byly stromy více stresovány celkovým suchem. To potvrzuje i dosažení největšího celkového smrštění - 770,51 μm , v témže roce. Období, kdy se stres krátkodobým suchem projevoval, zahrnovalo v obou letech červen, v roce 2022 i konec května a směrem ke konci roku se míra zvyšovala.



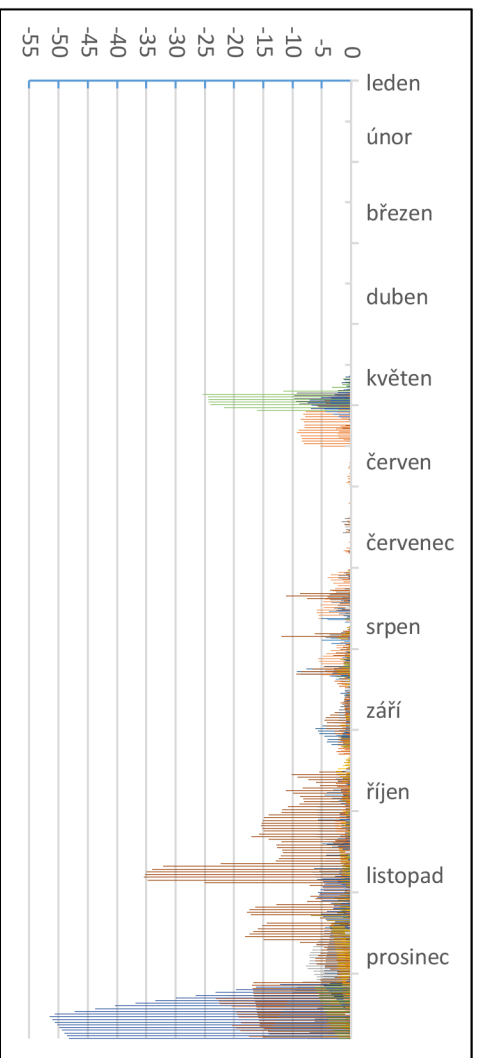
Graf 11 TWD [μm]

Tabulka 5 Základní statistiky TWD

TWD [μm]	Průměr	Interval spolehlivosti -95 %	Interval spolehlivosti +95 %	Medián	Minimum	Maximum
2021	-231,11	-321,44	-140,77	-197,61	-770,51	-5,78
2022	-143,98	-213,07	-74,89	-62,40	-595,56	-2,57



Graf 13 Zobrazení TWID v roce 2021



Graf 12 Zobrazení TWID v roce 2022

6 Diskuse

Tato práce pracovala s daty z automatických dendrometrů TOMST, které byly nainstalovány na výzkumných plochách v Jizerských horách na buku lesním (*Fagus sylvatica* L.) a které zahrnovaly údaje o růstu a TWD za rok 2021 a rok 2022. Dále byla využita klimatická data od ČHMÚ, konkrétně údaje o průměrných teplotách a o úhrnech srážek ve sledovaném období.

Průměrný roční přírůst tloušťky byl vyšší v roce 2022, což je možné dát do souvislosti s vyšší průměrnou teplotou v tomto roce. Na základě korelační matice byla zjištěna významná korelace mezi tloušťkovým přírůstem a průměrnou teplotou, což toto tvrzení potvrzuje. Za nejvýraznější ovlivňující činitel přírůstu tloušťky označuje teplotu i dendrochronologická studie provedená v Krkonoších (Šimůnek et al. 2019). Překvapivě nebyl zjištěn významný vztah mezi množstvím srážek a přírůstem, ačkoliv by se tento vztah dal předvídat při pozorování množství srážek a data s nejvyšším přírůstem v roce 2021. Období s nejvyšším výskytem maximálních přírůstů připadalo na období, kterému předcházela srážkově bohatý měsíc a ani daný měsíc nebyl srážkově výrazně pod průměrnou hodnotou. Tyto souvislosti ovšem nebyly patrné v roce 2022, kdy bylo období kolem nejvyššího výskytu maximálních přírůstů srážkově podprůměrné. Šimůnek et al. uvádí vliv množství srážek na rok následující, což v této práci nebylo možné potvrdit ani vyvrátit kvůli délce sledovaného období. Z výsledků týkajících se teploty by se mohlo zdát, že její zvýšení vlivem klimatické změny povede ke zvýšení produkce buku. Stále je ovšem třeba brát v potaz, že zkoumané plochy se nacházely v horské oblasti a dále, že z jiných výzkumů (Camarero et al. 2021; Dulamsuren et al. 2022) vyplývá značná citlivost buku na suchu. Lze tedy předpokládat, že při dalším snižování množství srážek bude na tyto podmínky buk reagovat. Tato reakce však může nastat až při výrazném nedostatku srážek, neboť oblast Jizerských hor je považována za srážkově bohatou a navíc pozorované stromy jsou již vzrostlé a tudíž lze usuzovat, že jejich kořenový systém je značně vyvinutý a budou mít tedy zajištěn přístup k vláze v hlubších vrstvách půdy a budou vůči suchu odolnější (Jiang et al. 2024). Otázkou také je, která teplotní hranice bude ta zlomová, kdy vyšší teplota začne působit jako stresový faktor, přírůst bude utlumen a marginálně se zvýší riziko embolie (Trouillier et al. 2019; Obladen et al. 2021). I pak je ale stále možnost, že se na zkoumaném území vyskytují odolné genotypy, které se změnám dokáží přizpůsobit (Weithmann et al. 2022).

Variabilita v období výskytu nejvyššího přírůstu v roce 2022 byla shledána vyšší než v roce 2021. Ve druhém zmíněné roce byly nejvyšší přírůsty kulminovány do období června a července, zatím co v roce následujícím se objevovaly navíc i v květnu a na přelomu července a srpna. Tyto změny je možné opět dát do souvislosti s teplotou, neboť v květnu 2022 byla průměrná teplota o 3,1 °C vyšší a v srpnu o 2,7 °C vyšší než v roce 2021. Na stejném principu nejspíše funguje i dřívější začátek vegetační sezóny, který se objevil v roce 2022. Začátek vegetační sezóny je totiž ovlivněn jarními teplotami (Klisz et al. 2019), které byly taktéž vyšší, než v roce 2021. Průměrná délka vegetační sezóny se v roce 2022 prodloužila o 14 dní, a to zřejmě díky jejímu dřívějšímu začátku. Nicméně také o něco dříve končila, což koresponduje s výsledky některých studií (Matula

et al. 2023; Rathgeber a Fonti 2022). To však neplatí pro tvrzení o snížení produkce a o zkrácení vegetační sezóny v teplejším roce, uvedená v těchto studiích. Při porovnání délky vegetační sezóny mezi jednotlivými roky je patrný její nárůst u většiny sledovaných stromů (u kterých byla data z obou let získána) a u některých je rozdíl značně vysoký, což vybízí ke spekulacím, zda jsou tyto hodnoty reálné, či zda nedošlo k nějaké chybě v jejich měření.

Co se týče hodnot TWD, vyplývá z nich, že větší stres celkovým suchem byl na stromy vyvíjen v roce 2021. V tomto roce je patrný výskyt smrštění od června až do konce roku, přičemž v podzimních měsících se postupně objevují zvýšená smrštění u některých stromů a nejvyšší hodnoty smrštění se u většiny stromů vyskytují v prosinci. Pro rok 2022 je situace obdobná, ale výraznější smrštění nastává již na přelomu dubna a května, poté jsou hodnoty až do srpna velmi malé a opět narůstají v podzimních měsících. Největší smrštění nastává v prosinci a taktéž u většiny stromů. Důvod, proč je v obou letech největší smrštění právě v prosinci může být ten, že nastává fyziologické smrštění v reakci na klesající teplotu, nebo že se vlivem zamrznutí půdy stává voda nedostupná, či že vlivem tvorby krystalků v buňkách dojde k jejich poškození a k následnému úniku vody do okolí (Dittmar et al. 2003). Pokud by byly změny TWD působeny mrazem, bylo by logické, aby se takové změny vyskytovaly i v lednu, v únoru a v březnu, čemuž tak není a dendrometry měří hodnotu TWD až při začátku tloušťkového přírůstu. Pro vysvětlení tohoto problému by tedy bylo nutné podrobnější zkoumání. Dále by pro přesnější údaje bylo vhodné k datům o TWD z dendrometrů přidat i informace o vzdušné a půdní vlhkosti na konkrétních plochách.

7 Závěr

Tato práce se věnuje dynamice růstu buku lesního (*Fagus sylvatica* L.) v prostředí Jizerských hor. Vzhledem k měnícím se klimatickým podmínkám a s očekávaným pokračováním trendu nárůstu teploty a předpokladem opakování působení dalších faktorů prostředí je snaha zjistit, jaký vliv budou mít tyto skutečnosti na růst vybraného druhu. Buk se řadí mezi velmi významné dřeviny, dokonce mezi ekonomicky i hospodářsky nejdůležitější listnatý druh v Evropě a je tedy třeba nalézt postupy, jak přizpůsobit jeho pěstování do budoucna.

V období let 2021 a 2022 byl buk sledován na šesti výzkumných plochách v Jizerských horách pomocí automatických dendrometrů. Díky tomu byla získána data o tloušťkovém přírůstu, vegetační sezóně a o hodnotách smrštění kmene neboli TWD u 25 sledovaných stromů. Výzkumné plochy o rozměru 30 m x 30 m se nacházely ve svažitém horském terénu a okolní porost byl ve většině případů čistě bukový. Dále byla pro vyhodnocení souvislostí mezi naměřenými hodnotami a pro vysvětlení výsledků použita klimatologická data od ČHMÚ. Cílem práce bylo zhodnotit růstovou dynamiku a tloušťkové přírůsty ve sledovaném období. K tomu byly pro zpracování a vyhodnocení výsledků použity programy R a speciální balíček PLOTer, Statistica 14 a MS Excel.

Z naměřených a získaných dat vyplývá, že v období let 2021 a 2022 došlo k nárůstu průměrné roční teploty o 0,9° C. Rovněž došlo ke zvýšení ročního průměrného přírůstu tloušťky, a naopak k poklesu ročního úhrnu srážek. Byla nalezena významná korelace mezi průměrným tloušťkovým přírůstem a průměrnou teplotou, kdy se zvýšením průměrné teploty došlo i k nárůstu průměrného přírůstu. Mezi ostatními činiteli se významné korelace neobjevily. Vliv snížení úhrnu srážek se na přírůstu ani na hodnotě TWD neprojevil. Co se týče celkového stresu ze sucha, tak jím byly stromy více sužovány v roce 2021, přičemž v obou letech byly hodnoty výraznější v podzimním a zimním období. Další změnou bylo prodloužení vegetační sezóny, a to v průměru o překvapivých 14 dní. Došlo také k posunu průměrného začátku vegetační sezóny z června v roce 2021 na květen v roce 2022. Průměrný konec vegetační sezóny v obou sledovaných rocích připadl na srpen, přičemž ten v roce 2022 nastal o devět dní dříve.

Za limitace této práce je možné označit délku sledovaného období, kdy pro odhalení dalších souvislostí a vlivů mezi jednotlivými činiteli by bylo nutné sledovat zkoumaný soubor po více let. Více validních výsledků by přineslo také zvětšení počtu sledovaných stromů a pro možnost generalizace tvrzení by bylo potřeba také rozšířit sledované území. Dále by bylo dobré k datům TWD doplnit hodnoty o půdní a vzdušné vlhkosti. Nicméně i přes všechny tyto limitace práce přináší další informace o reakci buku na měnící se klimatické podmínky. Některé výsledky posilují závěry zjištěné v jiných studiích, jiné otevírají diskusi o důvodech jejich rozdílů. Pro pochopení celé problematiky a pro nalezení vhodných pěstebních postupů a opatření pro hospodaření s bukem v budoucnosti bude zapotřebí provedení dalších výzkumů a pokusů na danou tematiku.

8 Literatura

AREND, Matthias, Roman Mathias LINK, Cedric ZAHND, Günter HOCH, Bernhard SCHULDT a Ansgar KAHMEN, 2022. Lack of hydraulic recovery as a cause of post-drought foliage reduction and canopy decline in European beech. *New Phytologist* [online]. **234**(4), 1195–1205. ISSN 14698137. Dostupné z: doi:10.1111/nph.18065

BONČINA, Andrej, Vasilije TRIFKOVIĆ, Andrej FICKO a Matija KLOPČIČ, 2023. Diameter growth of European beech on carbonate: a regional versus forest type perspective. *European Journal of Forest Research* [online]. **142**(4), 917–932. ISSN 16124677. Dostupné z: doi:10.1007/s10342-023-01562-z

BURDA, Jan, Ivo HONSA, Jiří HUŠEK, Miroslav NEVRLÝ, Lenka PAVLŮ, František PELC, Petr VETEŠNÍK, Pavel VONIČKA a Vladimír VRŠOVSKÝ, 2000. *Národní přírodní rezervace Jizerskohorské bučiny*. Liberec: Jizersko-ještědsko horský spolek.

CAMARERO, J. Julio, Antonio GAZOL, Gabriel SANGÜESA-BARRERA, Marta VERGARECHEA, Raquel ALFARO-SÁNCHEZ, Nicolás CATTANEO a Sergio M. VICENTE-SERRANO, 2021. Tree growth is more limited by drought in rear-edge forests most of the times. *Forest Ecosystems* [online]. **8**(1), 1–15. ISSN 21975620. Dostupné z: doi:10.1186/s40663-021-00303-1

CHAKRABORTY, Tamalika, Albert REIF, Andreas MATZARAKIS a Somidh SAHA, 2021. How does radial growth of water-stressed populations of european beech (*Fagus sylvatica* l.) trees vary under multiple drought events? *Forests* [online]. **12**(2), 1–32. ISSN 19994907. Dostupné z: doi:10.3390/f12020129

CHAMAGNE, Juliette, Matteo TANADINI, David FRANK, Radim MATULA, C. E. Timothy PAINE, Christopher D. PHILIPSON, Martin SVÁTEK, Lindsay A. TURNBULL, Daniel VOLAŘÍK a Andy HECTOR, 2017. Forest diversity promotes individual tree growth in central European forest stands. *Journal of Applied Ecology* [online]. **54**(1), 71–79. ISSN 13652664. Dostupné z: doi:10.1111/1365-2664.12783

CLOUD SOFTWARE GROUP, 2024. *TIBCO Statistica™ 14.0.0* [online] [vid. 2024-04-03]. Dostupné z: <https://docs.tibco.com/products/tibco-statistica-14-0-0>

ČÚZK, 2023. Analýzy výškopisu. *Český úřad zeměměřický a katastrální* [online] [vid. 2024-03-25]. Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/av/>

DITTMAR, Christoph, Wolfgang ZECH a Wolfram ELLING, 2003. Growth variations of Common beech (*Fagus sylvatica* L.) under different climatic and environmental conditions in Europe - A dendroecological study. *Forest Ecology and Management* [online]. **173**(1–3), 63–78. ISSN 03781127. Dostupné z: doi:10.1016/S0378-1127(01)00816-7

DULAMSUREN, Choimaa, Banzragch BAT-ENEREL, Peter MEYER a Christoph LEUSCHNER, 2022. Did stand opening 60 years ago predispose a European beech population to death? *Trees, Forests and People* [online]. **8**. ISSN 26667193. Dostupné z: doi:10.1016/j.tfp.2022.100265

EAGRI.CZ, 2023. *Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství 2022*.

ETZOLD, Sophia, Frank STERCK, Arun K. BOSE, Sabine BRAUN, Nina BUCHMANN, Werner EUGSTER, Arthur GESSLER, Ansgar KAHMEN, Richard L. PETERS, Yann VITASSE, Lorenz WALTHERT, Kasia ZIEMIŃSKA a Roman

ZWEIFEL, 2022. Number of growth days and not length of the growth period determines radial stem growth of temperate trees. *Ecology Letters* [online]. **25**(2), 427–439. ISSN 14610248. Dostupné z: doi:10.1111/ele.13933

FRANKOVIČ, Michal, Pavel JANDA, Martin MIKOLÁŠ, Vojtěch ČADA, Daniel KOZÁK, Joseph L. PETTIT, Thomas A. NAGEL, Arne BUECHLING, Radim MATULA, Volodymyr TROTSIUK, Rhiannon GLOOR, Martin DUŠÁTKO, Ondrej KAMENIAR, Ondřej VOSTAREK, Jana LÁBUSOVÁ, Karol UJHÁZY, Michal SYNEK, Krešimír BEGOVIĆ, Matej FERENČÍK a Miroslav SVOBODA, 2021. Natural dynamics of temperate mountain beech-dominated primary forests in Central Europe. *Forest Ecology and Management* [online]. **479**(August 2020), 118522. ISSN 03781127. Dostupné z: doi:10.1016/j.foreco.2020.118522

HOUSTON DURRANT, T., D. DE RIGO a G. CAUDULLO, 2016. *Fagus sylvatica* and other beeches in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: *European Atlas of Forest Tree Species*. Luxembourg: Office of the European Union, s. 94–95. ISBN 978-92-76-17290-1.

JIANG, Yumei, William MARCHAND, Miloš RYDVAL, Radim MATULA, Pavel JANDA, Krešimír BEGOVIĆ, Dominik THOM, Alexandre FRULEUX, Arne BUECHLING, Jakob PAVLIN, Juliana NOGUEIRA, Martin DUŠÁTKO, Jakub MÁLEK, Tomáš KNÍŘ, Antonín VEBER a Miroslav SVOBODA, 2024. Drought resistance of major tree species in the Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology* [online]. **348**, 109933. ISSN 01681923. Dostupné z: doi:10.1016/j.agrformet.2024.109933

KARPAŠ, Roman a kol., 2009. *Jizerské hory : o mapách, kamení a vodě*. B.m.: Naklad. RK. ISBN 978-80-87100-08-0.

KAŠPAR, Jakub, Pavel ŠAMONIL, Martin KRŮČEK a Pavel DANĚK, 2020. Changes in the radial growth of trees in relation to biogeomorphic processes in an old-growth forest on flysch, Czechia. *Earth Surface Processes and Landforms* [online]. **45**(12), 2761–2772. ISSN 10969837. Dostupné z: doi:10.1002/esp.4928

KASPER, Jan, Christoph LEUSCHNER, Helge WALENTOWSKI a Robert WEIGEL, 2023. Higher growth synchrony and climate change-sensitivity in European beech and silver linden than in temperate oaks. *Journal of Biogeography* [online]. **50**(1), 209–222. ISSN 13652699. Dostupné z: doi:10.1111/jbi.14525

KLISZ, Marcin, Valentina BUTTO, Sergio ROSSI, Hubert MORIN a Szymon JASTRZEBOWSKI, 2019. The seasonal cycle of stem variations in beech populations is affected by interannual fluctuation of climatic conditions more than by the tree origin. In: *2019 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry, MetroAgriFor 2019 - Proceedings* [online]. B.m.: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., s. 139–141. ISBN 9781728136110. Dostupné z: doi:10.1109/MetroAgriFor.2019.8909254

MACKŮ, Jaromír a Daniela KOSOVÁ, 2018. *Klimatická změna a návrh adaptačních opatření v lesích, PLO 21 Jizerské hory*.

MATULA, Radim, Soňa KNÍŘOVÁ, Jan VÍTÁMVÁS, Martin ŠRÁMEK, Tomáš KNÍŘ, Iva ULBRICHOVÁ, Miroslav SVOBODA a Roman PLICHTA, 2023. 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* [online]. **905**, 166906. ISSN 18791026. Dostupné

z: doi:10.1016/j.scitotenv.2023.166906

MENCUCCINI, M., J. MARTÍNEZ-VILALTA, D. VANDERKLEIN, H. A. HAMID, E. KORAKAKI, S. LEE a B. MICHIELS, 2005. Size-mediated ageing reduces vigour in trees. *Ecology Letters* [online]. **8**(11), 1183–1190. ISSN 1461023X. Dostupné z: doi:10.1111/j.1461-0248.2005.00819.x

MUFFLER, Lena, Robert WEIGEL, Andrew J. HACKET-PAIN, Marcin KLISZ, Ernst VAN DER MAATEN, Martin WILMKING, Juergen KREYLING a Marieke VAN DER MAATEN-THEUNISSEN, 2020. Lowest drought sensitivity and decreasing growth synchrony towards the dry distribution margin of European beech. *Journal of Biogeography* [online]. **47**(9), 1910–1921. ISSN 13652699. Dostupné z: doi:10.1111/jbi.13884

MUNNÉ-BOSCH, Sergi, 2018. Limits to Tree Growth and Longevity. *Trends in Plant Science* [online]. **23**(11), 985–993. ISSN 13601385. Dostupné z: doi:10.1016/j.tplants.2018.08.001

MUSIL, Ivan a Jana MÖLLEROVÁ, 2005. *Listnaté dřeviny, Přehled dřevin v rámci systému rostlin krytosemenných*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. ISBN 80-213-1367-6.

NEHEMY, Magali F., Paolo BENETTIN, Mitra ASADOLLAHI, Dyan PRATT, Andrea RINALDO a Jeffrey J. MCDONNELL, 2021. Tree water deficit and dynamic source water partitioning. *Hydrological Processes* [online]. **35**(1), e14004. ISSN 10991085. Dostupné z: doi:10.1002/hyp.14004

OBLADEN, Nora, Pia DECHERING, Georgios SKIADAREISIS, Willy TEGEL, Joachim KESSLER, Sebastian HÖLLERL, Sven KAPS, Martin HERTEL, Choimaa DULAMSUREN, Thomas SEIFERT, Mareike HIRSCH a Andrea SEIM, 2021. Tree mortality of European beech and Norway spruce induced by 2018-2019 hot droughts in central Germany. *Agricultural and Forest Meteorology* [online]. **307**, 108482. ISSN 01681923. Dostupné z: doi:10.1016/j.agrformet.2021.108482

PLAGA, Benjamin N.E., Jürgen BAUHUS, Hans PRETZSCH, Mário Gonzalez PEREIRA a David I. FORRESTER, 2023. Influence of crown and canopy structure on light absorption, light use efficiency, and growth in mixed and pure *Pseudotsuga menziesii* and *Fagus sylvatica* forests. *European Journal of Forest Research* [online]. (3), 1–13. ISSN 16124677. Dostupné z: doi:10.1007/s10342-023-01638-w

POBŘÍSLOVÁ, Jana (ČHMÚ), 2022. *Experimentální povodí Jizerské hory, Hydrologická ročenka 2021*.

POBŘÍSLOVÁ, Jana (ČHMÚ), 2023. *Experimentální povodí Jizerské hory, Hydrologická ročenka 2022*.

POLLE, Andrea, Shao Liang CHEN, Christian ECKERT a Antoine HARFOUCHE, 2019. *Engineering drought resistance in forest trees* [online]. 8. leden 2019. B.m.: Frontiers Media S.A. ISSN 1664462X. Dostupné z: doi:10.3389/fpls.2018.01875

PRETZSCH, Hans, 2009. *Forest Dynamics, Growth and Yield* [online]. Berlin: Springer. ISBN 978-3-540-88307-4. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-540-88307-4

PRÍNCIPE, Adriana, Ernst VAN DER MAATEN, Marieke VAN DER MAATEN-THEUNISSEN, Thomas STRUWE, Martin WILMKING a Juergen KREYLING, 2016. Low resistance but high resilience in growth of a major deciduous

forest tree (*Fagus sylvatica* L.) in response to late spring frost in southern Germany. *Trees - Structure and Function* [online]. **31**(2), 743–751. ISSN 09311890. Dostupné z: doi:10.1007/s00468-016-1505-3

R CORE TEAM, 2023. *A language and environment for statistical computing*. 2023. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.

RATHGEBER, Cyrille B.K. a Patrick FONTI, 2022. The early arrival of spring doesn't boost annual tree growth. *Nature* [online]. **608**(7923), 473–474. ISSN 14764687. Dostupné z: doi:10.1038/d41586-022-02107-x

ŠIMŮNEK, Václav, Zdeněk VACEK, Stanislav VACEK, Ivo KRÁLÍČEK a Karel VANČURA, 2019. Growth variability of European beech (*Fagus sylvatica* L.) natural forests: Dendroclimatic study from Krkonoše National Park. *Central European Forestry Journal* [online]. **65**(2), 92–102. ISSN 24540358. Dostupné z: doi:10.2478/forj-2019-0010

ŠIMŮNEK, Václav, Zdeněk VACEK, Stanislav VACEK, Francesco RIPULLONE, Vojtěch HÁJEK a Giuseppe D'ANDREA, 2021. Tree rings of european beech (*Fagus sylvatica* l.) indicate the relationship with solar cycles during climate change in central and southern europe. *Forests* [online]. **12**(3), 1–22. ISSN 19994907. Dostupné z: doi:10.3390/f12030259

THOM, Dominik, Christian AMMER, Peter ANNIGHÖFER, Réka ASZALÓS, Sebastian DITTRICH, Jonas HAGGE, William S. KEETON, Bence KOVACS, Ole KRAUTKRÄMER, Jörg MÜLLER, Goddert VON OHEIMB a Rupert SEIDL, 2023. Regeneration in European beech forests after drought: the effects of microclimate, deadwood and browsing. *European Journal of Forest Research* [online]. **142**(2), 259–273. ISSN 16124677. Dostupné z: doi:10.1007/s10342-022-01520-1

TOÏGO, Maude, Gaël LEDOUX, Soline MARTIN-BLANGY, Lana COSTE a Xavier MORIN, 2021. Mixture effect on radial stem and shoot growth differs and varies with temperature. *Forest Ecology and Management* [online]. **488**(July 2020). ISSN 03781127. Dostupné z: doi:10.1016/j.foreco.2021.119046

TOMÁŠKOVÁ, Ivana a Jiří KUBÁSEK, 2016. *Fyziologie lesních dřevin I. - Fyziologie, produkce a stresy rostlin*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. ISBN 978-80-213-2608-8.

TOMST, 2019. *D1-Point Dendrometer-handbook* [online] [vid. 2024-03-10]. Dostupné z: www.tomst.com

TROUILLIER, Mario, Marieke VAN DER MAATEN-THEUNISSEN, Tobias SCHARNWEBER, David WÜRTH, Andreas BURGER, Martin SCHNITTLER a Martin WILMKING, 2019. Size matters—a comparison of three methods to assess age- and size-dependent climate sensitivity of trees. *Trees - Structure and Function* [online]. **33**(1), 183–192. ISSN 09311890. Dostupné z: doi:10.1007/s00468-018-1767-z

ÚRADNÍČEK, Luboš a Petr MADĚRA, 2001. *Dřeviny České republiky*. B.m.: Písek : Matices Lesnická. ISBN 80-86271-09-9.

ÚSTAV PRO HOSPODÁŘSKOU ÚPRAVU LESŮ BRANDÝS NAD LABEM, [b.r.]. *Výstupy OPRL – Přehled PLO – interaktivní mapy* [online] [vid. 2024-04-02]. Dostupné z: <https://www.uhul.cz/portfolio/vystupy-oprl/>

ÚSTAV PRO HOSPODÁŘSKOU ÚPRAVU LESŮ BRANDÝS NAD LABEM - POBOČKA JABLONEC NAD NISOU, 2020a. *Oblastní plán rozvoje lesů, Přírodní*

lesní oblast 21 – Jizerské hory a Ještěd, Analýza stavu a vývoje.

ÚSTAV PRO HOSPODÁŘSKOU ÚPRAVU LESŮ BRANDÝS NAD LABEM
- POBOČKA JABLONEC NAD NISOU, 2020b. *Oblastní plán rozvoje lesů, Přírodní
lesní oblast 21 – Jizerské hory a Ještěd, Všeobecné údaje.*

VACEK, Zdeněk, Anna PROKŮPKOVÁ, Stanislav VACEK, Jan CUKOR,
Lukáš BÍLEK, Josef GALLO a Daniel BULUŠEK, 2020. Silviculture as a tool to support
stability and diversity of forests under climate change: Study from Krkonoše Mountains.
Central European Forestry Journal [online]. **66**(2), 116–129. ISSN 24540358. Dostupné
z: doi:10.2478/forj-2020-0009

VAJSKEBR, Václav (ČHMÚ), 2024. *Data z meteorologických stanic - Jizerské
hory 2023.* [osobní komunikace, elektronická pošta]

WEIGEL, Robert, Banzragch BAT-ENEREL, Choimaa DULAMSUREN, Lena
MUFFLER, Greta WEITHMANN a Christoph LEUSCHNER, 2023. Summer drought
exposure, stand structure, and soil properties jointly control the growth of European beech
along a steep precipitation gradient in northern Germany. *Global Change Biology*
[online]. **29**(3), 763–779. ISSN 13652486. Dostupné z: doi:10.1111/gcb.16506

WEIGEL, Robert, Lena MUFFLER, Marcin KLISZ, Juergen KREYLING,
Marieke VAN DER MAATEN-THEUNISSEN, Martin WILMKING a Ernst VAN DER
MAATEN, 2018. Winter matters: Sensitivity to winter climate and cold events increases
towards the cold distribution margin of European beech (*Fagus sylvatica* L.). *Journal of
Biogeography* [online]. **45**(12), 2779–2790. ISSN 13652699. Dostupné
z: doi:10.1111/jbi.13444

WEITHMANN, Greta, Roman M LINK, Bat Enerel BANZRAGCH, Laura
WÜRZBERG, Christoph LEUSCHNER a Bernhard SCHULDT, 2022. Soil water
availability and branch age explain variability in xylem safety of European beech in
Central Europe. *Oecologia* [online]. **198**(3), 629–644. ISSN 14321939. Dostupné
z: doi:10.1007/s00442-022-05124-9

WORTEMANN, Rémi, Stéphane HERBETTE, Têt Sévérien BARIGAH, Boris
FUMANAL, Ricardo ALIA, Alexis DUCOUSSO, Dusan GOMORY, Patricia
ROECKEL-DREVET a Hervé COCHARD, 2011. Genotypic variability and phenotypic
plasticity of cavitation resistance in *Fagus sylvatica* L. across Europe. *Tree Physiology*
[online]. **31**(11), 1175–1182. ISSN 0829318X. Dostupné z: doi:10.1093/treephys/tp101

ZOHNER, Constantin M. a Susanne S. RENNER, 2019. Ongoing seasonally
uneven climate warming leads to earlier autumn growth cessation in deciduous trees.
Oecologia [online]. **189**(2), 549–561. ISSN 00298549. Dostupné z: doi:10.1007/s00442-
019-04339-7

ZWEIFEL, R., L. ZIMMERMANN a D. M. NEWBERY, 2005. Modeling tree
water deficit from microclimate: An approach to quantifying drought stress. *Tree
Physiology* [online]. **25**(2), 147–156. ISSN 0829318X. Dostupné
z: doi:10.1093/treephys/25.2.147

ZWEIFEL, Roman, 2016. *Radial stem variations - a source of tree physiological
information not fully exploited yet* [online]. 1. únor 2016. B.m.: John Wiley & Sons, Ltd.
ISSN 13653040. Dostupné z: doi:10.1111/pce.12613

ZWEIFEL, Roman, Matthias HAENI, Nina BUCHMANN a Werner EUGSTER,
2016. Are trees able to grow in periods of stem shrinkage? *New Phytologist* [online].

9 Zdroje obrázků

Obrázek 1 Areál rozšíření buku lesního (*Fagus sylvatica*): HOUSTON DURRANT, T., D. DE RIGO a G. CAUDULLO, 2016. *Fagus sylvatica* and other beeches in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: *European Atlas of Forest Tree Species*. Luxembourg: Office of the European Union, s. 94–95. ISBN 978-92-76-17290-1. (Houston Durrant et al. 2016)

Obrázek 2 Analýza výškopisu oblasti Jizerských hor: ČÚZK, 2023. Analýzy výškopisu. *Český úřad zeměměřický a katastrální* [online] [cit. 2024-03-25]. Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/av/>

Obrázek 3 Mapa přírodních lesních oblastí: MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ ČR, 2020. *Portál AgriGIS, Prostorová data resortu zemědělství, Hranice PLO* [online] [cit. 2024-04-03]. Dostupné z: <https://hub.agrigis.cz/apps/e7b920ead97d48459e683461e5307a9e/explore>

Obrázek 4 Mapa průměrných ročních teplot v roce 2021 s výřezy za rok 2022 a 2023:

Průměrná roční teplota vzduchu v roce 2021. Online. In: ČHMÚ. Český hydrometeorologický ústav. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/charakteristiky_klimatu/img/T_2021.gif. [cit. 2024-04-04].

Průměrná roční teplota vzduchu v roce 2022. Online. In: ČHMÚ. Český hydrometeorologický ústav. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/charakteristiky_klimatu/img/T_2022.gif. [cit. 2024-04-04].

Průměrná roční teplota vzduchu v roce 2023. Online. In: ČHMÚ. Český hydrometeorologický ústav. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/charakteristiky_klimatu/img/T_2023.gif. [cit. 2024-04-04].

Obrázek 5 Mapa úhrnu srážek v orce 2021 s výřezy za rok 2022 a 2023:

Úhrn srážek v roce 2021. Online. In: ČHMÚ. Český hydrometeorologický ústav. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/charakteristiky_klimatu/img/SRA_2021.gif. [cit. 2024-04-04].

Úhrn srážek v roce 2022. Online. In: ČHMÚ. Český hydrometeorologický ústav. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/charakteristiky_klimatu/img/SRA_2022.gif. [cit. 2024-04-04].

Úhrn srážek v roce 2023. Online. In: ČHMÚ. Český hydrometeorologický ústav. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/charakteristiky_klimatu/img/SRA_2023.gif. [cit. 2024-04-04].

Obrázek 6 Výřez mapy se zobrazením klimatických oblastí: VOŽENÍLEK, V., KVĚTOŇ, V. Klimatické oblasti Česka: klasifikace podle Quitta za období 1961–2000. Edice M·A·P·S· (Map and Atlas Products Series), Num. 3. Soubor: 1 mapový list, měřítko 1 : 500 000 a 1 : 2 000 000, formát 1 000×700 mm, 1 brožura, 20 s. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2011. ISBN 978-80-86690-89-6.

Obrázek 7 Výřez mapy s vyznačením oblastí zahrnující výzkumné plochy: CENIA, 2021. *Národní geoportál INSPIRE* [online] [cit. 2024-03-25]. Dostupné z: <https://geoportal.gov.cz/web/guest/map;jsessionid=75B49460F2DB56778394F7C3CC11D39/>

Obrázek 8 Výřez mapy s vyznačením oblastí a výzkumných ploch: CENIA, 2021. *Národní geoportál INSPIRE* [online] [cit. 2024-03-25]. Dostupné z: <https://geoportal.gov.cz/web/guest/map;jsessionid=75B49460F2DB56778394F7C3CC11D39/>

10 Seznam použitých zkratk

ČR... Česká republika

TWD... tree water deficit, smrštění

GRO... růst

ČÚZK... Český úřad zeměměřičský a katastrální

ČHMÚ... Český hydrometeorologický ústav

PLO... přírodní lesní oblast

NPR... Národní přírodní rezervace

11 Seznam obrázků, tabulek, grafů

Obrázek 1 Areál rozšíření buku lesního (<i>Fagus sylvatica</i>), Zdroj: European Atlas of Forest Tree Species.....	14
Obrázek 2 Analýza výškopisu oblasti Jizerských hor, Zdroj: Analýzy výškopisu ČÚZK	20
Obrázek 3 Mapa přírodních lesních oblastí, Zdroj: Portál AgriGIS.....	21
Obrázek 4 Mapa průměrných ročních teplot v roce 2021 s výřezy pro oblast zájmu za rok 2022 a 2023, Zdroj: ČHMÚ.....	22
Obrázek 5 Mapa úhrnu srážek v roce 2021 s výřezy pro sledovanou oblast za rok 2022 a 2023, Zdroj: ČHMÚ	23
Obrázek 6 Výřez mapy se zobrazením klimatických oblastí, Zdroj: Klimatické oblasti Česka: klasifikace podle Quitta za období 1961–2000.....	24
Obrázek 7 Výřez mapy s vyznačením oblastí zahrnující výzkumné plochy, zdroj: Národní geo portál INSPIRE	25
Obrázek 8 Výřez mapy s vyznačením oblastí a výzkumných ploch, zdroj: Národní geo portál INSPIRE	25
Obrázek 9 Automatický dendrometr.....	26
Obrázek 10 Označení měřených stromů.....	26
Obrázek 11 Výzkumná plocha (čistě bukový porost).....	26
Obrázek 12 Výzkumná plocha (příměs smrku ztepilého)	26
Obrázek 13 Data před čištěním (PLOTeR).....	27
Obrázek 14 Grafy začátku a konce vegetační doby – po provedených úpravách (PLOTeR)	28
Obrázek 15 Grafy začátku a konce vegetačního období – před úpravami (PLOTeR) ...	28
Obrázek 16 Vyčištěná data bez poklesů s počátečním bodem 0 (PLOTeR)	28
Tabulka 1 Charakteristiky oblastí: Klimatické oblasti Česka: klasifikace podle Quitta za období 1961–2000	24
Tabulka 2 Základní statistiky ročního přírůstu průměru kmene.....	30
Tabulka 3 Základní statistiky vegetační sezóny	32
Tabulka 4 Délka vegetační sezóny v jednotlivých rocích a její rozdíl	34
Tabulka 5 Základní statistiky TWD.....	35
Tabulka 6 Detailní informace o jednotlivých měřených stromech.....	50

Tabulka 7 Detailní výsledky Spearmanovy korelace pro rok 2021	51
Tabulka 8 Korelační matice pro rok 2022	51
Tabulka 9 Korelační matice pro rok 2021	51
Tabulka 10 Průměrný přírůst v jednotlivých měsících	51
Tabulka 11 Úhrn srážek v jednotlivých měsících.....	51
Tabulka 12 Průměrné teploty v jednotlivých měsících	51
Tabulka 13 Detailní výsledky Spearmanovy korelace pro rok 2022.....	52
Graf 1 Roční přírůst poloměru kmene [μm]	29
Graf 2 Datum s maximálním denním tloušťkovým přírůstem	30
Graf 3 Průměrné měsíční teploty v roce 2022	31
Graf 4 Průměrné měsíční teploty v roce 2021	31
Graf 5 Měsíční úhrn srážek v roce 2022.....	32
Graf 6 Měsíční úhrn srážek v roce 2021	32
Graf 7 Vegetační sezóna	33
Graf 8 Začátek vegetační sezóny (doy)	33
Graf 9 Konec vegetační sezóny (doy).....	33
Graf 10 Začátek, konec a délka vegetační sezóny u jednotlivých stromů v roce 2021 ..	34
Graf 11 Začátek, konec a délka vegetační sezóny u jednotlivých stromů v roce 2022 ..	34
Graf 12 TWD [μm]	35
Graf 13 Zobrazení TWD v roce 2022	36
Graf 14 Zobrazení TWD v roce 2021	36

12 Samostatné přílohy

Tabulka 6 Detailní informace o jednotlivých měřených stromech

plot_id	Plot	species	pre-id	id	.id	tree no.	DBH	height	height crown	country	location	altitude_m
1962	JIZ_B	fagus	9220	1589	92201589	13	1006	29,0	7,2	Czech Republic	Jizera Mountains	700
1962	JIZ_B	fagus	9220	1140	92201140	14	602	29,0	3,0	Czech Republic	Jizera Mountains	700
1962	JIZ_B	fagus	9220	1540	92201540	7	722	28,3	9,5	Czech Republic	Jizera Mountains	700
1962	JIZ_B	fagus	9220	1537	92201537	8	659	28,4	7,0	Czech Republic	Jizera Mountains	700
1962	JIZ_B	fagus	9220	1535	92201535	23	768			Czech Republic	Jizera Mountains	700
1750	JIZ_6005	fagus	9220	1548	92201548	2	295	28,3	14,8	Czech Republic	Jizera Mountains	594
1750	JIZ_6005	fagus	9220	1542	92201542	10	476	35,8	15,8	Czech Republic	Jizera Mountains	594
1750	JIZ_6005	fagus	9220	1547	92201547	8	430	35,3	18,6	Czech Republic	Jizera Mountains	594
1750	JIZ_6005	fagus	9220	1541	92201541	3	285	30,9	19,9	Czech Republic	Jizera Mountains	594
1750	JIZ_6005	fagus	9220	1546	92201546	30	594	40,1	11,4	Czech Republic	Jizera Mountains	594
1750	JIZ_6005	pinus	9220	1532	92201532	14	475	29,7	9,3	Czech Republic	Jizera Mountains	594
1957	JIZ_E	fagus	9220	1574	92201574	14	601	32,2	13,9	Czech Republic	Jizera Mountains	691
1957	JIZ_E	fagus	9220	1573	92201573	11	604	31,8	7,0	Czech Republic	Jizera Mountains	691
1957	JIZ_E	fagus	9220	1579	92201579	20	485	32,5	10,4	Czech Republic	Jizera Mountains	691
1957	JIZ_E	fagus	9220	1578	92201578	10	708	32,2	7,8	Czech Republic	Jizera Mountains	691
1957	JIZ_E	fagus	9220	1580	92201580	4	799	37,1	15,5	Czech Republic	Jizera Mountains	691
1748	JIZ_6003	fagus	9220	1577	92201577	3	288	24,5	16,0	Czech Republic	Jizera Mountains	615
1748	JIZ_6003	fagus	9220	1575	92201575	2	281	23,6	13,7	Czech Republic	Jizera Mountains	615
1748	JIZ_6003	fagus	9220	1576	92201576	6	1159	33,8	7,3	Czech Republic	Jizera Mountains	615
1748	JIZ_6003	fagus	9220	1572	92201572	32	481	28,4	10,0	Czech Republic	Jizera Mountains	615
1748	JIZ_6003	fagus	9220	1571	92201571	24	826	34,7	12,4	Czech Republic	Jizera Mountains	615
1759	JIZ_6014	fagus	9220	1522	92201522	4	527	29,4	8,2	Czech Republic	Jizera Mountains	777
1759	JIZ_6014	fagus	9220	1538	92201538	24	1044	32,3	8,7	Czech Republic	Jizera Mountains	777
1759	JIZ_6014	fagus	9220	1159	92201159	16	1228	32,4	10,0	Czech Republic	Jizera Mountains	777
1759	JIZ_6014	fagus	9220	1160	92201160	17	390	25,4	2,8	Czech Republic	Jizera Mountains	777
1759	JIZ_6014	fagus	9220	1158	92201158	10	327	27,4	7,3	Czech Republic	Jizera Mountains	777
1759	JIZ_6014	acer	9220	1156	92201156	11	350	24,9	2,5	Czech Republic	Jizera Mountains	777
1959	JIZ_G	fagus	9220	1530	92201530	11				Czech Republic	Jizera Mountains	720
1959	JIZ_G	fagus	9220	1139	92201139	5				Czech Republic	Jizera Mountains	720
1959	JIZ_G	fagus	9220	1524	92201524	14				Czech Republic	Jizera Mountains	720

Tabulka 12 Průměrné teploty v jednotlivých měsících

Průměrná teplota [°C]	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
2021	-4,3	-3,9	-1,9	0	5,9	14,2	14,3	11,5	10,2	5,9	1,3	-2,7
2022	-2,5	-1	-1,3	1,6	9	14,1	13,1	14,2	7,6	8,1	1,5	-2,3

Tabulka 11 Úhrn srážek v jednotlivých měsících

Úhrn srážek [mm]	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
2021	145	82	108	107	169	99	163	242	79	71	147	134
2022	154	211	13	116	67	83	81	116	177	43	84	82

Tabulka 10 Průměrný přírůst v jednotlivých měsících

Tloušťkový přírůst [μm]	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
2021	0	0	0	0	11,15	480,73	428,20	246,34	16,20	18,01	10,20	2,84
2022	0	0	0	0,06	328,66	616,44	429,32	123,10	43,95	9,57	12,90	8,70

Tabulka 9 Korelační matice pro rok 2021

Proměnná	Spearmanovy korelace; označ. korelace jsou významné na hlad. $p < 0.05$			
	Průměrný přírůst	TWD	Průměrná teplota	Úhrn srážek
Průměrný přírůst	1,000000	-0,543478	0,927036	0,121016
TWD	-0,543478	1,000000	-0,381511	0,113897
Průměrná teplota	0,927036	-0,381511	1,000000	0,161121
Úhrn srážek	0,121016	0,113897	0,161121	1,000000

Tabulka 7 Detailní výsledky Spearmanovy korelace pro rok 2021

Dvojice proměnných	Spearmanovy korelace pro rok 2021 hladina významnosti $p < 0.05$			
	Platných	Spearman	t(N-2)	p-hodnota
Průměrný přírůst & TWd	12	-0,543478	-2,04739	0,067804
Průměrný přírůst & Průměrná teplota	12	0,927036	7,81800	0,000014
Průměrný přírůst & Úhrn srážek	12	0,121016	0,38552	0,707927
Průměrný přírůst & Délka vegetační sezóny	12	0,239310	0,77941	0,453787
Průměrný přírůst & Začátek vegetační sezóny (doy)	12	-0,330974	-1,10914	0,293329
Průměrný přírůst & Konec vegetační sezóny (doy)	12	-0,039221	-0,12412	0,903678

Tabulka 8 Korelační matice pro rok 2022

Proměnná	Spearmanovy korelace; označ. korelace jsou významné na hlad. $p < 0.05$			
	Průměrný přírůst	TWD	Průměrná teplota	Úhrn srážek
Průměrný přírůst	1,000000	-0,432624	0,859176	-0,215171
TWD	-0,432624	1,000000	-0,197188	0,292773
Průměrná teplota	0,859176	-0,197188	1,000000	-0,154116
Úhrn srážek	-0,215171	0,292773	-0,154116	1,000000

Tabulka 13 Detailní výsledky Spearmanovy korelace pro rok 2022

Dvojice proměnných	Spearmanovy korelace pro rok 2022 hladina významnosti $p < 0.05$			
	Platných	Spearman	t(N-2)	p-hodnota
Průměrný přírůst & TWD	12	-0,432624	-1,51743	0,160116
Průměrný přírůst & Průměrná teplota	12	0,859176	5,30987	0,000343
Průměrný přírůst & Úhm srážek	12	-0,215171	-0,69675	0,501834
Průměrný přírůst & Délka vegetační sezóny	12	-0,469142	-1,67990	0,123898
Průměrný přírůst & Začátek vegetační sezóny (doy)	12	0,124334	0,39625	0,700241
Průměrný přírůst & Konec vegetační sezóny (doy)	12	-0,568908	-2,18755	0,053557