

Metodika pro odhad nadzemní zásoby uhlíku ve stojících stromech a její změny v čase

M. Svoboda, R. Bače, O. Vostárek

Katedra ekologie lesa, Fakulta lesnická a dřevařská, Česká zemědělská univerzita v Praze

Souhrn

Lesy poutají v globálním měřítku značné množství uhlíku, který je vázán v biomase stromů prostřednictvím fotosyntézy. Celková zásoba uhlíku v lese závisí na mnoha faktorech, jako jsou klimatické a stanovištní podmínky, druhové složení a věková struktura porostu. Přesné stanovení zásoby uhlíku v konkrétním lese bývá složité a časově náročné, avšak množství uloženého uhlíku úzce souvisí s velikostí jednotlivých stromů. Pro odhad zásoby uhlíku ve stromové biomase se proto běžně využívají alometrické vztahy, které převádějí snadno měřitelné veličiny – zejména výčetní tloušťku kmene (DBH) – na hmotnost biomasy a následně na zásobu uhlíku. Tato metodika představuje jednoduchý postup pro orientační odhad zásoby uhlíku v jednotlivých stromech na základě druhu dřeviny a výčetní tloušťky. Součástí je aplikace, která provádí výpočet pomocí publikovaných alometrických rovnic a umožňuje také modelovat změnu zásoby uhlíku v čase – jak její nárůst při růstu stromu, tak její úbytek po odumření v důsledku rozkladu biomasy. Vypočtené hodnoty slouží k orientačnímu stanovení zásoby uhlíku a jejímu vývoji v čase. Metodika je využitelná při posuzování uhlíkových přínosů živých i odumřelých stromů, například při hodnocení významu biotopových stromů pro mitigaci klimatické změny.

Obsah

1. Úvod
2. Cíl metodiky
3. Metodika
4. Praktické informace
5. Závěr
6. Seznam literatury

1. Úvod

Lesy představují jeden z nejvýznamnějších globálních rezervoárů uhlíku. Stromy během fotosyntézy poutají oxid uhličitý z atmosféry a ukládají uhlík do své biomasy – dřeva, kůry, větví i listů. Díky tomu hrají klíčovou roli v mitigaci klimatické změny. Množství uhlíku uloženého v lesních ekosystémech je ovlivněno mnoha faktory, jako jsou klimatické a stanovištní podmínky, druhové složení, věková struktura porostu nebo probíhající disturbance.

Stanovení zásoby uhlíku v celém lese bývá složité a časově náročné, protože vyžaduje detailní inventarizaci. Na druhé straně je zásoba uhlíku úzce svázána s velikostí jednotlivých stromů. Proto se v praxi často využívají tzv. alometrické vztahy, které umožňují odhadnout biomasu a zásobu uhlíku z jednoduše měřitelných veličin – zejména z výčetní tloušťky (DBH).

Tato metodika vznikla jako praktický nástroj pro vlastníky lesů, odborníky i širší veřejnost. Umožňuje snadno odhadnout množství uhlíku uloženého ve stojících živých stromech na základě druhu a tloušťky kmene, případně i posoudit, jak se zásoba uhlíku mění při různých scénářích nakládání se stromem (ponechání růstu, ponechání souše nebo ležícího dřeva). Součástí metodiky je online kalkulačka, která výpočet automatizuje a využívá aktuální vědecké poznatky o růstu stromů a rozkladu dřevní biomasy.

2. Cíl metodiky

Cílem této metodiky je představit postup jakým způsobem lze relativně jednoduše stanovit odhad zásoby uhlíku v jednotlivých stromech. Jako vstupní údaje slouží druh dřeviny a tloušťka stromu. Aplikace, která je součástí této metodiky následně provede výpočet s využitím publikovaných alometrických rovnic. Výsledkem je stanovení celkové biomasy daného stromu a následně zásoba uhlíku. Vypočtené hodnoty slouží pro orientační stanovení zásoby uhlíku a mohou sloužit pro posuzování benefitů živých stromů při mitigaci klimatické změny. Aplikace bude dostupná v rámci webového rozhraní. Aplikace je využitelná pro vlastníky lesů, odbornou veřejnost, ale i širokou veřejnost.

3. Metodika

3.1 Vstupní údaje

Pro odhad zásoby uhlíku v konkrétním stromě se používají dva základní vstupní údaje:

Druh stromu,

Výčetní tloušťka stromu (DBH) v centimetrech.

V rámci aplikace lze vybírat z hlavních dřevin běžných v českých lesích. Méně běžné dřeviny jsou z praktických důvodů sloučeny do skupin (např. „ostatní listnaté tvrdé“, „ostatní jehličnaté“).

Tloušťka stromu se měří ve výšce 1,3 m nad zemí (tzv. výčetní výška). Přesný návod, jak DBH změřit, je uveden v Příloze 1.

Výška stromu se v této metodice nepoužívá, protože její měření v terénu je náročnější a pro odhad zásoby uhlíku není nezbytné.

3.2 Výpočet

3.2.1 Odhad nadzemní biomasy živých stromů pomocí alometrických rovnic

Výpočet nadzemní biomasy živých stromů je založen na obecném alometrickém vztahu mezi tloušťkou kmene (DBH) a hmotností nadzemní biomasy (AGBstart). Biomasa se počítá podle rovnice:

$$\text{AGBstart} = e^{(a+b \cdot \ln(\text{DBH}))} \times CF$$

kde:

- **AGBstart** je nadzemní biomasa stromu (kg sušiny),
- **exp** je Eulerovo číslo (2,718281828),
- **DBH** je výčetní tloušťka stromu v centimetrech,
- **a, b** jsou parametry rovnice specifické pro jednotlivé druhy dřevin,
- **CF** je korekční faktor podle dřeviny.

Rovnice popisuje vztah mezi výčetní tloušťkou stromu a jeho suchou hmotností nadzemní části (kmen, větve, kůra, listy/jehlice). Parametry *a*, *b* a korekční faktor *CF* byly převzaty z publikace:

Forrester, D. I., Tachauer, I. H. H., Annighoefer, P., Barbeito, I., Pretzsch, H., Ruiz-Peinado, R., ... & Sileshi, G. W. (2017). *Generalized biomass and leaf area allometric equations for European tree species incorporating stand structure, tree age and climate*. Forest Ecology and Management, 396, 160–175.

Tabulka parametrů rovnic a korekčních faktorů (CF) podle dřevin:

Druh stromu	Latinský název	a	b	CF
jedle bělokorá	<i>Abies alba</i>	-2,3958	2,4497	1,00068

Druh stromu	Latinský název	a	b	CF
javory	<i>Acer spp.</i>	-1,9958	2,3625	0,99737
olše lepkavá	<i>Alnus glutinosa</i>	-2,3914	2,4204	1,02347
břízy	<i>Betula spp.</i>	-2,0013	2,3683	1,03510
habr obecný	<i>Carpinus betulus</i>	-1,6594	2,3589	0,99692
buk lesní	<i>Fagus sylvatica</i>	-1,6594	2,3589	0,99692
jasany	<i>Fraxinus spp.</i>	-2,8255	2,8048	0,86278
modřín evropský	<i>Larix decidua</i>	-1,6512	2,2312	1,02916
smrk ztepilý	<i>Picea abies</i>	-1,8865	2,3034	1,05914
borovice lesní	<i>Pinus sylvestris</i>	-2,1575	2,3097	1,11871
topoly	<i>Populus agg.</i>	-2,311	2,3538	1,12300
douglaska	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	-2,3298	2,4818	1,00300
duby	<i>Quercus spp.</i>	-2,684	2,7274	1,02277
akát bílý	<i>Robinia pseudoacacia</i>	-1,8468	2,2656	0,96387

Pro agregované výpočty jsou dále použity průměrné hodnoty parametrů:

- **Průměrný jehličnan:** a = -2,2085; b = 2,3786; CF = 1,03882
- **Průměrný listnáč:** a = -1,9958; b = 2,3625; CF = 0,99737

3.2.2 SCENÁŘ 1: Ponechání živého stromu

Roční tloušťkový přírůst živých stromů

Tento výpočet stanovuje změnu výčetní tloušťky (DBH) a odpovídající změnu nadzemní biomasy (AGB) během sledovaného období. Vstupními údaji jsou počáteční výčetní tloušťka, průměrný roční tloušťkový přírůst a délka období (t , v letech).

Výpočetní vztahy:

$$DBH_t = DBH_{start} + t \times \text{průměrný roční přírůst (cm/rok)}$$

$$AGB_t = e^{(a+b \cdot \ln(DBH_t))} \times CF$$

$$\Delta AGB = AGB_t - AGB_{start}$$

kde:

- **DBH_{start}** je výchozí výčetní tloušťka stromu (cm),
- **DBH_t** je výčetní tloušťka v čase t (cm),
- **t** je časový interval v letech,
- **a, b, CF** jsou parametry rovnice podle dřeviny (viz karta 2),
- **ΔAGB** představuje změnu (přírůstek) nadzemní biomasy během období.

Tento výpočet poskytuje orientační odhad, o kolik strom za dané období zvýšil svou hmotnost a tím i zásobu uhlíku.

Jak zjistit průměrný roční přírůst výčetní tloušťky (DBH)

Roční tloušťkový přírůst (tedy přírůst „na šířku“) je klíčový údaj pro odhad množství dřeva a uhlíku, které strom ročně navíc uloží.

Průměrný roční přírůst lze zjistit několika způsoby:

a) Z okolních pařezů po těžbě

Po čerstvé těžbě lze změřit šířku letokruhů na pařezech stromů stejného druhu. Přírůst DBH = průměrná šířka letokruhu × 2. Například průměr posledních pěti letokruhů dělený pěti dává průměrný roční přírůst. Tento způsob je rychlý, ale pouze orientační.

b) Přímé měření živých stromů

Na živých stromech se označí měřiště ve výšce 130 cm (DBH) a obvod stromu se změří na začátku a konci vegetační sezóny. Rozdíl obvodů se přepočítá na průměr (DBH) a získá se roční přírůst. Tento způsob dává přesné údaje přímo z daného lesa.

c) Použití tabulek orientačních přírůstů

K orientačnímu odhadu lze použít přiložené tabulky, které udávají průměrné roční přírůsty DBH podle:

- druhu stromu,
- bonity stanoviště (nízká / střední / vysoká),
- světelného postavení stromu (potlačený / standardní / uvolněný).

Tabulky poskytují průměrné hodnoty v cm/rok pro stromy s DBH ≥ 30 cm. Použité multiplikátory:

- **Bonita:** 0,80 / 1,00 / 1,20
- **Postavení:** 0,60 / 1,00 / 1,40

Základní hodnoty vycházejí z průměrů napříč několika vědeckými studiemi (viz příloha 2 Tabulka přírůstů).

d) Pomoc od odborníka (vývrt)

Odborník může pomocí vývrtu (o průměru 4 mm) přesně změřit šířku posledních letokruhů a z nich stanovit roční přírůst.

Tento způsob je přesný, ale invazivní.

Použitá tabulka ročních tloušťkových přírůstů DBH

Přehled průměrných hodnot ročního přírůstu (cm/rok) podle druhu, bonity stanoviště a postavení stromu je uveden na samostatné kartě (viz příloha 2 Tabulka přírůstů). Základní průměry vycházejí z publikovaných studií (např. D'Andrea et al. 2022; Paluch et al. 2023; Walder et al. 2021; Ogana et al. 2024; Kozakiewicz et al. 2020; Vacek et al. 2018; Roibu et al. 2020; Dobrowolska et al. 2020; Hynynen et al. 2010 aj.).

Ověření:

V rámci ověření výpočtu ročního přírůstu stromu (Δ DBH) byly ověřeny tři různé přístupy:

- (1) z přímého přeměření tloušťky kmene (remeasurement),
- (2) z analýzy letokruhů (rings),
- (3) z průměrných hodnot publikovaných ve vědeckých studiích pro stromy s DBH ≥ 30 cm.

Ověření proběhlo na rozsáhlém datovém souboru (více než 15 000 stromů) z osmi zemí střední Evropy. Pro srovnání obou terénních metod byla použita Bland–Altmanova analýza, která prokázala, že mezi metodami remeasurement a rings není významný systematický rozdíl (bias ≈ 0 mm/rok). Rozptyl jednotlivých rozdílů se u většiny druhů pohybuje v pásmu ± 4 mm/rok, což odpovídá běžné provozní nejistotě měření a přirozené variabilitě růstu.

Přirozenou součástí chybovosti je i lidský faktor, zejména nepřesnost měření průměru na označeném měřišti nebo práce s obvodovým měřidlem. Dále je třeba vzít v úvahu, že posledních 10 letokruhů většinou neodpovídá intervalu mezi oběma měřeními DBH, protože vývrty byly obvykle odebrány již při prvním měření. Tyto časové nesoulady mohou vést k menším odchylkám mezi metodami.

Při porovnání s hodnotami odvozenými z vědeckých článků vycházely naše přírůsty ve všech sledovaných druzích nižší, což odpovídá rozdílu mezi přírodními (bezzásahovými) a hospodářskými lesy, z nichž literární údaje obvykle pocházejí. V přírodních lesích je vyšší vnitro- i mezidruhová konkurence, což vede k nižším průměrným přírůstům.

Na základě tohoto ověření byly pro metodiku upraveny základní průměry ročních přírůstků (v cm/rok) pro jednotlivé skupiny dřevin a doplněny o varianty podle bonity stanoviště (nízká / střední / vysoká = 0,80 / 1,00 / 1,20) a světelného postavení stromu (potlačený / standardní / uvolněný = 0,60 / 1,00 / 1,40).

Tím lze v aplikaci lépe přiblížit reálnou variabilitu růstu podle stanoviště a postavení jedince v porostu.

3.2.3 Uhlík v biomase

Obsah uhlíku v nadzemní biomase se počítá jednoduchým přepočtem:

$$C_{AGB} = AGB \times 0.5$$

kde:

- **C_{AGB}** je množství uhlíku v nadzemní biomase (kg C),
- **AGB** je celková nadzemní biomasa stromu (kg sušiny),
- **0,5** představuje podíl uhlíku v biomase.

Hodnota 0,5 je běžně používaná aproximace, která vychází z předpokladu, že přibližně 50 % sušiny rostlinné biomasy tvoří uhlík.

Tento přepočet je v souladu s mezinárodně uznávanými doporučeními IPCC Good Practice Guidance for LULUCF (IPCC, 2003) a používá se jako standardní postup v emisních inventurách a odhadech uhlíkových zásob v suchozemské vegetaci.

3.2.4 SCÉNÁŘ 2: Ponechat ležící kmen (Rozklad uhlíku v biomase)

Rozklad uhlíku v biomase je popsán exponenciální rovnicí:

$$C_t = C_{start} \times e^{-k \times t}$$

kde:

- **C_t** – množství uhlíku v čase *t* (kg C),
- **C_{start}** – počáteční množství uhlíku (kg C),
- **t** – čas v letech,
- **k** – rozkladová konstanta (rok⁻¹),
- **exp** – Eulerovo číslo (2,718281828).

Tento vztah vyjadřuje postupný úbytek uhlíku v důsledku rozkladu biomasy v čase. Výpočet vychází z hodnot stanovených podle dřeviny (viz níže) a použitých v kartách 2 a 6 tabulky.

Použité rozkladové konstanty (k)

Hodnoty *k* (v rok⁻¹) byly odvozeny z publikovaných studií, které se zaměřovaly na rozklad silnějšího dřeva (kmeny a většící frakce). Z různých zdrojů byly získány průměrné hodnoty, případně doplněny odhadem podle příbuzných druhů. Následně byly aplikovány korekce podle typu lesa (jehličnany / listnáče), aby se zohlednily rozdíly mezi hrubou a jemnou frakcí biomasy.

Dřevina	k (dřevo)	Zdroj	k (celková AGB)
<i>Robinia pseudoacacia</i>	0,029	odhad podle dubů	0,035
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	0,030	viz tabulka dole	0,028
<i>Quercus spp.</i>	0,032	viz tabulka dole	0,038
Průměrný jehličnan	0,035	průměr všech jehličnanů	0,033
<i>Larix decidua</i>	0,036	viz tabulka dole	0,034

Dřevina	k (dřevo)	Zdroj	k (celková AGB)
<i>Picea abies</i>	0,037	viz tabulka dole	0,035
<i>Abies alba</i>	0,039	odhad podle smrku	0,037
<i>Pinus sylvestris</i>	0,045	viz tabulka dole	0,042
<i>Fraxinus excelsior</i>	0,045	viz tabulka dole	0,055
<i>Prunus spp.</i>	0,055	viz tabulka dole	0,067
<i>Populus spp.</i>	0,061	viz tabulka dole	0,074
Průměrný listnáč	0,064	průměr všech listnáčů	0,078
<i>Fagus sylvatica</i>	0,066	viz tabulka dole	0,081
<i>Acer spp.</i>	0,069	viz tabulka dole	0,085
<i>Tilia spp.</i>	0,071	viz tabulka dole	0,088
<i>Betula spp.</i>	0,075	viz tabulka dole	0,093
<i>Carpinus betulus</i>	0,097	viz tabulka dole	0,120

Aplikované korekce

Protože se jednotlivé frakce (kmen, větve, kůra, listy) rozkládají různou rychlostí, byly základní hodnoty *k* upraveny jednoduchými násobnými faktory:

Typ lesa / dřeviny	Korekční faktor	Odůvodnění
Jehličnany	× 0,9	Jehličnany mají vyšší podíl pomaleji rozkládajících částí (větve se rozkládají pomaleji než kmen; Palviainen et al., 2010; Weedon et al., 2009).
Listnáče	× 1,2	Listnáče mají vyšší podíl drobné biomasy s rychlejším rozkladem (větve, listy; Kahl et al., 2017; Müller-Using & Bartsch, 2009).

Zdrojové studie a stanovení rozkladových konstant

Rozkladové konstanty byly odvozeny rešerší dostupné literatury a váženým průměrováním podle robustnosti studií, se zvláštním důrazem na silnější kmeny (dřevo s kůrou, ale bez jemné biomasy).

Zdroj	Fagus sylvatica	Picea abies	Pinus sylvestris	Larix decidua	Quercus spp.	Betula spp.	Populus spp.	Fraxinus excelsior	Acer spp.	Tilia spp.	Prunus spp.	Carpinus betulus	Pseudotsuga menziesii
Müller-Using & Bartsch (2009)	0,089												
Kahl et al. (2017)	0,056	0,043	0,041	0,037	0,028	0,073	0,061	0,052	0,074	0,074			
Edelmann et al. (2023)*redukční faktor 0,6;sledovali jen první roky rozkladu	0,0792	0,0612	0,045	0,0348	0,0438	0,0792	0,0612		0,0648	0,0684	0,0552	0,0972	0,0336
Weedon et al. (2009)							0,06	0,038					0,027
Kuehne et al. (2008)			0,028										
Herrmann & Prescott (2008)		0,033				0,072							
Palviainen et al. (2010)			0,026										
Herrmann et al. (2015) (>40 cm)	0,035	0,027	0,021										
Christensen et al. 2005	0,067												
Rock et al. (2008); LB (literature-based)-metoda z vícero zdrojů	0,067	0,033	0,0575		0,028								
průměr	0,065	0,041	0,032	0,036	0,036	0,075	0,061	0,045	0,069	0,071	0,055	0,097	0,030
finální hodnota pro kmeny (dřevo s kůrou ale bez jemné biomasy stromů)	0,066	0,037	0,045	0,036	0,032	0,075	0,061	0,045	0,069	0,071	0,055	0,097	0,030

3.2.5 SCÉNÁŘ 3: *Ponechat stojící souši (Rozklad uhlíku v biomase)*

Scénář ponechání stojící souše

Rozklad uhlíku u stromu ponechaného jako stojící souše modelujeme dvoufázově: (i) pomalejší rozklad po dobu, kdy souš stojí, a (ii) rychlejší rozklad po pádu na zem. Výpočtový vztah je:

$$C_t = C_{start} \times \exp(-k_s \cdot \min(t, 15) - k \cdot \max(t - 15, 0))$$

kde

- C_t je množství zbývajících uhlíku v čase t (kg C),
- C_{start} je počáteční množství uhlíku v čase 0 (viz karty 2 a 6),
- t je čas v letech,
- k je rozkladová konstanta (rok⁻¹) pro dřevo po pádu (ležící),
- k_s je rozkladová konstanta (rok⁻¹) pro stojící souše,
- $\exp$ je Eulerovo číslo 2,718281828.

Pro stojící souše používáme konzervativní vztah

$$k_s = 0.5 \times k,$$

tj. poloviční rychlost rozkladu oproti ležícímu dřevu. Tento poměr vychází z odhadů v práci Harmon et al. (1986) (*Ecology of Coarse Woody Debris in Temperate Ecosystems*), kde stojící kmeny vykazují pomalejší počáteční rozklad než kmeny ležící.

V základním nastavení uvažujeme, že souš stojí průměrně 15 let (konstantní hodnota). Po tuto dobu se uplatňuje pomalejší rozklad k_s ; po uplynutí 15 let se uplatní rychlost k platná pro ležící dřevo.

Odhad realistické průměrné doby stání souší (použito pro informaci; model pracuje s 15 lety)

Druh dřeviny	Odhad doby stání (roky)	Zdroje
Smrk ztepilý (<i>Picea abies</i>)	11	Storaunet & Rolstad (2002)
Borovice lesní (<i>Pinus sylvestris</i>)	17	Harmon et al. (1986)
Buk lesní (<i>Fagus sylvatica</i>)	17	Vandekerckhove et al. (2009)
Dub letní (<i>Quercus robur</i>)	22	Vandekerckhove et al. (2009); Müller-Using & Bartsch (2009)
Bříza bělokorá (<i>Betula pendula</i>)	6,5	Harmon et al. (1986); Storaunet & Rolstad (2002)
Průměr	15	—

Poznámky k použití metodiky::

- Pokud uživatel zadá vlastní dobu stání, lze 15 let nahradit zadanou hodnotou; vzorec zůstává stejný (jen se mění hranice mezi fázemi).
- Hodnoty k (ležící dřevo) jsou převzaty z karet s rozkladovými konstantami; k_s se dopočítává automaticky jako $0.5 \times k$.
- Tato dvoufázová aproximace zachycuje typické chování souší v mírném pásmu: stabilnější, pomaleji se rozpadající fázi ve stoje a urychlení po pádu v důsledku kontaktu se zemí a kolonizace rozkladači.

3.2.6 Přepočet na ekvivalent CO_2

Pro přepočet množství uhlíku uloženého v biomase na odpovídající množství oxidu uhličitého (CO_2 ekvivalent) se používá vztah:

$$CO_{2eq} \text{ (kg)} = C \text{ (kg)} \times \frac{44}{12}$$

kde:

- CO_{2eq} (kg) – množství oxidu uhličitého, které odpovídá uloženému množství uhlíku,
- C (kg) – množství uhlíku (např. v biomase nebo mrtvém dřevě),
- $44/12$ – poměr molární hmotnosti oxidu uhličitého (CO_2) ku uhlíku (C), tj. přibližně 3,667.

Znamená to, že každý 1 kg uhlíku v biomase odpovídá přibližně 3,67 kg CO_2 , které by se uvolnily do atmosféry při úplné oxidaci daného množství uhlíku.

4. Praktické informace

Metodika pro odhad zásoby uhlíku ve stojících stromech je navržena tak, aby byla snadno použitelná a současně vědecky podložená.

Uživatel zadává druh dřeviny a výčetní tloušťku kmene (DBH). Pokročilý uživatel může volit také bonitu stanoviště a světelné postavení stromu, které ovlivňují očekávaný roční přírůst a tím i dynamiku akumulace uhlíku. Pokud tyto parametry nejsou zadány, výpočet automaticky pracuje s výchozí kombinací střední bonita – standardní postavení stromu. Tyto výchozí hodnoty vycházejí z rozsáhlé databáze měření a byly ověřeny srovnáním tří nezávislých metod – přímého přeměření, letokruhové analýzy a publikovaných vědeckých studií.

Metodika stojí na generalizovaných alometrických rovnicích Forrestera et al. (2017), které jsou založeny na tisících měření napříč druhy, věkem, klimatem a strukturou porostů v celé střední Evropě. Díky tomu metodika poskytuje robustní a reprezentativní odhady, které nejsou citlivé na drobné odchylky místních podmínek a lze je považovat za spolehlivý průměr chování stromů daného druhu v mírném pásmu.

Je třeba mít na paměti, že aplikace neprovádí detailní kalibraci pro konkrétní stanoviště. Místní podmínky (např. extrémně chudá nebo mimořádně úživná stanoviště, specifické poškození, nadměrná

hustota porostu apod.) mohou skutečný růst stromů ovlivnit. Tyto rozdíly se však v rámci průměrů použitých v modelu do značné míry vyrovnávají. Z toho důvodu je výstupem spolehlivý orientační odhad, který reprezentuje reálnou zásobu uhlíku a její vývoj v čase, aniž by uživatel musel provádět složitá měření nebo detailní modelování. Metodika tak představuje nástroj, který je: jednoduchý pro praktické použití, transparentní v použitých rovnicích a zdrojích, a přitom vědecky robustní, protože čerpá z rozsáhlých empirických dat a prověřených modelů.

Metodika současně umožňuje simulovat různé scénáře vývoje uhlíku – například ponechání stromu k dalšímu růstu, ponechání souše nebo ležícího dřeva po zániku stromu. Každý scénář využívá specifické rozkladové konstanty a umožňuje odhadnout, jak se množství vázaného uhlíku mění v čase. Tato možnost dává uživateli nástroj nejen k popisu současného stavu, ale i k porovnání potenciálu různých přístupů hospodaření z hlediska udržení uhlíku v ekosystému.

5. Závěr

Představená metodika a aplikace umožňuje transparentní a vědecky podložený výpočet biomasy a zásoby uhlíku ve stojících stromech i jejich vývoj v čase. Výsledky poskytují spolehlivý orientační odhad založený na mezinárodně ověřených alometrických vztazích a rozsáhlých datech z evropských lesů. Aplikace nachází uplatnění při posuzování uhlíkové bilance a přínosů živých i odumřelých stromů pro mitigaci klimatické změny, a může být cenným podkladem pro rozhodování vlastníků, správců lesů i ochranářů při zvažování scénářů ponechání stromů, souší či mrtvého dřeva. Díky své jednoduchosti, robustnosti a otevřenosti použitých metod představuje praktický nástroj pro odbornou i širší veřejnost, který přibližuje složité ekologické procesy do srozumitelné a měřitelné podoby.

6. Seznam literatury

- Christensen, M., Hahn, K., Mountford, E. P., Ódor, P., Standovár, T., Rozenbergar, D., Diaci, J., Wijdeven, S., Meyer, P., Winter, S., & Vrska, T. (2005). Dead wood in European beech (*Fagus sylvatica*) forest reserves. *Forest Ecology and Management*, 210, 267–282.
- D'Andrea, G., et al. (2022). Mismatch between annual tree-ring width growth and NDVI index in Norway spruce stands of Central Europe. *Forests*.
- Diaconu, D., et al. (2016). Variability of European beech wood density as influenced by interactions between tree-ring growth and aspect. *Forest Ecosystems*.
- Dobrowolska, D., et al. (2020). Growth and competition of silver birch (*Betula pendula* Roth) in mixed stands in central Europe. *Forests*.
- Dobrowolska, E., Wroniszewska, P., & Jankowska, A. (2020). Density distribution in wood of European birch (*Betula pendula* Roth). *Forests*.
- Edelmann, E., et al. (2023). Decomposition rates of coarse woody debris in temperate forests: early phase dynamics and drivers. *Forests*.
- Forrester, D. I., Tachauer, I. H. H., Annighoefer, P., Barbeito, I., Pretzsch, H., Ruiz-Peinado, R., ... & Sileshi, G. W. (2017). Generalized biomass and leaf area allometric equations for European tree species incorporating stand structure, tree age and climate. *Forest Ecology and Management*, 396, 160–175.
- Harmon, M. E., Franklin, J. F., Swanson, F. J., Sollins, P., Gregory, S. V., Lattin, J. D., ... & Cummins, K. W. (1986). *Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems*. In A. MacFadyen & E. D. Ford (Eds.), *Advances in Ecological Research* (Vol. 15, pp. 133–302). Academic Press.

- Herrmann, S., & Prescott, C. E. (2008). Mass loss and nutrient dynamics of coarse woody debris in three Rocky Mountain coniferous forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 38, 125–132.
- Herrmann, S., et al. (2015). Decomposition dynamics of coarse woody debris of different tree species in a mountain forest in Germany. *European Journal of Forest Research*, 134, 1041–1055.
- Hizal, A. (2016). Growth dynamics of black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) in floodplain forests of northwestern Turkey. *iForest – Biogeosciences and Forestry*, 9, 813–819.
- Hizal, K. T. (2016). Radial variation of annual ring width and fibre dimensions of alder (*Alnus glutinosa* L.) from natural and plantation trees. *Düzce University Journal of Science and Technology*.
- Hynynen, J., Niemistö, P., Viherä-Aarnio, A., Brunner, A., Hein, S., & Velling, P. (2010). Silviculture of birch (*Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh.) in Northern Europe. *Forestry*, 83(2), 103–119.
- IPCC (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry (LULUCF)*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Hayama, Japan.
- Izworska, K., et al. (2022). Long-term growth dynamics of *Larix decidua* in lowland conditions. *Forests*.
- Kahl, T., Arnstadt, T., Baber, K., Bässler, C., Bauhus, J., Borken, W., ... & Müller, J. (2017). Wood decomposition along an elevation gradient in the Bavarian Forest National Park. *Ecosphere*, 8(7), e01835.
- Kozakiewicz, P., et al. (2020). The wood of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) from post-agricultural lands has suitable properties for the timber industry. *Forests*.
- Kuehne, C., Donath, C., & Müller, J. (2008). Decomposition of coarse woody debris in old-growth beech forests: A comparison of tree species and decay stages. *European Journal of Forest Research*, 127, 301–308.
- Müller-Using, S., & Bartsch, N. (2009). Decay dynamic of coarse and fine woody debris of a beech (*Fagus sylvatica*) forest in Central Germany. *European Journal of Forest Research*, 128(3), 287–296.
- Ogana, F. N., et al. (2024). Growth response of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* to climate variability across Central Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*.
- Paluch, J. G., et al. (2023). Life histories of *Abies alba* and *Picea abies* growing in old-growth forests driven by natural gap-phase dynamics. *European Journal of Forest Research*.
- Palviainen, M., Laiho, R., Mäkinen, H., & Finér, L. (2010). Decomposition of coarse woody debris in a drained peatland forest in Finland. *Forest Ecology and Management*, 259(3), 458–465.
- Rock, J., et al. (2008). Decomposition rates of coarse woody debris in European temperate forests – literature-based synthesis. *Forest Ecology and Management*, 255(3–4), 1193–1201.
- Roibu, C. C., et al. (2020). The climatic response of tree-ring width components of ash (*Fraxinus excelsior* L.) and oak (*Quercus robur* L.) from Eastern Europe. *Forests*.
- Storaunet, K. O., & Rolstad, J. (2002). Time since death and fall of Norway spruce logs in old-growth and selectively cut boreal forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 32, 1801–1812.
- Tonelli, E., et al. (2023). Tree-ring and remote-sensing analyses uncover the role of elevation on European beech sensitivity to late spring frost. *Science of the Total Environment*, 872, 162210.
- Vacek, S., et al. (2018). Sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.) stands on former agricultural land in the Sudetes: Evaluation of ecological value and production potential. *Dendrobiology*, 80, 1–15.
- Vandekerckhove, K., De Keersmaecker, L., Menke, N., Meyer, P., & Verschelde, P. (2009). When nature takes over from man: Dead wood accumulation in previously managed oak and beech forests in North-western and Central Europe. *Forest Ecology and Management*, 258(4), 425–435.

- Vavrčík, H., & Gryc, V. (2012). Analysis of the annual ring structure and wood density relations in English oak and sessile oak. *Wood Research*, 57(4), 573–580.
- Vitas, A., & Žeimavičius, K. (2010). Regional tree-ring chronology of European larch (*Larix decidua* Mill.) in Lithuania. *Baltic Forestry*, 16(2), 277–284.
- Weedon, J. T., Cornwell, W. K., Cornelissen, J. H. C., Zanne, A. E., Wirth, C., & Coomes, D. A. (2009). Global meta-analysis of wood decomposition rates: a role for trait variation among tree species? *Ecology Letters*, 12(1), 45–56.
- Walder, D., et al. (2021). Silver fir (*Abies alba* Mill.) is able to thrive and prosper under meso-Mediterranean conditions. *Forest Ecology and Management*.

PŘÍLOHA 1

Jak měřit DBH (průměr stromu ve výšce prsou) – návod pro laiky

DBH (Diameter at Breast Height) znamená průměr kmene stromu ve výšce prsou, tedy ve standardní výšce 1,3 m nad zemí. Tento údaj je důležitý pro hodnocení růstu, biomasy a objemu dřeva.

Následující návod je určen pro laiky a obsahuje i doporučení pro opakovaná měření bez nutnosti používat profesionální průměrku.

1. Co je DBH a proč ho měřit

DBH představuje standardizovaný způsob určení velikosti stromu. Obvykle se měří 1,3 m nad zemí, což odpovídá výšce prsou dospělého člověka. Tento parametr se používá při inventarizaci lesů, ekologických výzkumech i při hodnocení růstu stromů.

2. Pomůcky pro měření

- svinovací metr nebo měřicí páska
- připínáčky, barva nebo fix pro označení měřiště
- volitelně: speciální lesnické obvodové měřidlo, pokud měříte často

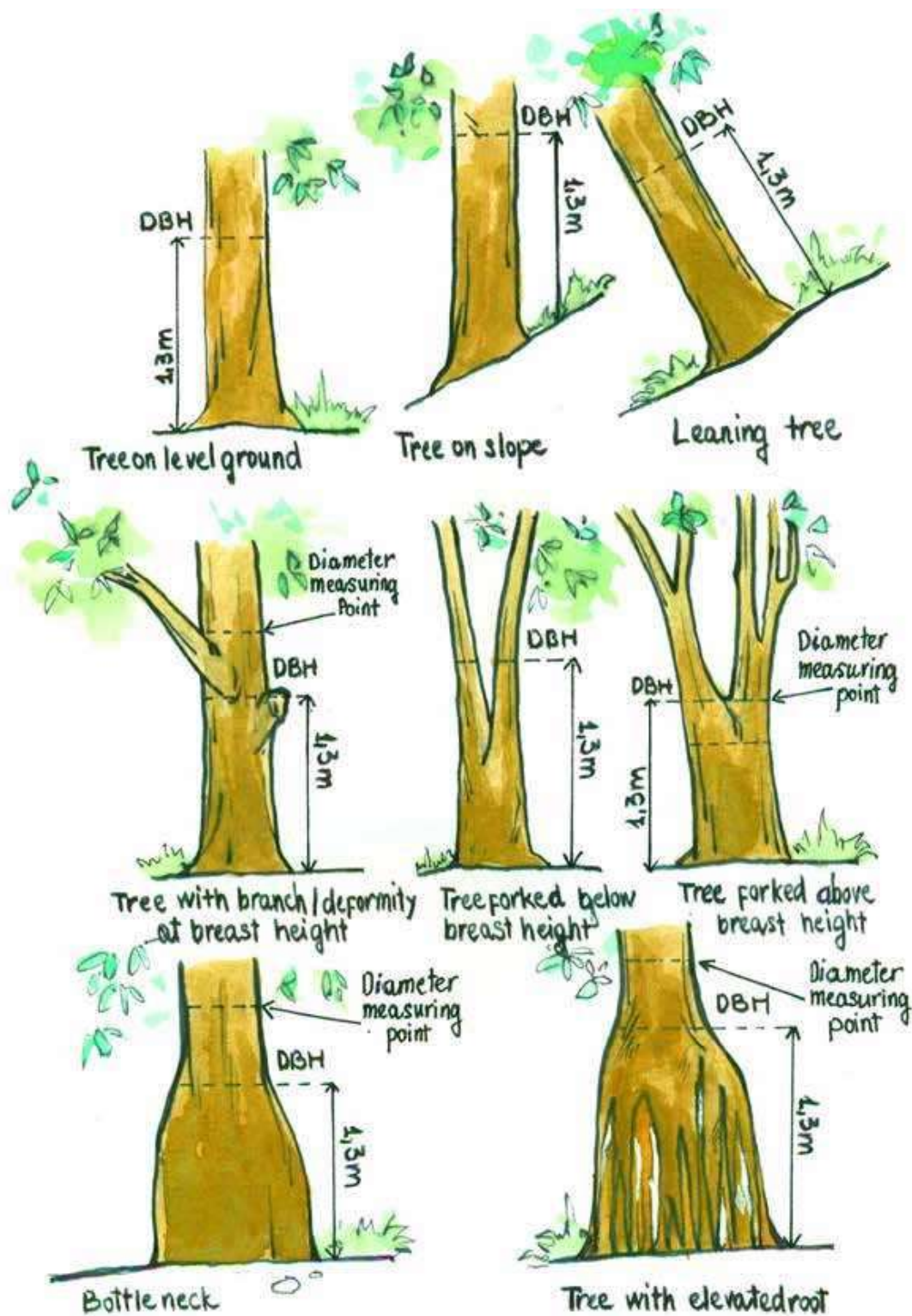
3. Postup měření

- 1 Změřte 1,3 m od země (na svahu z vyšší strany).
- 2 Označte místo barvou, sprejem, fixem nebo připínáčkem – to je měřiště.
- 3 Obtočte strom metrem a utáhněte přiměřenou silou, páska metru musí být vodorovně.
- 4 Zaznamenejte obvod v centimetrech na jedno desetinné místo.
- 5 Přepočítejte na průměr: $DBH = \text{obvod} / \pi$ (3,1416).

4. Měření na svahu a zvláštní případy

Pokud je strom na svahu, měří se z horní (výše položené) strany. Pokud má kmen výrazné ztlustění u paty, měří se výše nad výrůstky. U vícekmennů se měří každý kmen zvlášť.

Doporučené ilustrace pro pochopení postupu měření:



- Zdroj: ResearchGate – Schéma s vyznačením DBH
https://www.researchgate.net/figure/Measuring-DBH-tree_fig4_317380319

Huy, B., Huong, N. T. T., Sharma, B. D., & Quang, N. V. (2013). Participatory carbon monitoring: Manual for local technical staff.

5. Jak vyznačit měřišťe pro opakovaná měření

Pro opakované měření je důležité označit místo, kde se měřilo:

- vyznačte trvale 1,3 m od země (např. barvou, připínáčkem nebo páskou)
- zaznamenejte souřadnice GPS stromu
- poříďte fotografii stromu s označením
- měřte vždy stejným směrem vůči kmenu

6. Nejčastější chyby

měření pod jiným úhlem než vodorovně

měření v jiné výšce než 1,3 m

páska volně visící nebo křivě natažená

zapomenuté označení měřišťe pro další měření

PŘÍLOHA 2

Tabulka průměrných ročních tloušťkových přírůstků DBH (cm/rok) podle dřevin, bonity stanoviště a sociálního postavení stromu

Tento dokument uvádí odhady ročního tloušťkového přírůstu DBH pro tlustější stromy (DBH $\geq$ 30 cm). Základní hodnoty pro jednotlivé dřeviny vycházejí z průměrů napříč několika vědeckými studiemi (viz zdroje dole). Tyto průměry jsme dále škálovali podle dvou klíčových faktorů, které nejvíce ovlivňují růst: (i) celková bonita stanoviště a (ii) světelné postavení stromu (potlačený / standardní / uvolněný). Škálování je konzervativně nastavené tak, aby odpovídalo rozptylu bez odlehklých hodnot, zjištěnému v datech z přírodních bezzásahových porostů (www.remoteforest.org).

Použité multiplikátory: bonita nízká / střední / vysoká = 0,80 / 1,00 / 1,20; světelné postavení potlačený / standardní / uvolněný = 0,60 / 1,00 / 1,40. Výsledné hodnoty je vhodné chápat jako průměrné odhady (cm/rok) pro danou kombinaci podmínek; na úrovni jednotlivého stromu lze očekávat odchylky, zatímco průměr z větší skupiny stromů je stabilnější.

Skupina	Druh	Bonita	Status	Odhad přírůstu DBH (cm/rok)
jehličnany	borovice lesní	nízká	potlačený	0.17
jehličnany	borovice lesní	nízká	standardní	0.29
jehličnany	borovice lesní	nízká	uvolněný	0.40
jehličnany	borovice lesní	střední	potlačený	0.22
jehličnany	borovice lesní	střední	standardní	0.36
jehličnany	borovice lesní	střední	uvolněný	0.50
jehličnany	borovice lesní	vysoká	potlačený	0.26
jehličnany	borovice lesní	vysoká	standardní	0.43
jehličnany	borovice lesní	vysoká	uvolněný	0.60
jehličnany	jedle bělokorá	nízká	potlačený	0.26
jehličnany	jedle bělokorá	nízká	standardní	0.44
jehličnany	jedle bělokorá	nízká	uvolněný	0.62
jehličnany	jedle bělokorá	střední	potlačený	0.33
jehličnany	jedle bělokorá	střední	standardní	0.55
jehličnany	jedle bělokorá	střední	uvolněný	0.77
jehličnany	jedle bělokorá	vysoká	potlačený	0.40
jehličnany	jedle bělokorá	vysoká	standardní	0.66
jehličnany	jedle bělokorá	vysoká	uvolněný	0.92
jehličnany	modřín evropský	nízká	potlačený	0.17
jehličnany	modřín evropský	nízká	standardní	0.29
jehličnany	modřín evropský	nízká	uvolněný	0.40
jehličnany	modřín evropský	střední	potlačený	0.22
jehličnany	modřín evropský	střední	standardní	0.36
jehličnany	modřín evropský	střední	uvolněný	0.50
jehličnany	modřín evropský	vysoká	potlačený	0.26
jehličnany	modřín evropský	vysoká	standardní	0.43
jehličnany	modřín evropský	vysoká	uvolněný	0.60
jehličnany	ostatní jehličnaté	nízká	potlačený	0.19
jehličnany	ostatní jehličnaté	nízká	standardní	0.31
jehličnany	ostatní jehličnaté	nízká	uvolněný	0.44
jehličnany	ostatní jehličnaté	střední	potlačený	0.23
jehličnany	ostatní jehličnaté	střední	standardní	0.39
jehličnany	ostatní jehličnaté	střední	uvolněný	0.55

jeřličnany	ostatní jeřličnaté	vysoká	potlačéný	0.28
jeřličnany	ostatní jeřličnaté	vysoká	standardní	0.47
jeřličnany	ostatní jeřličnaté	vysoká	uvolněný	0.66
jeřličnany	smrk ztepilý	nížká	potlačéný	0.20
jeřličnany	smrk ztepilý	nížká	standardní	0.33
jeřličnany	smrk ztepilý	nížká	uvolněný	0.46
jeřličnany	smrk ztepilý	střední	potlačéný	0.25
jeřličnany	smrk ztepilý	střední	standardní	0.41
jeřličnany	smrk ztepilý	střední	uvolněný	0.57
jeřličnany	smrk ztepilý	vysoká	potlačéný	0.30
jeřličnany	smrk ztepilý	vysoká	standardní	0.49
jeřličnany	smrk ztepilý	vysoká	uvolněný	0.69
listnáče	buk lesní	nížká	potlačéný	0.19
listnáče	buk lesní	nížká	standardní	0.31
listnáče	buk lesní	nížká	uvolněný	0.44
listnáče	buk lesní	střední	potlačéný	0.23
listnáče	buk lesní	střední	standardní	0.39
listnáče	buk lesní	střední	uvolněný	0.55
listnáče	buk lesní	vysoká	potlačéný	0.28
listnáče	buk lesní	vysoká	standardní	0.47
listnáče	buk lesní	vysoká	uvolněný	0.66
listnáče	břízy	nížká	potlačéný	0.20
listnáče	břízy	nížká	standardní	0.34
listnáče	břízy	nížká	uvolněný	0.47
listnáče	břízy	střední	potlačéný	0.25
listnáče	břízy	střední	standardní	0.42
listnáče	břízy	střední	uvolněný	0.59
listnáče	břízy	vysoká	potlačéný	0.30
listnáče	břízy	vysoká	standardní	0.50
listnáče	břízy	vysoká	uvolněný	0.71
listnáče	duby	nížká	potlačéný	0.15
listnáče	duby	nížká	standardní	0.26
listnáče	duby	nížká	uvolněný	0.36
listnáče	duby	střední	potlačéný	0.19
listnáče	duby	střední	standardní	0.32
listnáče	duby	střední	uvolněný	0.45
listnáče	duby	vysoká	potlačéný	0.23
listnáče	duby	vysoká	standardní	0.38
listnáče	duby	vysoká	uvolněný	0.54
listnáče	habr obecný	nížká	potlačéný	0.12
listnáče	habr obecný	nížká	standardní	0.19
listnáče	habr obecný	nížká	uvolněný	0.27
listnáče	habr obecný	střední	potlačéný	0.14
listnáče	habr obecný	střední	standardní	0.24
listnáče	habr obecný	střední	uvolněný	0.34
listnáče	habr obecný	vysoká	potlačéný	0.17
listnáče	habr obecný	vysoká	standardní	0.29
listnáče	habr obecný	vysoká	uvolněný	0.40
listnáče	jasany	nížká	potlačéný	0.17
listnáče	jasany	nížká	standardní	0.28
listnáče	jasany	nížká	uvolněný	0.39
listnáče	jasany	střední	potlačéný	0.21

listnáče	jasany	střední	standardní	0.35
listnáče	jasany	střední	uvolněný	0.49
listnáče	jasany	vysoká	potlačený	0.25
listnáče	jasany	vysoká	standardní	0.42
listnáče	jasany	vysoká	uvolněný	0.59
listnáče	javory	nízká	potlačený	0.21
listnáče	javory	nízká	standardní	0.35
listnáče	javory	nízká	uvolněný	0.49
listnáče	javory	střední	potlačený	0.26
listnáče	javory	střední	standardní	0.44
listnáče	javory	střední	uvolněný	0.62
listnáče	javory	vysoká	potlačený	0.32
listnáče	javory	vysoká	standardní	0.53
listnáče	javory	vysoká	uvolněný	0.74
listnáče	olše	nízká	potlačený	0.19
listnáče	olše	nízká	standardní	0.31
listnáče	olše	nízká	uvolněný	0.44
listnáče	olše	střední	potlačený	0.23
listnáče	olše	střední	standardní	0.39
listnáče	olše	střední	uvolněný	0.55
listnáče	olše	vysoká	potlačený	0.28
listnáče	olše	vysoká	standardní	0.47
listnáče	olše	vysoká	uvolněný	0.66
listnáče	ostatní list. měkké	nízká	potlačený	0.21
listnáče	ostatní list. měkké	nízká	standardní	0.34
listnáče	ostatní list. měkké	nízká	uvolněný	0.48
listnáče	ostatní list. měkké	střední	potlačený	0.26
listnáče	ostatní list. měkké	střední	standardní	0.43
listnáče	ostatní list. měkké	střední	uvolněný	0.60
listnáče	ostatní list. měkké	vysoká	potlačený	0.31
listnáče	ostatní list. měkké	vysoká	standardní	0.52
listnáče	ostatní list. měkké	vysoká	uvolněný	0.72
listnáče	ostatní list. tvrdé	nízká	potlačený	0.13
listnáče	ostatní list. tvrdé	nízká	standardní	0.22
listnáče	ostatní list. tvrdé	nízká	uvolněný	0.31
listnáče	ostatní list. tvrdé	střední	potlačený	0.17
listnáče	ostatní list. tvrdé	střední	standardní	0.28
listnáče	ostatní list. tvrdé	střední	uvolněný	0.39
listnáče	ostatní list. tvrdé	vysoká	potlačený	0.20
listnáče	ostatní list. tvrdé	vysoká	standardní	0.34
listnáče	ostatní list. tvrdé	vysoká	uvolněný	0.47

Zdroje:

D'Andrea, G., et al. (2022). Mismatch between annual tree-ring width growth and NDVI index in Norway spruce stands of Central Europe. *Forests*.

Paluch, J. G., et al. (2023). Life histories of *Abies alba* and *Picea abies* growing in old-growth forests driven by natural gap-phase dynamics. *European Journal of Forest Research*.

Walder, D., et al. (2021). Silver fir (*Abies alba* Mill.) is able to thrive and prosper under meso-Mediterranean conditions. *Forest Ecology and Management*.

- Ogana, F. N., et al. (2024). Growth response of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* to climate variability across a latitudinal gradient in Sweden. *Agricultural and Forest Meteorology*.
- Kozakiewicz, P., et al. (2020). The wood of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) from post-agricultural lands has suitable properties for the timber industry. *Forests*.
- Vitas, A., & Žeimavičius, K. (2010). Regional tree-ring chronology of European larch (*Larix decidua* Mill.) in Lithuania. *Baltic Forestry*.
- Izworska, K., et al. (2022). Long-term growth dynamics of *Larix decidua* in lowland conditions. *Forests*.
- Tonelli, E., et al. (2023). Tree-ring and remote-sensing analyses uncover the role of elevation on European beech sensitivity to late spring frost. *Science of the Total Environment*.
- Diaconu, D., et al. (2016). Variability of European beech wood density as influenced by interactions between tree-ring growth and aspect. *Forest Ecosystems*.
- Vavrčík, H., & Gryc, V. (2012). Analysis of the annual ring structure and wood density relations in English oak and sessile oak. *Wood Research*.
- Vacek, S., et al. (2018). Sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.) stands on former agricultural land in the Sudetes: Evaluation of ecological value and production potential. *Dendrobiology*.
- Roibu, C. C., et al. (2020). The climatic response of tree ring width components (earlywood, latewood, total ring width) of ash (*Fraxinus excelsior*) and oak (*Quercus* spp.) in Eastern Europe. *Forests*.
- Hizal, A. (2016). Growth dynamics of black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) in floodplain forests of northwestern Turkey. *iForest – Biogeosciences and Forestry*.
- Dobrowolska, D., et al. (2020). Growth and competition of silver birch (*Betula pendula* Roth) in mixed stands in central Europe. *Forests*.
- Hynynen, J., et al. (2010). Growth response of young birch stands to thinning intensity and timing in Finland. *Silva Fennica*.
- Roibu, C.-C., et al. (2020). The climatic response of tree-ring width components of ash (*Fraxinus excelsior* L.) and common oak (*Quercus robur* L.) from Eastern Europe. *Forests*.
- Hizal, K. T. (2016). Radial variation of annual ring width and fibre dimensions of alder (*Alnus glutinosa* L.) from natural and plantation trees. *Düzce University Journal of Science and Technology*.
- Dobrowolska, E., Wroniszewska, P., & Jankowska, A. (2020). Density distribution in wood of European birch (*Betula pendula* Roth.). *Forests*.
- Hynynen, J., Niemistö, P., Viherä-Aarnio, A., Brunner, A., Hein, S., & Velling, P. (2010). Silviculture of birch (*Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh.) in Northern Europe. *Forestry*.

PŘÍLOHA 3

Ověření tří metod odhadu tloušťkového přírůstu u stromů s DBH $\geq$ 30 cm

Ověřovali a porovnávali jsme tři přístupy k odhadu ročního přírůstu DBH: **remeasurement** (přeměření; přírůst z dvou měření DBH v mm/rok), **rings** (letokruhy; průměr šířek posledních letokruhů násobený dvěma v mm/rok; odebrané z tenkého vývrtu letokruhů nebo z odečtení sousedního pařezu podobného jedince) a **průměry převzaté z vědeckých článků** (převedené na mm/rok). Pro analýzu jsme drželi jen hodnoty v intervalu 0–20 mm/rok kvůli odstranění odlehlých hodnot v důsledky chyby měření. Je důležité dodat, že posledních 10 letokruhů většinou časově neodpovídá intervalu mezi oběma terénními měřeními DBH, protože vývrtky byly zpravidla odebrány už při prvním měření. To samo o sobě vytváří nesoulad v porovnáváních obdobích. Navíc hraje významnou roli lidská chyba – zejména chyba měření průměru na označeném měřišti a práce s obvodovým měřidlem. Tyto praktické zdroje variability je potřeba mít na paměti při interpretaci výsledků.

Vztah mezi remeasurement a rings jsme vyhodnotili pomocí Bland–Altmanovy analýzy. Celkově vychází prakticky nulový systematický rozdíl ($\text{bias} \approx 0$ mm/rok), tedy v průměru se metody shodují. U jednotlivého stromu však rozdíly mezi metodami běžně kolísají v pásmu ± 4 mm/rok (95% meze shody), u jedle (jednoznačně nejrychleji rostoucí lesní dřevina současnosti) až ± 5 mm/rok. To odpovídá přirozenému „šumu“ z kombinace rozdílných časových oken, geometrií kmene, lokálního růstu v profilu kmene, vlivu růstu kůry (v letokruzích není zahrnutá) a právě i provozních chyb měření v terénu. Prakticky to znamená, že pro jednotlivý strom se nemusí dvě metody trefit úplně stejně, ale na úrovni průměrů větších skupin se rozdíly významně zmenšují.

Tabulka: Bias a 95 % pásmo shody (LoA) podle dřevin (bias = remeasurement – rings; kladný bias = remeasurement dává vyšší hodnoty)

Dřevina	n	Bias (mm/rok)	95 % LoA (mm/rok)
Fagus sylvatica	6 723	+0.02	± 3.73
Picea abies	6 866	-0.04	± 3.98
Abies alba	1 144	+0.02	± 5.00
Acer pseudoplatanus	306	-0.09	± 4.18
Quercus petraea	41	-0.17	± 1.32

Když obě terénní metody porovnáme s průměry z vědeckých článků, vychází naše průměry u všech sledovaných dřevin nižší. To je očekávatelné, protože tyto literární průměry často pocházejí ze studií v hospodářských lesích (probírky, menší konkurence, vyšší růst), zatímco naše data pocházejí z přírodních a hlavně bezzásahových porostů s obecně vyšší vnitro- a mezidruhovou konkurencí. Navíc letokruhy neobsahují kůru, takže metoda rings může mírně podhodnocovat skutečný přírůst DBH; vrtání z otevřenější strany kmene sice část tohoto efektu kompenzuje širšími letokruhy, ale pravděpodobně ne zcela. Rozdíly jsou tedy odborně zdůvodnitelné.

Tabulka: Srovnání průměrů metod s průměry ze vědeckých článků (mm/rok)

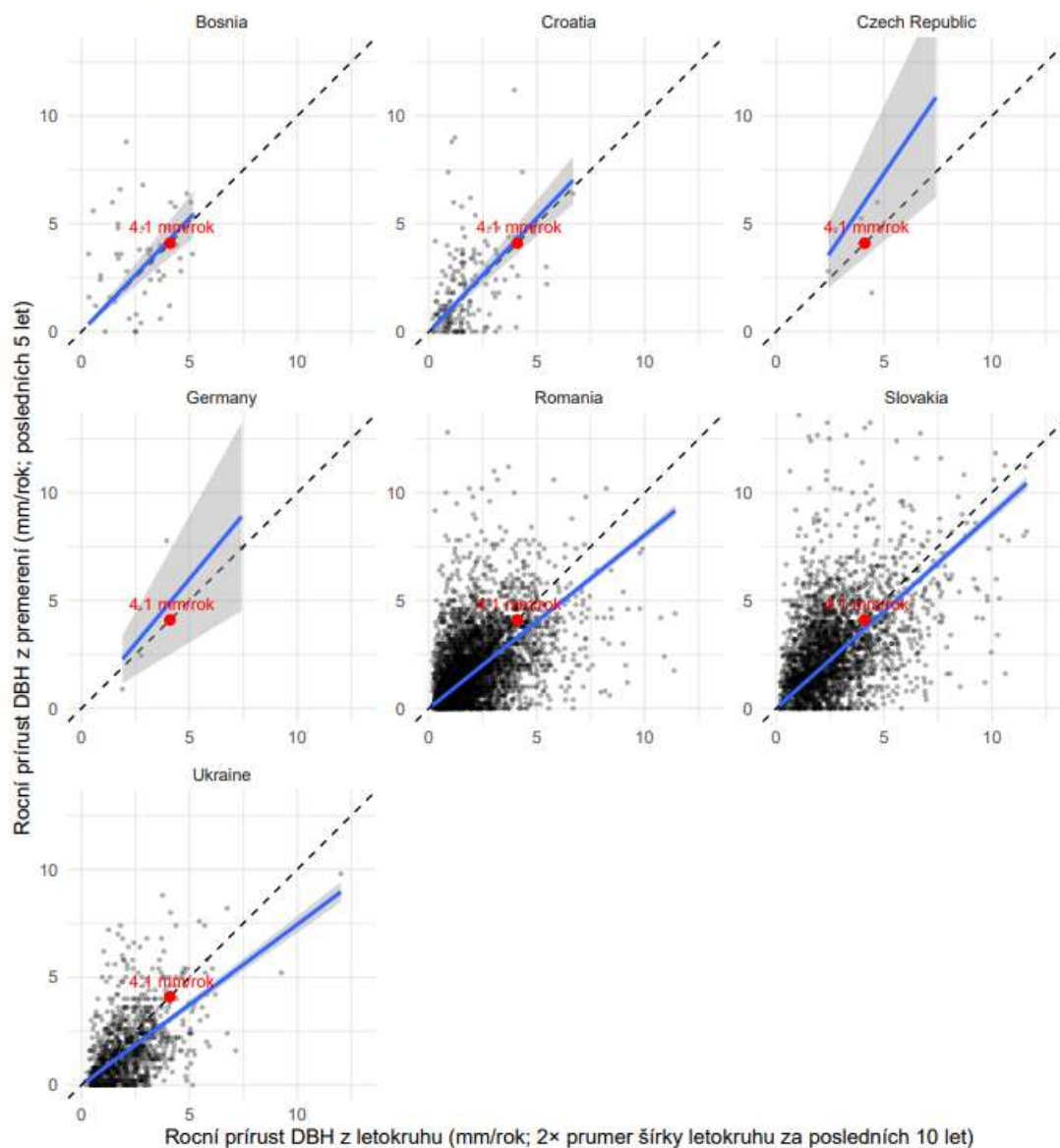
Dřevina	Články (mm/rok)	Remeasure (průměr)	Rozdíl vs. články	Rings (průměr)	Rozdíl vs. články
Abies alba	5.5	3.75	-1.75	3.73	-1.77
Picea abies	4.1	2.43	-1.67	2.46	-1.64
Fagus sylvatica	3.5	2.40	-1.10	2.39	-1.11
Acer pseudoplatanus	4.4	2.12	-2.28	2.21	-2.19
Quercus petraea	3.4	0.67	-2.73	0.84	-2.56

Z těchto výsledků plyne, že remeasurement a rings jsou pro naše účely v průměru zaměnitelné a bez podstatného systematického posunu. Pro jednotlivý strom je ale realistické počítat s rozdílem mezi metodami až v řádu několika málo milimetrů za rok; na úrovni skupin (například 25 stromů) se nejistota průměru snižuje přibližně na ± 0.8 mm/rok. Z praktického hlediska tedy obě terénní metody můžeme použít: tam, kde existují opakovaná měření, upřednostníme remeasurement; kde chybí, plnohodnotně poslouží letokruhová metoda s průměrem posledních let (ať už z tenkého vývrtnu letokruhů nebo z odečtení sousedního pařezu podobného jedince). Limitem obou přístupů zůstává převážně provozní nejistota měření a rozdílné podmínky prostředí; s těmito omezeními jsou však metody pro účel odhadu ročních přírůstků vstupujících do projekcí uhlíkové kalkulačky dobře použitelné.

Grafická podpora:

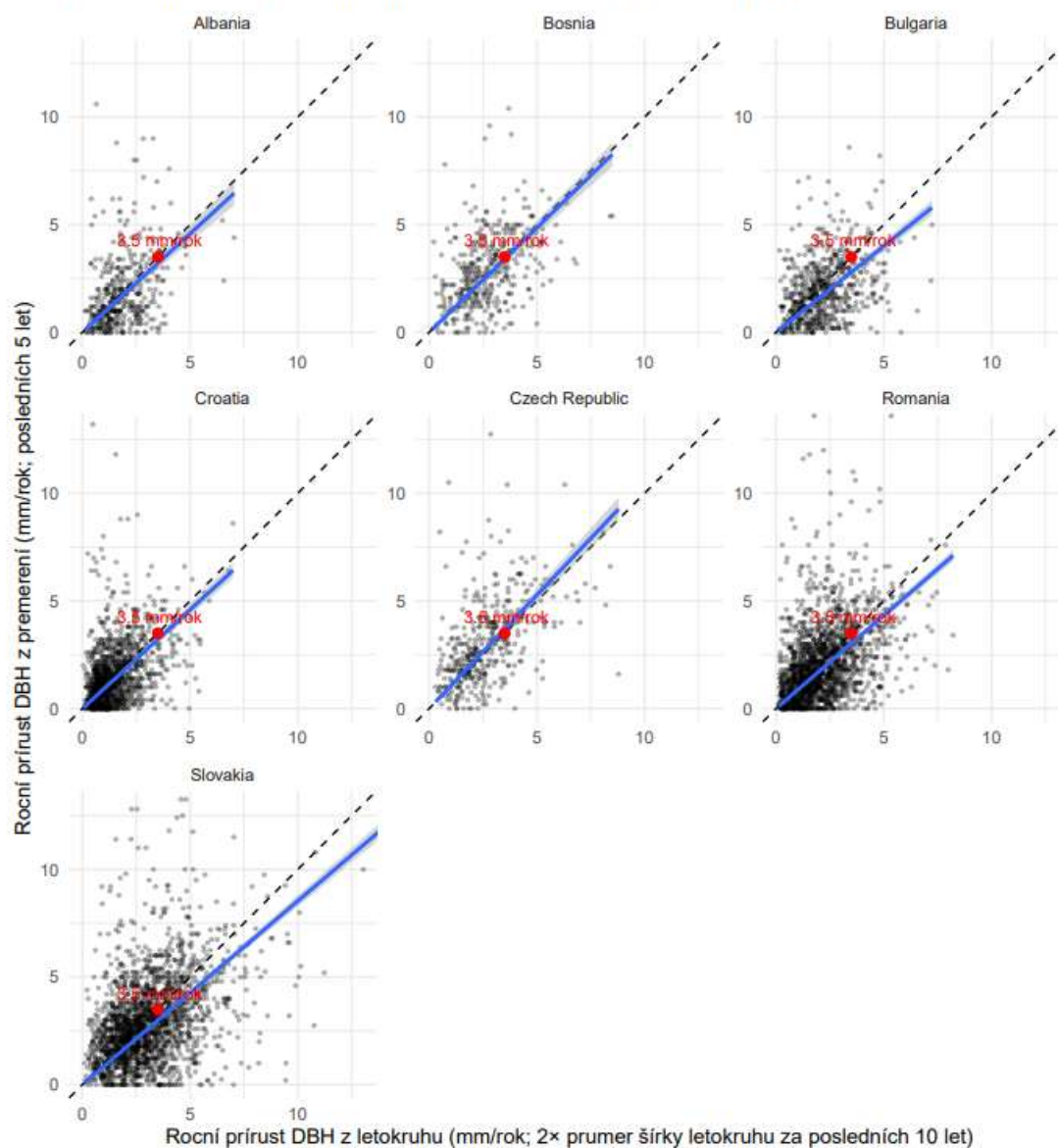
Ring (10Y avg × 2) vs. DBH Remeasurement (last interval) — *Picea abies*

lineární regrese + 95% CI; čárkovane = 1:1; červená hodnota = tabulkový průměr



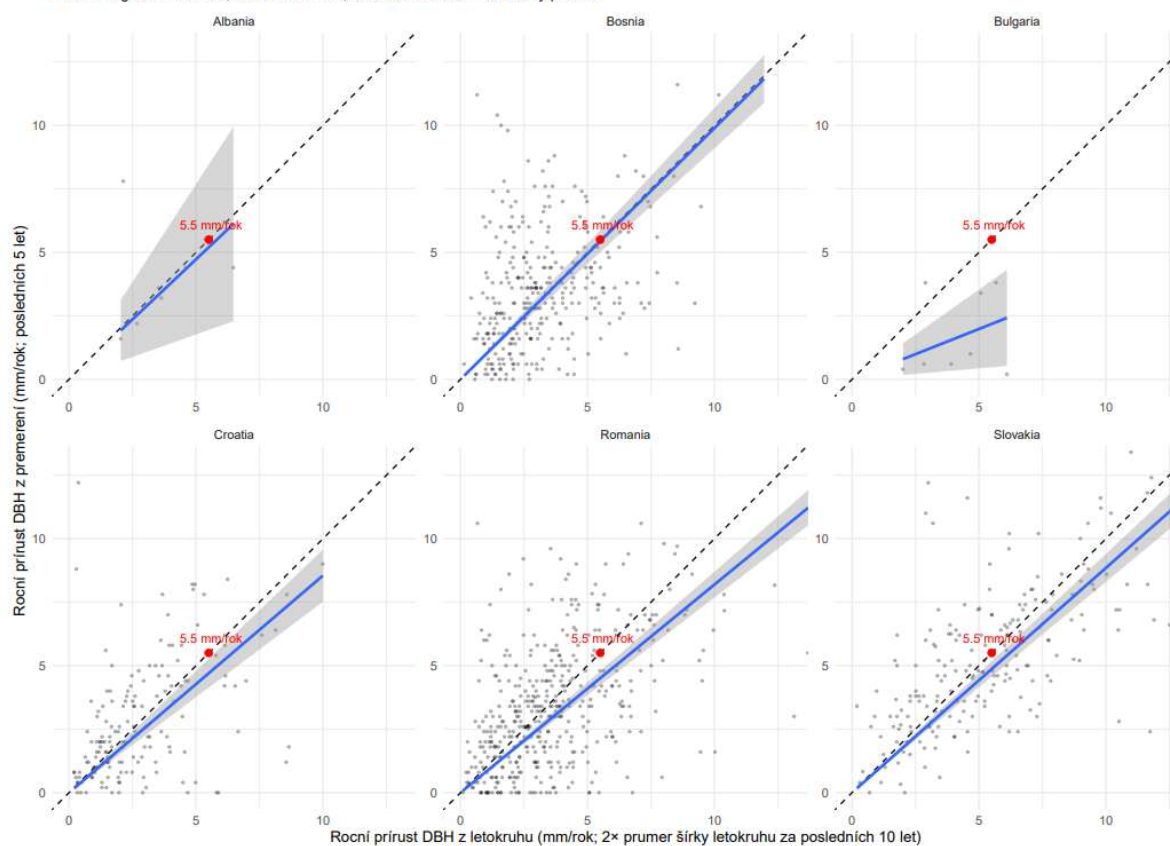
Ring (10Y avg × 2) vs. DBH Remeasurement (last interval) — *Fagus sylvatica*

lineární regrese + 95% CI; čárkovane = 1:1; červená hodnota = tabulkový průměr



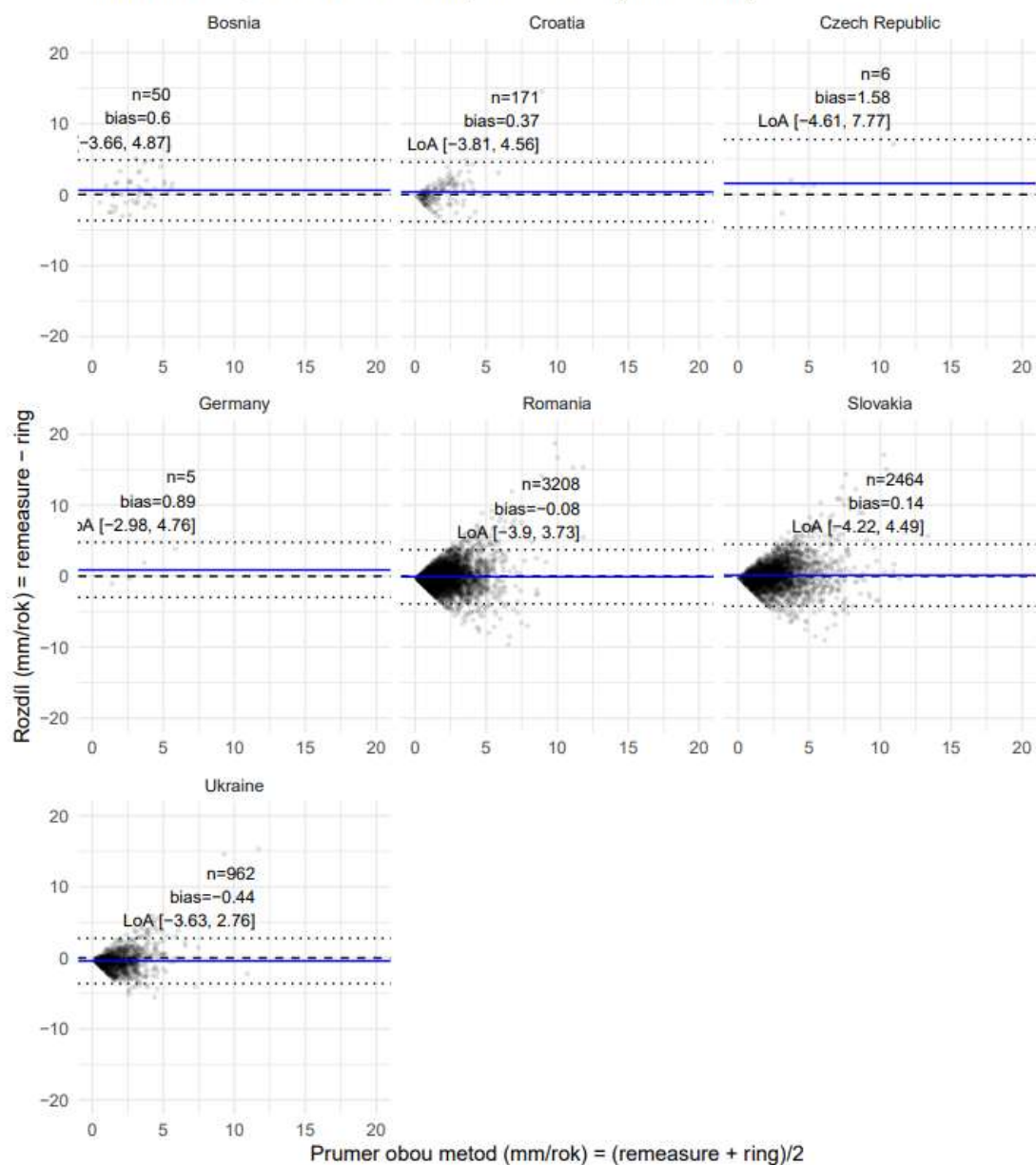
Ring (10Y avg × 2) vs. DBH Remeasurement (last interval) — *Abies alba*

lineární regrese + 95% CI; čárkovane = 1:1; červená hodnota = tabulkový průměr



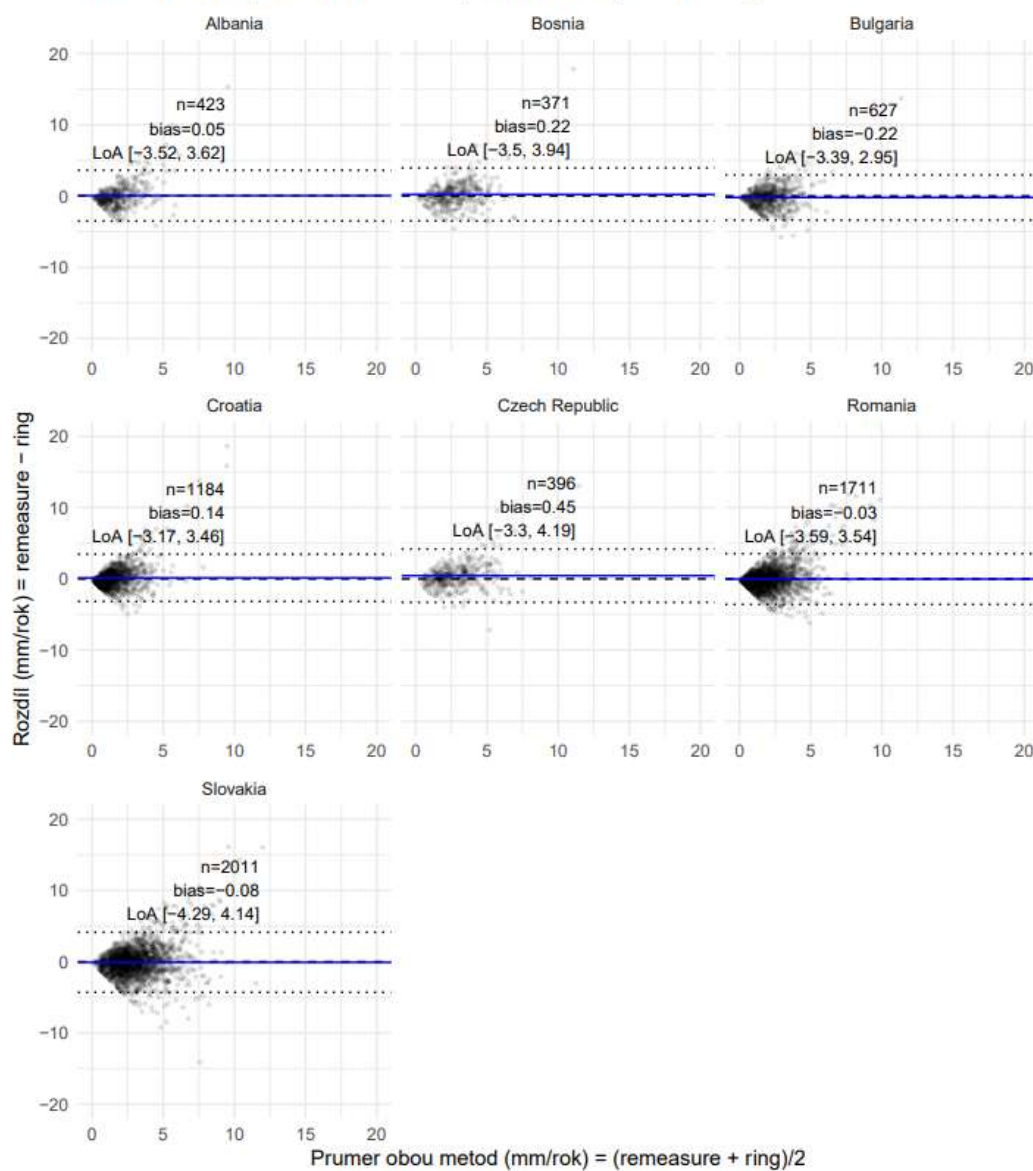
Bland–Altman: DBH remeasurement vs. rings — Picea abies

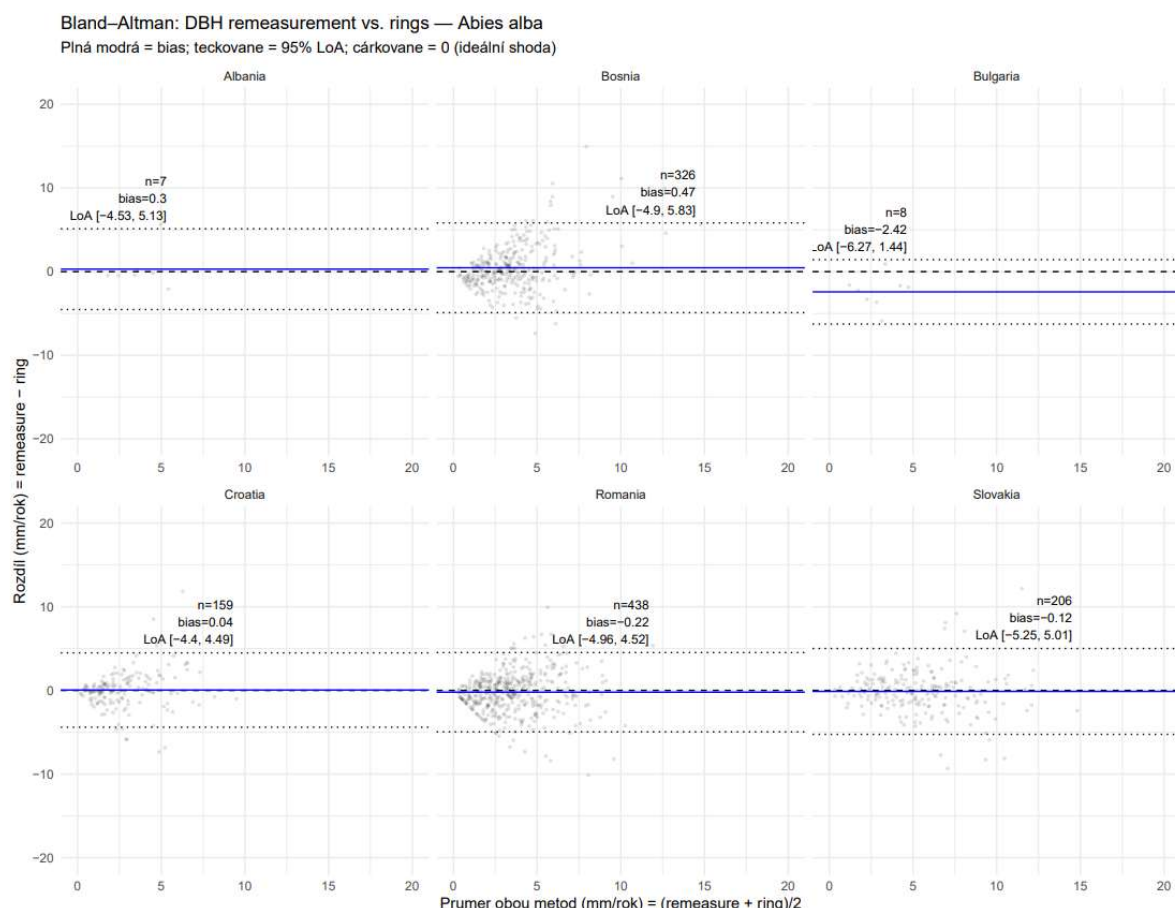
Plná modrá = bias; tečkované = 95% LoA; čárkovane = 0 (ideální shoda)



Bland-Altman: DBH remeasurement vs. rings — *Fagus sylvatica*

Plná modrá = bias; tečkované = 95% LoA; čárkovane = 0 (ideální shoda)





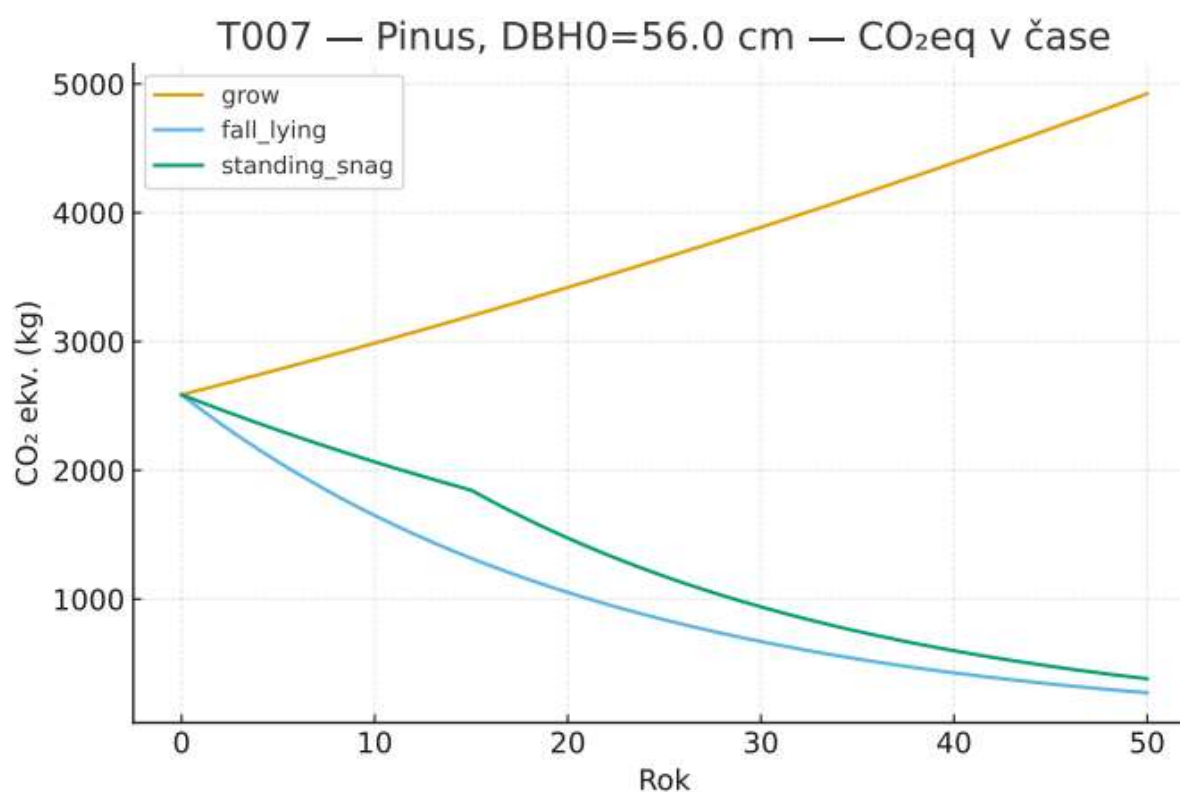
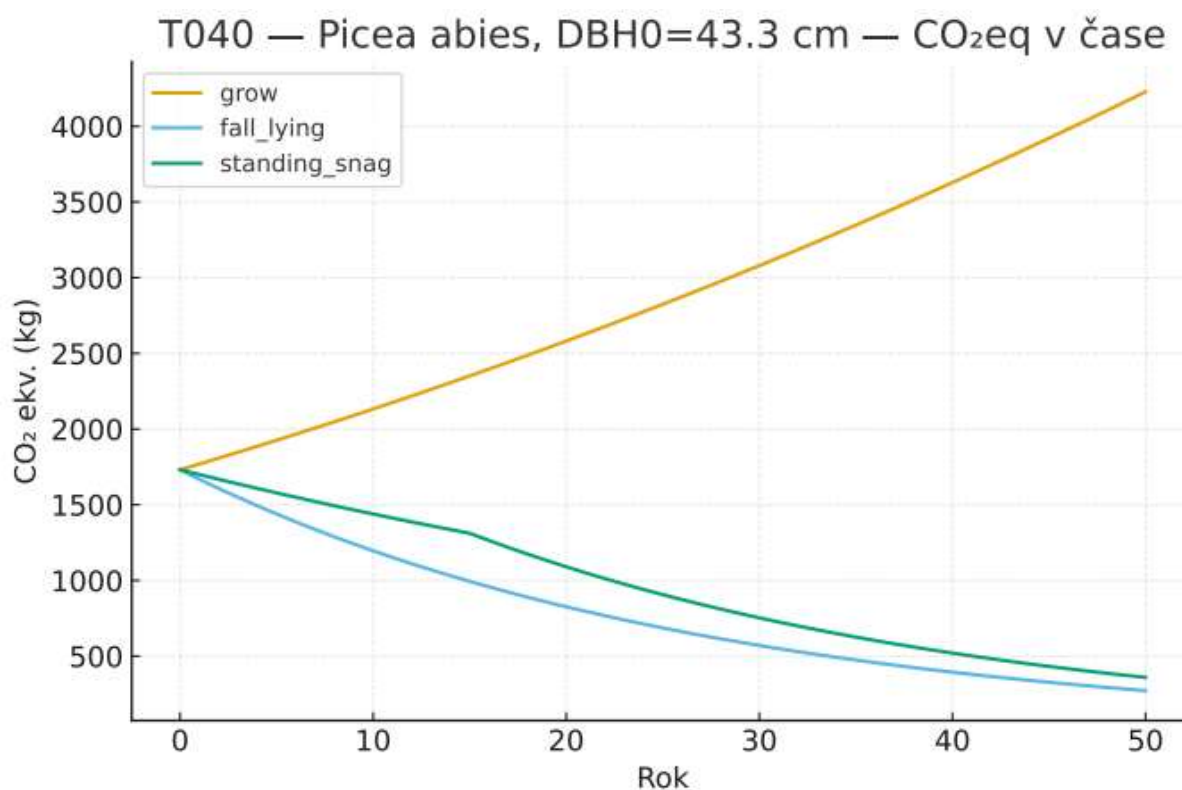
PŘÍLOHA 4

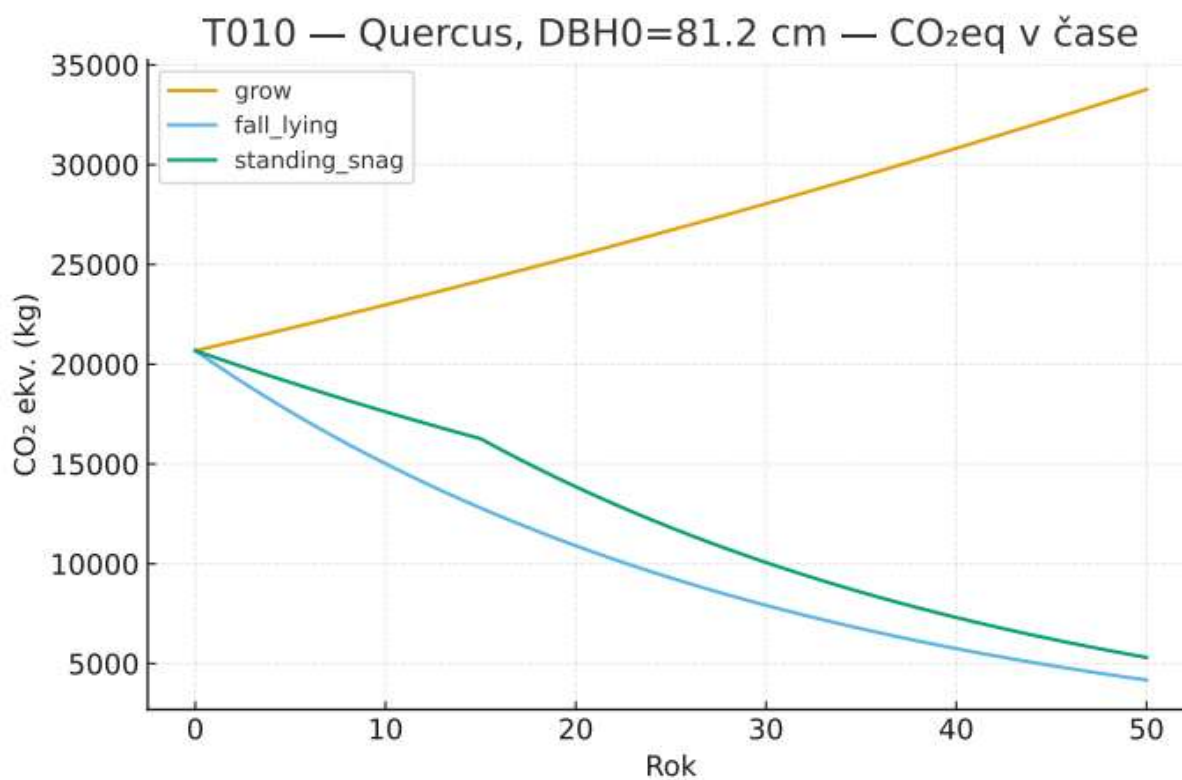
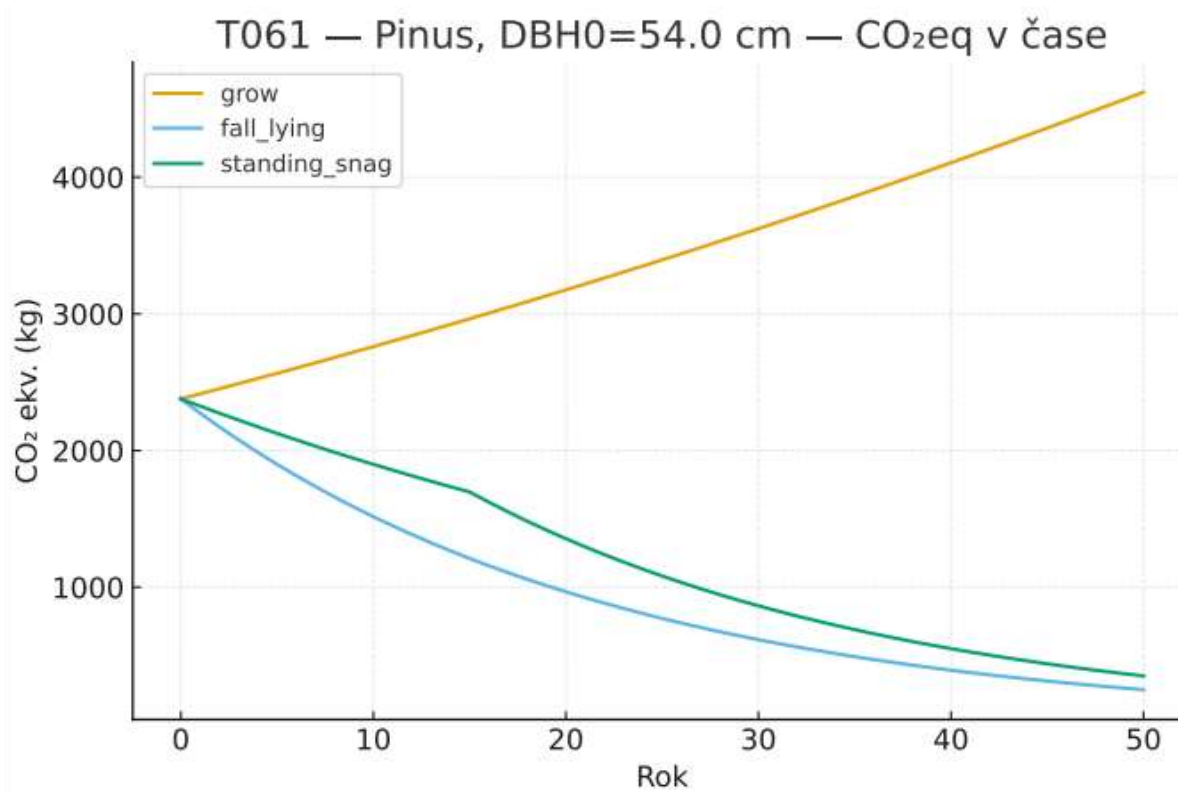
Ověření výpočtu na vybraných dřevinách měřených v lesích lokalit Chocerady, Vlašim a Samechov

Na vzorku stromů z lokalit Chocerady, Vlašim a Samechov (celkem více než 300 stromů) jsme otestovali tři scénáře nakládání se stromem – „nechat růst“, „pokácet a nechat ležet“ a „ponechat stojící souši“ – v horizontu 0–50 let. Pro každý strom jsme odhadli výchozí nadzemní biomasu pomocí alometrických rovnic (Forrester et al., 2017) z naměřené DBH a výchozí zásobu uhlíku jako 50 % AGB. Scénář „nechat růst“ využívá druhově specifický průměrný roční tloušťkový přírůst (střední bonita, standardní postavení) a v každém roce přepočítává novou AGB. Scénáře „pokácet a nechat ležet“ a „ponechat stojící souši“ modelují pokles zásoby uhlíku exponenciální funkcí s rozkladovou konstantou k ; u stojících souší je prvních 15 let použita poloviční konstanta $k_s = 0,5k$, což zpomaluje rozpad a odpovídá delšímu setrvání uhlíku ve dřevě, dokud souš stojí. Všechny výsledky uvádíme v čase jako přepočtené CO_2 ekvivalenty (poměr 44/12).

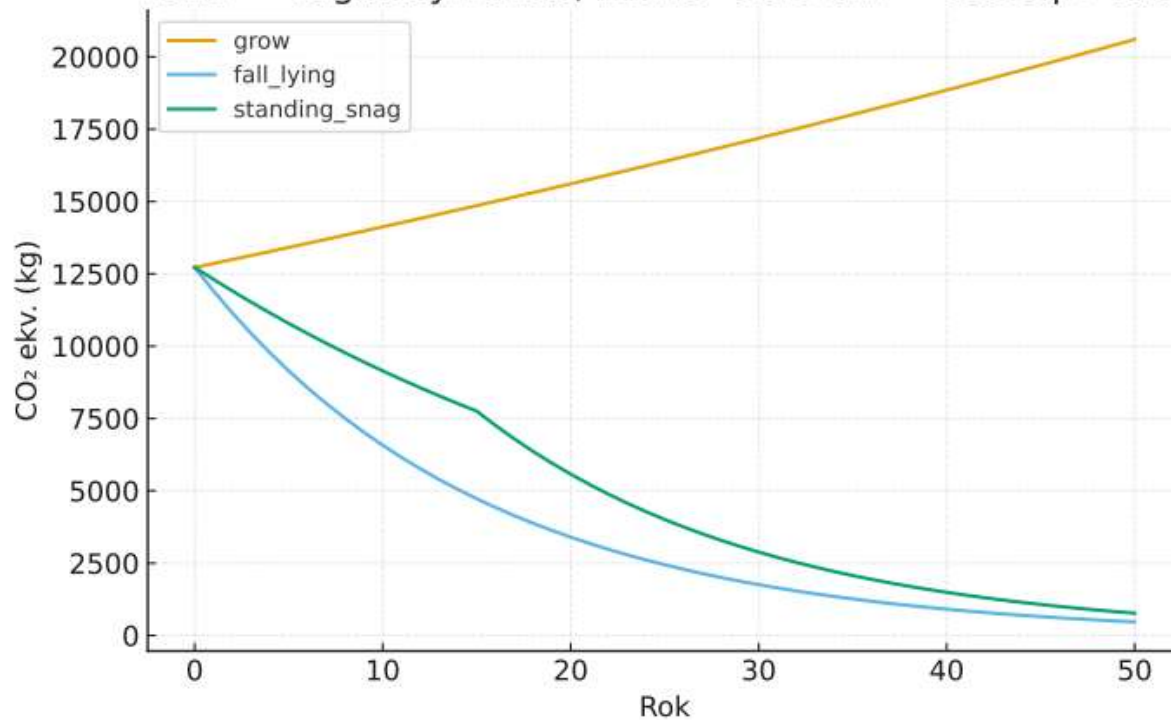
Souhrnně platí, že scénář „nechat růst“ vede v čase k nárůstu zásoby uhlíku (akumulace), zatímco „pokácet a nechat ležet“ a „ponechat stojící souši“ vedou k postupnému uvolňování uhlíku v závislosti na k . Rozdíl mezi ležícím dřevem a stojící souší je v prvních ~15 letech citelný ve prospěch souše (pomalejší ztráty), po pádu souše se křivky sblíží. Vybrané grafy pro šest reprezentativních

stromů (různé druhy a tloušťky) ukazují typické chování – u silnějších stromů je absolutní zásoba uhlíku i rozdíly mezi scénáři větší. Použité hodnoty přírůstků jsou průměrné odhady a nezohledňují jemné lokální vlivy; pro účel rychlé kalkulačky a srovnání scénářů jsou však dostatečné a dávají realistické řády velikosti. Grafy 6 vybraných stromů:

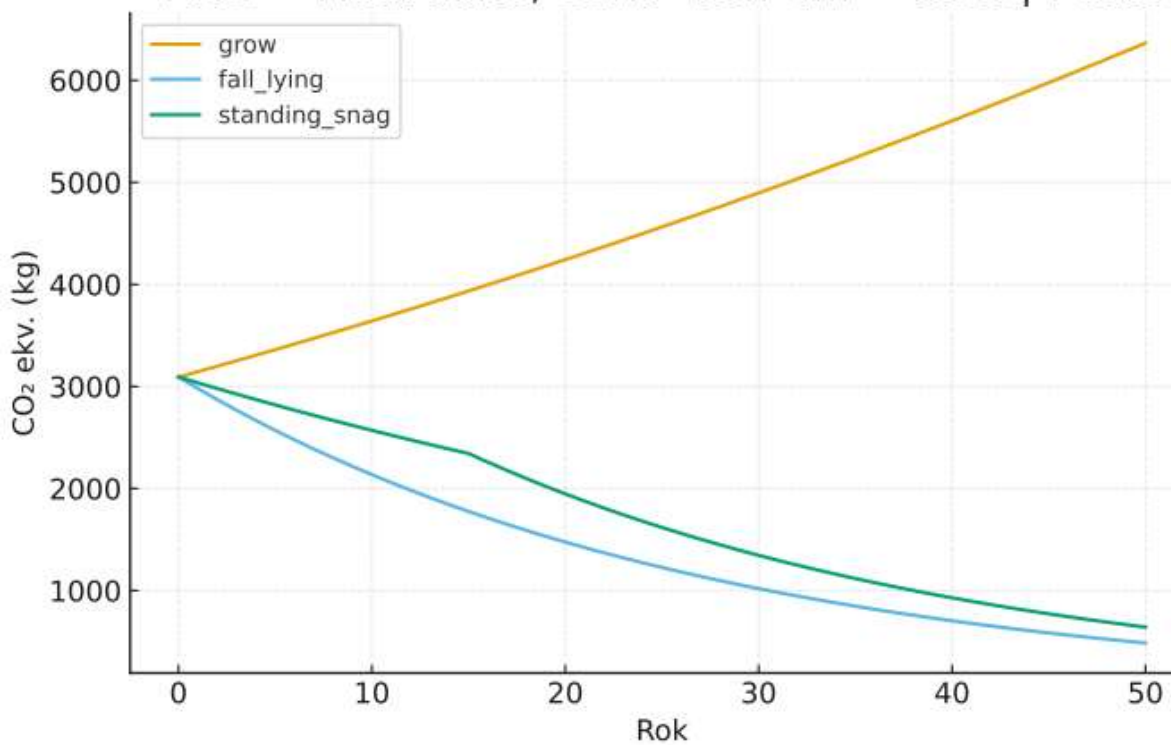




T012 — *Fagus sylvatica*, DBH0=86.0 cm — CO₂eq v čase



T002 — *Picea abies*, DBH0=55.7 cm — CO₂eq v čase



Tato tabulka zobrazuje orientační zásobu uhlíku (v kg C) v jednotlivých stromech na lokalitách Chocerady, Vlašim a Samechov. Růstové a rozkladové parametry odpovídají průměrným hodnotám pro střední bonitu a standardní světelné postavení stromu.

GPS_LONG, GPS_LAT – souřadnice stromu (WGS 84)

DBH – průměr kmene ve výšce 1,3 m (mm)

TYPE – dřevina nebo rod

C_now_kg – současná zásoba uhlíku (živý strom)

C_after5_growth_kg – zásoba uhlíku po 5 letech růstu živého stromu

C_after5_snag_kg – zásoba uhlíku po 5 letech odumření vestoje (souš; $k = 0,5 \cdot k$)

C_after5_felled_kg – zásoba uhlíku po 5 letech po poražení a ponechání (ležící kmen; k)

Lokalita Vlašim:

GPS_LONG	GPS_LAT	DBH	TYPE	C_now_kg	C_after5_growth_kg	C_after5_snag_kg	C_after5_felled_kg
14,88413	49,69999	1045	Quercus	11221,2	11696,01	10204,26	9279,475
14,8844	49,70039	715	Quercus	3985,987	4233,99	3624,749	3296,248
14,88455	49,69903	995	Quercus	9816,672	10253,21	8927,016	8117,986
14,88455	49,6988	786	Quercus	5160,325	5451,886	4692,66	4267,378
14,8844	49,70026	715	Quercus	3985,987	4233,99	3624,749	3296,248
14,88517	49,69957	430	Quercus	995,918	1100,265	905,661	823,583
14,88524	49,69957	725	Quercus	4139,877	4393,835	3764,692	3423,509
14,88504	49,69946	651	Quercus	3086,472	3297,785	2806,754	2552,386
14,88479	49,69933	475	Quercus	1306,519	1430,07	1188,113	1080,438
14,88575	49,69888	670	Quercus	3338,397	3560,344	3035,848	2760,718
14,88574	49,69882	355	Quercus	590,465	665,905	536,953	488,291
14,88579	49,698	1040	Quercus	11075,37	11546,29	10071,64	9158,88
14,88579	49,69779	1111	Quercus	13261,18	13788,56	12059,36	10966,45
14,88555	49,69731	1180	Quercus	15629,77	16214,58	14213,29	12925,18
14,88543	49,69743	520	Quercus	1672,357	1816,459	1520,797	1382,971
14,88557	49,69725	317	Quercus	433,601	495,925	394,305	358,571
14,88606	49,69584	1000	Quercus	9951,799	10392,1	9049,897	8229,731
14,88625	49,69689	790	Quercus	5232,265	5526,368	4758,08	4326,869
14,88662	49,69708	835	Quercus	6085,682	6409,018	5534,155	5032,611
14,88672	49,69673	1010	Quercus	10225,57	10673,45	9298,861	8456,132
14,88665	49,69577	635	Quercus	2883,943	3086,472	2622,58	2384,903
14,88656	49,69543	760	Quercus	4707,958	4983,225	4281,29	3893,289
14,88556	49,69369	1073	Quercus	12060,33	12557,16	10967,34	9973,402
14,88657	49,69391	570	Quercus	2148,2	2316,677	1953,515	1776,473
14,88652	49,69369	1040	Quercus	11075,37	11546,29	10071,64	9158,88
14,88668	49,69269	496	Tilia	594,589	660,446	480,761	388,725
14,88619	49,69271	500	Fraxinus	1489,505	1640,389	1298,155	1131,387
14,88591	49,69293	1282	Quercus	19595,46	20269,69	17819,58	16204,64
14,88635	49,69225	1084	Quercus	12400,54	12906,13	11276,71	10254,74
14,8864	49,6923	880	Quercus	7022,369	7376,094	6385,952	5807,212
14,88633	49,6923	1220	Quercus	17117,46	17736,7	15566,16	14155,44
14,88675	49,69193	460	Picea abies	542,779	600,122	497,305	455,64
14,88439	49,69233	900	Fraxinus	7745,16	8175,014	6750,173	5883,008

14,88456	49,69457	457	Quercus	1175,864	1291,57	1069,299	972,391
14,88506	49,6973	1124	Picea abies	4249,736	4430,395	3893,688	3567,471
14,88508	49,69491	380	Quercus	710,892	795,528	646,466	587,878
14,88463	49,69723	530	Quercus	1761,536	1910,385	1601,893	1456,719
14,88473	49,69504	700	Quercus	3762,028	4001,21	3421,086	3111,043
14,88482	49,69737	420	Picea abies	440,169	491,238	403,291	369,503
14,88446	49,69786	1080	Quercus	12276,13	12778,53	11163,58	10151,86
14,88433	49,69769	910	Quercus	7694,689	8069,31	6997,342	6363,194
14,88472	49,69588	380	Quercus	710,892	795,528	646,466	587,878
14,88383	49,69833	890	Quercus	7242,156	7602,791	6585,821	5988,967
14,88388	49,69809	1440	Quercus	26904,16	27727,32	24465,92	22248,64
14,88338	49,69871	1250	Quercus	18290,01	18935,61	16632,44	15125,09
14,88357	49,69871	470	Quercus	1269,35	1390,7	1154,312	1049,7
14,88353	49,69967	240	Picea abies	121,285	146,487	111,123	101,813
14,88332	49,69968	927	Quercus	8093,099	8479,784	7359,645	6692,662
14,88361	49,6996	414	Picea abies	425,819	475,962	390,144	357,457

Lokalita Chocerady:

GPS_LONG	GPS_LAT	DB H	SPECIES	C_now_kg	C_after5_growth_kg	C_after5_snag_kg	C_after5_felled_kg
14,828266	49,868398	401	Pinus	326,2	361,0	293,7	264,4
14,828801	49,868252	557	Picea abies	843,4	916,6	772,7	708,0
14,814572	49,864957	252	Acer pseudoplatanus	138,6	168,9	112,1	90,6
14,81504	49,865017	657	Acer	1333,7	1441,6	1078,4	871,9
14,815904	49,88153	533	Pinus	629,4	679,6	566,7	510,2
14,815783	49,881592	502	Pinus	548,0	594,5	493,4	444,2
14,815905	49,881349	560	Pinus	705,5	759,0	635,2	571,9
14,812097	49,876685	521	Pinus	597,1	645,9	537,6	484,0
14,811065	49,886387	589	Quercus	2349,2	2527,3	2136,3	1942,7
14,811015	49,88639	812	Quercus	5639,3	5947,5	5128,2	4663,5
14,808304	49,890513	726	Fagus sylvatica	2326,6	2476,7	1900,1	1551,8
14,808174	49,889951	860	Fagus sylvatica	3469,4	3657,8	2833,4	2314,0
14,809991	49,888691	511	Quercus	1594,6	1734,5	1450,1	1318,7
14,809845	49,888455	732	Fraxinus	4338,6	4635,9	3781,3	3295,5
14,810926	49,889643	500	Quercus	1502,7	1637,5	1366,5	1242,7
14,803286	49,881097	572	Picea abies	896,6	972,4	821,5	752,7
14,803189	49,881067	401	Alnus	355,4	398,7	283,8	226,6
14,805624	49,884893	875	Fagus sylvatica	3613,8	3806,7	2951,3	2410,3
14,799766	49,888098	335	Abies alba	248,1	301,0	226,2	206,2
14,801604	49,886048	471	Fagus sylvatica	838,4	922,6	684,7	559,2
14,801535	49,886139	718	Fagus sylvatica	2266,6	2414,5	1851,1	1511,8
14,800841	49,886232	326	Quercus	468,0	533,3	425,6	387,0
14,801132	49,886124	729	Fagus sylvatica	2349,4	2500,3	1918,7	1567,0
14,798629	49,885539	481	Fagus sylvatica	881,0	967,6	719,5	587,6
14,801292	49,886263	834	Fagus sylvatica	3227,0	3407,8	2635,5	2152,3
14,798473	49,885505	405	Fagus sylvatica	587,2	656,1	479,6	391,7

14,798551	49,88611	733	Fagus sylvatica	2379,9	2531,9	1943,6	1587,3
14,801021	49,886682	592	Fagus sylvatica	1437,8	1552,0	1174,2	959,0
14,801058	49,886633	930	Fagus sylvatica	4172,7	4382,0	3407,8	2783,1
14,801758	49,88632	650	Larix decidua	1094,8	1163,6	1005,5	923,6
14,801469	49,886259	517	Fagus sylvatica	1044,5	1139,8	853,0	696,7
14,800139	49,887941	749	Quercus	4524,4	4792,9	4114,4	3741,5
14,810828	49,886181	620	Quercus	2701,9	2896,3	2457,0	2234,4
14,812737	49,876891	435	Quercus	1027,8	1134,2	934,7	850,0
14,815839	49,88123	279	Cerasus avium	306,1	349,8	266,8	232,5
14,815917	49,881241	332	Carpinus betulus	367,4	399,5	272,2	201,7
14,815638	49,881178	420	Pinus	363,0	400,0	326,8	294,2
14,815184	49,865301	357	Alnus	268,3	305,1	214,2	171,0
14,829396	49,86867	397	Betula	427,8	483,3	339,0	268,7
14,82937	49,868723	433	Picea abies	472,2	525,3	432,6	396,4
14,831205	49,86892	433	Picea abies	472,2	525,3	432,6	396,4
14,815569	49,881249	307	Carpinus betulus	305,5	334,4	226,3	167,6
14,809064	49,890624	481	Fagus sylvatica	881,0	967,6	719,5	587,6
14,808946	49,890157	719	Fagus sylvatica	2274,0	2422,2	1857,2	1516,7
14,80987	49,889118	677	Quercus	3434,4	3660,3	3123,1	2840,1
14,809852	49,889099	535	Quercus	1807,2	1958,5	1643,4	1494,5
14,810092	49,889177	492	Quercus	1438,0	1569,2	1307,7	1189,2
14,803091	49,880899	524	Carpinus betulus	1078,2	1137,3	798,7	591,7
14,805559	49,885114	849	Quercus	6368,0	6700,7	5790,9	5266,1
14,805272	49,885262	890	Fraxinus	7506,2	7927,6	6541,9	5701,5
14,79889	49,885993	456	Quercus	1168,9	1284,1	1062,9	966,6
14,798742	49,885785	476	Fagus sylvatica	859,5	944,9	702,0	573,3
14,798436	49,885929	882	Quercus	7066,0	7421,1	6425,6	5843,3
14,798669	49,885464	472	Fagus sylvatica	842,6	927,0	688,1	562,0
14,798319	49,885874	675	Quercus	3406,8	3631,6	3098,0	2817,3
14,798478	49,884913	850	Quercus	6388,5	6721,8	5809,5	5283,0
14,829463	49,868634	298	Betula	216,9	254,8	171,9	136,2
14,829339	49,86873	333	Betula	282,1	326,1	223,6	177,2
14,81494	49,865191	715	Acer pseudoplatanus	1628,8	1749,7	1317,0	1064,8
14,815593	49,881366	270	Quercus	279,9	327,5	254,5	231,5
14,815474	49,881152	540	Pinus	648,6	699,7	584,0	525,8
14,812433	49,876749	370	Quercus	661,0	741,9	601,1	546,6
14,81022	49,886247	590	Quercus	2360,1	2538,7	2146,2	1951,7
14,808911	49,890371	715	Fagus sylvatica	2244,3	2391,4	1832,9	1496,9
14,80889	49,890347	710	Fagus sylvatica	2207,5	2353,2	1802,8	1472,3
14,809907	49,889043	540	Quercus	1853,7	2007,3	1685,7	1532,9
14,809049	49,88914	415	Quercus	904,0	1002,2	822,1	747,6
14,802936	49,879908	520	Carpinus betulus	1058,9	1117,4	784,4	581,1
14,805787	49,885169	690	Acer platanoides	1497,4	1612,7	1210,8	979,0
14,805961	49,885338	280	Acer platanoides	177,8	212,6	143,8	116,3
14,805544	49,885228	630	Acer platanoides	1207,8	1309,8	976,6	789,6
14,800071	49,888013	500	Quercus	1502,7	1637,5	1366,5	1242,7
14,801566	49,886315	666	Fagus sylvatica	1898,3	2032,0	1550,3	1266,1
14,801108	49,88626	782	Fagus sylvatica	2772,3	2938,2	2264,1	1849,1

14,800984	49,886471	720	Fagus sylvatica	2281,5	2430,0	1863,3	1521,7
14,800943	49,886486	615	Fagus sylvatica	1573,0	1693,2	1284,7	1049,2
14,800781	49,886504	860	Fagus sylvatica	3469,4	3657,8	2833,4	2314,0
14,79829	49,886025	445	Quercus	1093,6	1204,1	994,4	904,3
14,79927	49,885823	315	Cerasus avium	426,2	479,8	371,4	323,7

Lokalita Samechov:

GPS_LONG	GPS_LAT	DBH	TYPE	C_now_kg	C_after5_growth_kg	C_after5_snag_kg	C_after5_felled_kg
14,841569	49,866309	352	Abies alba	280,123	336,804	255,373	232,811
14,84444	49,867147	533	Abies alba	774,009	875,524	705,625	643,282
14,845658	49,867287	729	Abies alba	1666,887	1825,159	1519,616	1385,357
14,842932	49,86756	611	Abies alba	1081,553	1204,717	985,997	898,883
14,841951	49,866744	553	Abies alba	847,103	954,045	772,261	704,031
14,841816	49,865969	746	Abies alba	1763,725	1927,275	1607,898	1465,839
14,841519	49,866024	983	Abies alba	3466,896	3709,327	3160,593	2881,352
14,845782	49,877827	462	Abies alba	545,326	628,304	497,146	453,223
14,838274	49,864972	304	Abies alba	195,604	241,83	178,322	162,567
14,830732	49,865723	753	Abies alba	1804,543	1970,282	1645,11	1499,763
14,830641	49,865635	746	Abies alba	1763,725	1927,275	1607,898	1465,839
14,845637	49,865755	599	Abies alba	1030,256	1150,006	939,232	856,25
14,845538	49,865572	505	Abies alba	678,165	772,232	618,249	563,626
14,845523	49,865634	942	Abies alba	3123,309	3351,419	2847,363	2595,796
14,845795	49,865881	632	Abies alba	1174,895	1304,106	1071,092	976,46
14,845823	49,865952	307	Abies alba	200,367	247,227	182,664	166,526
14,845765	49,865824	481	Abies alba	601,912	689,737	548,733	500,252
14,848159	49,866754	948	Abies alba	3172,268	3402,456	2891,996	2636,486
14,848529	49,866603	886	Abies alba	2687,886	2896,878	2450,409	2233,914
14,846032	49,86623	942	Abies alba	3123,309	3351,419	2847,363	2595,796
14,846194	49,866044	891	Abies alba	2725,197	2935,875	2484,424	2264,923
14,846115	49,866073	859	Abies alba	2491,642	2691,604	2271,503	2070,814
14,846289	49,866895	401	Abies alba	385,483	453,495	351,425	320,377
14,846622	49,86662	309	Abies alba	203,579	250,864	185,593	169,196
14,846368	49,866768	612	Abies alba	1085,894	1209,345	989,954	902,491
14,846622	49,86662	309	Abies alba	203,579	250,864	185,593	169,196
14,846747	49,8666	432	Abies alba	462,623	538,125	421,75	384,488
14,842981	49,864966	569	Abies alba	908,408	1019,754	828,15	754,982
14,843246	49,864831	649	Abies alba	1253,829	1388	1143,052	1042,063
14,842165	49,861873	611	Abies alba	1081,553	1204,717	985,997	898,883
14,848586	49,862002	311	Abies alba	206,822	254,532	188,55	171,891
14,845613	49,861362	305	Abies alba	197,184	243,621	179,763	163,881
14,846403	49,861465	489	Abies alba	626,733	716,623	571,36	520,88
14,84861	49,861942	452	Abies alba	516,863	597,325	471,197	429,567
14,848803	49,866181	672	Abies alba	1365,492	1506,465	1244,849	1134,866
14,848771	49,866143	684	Abies alba	1426	1570,563	1300,012	1185,154
14,857341	49,861384	346	Abies alba	268,57	323,909	244,841	223,21
14,852455	49,862765	468	Abies alba	562,838	647,338	513,111	467,777
14,857243	49,861364	350	Abies alba	276,24	332,473	251,834	229,584
14,857243	49,861364	350	Abies alba	276,24	332,473	251,834	229,584

14,855138	49,860883	399	Abies alba	380,79	448,327	347,147	316,476
14,855638	49,860757	488	Abies alba	623,598	713,229	568,502	518,275
14,855663	49,860783	553	Abies alba	847,103	954,045	772,261	704,031
14,855764	49,860908	598	Abies alba	1026,047	1145,514	935,395	852,752
14,855778	49,860881	534	Abies alba	777,571	879,356	708,872	646,243
14,855889	49,860986	587	Abies alba	980,427	1096,793	893,805	814,837
14,855989	49,860731	600	Abies alba	1034,474	1154,508	943,077	859,756
14,855993	49,860709	546	Abies alba	821,076	926,108	748,533	682,4
14,856172	49,860852	429	Abies alba	454,792	529,559	414,611	377,98
14,85597	49,860647	489	Abies alba	626,733	716,623	571,36	520,88
14,85545	49,860481	501	Abies alba	665,082	758,099	606,321	552,752
14,855687	49,860363	782	Abies alba	1979,571	2154,474	1804,674	1645,23
14,855756	49,860321	616	Abies alba	1103,363	1227,959	1005,88	917,01
14,855769	49,860298	453	Abies alba	519,668	600,381	473,755	431,899
14,855543	49,86039	576	Abies alba	936,029	1049,319	853,33	777,938
14,847582	49,860475	498	Abies alba	655,368	747,6	597,466	544,679
14,847365	49,860162	638	Abies alba	1202,408	1333,363	1096,174	999,326
14,849749	49,859392	728	Abies alba	1661,291	1819,255	1514,515	1380,706
14,84762	49,859973	612	Abies alba	1085,894	1209,345	989,954	902,491
14,84762	49,859973	612	Abies alba	1085,894	1209,345	989,954	902,491
14,848376	49,859429	536	Abies alba	784,725	887,048	715,394	652,188
14,849305	49,857817	1069	Abies alba	4257,642	4530,975	3881,476	3538,545
14,849385	49,857823	498	Abies alba	655,368	747,6	597,466	544,679
14,848149	49,858704	432	Abies alba	462,623	538,125	421,75	384,488
14,847792	49,858888	713	Abies alba	1578,687	1732,041	1439,208	1312,053
14,847733	49,85895	321	Abies alba	223,495	273,348	203,749	185,748
14,847616	49,859011	785	Abies alba	1998,226	2174,086	1821,682	1660,735
14,85254	49,857451	421	Abies alba	434,297	507,113	395,926	360,946
14,855322	49,856386	613	Abies alba	1090,246	1213,983	993,922	906,108
14,855324	49,856398	478	Abies alba	592,757	679,811	540,387	492,643
14,855684	49,856676	462	Abies alba	545,326	628,304	497,146	453,223
14,855684	49,856676	456	Abies alba	528,14	609,605	481,478	438,939
14,855623	49,856711	562	Abies alba	881,275	990,688	803,414	732,432
14,855632	49,856726	539	Abies alba	795,528	898,662	725,243	661,167
14,855547	49,856737	549	Abies alba	832,172	938,021	758,649	691,621
14,8554	49,856768	520	Abies alba	728,578	826,613	664,207	605,524
14,855309	49,856834	515	Abies alba	711,536	808,242	648,671	591,36
14,853853	49,856589	713	Abies alba	1578,687	1732,041	1439,208	1312,053
14,851554	49,85654	568	Abies alba	904,502	1015,571	824,589	751,736
14,852058	49,855949	623	Abies alba	1134,331	1260,94	1034,112	942,748
14,851904	49,855881	511	Abies alba	698,074	793,721	636,398	580,172
14,851851	49,855923	423	Abies alba	439,368	512,671	400,55	365,161
14,85107	49,855582	396	Abies alba	373,815	440,641	340,788	310,679
14,858963	49,851017	589	Abies alba	988,63	1105,558	901,284	821,655
14,858244	49,850826	613	Abies alba	1090,246	1213,983	993,922	906,108
14,858473	49,850378	536	Abies alba	784,725	887,048	715,394	652,188
14,858401	49,850351	326	Abies alba	232,12	283,056	211,612	192,916
14,854024	49,850309	1189	Abies alba	5525,295	5843,616	5037,131	4592,097

14,853945	49,849914	650	Abies alba	1258,567	1393,032	1147,372	1046
14,839017	49,867814	309	Carpinus betulus	310,188	339,357	229,793	170,235
14,839017	49,867814	309	Carpinus betulus	310,188	339,357	229,793	170,235
14,839017	49,867814	309	Carpinus betulus	310,188	339,357	229,793	170,235
14,851377	49,862994	426	Carpinus betulus	661,571	706,375	490,104	363,078
14,849419	49,860655	476	Carpinus betulus	859,546	911,54	636,767	471,729
14,838477	49,866445	378	Fagus sylvatica	499,008	561,873	407,533	332,827
14,840482	49,867424	411	Fagus sylvatica	607,93	678,174	496,488	405,475
14,839988	49,866355	307	Fagus sylvatica	305,473	353,233	249,476	203,743
14,837102	49,868673	511	Fagus sylvatica	1016,146	1109,999	829,873	677,746
14,837853	49,868596	759	Fagus sylvatica	2583,833	2743,165	2110,181	1723,356
14,840697	49,866174	506	Fagus sylvatica	992,848	1085,478	810,845	662,206
14,842892	49,865554	481	Fagus sylvatica	880,996	967,579	719,498	587,604
14,844464	49,86725	631	Fagus sylvatica	1671,288	1795,689	1364,918	1114,71
14,835789	49,865312	873	Fagus sylvatica	3594,352	3786,621	2935,458	2397,349
14,835706	49,864969	692	Fagus sylvatica	2077,726	2218,49	1696,851	1385,795
14,83661	49,864944	1429	Fagus sylvatica	11493,904	11867,321	9386,916	7666,168
14,83722	49,86495	1375	Fagus sylvatica	10495,528	10850,029	8571,556	7000,274
14,832257	49,866378	698	Fagus sylvatica	2120,472	2262,874	1731,761	1414,306
14,836038	49,863572	512	Fagus sylvatica	1020,843	1114,941	833,709	680,879
14,839303	49,865402	476	Fagus sylvatica	859,546	944,932	701,98	573,297
14,845998	49,866913	873	Fagus sylvatica	3594,352	3786,621	2935,458	2397,349
14,842461	49,864382	673	Fagus sylvatica	1945,659	2081,269	1588,994	1297,71
14,842924	49,863251	815	Fagus sylvatica	3056,27	3231,578	2496,014	2038,461
14,843853	49,863247	1444	Fagus sylvatica	11780,537	12159,255	9621,006	7857,345
14,843554	49,862854	871	Fagus sylvatica	3574,957	3766,635	2919,619	2384,414
14,843311	49,862954	783	Fagus sylvatica	2780,716	2946,846	2270,973	1854,673
14,843188	49,86286	1067	Fagus sylvatica	5770,309	6022,164	4712,534	3848,663
14,843179	49,862852	499	Fagus sylvatica	960,752	1051,678	784,633	640,799
14,843272	49,862662	954	Fagus sylvatica	4431,173	4647,803	3618,879	2955,49
14,841766	49,861747	456	Fagus sylvatica	776,773	857,418	634,38	518,09
14,841272	49,861795	359	Fagus sylvatica	441,849	500,566	360,852	294,703
14,84483	49,862007	1099	Fagus sylvatica	6186,877	6448,957	5052,739	4126,504
14,846908	49,863056	1674	Fagus sylvatica	16694,707	17157,083	13634,341	11134,982
14,845024	49,863229	1055	Fagus sylvatica	5618,395	5866,443	4588,467	3747,339
14,84514	49,862441	1191	Fagus sylvatica	7478,772	7770,835	6107,812	4988,168
14,846456	49,861473	1289	Fagus sylvatica	9012,342	9337,263	7360,258	6011,023
14,845706	49,862481	932	Fagus sylvatica	4193,892	4403,83	3425,095	2797,229
14,856127	49,861548	1357	Fagus sylvatica	10174,303	10522,556	8309,215	6786,024
14,856284	49,861993	1397	Fagus sylvatica	10895,969	11258,145	8898,59	7267,359
14,855497	49,862474	1683	Fagus sylvatica	16907,207	17372,946	13807,887	11276,715
14,8551	49,862248	1193	Fagus sylvatica	7508,431	7801,155	6132,034	5007,949
14,855107	49,862114	1547	Fagus sylvatica	13859,602	14275,238	11318,949	9244,033
14,853787	49,8625	362	Fagus sylvatica	450,609	509,976	368,006	300,546
14,853935	49,862343	415	Fagus sylvatica	621,979	693,132	507,962	414,846
14,853571	49,862618	781	Fagus sylvatica	2763,991	2929,551	2257,314	1843,518
14,853746	49,862586	879	Fagus sylvatica	3652,897	3846,944	2983,271	2436,397
14,853846	49,862584	953	Fagus sylvatica	4420,224	4636,549	3609,937	2948,187

14,853405	49,862784	1099	Fagus sylvatica	6186,877	6448,957	5052,739	4126,504
14,853222	49,862373	603	Fagus sylvatica	1501,594	1618,666	1226,332	1001,528
14,853229	49,862178	517	Fagus sylvatica	1044,516	1139,84	853,042	696,668
14,853209	49,862151	518	Fagus sylvatica	1049,288	1144,859	856,939	699,85
14,853399	49,862119	539	Fagus sylvatica	1152,409	1253,185	941,157	768,63
14,853747	49,861987	361	Fagus sylvatica	447,678	506,828	365,613	298,591
14,853686	49,861516	476	Fagus sylvatica	859,546	944,932	701,98	573,297
14,854144	49,86184	728	Fagus sylvatica	2341,767	2492,433	1912,49	1561,905
14,85417	49,861741	486	Fagus sylvatica	902,752	990,535	737,265	602,114
14,853596	49,861382	928	Fagus sylvatica	4151,557	4360,284	3390,52	2768,992
14,853743	49,861499	1169	Fagus sylvatica	7156,978	7441,794	5845,007	4773,539
14,853932	49,861642	549	Fagus sylvatica	1203,481	1306,76	982,867	802,694
14,854137	49,861366	606	Fagus sylvatica	1519,276	1637,128	1240,772	1013,322
14,854639	49,861874	586	Fagus sylvatica	1403,64	1516,321	1146,334	936,195
14,8546	49,861814	435	Fagus sylvatica	695,015	770,759	567,61	463,559
14,85489	49,861857	1058	Fagus sylvatica	5656,155	5905,153	4619,305	3772,524
14,854729	49,861451	1126	Fagus sylvatica	6551,428	6822,218	5350,463	4369,65
14,854809	49,861485	1156	Fagus sylvatica	6970,65	7251,206	5692,836	4649,262
14,854742	49,861606	734	Fagus sylvatica	2387,55	2539,883	1949,88	1592,441
14,854341	49,861603	628	Fagus sylvatica	1652,605	1776,215	1349,66	1102,249
14,854333	49,861616	453	Fagus sylvatica	764,772	844,712	624,579	510,085
14,854258	49,861577	605	Fagus sylvatica	1513,369	1630,961	1235,948	1009,382
14,850667	49,862127	1206	Fagus sylvatica	7702,864	7999,896	6290,825	5137,631
14,851443	49,861562	359	Fagus sylvatica	441,849	500,566	360,852	294,703
14,852127	49,861719	392	Fagus sylvatica	543,707	609,676	444,038	362,64
14,852418	49,86148	715	Fagus sylvatica	2244,319	2391,388	1832,905	1496,909
14,852344	49,861475	796	Fagus sylvatica	2890,852	3060,695	2360,92	1928,131
14,852268	49,861408	368	Fagus sylvatica	468,425	529,098	382,557	312,429
14,852307	49,861302	1005	Fagus sylvatica	5010,39	5242,745	4091,918	3341,814
14,853025	49,861289	837	Fagus sylvatica	3254,461	3436,154	2657,875	2170,65
14,852992	49,861262	386	Fagus sylvatica	524,279	588,914	428,172	349,682
14,852579	49,861177	429	Fagus sylvatica	672,613	746,972	549,314	448,618
14,852708	49,861122	839	Fagus sylvatica	3272,835	3455,111	2672,88	2182,905
14,853855	49,861096	625	Fagus sylvatica	1634,043	1756,863	1334,501	1089,869
14,85212	49,860431	1569	Fagus sylvatica	14329,037	14752,676	11702,331	9557,136
14,850425	49,861056	859	Fagus sylvatica	3459,86	3647,997	2825,621	2307,646
14,847929	49,860145	489	Fagus sylvatica	915,952	1004,458	748,046	610,919
14,852779	49,859089	768	Fagus sylvatica	2656,688	2818,561	2169,682	1771,95
14,849517	49,859726	1239	Fagus sylvatica	8209,335	8517,376	6704,453	5475,436
14,851288	49,859691	510	Fagus sylvatica	1011,461	1105,069	826,047	674,621
14,851607	49,860097	413	Fagus sylvatica	614,931	685,63	502,206	410,145
14,851871	49,859215	789	Fagus sylvatica	2831,242	2999,083	2312,237	1888,373
14,852674	49,859075	1625	Fagus sylvatica	15564,818	16009,006	12711,577	10381,373
14,849469	49,859122	386	Fagus sylvatica	524,279	588,914	428,172	349,682
14,850314	49,857166	978	Fagus sylvatica	4698,642	4922,636	3837,318	3133,885
14,847144	49,858621	409	Fagus sylvatica	600,975	670,766	490,808	400,836
14,84642	49,858442	632	Fagus sylvatica	1677,543	1802,207	1370,026	1118,882
14,847669	49,857299	658	Fagus sylvatica	1844,91	1976,487	1506,713	1230,512

14,847908	49,857524	611	Fagus sylvatica	1549,012	1668,166	1265,057	1033,155
14,855222	49,856881	420	Fagus sylvatica	639,801	712,095	522,517	426,732
14,854646	49,856945	786	Fagus sylvatica	2805,914	2972,898	2291,552	1871,479
14,856884	49,856968	586	Fagus sylvatica	1403,64	1516,321	1146,334	936,195
14,852669	49,85653	723	Fagus sylvatica	2304,005	2453,285	1881,65	1536,718
14,854173	49,855952	1139	Fagus sylvatica	6731,252	7006,263	5497,323	4489,589
14,859781	49,855725	745	Fagus sylvatica	2472,814	2628,217	2019,514	1649,31
14,859277	49,855941	384	Fagus sylvatica	517,894	582,085	422,957	345,423
14,860002	49,855657	805	Fagus sylvatica	2968,547	3140,973	2424,372	1979,952
14,859659	49,85548	749	Fagus sylvatica	2504,247	2660,77	2045,185	1670,275
14,859253	49,854605	556	Fagus sylvatica	1239,992	1345,033	1012,685	827,046
14,858481	49,854885	398	Fagus sylvatica	563,542	630,854	460,237	375,869
14,857544	49,855812	371	Fagus sylvatica	477,483	538,812	389,954	318,47
14,856096	49,855477	653	Fagus sylvatica	1812,011	1942,251	1479,845	1208,569
14,85287	49,855204	315	Fagus sylvatica	324,584	373,99	265,083	216,49
14,859251	49,853855	786	Fagus sylvatica	2805,914	2972,898	2291,552	1871,479
14,857013	49,854329	712	Fagus sylvatica	2222,169	2368,412	1814,815	1482,135
14,856904	49,854154	415	Fagus sylvatica	621,979	693,132	507,962	414,846
14,856902	49,8543	628	Fagus sylvatica	1652,605	1776,215	1349,66	1102,249
14,858296	49,852281	516	Fagus sylvatica	1039,756	1134,835	849,155	693,493
14,858286	49,852278	468	Fagus sylvatica	825,857	909,338	674,466	550,828
14,858882	49,851678	658	Fagus sylvatica	1844,91	1976,487	1506,713	1230,512
14,858311	49,850326	1069	Fagus sylvatica	5795,856	6048,346	4733,397	3865,701
14,858059	49,849844	684	Fagus sylvatica	2021,51	2160,097	1650,94	1348,3
14,857494	49,85233	783	Fagus sylvatica	2780,716	2946,846	2270,973	1854,673
14,858331	49,851772	436	Fagus sylvatica	698,79	774,766	570,692	466,077
14,858378	49,85189	425	Fagus sylvatica	657,913	731,353	537,309	438,813
14,858107	49,851992	412	Fagus sylvatica	611,425	681,896	499,342	407,806
14,855453	49,850995	796	Fagus sylvatica	2890,852	3060,695	2360,92	1928,131
14,855131	49,850683	398	Fagus sylvatica	563,542	630,854	460,237	375,869
14,852373	49,84927	912	Fagus sylvatica	3984,684	4188,587	3254,237	2657,692
14,858302	49,849358	689	Fagus sylvatica	2056,541	2196,487	1679,549	1371,665
14,85756	49,848155	935	Fagus sylvatica	4225,806	4436,653	3451,159	2818,515
14,857959	49,847937	912	Fagus sylvatica	3984,684	4188,587	3254,237	2657,692
14,856181	49,848405	1053	Fagus sylvatica	5593,303	5840,718	4567,975	3730,603
14,855952	49,848365	692	Fagus sylvatica	2077,726	2218,49	1696,851	1385,795
14,855387	49,848252	1125	Fagus sylvatica	6537,711	6808,177	5339,26	4360,502
14,854609	49,847884	634	Fagus sylvatica	1690,092	1815,285	1380,275	1127,252
14,855631	49,847378	742	Fagus sylvatica	2449,389	2603,953	2000,383	1633,686
14,855556	49,847382	856	Fagus sylvatica	3431,424	3618,679	2802,398	2288,68
14,854115	49,847412	726	Fagus sylvatica	2326,62	2476,731	1900,119	1551,802
14,854083	49,847394	794	Fagus sylvatica	2873,748	3043,018	2346,951	1916,723
14,85242	49,847584	815	Fagus sylvatica	3056,27	3231,578	2496,014	2038,461
14,852018	49,847705	745	Fagus sylvatica	2472,814	2628,217	2019,514	1649,31
14,853116	49,846409	420	Fagus sylvatica	639,801	712,095	522,517	426,732
14,854564	49,846564	745	Fagus sylvatica	2472,814	2628,217	2019,514	1649,31
14,856165	49,846134	850	Fagus sylvatica	3374,958	3560,452	2756,282	2251,019
14,857613	49,846114	650	Fagus sylvatica	1792,435	1921,875	1463,857	1195,512

14,834016	49,868772	399	Fraxinus	791,006	892,21	689,389	600,826
14,840844	49,867128	649	Fraxinus	3095,672	3335,536	2697,984	2351,386
14,838776	49,864411	613	Fraxinus	2637,79	2854,485	2298,924	2003,591
14,83875	49,864487	410	Fraxinus	853,704	959,888	744,032	648,45
14,839045	49,864419	531	Fraxinus	1763,259	1931,139	1536,741	1339,322
14,839054	49,864352	532	Fraxinus	1772,589	1941,031	1544,872	1346,409
14,831103	49,866057	511	Fraxinus	1583,252	1740,074	1379,858	1202,594
14,855235	49,854732	320	Fraxinus	426,006	494,622	371,279	323,582
14,838079	49,868608	406	Larix decidua	383,08	422,012	351,863	323,191
14,847083	49,868065	912	Larix decidua	2330,7	2434,585	2140,776	1966,329
14,845259	49,864346	394	Larix decidua	358,275	395,826	329,08	302,264
14,842685	49,86404	594	Larix decidua	895,402	957,074	822,438	755,419
14,845374	49,862377	541	Larix decidua	726,868	781,936	667,637	613,233
14,850586	49,863911	511	Larix decidua	639,992	691,385	587,841	539,939
14,853045	49,865368	812	Larix decidua	1798,653	1888,83	1652,084	1517,46
14,852869	49,865676	768	Larix decidua	1588,414	1672,679	1458,978	1340,089
14,856869	49,861137	439	Larix decidua	456,05	498,828	418,888	384,754
14,855057	49,860008	628	Larix decidua	1013,803	1079,783	931,19	855,31
14,851584	49,860104	593	Larix decidua	892,042	953,588	819,352	752,585
14,850547	49,857714	1587	Larix decidua	8021,823	8226,247	7368,143	6767,73
14,850433	49,856095	315	Larix decidua	217,458	246,163	199,738	183,462
14,860087	49,855615	306	Larix decidua	203,839	231,566	187,229	171,972
14,859445	49,855164	811	Larix decidua	1793,714	1883,756	1647,548	1513,293
14,858302	49,854911	524	Larix decidua	676,89	729,869	621,731	571,068
14,8546	49,8486	753	Larix decidua	1520,025	1602,292	1396,162	1282,392
14,857084	49,848941	403	Larix decidua	376,793	415,379	346,089	317,887
14,852794	49,846707	830	Larix decidua	1888,83	1981,448	1734,914	1593,539
14,840292	49,867591	326	Picea abies	245,568	282,605	224,994	206,144
14,839217	49,868324	408	Picea abies	411,738	460,959	377,243	345,637
14,837758	49,869074	546	Picea abies	805,52	876,895	738,033	676,199
14,837551	49,869173	462	Picea abies	548,23	605,891	502,299	460,216
14,837648	49,869074	456	Picea abies	531,969	588,677	487,4	446,565
14,837442	49,869085	402	Picea abies	397,925	446,227	364,586	334,041
14,839289	49,868154	648	Picea abies	1195,112	1284,001	1094,984	1003,245
14,837794	49,869047	611	Picea abies	1043,744	1126,177	956,298	876,179
14,838328	49,868906	324	Picea abies	242,112	278,861	221,828	203,243
14,838394	49,868795	538	Picea abies	778,593	848,633	713,362	653,596
14,842685	49,866647	392	Picea abies	375,493	422,274	344,034	315,21
14,843379	49,866354	462	Picea abies	548,23	605,891	502,299	460,216
14,843681	49,866468	426	Picea abies	454,788	506,787	416,685	381,775
14,84375	49,866576	478	Picea abies	592,954	653,174	543,276	497,759
14,837709	49,864277	547	Picea abies	808,922	880,464	741,15	679,056
14,836951	49,864397	562	Picea abies	860,933	934,995	788,803	722,716
14,831091	49,86603	311	Picea abies	220,319	255,216	201,86	184,948
14,849797	49,866768	309	Picea abies	217,069	251,684	198,882	182,22
14,846515	49,861043	354	Picea abies	296,894	337,999	272,02	249,229
14,84658	49,861874	1365	Picea abies	6648,006	6880,236	6091,028	5580,715
14,84876	49,865889	528	Picea abies	745,662	814,041	683,189	625,951

14,849012	49,86551	475	Picea abies	584,417	644,155	535,454	490,593
14,866141	49,875551	469	Picea abies	567,553	626,33	520,003	476,436
14,856297	49,863201	305	Picea abies	210,651	244,702	193,002	176,832
14,852172	49,865725	302	Picea abies	205,909	239,538	188,657	172,852
14,850471	49,861669	563	Picea abies	864,466	938,697	792,04	725,682
14,850059	49,862034	1396	Picea abies	7000,933	7240,009	6414,387	5876,982
14,851165	49,861722	826	Picea abies	2090,252	2211,682	1915,128	1754,677
14,850268	49,860988	399	Picea abies	391,118	438,963	358,35	328,327
14,852662	49,85877	506	Picea abies	676,032	740,791	619,393	567,5
14,848419	49,858944	302	Picea abies	205,909	239,538	188,657	172,852
14,848366	49,858933	325	Picea abies	243,837	280,73	223,408	204,69
14,848077	49,858935	303	Picea abies	207,483	241,252	190,1	174,173
14,855384	49,85693	401	Picea abies	395,649	443,798	362,501	332,13
14,854975	49,856801	362	Picea abies	312,576	354,862	286,388	262,394
14,852501	49,855855	639	Picea abies	1157,224	1244,532	1060,271	971,44
14,858248	49,856038	311	Picea abies	220,319	255,216	201,86	184,948
14,856821	49,854861	312	Picea abies	221,954	256,993	203,358	186,321
14,854552	49,854373	348	Picea abies	285,431	325,656	261,517	239,607
14,852108	49,854738	305	Picea abies	210,651	244,702	193,002	176,832
14,856874	49,854417	580	Picea abies	925,778	1002,891	848,215	777,151
14,85246	49,851688	301	Picea abies	204,342	237,83	187,222	171,536
14,859012	49,851697	410	Picea abies	416,402	465,93	381,516	349,552
14,857815	49,851116	355	Picea abies	298,829	340,082	273,793	250,854
14,856821	49,851146	683	Picea abies	1349,061	1444,159	1236,035	1132,478
14,856834	49,851175	356	Picea abies	300,772	342,172	275,573	252,485
14,856328	49,851189	589	Picea abies	959,203	1037,852	878,84	805,209
14,853241	49,850006	502	Picea abies	663,786	727,892	608,173	557,219
14,857632	49,847581	593	Picea abies	974,274	1053,608	892,648	817,861
14,856588	49,847135	862	Picea abies	2306,079	2434,367	2112,874	1935,855
14,855339	49,850241	381	Quercus	716,006	801,019	651,116	592,107
14,841919	49,866685	491	Quercus	1430,07	1560,775	1300,467	1182,609
14,836184	49,864168	548	Quercus	1929,531	2087,085	1754,663	1595,643
14,839074	49,865731	431	Quercus	1002,247	1107,007	911,417	828,818
14,838433	49,865518	811	Quercus	5620,372	5927,972	5111,014	4647,818
14,845779	49,863803	421	Quercus	940,088	1040,76	854,891	777,414
14,847553	49,864668	742	Quercus	4410,027	4674,244	4010,359	3646,912
14,848849	49,859633	962	Quercus	8953,922	9365,949	8142,454	7404,527

