

Stromy jako zásobárna uhlíku – jak zjistit, kolik CO₂ ukládají a proč na tom záleží

Metodika a kalkulačka pro odhad 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 představují jeden z největších přírodních zásobníků uhlíku na Zemi. Stromy během fotosyntézy pohlcují oxid uhličitý (CO₂) ze vzduchu a ukládají jeho uhličkovou část do své hmoty – do kmenů, větví, kůry i listů. Množství uhlíku uloženého v lese závisí na mnoha faktorech: na klimatu a vlastnostech stanoviště, na druhovém složení i věkové struktuře porostu. Přesné zjištění této zásoby bývá náročné, ale lze využít skutečnosti, že **velikost stromu úzce souvisí s množstvím uhlíku, které strom obsahuje**. Pro odhad zásoby uhlíku se proto používají tzv. vztahy mezi velikostí stromu a jeho hmotností, které převádějí snadno měřitelné údaje – zejména tloušťku kmene ve výšce 1,3 metru – na celkovou hmotnost dřeva, tedy biomasu. Ze známého množství biomasy lze pak jednoduše určit, kolik uhlíku biomasa stromu obsahuje.

Tato metodika představuje jednoduchý a srozumitelný postup pro orientační odhad množství uhlíku v jednotlivých stromech na základě jejich druhu a tloušťky kmene. Součástí této metodiky je i webová aplikace, která tyto výpočty automaticky provádí a umožňuje také modelovat vývoj zásoby uhlíku v čase – jak její nárůst při růstu stromu, tak úbytek po odumření vlivem rozkladu dřeva.

Výsledky slouží k orientačnímu stanovení aktuální zásoby uhlíku i jejího vývoje v čase. Metodika je využitelná při posuzování množství uhlíku poutaného v živých i odumřelých stromech. Lze ji využít například při hodnocení významu biotopových stromů a ponechaného mrtvého dřeva pro omezování dopadů klimatické změny.

Obsah

1. Úvod	2
2. Cíl metodiky	2
3. Metodika.....	2
3.1 Jaké údaje potřebujeme ke zjištění množství uhlíku ve stromě	2
3.2 Výpočet.....	3
4. Praktické informace	6
5. Závěr	7
6. Seznam literatury.....	7
PŘÍLOHA 1.....	8
Jak měřit DBH (průměr stromu ve výšce prsou) – návod pro laiky	8
1. Co je DBH a proč ho měřit	8
2. Pomůcky pro měření	8
3. Postup měření	8
4. Měření na svahu a zvláštní případy	8

5. Jak vyznačit měřiče pro opakovaná měření.....	10
6. Nejčastější chyby	10
PŘÍLOHA 2.....	11
Tabulka průměrných ročních tloušťkových přírůstků DBH (cm/rok) podle dřevin, bonity stanoviště a sociálního postavení stromu.....	11

1. Úvod

Lesy představují jeden z největších přírodních zásobníků uhlíku na Zemi. Stromy během fotosyntézy přijímají oxid uhličitý (CO₂) ze vzduchu a ukládají jeho uhlíkovou část do biomasy dřeva, kůry, větví i listů, ale i kořenů. Díky tomu hrají klíčovou roli při omezování dopadů klimatické změny.

Množství uhlíku, které je v lese uloženo, se mění podle druhu stromů, jejich věku, velikosti a také podle podmínek prostředí. Přesné zjištění těchto hodnot v celém lese je ale složité a časově náročné. Naštěstí existuje jednodušší způsob pro jednotlivé stromy: velikost stromu (zejména jeho tloušťka kmene) velmi dobře vystihuje, kolik biomasy, a tedy i uhlíku strom obsahuje.

Tento princip využívá právě tato metodika – představuje jednoduchý, srozumitelný návod, jak odhadnout množství uhlíku ve stromě na základě jeho tloušťky a druhu dřeviny.

Metodika vznikla jako praktická pomůcka nejen pro odborníky, ale i pro širší veřejnost – majitele lesů, lesníky, studenty, učitele nebo kohokoli, kdo se zajímá o přírodu a chce porozumět tomu, jak stromy pomáhají ukládat uhlík z atmosféry.

Součástí je i webová aplikace “Uhlíková kalkulačka pro stromy”, která umožňuje všechny výpočty provést automaticky a zobrazí výsledky v přehledné formě.

Text metodiky však může být využit i samostatně – vysvětluje základní principy, proč a jak se zásoba uhlíku ve stromech počítá, a co nám tento údaj může říct o fungování ekosystémů i klimatu.

2. Cíl metodiky

Cílem metodiky je představit jednoduchý a spolehlivý postup, jak odhadnout množství uhlíku uloženého v jednotlivých stromech. Výpočet vychází z běžně dostupných údajů – druhu stromu a tloušťky kmene měřené ve výšce 1,3 m. Z těchto dvou údajů lze pomocí známých vztahů odvodit pro daný strom množství dřevní hmoty (biomasy) a z ní následně určit, kolik uhlíku daný strom obsahuje. Kromě aktuální zásoby uhlíku lze také modelovat, jak se tato zásoba mění v čase – například při dalším růstu stromu nebo po jeho odumření. Tím lze porovnat různé situace, které se běžně v přírodě i při lesnickém hospodaření vyskytují: ponechání stojícího stromu k dalšímu růstu, nebo jeho přeměna v ležící kmen nebo stojící souš.

Metodika i aplikace tak umožňují snadno a názorně ukázat, jak jednotlivé stromy přispívají k zadržování uhlíku v krajině a ke snižování jeho koncentrace v atmosféře.

3. Metodika

3.1 Jaké údaje potřebujeme ke zjištění množství uhlíku ve stromě

Abychom mohli určit, kolik uhlíku je v konkrétním stromě uloženo, musíme nejprve zjistit, jak velké množství dřevní hmoty (hmotnost) daný strom představuje.

Nadzemní biomasa je zastupována součtem hmotnosti kmene, větví, kůry a listů (nebo jehlic).

Množství dřeva, které strom obsahuje, úzce souvisí s jeho velikostí. Proto se v praxi používají jednoduché veličiny, které lze snadno změřit:

- **Druh stromu** (např. smrk, buk, dub, borovice apod.)
- **Tloušťka kmene** měřená ve výšce 1,3 m nad zemí

Tloušťka se měří obvykle průměrkou (posuvným metrem ve výšce 1,3 m na zemi) nebo obvodovým měřidlem (). Tato výška (tzv. „výčetní“) je zvolena proto, že dobře vystihuje celkový objem stromu, a přitom se dá snadno a jednotně měřit. Výška stromu se zde nepoužívá, protože její zjištění je v terénu náročnější a pro tento typ výpočtu není nezbytné. Přesný návod, jak tloušťku stromu změřit, je uveden v PŘÍLOZE 1.

3.2 Výpočet

3.2.1 Výpočet nadzemní biomasy – kolik dřeva a biomasy strom skutečně má

Pokud známe druh a tloušťku kmene, lze podle vztahů ověřených tisíci měření napříč mnoha lokalitami v Evropě spočítat hmotnost sušiny dřeva a ostatní nadzemní biomasy, kterou strom představuje.

Tento vztah je vyjádřen rovnicí:

$$\text{BIOMASA} = \exp(a + b \times \ln(\text{TLOUSTKA})) \times \text{CF}$$

kde:

- a , b jsou koeficienty specifické pro jednotlivé druhy dřevin,
- **CF** je drobný korekční faktor,
- výsledek udává hmotnost nadzemní části stromu v kilogramech sušiny.

V praxi to znamená, že každý druh má svůj typický poměr mezi tloušťkou a hmotností.

Například strom se stejnou tloušťkou kmene bude mít u lípy menší hmotnost než u dubu, protože jejich dřevo má odlišnou hustotu.

Tyto vztahy jsou převzaty z rozsáhlé studie Forrester et al. (2017), která vycházela z měření tisíců stromů v různých klimatických a stanovištních podmínkách napříč Evropou.

Z důvodu srozumitelnosti jsou v kalkulačce uvedeny již připravené hodnoty parametrů a , b a CF pro nejběžnější dřeviny České republiky, takže uživatel nemusí žádné koeficienty sám hledat ani dosazovat.

3.2.2 Výpočet aktuální zásoby uhlíku a její změny při růstu stromu

Roční tloušťkový přírůst živých stromů

Stromy nejsou statické – neustále rostou, přirůstají na tloušťce a tím každým rokem zadržují další uhlík. Pokud tedy chceme vědět, kolik uhlíku strom naváže během několika let, musíme znát jeho průměrný roční přírůst tloušťky. Změna tloušťky nám totiž ukazuje, o kolik se zvětšila dřevní hmota, a tedy i množství uhlíku.

Jak výpočet funguje

Výpočet vychází z tloušťky stromu na začátku období a z jeho ročního přírůstu.

Pokud známe počáteční tloušťku stromu a odhadneme, o kolik centimetrů nebo milimetrů ročně přibývá, můžeme určit, jak se zvětší jeho zásoba uhlíku třeba za 5, 10 nebo 50 let.

Zjednodušeně lze říct:

Nová biomasa = biomasa odpovídající nové tloušťce – biomasa původní

Kalkulačka to dělá automaticky, ale princip je jednoduchý – čím větší roční přírůst, tím víc uhlíku strom každoročně naváže.

Jak zjistit roční přírůst tloušťky stromu

Přírůst kmene se dá zjistit několika způsoby – od jednoduchých až po ty složitější. Nejčastější možnosti jsou tyto:

a) **Z pařezů po těžbě**

Po pokácení stromů stejného druhu se dají spočítat letokruhy na pařezech. Šířka letokruhu ukazuje, o kolik strom každoročně přibral. Průměrná šířka posledních pěti letokruhů (vynásobená dvěma) dává orientační roční přírůst průměru kmene.

b) **Přímé měření živých stromů**

Na kmeni se označí měřicí místo ve výšce 1,3 m a změří se obvod. Po několika letech se měření zopakuje. Rozdíl obvodů se přepočte na průměr – rozdíl ukazuje skutečný přírůst tloušťky. Tento způsob je přesný, ale vyžaduje trpělivost.

c) **Použití tabulek průměrných přírůstů**

Pro rychlý odhad lze využít přehledné tabulky (viz PŘÍLOHA 2), které udávají průměrný roční přírůst podle:

- druhu stromu,
- kvality stanoviště (tzv. bonity),
- postavení stromu (zda je uvolněný, stinný nebo potlačený).

Tyto tabulky vycházejí z dlouhodobých měření evropských lesů a poskytují **dobry orientační odhad**. Například u buku činí běžný roční přírůst asi 0,3–0,5 cm, u smrku kolem 0,4 cm, u dubu 0,2–0,3 cm.

d) **Pomoc odborníka – vývrt**

Lesníci nebo dendroekologové mohou použít speciální dutý vrták, kterým se získá tenký výřez dřeva (tzv. vývrt). Z něj se přírůst dá přesně změřit podle šířky letokruhů. Tento postup je však invazivní a používá se spíše pro odborné účely.

Jak přírůst ovlivňuje zásobu uhlíku

Čím rychleji strom roste, tím víc uhlíku ukládá. Uhlíková kalkulačka počítá s průměrnými ročními hodnotami růstu, takže dokáže ukázat, jak se množství uloženého uhlíku mění v čase.

Příklad: Buk o tloušťce 40 cm má zásobu asi 400 kg uhlíku. Pokud ročně přirůstá o 4 mm, znamená to, že za 10 let přibude přibližně 10–15 % hmotnosti – tedy dalších 40 až 60 kg uhlíku. Takto lze snadno vidět, že i pomalý růst v dlouhém čase znamená významnou akumulaci uhlíku.

Co se z výpočtu dozvíme

Výsledkem výpočtu je informace o tom, jak se bude měnit množství uhlíku uloženého v daném stromě v čase. To nám pomáhá lépe pochopit, jak jednotlivé stromy přispívají ke snižování množství oxidu uhličitého v atmosféře – nejen v daném okamžiku, ale i do budoucna. Takový údaj má praktický význam například při hodnocení významu tzn. biotopových stromů stromů, plánování výsadby, nebo i při školních a popularizačních projektech, které ukazují, jak se růst stromů promítá do koloběhu uhlíku v přírodě.

3.2.3 Přepočet biomasy na uhlík a ekvivalent CO₂ – kolik oxidu uhličitého strom zadržuje

Jakmile známe hmotnost dřeva – tedy **biomasy stromu** – můžeme z ní odhadnout, kolik uhlíku strom skutečně obsahuje. Z fyzikálního hlediska tvoří přibližně **polovina suché hmotnosti dřeva uhlík**.

Zbytek připadá na kyslík, vodík a další prvky. Z tohoto důvodu se při výpočtech používá jednoduchý převodní vztah:

$$\text{Uhlík} = \text{Biomasa} \times 0,5$$

Tímto způsobem získáme množství uhlíku uloženého v nadzemní části stromu, obvykle v kilogramech.

Přepočet na oxid uhličitý (CO₂ ekvivalent)

Uhlík, který strom váže, pochází z oxidu uhličitého. Pokud chceme vyjádřit, kolik CO₂ strom z atmosféry odstraní, musíme vzít v úvahu, že jedna molekula CO₂ obsahuje jeden atom uhlíku a dva atomy kyslíku. Kyslík je těžší, proto hmotnostní poměr mezi uhlíkem a CO₂ činí 1 : 3,67. To znamená, že každý 1 kilogram uhlíku odpovídá 3,67 kilogramům oxidu uhličitého, které strom navázal. Výpočet pak vypadá jednoduše:

$$\text{CO}_2 = \text{C} \times 3,67$$

Praktický příklad

Představme si buk s nadzemní biomasou 800 kg.

- Z toho asi **400 kg tvoří uhlík** (polovina suché hmotnosti).
- Tento uhlík odpovídá **1 470 kg CO₂**, které strom pohltl z atmosféry.

Takový jediný strom tedy zadržuje zhruba tolik oxidu uhličitého, kolik vyprodukuje osobní auto při ujetí přibližně 8 tisíc kilometrů.

Proč se používá ekvivalent CO₂

Přepočítání na CO₂ je užitečné, protože umožňuje porovnávat význam stromů se zdroji emisí. Když například víme, že domácnost vyprodukuje ročně kolem 5 tun CO₂, snadno si představíme, kolik stromů by muselo růst, aby tento uhlík vázaly. Tento pohled propojuje přírodu a klima – ukazuje, že i jednotlivé stromy mají měřitelný a reálný přínos pro omezování skleníkových plynů.

3.2.4 Zadržování a uvolňování uhlíku v mrtvém dřevě

Když strom odumře, jeho uhlík nezmezí. Zůstává uložený v dřevě – v kmeni, větvích a kořenech – a **postupně se uvolňuje zpět do atmosféry**. Tento proces trvá roky až desítky let a závisí na mnoha faktorech:

- na druhu dřeva (měkké dřeviny se rozkládají rychleji než tvrdé),
- na tom, zda strom zůstane stát, nebo spadne,
- na vlhkosti, teplotě a činnosti hub a hmyzu.

Z ekologického hlediska je **mrtvé dřevo odumřelého stromu nepostradatelnou součástí lesních ekosystémů** – poskytuje úkryt stovkám druhů živočichů a rostlin, zadržuje vodu, živiny i uhlík. Z pohledu koloběhu uhlíku je ale důležité vědět, jak rychle se tento uhlík z dřeva uvolňuje. Proto se v metodice rozlišují dvě základní situace:

- **ležící mrtvé dřevo,**
- **stojící souše.**

Každý z těchto stavů má jinou dynamiku rozkladu, a tedy i jinou rychlost uvolňování uhlíku.

Ležící mrtvé dřevo

Ležící kmeny a větve leží v přímém kontaktu se zemí. Dřevo zde bývá vlhčí, rychleji se rozpadá a kolonizují ho houby a dřevokazný hmyz. Proto se uhlík uvolňuje poměrně rychle – většinou v průběhu několika desetiletí. 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),
- **e (exp)** – Eulerovo číslo (2,718281828).

Tento vztah vyjadřuje postupný úbytek uhlíku v důsledku rozkladu biomasy v čase. Rozkladová konstanta *k* určuje, jak rychle dřevo ubývá. Například u lípy bývá kolem 0,07, zatímco u dubu jen kolem 0,03. To znamená, že měkké dřevo ztrácí polovinu své hmotnosti zhruba za 10–15 let, tvrdé dřevo až za 25 let. Kalkulačka tyto rozdíly automaticky zohledňuje – uživatel zvolí druh stromu a stav (ležící nebo stojící) a výpočet se provede s odpovídající konstantou.

Co nám to říká:

Ležící mrtvé dřevo sice postupně uvolňuje uhlík, ale zároveň ho po dlouhou dobu zadržuje v krajině. Čím větší kusy dřeva zůstanou v přírodě, tím déle trvá, než se téměř všechný uhlík uvolní. Proto je ponechávání padlých stromů ekologicky i klimaticky významné.

Stojící souše

Stojící mrtvé stromy – tzv. souše – se rozkládají pomaleji než ležící dřevo. Kmeny jsou zpravidla suché, častěji vystavené větru a slunečnímu záření. Uhlík se z nich uvolňuje pomaleji, protože rychlejší rozklad začíná hlavně po jejich pádu.

Obvykle trvá **10 až 20 let**, než souš celá spadne, a teprve poté začne rychlejší rozklad podobný ležícímu dřevu (Harmon et al. 1986). Zjednodušeně lze tedy říci, že:

- **ležící kmen** = rychlejší rozklad, kratší zadržení uhlíku,
- **stojící souš** = pomalejší rozklad, delší zadržení uhlíku.

Z hlediska biodiverzity i uhlíkové bilance má smysl, aby v lese i v krajině zůstávaly oba typy mrtvého dřeva. Zajišťují přirozené prostředí pro mnoho organismů a zároveň pomáhají stabilizovat koloběh uhlíku.

Co se z výpočtu dozvím

Pomocí metodiky nebo uhlíkové kalkulačky lze zjistit,

- **kolik uhlíku zůstává v mrtvém dřevě po určité době,**
- **jak rychle se uvolňuje zpět do atmosféry,**
- **a jak se liší chování různých druhů stromů.**

Tyto údaje pomáhají porovnávat, jaký význam má ponechání mrtvého dřeva v lese oproti jeho odstranění. Ukazují, že i po smrti stromu má dřevo ponechané v lese **dlouhodobý vliv na klima** – působí jako přechodné úložiště uhlíku.

4. Praktické informace

Kalkulačka pro odhad množství uhlíku ve stojících stromech je navržena tak, aby byla snadno použitelná, a přitom vědecky podložená. Uživatel do ní zadává druh stromu a tloušťku kmene měřenou ve výšce 1,3 metru.

Zkušenější uživatel může navíc zvolit i bonitu stanoviště (tedy úživnost a vhodnost místa pro růst stromů) a světelné postavení stromu – zda roste volně na světle, nebo ve stínu jiných. Tyto údaje ovlivňují odhadovaný roční přírůst, a tím i to, jak rychle strom ukládá uhlík. Pokud tyto parametry uživatel nezadá, kalkulačka automaticky použije výchozí kombinaci: střední bonita – průměrně rostoucí strom. Tyto hodnoty vycházejí z rozsáhlé databáze měření a byly ověřeny porovnáním tří nezávislých přístupů:

- a) přímým měřením stromů v terénu,
- b) analýzou letokruhů,
- c) a srovnáním s publikovanými daty z vědeckých studií.

Základem metodiky jsou obecné vztahy mezi velikostí stromu a jeho hmotností, publikované v rozsáhlé mezinárodní studii Forrester et al. (2017). Tyto vztahy vycházejí z tisíců měření napříč druhy, věkovými kategoriemi a klimatickými podmínkami v celé širší střední Evropě. Díky tomu kalkulačka poskytuje spolehlivé a reprezentativní odhady, které nejsou výrazně ovlivněny drobnými odchylkami místních podmínek. Lze je tedy chápat jako reálný průměr chování stromů daného druhu v našem klimatickém pásmu.

Je ale dobré mít na paměti, že aplikace není určena pro přesné měření na konkrétním stanovišti. Místní podmínky – například mimořádně suchá nebo naopak úživná půda, poškození stromů nebo jejich velmi hustý porost – mohou skutečný růst ovlivnit. Tyto rozdíly se však v rámci průměrů použitých v modelu do značné míry vyrovnávají. Výsledkem je proto spolehlivý orientační odhad, který vystihuje skutečné množství uhlíku i jeho vývoj v čase – bez nutnosti složitých měření či modelování.

Kalkulačka tak představuje nástroj, který je:

- jednoduchý pro použití,
- přehledný a transparentní ve výpočtech,
- a přitom vědecky ověřený, protože vychází z rozsáhlých dat a dlouhodobých výzkumů.

Současně kalkulačka umožňuje simulovat různé situace – například ponechání stromu, který dále roste, nebo jeho přeměnu v ležící dřevo či stojící souš po odumření. Každá z těchto variant využívá

jiné hodnoty rozkladu a umožňuje zjistit, jak se uhlík ve dřevě udržuje či uvolňuje v čase. Díky tomu lze porovnávat, jaký přístup (např. ponechání dřeva na místě) pomáhá lépe udržet uhlík v ekosystému a tím i přispívat ke stabilnějšímu klimatu.

5. Závěr

Tato metodika a na ní založená aplikace umožňují jednoduchý a přehledný výpočet množství uhlíku uloženého ve stromech i jeho změn v čase. Výsledky vycházejí z mezinárodně ověřených vztahů mezi velikostí stromu a jeho hmotností a z rozsáhlých dat evropských lesů.

Kalkulačka se uplatní při posuzování uhlíkové bilance stromů, tedy jejich přínosu pro omezování dopadů změny klimatu, a může být užitečná pro:

- vlastníky lesa, lesníky a správce zeleně,
- pracovníky v ochraně přírody,
- školy a vzdělávací projekty.

Díky své jednoduchosti, otevřenosti a spolehlivosti představuje praktický most mezi vědou a praxí. Pomáhá přiblížit složité ekologické procesy – ukládání a uvolňování uhlíku – do srozumitelné a měřitelné podoby, kterou může využít každý, kdo se zajímá o stromy, přírodu a klima.

6. Seznam literatury

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., et al. (1986). *Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. Advances in Ecological Research*, 15, 133–302.

PŘÍLOHA 1

Jak měřit DBH (průměr stromu ve výšce prsou)

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 j obsahuje 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
- mobil s aplikací pro záznam
- volitelně: speciální lesnické obvodové měřidlo, pokud měříte často

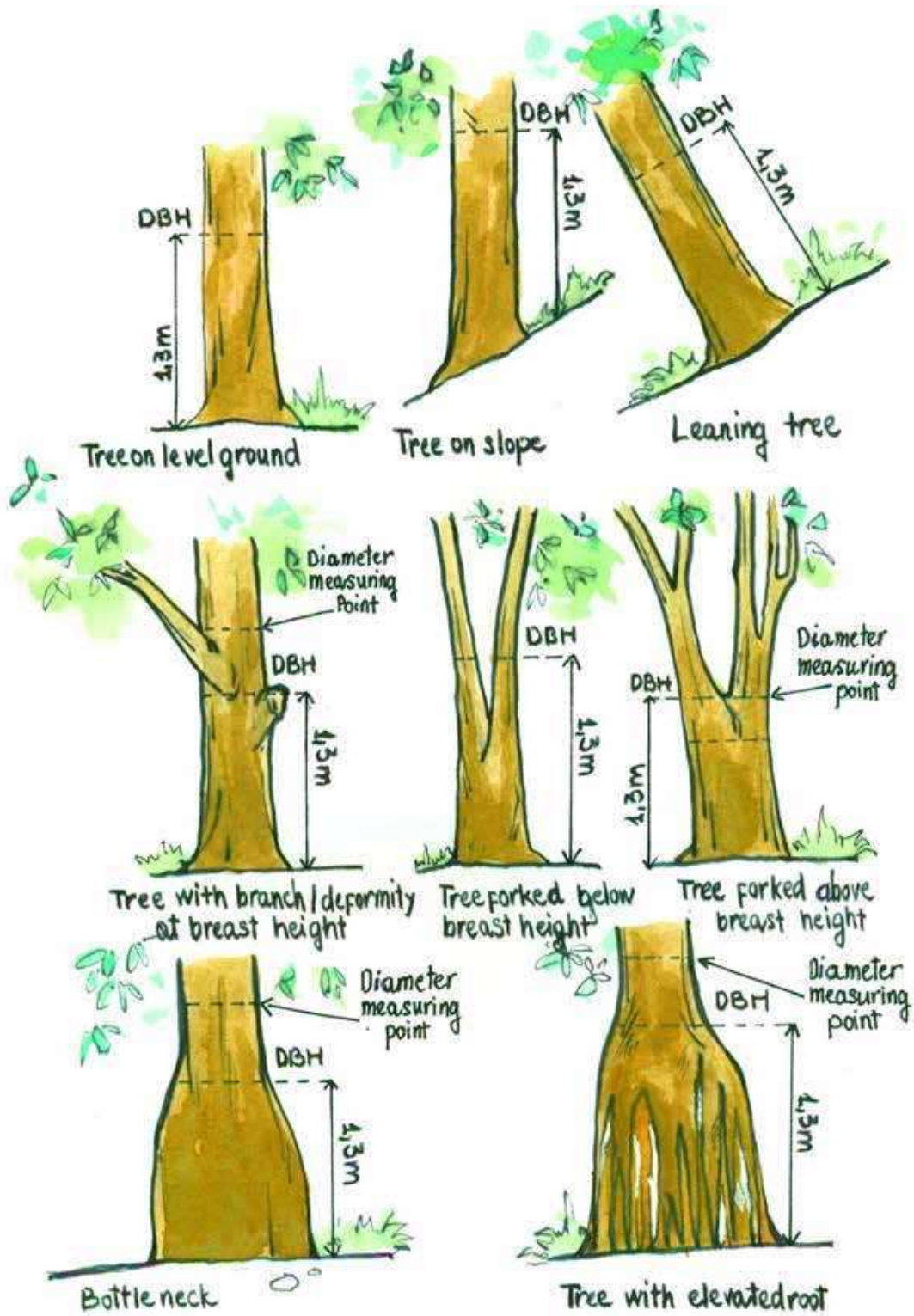
3. Postup měření

- Změřte 1,3 m od země (na svahu z vyšší strany).
- Označte místo barvou, sprejem, fixem nebo připínáčkem – to je měřiště.
- Obtočte strom metrem a utáhněte přiměřenou silou, páska metru musí být vodorovně.
- Zaznamenejte obvod v centimetrech na jedno desetinné místo.
- 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 ztluštění u paty, měří se výše nad výrůstky. U vícekmennů se měří každý kmen zvlášť.

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 měřišť 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)
- pořiďte 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 měřišť 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 silné stromy (DBH \geq 30 cm). Základní hodnoty pro jednotlivé dřeviny vycházejí z průměrů napříč několika vědeckými studii (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 odlehých 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
jehličnany	ostatní jehličnaté	vysoká	potlačený	0.28

jehličnany	ostatní jehličnaté	vysoká	standardní	0.47
jehličnany	ostatní jehličnaté	vysoká	uvolněný	0.66
jehličnany	smrk ztepilý	nízká	potlačený	0.20
jehličnany	smrk ztepilý	nízká	standardní	0.33
jehličnany	smrk ztepilý	nízká	uvolněný	0.46
jehličnany	smrk ztepilý	střední	potlačený	0.25
jehličnany	smrk ztepilý	střední	standardní	0.41
jehličnany	smrk ztepilý	střední	uvolněný	0.57
jehličnany	smrk ztepilý	vysoká	potlačený	0.30
jehličnany	smrk ztepilý	vysoká	standardní	0.49
jehličnany	smrk ztepilý	vysoká	uvolněný	0.69
listnáče	buk lesní	nízká	potlačený	0.19
listnáče	buk lesní	nízká	standardní	0.31
listnáče	buk lesní	nízká	uvolněný	0.44
listnáče	buk lesní	střední	potlačený	0.23
listnáče	buk lesní	střední	standardní	0.39
listnáče	buk lesní	střední	uvolněný	0.55
listnáče	buk lesní	vysoká	potlačený	0.28
listnáče	buk lesní	vysoká	standardní	0.47
listnáče	buk lesní	vysoká	uvolněný	0.66
listnáče	břízy	nízká	potlačený	0.20
listnáče	břízy	nízká	standardní	0.34
listnáče	břízy	nízká	uvolněný	0.47
listnáče	břízy	střední	potlačený	0.25
listnáče	břízy	střední	standardní	0.42
listnáče	břízy	střední	uvolněný	0.59
listnáče	břízy	vysoká	potlačený	0.30
listnáče	břízy	vysoká	standardní	0.50
listnáče	břízy	vysoká	uvolněný	0.71
listnáče	duby	nízká	potlačený	0.15
listnáče	duby	nízká	standardní	0.26
listnáče	duby	nízká	uvolněný	0.36
listnáče	duby	střední	potlačený	0.19
listnáče	duby	střední	standardní	0.32
listnáče	duby	střední	uvolněný	0.45
listnáče	duby	vysoká	potlačený	0.23
listnáče	duby	vysoká	standardní	0.38
listnáče	duby	vysoká	uvolněný	0.54
listnáče	habr obecný	nízká	potlačený	0.12
listnáče	habr obecný	nízká	standardní	0.19
listnáče	habr obecný	nízká	uvolněný	0.27
listnáče	habr obecný	střední	potlačený	0.14
listnáče	habr obecný	střední	standardní	0.24
listnáče	habr obecný	střední	uvolněný	0.34
listnáče	habr obecný	vysoká	potlačený	0.17
listnáče	habr obecný	vysoká	standardní	0.29
listnáče	habr obecný	vysoká	uvolněný	0.40
listnáče	jasany	nízká	potlačený	0.17
listnáče	jasany	nízká	standardní	0.28
listnáče	jasany	nízká	uvolněný	0.39
listnáče	jasany	střední	potlačený	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*.
- Izowska, 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

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
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

Příloha 4

Použité rozkladové konstanty (k)

Hodnoty k (v rok⁻¹) byly odvozeny z publikovaných studií, které se zaměřovaly na rozklad silnějšího dřeva (kmeny a větší 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
<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