

METODY STANOVENÍ NADZEMNÍ BIOMASY BUKU (*FAGUS SYLVATICA* L.)

LESNICKÝ PRŮVODCE



Ing. MONIKA VEJPUSTKOVÁ, Ph.D.

Ing. TOMÁŠ ČIHÁK

Ing. DANIEL ZAHRADNÍK, Ph.D.

doc. Ing. VÍT ŠRÁMEK, Ph.D.



Certifikovaná metodika

1/2013

Metody stanovení nadzemní biomasy buku (*Fagus sylvatica* L.)

Certifikovaná metodika

Ing. Monika Vejpustková, Ph.D.

Ing. Tomáš Čihák

Ing. Daniel Zahradník, Ph.D.

doc. Ing. Vít Šrámek, Ph.D.

Lesnický průvodce 1/2013

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.

Strnady 136, 252 02 Jíloviště

<http://www.vulhm.cz>

Vedoucí redaktorka: Šárka Holzbachová, DiS.; e-mail: holzbachova@vulhm.cz

Výkonná redaktorka: Miroslava Valentová; e-mail: valentova@vulhmop.cz

Grafická úprava a zlom: Klára Šimerová; e-mail: simerova@vulhm.cz

ISBN 978-80-7417-064-5

ISSN 0862-7657

METHODS OF ABOVEGROUND BIOMASS ASSESSMENT FOR EUROPEAN BEECH (*FAGUS SYLVATICA* L.)

Abstract

The need to quantify the amount of carbon sequestered in the biomass of forest trees, a focus on precise information concerning the availability of nutrients in the biomass of forests and, finally, pressure for the use of tree biomass as a renewable energy source, are all factors creating a higher demand for the accuracy of the quantification of the biomass of forest trees. The methodology presented is targeted to the quantification of the aboveground biomass of one of our major commercial tree species, European beech (*Fagus sylvatica* L.). The first part of this document provides detailed methodological guidance for the empirical determination of the aboveground biomass of beech, by utilising destructive analysis. In the second part the selected published allometric equations were tested on an independent set of empirical data from the Czech Republic (46 sample trees). The models with the lowest mean error of estimate are recommended as suitable for use in the conditions of the Czech Republic. The third part of the study is concerned with deriving an independent model for calculating the aboveground biomass of beech. This model is parameterised using data from studies available in the Czech Republic (a total of 81 sample trees).

Key words: aboveground biomass, *Fagus sylvatica*, biomass function, allometry

Oponenti: Ing. Václav Tomášek, MZe

prof. Ing. Jiří Kulhavý, CSc., Mendelova univerzita v Brně

Adresa autorů:

Ing. Monika Vejpustková, Ph.D., Ing. Tomáš Čihák, doc. Ing. Vít Šrámek, Ph.D.

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti v. v. i.

Strnady 136

252 02 Jíloviště

e-mail: vejpustkova@vulhm.cz, cihak@vulhm.cz, sramek@vulhm.cz

Ing. Daniel Zahradník, Ph.D.

Lesnická a dřevařská fakulta, Česká zemědělská univerzita v Praze

Kamýcká 129

165 21 Praha 6 – Suchdol

e-mail: zahradnik@fld.czu.cz

Obsah:

1. ÚVOD	7
2. CÍL METODIKY	9
3. VLASTNÍ POPIS METODIKY	9
3.1 Empirické stanovení nadzemní biomasy buku	9
3.2 Alometrické rovnice a obecné modely pro výpočet nadzemní biomasy buku.....	11
3.2.1 Přehled publikovaných modelů pro výpočet biomasy buku	11
3.2.2 Test publikovaných modelů na empirických datech z území ČR	15
3.3 Parametrizace vlastního modelu pro výpočet nadzemní biomasy buku.....	17
4. SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ	22
5. POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY.....	22
6. EKONOMICKÉ ASPEKTY	22
7. DEDIKACE.....	23
8. LITERATURA	24
8.1 Seznam použité související literatury.....	24
8.2 Seznam publikací, které předcházely metodice	27
SUMMARY	28
PŘÍLOHA	30

1. ÚVOD

Stromovou biomasou se rozumí celková biologická produkce stromu (ŠMELKO 2007). Udává se buď v objemových jednotkách nebo v jednotkách hmotnosti sušiny.

V současnosti stále více vystupuje do popředí potřeba přesné kvantifikace biomasy lesních dřevin. Důvodem je zejména potřeba stanovení množství uhlíku vázaného v biomase lesních porostů. Tato hodnota je vykazována v rámci tzv. emisních inventur (MINOVSKÝ, FOTT 2012), jejichž zpracování je součástí plnění mezinárodních závazků České republiky vyplývajících z Kjótského protokolu (Rámcová úmluva OSN o změně klimatu, 1997). Dalším důvodem je snaha o zpřesnění poznatků o zásobě živin v biomase lesních dřevin a jejich cyklech. V neposlední řadě je důvodem i zvýšená poptávka po využití nadzemní biomasy lesních dřevin jako obnovitelného zdroje energie.

Pro potřeby kvantifikace se stromová biomasa dělí na jednotlivé komponenty. Základní členění je na nadzemní a podzemní část. Nadzemní část se dále dělí na biomasu kmene a biomasu koruny. Definice kmene a koruny obvykle odpovídá definici hroubí a nehroubí. Biomasa kmene se dělí na dřevo a kůru. Biomasa koruny zahrnuje biomasu větví (dřevo a kůru) a asimilačních orgánů. Někteří autoři větve rozdělují do tloušťkových tříd. Ve většině studií se do nadzemní biomasy nezapočítává biomasa pařezu. Podzemní biomasa se rozděluje obvykle podle tloušťky kořenů.

Pro kvantifikaci biomasy lze použít některý z následujících postupů: (1) empirické stanovení biomasy na pokácených vzornících, (2) výpočet biomasy stojících stromů za použití vhodných alometrických rovnic či obecných modelů, (3) výpočet nadzemní biomasy stromů či celých porostů pomocí tzv. konverzních (převod objemu stromů na hmotnost) a expanzních faktorů (převod objemu či hmotnosti hroubí na objem či hmotnost celého stromu), respektive kombinovaných faktorů, které v sobě spojují obě operace (SOMOGYI et al. 2006).

Destruktivní analýza patří mezi historicky nejstarší metody stanovení biomasy. Tento způsob je nejpresnější, ovšem zároveň nejvíce pracný a finančně nákladný. Na našem území se kvantifikací biomasy lesních dřevin v minulosti zabývali VINŠ (1975, 1981), VYSKOT (1980, 1990, 1991), CHROUST, TESAŘOVÁ (1985), CHROUST (1985) a v posledních letech pak především CIENCIALA et al. (2005, 2006, 2008). Zatímco dva první jmenovaní autoři se omezili na empirické stanovení biomasy zkoumaných vzorníků, ve zbývajících studiích již autoři použili empiricky získaná data pro odvození vlastních alometrických rovnic.

Použití alometrických rovnic pro odhad biomasy lesních porostů předpokládá existenci vstupních dat na úrovni stromu (výčetní tloušťka a výška stromu). Pro kvan-

tifikaci biomasy na konkrétní lokalitě či menším území je nejpřesnější metodou použití lokálních alometrických rovnic (BOLLANDSÄS et al. 2009; ALBAUGH et al. 2009). Takové rovnice však často nejsou k dispozici a je nutné použít některý z publikovaných modelů. Seznam dostupných modelů pro výpočet stromové biomasy v Evropě vytvořili ZIANIS et al. (2005). Při výběru modelu je základním pravidlem použít model parametrizovaný na souboru vzorníků, které se svými charakteristikami (druh dřeviny, věk, dimenze vzorníků, bonita) maximálně blíží vzorníkům, pro které je potřeba biomasu kvantifikovat (SOMOGYI et al. 2006). Jiný přístup je nutné zvolit, pokud je cílem odhad biomasy na úrovni regionů či celých států. V tomto případě by použití lokálních rovnic mohlo vnést do odhadu závažnou chybu (JENKINS et al. 2003). Řešením je použití tzv. obecných modelů pro výpočet biomasy (WUTZLER et al. 2008; WIRTH et al. 2004; MUUKKONEN 2007). Modely jsou parametrizované na rozsáhlém souboru vzorníků pocházejících z mnoha lokálních studií. Na rozdíl od klasických alometrických rovnic, kde je biomasa odvozována pouze ze základních dendrometrických veličin (výčetní tloušťky, resp. výšky stromu, délky koruny), do obecných modelů může vstupovat široký soubor prediktorů – kromě dimenzí stromu též věk porostu, nadmořská výška, bonita, případně další stanovištní charakteristiky.

Třetí postup kvantifikace biomasy za použití konverzních a expanzních faktorů (biomass expansion factors – BEF) byl vyvinut primárně pro odhad biomasy lesních porostů v národním měřítku a kvantifikaci množství uhlíku vázaného v lesních ekosystémech pro účely národních zpráv o inventarizaci emisí skleníkových plynů, tzv. emisních inventur (IPCC 2003, 2006). Kvantifikace biomasy vychází z dat národní inventarizace lesů, v případě ČR jsou využívána data z lesních hospodářských plánů (LEHTONEN et al. 2007). Často kritizovaným nedostatkem je neznámá spolehlivost odhadu biomasy pomocí této metody (SOMOGYI et al. 2006). Některé studie prokázali vysokou míru nepřesnosti (JALKANEN et al. 2005; WIRTH et al. 2003).

Předkládaná metodika je zaměřena na kvantifikaci biomasy buku lesního (*Fagus sylvatica* L.), a to jednak metodou empirického stanovení množství biomasy na pokácených vzornících, a jednak výpočtovou metodou za použití vhodných alometrických rovnic. Metodika je výsledkem řešení výzkumného projektu NAZV QH81246/2008 „Dynamika obsahů hlavních živin ve smrkových a bukových porostech v ČR – možnosti zajištění výživy lesních dřevin jako předpoklad trvale udržitelného pěstování lesů“, v jehož rámci byla podrobně analyzována biomasa 46 vzorníků buku různého stáří z 5 oblastí České republiky. Tato data významně rozšiřují dosud publikovaný soubor dat k biomase buku lesního na území ČR, tvořený 35 vzorníky (VÝSKOT 1990; CIENCIALA et al. 2005).

2. CÍL METODIKY

Předkládaná metodika si klade tyto hlavní cíle:

1. poskytnout podrobný návod na empirické stanovení nadzemní biomasy buku v porostech různého věku,
2. podat přehled publikovaných evropských modelů pro výpočet nadzemní biomasy buku, na základě výsledku testu na nezávislém souboru empirických dat z území ČR doporučit vhodné modely pro použití v našich podmínkách,
3. publikovat model pro odvození nadzemní biomasy buku, parametrizovaný na datech z dostupných studií v rámci ČR.

3. VLASTNÍ POPIS METODIKY

3.1 Empirické stanovení nadzemní biomasy buku

Nadzemní biomasou buku se v rámci této metodiky rozumí celková nadzemní biomasa dřevitých částí (kmen a větve) s vyloučením pařezu.

Výběr lokality a vhodných vzorníků je zcela odvislý od cíle studie. Pro účely předkládané metodiky předpokládáme cíl tvorbu lokálního modelu. V tomto případě by odběrová místa měla dobře reprezentovat stanovištní podmínky dané oblasti a měly by být vybrány porosty reprezentující minimálně tři věkové skupiny: mladé porosty (do 60 let věku), středně staré porosty (60–100 let) a staré porosty (nad 100 let věku). Výchozím materiálem pro výběr lokality jsou oblastní plány rozvoje lesů (OPRL), kde lze pro danou oblast zjistit zastoupení dřevin a plošný podíl souborů lesních typů (SLT), pro upřesnění je možné využít informace z lesních hospodářských plánů (LHP). Pro vybrané porosty se stanoví základní taxační charakteristiky (střední kmen, výčetní základna a zásoba porostu). V úvahu přichází v souladu s běžnou hospodářsko úpravnickou praxí dvě základní metody: (1) změření výčetních tloušťek a výšek u všech stromů v porostu, (2) změření stromů na vytyčených

kruhových zkusných plochách (ŠMELKO 2007). Metoda zkusných ploch je využitelná v porostech stejnorodých a stejnověkých. U porostů s bohatší strukturou vnáší tato metoda do měření významné nepřesnosti; je proto nutné posoudit, jestli není vhodnější použít první metodu. Měření výčetních tlouštěk se provádí obvodovým metrem nebo milimetrovou průměrkou s přesností na jeden mm. Po změření výčetních tlouštěk se vypočítá střední kmen, např. metodou kvadratického průměru (vzorec 1).

$$\bar{d}_{1,3} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n D_i^2}{n}} \quad (1)$$

Vybrané vzorníky (zpravidla 3–5 stromů) reprezentují střední kmen, případně tloušťkové stupně zastoupené s nejvyšší četností. Vzorníky se vybírají s pokud možno průběžným kmenem bez mechanického poškození a deformací. Před pokácením se u vzorníků změří výška stromu a výška nasazení koruny s přesností na 1 dm. Vlastní odběr se provádí v době vegetačního klidu, a to nejdříve po opadu asimilačních orgánů. Ihned po skácení se vzorník odvětví.

Biomasa kmene je kvantifikována samostatně. Z kmene se odebírají kotouče o min. výšce 10 cm, oba řezy je třeba vést kolmo na osu kmene. Odběr kotoučů se provádí buď v relativní nebo absolutní výšce na kmeni. V mladých porostech (do 60 let věku) se kotouče odebírají v 30, 50 a 70 % výšky stromu. Pro starší porosty je vhodnější odběr kotoučů v sekcích buď po dvou, nebo po čtyřech metrech. Kotouče jsou ihned po odběru zváženy s přesností na 2 g a je u nich změřena tloušťka a výška s přesností na 1 mm. Kotouče se poté ihned odkorní a změří se jejich průměr bez kůry. Dále se zváží zvlášť čerstvé dřevo a kůra. Pro přesné stanovení hustoty se navíc odeberou ve třech výškách na kmeni kotouče, které se zváží a u nichž se následně zjišťuje objem xylometricky. Část kmene s tloušťkou menší než 7 cm (nehroubí) se započítává ke středním větvím (viz dále).

Větvě se v terénu rozdělí do tloušťkových tříd následujícím způsobem:

- Drobné větve do tloušťky 1,5 cm
- Tenké větve o tloušťce 1,5–3 cm
- Střední větve o tloušťce 3–7 cm
- Silné větve o tloušťce nad 7 cm (hroubí)

Větvě se váží všechny *in situ*. Vážení se provádí na závěsných vahách s přesností na 0,5 kg. Hmotnost větví se kvantifikuje zvlášť pro jednotlivé tloušťkové třídy. Z každé tloušťkové třídy se odebírají tři vzorky a ty se proměří stejným způsobem

jako kmenové kotouče, určuje se hmotnost čerstvá s kůrou a bez kůry, délka a průměr větve. Výjimku tvoří větve v tloušťkové třídě do 1,5 cm, ty jsou ponechány v kůře.

Odebrané vzorky dřeva a kůry z kmene i větví se poté odváží do laboratoře. Zde se vysuší standardní metodou, tj. postupným vysoušením vzorku do konstantní hmotnosti. Vzhledem k tomu, že vzorky jsou tvořeny organickou hmotou a nelze je z důvodu provedení následných chemických analýz přímo vysušit při standardní teplotě 105 °C, suší se pouze při 80 °C a poté se provede příslušná korekce.

Po vysušení xylometrických kotoučů se tyto zváží a vypočte se tzv. konvenční hustota dřeva (vzorec 2), která je definována jako poměr váhy kotouče s nulovou vlhkostí a odpovídajícího objemu měřeného v čerstvém stavu *in situ*. Průměrná hodnota konvenční hustoty dřeva kmene daného vzorníku se použije pro přepočítání vypočteného objemu kmene na jeho hmotnost v sušině, zvlášť se vypočte hmotnost dřeva kmene v sušině a hmotnost kůry kmene v sušině. Dále se u každého vzorníku určuje hmotnost kůry větví v sušině a hmotnost dřeva větví v sušině.

$$\rho_k = \frac{M_{sušina}}{V_{max}} \quad (2)$$

ρ_k – konvenční hustota dřeva, $M_{sušina}$ – hmotnost kotouče po vysušení na standardní hmotnost, V_{max} – objem kotouče v čerstvém stavu

3.2 Alometrické rovnice a obecné modely pro výpočet nadzemní biomasy buku

3.2.1 Přehled publikovaných modelů pro výpočet biomasy buku

V následujících tabulkách (tab. 1 až 3) je uveden přehled publikovaných alometrických rovnic a obecných modelů pro výpočet celkové nadzemní biomasy, biomasy kmene a biomasy větví pro buk (zahrnuté studie z 9 evropských států). V tabulce je uvedena citace studie (první autor a rok publikace), matematický tvar modelu,

Tab. 1: Modely pro výpočet celkové nadzemní biomasy (AGB)
Models for aboveground biomass calculation (AGB)

Studie	Tvar modelu	Země	n	D (cm)	H (m)
Bartelink (1997)	(1) $AGB=a \cdot D^b$ (2) $AGB=a \cdot D^b \cdot H^c$	Nizozemí	38	-	-
Cienciala (2005)	(1) $AGB=a \cdot D^b$ (2) $AGB=a \cdot (D^2 \cdot H)^b$ (3) $AGB=a \cdot D^b \cdot H^c$	Česko	20	5.7–62.1	9.2–33.9
Duvigneaud (1977)	$\log(AGB)=a+b \cdot \log(D)$	Belgie	6	35–78.8	
Gasparini	$AGB=a+b \cdot D^2 \cdot H+c \cdot D^2$	Itálie	30	9.5–56.5	9.3–22.3
Hochbichler (2002)	$\ln(AGB)=a+b \cdot \ln(D)+c \cdot \ln(H)$	Rakousko	42	-	-
Joosten* (2004)	(1) $\ln(CAGB)=a+b \cdot \ln(D)$ (2) $\ln(CAGB)=a+b \cdot \ln(D)+c \cdot \ln(H)$ (3) $\ln(CAGB)=a+b \cdot \ln(D)+c \cdot \ln(H)+d \cdot \ln(T)$ (4) $\ln(CAGB)=a+b \cdot \ln(D)+c \cdot \ln(H)+d \cdot \ln(N)$ (5) $\ln(CAGB)=a+b \cdot \ln(D)+c \cdot \ln(H)+d \cdot \ln(N)+e \cdot \ln(T)$	Německo	116	1-70	2-32.5
Muukkonen (2007)	(1) $AGB=a \cdot D^b$ (2) $AGB=\exp(a+b \cdot (D/(D+c)))$	Evropa mírné pásmo			
Nihlgård (1972)	$\log(AGB)=a+\log[H \cdot (D^2)] \cdot b$	Švédsko	-	12-64	11-29
Pretzsch (2000)	$AGB=a \cdot D^b$	Německo	-	-	-
Santa Regina (2001)	$AGB=a \cdot D^b$	Španělsko	7	4–34.5	6.1–18.4
Skovsgaard (2012)	$\ln(AGB)=a+b \cdot \ln(D)+c \cdot \ln(H)+d \cdot \ln(D) \cdot \ln(H)$	Dánsko	66	0.2-71	-
Wutzler (2008)	(1) $AGB=a \cdot D^b \cdot H^c$ (2) $AGB=a(B,N) \cdot D^b \cdot H^c(T)$	střední Evropa	350	1 - 79	2-37

a,b,c,d,e: parametry funkce, D: výčetní tloušťka, H: výška stromu, N: nadmořská výška, T: věk stromu, B: bonita

**modely dle Joostena (2004) byly odvozeny pro výpočet množství uhlíku v nadzemní biomase (CAGB), pro převod na hodnotu biomasy je proto nutné výsledek vydělit hodnotou 0,5 (průměrný podíl uhlíku v biomase dřevin)*

země původu a charakteristiky souboru vzorníků (pokud jsou k dispozici), na kterém byl model parametrizován (počet vzorníků n , rozsah výčetních tloušťek D , rozsah výšek H).

Mezi modely převládají klasické alometrické rovnice s jednou či dvěmi nezávislými proměnnými (výčetní tloušťka, resp. výčetní tloušťka a výška stromu). Základní tvar modelů je nelineární s multiplikativním přiřazováním jednotlivých faktorů. Někteří autoři volí logaritmickou linearizaci modelů, odhad parametrů je poté možno řešit postupy lineární regrese. Nevýhodou tohoto přístupu je nutnost zpětné transformace parametrů, resp. aplikace korekčního faktoru.

WUTZLER et al. (2008) odvodil obecný model pro výpočet biomasy buku zahrnující mimo jiné efekt věku, nadmořské výšky a bonity stanoviště. Zpracoval rozsáhlý empirický materiál pocházející ze 13 studií z oblasti střední Evropy. V práci jsou zahrnuta též data z obou dosud publikovaných studií z území ČR (VYSKOT 1990; CIENCIALA et al. 2005).

MUUKKONEN (2007) provedl meta analýzu publikovaných alometrických rovnic z oblasti severní a střední Evropy a odvodil generalizované rovnice pro výpočet biomasy buku v Evropě v podmínkách mírného a boreálního pásma.

Tab. 2: Modely pro výpočet biomasy kmene (STB)
Models for stem biomass calculation (STB)

Studie	Tvar modelu	Země	n	D (cm)	H(m)
Bartelink (1997)	(1) $STB=a \cdot D^b$ (2) $STB=a \cdot D^b \cdot H^c$	Nizozemí	38	-	-
Cienciala (2005)	(1) $STB=a \cdot D^b$ (2) $STB=a \cdot (D^2 \cdot H)^b$ (3) $STB=a \cdot D^b \cdot H^c$	Česko	20	5.7–62.1	9.2–33.9
Muukkonen (2007)	(1) $STB=a \cdot D^b$ (2) $STB=\exp(a+b \cdot (D/(D+c)))$	Evropa mírný pás			
Santa Regina (2001)	$STB=a \cdot D^b$	Španělsko	7	4 –34.5	6.1 –18.4
Skovsgaard (2012)	$\ln(STB)=a+b \cdot \ln(D)+c \cdot \ln(H)+$ $+d \cdot \ln(D) \cdot \ln(H)$	Dánsko		0.2-71	-
Wutzler (2008)	(1) $STB=a \cdot (D^2 \cdot H)^b$ (2) $STB=a(T,B,N) \cdot D^b \cdot H^c$	střední Evropa	187	2-79	3-37

a,b,c,d,e: parametry funkce, D: výčetní tloušťka, H: výška stromu, N: nadmořská výška, T: věk stromu, B: bonita

Tab. 3: Modely pro výpočet biomasy větví (BRB)
Models for branch biomass calculation (BRB)

Studie	Tvar modelu	Země	n	D (cm)	H (m)
Bartelink (1997)	(1) $BRB=a \cdot D^b$ (2) $BRB=a \cdot D^b \cdot H^c$	Nizozemí	38	-	-
Cienciala (2005)	(1) $BRB=a \cdot D^b$ (2) $BRB=a \cdot (D^2 \cdot H)^b$ (3) $BRB=a \cdot D^b \cdot H^c$	Česko	20	5.7–62.1	9.2–33.9
Duvigneaud (1977)	$\log(BRB)=a+b \cdot \log(D)$	Belgie	6	35–78.8	-
Gschwantner (2006)	$\ln(BRB)=a+b \cdot \ln(D)$	Rakousko	606	12.8–68.7	11.9–38.6
Hochbichler (2006)	(1) $\ln(BRB)=a+b \cdot \ln(D)$ (2) $\ln(BRB)=a+b \cdot \ln(D)+c \cdot \ln(H)$	Rakousko	36	6.6–52	9–40.1
Ledermann (2006)	$BRB=\exp(a+b \cdot \ln(D)+\ln(c))$	Rakousko	3753	2–67.1	3.6–39
Le Goff (2000)	$\ln(BRB)=a+b \cdot \ln(D)$	Francie	23	-	-
Nihlgård (1972)	$\log(BRB)=a+\log[H \cdot (D^2)] \cdot b$	Švédsko	-	12-64	11-29
Muukkonen (2007)	(1) $BRB=a \cdot D^b$ (2) $BRB=\exp(a+b \cdot (D/(D+c)))$	Evropa mírný pás			
Santa Regina (2001)	$BRB=a \cdot D^b$	Španělsko	7	4–34.5	6.1–18.4
Skovsgaard (2012)	$\ln(BRB)=a+b \cdot \ln(D)+c \cdot \ln(H)$	Dánsko	66	0.2-71	-
Wutzler (2008)	(1) $BRB=a \cdot D^b \cdot H^c$ (2) $BRB=a \cdot D^b \cdot H^c (B, N)$	střední Evropa	175	2-64	3-37

a,b,c,d,e: parametry funkce, D: výčetní tloušťka, H: výška stromu, N: nadmořská výška, T: věk stromu, B: bonita

3.2.2 Test publikovaných modelů na empirických datech z území ČR

Vhodnost publikovaných modelů pro použití v podmínkách ČR byla testována na nezávislém souboru empirických dat ze 46 vzorníků buku pocházejících z 5 oblastí České republiky (tab. 4). Tyto vzorníky byly analyzovány ve VÚLHM v letech 2008–2012 a data nebyla použita při odvození žádného z testovaných modelů.

Tab. 4: Sumární charakteristika lokalit a odebíraných souborů vzorníků (VÚLHM, ŠRÁMEK 2012)
Overview of study sites and sample tree characteristics (VÚLHM, ŠRÁMEK 2012)

Studie	ID	Lokalita	Počet vzorníků	Věk	D (cm)	H (m)	Nadm. výška	Bonita	SLT
Šrámek 2012	ŠRA1	Deštné v Orl. h.	9	30-140	7,4-34,0	7,5-26,4	770-880	20-28	6K7, 7K1
	ŠRA2	Melechov	9	25-115	12,1-56,5	13,2-32,2	615-710	18-24	5K6
	ŠRA3	Jablůnkov	9	28-83	11,2-31,8	14,4-32,5	550-590	30-32	4B1
	ŠRA4	Bělá pod Prad.	11	17-150	8,1-41,2	10-29,9	770-890	24-30	6S5, 6S1
	ŠRA5	Kladská	8	32-56	11,4-18,5	12,3-21,9	768-788	24-26	6K1, 6S1

Modelem predikované hodnoty biomasy byly porovnávány s empirickými hodnotami za použití Wilcoxonova párového testu. Výpočet byl proveden v programu Statistica (STATSOFT, INC. 2011). Modely, jejichž výsledky se významně lišily ($\alpha = 0,05$) od empirických hodnot, byly vyloučeny z dalšího posuzování. Pro zbývající modely byla vyčíslena relativní střední chyba odhadu RME – relative mean error (vzorec 3). Modely s nejnižší hodnotou RME lze doporučit pro použití v podmínkách ČR. V tabulce 5 je uveden přehled nejlepších modelů pro výpočet celkové nadzemní biomasy, biomasy kmene a biomasy větví.

$$RME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i} \quad (3)$$

n -počet vzorníků, y_i - empirická hodnota biomasy i -tého vzorníku, $\hat{y}_i$ - modelová hodnota biomasy i -tého vzorníku

Tab. 5: Doporučené modely pro výpočet celkové nadzemní biomasy a jejích komponent
Recommended biomass functions for the calculation of aboveground biomass and its components

Komponenta biomasy	Studie	Výpočtový tvar modelu	RME (%)
Celková nadzemní biomasa	Joosten 2004 (2)	$AGB=2,0252 \cdot e^{(-3,7378+2,1596 \cdot \ln(D)+0,6338 \cdot \ln(H))}$	12,4
	Wutzler 2008 (1)	$AGB=0,0523 \cdot D^{2,12} \cdot H^{0,655}$	12,4
	Cienciala 2005 (3)	$AGB=0,047 \cdot D^{2,121} \cdot H^{0,697}$	12,5
Biomasa kmene	Wutzler 2008 (2)	$STB=(0,00351+0,0000347 \cdot T+0,000672 \cdot B+0,00000811 \cdot N) \cdot D^{1,84} \cdot H^{1,04}$	13,0
	Mukkonen 2007 (2)	$STB=e^{(-0,657+10,73 \cdot (D/(D+17,394)))}$	18,3
	Mukkonen 2007 (1)	$STB=0,148 \cdot D^{2,36}$	22,7
Biomasa větví	Wutzler 2008 (2)	$BRB=0,122 \cdot D^{3,09} \cdot H^{(-0,151-0,0309 \cdot B-0,000987 \cdot N+0,0000306 \cdot B \cdot N)}$	35,1
	Mukkonen 2007 (1)	$BRB=0,00498 \cdot D^{3,045}$	37,9
	Cienciala 2005 (2)	$BRB=0,001 \cdot (D^2 \cdot H)^{1,192}$	39,2

D: výčetní tloušťka (cm), H: výška stromu (m), N: nadmořská výška, T: věk stromu, B: bonita abs.

Pozn.: pro kontrolu výpočtu je v Příloze 1 této metodiky uvedena tabulka s kontrolními hodnotami biomasy pro modelový vzorník (stáří 100 let, $D_{1,3}$ 30 cm, H 28 m, abs. bonita 28, nadmoř. výška 600 m)

Z celkem 21 testovaných modelů na výpočet celkové nadzemní biomasy vychází pro 6 modelů střední chyba odhadu do 15 %. V tabulce 5 jsou uvedeny 3 modely s nejnižší hodnotu RME. Pro použití v podmínkách ČR lze doporučit především model Wutzler 2008 (1), který byl parametrizován na rozsáhlém souboru vzorníků ($n = 350$) z oblasti střední Evropy (včetně ČR) reprezentující široké spektrum stanovištních podmínek a pokrývající tloušťkové rozpětí od 1 do 79 cm. Model Joosten 2004 (2) byl též parametrizován na reprezentativním souboru vzorníků (116) z oblasti Severního Porýní-Vestfálska a v testu vykázal srovnatelnou přesnost predikce s modelem Wutzler; jeho nevýhodou však je, že studie byla zaměřena pouze na celkovou nadzemní biomasu a nejsou tedy k dispozici modely pro další komponenty. Model Cienciala 2005 (3) byl parametrizován na vzornících z území ČR, ovšem pouze na souboru o nižším počtu vzorníků (20).

Pro kvantifikaci biomasy kmene vychází z testu nejlépe obecný model Wutzler 2008 (2), který zahrnuje i efekt věku, bonity a nadmořské výšky stanoviště. Z dalších modelů lze doporučit generalizované rovnice Mukkonena 2007 pro evropské mírné pásmo.

Relativní střední chyba odhadu modelů pro výpočet biomasy větví byla výrazně vyšší než u modelů pro celkovou nadzemní biomasu či kmen a pohybovala se od 35 do 47 %. Jako nejlepší vychází obecný model Wutzler 2008 (2) zahrnující faktory stanoviště (bonitu a nadmořskou výšku). Z dalších lze doporučit také generalizovaný model Mukkonen 2007 (1) a lokální model Cienciala 2005 (2).

3.3 Parametrizace vlastního modelu pro výpočet nadzemní biomasy buku

Vlastní model pro výpočet celkové nadzemní biomasy buku a biomasy dvou základních komponent (kmene a větví) byl parametrizován na souboru 81 vzorníků, tedy v tuto chvíli na všech dostupných datech k biomase buku z území ČR. Charakteristiku lokalit a odebraných souborů vzorníků uvádí tabulka 6.

Tab. 6: Sumární charakteristika všech lokalit a souborů odebíraných vzorníků (ČR – všechny studie)
Overview of study sites and sample tree characteristics (Czech Republic – all available studies)

Studie	ID	Lokalita	n	Věk	d _{1,3} (cm)	h (m)	Nadm. výška	Bonita	SLT
Vyskot 1990	VYS	Babice	15	33-48	7,3-22	11,7-21,2	510	32	3S7
Cienciala 2005	CIE1	Jílové u Prahy	6	40-112	5,7-40,3	9,2-24,1	350	24-26	3J1 2K5
	CIE2	Trhanov	7	106	26,2-39,4	29,6-33,9	700	28	6S5
	CIE3	Horšovský Týn	7	114	30,9-62,1	25,2-29,1	750	28	6N1
Šrámek 2012	ŠRA1	Deštné v Orl. h.	9	30-140	7,4-34,0	7,5-26,4	770-880	20-28	6K7 7K1
	ŠRA2	Melechov	9	25-115	12,1-56,5	13,2-32,2	615-710	18-24	5K6
	ŠRA3	Jablůnkov	9	28-83	11,2-31,8	14,4-32,5	550-590	30-32	4B1
	ŠRA4	Bělá pod Prad.	11	17-150	8,1-41,2	10-29,9	770-890	24-30	6S5 6S1
	ŠRA5	Kladská	8	32-56	11,4-18,5	12,3-21,9	768-788	24-26	6K1 6S1

Vztah mezi biomasou stromů a jejich taxačními charakteristikami byl modelován pomocí rovnic:

$$y(D) = p_1 D^{p_2} \quad (4)$$

$$y(D, H) = p_1 (D^2 H)^{p_2} \quad (5)$$

$$y(D, H) = p_1 D^{p_2} H^{p_3} \quad (6)$$

kde y je biomasa dané části stromu (kmene, větví, celková biomasa), D je výčetní tloušťka stromu, H výška a p_1, p_2, p_3 parametry.

Následně byl prověřen vliv dalších faktorů charakterizujících jednotlivé stromové vzorníky – jejich stáří (t) i vlastnosti příslušného stanoviště – bonitu (b) a nadmořskou výšku (n). Dodatečné faktory (dále souhrnně označované f) byly k modelu základnímu přidávány formou aditivní

$$y(D, H, f) = y(D, H) + pf \quad (7)$$

nebo multiplikativní

$$y(D, H, f) = y(D, H) f^p \quad (8)$$

a to po jednom, po možných kombinacích faktorů dvou i všech tří faktorů.

Pro každou z částí stromů tak bylo vyzkoušeno celkem 45 různých modelů. Jejich parametry byly odhadnuty metodou nejmenších čtverců, jmenovitě pomocí funkce `nls` statistického programového balíku R (R Core Team 2012).

Schopnost modelů vystihnout vztahy mezi zkoumanými veličinami byla posuzována podle hodnoty celkové střední chyby odhadu modelu

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - k}} \quad (9)$$

Akaikeho informačního kritéria (AIC)

$$AIC = n(1 + \ln(2\pi MSE)) + 2(k + 1) \quad (10)$$

a koeficientu determinace

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (11)$$

kde n je počet stromových vzorníků, k je počet odhadovaných parametrů modelu, $\hat{y}$ je modelová hodnota biomasy i -tého vzorníku a MSE je střední kvadratická chyba

$$MSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 / (n - k).$$

Jak v případě *RMSE*, tak i v případě Akaikeho kritéria, nižší hodnota indikuje větší soulad daného modelu s naměřenými daty, v případě koeficientu determinace je tomu naopak.

Výsledky parametrizace modelu uvádí tabulka 7. Ke každé komponentě biomasy je uvedeno 5 modelů. První tři modely jsou základní alometrické rovnice v nelineárním tvaru, kde jako prediktory vystupují dimenze vzorníku (výčetní tloušťka, výška). Následující dva modely jsou vybrané nejlepší modely zahrnující efekt i dalších faktorů; tyto jsou k základnímu tvaru modelu přidány multiplikativní formou.

Modely pro celkovou nadzemní biomasu

Základní modely typu DH2 a DH3 (dva prediktory D,H a dva, resp. tři parametry) vystihují shodně 97,8 % variability empirických dat. U modelu D2 je soulad s naměřenými daty slabší ($R^2 = 96,1\%$). Přiřazení nadmořské výšky jako další vysvětlující proměnné k modelu typu DH2 významně snížilo hodnotu Akaikeho informačního kritéria (AIC) a celkové střední chyby odhadu (RMSE) (model DH2N). Přidáním věku se vypovídací schopnost modelu zvýšila již jen málo (model DH2NT). Zařazení bonity jako pátého prediktora nemělo na parametry kvality modelu vliv (model DH2NTB). Pro kalkulaci celkové nadzemní biomasy lze tedy ze základních alometrických rovnic doporučit především model DH2, z modelů rozšířených o další faktory vychází nejlépe DH2N, respektive DH2NT.

Modely pro biomasu kmene

Regresní modely pro biomasu kmene mají obecně vysokou vypovídací schopnost srovnatelnou s modely pro celkovou nadzemní biomasu. Ze základních alometrických

Tab. 7: Výsledky parametrizace nelineárních modelů pro celkovou nadzemní biomasu, biomasu kmene a biomasu větvi
Results of models parameterization for the total aboveground, stem and branch biomass

Kombinovaná biomasa	Typ modelu	Tvar modelu	AIC	RMSE	R ²	Parametry (standardní chyba)						
						P ₁	P _{2 (D,BH)}	P _{3 (H)}	P _{4 (N)}	P _{5 (T)}	P _{6 (B)}	
Celková nadzemní biomasa	DH2	AGB=p ₁ ·(D ² ·H) ^{p2}	920,8	100,8	0,978	0,01118 (0,00294)	1,08250 (0,02378)	-	-	-	-	-
	DH3	AGB=p ₁ ·D ^{p2} ·H ^{p3}	922,6	101,4	0,978	0,00962 (0,00454)	2,15540 (0,05466)	1,13788 (0,14728)	-	-	-	-
	D2	AGB=p ₁ ·D ^{p2}	966,5	136,1	0,961	0,22062 (0,05732)	2,33865 (0,06776)	-	-	-	-	-
	DH2N	AGB=p ₁ ·(D ² ·H) ^{p2} ·N ^{p4}	905,4	90,5	0,983	0,06340 (0,02876)	1,08859 (0,02133)	-	-0,27628 (0,06340)	-	-	-
Biomasa kmene	DH2NT	AGB=p ₁ ·(D ² ·H) ^{p2} ·N ^{p4} ·T ^{p5}	904,0	89,1	0,984	0,08275 (0,03885)	1,10816 (0,02393)	-	-0,25465 (0,06468)	-0,13227 (0,07296)	-	-
	DH3	STB=p ₁ ·D ^{p2} ·H ^{p3}	865,5	87,8	0,976	0,00560 (0,00286)	2,10425 (0,05825)	1,29184 (0,15830)	-	-	-	-
	DH2	STB=p ₁ ·(D ² ·H) ^{p2}	865,5	88,4	0,975	0,01009 (0,00287)	1,07222 (0,02578)	-	-	-	-	-
	D2	STB=p ₁ ·D ^{p2}	913,2	122,6	0,952	0,18819 (0,05455)	2,32336 (0,07564)	-	-	-	-	-
Biomasa větvi	DH3NB	STB=p ₁ ·D ^{p2} ·H ^{p3} ·N ^{p4} ·B ^{p6}	859,7	83,3	0,979	0,00727 (0,00532)	2,14156 (0,05661)	1,29066 (0,14753)	-0,19377 (0,07973)	-	0,26754 (0,11158)	-
	DH2NB	STB=p ₁ ·(D ² ·H) ^{p2} ·N ^{p4} ·B ^{p6}	859,8	83,9	0,978	0,01203 (0,00738)	1,08814 (0,02542)	-	-0,18891 (0,07882)	-	0,27264 (0,11201)	-
	D2	BRB=p ₁ ·D ^{p2}	806,5	59,0	0,836	0,03089 (0,01826)	2,42536 (0,15374)	-	-	-	-	-
	DH2	BRB=p ₁ ·(D ² ·H) ^{p2}	806,6	59,0	0,836	0,00116 (0,00095)	1,13944 (0,07381)	-	-	-	-	-
Biomasa větvi	DH3	BRB=p ₁ ·D ^{p2} ·H ^{p3}	806,9	58,8	0,840	0,00611 (0,00843)	2,35509 (0,16939)	0,56104 (0,44366)	-	-	-	-
	DH2NB	BRB=p ₁ ·(D ² ·H) ^{p2} ·N ^{p4} ·B ^{p6}	778,1	48,0	0,895	1,99771 (2,60454)	1,13113 (0,06093)	-	-0,86132 (0,15889)	-	-0,94862 (0,25881)	-
	DH3NB	BRB=p ₁ ·D ^{p2} ·H ^{p3} ·N ^{p4} ·B ^{p6}	778,8	47,9	0,897	3,84929 (5,41275)	2,36756 (0,15529)	0,72637 (0,36152)	-0,60928 (0,15906)	-	-0,95752 (0,25659)	-

p1,p2,p3,p4,p5,p6: parametry funkce, D: výčetní tloušťka (cm), H: výška stromu (m), N: nadmořská výška, T: věk stromu, B: abs. bonita
tučné: statisticky významné hodnoty parametrů ($\alpha = 0,05$)

kých rovnic nejlépe vystihují naměřená data modely typu DH3 a DH2. Zařazení dodatečných faktorů nadmořské výšky a bonity snížilo hodnoty AIC a RMSE, celkově však mělo na vypovídací schopnost modelu jen malý vliv. Pro výpočet biomasy kmene je proto možné doporučit základní alometrickou rovnici typu DH3.

Modely pro biomasu větví

Vypovídací schopnost modelů pro biomasu větví je nižší v porovnání s celkovou biomasou a biomasou kmene. Ze základních modelů velmi dobře vychází jednoduchý model typu D2 s vypovídací schopností srovnatelnou s modely DH2 a DH3 ($R^2 = 89,5 \%$). Modely rozšířené o další faktory (nadmořskou výšku a bonitu) vystihují empirická data výrazně lépe než jednoduché alometrické rovnice. Jako model s nejvyšší vypovídací schopností lze tudíž doporučit model typu DH2NB, ze základních modelů se jako vhodný jeví jednoduchý model D2.

4. SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ

V rámci projektu NAZV QH81246/2008 „Dynamika obsahů hlavních živin ve smrkových a bukových porostech v ČR – možnosti zajištění výživy lesních dřevin jako předpoklad trvale udržitelného pěstování lesů“ byla podrobně analyzována biomasa 46 vzorníků buku lesního různého stáří z 5 oblastí České republiky. Vznikl tak dostatečně velký nezávislý soubor empirických dat z území ČR, na kterém bylo možno otestovat existující modely pro výpočet nadzemní biomasy buku a jejích komponent. Celkem bylo otestováno 50 modelů z 16 studií pocházejících z 9 evropských států. Výsledkem testování je seznam doporučených modelů pro podmínky ČR. Údaje o biomase 46 vzorníků zároveň významně rozšířily dosud publikovaná data VYSKOTA (1990) a CIENCIALY et al. (2005) k biomase buku pro ČR (35 vzorníků). Vzniklý soubor 81 vzorníků reprezentuje široké rozpětí stanovištních podmínek (19 porostů z 9 lokalit, bonita 18 - 32), věku porostů (17–150 let) a dimenzí vzorníků (výčetní tloušťka 7,3–62,1 cm, výška 7,5–33,9 m). Takto rozsáhlý soubor umožnil parametrizaci vlastního modelu pro výpočet nadzemní biomasy buku v podmínkách ČR, který v porovnání s dosud publikovanými alometrickými rovnicemi CIENCIALY et al. (2005) zahrnuje navíc i efekt věku, nadmořské výšky a bonity stanoviště.

5. POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY

Metodika bude přímo využita v rámci NIL pro kalkulaci množství biomasy na úrovni jednotlivých stromů pro jednu z hlavních hospodářských dřevin – buk, respektive pro stanovenou širší skupinu listnatých dřevin a pro odvození zásob uhlíku v lesních porostech. V návaznosti na tento výpočet je možné s použitím dat NIL odvodit spolehlivé konverzní a expanzní faktory pro tuto dřevinu.

6. EKONOMICKÉ ASPEKTY

Ekonomické aspekty využití této metodiky jsou nepřímé a nevyplývají přímo pro její uživatele (subjekty hodnotící biomasu lesních porostů), ale pro vlastníky a správce lesů a pro lesní hospodářství obecně. Přesnější znalost zásob bukových

porostů a jejího přírůstu umožní lepší ekonomické plánování těžeb a výchovných zásahů. Významná je také pro znalost odnosu živin z lesních ekosystémů pro plánování revitalizačních opatření půd, jako jsou biologické či chemické meliorace. Při plošném zastoupení buku v České republice 172.924 ha (7,2 %) a odhadovaném podílu na zásobě dřevní hmoty buku 25 % lze očekávat celkové ekonomické přínosy pro LH v řádu 2–5 milionů korun ročně.

7. DEDIKACE

Metodika je výsledkem řešení výzkumného projektu NAZV QH81246/2008 „Dynamika obsahů hlavních živin ve smrkových a bukových porostech v ČR – možnosti zajištění výživy lesních dřevin jako předpoklad trvale udržitelného pěstování lesů“. Část podkladů byla poskytnuta z řešení výzkumného záměru MZE0002070203 „Stabilizace funkcí lesa v antropogenně narušených a měnících se podmínkách prostředí“.

8. LITERATURA

8.1 Seznam použité související literatury

- ALBAUGH T.J., BERGH J., LUNDMARK T., NILSSON U., STAPE J., ALLEN H.L., LINDER S. 2009. Do biological expansion factors adequately estimate stand-scale above-ground component biomass for Norway spruce? *Forest Ecology and Management*, 258: 2628–2637.
- BARTELINK H. H. 1997. Allometric relationships for biomass and leaf area of beech (*Fagus sylvatica* L.). *Ann. For. Sci.*, 54 : 39–50.
- BOLLANDSÅS O. M., REKSTAD I., NÆSSET E., RØSBERG I. 2009. Models for predicting above-ground biomass of *Betula pubescens* spp. czerepanóvii in mountain areas of southern Norway. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 24: 318–332.
- CIENCIALA E., ČERNÝ M., APLTAUER J., EXNEROVÁ Z. 2005. Biomass functions applicable to European beech. *Journal of Forest Science*, 4: 147–154.
- CIENCIALA E., ČERNÝ M., TATARNOV, F.A., APLTAUER J., EXNEROVÁ Z. 2006. Biomass functions applicable to Scots pine. *Trees – Structure and Function*, 20: 483–495.
- CIENCIALA E., APLTAUER J., EXNEROVÁ Z., TATARNOV, F.A. 2008. Biomass functions applicable to oak trees grown in Central-European forestry. *Journal of Forest Science*, 54: 109–120
- DUVIGNEAUD P., KESTEMONT P., TIMPERMAN J., MONIQUET, J.-C. 1977. La hêtre ardennaise a *Festuca Altissima* a mirwart biomasse et productivité primaire. Productivité biologique en Belgique. Editions Duculot, Paris-Gembloux: 107–154.
- GASPARINI P., NOCETTI M., TABACCHI G., TOSI V. 2005. Biomass Equations and data for Forest Stands and Shrublands of the Eastern Alps. In: REYNOLDS K.M. (ed.): IUFRO Conference “Sustainable Forestry in Theory and Practice”, 5-8 April 2005 Edinburgh, Scotland UK. USDA General Technical Report PNW-GTR 688.
- GSCHWANTNER T., SCHADAUER K. 2006. Branch biomass functions for broadleaved tree species in Austria. *Austrian Journal of Forest Science*, 123: 17–34.
- HOCHBICHLER E. 2002. Vorläufige Ergebnisse von Biomasseninventuren in Buchen- und Mittelwaldbeständen. *Forstliche Forschungsberichte, München*, 186: 37–46.

- HOCHBICHLER E., BELLOS P., LICK E. 2006. Biomass functions for estimating needle and branch biomass of spruce (*Picea abies*) and Scots pine (*Pinus sylvestris*) and branch biomass of beech (*Fagus sylvatica*) and oak (*Quercus robur* and *petraea*). Austrian Journal of Forest Science, 123: 35–46.
- CHROUST L., TESAŘOVÁ J. 1985. Quantification of above-ground components of 20 years old Norway spruce (*Picea abies* /L./ KARSTEN). Communicationes Instituti Forestalis Čechosloveniae, 14: 111–126.
- CHROUST L. 1985. Above-ground biomass of young pine forests (*Pinus sylvestris*) and its determination. Communicationes Instituti Forestalis Čechosloveniae, 14: 127–145
- IPCC 2003. Good Practice Guidance For Land Use, Land-Use Change and Forestry. [on line]. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama: 675 s. [cit. 18. prosince 2012]. Dostupné na: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf.html>
- IPCC 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [on line]. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. [cit. 18. prosince 2012]. Dostupné na: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>
- JALKANEN A., MÄKIPÄÄ R., STÅHL G., LEHTONEN A., PETERSSON H. 2005. Estimation of the biomass stock of trees in Sweden: comparison of biomass equations and age-dependent biomass expansion factors. Ann. For. Sci., 62: 845–851.
- JENKINS J.C., CHOJNACKY D.C., HEATH L.S., BIRDSEY R. 2003. National scale biomass estimators for United States tree species. For. Sci., 49: 12–35.
- JOOSTEN R., SCHUMACHER J., WIRTH CH., SCHULTE A. 2004. Evaluating tree carbon predictions for beech (*Fagus sylvatica* L.) in Western Germany. Forest Ecology and Management, 189: 87–96.
- LEDERMANN T., NEUMANN M. 2006. Biomass equations from data of old long-term experimental plots. Austrian Journal of Forest Science, 123: 47–64.
- LE GOFF N. & OTTORINI J.M. 2000. Biomass distributions at tree and stand levels in the beech experimental forest of Hesse (NE France). Viterbo (November): 9–11.
- LEHTONEN A. , CIENCIALA E., TATARINOV F., MÄKIPÄÄ R. 2007. Uncertainty estimation of biomass expansion factors for Norway spruce in the Czech Republic. Ann. For. Sci., 64: 133–140.
- MINOVSKÝ O., FOTT P. (eds.) 2012. National greenhouse gas inventory report of the Czech republic 1990–2010 [on line]. Prague, Czech hydrometeorological institute: 347 s. [cit. 18. prosince 2012]. Dostupné na: http://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/nis/nis_do_cz.html

- MUUKKONEN P. 2007. Generalized allometric volume and biomass equations for some tree species in Europe. *European Journal of Forest Research* 126: 157–166.
- NIHLGÅRD B. 1972. Plant biomass, primary production and distribution of chemical elements in a beech and a planted spruce forest in South Sweden. *Oikos*, 23: 69–81.
- PRETZSCH H. 2000. Die Regeln von Reineke, Yoda und das Gesetz der räumlichen Allometrie. *Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung*, 171: 205–210.
- R Core Team 2012. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- SANTA REGINA I., TARAZONA T. 2001. Organic matter and nitrogen dynamics in a mature forest of common beech in the Sierra de la Demanda, Spain. *Ann. Sci. For.*, 58: 301–314.
- SKOVSGAARD J. P. 2012. Biomass, basic density and biomass expansion factor functions for European beech (*Fagus sylvatica* L.) in Denmark. *Eur. J. Forest Res.*, 131: 1035–1053.
- SOMOGYI Z., CIENCIALA E., MÄKIPÄÄ R., MUUKKONEN P., LEHTONEN A., WEISS P. 2006. Indirect methods of large-scale forest biomass estimation. *Eur. J. Forest Res.*, 126: 197–207.
- STATSOFT, INC. 2011. STATISTICA (data analysis software system), version 10. www.statsoft.com.
- ŠMELKO Š. 2007. *Dendrometria*. Zvolen, Technická univerzita: 401 s.
- VINŠ B., ŠIKA A. 1975. Biomasa nadzemních a podzemních částí vzorníků smrku. Dílčí závěrečná zpráva. Jíloviště-Strnady, VÚLHM: 38 s.
- VINŠ B. 1981. Biomasa smrkového porostu v chlumní oblasti. *Práce VÚLHM*, 59: 83–99.
- VYSKOT M. 1980. Balance biomasy hlavních lesních dřevin. *Lesnictví*, 26: 849–882.
- VYSKOT M. 1990. Juvenile beech in biomass. Prague, Academia: 167.
- VYSKOT M. 1991. Nadzemní biomasa adultní populace smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) KARST.). *Lesnictví*, 37: 509–527.
- WIRTH C., SCHULZE E.D., SCHWALBE G., TOMCZYK S., WEBER G., WELLER E., BÖTTCHER H., SCHUMACHER J., VETTER J. 2003. Dynamik der Kohlenstoffvorräte in den Wäldern Thüringens. Abschlussbericht zur 1. Phase des BMBF-Projektes "Modelluntersuchung zur Umsetzung des Kyoto-Protokolls". Jena, Max-Planck Institute for Biogeochemistry: 328 s.

- WIRTH CH., SCHUMACHER J., SCHULZE E. 2004. Generic biomass for Norway spruce in Central Europe a meta-analysis approach toward prediction and uncertainty estimation. *Tree Physiology*, 24: 121–139.
- WUTZLER T., WIRTH C., SCHUMACHER J. 2008. Generic biomass function for Common Beech (*Fagus sylvatica*) in Central Europe: predictions and components of uncertainty. *Can. J. For. Res.*, 38 : 1661–1675.
- ZIANIS D., MUUKKONEN P., MÄKIPÄÄ R., MENCUCCINI M. 2005. Biomass and stem volume equations for tree species in Europe. Helsinki, Finnish Soc. of Forest Science: 63 s. *Silva Fennica Monographs*, 4.
- ZVÁRA K. 2008. Regrese. Praha, Matfyzpress: 254 s.

8.2 Seznam publikací, které předcházely meto- dice

- ČIHÁK T., VEJPUSTKOVÁ M., ŠRÁMEK V., MARUŠÁK R. 2012. Vyhodnocení alometrických funkcí pro stanovení nadzemní biomasy smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) KARST.) z oblasti Orlických hor. *Zprávy lesnického výzkumu*, 57: 257–265.
- ŠRÁMEK V., LOMSKÝ B., NOVOTNÝ R. 2009. Hodnocení obsahu a zásoby živin v lesních porostech – literární přehled. *Zprávy lesnického výzkumu*, 54: 307–315.
- VEJPUSTKOVÁ M., ZAHRADNÍK D., ŠRÁMEK V., FADRHOŇSOVÁ V. 2004. Growth trends of spruce in the Orlické hory Mts. *Journal of Forest Science*, 50: 67–77.
- VEJPUSTKOVÁ M., ŠRÁMEK V., ZAHRADNÍK D. 2011. Spruce (*Picea abies* (L.) KARST.) Growth and Nutrition Status in the Mountain Regions of Different Nitrogen Load Level. In: Maaten-Theunissen, M. et al (eds.): *TRACE – Tree Rings in Archeology, Climatology and Ecology*, Vol. 9. *Proceedings of the Dendrosymposium 2010, April 23rd – 25th, 2010, Freiburg, Germany*. Published by GFZ Helmholtz – Zentrum Potsdam.

METHODS OF ABOVEGROUND BIOMASS ASSESSMENT FOR EUROPEAN BEECH (*FAGUS SYLVATICA* L.)

Summary

The methodology presented is concerned with the quantification of the aboveground biomass of European beech (*Fagus sylvatica* L.) as one of our major commercial tree species. The methodology provides guidelines for the empirical determination of the aboveground biomass of beech by utilising destructive analysis and for calculating the biomass of the standing trees using the appropriate allometric equations and general models. The methodology is the result of the NAZV QH81246/2008 research project - "Dynamics of the content of major nutrients in the spruce and beech stands in the Czech Republic - the options for ensuring nutrition for forest trees as a prerequisite of sustainable forest management". As a part of this project, the biomass of 46 beech trees of various ages in 5 regions was analysed in detail (Table 4). Thereby an independent file of empirical data from the Czech Republic was created that could be used both for testing the existing models and for the parameterisation of a new model.

Tested in total were 21 published models for calculating the total aboveground biomass (Table 1), 11 models for calculating the stem biomass (Table 2) and 18 models for calculating the biomass of the branches (Table 3). For use in the conditions of the Czech Republic it is possible to recommend the general models defined by Wutzler (2008) and by Mikkonen (2007), and in addition the local model created by Cienciala (2005). In regard to the total aboveground biomass good results were also provided by Joosten 2004 (2) (Table 5).

The set of 46 sample trees analysed significantly expanded the beech biomass data published by VYSKOT (1990) and CIENCIALA et al. (2005) (35 sample trees). The resulting representative set of 81 sample trees (Table 6) has enabled the parameterisation of new models for calculating the total aboveground beech biomass and its components in the Czech Republic. In comparison with the biomass functions previously published by CIENCIALA et al. (2005), new models additionally include the effects of age, altitude and site class (Table 7). Most suitable for calculating the total aboveground biomass are the expanded DH2N or DH2NT models, while for the basic allometric equations it is possible to recommend the DH2 model. For calculating the stem biomass a basic allometric equation of the

DH3 type appears to have been optimal; the inclusion of additional factors such as altitude and site class did not improve the prediction. The biomass of branches is best described by the expanded DH2NB model that includes the effects of altitude and of the site class; most suitable of the basic models would appear to be the simple D2 model.

PŘÍLOHA

Kontrolní výpočet pro modelový vzorník buku

Parametry vzorníku

D _{1,3} (cm)	30
H (m)	28
věk (T)	100
nadm.výška (N)	600
bonita (B)	28

Hodnoty biomasy

Model	Celková nadzemní biomasa (kg)
Joosten 2004 (2)	617,1
Wutzler 2008 (1)	627,9
Cienciala 2005 (3)	651,2

Model	Biomasa kmene (kg)
Wutzler 2008 (2)	512,3
Mukkonen 2007 (2)	461,7
Mukkonen 2007 (1)	453,2

Model	Biomasa větví (kg)
Wutzler 2008 (2)	116,7
Mukkonen 2007 (1)	156,7
Cienciala 2005 (2)	176,4

LESNICKÝ PRŮVODCE



Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.
www.vulhm.cz