

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta lesnická a dřevařská**

**Katedra ekologie lesa**



**Fakulta lesnická  
a dřevařská**

**Věk a přírůst starých hospodářských lesů**

**Bakalářská práce**

**Albert Jeroným Dušek**

**Ing. Vojtěch Čada, Ph.D.**

**2023/2024**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Albert Jeroným Dušek

Lesnictví

Ochrana a pěstování lesních ekosystémů

Název práce

**Věk a přírůst starých hospodářských lesů**

Název anglicky

**Age and increment of old production forests**

### Cíle práce

Prvním cílem práce bude shrnout dosavadní vědecké znalosti o faktorech ovlivňující vývoj lesů a věk, kterého stromy a porosty dosahují. V praktické části práce bude cílem zjistit, jaká je věková struktura a historická dynamika přírůstu vybraných starých porostů v hospodářských lesích ČR a pokusit se tak popsat jejich minulý vývoj.

### Metodika

V rámci prvního cíle bude zpracován rozbor literatury (literární rešerše) s důrazem na aktuální domácí i zahraniční vědeckou literaturu. V rámci druhého cíle budou změřeny stromy na výzkumných plochách ve vybraných starých porostech hospodářských lesů ČR a určena jejich tloušťka, výška a věk (pomocí letokruhové analýzy). Práce bude sestávat z terénního odběru vzorků pro letokruhové analýzy, přípravy vzorků pro měření a měření šířek letokruhů v laboratoři. Práce bude součástí většího projektu na Katedře ekologie lesa.

Harmonogram zpracování:

Květen 2023 — Zadání BP

Léto/podzim 2023 — Studium literatury, terénní a laboratorní práce

Podzim 2023 — Zpracování dat

Prosinec 2023 — Odevzdání osnovy práce a kostry literárních zdrojů školiteli

Zima 2023/2024 — Příprava textu BP

Březen 2024 — Konzultace finální podoby práce se školitelem

Duben 2024 — Předložení práce

**Doporučený rozsah práce**

30-40 stran

**Klíčová slova**

Disturbance, dendrochronologie, *Fagus sylvatica*, dlouhověkost.

---

**Doporučené zdroje informací**

- Firm, D., Nagel, T.A. and Diaci, J., 2009. Disturbance history and dynamics of an old-growth mixed species mountain forest in the Slovenian Alps. *Forest Ecology and Management*, 257(9), pp.1893-1901.
- Frankovič, M., Janda, P., Mikoláš, M., Čada, V., Kozák, D., Pettit, J.L., Nagel, T.A., Buechling, A., Matula, R., Trotsiuk, V. and Gloor, R., 2021. Natural dynamics of temperate mountain beech-dominated primary forests in Central Europe. *Forest Ecology and Management*, 479, p.118522.
- Fraver, S., White, A.S. and Seymour, R.S., 2009. Natural disturbance in an old-growth landscape of northern Maine, USA. *Journal of ecology*, 97(2), pp.289-298.
- Frelich, L.E., 2002. *Forest dynamics and disturbance regimes: studies from temperate evergreen-deciduous forests*. Cambridge University Press.
- Nagel, T.A., Mikac, S., Dolinar, M., Klopčič, M., Keren, S., Svoboda, M., Diaci, J., Boncina, A. and Paulić, V., 2017. The natural disturbance regime in forests of the Dinaric Mountains: A synthesis of evidence. *Forest Ecology and Management*, 388, pp.29-42.
- Nagel, T.A., Svoboda, M. and Kobal, M., 2014. Disturbance, life history traits, and dynamics in an old-growth forest landscape of southeastern Europe. *Ecological Applications*, 24(4), pp.663-679.
- Panayotov, M., Gogushev, G., Tsavkov, E., Vasileva, P., Tsvetanov, N., Kulakowski, D. and Bebi, P., 2017. Abiotic disturbances in Bulgarian mountain coniferous forests—an overview. *Forest ecology and management*, 388, pp.13-28.
- Schelhaas, M.J., Nabuurs, G.J. and Schuck, A., 2003. Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. *Global Change Biology*, 9(11), pp.1620-1633.
- Speer, J.H., 2010. *Fundamentals of tree-ring research*. University of Arizona Press.
- Turner, M.G., 2010. Disturbance and landscape dynamics in a changing world. *Ecology*, 91(10), pp.2833-2849.
- 

**Předběžný termín obhajoby**

2023/24 LS – FLD

**Vedoucí práce**

Ing. Vojtěch Čada, 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, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 30. 03. 2024

---

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Věk a přírůst starých hospodářských lesů 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 toho to 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 verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 5. dubna 2024

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Vojtěchu Čadovi, Ph.D. a celé své rodině za podporu a trpělivost při psaní této bakalářské práce.

# Věk a přírůst starých hospodářských lesů

## Souhrn

Tato bakalářská práce se zaměřuje na posouzení věku a přírůstu starých hospodářských lesů se zaměřením na Buk lesní (*Fagus sylvatica* L.). Zahrnuje shrnutí dosavadního poznání různých faktorů ovlivňujících vývoj a dosažený věk stromů. Ve své práci se zabývám vyhodnocením vlastních měření stromů provedených ve vybraných výzkumných lokalitách, které dávám do souvislosti s publikovanými studiemi. Měření proběhlo na čtyřech místech v Brdech a Křivoklátsku ve formě vnitřních (1000 m<sup>2</sup>) a vnějších (2000 m<sup>2</sup>) ploch. Následná data byly dendrochronologicky zpracována a určena věková struktura jednotlivých porostů, která se na jednotlivých plochách držela ve většině v intervalu 20 let. Dále byla vypracována křivka průměrných přírůstů a popsány možné disturbance v čase, které souviseli hlavně s obdobími sucha. Efekt znečištění ovzduší neměl na přírůsty velký vliv.

**Klíčová slova:** disturbance, dendrochronologie, *Fagus sylvatica*, dlouhověkost

# Age and increment of old production forests

## Summary

This bachelor thesis focuses on the assessment of the age and growth of old growth forests with a focus on Beech (*Fagus sylvatica* L.). It includes a summary of the existing knowledge of the various factors influencing the development and attained age of trees. In my thesis, I evaluate my own measurements of trees made in selected research sites, which I relate to published studies. Measurements were carried out at four sites in Brdy and Křivoklát in the form of internal (1000 m<sup>2</sup>) and external (2000 m<sup>2</sup>) plots. Subsequent data were dendrochronologically processed and the age structure of each stand was determined. In addition, a curve of average increments was drawn and possible disturbances over time, mainly related to drought periods, were described. The effect of air pollution did not have a major influence on increments.

**Keywords:** disturbance, dendrochronology, *Fagus sylvatica*, longevity

# Obsah

Úvod .....	9
Cíl práce .....	10
Charakteristiky pozorované dřeviny – Buk lesní .....	11
1.1    Obecná charakteristika .....	11
1.2    Vývoj bukových porostů .....	12
1.3    Rozšíření .....	12
1.4    Disturbance a dynamika .....	13
1.5    Dendrochronologie.....	14
1.6    Přirozená obnova .....	15
1.7    Faktory ovlivňující vývoj a dosažený věk .....	17
1.7.1    Teplota .....	18
1.7.2    Voda .....	19
1.7.3    Oxid uhličitý .....	20
1.7.4    Znečištění ovzduší .....	21
1.7.5    Fosfor .....	23
Metodika.....	24
1.8    Výběr výzkumných lokalit .....	24
1.8.1    Lokalita L07 .....	25
1.8.2    Lokalita L06 .....	25
1.8.3    Lokalita L60 .....	25
1.8.4    Lokalita L05 .....	25
1.9    Terénní měření.....	26
Výsledky a diskuze .....	28
Závěr .....	38
Literatura a použité zdroje .....	39



## Úvod

Poznávání tajů přírody patří od nepaměti k aktivitám lidstva. Snaha zjistit pomocí historických záznamů zákonitosti, určující budoucí vývoj, dává lepší možnosti se připravit na různé změny a hrozby v budoucnu. Lidstvo nežije v izolovaném prostředí, je součástí přírodního celku a zachování obnovitelného přírodního prostředí pro přežití budoucích generací je zásadní.

Lesy jsou nezastupitelným prvkem životního prostředí. Zkoumáním zákonitostí v přírodě, vlivů prostředí docházíme ke zjištěním, které faktory ovlivňují pozitivně a negativně zdraví a věk lesů. Díky vědeckým metodám jako je dendrochronologie jsme schopni velmi přesně zjistit historické přírůsty stromů a dávat je do souvislosti s ději v přírodě. Zkoumáním korelací těchto dějů lépe porozumíme pozitivním a negativním vlivům a to nám umožní efektivněji plánovat činnosti v lesním hospodářství.

## **Cíl práce**

Prvním cílem práce bude shrnout dosavadní vědecké znalosti o faktorech ovlivňující vývoj lesů a věk, kterého stromy a porosty dosahují. V praktické části práce bude cílem zjistit, jaká je věková struktura a historická dynamika přírůstu vybraných starých porostů v hospodářských lesích ČR a pokusit se tak popsat jejich minulý vývoj.

# Charakteristiky pozorované dřeviny – Buk lesní

## 1.1 Obecná charakteristika

Buk lesní (*Fagus sylvatica* L.) je nejrozšířeněji pěstovaná listnatá dřevina v České republice. Zastupuje téměř 10 % lesní půdy ČR z celkového lesního fondu. (Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2022, 2023).

Buk lesní je statný, až 40 metrů vysoký strom s kulovitou, bohatě větvenou korunou a hladkou stříbrošedou borkou. Hlavní kořen je zpravidla relativně krátký a větvený v soustavu silných bočních kořenů (Hejný, 2003).

Je to vhodný druh pro ochranu půdy, díky rozsáhlým mělkým a středně hlubokým kořenům a vytváří velké množství listového opadu, cca 900 g/m<sup>2</sup> za rok. Přestože buky a bukové lesy vytvářejí velké listové plochy, transpirace je za optimálních podmínek jen mírná a buk nelze považovat za velké spotřebitele vody (VON WÜHLISCH, 2008).

Listy má celokrajné, charakteristicky zvlněné o velikosti 5 až 10 centimetrů s eliptickým tvarem, zašpičatělé na vrcholu a zaokrouhlené na bázi s krátkým řapíkem. Líc listů je lysý, na rubu bývají lehce pýřité a na okrajích pýřité dlouze. Pupeny jsou rozmístěny střídavě, štíhle špičaté, dlouhé 10-25 milimetrů skořicové barvy a s pýřím na špičce. Semenačky mají děložní listy ledvinového tvaru, zcela odlišné od normálních.

Buk je jednodomá dřevina opylující se větrem. Samčí květy rostou u paždí listů v dlouhých stopkatých svazečcích, kde se ve zvonkovitém okvětí nachází 6 až 10 tyčinek. Samičí květy se po dvou nacházejí v červenavé čišce, která je zevně porostlá dlouze chlupatými, později dřevnatými výrůstky. Plody buku jsou trojboké nažky neboli bukvice. Mají leskle hnědou barvu a v dřevnaté čišce, která je dlouhá přibližně 20 milimetrů a porostlá měkkými zdřevnatělými ostny, jsou uzavřeny po dvou. Následně se čiška otevírá čtyřmi chlopněmi (SLAVÍK 1990).

Semena lze skladovat přibližně pět let. Během skladování však klíčivost semen značně klesá. Dormance semen je silná, ale lze ji přerušit, pokud se semena uchovají při teplotě 3 °C po dobu nejméně šesti týdnů (VON WUEHLISCH 2008).

Semenné roky se vyskytují zpravidla v období jednou za 5 až 10 let, ovšem za nepříznivých podmínek i v delších intervalech. Buk se může dožít i 400 let, v mýtním hospodaření se nicméně provádí kácení ve věku od 80 do 120 let. Solitérní buky začínají plodit od 20 až 40 let, v porostu později a to od 50 až 80 let (SLAVÍK 1990).

Buk lesní je poměrně odolný vůči většině chorob, ani netrpí masivním odumíráním porostů v důsledku biotických škůdců. Největší škody způsobují pozdní jarní mrazy, které často poškozují mladé stromky nebo květy, které se objevují současně s rašením listů. Intenzivní sluneční záření může poškodit povrch kmene. Mezi škůdce patří mšice, jež mohou napadat kůru, halkotvorný dvoukřídlý hmyz *Mikiola fagi* a houba *Nectria ditissima*, která způsobuje odumírání kůry.

Buk je velmi odolný vůči zastínění. Může se přirozeně obnovovat v souvislých lesních porostech. Tam, kde se vyskytuje jelení nebo srnčí zvěř, však bukové sazenice okusuje a obnovní plochy by měly být oploceny. Na příznivých stanovištích je buk široce rozšířen, protože díky efektivnímu využití světla překoná ostatní dřeviny. Jakmile se buk stane

dominantním druhem, vytvoří se v podrostu nízká hladina světla, kde mohou semenáčky buku přežívat lépe než jiné druhy (VON WUEHLISCH 2008).

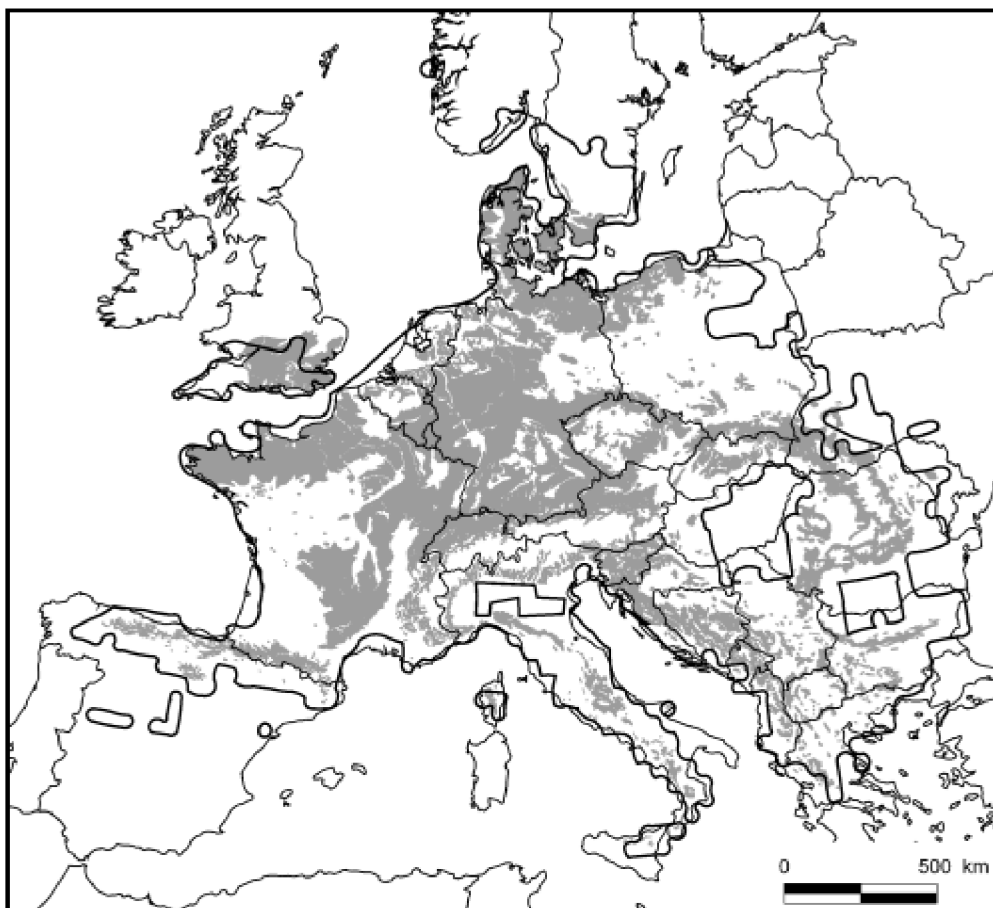
## 1.2 Vývoj bukových porostů

Mezi domácimi listnatými dřevinami je buk na prvním místě, co se týče objemu produkce. Je to stinná dřevina s pomalým výškovým vývojem v mládí. Až kolem 45 let nastává kulminace běžného výškového přírůstu. Běžný objemový přírůst obvykle kulminuje mezi 75 a 85 roky. Průměrný celkový přírůst kulminuje v průměru během 150 let. Na prováděná výchovná opatření reaguje buk až do vysokého věku spontánně a silně. Buk má schopnost udržovat svoji vhodnou porostní skupinu autoregulací. Proto bychom v mlazinách neměli intenzivně výchovně zasahovat. Je vhodné, aby zápoj porostu nebyl pod zakmeněním 0,9. Zásahy v mlazinách bývají prováděny celoplošně individuálním způsobem. Rovněž se používá metoda neceloplošné výchovy v pásmech nebo kruzích. Většinou se provádí záporný výběr, a to zdravotně, tvarově a druhově nevhodných jedinců. Je nutno zamezit vytváření takzvaných vidlic při vývoji mlazin. Je žádoucí, aby buk od mládí rostl v plném zápoji. Buk, který není v zápoji nebo roste v rozvolněných mlazinách je košatý, zavětvený a vytváří vidlice. Z tohoto důvodu se stromy prořezávají negativním výběrem. Prořezáváme tvarově a zdravotně nevhodné buky, a to v horní a střední vrstvě. Do podúrovně nezasahujeme, protože díky autoredukci je to zbytečné (Vacek, 2022).

## 1.3 Rozšíření

Rozšířen je po téměř celé Evropě, od Apenin k západu Ukrajiny a od severu Dánska až k Sicílii. ČR hlavně v mezofytiku a oreofytiku, s malým zastoupením i v termofytiku. Vyskytuje se zhruba od 300 do 1000 m n. m., optimum je 500 až 800 m n. m. při ročních srážkách 800-1000 mm. V nížinách, kvůli nedostatku srážek, většinou chybí. Dává přednost čerstvě vlhkým, provzdušněným, humózním a minerálně bohatým půdám. Nesnáší záplavy, zamokřené, silně oglejené a ulehlé půdy. V mrazových kotlinách, suchých a chudých písčitých půdách neroste. Nejkratší vegetační doba musí být alespoň pětíměsíční (SLAVÍK 1990).

V minulosti se po poslední době ledové pomalu šířil z refugií ve středním Podunají. Zejména v mladším atlantiku (4000 let př. n. l.) začal jeho areál rozšíření nabývat definitivní podoby. Jeho dominanci v porostech začal měnit až člověk koncem mladšího subatlantiku (17. století) vysazováním smrku ve středních a vyšších polohách a borovici s modřínem v polohách nižších (SLAVÍK 1990).



Obr. 1: Tučná černá čára vyznačuje přirozené rozšíření buku lesního. Šedá barva označuje oblasti, kde by měl být buk dominantním druhem (GIESECKE 2007)

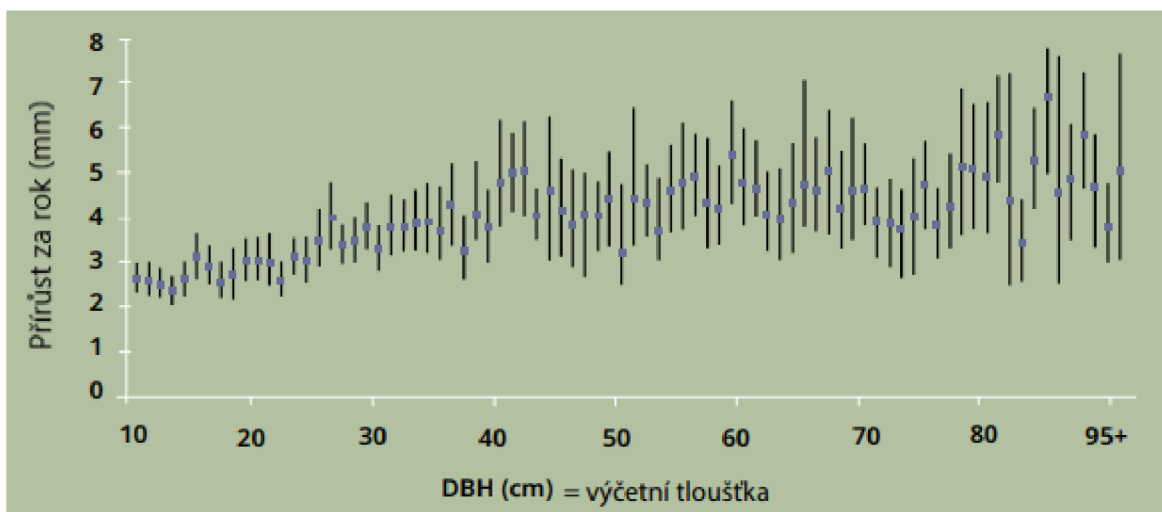
## 1.4 Disturbance a dynamika

Lesní ekosystémy jsou formovány přírodními podmínkami lokality, a zároveň tyto lokality ovlivňují strukturu a druhové složení lesních ekosystémů. Klíčovými faktory ovlivňujícími tyto ekosystémy jsou disturbance, což jsou události nedílně spojené s vývojem lesů a vytvářejí nezbytné strukturální prvky. Disturbance jsou časově omezené události, které mění strukturu lesa a uvolňují zdroje pro jeho další vývoj. Přírodní disturbance, jako jsou vichřice, požáry, gradace hmyzu nebo extrémní sucho, obvykle vedou k odumření dominantních stromů v lese a vytvářejí nové strukturální prvky, nazývané biologické dědictví disturbance. Tato biologická dědictví jsou klíčová pro přežití a biodiverzitu lesního ekosystému, neboť poskytují životní prostor pro mnoho organismů. Přestože disturbance zpravidla způsobují zvýšenou mortalitu stromů, představují také jedinečnou příležitost pro mnoho lesních organismů, kteří nacházejí v těchto nových podmínkách vhodné životní prostředí. Celkově lze říci, že přírodní disturbance jsou neodmyslitelnou součástí vývoje lesních ekosystémů a mají klíčový vliv na jejich druhové složení a strukturu (Rotter, 2023).

V intenzivně obhospodařovaných ekosystémech, jako jsou lesy v Evropě, byla přirozená dynamika disturbance do značné míry eliminována a nepravidelný a nepředvídatelný výskyt disturbance byl nahrazen pravidelným režimem hospodaření spočívajícím v prořezávání, kácení a obnově porostů. Změna klimatu může mít vliv na disturbance v lese, a to buď přímo

ovlivněním četnosti a intenzity bouřek a suššími podmínkami podporujícími lesní požáry, nebo nepřímo povětrnostními podmínkami podporujícími napadení hmyzími škůdci. Dalším důvodem změny je skutečnost, že hospodaření v Evropě je nyní více orientováno na přirozený vývoj, napodobuje ho a je tolerantnější k přírodním disturbancím, než tomu bylo dříve. Lze tedy očekávat, že role přírodních disturbancí v budoucnu poroste (Schelhaas, 2003).

Vývoj buku od semene po starý a mohutný strom není rovnoměrný. Probíhá ve fázích, kdy určitá skupina stromů na dané ploše roste. Během tohoto procesu však každý rostoucí strom má stále k dispozici stejné množství místa. To vede k postupnému odumírání jedinců, kteří nedokážou zvládnout stres způsobený nedostatkem prostoru a omezeným přístupem ke slunečnímu záření a vodě, mezi dalšími faktory. Odumírání v kohortě probíhá během několika let a po němž se zbylé stromy výrazněji rostou (obr. 1), protože mají k dispozici nový volný prostor. Nyní je klíčové, jaký strom tento nový prostor nejlépe a nejrychleji využije. Z grafu je zřejmé, že tloušťka stromů postupně klesá (např. při 12–13 cm, 24 cm atd.), když probíhá vlna odumírání, a jak přeživší buky reagují na tuto situaci zvýšeným růstem ve světelných podmínkách, což se projevuje výrazným nárůstem šířky letokruhů při 16 cm, 26 cm atd (Rotter, 2023).



Obr. 2: Vývoj růstu buků v pralesovité bučině je zjevně ovlivněn vlnami samoregulace (Janík, 2018)

## 1.5 Dendrochronologie

Dendrochronologie je přírůstková datovací metoda. Stromy jako dlouhověké organismy uchovávají ve svých letokruzích (v sezónním klimatu) archiv minulých růstových podmínek. Tento archiv je však zakódován a určuje jej mnoho různých parametrů, jako jsou klimatické podmínky, konkurence, narušení, půdní vlastnosti nebo specifický růstový vzorec druhu. Při interpretaci údajů o šířce letokruhů je třeba mít na paměti všechny tyto ovlivňující faktory. Na rozdíl od stromů rostoucích na hranici svého rozšíření, kde se často stává limitujícím pouze jeden faktor (např. teplota na horské hranici lesa), jsou stromy rostoucí v lesích mírného pásma ovlivňovány komplexní souhrou různých klimatických a environmentálních parametrů (Scharnweber, 2011).

U většiny stromů se nové buňky objevují na vnějších okrajích rostlin během každé růstové sezóny. Buňky rostoucí na jaře bývají větší a mají tenčí stěny ve srovnání s buňkami rostoucími během pozdního léta. Důvodem jsou vyšší požadavky na zásobování vodou v rané růstové sezóně. Později v průběhu roku se buňky zmenšují a vyvíjejí se silnější stěny buněk. Z tohoto důvodu můžeme pozorovat jasnou linii mezi následnými ročními přírůstky dřeva. Počet růstových přírůstků – letokruhů nám podává informaci o stáří stromu.

Tvrdé opadavé stromy mívají větší variabilitu buněčné struktury. Tvrdé dřeviny jsou rozděleny na prstencové – porézní typy – jarní cévy jsou u nich jasně větší než letní. Příkladem může být jilm, jasan nebo dub. Druhým typem jsou difúzně – porézní typy kde póry mají stejnou velikost. Příkladem může být buk, lípa, olše a bříza. Ve výskytu letokruhů existuje velká variabilita mezi druhy. Všechny stromy neukazují jasné přírůstkové linie. Růst stromu je ovlivněn celou řadou přírodních faktorů, strom pak vykazuje různé fyziologické reakce a v důsledku toho se letokruhy liší. Klima je nejpodstatnějším faktorem. Při stresu je růst zpomalený a letokruhy jsou užší. V případě, že jsou podmínky dobré strom roste rychleji a má silnější přírůstkové linie. Obor který využívá tyto poznatky – studuje variabilitu klimatu během velmi krátkého období se nazývá dendroklimatologie (Ivanov, 2005).

## 1.6 Přirozená obnova

Od ostatních listnatých dřevin se buk liší tím, že v hospodářských lesích ve střední Evropě převažuje přirozená obnova (Vacek, 2022).

Nezbytnou podmínkou pro vznik přirozené obnovy buku je přítomnost základních předpokladů ve vhodné časové a prostorové konstelaci: dostatečný počet vhodně rozmístěných stromů s přiměřenou plodností, semenný rok a vhodný stav semenného sadu, příznivé mikroklimatické a klimatické podmínky porostu od vzejití semen do růstu semenáčků. Tyto faktory přímo či nepřímo souvisejí s rozložením slunečního záření v porostu a představují tak základní nástroj jejich regulace (Jarčuška, 2009).

Růst semenáčků jim umožňuje využívat dostupný prostor, vyhledávat vyšší světelné mikrostanoviště a nakonec i zakrýt okolní vegetaci. Růst stromů odráží vzájemnou závislost fyziologických procesů, alokace biomasy a rychlosti růstu, které jsou ovlivňovány jednotlivými faktory genomu a prostředí, v němž jedinci rostou. Obecně se má za to, že výškový růst se obvykle zvyšuje až do určitého světelného bodu a poté se s dalším zvyšováním světla vyrovnává nebo dokonce snižuje v rozmezí 5 až 40 %. Růst je extrémně nízký pod 5 % a dosahuje nasycení při hladinách světla od 20 do 40 % v závislosti na stanovišti. Pod spodní hranicí je světlo hlavním faktorem inhibujícím růst a naopak horní hranice znamená nedostatek podzemních zdrojů (Jarčuška, 2009).

Morfologická a fyziologická reakce buku semenáčků na náhlé změny podmínek prostředí. (např. zvýšený přísun světla) se projevuje např. se zpožděním až jednoho roku. Vlastnost buku aklimatizovat se na aktuální a měnící se povětrnostní podmínky světelných podmínek je značně omezena anatomii jejich listů. Schopnost bukových semenáčků přežít dlouhou dobu v hlubokém stínu a pak rychle reagovat na otevření koruny stromu, je již dlouho známa (Jarčuška, 2009).

Negativní vliv konkurence bylinné vegetace na růst semenáčků je také závislý na

velikosti semenáčků a na zdrojích, které jsou v porostu zastoupeny pouze v minimálním množství. Nízký vodní potenciál půdy měl silný vliv na růst semenáčků, i když konkurenční vegetace zároveň snižovala světlo, teplotu půdy a obsah dusíku v půdě. Na začátku jejich vývoje měly semenáčky větší část kořenů ve stejné vrstvě půdy jako bylinná vegetace, se kterou soupeřily o zdroje. V následujících letech se schopnost kořenů buku uniknout konkurenci bylinné vegetace postupně zvyšovala – využíváním hlubších nekolonizovaných půdních horizontů (Jarčuška, 2009).

Kromě biotických a abiotických faktorů ovlivňuje růst semenáčků také jejich velikost a stáří. Výškový růst u nedávno vyklíčených semenáčků rostoucích pod korunou byl více ovlivněn dostupností podzemních zdrojů než světlem (Jarčuška, 2009).

V průběhu následujících fází vývoje semenáčků, přísun světla stále více určuje rychlost jejich růstu (Jarčuška, 2009).

Přírůst kmene u semenáčků buku adaptovaných na stín, které byly vystaveny vyšším úrovním ozáření, se zvýšil v prvním roce po otevření koruny a vykazoval značné meziroční rozdíly související s klimatickými podmínkami – na rozdíl od růstu do výšky. Zvýšení přírůstu však nebylo tak významné jako u růstu do výšky. Variabilita jednotlivých růstových proměnných se zvyšovala s lepší dostupností zdrojů. Před otevřením koruny byl přírůst – na rozdíl od růstu výšky – významně ovlivněn konkurencí. Po otevření koruny se i druhý z nich stal závislým na konkurenci, nicméně variabilita přírůstu byla stále více než třikrát větší než u růstu výšky. Po otevření koruny se přírůst kmene pravidelně snižoval – s nárůstem lokální konkurence, zatímco růst výšky se zvyšoval až do prahové hodnoty konkurence a poté se snižoval (Jarčuška, 2009).

Mladé lesní porosty, které se obnovují přirozenou cestou, se vyznačují velkým počtem semenáčků a vysokou mortalitou. Příčinou mortality může být buď snížení dostupných zdrojů (např. půdní vody a živin, světla) spojené s rostoucí vnitrodruhovou a mezidruhovou konkurencí, nebo přítomnost různých abiotických a biotických škodlivých činitelů. Široké rozpětí věku jedinců pozorované v přirozené obnově buku souvisí se schopností mladých semenáčků buku přežít za špatných světelných podmínek. Tato schopnost buku jej činí vitálním i v konkurenci s jinými dřevinami – buk je důležitou složkou klimaxových lesů a často dominuje i v obnově hospodářských lesů. Buk je silným konkurentem v lesích s převažujícím způsobem disturbance jednotlivých stromů (Jarčuška, 2009).

Kromě množství dopadajícího světla, mortality, popř. přežívání semenáčků ovlivňuje také jejich početnost (Jarčuška, 2009).

Velikost, nedávný růst sazenic, místní konkurence, vlhkost půdy, vegetační kryt, vzdálenost od dospělých stromů, procházení atd. Šance semenáčků na přežití v podmínkách jejich vnitrodruhové konkurence byly během prvních 5 let po založení silně určeny jejich dominantním postavením. Zakládání a růst semenáčků je jednou z nejkritičtějších fází, protože je obzvláště citlivé na snížené zdroje prostředí. V důsledku toho se tato fáze vyznačuje vysokou mírou mortality (Jarčuška, 2009).

Hustota přirozené obnovy závisí na více faktorech než pouze na výškovém růstu a alokaci biomasy, což má za následek vyšší variabilitu této charakteristiky. Z tohoto důvodu je rozmístění semenáčků často velmi nerovnoměrné. Stav semenného zápoje měl silný vliv na počet přezimujících ořechů a vyrůstajících semenáčků. Semenáčky buku byly nejhojnější tam, kde se nehromadila hrabanka. Uměle vytvořená semeniště na minerální půdě poskytují ve



srovnání se smíšenou půdou a neporušeným semenišťem lepší podmínky pro přezimování. Rozdíl je způsoben drobnými hlodavci, protože prostředí smíšených půdních semenišť poskytuje živočichům lepší možnosti úkrytu. Přikrytí bukovic půdou má pozitivní vliv na klíčivost, a to hlavně v letech chudých na žir. Na druhou stranu přežívání ve fázi po vyrašení a růstu již není přípravou stanoviště ovlivněno. Kromě hlodavců ovlivňují počet přezimovaných, vyklíčených a vzešlých semenáčků také různé druhy hub, několik druhů hmyzu, plži, ptáci a další savci, pokrývají půdní vegetace; z abiotických faktorů jsou to pozdní mrazy a sucho. Nejdůležitějším faktorem pro snížení počtu semenáčků se zdají být savci (zejména spárkatá zvěř), avšak méně než u jiných dřevin. Klíčení závisí do značné míry na vlhkosti půdy, zejména v prvních týdnech. Nejkritičtější pro hustotu semenáčků je období od vyklíčení až po dosažení minerálních vrstev půdy jejich kořeny. Protože hustota korun i jemná kořenová biomasa sousedních stromů/rostlin určuje obsah půdní vlhkosti, vyznačují se velmi husté porosty – stejně tak otevřené porosty nižším počtem vzešlých semenáčků (Jarčuška, 2009).

## 1.7 Faktory ovlivňující vývoj a dosažený věk

Lesní hospodářství bude zasaženo klimatickými změnami. Změněné klimatické podmínky stanovišť budou významně ovlivňovat lesní ekosystémy. Klimatické změny se týkají lesního hospodářství v následujících oblastech: 1. Počítáme s lesem jako s úložištěm vzdušného uhlíku a 2. Růstové podmínky porostů budou pozměněny. Dopad změny klimatických podmínek může na daný lesní ekosystém v závislosti na lokalitě a porostu působit pozitivně ale hlavně i negativně (Vacek, 2022).

Podle současných poznatků je změna klimatu za posledních 140 let především důsledkem lidské činnosti, konkrétně změn ve využívání půdy a emisí skleníkových plynů z intenzivního zemědělství a spalování fosilních paliv. Změny albedu zemského povrchu a zvýšené koncentrace skleníkových plynů, především oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>), jsou hlavními příčinami pozorovaného globálního oteplování klimatu. Přírodní procesy jsou také zodpovědné za malou část změny klimatu, zejména změnu intenzity slunečního záření. Závěrem lze tedy říci, že antropogenní činnost je hlavním faktorem globálního oteplování a změny klimatu (Geßler, 2006).

Výsledky klimatických prognóz odrážejí určitou míru nejistoty způsobenou nedostatečným pochopením klimatu a jeho interakcí s biosférou a oceány. Zvláštní pozornost je věnována pozitivním zpětným vazbám mezi změnou klimatu a zvyšováním koncentrace CO<sub>2</sub> v přírodním koloběhu uhlíku a v oceánech, které by mohly způsobit ještě rychlejší nárůst atmosférického CO<sub>2</sub> a oteplování, než se aktuálně předpokládá. Nicméně, v některých částech Evropy by předpokládaný nárůst teploty v důsledku zvýšení koncentrace CO<sub>2</sub> mohl být vyrovnán změnami v režimu severoatlantické oscilace. I přesto, že existují nejistoty v klimatických prognózách, nejsou považovány za zásadní v relativně krátkých časových údobích (40 až 50 let) (Geßler, 2006).

Buk se lépe přizpůsobuje klimatickým výkyvům v nižších nadmořských výškách a na stanovištích bohatých na živiny. Naopak ve vyšších nadmořských výškách dochází od roku 1975 k větším výkyvům v růstu buku. Klimatické výkyvy v horských oblastech střední Evropy jsou nejčastěji způsobeny nižšími teplotami, přičemž roční teploty ovlivňují radiální růst buku lesního více než úhrny srážek. Kolísání radiálního růstu buku lesního, způsobené různými

biotickými a abiotickými vlivy, může vést k cyklickým obdobím. Například v 70. a 80. letech 20. století se v horách projevil výrazný negativní vliv znečištění ovzduší na přírůst buku lesního, což vedlo i k oslabení nebo dokonce odumírání lesních porostů. Výrazné přírůstové výkyvy buku jsou vyvolávány také mrazem, který může ovlivnit přírůst celého vegetačního období (Šimůnek, 2021).

S přicházejícími změnami klimatických podmínek zaznamenáváme rovněž zvýšený tlak biotických činitelů, patrný v mnoha lokalitách střední Evropy (Vacek, 2022).

Scénáře případného posunu vegetačních stupňů pro pěstování ukazují, že v blízké budoucnosti nebudeme moci buk pěstovat tam kde i dnes se vyskytuje jen výjimečně. Takže můžeme říci, že případný posun lesních vegetačních stupňů by nepředstavoval fatální zhoršení podmínek pěstování buku. Zřejmě může dojít k omezení kompetiční schopnosti buku a snížení produkce (Vacek, 2022).

Lesní porosty by měly mít s ohledem na stávající změnu klimatu takzvanou adaptační kapacitu. Ta se skládá zejména ze dvou vlastností: 1. Rezistence – což předpokládá schopnost reagovat na změny klimatu bez významné změny struktury a druhové skladby porostu. 2. Resilience – schopnost pozvolné přestavby, i po náhlém rozpadu (Vacek, 2022).

### 1.7.1 Teplota

Jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňující růst a vývoj rostlin je teplota prostředí. Můžeme říci, že extrémní změny teplot, silný pozdní mrazy jsou nejvíce škodlivé pro růst rostlin. V intervalu zhruba mezi 5–40 °C probíhá růst a produkce rostlin. Optimální teplotou je 15–30 °C. Zde je rychlost růstu maximální. Růst dřevin je zpomalován při extrémních teplotách (Špinlerová, 2014)

Nadprůměrné i podprůměrné teploty ovlivňují radiální růst. Vysoké teploty mají rovněž vliv na výpar a snižování vlhkosti půdy v horní přízemní vrstvě. Potom se omezuje tvorba živin. Nejvíce se to projeví že jarní srážky jsou podprůměrné. Radiální růst je obvykle pozitivně ovlivněn nadprůměrnými teplotami ve vegetačním období. Nicméně příliš vysoké teploty vyvolávají zpravidla pokles bilance uhlíku a tím pádem pokles přírůstu. Rovněž se dá říci že extrémně nízké teploty (v souvislosti se suchem) negativně ovlivňují přírůsty a to zejména v horských polohách (Čermák, 2007)

V posledních letech zaznamenáváme v Evropě velice teplé roky. Z posledních dostupných údajů vyplývá, že rok 2022 byl v Irsku, Velké Británii, Francii a Španělsku jako vůbec nejteplejší v historii měření. Pyrenejský poloostrov trápili vlny sucha a jižní Evropa zažila rozsáhlé lesní požáry. Vysoké teploty zapříčinily rekordní tání ledovců. V souvislosti s táním ledovců stoupla hladina moří v roce 2021 až 2022 o 1 cm. V historii plošného hodnocení územních teplot od roku 1961 byl rok 2022 v Česku pátý nejteplejší. Průměrná teplota 9,2 °C byla o 0,9 °C vyšší oproti normálu z let 1991 až 2020. Nicméně tyto vyšší teploty a suché období probíhaly mimo vegetační sezónu. Díky tomu se dá říci že rok 2022 byl příznivý pro vývoj zdravotního stavu lesních porostů a také pro potlačení kůrovcové kalamity (Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2022, 2023).

Většina klimatických předpovědí pro střední Evropu napovídá zvýšení teplot, které by mělo způsobit zvýšení četnosti a trvání intenzivních letních such. Vzhledem k citlivosti buku lesního vůči nízké dostupnosti vody a delším obdobím sucha mohou být fyziologická

výkonnost, růst a konkurenční schopnost buku lesního těmito měnícími se podmínkami prostředí nepříznivě ovlivněny. Situaci může zhoršovat skutečnost, že areál rozšíření buku zahrnuje mnoho lokalit s mělkými půdami vápencového původu s nízkou schopností zadržovat vodu. Očekává se, že průměrná teplota se bude zvyšovat až do konce tohoto století o 1,5-5,8 °C nad hodnotu z roku 1990 (Geßler, 2006).

### 1.7.2 Voda

Zvyšující se emise skleníkových plynů vedly k výrazným změnám počasí a klimatických podmínek, které svou amplitudou daleko přesáhly "přirozený" historický rozsah kolísání. Nárůst povrchových teplot pozorovaný v posledním století není v souladu se změnami srážkových režimů. V důsledku toho se extrémní klimatické jevy, zejména stále silnější sucha, stávají častějšími a závažnějšími. Ve střední Evropě se zvýšený výskyt silných such stal nejdůležitějším klimatickým faktorem. Zejména rok 2003 byl mimořádně teplý a suchý a období 2014-2018 je považováno za nejsušší pětileté období od 19. století. Tyto po sobě jdoucí klimatické extrémy změnily strukturu a fungování lesních ekosystémů s významnými socioekonomickými dopady (Jiang, 2024).

Lesy zaznamenaly závažné dopady v důsledku sucha, přičemž se výrazně zvýšila úmrtnost některých hospodářsky významných druhů dřevin. V důsledku extrémního sucha v letech 2018-2019 došlo k dvojnásobnému nárůstu narušených lesních ploch v okolí střední Evropy. Tato událost způsobila nejen odumírání stromů během sucha nebo bezprostředně po ní, ale také snížila růst přeživších stromů. Předchozí studie uváděly, že jarní sucha silně ovlivňuje radiální růst jehličnanů, jako je modřín a smrk, což vede ke snížení růstových trendů. Podobné snížení růstu v souvislosti s oteplením bylo pozorováno také u jižního buku, ačkoli se zdá, že tyto růstové reakce jsou geograficky variabilnější. Jiná studie naznačila, že růst stromů v podmínkách sucha je silněji ovlivněn srážkami a klimatickou vodní bilancí než teplotou (Jiang, 2024; (Badraghi, 2020)

Období extrémně nízkého růstu působí v lesích jako disturbance vzhledem ke své epizodické povaze a potenciálu vyvolat zásadní změny ve struktuře lesa. Koncept odolnosti, definovaný jako schopnost ekosystému, společenstva nebo jedince zotavit se po disturbanci a obnovit svou strukturu a funkci před disturbancí, poskytuje praktický rámec pro kvantifikaci kumulativních účinků opakujících se stresových epizod. Rozdělení tohoto konceptu na několik zpřesněných indexů, jako je odolnost, zotavení, odolnost jako taková a relativní odolnost, navíc umožňuje zkoumat odolnost jednotlivých stromů na základě růstu letokruhů. V důsledku toho je možné rozlišovat mezi krátkodobými dopady a dlouhodobými účinky (Jiang, 2024).

Krátkodobé dopady, pozorované jako růstové anomálie během sucha, se často liší v závislosti na vývojových stádiích stromů a podmínkách prostředí. Tyto anomálie, které jsou ovlivněny faktory, jako je věk a velikost (např. výška), mohou pomoci lépe pochopit odolnost stromů vůči suchu. Přestože tyto vztahy byly zkoumány v různých studiích, komplexní vyhodnocení jejich společného vlivu dosud nebylo provedeno. Tento cíl komplikují různé zdroje nejistoty zahrnující fyziologické interakce (tj. vnitrodruhovou variabilitu znaků, kovariaci znaků a kovariaci znaků s prostředím) a ekologickou komplexnost, které mohou zmást předpovědi mortality související se suchem. Odolnost vůči suchu navíc dále ovlivňují regionální klimatické rozdíly a orografické gradienty. Například stromy rostoucí na vlhčích

stanovištích mohou paradoxně vykazovat větší citlivost na zvýšenou intenzitu sucha, přestože jejich vyšší schopnost zadržovat vodu obvykle tlumí dopad sucha. Tento scénář je důsledkem adaptací stromů na odlišné místní stanovištní podmínky, jako je lépe vyvinutý kořenový systém nebo menší plocha listů na sušších stanovištích, což zvyšuje jejich odolnost vůči suchu. Dopady sucha na růst též závisí na typu stanoviště, na kterém stromy rostou, a na jejich růstové výkonnosti před obdobím sucha. Do jaké míry však specifické vlastnosti stromů moduluji odolnost vůči suchu, zůstává nejisté (Jiang, 2024).

Buk je středně citlivá lesní dřevina na sucho ve srovnání s jinými lesními dřevinami mírného pásma z rodů *Acer*, *Picea*, *Quercus*, *Carpinus*, *Tilia*, *Sorbus* nebo *Fraxinus*. Tato citlivost částečně souvisí s funkčními vlastnostmi, které odrážejí nízkou schopnost nasazení mechanismů tolerance vůči suchu. Kromě toho by umístění jejich intenzivního jemného kořenového systému ve svrchní vrstvě půdy (s méně než 5 % pod 1 m) spolu s jeho slabou reaktivitou na klimatické gradienty omezovalo jeho schopnost prozkoumávat hlubší a vlhčí půdní oblasti a přizpůsobovat se environmentálním situacím s omezenou dostupností vody v půdě. Sucho je u buku nejčastěji studovaným abiotickým stresem, ale další klimatické a globální faktory, jako je vysoká hladina atmosférického CO<sub>2</sub>, mohou modulovat a zmírňovat funkční reakci buku na sucho (De Simón, 2022).

Předpovědi budoucího vývoje srážek jsou nejisté a závisí na různých faktorech, jako je topografie, vegetace a využití půdy. Je pravděpodobné, že budoucí změny srážek se budou výrazně lišit podle místa a času. Regionální modelové simulace naznačují, že srážkové extrémy budou v celé Evropě stoupat. Současně se očekává výrazné zvýšení teploty a pokles srážek během vegetačního období ve střední a jižní Evropě. To zvýší riziko sucha v letních měsících a bude mít vážné dopady na vegetaci v přirozených i obhospodařovaných ekosystémech (Geßler, 2006).

Předpokládá se, že zvýšení četnosti a trvání letního sucha v jižních částech střední Evropy bude mít negativní dopad na vodní bilanci, příjem živin, růst a konkurenční schopnost buků. Suché podmínky ovlivňují růst buků a snižují příjem dusíku z půdy. Silné suché období může také snižovat transpirační rychlost a vodní potenciál bukových semenáčků. Konkurence o zdroje mezi bukovými semenáčky a rychle rostoucími druhy podrostu může také ovlivnit růst a příjem dusík. Vliv sucha a konkurence na buky je podobný jako u jiných dřevin citlivých na sucho (Geßler, 2006).

Předpokládá se, že zvyšující se teploty zintenzivňují globální hydrologický cyklus, což vede k vyšším globálním srážkovým úhrnům. Průměrný globální úhrn srážek se ve skutečnosti za posledních 100 let zvýšil přibližně o 2 %, avšak s vysokou prostorovou a časovou heterogenitou srážek. Větší nárůst srážek s hodnotami až 40 % byl pozorován v severní Evropě. Naopak v jižních částech Evropy se průměrný úhrn srážek snížil o více než 20 % (Geßler, 2006).

### **1.7.3 Oxid uhličitý**

Nejdůležitějším skleníkovým plynem, který lze přičíst antropogenní činnosti, je oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>) pocházející ze spalování uhlí, ropy a zemního plynu. Současné obohacení atmosféry o CO<sub>2</sub>, což je proces neodmyslitelně spjatý se změnou klimatu, vzrostlo ve velmi krátké době na hodnoty přesahující 400 ppm, zatímco v předchozích 100 000 letech se

pohybovalo relativně konstantně mezi 200 a 300 ppm (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2021).

Přímá měření CO<sub>2</sub> v atmosféře a vzduchu zachyceného v ledu ukázala, že atmosférický CO<sub>2</sub> vzrostl od roku 1800 přibližně o 40 %. Z fyziologického hlediska má zvýšený obsah CO<sub>2</sub> pozitivní vliv na růst stromů, protože je stavebním kamenem uhlíku pro fotosyntézu, zejména pokud je dodáván dostatek živin. Řada studií obhajuje názor, že zvýšený CO<sub>2</sub> způsobil zvýšení radiálního růstu buku (Badraghi, 2020).

Zřejmě budeme pozorovat změnu potenciálu stanoviště pro pěstování lesních dřevin. Též nejspíše zaznamenáme změnu tolerance a nároku lesních dřevin k podmínkám stanoviště. Očekává se, že tato změna klimatu posune stanovištní podmínky o dva vegetační stupně (směrem k nižším). Vědci dále předpovídají, že negativní dopad tohoto posunu bude snížen zvýšenou koncentrací CO<sub>2</sub>. Důvodem je, že se zvýší tolerance dřevin ke stresovým podmínkám (Geßler, 2006)

Lesy jsou obzvláště citlivé na změnu klimatu a tvar a síla vztahu mezi diverzitou dřevin a produktivitou lesa kriticky závisí na kontextu prostředí. Obecně je dostupnost vody jedním z hlavních omezení produktivity a rozšíření lesů. Zvýšená koncentrace atmosférického CO<sub>2</sub> může ovlivnit příjem vody rostlinami a v důsledku toho snížit relativní vliv omezení vody na produktivitu lesních dřevin, omezení vody na příjem uhlíku rostlinami je však v kontextu změn prostředí velmi nejistý proces (Badraghi, 2020)

#### **1.7.4 Znečištění ovzduší**

Ozón jako plynný prvek není přímo generován člověkem, což ztěžuje jednoduché omezení jeho emisí. Negativní dopady zahrnují jak úbytek ozonu v ozonoféře (stratosférický ozon), tak jeho nárůst v nižších vrstvách atmosféry (troposférický ozon). Důsledky působení ozonu na rostlinné buňky nezanechávají jednoznačné stopy, což komplikuje rozlišení mezi jeho vlivem a přirozenými oxidačními stresy. Vysoké koncentrace ozonu v atmosféře nemusí nutně indikovat vysoké míry poškození; jiné faktory mohou buď zesilovat, nebo oslabovat jeho účinky. Z těchto důvodů není dosud možné jasně určit rizika spojená se zvýšenými koncentracemi ozonu pro lesní ekosystémy, ačkoli byla v posledních zhruba 30 letech na celém světě věnována této problematice velká pozornost. Na rozdíl od mnoha jiných škodlivin neexistuje u ozonu přímá korelace mezi jeho koncentrací v ovzduší a poškozením rostlin. Naopak, jen málo se ví o dlouhodobých dopadech na energetickou bilanci dřevin, které ozon nesporně narušuje, či o jeho vlivu na různé složky lesních ekosystémů. Viditelné poškození listů a jehlic tak může být jen špičkou ledovce v porovnání s dalšími problémy, jež zvýšené koncentrace ozonu mohou způsobit (Novotný, 2008).

Obecně platí, že listnaté stromy jsou citlivější na účinky ozonu než stromy jehličnaté. V oblasti střední Evropy je běžné pozorovat vizuální symptomy poškození ozonem zejména u buku, který je jednou z hlavních hospodářských dřevin. Je však důležité zdůraznit, že viditelné poškození listů stromů není vždy přímým indikátorem skutečné úrovně znečištění ozonem a jeho dopadů na zdravotní stav rostlin. Kromě poškození listů má ozon také negativní vliv na celkovou energetickou bilanci stromů (Novotný, 2009).

Vyšší hodnoty indexu výskytu ozonu bývají zaznamenány především v horských a tedy více lesnatých oblastech. Týká se to teplých a suchých období – červen až červenec. Pro

ovlivnění zdravotního stavu rostlin je významné, pokud i přes vysoké teploty mají dobré zásobení vodou, například díky dlouho přetrvávající sněhové pokrývce a nebo díky intenzivním srážkám. Nedochozí potom k uzavírání průduchů vodním stresem a ozón může snadněji proniknout do rostlinných pletiv. Pak bývá zaznamenána větší míra poškození, která ale nemá na porosty zásadní vliv. Delší teplá a suchá období podporují výrazný nárůst koncentrace ozónu (Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2022, 2023).

Jedním z dalších typů znečištění ovzduší představuje polévatý prach. Imisní limity bývají překračovány ve velkých aglomeracích Moravskoslezského kraje. Imisní limit také v severních Čechách, v Brně a dalších městech. Mimo velká města tento typ znečištění není výrazný. Jeho vliv na zdravotní stav dřevin zatím není doložen (Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2022, 2023).

Hlavní škodlivinou poškozující byl v 70. až 80. letech oxid siřičitý. Koncentrace oxidu siřičitého v ovzduší jsou v posledních letech relativně nízké. Limit průměrné roční koncentrace určený pro ochranu vegetace nařízením vlády bývá překročen na zlomku území České republiky – jedná se o industrializované oblasti, zejména Ostravsko. Poslední údaje z roku 2022 ukazují, že nepozorujeme významnější zatížení oxidem siřičitým v souvislosti s energetickou krizí, kdy se předpokládal částečný návrat k pevným palivům (Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2022, 2023).

Další látky, které znečišťují prostředí jsou imise. Jsou to emise, které se dostaly do styku se životním prostředím, kumulují se v půdě, vodě a nebo v organizmech. Měření imisí se provádí v porostech – podkorunové srážky, na volné ploše – celková depozice. V bukových porostech se sleduje stok po kmeni. Z těchto měření pak vychází údaje o celkové roční depozici síry (ve formě síranů) a o depozici dusíku. V blízkosti dálnice D5 byly naměřeny vyšší hodnoty depozice dusíku. Rovněž v roce 2022 byl na některých místech patrný mírný nárůst depozice síry a dusíku i dalších prvků zpod korunovými srážkami. Zde je možná souvislost s nárůstem cen energií a většího znečištění lokálním topením.

Poškozování a úhyn lesů působením imisí vzniká různými způsoby. V 60. – 80. letech minulého století často při extrémně vysokých koncentracích SO<sub>2</sub> v ovzduší docházelo k hynutí lesů v Krušných horách. V těchto podmínkách se stávalo, že přímý kontakt velmi koncentrovaného SO<sub>2</sub> s asimilačními orgány smrku poškodil chlorofyl a jehličí uschnulo. V současné době se tento typ mechanismu utlumil díky rapidnímu snížení koncentrace SO<sub>2</sub> v ovzduší. Drtivá část České republiky svými průměrnými koncentracemi SO<sub>2</sub> dodržuje Evropskou komisí stanovenou hodnotu imisního limitu na ochranu vegetace a ekosystémů, kdy by nemělo docházet k přímému poškození asimilačního aparátu. Přesto se i v 21. století setkáváme s další defoliací (ztrátou jehlic či listů) ve srovnání s ideálním stavem olistění. Míra olistění je ukazatelem zdravotního stavu stromu a při malé defoliaci se zdravotní stav stromu nezhorší. Při překročení kritické hranice (u smrku je to zhruba 40 %) začne strom strádat nedostatkem živin – ty jsou produktem asimilace probíhající v jehlicích. Vzhledem k existenci oblastí, kde došlo k odumření lesa a defoliaci a kde zároveň nebyly vysoké koncentrace SO<sub>2</sub>, se předpokládá existence jiného mechanismu. Tím je pravděpodobně dlouhodobé okyselení půdy. Kyselé deště v půdě zřejmě vyplavují z půdy látky (prvky) důležité pro udržení vyvážené hodnoty půdní kyselosti a také jsou zároveň nezbytné pro vegetaci. Mluvíme o vápníku a hořčíku a rovněž se jedná o draslík. Tyto prvky jsou společně se sodíkem nazývány bazickými kationty. Mají schopnost neutralizovat přísun kyselin z atmosféry, nicméně při reakci jsou

odnášeny z půdy do podzemních a povrchových vod. Další, co poškozují stromy, je otrava hliníkem. Při okyselení půdního prostředí se rozpouští a způsobuje fyziologické problémy kořenovému systému. Ty pak odumírají a snižují příjem živin a vody a oslabují rostlinu. Tyto mechanismy stromy oslabují, ale nebývají bezprostřední příčinou úhynu. Fatální pro strom jsou následné klimatické stresy, se kterými by se zdravý strom vypořádal (Hruška, 2005)

Dalším sledovaným znečišťovatelem ovzduší jsou oxidy dusíku. V posledních 20 letech jsou jejich hodnoty setrvale nízké. Limitní hodnota pro ochranu vegetace je sice překračována více než u oxidu siřičitého, ale jedná se o desetiny procenta území České republiky. Například v roce 2005 byl limit podle údajů ČHMÚ překročen v průmyslových aglomeracích jako je Praha, Brno, Ostravsko a podél dálnic a silnic první třídy. Poslední zpráva o stavu lesů za rok 2022 rovněž konstatuje setrvale nízké koncentrace oxidu dusíku v ovzduší a jejich vyšší hodnoty jsou naměřeny pouze v průmyslových aglomeracích a v blízkosti dálnic a silnic první třídy (Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2022, 2023).

Zvýšená depozice dusíku v posledních desetiletích vyrovnávala jeho nedostatek a omezování růstu v mnoha lesích mírného pásma, které se jím nakonec nasýtily. Zlepšená výživa zpočátku vedla ke zvýšení růstu lesů, ale mohla také vyvolat nerovnováhu živin (Talkner, 2015).

### **1.7.5 Fosfor**

Fosfor hraje klíčovou roli v mnoha rostlinných procesech, jako je energetický metabolismus, syntéza nukleových kyselin a membrán, fotosyntéza, dýchání, fixace dusíku a regulace enzymů. Dusík a fosfor jsou nejčastěji limitujícími makroživinami pro primární produkci a jejich nedostatek u rostlin vede ke snížení růstu a reprodukce. Bylo prokázáno, že zvýšená acidifikace lesních půd, atmosférická depozice dusíku a změna klimatu nějakým způsobem ovlivňují výživu lesních dřevin fosforem (Talkner, 2015)

Zvýšení teploty a prodloužení vegetačního období v kombinaci s vyššími depozicemi dusíku a emisemi CO<sub>2</sub> vedlo ke zvýšenému růstu lesů, což mohlo rovněž vyvolat nerovnováhu fosforu (Talkner, 2015)

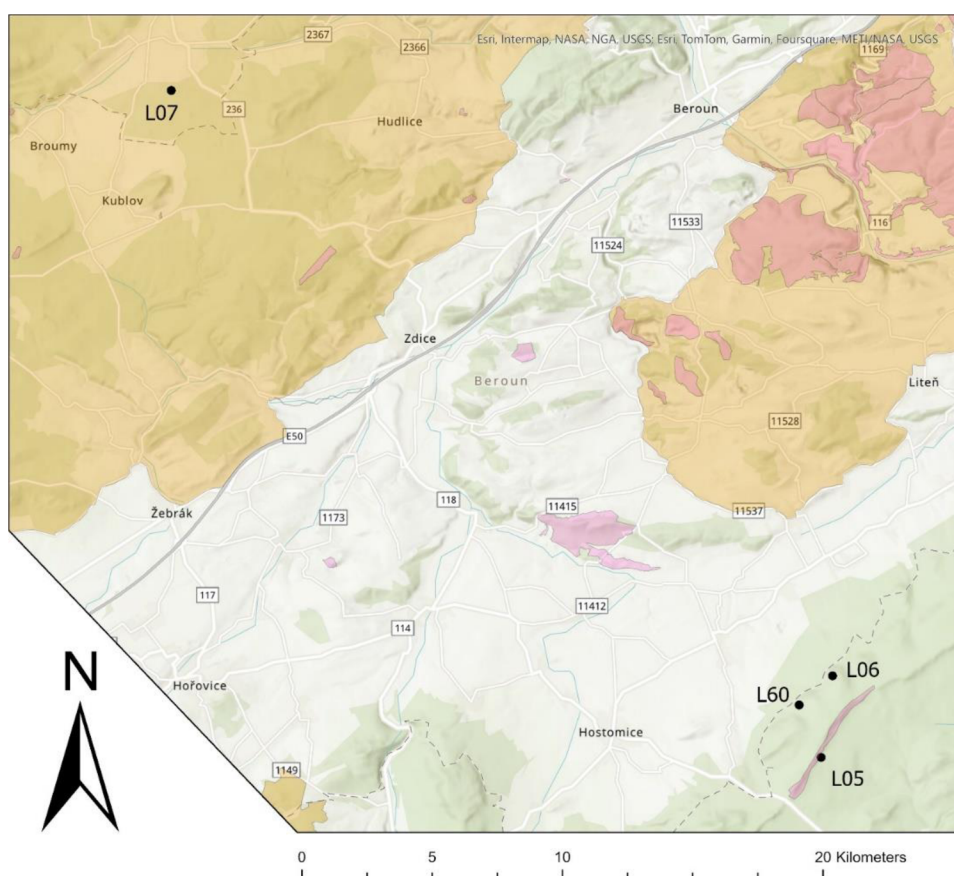
Je známo, že nadbytek dusíku v půdě inhibuje růst mykorhiz a vede ke změně struktury mikrobiálního společenstva. To může mít vliv na získávání fosforu rostlinami, protože mykorhizní symbiózy jsou důležitým faktorem pro jeho příjem stromy. Za druhé je známo, že depozice dusíku zhoršuje rozklad organické hmoty v půdě. To by mohlo zpomalit koloběh živin a dále snížit dostupnost fosforu a produktivitu ekosystému. Za třetí, depozice dusíku a dalších okyselujících látek také přímo ovlivňuje dostupnost fosforu pro rostliny zvýšenou adsorpcí fosfátů a vysokou koncentrací hliníku v půdním roztoku v okyselených půdách. Přestože se množství kyselých depozic v Evropě podstatně snížilo, mnoho lesních ekosystémů stále trpí acidifikací půdy a pravděpodobně i nižší dostupností fosforu (Talkner, 2015)

# Metodika

## 1.8 Výběr výzkumných lokalit

Tato práce je součástí výzkumného projektu na Katedře ekologie lesa, který si klade za cíl posoudit význam starých lesů mimo nejprísněji chráněná území z hlediska fixace uhlíku a podpory druhové rozmanitosti. Lokality pro výzkum byly vybírány na základě informací o biotopech a dřevinách, které byly kombinovány s regionálním členěním České republiky do pěti biogeografických regionů (obr. 2). Výzkum se zaměřuje zejména na bučiny, přičemž bylo vybráno celkově 70 lokalit tak, aby bylo dosaženo rozumného opakování v rámci souboru. Smrkové porosty nebyly do výzkumu zahrnuty kvůli nedávné gradaci kůrovcovitých a omezenému výskytu přirozených smrčín. Každá lokalita musela splňovat stanovená kritéria, aby bylo možné na ní založit výzkumnou plochu o velikosti 3000 m<sup>2</sup>, včetně minimální velikosti porostu, pravidelného tvaru a absence nedávné těžby. Pro založení výzkumné plochy byla vybrána jedna náhodná lokalita z každé kategorie porostu, a v rámci každé lokality byl určen střed plochy tak, aby byl vzdálen od okraje porostu minimálně 31 metrů (Čada 2024).

V této práci se využívá čtyř těchto lokalit na Křivoklátsku (plocha L07) a v Brdech (L05, L06, L60).



Obr. 3: Černé body označují použité výzkumné plochy. Růžová barva vyznačuje maloplošná zvláště chráněná území a oranžová barva velkoplošná zvláště chráněná území.



### **1.8.1 Lokalita L07**

Souřadnice WGS 84: 49.96799°N, 13.89311°E.

Plocha se nachází v PLO 8 Křivoklátsko a Český kras, ve 2. zóně chráněné krajinné oblasti Křivoklátsko v nadmořské výšce 532 m. n. m s mírně západní expozicí. Průměrná roční teplota je 8,4 °C a úhrn srážek 584 mm (ČHMÚ). Vlastníkem jest LČR. Porost na ploše se dá charakterizovat jako dubo – bukový (zastoupení buku 96 %), s průměrnou výškou 36,9 m a průměrnou výčetní tloušťkou 444 mm. Porost samotný je kategorie 32f – Lesy pro zachování biologické různorodosti a podle cílového hospodářského souboru je klasifikováno jako živné stanoviště středních poloh. Lesní typ 3B1 – bohatá dubová bučina modální.

### **1.8.2 Lokalita L06**

Souřadnice WGS 84: 49.83808°N, 14.12118°E.

Plocha se nachází v PLO 7 Brdská vrchovina v nadmořské výšce 666 m. n. m. s jihovýchodní expozicí. Průměrná roční teplota je 9,1 °C a úhrn srážek 546 mm (ČHMÚ). Vlastníkem jest fyzická osoba. Porost na ploše se dá charakterizovat jako smrko – jedlo – bukový (zastoupení buku 70 %), s průměrnou výškou 21,7 m a průměrnou výčetní tloušťkou 324 mm. Porost samotný je kategorie 32e – Lesy se zvýšenou funkcí půdoochrannou, vodoochrannou, klimatickou nebo krajínotvornou a podle cílového hospodářského souboru je klasifikováno jako exponovaná stanoviště středních poloh. Lesní typ 4Y1 – skeletová bučina modální.

### **1.8.3 Lokalita L60**

Souřadnice WGS 84: 49.83159°N, 14.10955°E.

Plocha se nachází v PLO 7 Brdská vrchovina v nadmořské výšce 637 m. n. m. se severní expozicí. Průměrná roční teplota je 9,1 °C a úhrn srážek 501 mm (ČHMÚ). Vlastníkem jest fyzická osoba. Porost na ploše se dá charakterizovat jako boro – bukový (zastoupení buku 85 %), s průměrnou výškou 28,3 m a průměrnou výčetní tloušťkou 513 mm. Porost samotný je kategorie 32e – Lesy se zvýšenou funkcí půdoochrannou, vodoochrannou, klimatickou nebo krajínotvornou a podle cílového hospodářského souboru je klasifikováno jako exponovaná stanoviště středních poloh. Lesní typ 4N1 – kyselá kamenitá bučina modální.

### **1.8.4 Lokalita L05**

Souřadnice WGS 84: 49.81989°N, 14.11712°E.

Plocha se nachází v PLO 7 Brdská vrchovina v nadmořské výšce 659 m. n. m. s mírnou jihovýchodní expozicí. Průměrná roční teplota je 9,1 °C a úhrn srážek 546 mm (ČHMÚ). Vlastníkem jest fyzická osoba. Porost na ploše se dá charakterizovat jako lipo – habro – bukový (zastoupení buku 61 %), s průměrnou výškou 29,5 m a průměrnou výčetní tloušťkou 760 mm. Porost samotný je kategorie 10 – Lesy hospodářské a podle cílového hospodářského souboru je klasifikováno jako exponovaná stanoviště středních poloh. Lesní typ 4N3 – kyselá kamenitá bučina bohatší.

## 1.9 Terénní měření

Každá výzkumná plocha měla kruhový tvar a skládala se z centrální plochy o rozloze 1000 m<sup>2</sup>, kde probíhala detailnější měření, a okolní plochy o rozloze 2000 m<sup>2</sup> (celková rozloha 3000 m<sup>2</sup>), kde probíhala méně intenzivní měření. Na centrální ploše o rozloze 1000 m<sup>2</sup> byly zaznamenány všechny živé a mrtvé stromy s tloušťkou větší než 10 cm. Mrtvé stromy byly měřeny od výšky 1 m. Taktéž byly měřeny pařezy a pahýly s tloušťkou větší než 30 cm (nižší než 1 m). Na okolní ploše byly zaznamenány pouze živé stromy s tloušťkou větší než 50 cm a mrtvé stromy vyšší než 1 m s tloušťkou větší než 30 cm. Dále byly změřeny všechny živé stromy s tloušťkou větší než 10 cm, které patřily k málo zastoupeným druhům dřevin (na centrální ploše s méně než 4 exempláři, na okolní ploše s množstvím >3, byly měřeny až od tloušťky 20 cm). U každého stromu byl zaznamenán druh, tloušťka pomocí lesnického pásma, výška s ultrazvukovým výškoměrem Vertex a u spadlého stromu délka. U živých stromů byl navíc změřen poloměr koruny a výška nasazení koruny. Vzorky pro analýzu letokruhů byly následně odebrány ze všech stromů na centrální ploše a z vybraných stromů na okolní ploše (Čada 2024).

K získání vzorků se používá Presslerův nebozez, což je dutý vrták se speciální vrtnou hlavou. Hlava je vybavena lžičkou pro vyjmutí dřevního válečku. Vývrt se provádí ve výšce 0,5 metru kmene stromu, pro vyhnutí se kořenovým náběhům. Pokud se plocha nacházela na svahu, vzorky se odebírali podél vrstevnic, aby se zamezilo zkreslení reakčním dřevem. Po provedení vrtání byly vývrty umístěny do plastových nebo papírových brček a označeny.

V laboratoři se následně vyjmuly z brček, vysušily, nalepily do drážek v dřevěných prknech a zařizly. Šířka letokruhů byla měřena pod binokulárním mikroskopem pomocí měřicího zařízení Lintab spojeného se softwarem TSAPWin s přesností 0,01 mm. Výsledkem jsou časové řady přírůstů jednotlivých stromů a počet letokruhů na vývrtnu.

Při použití získaných sérií přírůstů a věků existuje riziko chyby způsobené možným výskytem chybějících nebo nepravých (dvojitých) letokruhů (Speer 2010).

Proto byly tyto série letokruhů podrobeny tzv. křížovému datování, což je standardní postup. Křížové datování bylo provedeno pomocí programu Past4. Na místa chybějících letokruhů byla dosazena minimální měřitelná hodnota 0,01 mm. Vývrty, které nebylo možné křížově datovat, byly vyřazeny.

Přibližná vzdálenost do středu v případě, že vrt nepronikl středem, byla odhadnuta na základě křivosti letokruhů nejbližšího středu (na vývrty byl přiložen průhledný papír s natištěnými soustřednými kruhy o známém poloměru).

Tyto data (šířky letokruhů) byla následně použita k rekonstrukci tloušťkového přírůstu, který byl vypočítán proporční metodou (Bakker 2005).

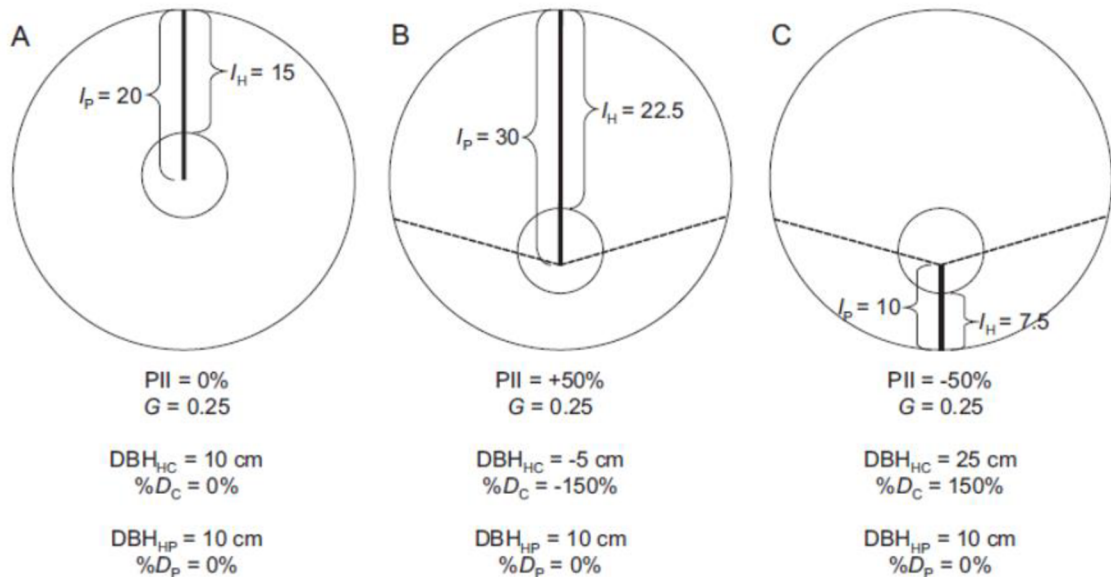
Při této metodě je změřená výčetní tloušťka  $d_{1,3}$  násobena podílem přírůstu  $G$  před stanoveným průměrem kmene.

$$G = \frac{I_P - I_H}{I_P}$$

$I_P$  – délka vývrtnu (mm) - vzdálenost od vnějšího okraje stromu ke dřeni

$I_H$  – součet šířek letokruhů (mm) - vzdálenost od vnějšího okraje stromu k rekonstruovanému průměru

Na rozdíl od tradiční metody, která předpokládá shodu geometrického středu kmene a osy přírůstu (tj. dřevě), proporční metoda pouze předpokládá konstantní poměr přírůstu po celém obvodu kmene (avšak to neplatí ve všech situacích). Standardizací pomocí současného průměru stromu (změřené v terénu) je navíc vyřešen vliv tloušťky kůry a obsahu vody ve dřevě na celkový tloušťkový přírůst.



Obr. 4: Porovnání rekonstruovaného průměru pomocí konvenční (DBHHC) a proporční (DBHHP) metody. Pokud je dřevě umístěna mimo geometrický střed kmene (B, C), konvenční metoda podhodnocuje (B), případně nadhodnocuje (C) zjištěný průměr. (Bakker 2005)

Pomocí odečtení tlouštěk mezi po sobě jdoucími kalendářními roky byl vypočítán roční přírůstek. Následně byla z těchto výsledků všech buků na dané vnitřní ploše (1000 m<sup>2</sup>) vytvořena křivka průměrného tloušťkového přírůstu použitím aritmetického průměru.

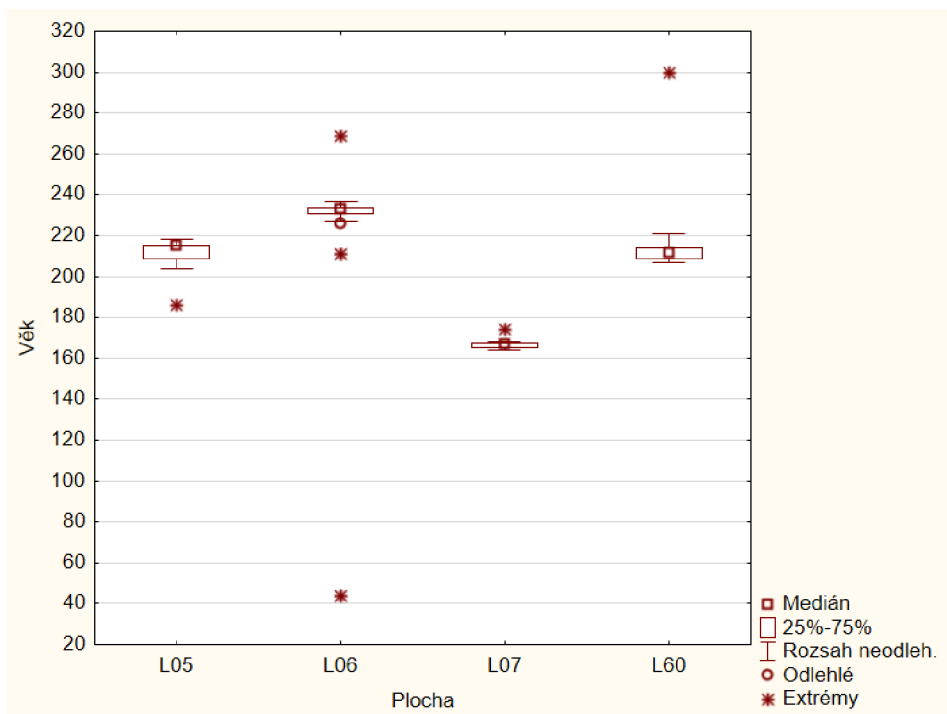
Box plot graf věků byl taktéž vyroben pomocí letokruhových analýz a to stanovením stáří jednotlivých buků na plochu (1000 m<sup>2</sup>) skrz křížové datování. Krabicový graf tlouštěk se skládá z průměrů výčetních tlouštěk stromů, které se použili na věky a průměrné přírůsty.

Histogramy věků byly vyvozeny ze všech vrtaných stromů, kde se našel střed. Tedy i z větší plochy (2000 m<sup>2</sup>).

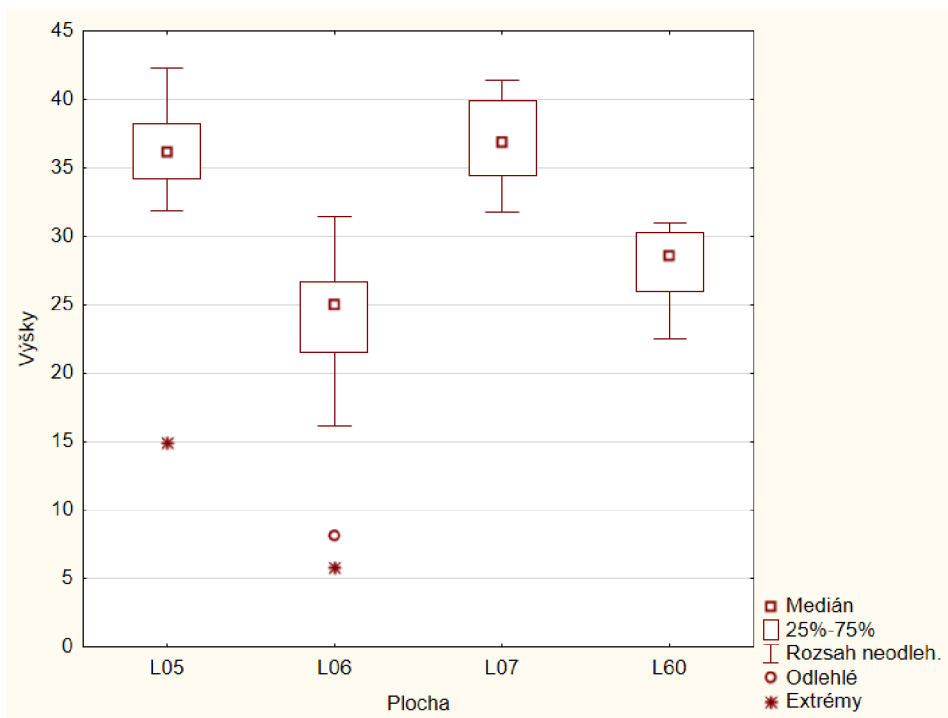
Data srážek a teplot pochází z meteostanice nacházející se cca 6 kilometrů severo – západně od plochy L60 ve vesnici Neumětely. Leží v nadmořské výšce 322 m n. m.

## Výsledky a diskuze

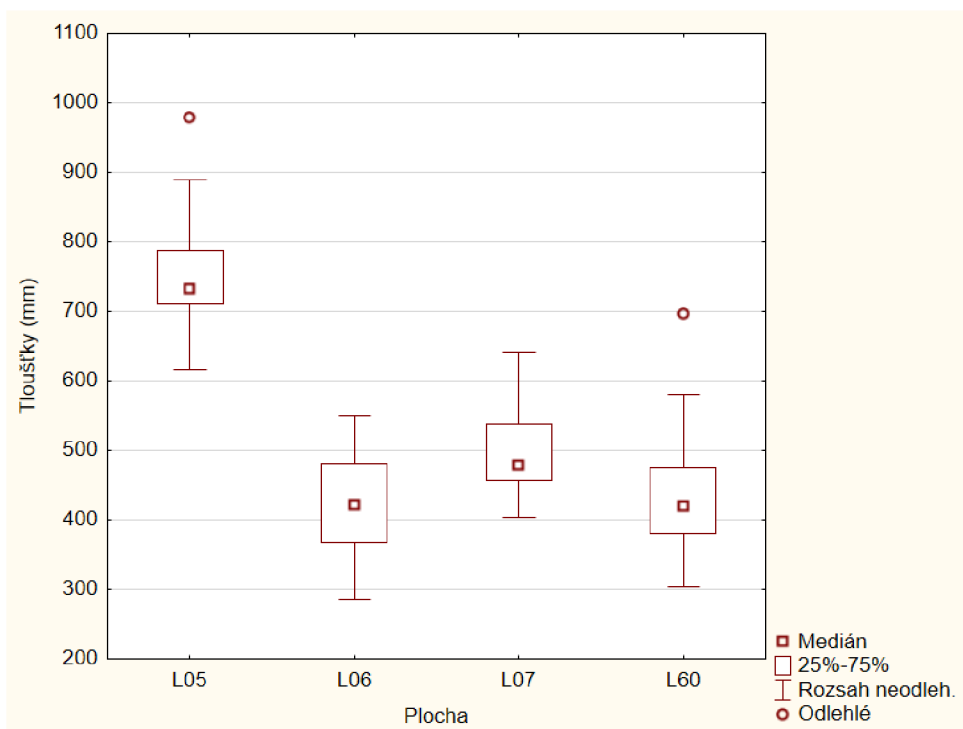
Naměřená a zpracovaná data byla statisticky zpracována pro znázornění závislosti průměrného ročního přírůstu a výšky stromů ve vybraných lokalitách na faktorech, které ovlivňují růst a vývoj buku lesního. Krabicové grafy srovnávají věky, výšky a vytyčené tloušťky na sledovaných lokalitách. Histogramy popisují věkové složení ve vybraných lokalitách na ploše 2000 m<sup>2</sup>. Následující grafy zobrazují vývoj přírůstů tloušťky buku lesního ve vybraných lokalitách v závislosti na čase společně s naměřeným historickým vývojem srážek a teplot. Dále je uvedena tabulka s průměrného, nejmenšího a největšího přírůstku tloušťky buku lesního v určeném časovém rozmezí.



Graf 1: Srovnání věků vrtaných stromů na menších plochách (1000 m<sup>2</sup>).



Graf 2: Srovnání výšek na vnitřních plochách (1000m<sup>2</sup>)

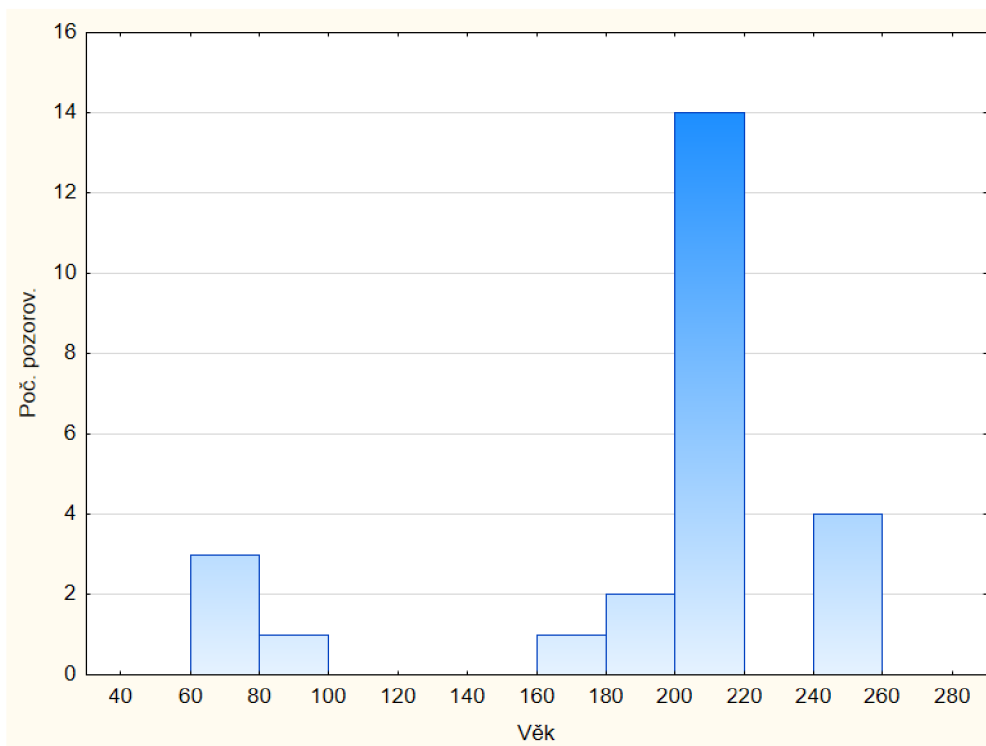


Graf 3: Srovnání výčetních tloušťek (mm) vrtaných stromů na vnitřních plochách (1000m<sup>2</sup>).

Z hlediska stáří na menší (1000 m<sup>2</sup>) plochu se jedná o relativně stejnověké porosty, což potvrzuje fakt, že se pracuje hospodářskými lesy. Ty bývají charakteristické malou věkovou diverzitou díky využívání holosečného hospodaření. Cílové hospodářské soubory (CHS) doporučují obmýt buku po 100 letech, pro vyhnutí se vadám dřeva (zejména nepravému jádru) (Vacek, 2022). Tento trend se dá vysvětlit tím, že porosty mají jinou funkci než pouze

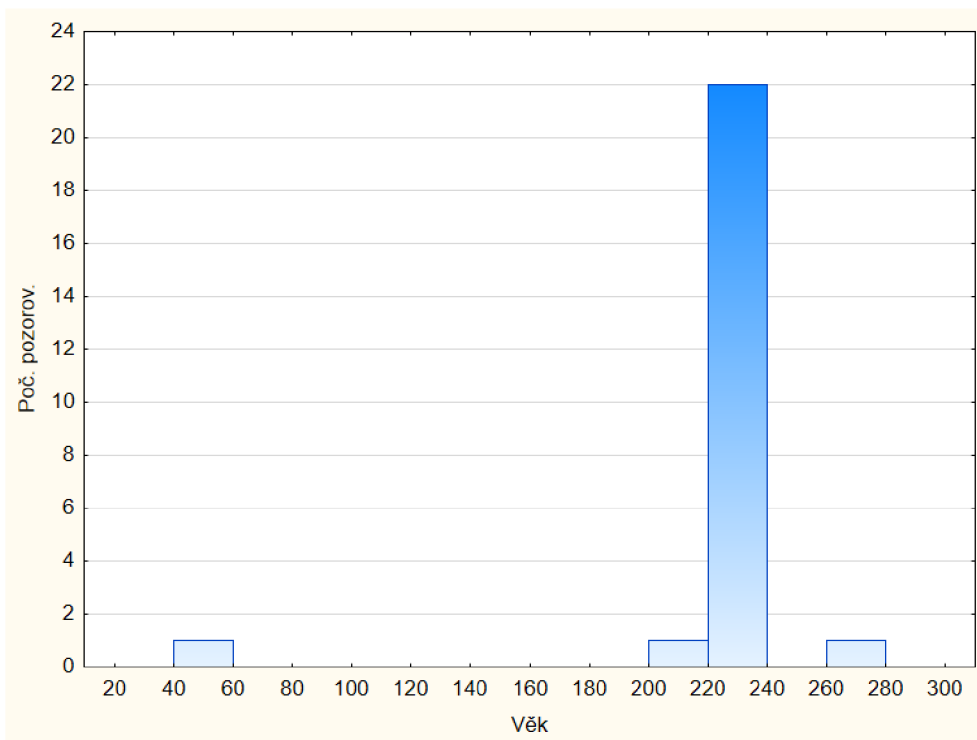
produkční. Například pokud jsou určeny pro zvýšení biodiverzity nebo mají širší ochrannou funkci. Plochy L06, L60 a L07 jsou přímo zařazeny mezi tyto kategorie.

Pomocí výšek, tloušťek a věků můžeme porovnat produktivitu stanovišť. Například plocha L06 má ze sledovaných veličin nejhorší výsledky, protože je nejstarší a má v průměru nejmenší výšky i tloušťky, proto nejspíš byla ponechána jako půdoochranná. Podobně by se dala popsat i o trochu mladší plocha L60, která je ale díky mladšímu věku teoreticky více produktivní. Plocha L05 je co se týče výšek a tloušťek nejproduktivnější. Je možné, že zde hraje roli větší diverzita dřevin na stanovišti (zastoupení buku 61 %). Plocha L07 by mohla být potenciálně nejproduktivnější, tím že je nemladší, ale výšky má jedny z největších. Tloušťky u buku totiž významně přirůstají i v pozdějších letech. (Vacek, 2022)



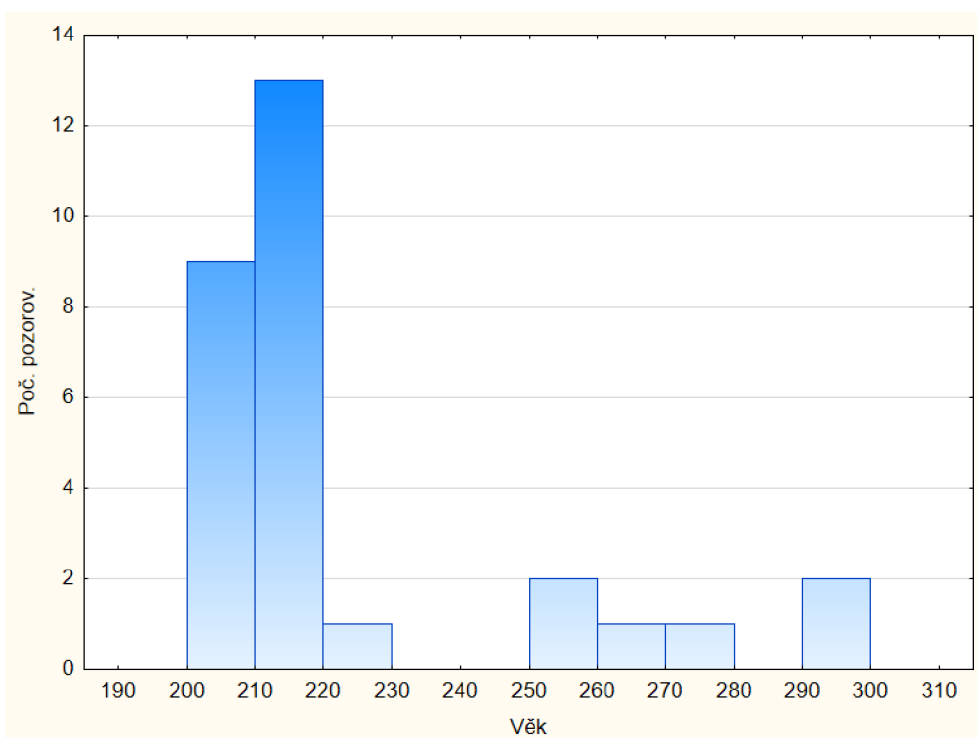
*Histogram 1: Rozložení věků na ploše L05 (2000 m<sup>2</sup>)*

V lesní ploše L05 byly měřeny buky ve věku 60 – 260 let. Dále jsme zkoumali stáří 5 jedinců habru obecného (*Carpinus betulus*). Z toho 4 habry měly věk v intervalu 60 až 100 let a jeden byl 188 letý.



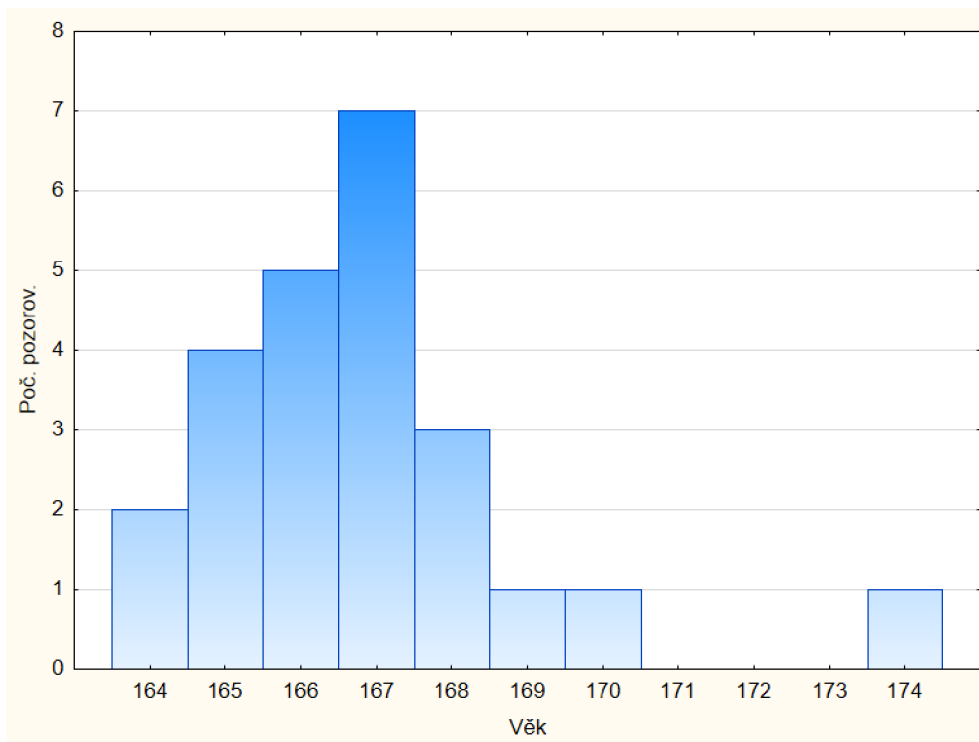
*Histogram 2: Rozložení věků na ploše L06 (2000 m<sup>2</sup>)*

Plocha L06 je téměř čistá bučina. Většina změřených jedinců má věk v intervalu 220 až 240 let. Na stanovišti byla změřena také jedna jedle (*Abies alba*), a to ve věku 44 let.



*Histogram 3: Rozložení věků na ploše L07 (2000 m<sup>2</sup>)*

U buků měřených na ploše L07 - 2000 m<sup>2</sup> bylo naměřené rozmezí věků 200 – 300 let. Dále se zde nachází 5 kusů borovice lesní (*Pinus sylvestris*) s rozmezím věků 200 až 220 let. V tomto rozmezí, jak je patrné z histogramu, kde se soustředí většina věků porostu. Dá se tedy říct, že plocha je bučina s příměsí.

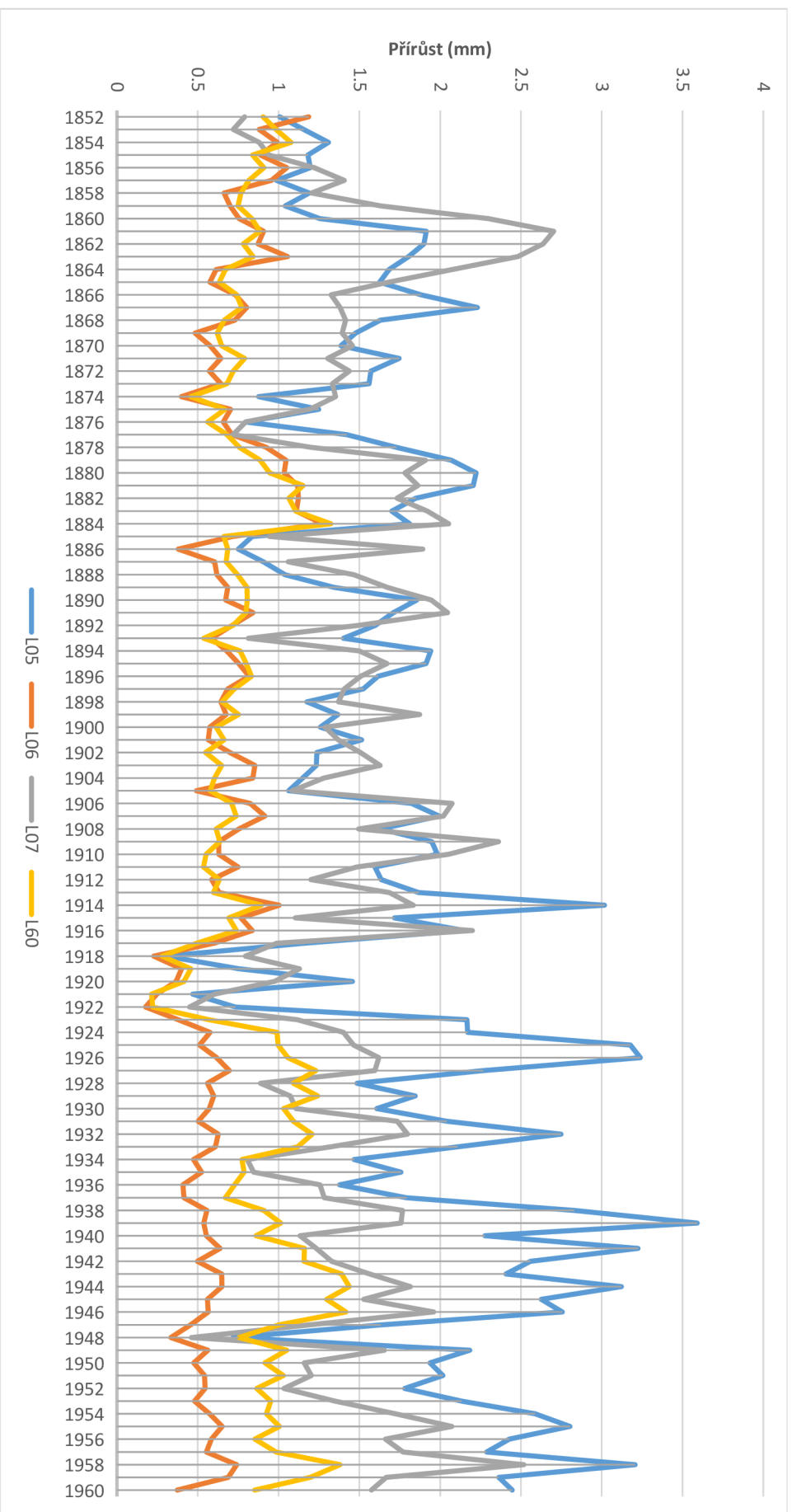


*Histogram 4: Rozložení věků na ploše L60 (2000 m<sup>2</sup>)*

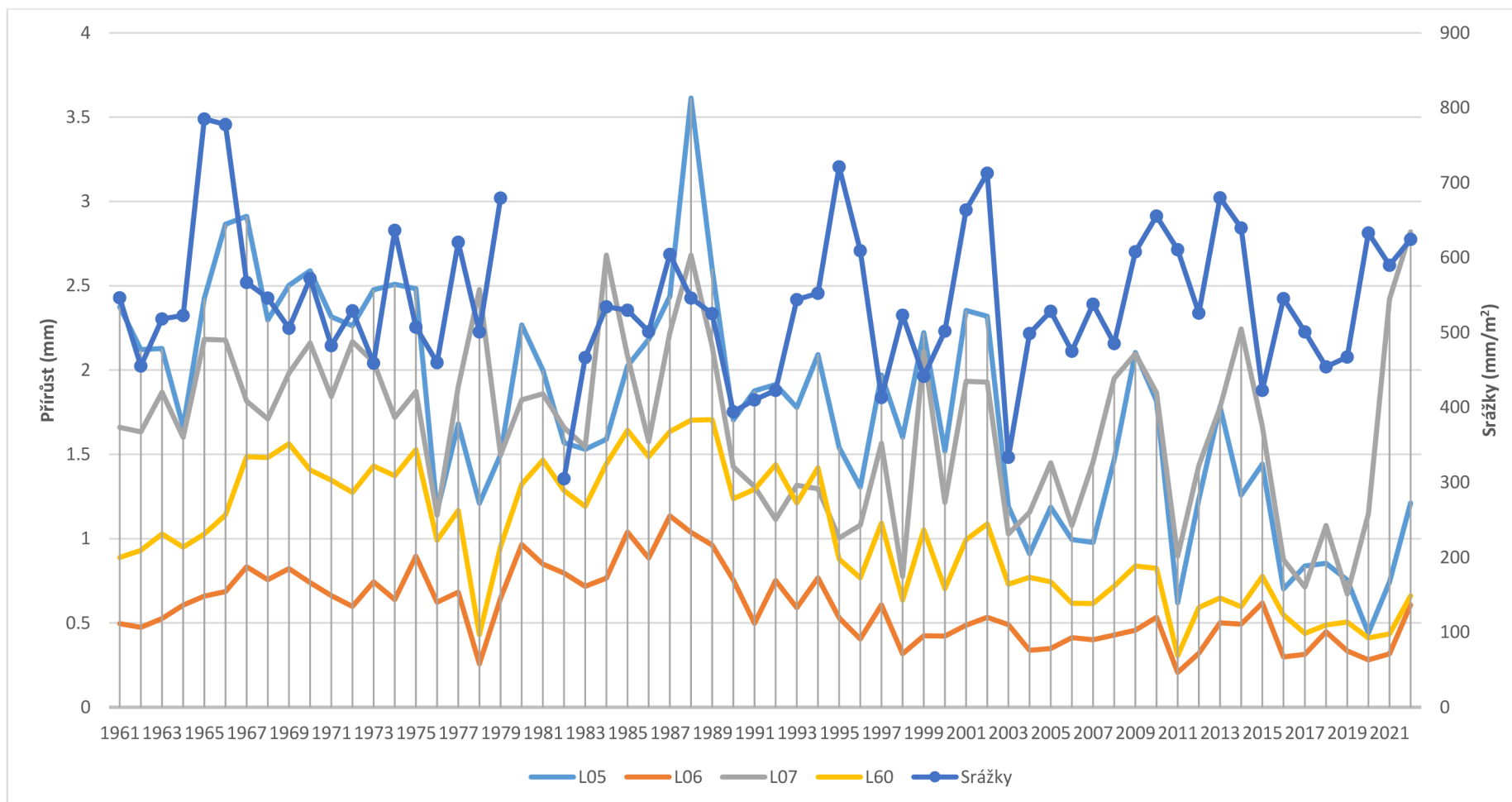
Lesní plocha L60 je také téměř čistá bučina. Stáří změřených buků je v rozmezí 164 až 174 let. Na tomto stanovišti jsme rovněž změřili nálet jednoho jedince dubu zimního (*Quercus petraea*) ve věku 166 let.

Zvětšené zkušební plochy vychází věkově zásadně výš, neboť ve vnějším kruhu jsou zahrnuty buky jen nad 500 mm tloušťky.

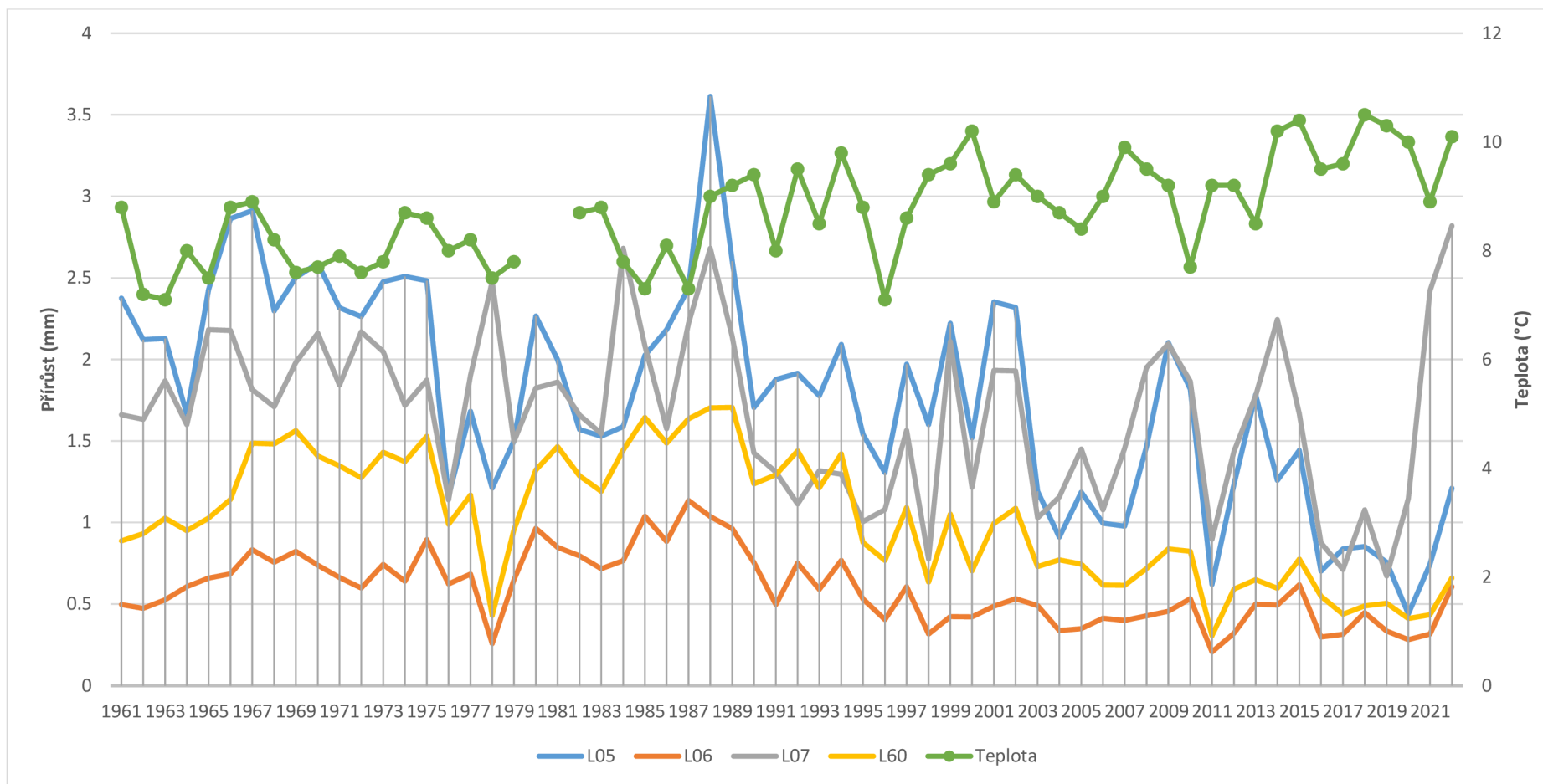




Graf 4: Přírůsty v čase 1852 až 1960



Graf 5: Přírůsty v čase 1961 až 2022 s porovnáním průměrných ročních srážek z meteostanice ČHMÚ v Hostovicích



Graf 6: Přírůsty v čase 1961 až 2022 s porovnáním průměrných ročních teplot na meteostanici ČHMÚ v Hostomicích

Při pozorování přírůstů v čase je zajímavé sledovat a porovnávat tendence přírůstů mezi stanovištěm L07 a třemi stanovišti (L05, L06, L60) které jsou relativně velmi blízko sebe. Celkově se dá říci, že přírůsty v čase mají shodnou tendenci, tzn. všechny rostou, respektive klesají. Nicméně v některých letech pozorujeme zcela opačné trendy obou skupin. Jedná se konkrétně o tyto roky: 1856 – 1858, 1866 – 1868, 1874, 1877, 1885 – 1887. Dále na Grafu 5 můžeme tyto protichůdné tendence vidět: 1971 – 1973, 1977 – 1979, 1984 – 1985, 1992 – 1993, 1995- 1996 a opačné tendence zaznamenáváme v roce 2013 – 2015, 2019 – 2020. Z této úvahy vyplývá, že z celkového zkoumaného období (169 let) bylo pouze 17 let, to je cca 10 %, kdy tendence přírůstu v čase byly opačné.

	Tabulka přírůstů 1852 - 1960			
	L05	L06	L07	L60
Průměrný přírůst (mm)	1,77	0,67	1,47	0,83
Nejmenší přírůst (mm)	0,3	0,18	0,45	0,21
Rok	1918	1922	1922	1921
Největší přírůst (mm)	3,59	1,27	2,7	1,44
Rok	1939	1884	1861	1944

*Tabulka 1: Průměr, maximální a minimální přírůsty v rozmezí času 1852 - 1960*

	Tabulka přírůstů 1961 - 2022			
	L05	L06	L07	L60
Průměrný přírůst (mm)	1,77	0,59	1,67	1,02
Nejmenší přírůst (mm)	0,44	0,21	0,67	0,3
Rok	2020	2011	2019	2011
Největší přírůst (mm)	3,61	1,14	2,82	1,71
Rok	1988	1987	2022	1989

*Tabulka 2: Průměr, maximální a minimální přírůsty v rozmezí času 1961 - 2022*

Od roku 1961 existuje dostatečné množství meteostanic na území Česka aby se dal podrobně zkoumat průběh v čase (Fakta o klimatu, 2024).

Dřívější roky můžeme porovnávat s největším vlivem sucha na výnosy plodin v České republice, které lze nalézt v letech 1922, 1934 a 1948 (Brázdil, 2009) Většina ploch vskutku značí v těchto letech snížené přírůsty.

Následující období sucha byla v letech: 1962-1964, 1971-1974, 1976-1977, 1983-1985, 1991-1992, 1995-2000 a 2003-2007, zatímco vlhká období byla v letech 1965-1970, 1978-1982, 1986-1987 a 2001-2002 (Potop, 2014).

Nejsušší vegetační období byla v letech: 1972-1974, jediná plocha co značila snížení přírůstu byla L07. Rok 1985 byl relativně dobrý pro všechny plochy, krom L07. Léta 1989-1994 poznamenaly na začátku značný pokles na všech plochách.

Zato nejvlhčí vegetační období se odehrávala v letech: 1965-1968, kde všechny plochy zaznamenaly nejprve pomalu zvyšující se přírůsty, aby se následně ke konci plochy L05 a L07 značně snížily. Léta 1978-1982 značí na skoro všech stanovištích (krom L07) značný nárůst a následné lehké opadnutí. Roky 1995-1999 zaznamenali počáteční útlum na veškerých plochách následované opětovným zvýšením.

Pro celé území České republiky byl největší počet suchých měsíců během vegetačního období zaznamenán chronologicky v následujících letech: 1964, 1976, 1983, 1990, 1992, 1994, 1998, 2000, 2003 a 2007 (Potop, 2014) Krom let 1992, 1994, 2007, kde se přírůst relativně vyrovnával, nejspíše díky aklimatizaci z minulých suchých období, měly plochy výrazný propad oproti předešlému roku.

	<b>L05</b>	<b>L06</b>	<b>L60</b>
<b>TEPLOTA</b>	-0,37	-0,34	-0,42
<b>SRÁŽKY</b>	0,18	-0,04	-0,08

*Tabulka 3: Korelace přírůstů s teplotami a srážkami na jednotlivé plochy*

Výpočtem korelace průměrných ročních klimatických dat z přilehlé meteostanice s přírůsty na jednotlivých plochách zjistíme, že korelace je zejména negativní. To jest, že větší teplota souvisí s menšími přírůsty na plochách. U srážek má pouze stanoviště L05 pozitivní korelaci. Tyto výsledky mohou být ovlivněny vzdáleností měřící stanice od porostů.

Velký vliv na přírůst též může mít odumření i jen několika jedinců po suchu, nebo jakékoliv jiné disturbanci. Následný volný prostor a zdroje pobídnou nejbližší stromy k jejich využití a tím se na určitou dobu lehce sníží kompetiční tlak a zvýší přírůsty (Fichtner, 2012). Tento jev jde nejspíše pozorovat v roce 1922, kdy většina ploch následně vykázala vyšší přírůsty. Ostatní faktory, jako například znečištění hrají spíše okrajovou roli.

## Závěr

Nedostatek srážek spojený se suchem omezuje rozšíření buku lesního v jižní Evropě, zatímco nízké teploty a jarní mrazy omezují buk lesní na severu. Buku se daří v optimálních podmínkách střední Evropy. V posledních letech však bukové lesy vykazují větší citlivost na suchu, přesto se tato dřevina může v podmínkách globální změny klimatu relativně dobře přizpůsobit svojí plasticitou.

Radiální variabilita růstu buku souvisí na mnoha faktorech, z čeho nejvíc limitující na vyšších stanovištích je teplota a v nížinách dostatek vody ve vegetační sezóně.

Další silný faktor je kompetice. Buky sice jsou jako mladé stínomilné, ale starší stromy vyžadují přímé světlo a pod silným zástínem umírají. Totéž se dá říct o živinách a dostupné vodě na stanovišti, kdy jejich nedostatek zvýší rivalitu a tím pádem i stres. Ostatní faktory, jako například znečištění, nehrály tak zásadní roli jako dostupnost vody.

Na dlouhověkost stromů hraje důležitou roli jejich vitalita, tj. odolnost a přizpůsobivost stresům. Samozřejmě síla stresů samotných je nejzásadnější, „bezstarostný“ strom dokáže přežívat velice dlouho.

Vliv přírůstků je nejvíce zřetelný v souvislosti s faktory tepla a zejména vody. Toto zjištění je ve shodě s nálezy v citované odborné literatuře.

Věková struktura pozorovaných stanovišť na jednotlivých plochách se povětšinou pohybuje v intervalu 20 let což je typické pro hospodářský les. Na vnitřní (1000 m<sup>2</sup>) ploše L05 se většina věků pohybovala mezi 200 až 220 let, na ploše L06 mezi 220 až 240, na ploše L07 mezi Druhově dominuje buk s příměsemi.

Získaná data budou dále využita pro další analýzu rozsáhlejšího projektu na Katedře ekologie lesa s cílem posoudit význam starých lesů mimo nejprísněji chráněná území z hlediska fixace uhlíku a podpory druhové rozmanitosti. V praxi lze získané výsledky uplatnit například při plánování efektivní výsadby lesních porostů s ohledem na budoucí vývoj faktorů ovlivňující vývoj a dosažený věk.

## Literatura a použité zdroje

- BADRAGHI, A. a M. V. MAREK, 2020. Interactive effects of elevated CO<sub>2</sub> and neighbourhood competition on the radial growth of European beech (*Fagus sylvatica* L.) seedlings. *Eur J Forest Res.* **139**, 499-512. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10342-020-01264-w>
- BAKKER, J. D., 2005. A new, proportional method for reconstructing historical tree diameters. *Canadian Journal of Forest Research* **35**, 2515 - 2520. ISSN 0045 - 5067.
- BAUMBACH, L., A. NIAMIR, T. HICKLER a R. YOUSEFPOUR, 2019. Regional adaptation of European beech (*Fagus sylvatica*) to drought in Central European conditions considering environmental suitability and economic implications. *Regional Environmental Change.* **19**(4), 1159-1174. ISSN 1436-3798. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1007/s10113-019-01472-0>
- BRÁZDIL, R., M. TRNKA, P. DOBROVOLNÝ, K. CHROMÁ, P. HLAVINKA a Z. ŽALUD, 2009. Variability of droughts in the Czech Republic, 1881–2006. *Theor Appl Climatol.* **97**, 297 - 315. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00704-008-0065-x>
- COMPS, B., THIÉBAUT, B., PAULE, L. et al. Allozymic variability in beechwoods (*Fagus sylvatica* L.) over central Europe: spatial differentiation among and within populations. *Heredity* **65**, 407–417 (1990).
- ČERMÁK, Petr, 2007. Defoliace a radiální růst - ukazatelé vitality smrku ztepilého. *Lesnická práce. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce*, **86**(11), 14-15. ISSN 0322-9254. *Fakta o klimatu*, 2024. OTEVŘENÁ DATA O KLIMATU, Z. Ú. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/explainery/teplotni-extremy-cr>
- ČHMÚ, Měsíční a roční data dle zákona 123/1998 Sb. Dostupné na: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data/mesicni-data-dle-z.-123-1998-Sb>
- DE SIMÓN, B., E. CADAHÍA a I. Aranda, 2022. Aerial and underground organs display specific metabolic strategies to cope with water stress under rising atmospheric CO<sub>2</sub> in *Fagus sylvatica* L. *Physiologia Plantarum.* **174**(3). Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/ppl.13711>
- ELLENBERG, H., 2009. *Vegetation Ecology of Central Europe.* 4th Edit. Cambridge: Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-11512-4.
- FICHTNER, A., K. STURM, C. RICKERT, W. HÄRDTLE a J. SCHRAUTZER, 2012. Competition response of European beech *Fagus sylvatica* L. varies with tree size and abiotic stress: minimizing anthropogenic disturbances in forests. *Journal of Applied Ecology.* **49**(6), 1306-1315. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02196.x>
- FU, Z., P. CIAIS, A. BASTOS, P. C. STOY, J. K. GREEN, B. WANG, K. YU a Y. HUANG, 2020. Sensitivity of gross primary productivity to climatic drivers during the summer drought of 2018 in Europe. *Philosophical transactions of the royal society B* [online]. **375**(1810). Dostupné z: <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0747>

GESSLER, A., C. KEITEL, J. KREUZWIESER, R. MATYSSEK, W. SEILER a H. RENNENBERG, 2006. Potential risks for European beech (*Fagus sylvatica* L.) in a changing climate. *Trees*. 2006-12-18, **21**(1), 1-11 [cit. 2024-02-27]. ISSN 0931-1890. Dostupné z: doi:10.1007/s00468-006-0107-x

GIESECKE, T., T. HICKLER, T. KUNKEL, M. T. SYKES a R. H.W. BRADSHAW, 2007. Towards an understanding of the Holocene distribution of *Fagus sylvatica* L. *Journal of Biogeography*. 34(1), 118-131. Dostupné z: doi:10.1111/j.1365-2699.2006.01580.x

HEJNÝ, S. a B. SLAVÍK, Květena České republiky. 2. nezměn. vyd. Praha: Academia, 2003. ISBN 80-200-1089-0.

HRUŠKA, J. a J. KOPÁČEK, 2005. Kyselý déšť stále s námi – zdroje, mechanismy, účinky, minulost a budoucnost. *PLANETA*. **12**(5). Dostupné z: [https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/DC21A4C7F0AFAD0AC1257081001AA6B7/%24file/planeta\\_web.pdf](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/DC21A4C7F0AFAD0AC1257081001AA6B7/%24file/planeta_web.pdf)

IVANOV, M., 2005. *Přirůstkové datovací metody*. Masarykova univerzita. Dostupné z: [https://is.muni.cz/el/1431/jaro2005/GA391/um/Dat\\_Kvart\\_Sed\\_2.doc](https://is.muni.cz/el/1431/jaro2005/GA391/um/Dat_Kvart_Sed_2.doc)

JANÍK, D., T. VRŠKA, L. HORT, P. UNAR a K. KRÁL, 2018. Where have all the tree diameters grown? Patterns in *Fagus sylvatica* L. diameter growth on their run to the upper canopy. *ECOSPHERE*. **9**(12). Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/ecs2.2508>

JARČUŠKA, B., 2009. Growth, survival, density, biomass partitioning and morphological adaptations of natural regeneration in *Fagus sylvatica*. A review. *Dendrobiology*. 61(1), 3-11. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/235247622\\_Growth\\_survival\\_density\\_biomass\\_partitioning\\_and\\_morphological\\_adaptations\\_of\\_natural\\_regeneration\\_in\\_Fagus\\_sylvatica\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/235247622_Growth_survival_density_biomass_partitioning_and_morphological_adaptations_of_natural_regeneration_in_Fagus_sylvatica_A_review)

JIANG, Y., W. MARCHAND, M. RYDVAL, et al., 2024. Drought resistance of major tree species in the Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology* [online]. 348(109933). Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2024.109933>

JUMP, A.S., HUNT, J.M. and PEÑUELAS, J. (2006), Rapid climate change-related growth decline at the southern range edge of *Fagus sylvatica*. *Global Change Biology*, 12: 2163-2174.

MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ, Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2022, 2023. Praha, nakladatelství Lesnická práce. ISBN 978-80-7434-703-0.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, 2021. Global Monitoring Laboratory—Global Greenhouse Gas Reference Network. Dostupné z: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/mlo.html>

LEUSCHNER, C. a H. ELLENBERG, 2017. Ecology of Central European forests. Revised and extended version of the 6th German edition. Cham: Springer - Verlag. Vegetation Ecology of Central Europe. ISBN 978-3-319-43040-9.



NOVOTNÝ, R., V. BURIÁNEK a V ŠRÁMEK, 2009. Metodika hodnocení viditelného poškození vegetace vyvolaného účinky přízemního ozonu: recenzovaná metodika. 6. Strnady: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti. Lesnický průvodce. ISBN 978-80-7417-014-0.

OTEVŘENÁ DATA O KLIMATU, *Fakta o klimatu*, 2024., Z. Ú. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/explainery/teplotni-extremy-cr>

PETERS, R., 1992. Ecology of Beech Forests in the Northern Hemisphere. Wageningen: Landbouwwuniversiteit Wageningen. ISBN 90-5485-012-4.

POTOP, V., C. BORONEANȚ a M. MOŽNÝ, 2014. Observed spatiotemporal characteristics of drought on various time scales over the Czech Republic. *Theor Appl Climatol.* **115**, 563-581. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00704-013-0908-y>

ROTTER, Pavel a Luboš PURCHART, ed., 2023. Ekologie lesa: jak se les mění a funguje. Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7509-926-6.

SCHARNWEBER, T., M. MANTHEY, C. CRIEGEE, A. BAUWE et al., 2011. Drought matters – Declining precipitation influences growth of *Fagus sylvatica* L. and *Quercus robur* L. in north-eastern Germany. *Forest Ecology and Management.* 262(6), 947-961. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.05.026>

SCHELHAAS, M., G. NABUURS a A. SCHUCK, 2003. Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. *Global Change Biology.* 9(11), 1620-1633. Dostupné z: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00684.x>

ŠIMŮNEK, V., Z. VACEK, S. VACEK, F. RIPULLONE a G. 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.* 12(3)(259). Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/f12030259>

SPEER, James H., 2010. Fundamentals of Tree-Ring Research. Tucson: University of Arizona. ISBN 978-0-8165-2684-0.

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

TALKNER, U., K. J. MEIWES a N. POTOČIĆ, 2015. Phosphorus nutrition of beech (*Fagus sylvatica* L.) is decreasing in Europe. *Annals of Forest Science.* **72**, 919-928. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s13595-015-0459-8>

ÚHŮL (Ústav pro hospodářskou úpravu lesa) Brandýs nad Labem. Oblastní plány rozvoje lesa. Brandýs nad Labem: ÚHŮL Brandýs nad Labem, [2017]. Dostupné na: <https://geoportal.uhul.cz/mapy/MapyOpri.html>

VACEK, S., J. REMEŠ, Z. VACEK, L. BÍLEK, I. ŠTEFANČÍK, M. BALÁŠ a V. PODRÁZSKÝ, 2022. *Pěstování lesů*. Vydání: druhé (upravené a doplněné). V Praze: Česká zemědělská univerzita. ISBN 978-80-213-3203-4.

VON WÜHLISCH, Georg. European beech. EUFORGEN Technical Guidelines for Genetic Conservation and Use, 2008, 6. ISBN: 978-92-9043-787-1