

**KVANTIFIKACE NADZEMNÍ BIOMASY
SMRKU ZTEPILÉHO
(*PICEA ABIES* (L.) KARST.)**



Ing. MONIKA VEJPUSTKOVÁ, Ph.D.

Ing. TOMÁŠ ČIHÁK

doc. Ing. VÍT ŠRÁMEK, Ph.D.



3/2017

**Kvantifikace nadzemní biomasy
smrku ztepilého
(*Picea abies* (L.) Karst.)**

Certifikovaná metodika

Ing. Monika Vejpustková, Ph.D.

Ing. Tomáš Čihák

doc. Ing. Vít Šrámek, Ph.D.

Strnady 2017

Lesnický průvodce 3/2017

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

Strnady 136, 252 02 Jíloviště

www.vulhm.cz

Publikace vydané v řadě Lesnický průvodce jsou dostupné v elektronické verzi na:

http://www.vulhm.cz/lesnicky_pruvodce

Vedoucí redaktor: Ing. Jan Řezáč; e-mail: rezac@vulhm.cz

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

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

ISBN 978-80-7417-143-7

ISSN 0862-7657

QUANTIFICATION OF ABOVEGROUND BIOMASS OF NORWAY SPRUCE (*PICEA ABIES* (L.) KARST.)

Abstract

To date several studies concerned with quantifying the aboveground biomass of Norway spruce have been carried out in the Czech Republic. All these studies can be classified as being local and they cannot be utilised for the biomass prediction on a national scale. The aim of presented methodology is to give detailed guidelines for the empirical assessment of spruce biomass and provide allometric equations applicable to prediction of spruce biomass at a national level. Derived functions are based on an extensive dataset of 177 spruce trees representing a wide range of tree dimensions and site conditions (25 stands on 15 different sites). The models enable estimation of total aboveground biomass and its basic compartments – stem, crown and foliage. The biomass (in kg of dry matter) was modelled using linear regression equations with one (diameter D), two (D , slenderness ratio H/D) or three (D , H/D , site index B , resp. tree age T) predictors. We expect the main application of derived models within the National Forest Inventory and Forest Monitoring Programme of the Czech Republic.

Key words: aboveground biomass, allometry, biomass models, Norway spruce, Czech Republic

Oponenti: doc. Ing. Jiří Remeš, Ph.D. (FLD ČZU v Praze)
Ing. Miloš Kučera, Ph.D. (ÚHÚL Brandýs nad Labem)

Foto na obálce:

Jan Řezáč

Adresy autorů:

Monika Vejpustková

Tomáš Čihák

Vít Šrámek

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

Autor fotografií:

Vít Šrámek

Procentický podíl autorů:

Monika Vejpustková 50%

Tomáš Čihák 45%

Vít Šrámek 5%

Obsah:

1	ÚVOD	7
2	CÍL METODIKY	8
3	VLASTNÍ POPIS METODIKY	9
	3.1 Empirické stanovení nadzemní biomasy smrku	9
	3.2 Modely pro kvantifikaci nadzemní biomasy smrku	11
4	SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ	19
5	POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY	20
6	EKONOMICKÉ ASPEKTY	21
7	DEDIKACE	21
8	LITERATURA	22
	8.1 Seznam použité související literatury	22
	8.2 Seznam publikací, které předcházely metodice	24
	SUMMARY	25
	PŘÍLOHA	27

1 ÚVOD

Problematika kvantifikace biomasy lesních porostů je stále velmi aktuální téma. Informace o biomase lesních dřevin slouží jako primární vstupní veličina pro kvantifikaci uhlíku alokovaného v lesních ekosystémech (IPCC 2006; PETERSSON et al. 2012; KRTKOVÁ 2016), pro stanovení bilance živin v nadzemní biomase (AUGUSTO et al. 2000; AKSELLSON et al. 2007; ŠRÁMEK et al. 2009), či pro zpřesnění odhadu množství těžebních zbytků (CHRISTOFOROU, FOKAIDES 2015) a pro kvantifikaci odnosu živin při jejich energetickém využití (ACHAT et al. 2015; KAILA et al. 2015).

Empirické stanovení nadzemní biomasy je časově i technicky náročná procedura, ovšem pouze takto získaná data se mohou stát základem pro odvození spolehlivého lokálního alometrického modelu. Kompilací dat z většího počtu lokálních studií lze pak získat datový soubor, na němž je možné parametrizovat alometrické vztahy s platností pro větší územní celky (JENKINS et al. 2003; WIRTH et al. 2004, VEJPUSTKOVÁ et al. 2015).

Do dnešního dne bylo na území České republiky realizováno několik studií věnovaných kvantifikaci nadzemní biomasy smrku ztepilého. Některé práce byly zaměřené pouze na výpočet množství biomasy na základě destrukčních analýz (VINŠ, ŠIKA 1975; VYSKOT 1980; VINŠ 1981; VYSKOT 1991), jiné využily získaná data k parametrizaci vlastních modelů (CHROUST, TESAŘOVÁ 1985; ČERNÝ 1990). Všechny tyto studie lze označit jako lokální a nelze je využít pro kvantifikaci biomasy v celorepublikovém měřítku.

V posledních letech bylo Výzkumným ústavem lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., (VÚLHM) realizováno několik projektů, jejichž součástí byla i kvantifikace biomasy smrku ztepilého. Data získaná v těchto projektech byla doplněna o data z výše jmenovaných studií provedených na území České republiky, čímž vznikl soubor 177 vzorníků pocházejících z 25 porostů z celé ČR. Takto rozsáhlý datový soubor umožnil parametrizaci národních alometrických rovnic pro výpočet nadzemní biomasy smrku ztepilého.

2 CÍLE METODIKY

Předkládaná metodika má za cíl:

1. podat praktický návod na empirické stanovení nadzemní biomasy smrku ztepilého,
2. poskytnout praxi relevantní modely pro kvantifikaci nadzemní biomasy smrku na území České republiky.

3 VLASTNÍ POPIS METODIKY

3.1 Empirické stanovení nadzemní biomasy smrku

Místa pro odběr vzorníků za účelem kvantifikace biomasy by měla co nejlépe reprezentovat stanovištní podmínky smrkových porostů dané lokality, respektive oblasti. Výchozím materiálem pro výběr lokality mohou být oblastní plány rozvoje lesů (OPRL), kde lze pro danou oblast zjistit zastoupení dřevin a plošný podíl souborů lesních typů, pro upřesnění je možné využít informace z lesních hospodářských plánů (LHP). Pro kvantifikaci biomasy je nutné vybírat smrkové porosty minimálně ve třech věkových kategoriích: mladé porosty (do 40 let věku), středně staré porosty (40–80 let) a staré porosty (nad 80 let věku). Pro vybrané porosty se stanoví základní taxační charakteristiky, kterými jsou střední výčetní tloušťka, střední výška, výčetní základna a zásoba porostu (ŠMELKO 2007). Vybrané vzorníky (zpravidla 3–5 stromů) by měly reprezentovat tloušťkově stupně zastoupené s nejvyšší četností. Vzorníky se vybírají pokud možno s průběžným kmenem, bez mechanického poškození a deformací. Před pokácením se u vzorníků znovu přesně změří jejich výčetní tloušťka, výška a výška nasazení koruny. Na kmeni je žádoucí viditelně vyznačit výčetní výšku. Vlastní odběr se provádí v době vegetačního klidu.

Po skácení vzorníku se podél kmene umístí měřičské pásmo tak, aby hodnota 1,3 m koincidovala s dřívě vyznačenou značkou pro výčetní výšku. Takto je možné provést kontrolní přeměření výšky stromu, odměřit výšku nasazení jednotlivých přeslenů a rovněž změřit nasazení živé a mrtvé koruny. Přesleny se označí pořadovým číslem ve směru od špičky k bázi kmene. V každém přeslenu se určí počet větví a dále se vybere a označí vzorníková větev, kterou je možno z hlediska její délky a množství jehličí považovat v daném přeslenu za průměrnou. Poté lze přistoupit k odvětvení vzorníku. U označených vzorníkových větví se následně přesně změří jejich délka, spočítá se počet ročníků jehličí, a to jednak plných a jednak již částečně propadlých, a větev se zváží. Špička stromu (1.–5. přeslen) a další tři vzorníkové větve z horní, střední a spodní třetiny koruny jsou transportovány do laboratoře pro podrobnou analýzu. Ostatní větve se v terénu roztrídí na živé a mrtvé a na místě se zjistí jejich celková hmotnost v čerstvém stavu. V laboratoři se vybrané vzorníkové větve rozdělí na dřevo, kůru, asimilační orgány a zelené větvičky a zjistí se jejich hmotnost v čerstvém stavu. Termín „zelené větvičky“ označuje nejslabší konce větví s jehličím, u kterých nelze separovat dřevo a kůru. Poté se kompartmenty vysuší při stan-

dardní teplotě 105 °C do konstantní hmotnosti. Vysušené vzorky se váží s přesností na 1 g. Zjištěný poměr mezi hmotností sušiny a hmotností v čerstvém stavu slouží k přepočtu váhy čerstvých větví, respektive jejich kompartmentů na sušinu.

Biomasa kmene je kvantifikována samostatně. Zde je možné uplatnit různé postupy lišící se technickou náročností.

- (1) Nejjednodušší postup zahrnuje určení objemu kmene v čerstvém stavu na základě změřené výčetní tloušťky a výšky stromu za použití některé z publikovaných objemových rovnic (např. PETRÁŠ & PAJTIK 1991). Přepočet na hmotnost biomasy v sušině se provede pomocí publikovaných hodnot konvenční hustoty dřeva, např. IPCC (2003) uvádí pro smrk hodnotu 400 g.m⁻³.
- (2) Náročnější, avšak přesnější postup zahrnuje určení objemu kmene po sekcích za použití Newtonova vzorce (vzorec 1), kdy je nutné zjistit kruhovou plochu na počátku (G_0), uprostřed ($G_{0,5}$) a na konci (G_1) každé sekce. Kruhová plocha se obvykle počítá ze změřené tloušťky kmene. Délka sekcí L se volí s ohledem na výšku stromu, obvykle v rozmezí od 2 do 4 m. Objem kmene je pak roven součtu objemů všech sekcí. Přepočet na hmotnost biomasy v sušině se provede buď pomocí publikovaných hodnot konvenční hustoty dřeva, anebo pomocí experimentálně stanovených hodnot konvenční hustoty pro daný vzorník. V tomto případě se z kmene odeberou minimálně tři kotouče ze spodní, střední a horní části kmene a určí se jejich objem v čerstvém stavu. Objem V_{max} lze vypočítat z průměru a výšky kotouče (nehodné u nepravidelných výřezů), nebo stanovit xylometricky (zanořením kotouče do nádoby s vodou a odměřením objemu vytlačené vody) (ŠMELKO 2007). Pokud chceme stanovit zvlášť biomasu dřeva a kůry kmene, pak je nutné kotouče po prvním změření objemu odkornit a určit zvlášť objem dřeva a následně dopočítat objem kůry. Kotouče, respektive kotouče a oddělená kůra se následně vysuší při teplotě 105 °C do konstantní hmotnosti $M_{sušina}$. Hodnota konvenční hustoty ρ_k pro dřevo s kůrou, respektive zvlášť pro dřevo a kůru kmene se pak vypočte dle vzorce 2. Pro přepočet na biomasu v sušině se použije střední hodnota hustoty.

$$V = \frac{L \cdot (G_0 + 4G_{0,5} + G_1)}{6} \quad (1)$$

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

- (3) Druhou z uvedených metod lze dále zpřesnit, pokud ze sekcí odebereme kmenové kotouče, u nichž přesně stanovíme jejich plochu. Po nafocení nebo naskenování kotouče ve známém měřítku je možné digitální fotografii analyzovat za použití programu na počítačovou analýzu obrazu a stanovit tak potřebnou

plochu a tuto dosadit do vzorce 1. Kotouče odebrané ze středu sekce lze pak použít pro experimentální stanovení konvenční hustoty a tuto použít pro přepoččet objemu dané sekce na hmotnost biomasy v sušině.

Pro určení biomasy pařezu je nutné v terénu zjistit výšku a plochu pařezu. Plochu lze změřit z digitální fotografie podobně jako u kmenových kotoučů. Pro přepoččet objemu pařezu na biomasu se použije dostupná hodnota konvenční hustoty (viz výše).

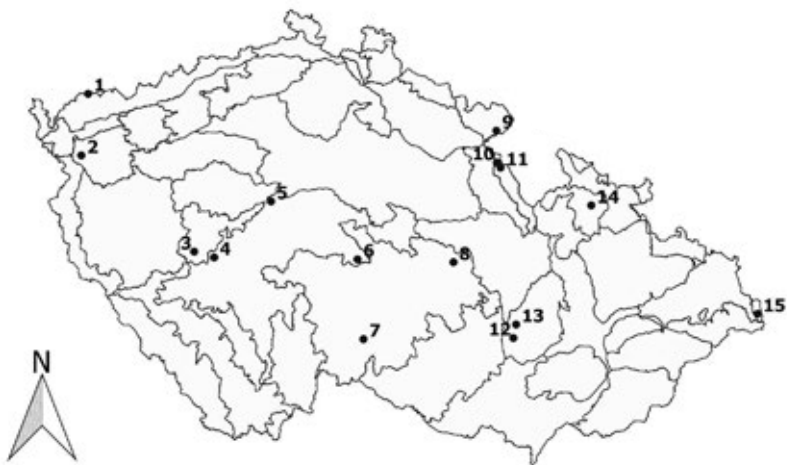
Výsledkem experimentálního stanovení biomasy při uplatnění popsané metody jsou hodnoty hmotnosti biomasy v sušině pro tyto kompartmenty: kmen (respektive dřevo a kůra kmene), větve (respektive dřevo a kůra větví) a asimilační orgány. Součet biomasy větví a asimilačních orgánů pak dohromady tvoří biomasu koruny, součet všech kompartmentů tvoří celkovou nadzemní biomasu stromu.

3.2 Modely pro kvantifikaci nadzemní biomasy smrku

Modely byly parametrizovány pro celkovou nadzemní biomasu, biomasu kmene, koruny a asimilačních orgánů. Rovnice slouží k výpočtu množství biomasy v kg sušiny. Jednotlivé kompartmenty jsou v rámci této práce definovány takto:

- celková nadzemní biomasa – nadzemní biomasa dřevitých částí (větve a kmen) a jehličí,
- biomasa kmene – biomasa kmene s vyloučením pařezu,
- biomasa koruny – biomasa větví a asimilačních orgánů dohromady,
- biomasa asimilačních orgánů – biomasa jehličí.

Vstupní datový soubor pro parametrizaci modelů pochází ze dvou zdrojů. Prvním jsou informace získané z dosud publikovaných prací k biomase smrku na území České republiky (VINŠ, ŠIKA 1975; CHROUST, TESAŘOVÁ 1985; ČERNÝ 1990; VYSKOT 1991). Druhým zdrojem jsou experimentální data získaná v posledních letech při řešení projektů Výzkumným ústavem lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i. (VÚLHM). Výsledný datový soubor obsahuje 177 vzorníků pokrývající široké rozpětí dimenzí (D 1–52,5 cm; H 1,9–34,6 m) a stanovištních podmínek (25 porostů z 15 lokalit; nadmořská výška 300–950 m n. m.; bonita 20–38). Lokalizace odběrových míst je patrná z obrázku 1, charakteristiku lokalit a odebraných souborů vzorníků uvádí tabulka 1.



Obr. 1: Lokalizace odběrových míst na biomasu smrku na pozadí mapy přírodních lesních oblastí ČR

Parametrizace modelů byla provedena metodami lineární regrese v programu STATISTICA v. 12 (STATSOFT INC. 2013) a QC EXPERT v. 2.7 (TRILOBYTE STATISTICAL SOFTWARE 2004). Aby posuzované proměnné splňovaly předpoklady k uplatnění této metody, bylo nutné data linearizovat logaritmickou transformací. Tento postup byl ověřen v dříve publikovaných studiích (WIRTH et al. 2004; PAJTÍK et al. 2008; ČIHÁK et al. 2014). Obecný tvar alometrického modelu uvádí vzorec 3. Zpětná transformace výsledků modelu se provádí pomocí vzorce 4. Korekční faktor λ (vzorec 5) slouží k odstranění odchylky způsobené zpětnou transformací logaritmovaných hodnot výsledků (BASKERVILLE 1972):

$$\ln(\hat{Y}_i) = b_0 + b_1 \ln(X_1) + b_2 \ln(X_2) + \dots + b_n \ln(X_n) + \varepsilon \quad (3)$$

$$\hat{Y}_i = e^{(b_0 + b_1 \ln(X_1) + \dots + b_n \ln(X_n))} \lambda \quad (4)$$

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{\sum_{i=1}^n e^{\ln \hat{Y}_i}}, \quad (5)$$

kde \hat{Y}_i je vypočtená biomasa i -tého vzorníku; X_1, X_2, X_n jsou prediktory, b_0, b_1, b_n parametry, ε náhodná chyba, λ korekční faktor a Y_i skutečná hodnota biomasy i -tého vzorníku.

Tab. 1: Sumární charakteristika lokalit a odebíraných souborů vzorníků pro kvantifikaci biomasy

Lokalita	Plocha	Autor	N	D (cm)	H (m)	Věk	Nadm. výška	Bonita
1	Přebuz	VÚLHM	3	37.9-45.2	25.6-26.6	149-156	925	24
2	Horní Lazy 1	VÚLHM	3	14.5-14.8	11-12.1	26	900	30
2	Horní Lazy 2	VÚLHM	3	23.9-24.8	20.1-21.8	50	820	30
2	Horní Lazy 3	VÚLHM	3	39.5-41	28.5-31.5	113	880	28
3	Zbiroh	Černý 1990	8	20.9-47.2	22.9-33.4	106	585	30
4	Obecnice 1	Černý 1990	9	18.5-44.5	22.6-33.4	78	585	32
4	Obecnice 2	Černý 1990	9	10.5-32.8	13.6-27.2	57	585	30
5	Strnady	Vinš, Šika 1975	1	19.5	21.5	61	300	28
6	Želivka	Vinš, Šika 1975	1	20.4	23.3	88	440	24
7	Mrákočín	Vyskot 1991	15	5.1-18.8	5.9-13.6	15-22	730	32
8	Čachnov	VÚLHM	3	49-50.8	30.1-34.6	110-125	730	30
9	Broumov	Chroust, Tesařová 1985	55	1-10.7	1.85-8.57	20	750	26
10	Šerlich	Vinš, Šika 1975	2	29.2-33.4	17.2-20.4	82-96	585	20
11	Deštné 1	VÚLHM	3	17.5-20.8	10.6-12.5	24	770	30
11	Deštné 2	VÚLHM	3	25.4-26.2	17.2-17.6	82	950	20
11	Deštné 3	VÚLHM	3	41.3-49.5	24.5-29.1	142	790	26
12	Olomučany	Vyskot 1991	5	45.7-52.5	30.5-32.4	120-124	585	30
13	Rajec 1	Vyskot 1991	15	12.9-31.6	16.1-26.1	55-74	630	38
13	Rajec 2	Vyskot 1991	15	11.5-31.7	15-28	48-56	630	32
14	Jeseníky 1	VÚLHM	3	8.5-10.5	24.1-26.9	20	551	26
14	Jeseníky 2	VÚLHM	3	25.9-27.7	22.2-24	46	551	34
14	Jeseníky 3	VÚLHM	3	36.6-37	24.1-26.9	110	551	24
15	Jablunkov 1	VÚLHM	3	32.4-39.3	7-7.8	15	710	32
15	Jablunkov 2	VÚLHM	3	19.1-19.7	16-19.7	35	720	34
15	Jablunkov 3	VÚLHM	3	7.7-8.7	27.4-29.5	61	740	36

Výběr souboru statisticky významných vysvětlujících proměnných byl proveden metodou zpětné krokové regrese. Jako statisticky významné byly vyhodnoceny prediktory výčetní tloušťka D , poměr výšky k výčetní tloušťce H/D (štíhlostní kvocient) a bonita B , v případě biomasy asimilačních orgánů též věk T . Další dendrometrické a stanovištní charakteristiky se ukázaly jako statisticky nevýznamné. Poměr H/D (štíhlostní kvocient) byl upřednostněn před výškou stromu z důvodu odstranění multikolinearity s výčetní tloušťkou.

Predikční schopnost modelů byla posuzována na základě hodnot koeficientu determinace (R^2), Akaikého informačního kritéria (AIC) a střední kvadratické chyby (RMSE). Jak v případě RMSE, tak i v případě Akaikého kritéria, nižší hodnota indikuje větší soulad daného modelu s naměřenými daty, v případě koeficientu determinace je tomu naopak.

Výsledky parametrizace modelů uvádí tabulka 2. Ke každé komponentě biomasy jsou zde uvedeny tři modely: (1) dvouparametrový model s jedinou vysvětlující proměnnou D , (2) tříparametrový model se dvěma prediktory D a H/D , (3) čtyřparametrový model se třemi prediktory zahrnující i efekt dalšího faktoru (bonity B , resp. věku T).



Tab. 2: Modely pro výpočet biomasy smrku v kg sušiny

Komponenta biomasy	Tvar modelu	AIC	RMSE	R ²	Parametry (směrodatná odchylka)				λ
					P ₁	P ₂ (lnD)	P ₃ (lnH/D)	P ₄ (lnB)	
Celková nadzemní biomasa	$Y = \exp(p_1 + p_2 \cdot \ln(D)) \cdot \lambda$	-504,4	94.4	0,988	-2,01284 (0,05872)	2,36671 (0,02106)			0,98644
	$Y = \exp(p_1 + p_2 \cdot \ln(D) + p_3 \cdot \ln(H/D)) \cdot \lambda$	-549,2	85.9	0,991	-2,04360 (0,05102)	2,40436 (0,01895)	0,47181 (0,06461)		1,01760
	$Y = \exp(p_1 + p_2 \cdot \ln(D) + p_3 \cdot \ln(H/D) + p_4 \cdot \ln(B)) \cdot \lambda$	-560,1	75.6	0,992	-3,48993 (0,40206)	2,36528 (0,02120)	0,29337 (0,07935)	0,45209 (0,12473)	1,01857
Biomasa kmene	$Y = \exp(p_1 + p_2 \cdot \ln(D)) \cdot \lambda$	-418,1	116.4	0,987	-3,79408 (0,07557)	2,83344 (0,02685)			0,91955
	$Y = \exp(p_1 + p_2 \cdot \ln(D) + p_3 \cdot \ln(H/D)) \cdot \lambda$	-553,6	65.1	0,995	-3,67286 (0,04846)	2,85101 (0,01748)	1,04552 (0,06288)		1,00202
	$Y = \exp(p_1 + p_2 \cdot \ln(D) + p_3 \cdot \ln(H/D) + p_4 \cdot \ln(B)) \cdot \lambda$	-554,4	60.2	0,995	-4,33342 (0,39835)	2,83269 (0,02054)	0,96918 (0,07743)	0,20689 (0,12385)	1,00373
Biomasa koruny	$Y = \exp(p_1 + p_2 \cdot \ln(D)) \cdot \lambda$	-381,2	28.1	0,935	-1,21619 (0,09465)	1,63927 (0,03362)			1,08982
	$Y = \exp(p_1 + p_2 \cdot \ln(D) + p_3 \cdot \ln(H/D)) \cdot \lambda$	-391,6	22.9	0,943	-1,27871 (0,09013)	1,64208 (0,03313)	-0,36233 (0,10945)		1,06420
	$Y = \exp(p_1 + p_2 \cdot \ln(D) + p_3 \cdot \ln(H/D) + p_4 \cdot \ln(B)) \cdot \lambda$	-393,0	24.4	0,944	-2,55557 (0,69876)	1,60822 (0,03768)	-0,50842 (0,13452)	0,39912 (0,21662)	1,06576
Biomasa jehličí	$Y = \exp(p_1 + p_2 \cdot \ln(T)) \cdot \lambda$	-309,2	8.7	0,902	-1,94124 (0,11345)	1,52976 (0,04022)			1,10846
	$Y = \exp(p_1 + p_2 \cdot \ln(D) + p_3 \cdot \ln(H/D)) \cdot \lambda$	-336,0	8.3	0,921	-1,93445 (0,10265)	1,47479 (0,03747)	-0,80701 (0,12962)		1,02949
	$Y = \exp(p_1 + p_2 \cdot \ln(D) + p_3 \cdot \ln(H/D) + p_4 \cdot \ln(T)) \cdot \lambda$	-341,7	8.2	0,925	-1,60570 (0,15521)	1,69981 (0,08889)	-0,68570 (0,13416)	-0,24857 (0,08944)	1,04327

P₁, P₂, P₃, P₄: parametry funkce; D: výčetní tloušťka (cm), H: výška stromu (m), B: absolutní výšková bonita, T: věk stromu; λ: korekční faktor
tučně: statisticky významné hodnoty parametrů (α = 0,05)

Modely pro celkovou nadzemní biomasu

Všechny modely pro výpočet celkové nadzemní biomasy vykazují vysokou hodnotu koeficientu determinace $R^2 = 99\%$. O nejlepším modelu bylo proto rozhodnuto na základě AIC a RMSE. Zařazení štíhlostního kvocientu H/D do modelu významně přispělo ke snížení AIC i RMSE v porovnání s modelem s jediným prediktorem D . Po přiřazení bonity B jako další vysvětlující proměnné AIC i RMSE dále významně poklesly. Zařazení dalších faktorů (věk, nadmořská výška) již nemělo na parametry kvality modelu vliv. Pro kalkulaci celkové nadzemní biomasy lze tedy doporučit čtyřparametrový model se třemi prediktory D , H/D a B .



Modely pro biomasu kmene

Regresní modely pro biomasu kmene mají vysokou vypovídací schopnost srovnatelnou s modely pro celkovou nadzemní biomasu. Po zařazení faktoru bonity B do modelu se dvěma prediktory (D , H/D) se snížily hodnoty AIC a RMSE, změny obou kritérií však nebyly statisticky významné. Pro výpočet biomasy kmene je proto možné doporučit jak tříparametrový model se dvěma prediktory (D , H/D), tak čtyřparametrový model se třemi prediktory D , H/D a B .

Modely pro biomasu koruny

Vypovídací schopnost modelů pro biomasu koruny je nižší v porovnání s modely pro celkovou biomasu a biomasu kmene. Modely vysvětlují 93,5 – 94,4 % z celkové variability dat. Biomasu koruny nejlépe vystihuje tříparametrový model se dvěma prediktory D a H/D , pro který vychází nejnižší hodnota RMSE.



Modely pro biomasu jehličí

Modely pro biomasu jehličí vykazují nejnižší těsnost proložení empirických dat – koeficient determinace se pohybuje od 90,2 do 92,5%. Zařazení věku T do modelu se dvěma prediktory (D , H/D) sice snížilo hodnoty AIC a RMSE, avšak kvalita modelu se významně nezlepšila. Biomasu jehličí tedy úspěšně predikuje jak tří-, tak čtyřparametrový model se dvěma, resp. třemi prediktory při podobných hodnotách míry těsnosti proložení dat.

4 SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ

V České republice nebyl doposud parametrizován alometrický model pro kalkulaci nadzemní biomasy smrku na úrovni státu. Všechny doposud publikované práce lze označit jako lokální (CHROUST, TESAŘOVÁ 1985; ČERNÝ 1990; POKORNÝ, TOMÁŠKOVÁ 2007). V rámci projektů 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“ a NAZV QC1273 „Vliv současných depozic dusíku na zvyšování přírůstu a kvalitu výživy smrkových porostů“ byla ve VÚLHM podrobně analyzována biomasa 42 vzorníků smrku ztepilého různého stáří z 6 oblastí České republiky. Nově shromážděná data společně s dosud publikovanými údaji o biomase smrku z území ČR (135 vzorníků) tvoří dostatečně velký nezávislý soubor (celkem 177 vzorníků), který reprezentuje široké rozpětí dendrometrických charakteristik (D 1–52,5 cm; H 1,9–34,6 m) a stanovištních podmínek (25 porostů z 15 lokalit; nadmořská výška 300–950 m n. m.; bonita 20–38). Takto rozsáhlý soubor umožnil parametrizaci alometrických rovnic pro výpočet nadzemní biomasy smrku na národní úrovni.

5 POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY

Metodika bude přímo využita v rámci Národní inventarizace lesů ČR (NIL) při kalkulaci množství biomasy a při odvození zásob uhlíku pro naši hlavní hospodářskou dřevinu smrk ztepilý. Další uplatnění může metodika nalézt při stanovení množství uhlíku vázaného v biomase lesních porostů pro účely tzv. emisních inventur, jejichž zpracování je součástí plnění mezinárodních závazků České republiky, vyplývajících z Kjótského protokolu (Rámcová úmluva OSN o změně klimatu, 1997). Odvozené modely jsou primárně určeny pro výpočet biomasy pro velké územní celky (území republiky, kraje, PLO), samozřejmě jsou však využitelné i v běžné lesnické praxi. Pro porosty smrku na běžných stanovištích, obhospodařované klasickými postupy, dávají modely spolehlivý odhad biomasy i v lokálním měřítku a mohou tak posloužit každému lesnímu hospodáři. Výhodou je, že modely pracují s rutinně zjišťovanými taxačními charakteristikami. Pro stromy rostoucí na extrémních stanovištích či stromy rostoucí jako solitéry je však nutné počítat s nižší přesností odhadu. Odvozené modely též nejsou vhodné pro kalkulaci biomasy smrkových porostů ve stádiu kultur a tyčkovin, které ještě nedosáhly výčetní výšky, resp. jejich výčetní tloušťka je menší než 7 cm. Zde doporučujeme pracovat s modely speciálně odvozenými pro tuto věkovou skupinu (např. PAJTIK et al. 2008).

6 EKONOMICKÉ ASPEKTY

Ekonomické aspekty využití této metodiky jsou nepřímé a lze je hodnotit především z pohledu užití coby podkladu pro rozhodování v oblasti státní správy. Aplikací odvozených modelů na data NIL bude možné zpřesnit odhad množství biomasy a alokovaného uhlíku ve smrkových porostech na území ČR. Rovnice umožňují kvantifikovat jak biomasu kmene, tak biomasu těžebních zbytků. Přesnější znalost zásob smrkových porostů umožní lepší ekonomické plánování těžeb a výchovných zásahů. Významná je také pro znalost odnosu živin z lesních ekosystémů při energetickém využití těžebních zbytků a pro plánování revitalizačních opatření půd jako jsou biologické či chemické meliorace.

Výstupy NIL jsou základním podkladem pro státní lesnickou politiku a ovlivňují rozhodování na nejvyšší úrovni státní správy. Spolehlivá kvantifikace biomasy v celostátním měřítku je též požadována pro účely tzv. emisních inventur, což umožňuje České republice dostát mezinárodním závazkům vyplývajícím z Kjótského protokolu.

7 DEDIKACE

Zpracování metodiky bylo podpořeno z poskytnuté institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace MZe ČR – Rozhodnutí č. RO0116, č. j. 10462/2016-MZE-17011 (*podíl na vzniku předkládané metodiky 70 %*). Pro zpracování metodiky byla využita data získaná v průběhu řešení výzkumných projektů 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“ (*podíl na vzniku předkládané metodiky 20 %*) a NAZV QC1273 „Vliv současných depozic dusíku na zvyšování přírůstu a kvalitu výživy smrkových porostů“ (*podíl na vzniku předkládané metodiky 10 %*).

8 LITERATURA

8.1 Seznam použité související literatury

- ACHAT D.L., DELEUZE C., LANDMANN G., POUSSE N., RANGER J., AUGUSTO L. 2015. Quantifying consequences of removing harvesting residues on forest soils and tree growth – A meta-analysis. *Forest Ecology and Management*, 348: 124–141.
- AKSELLSON C., WESTLING O., SVERDRUP H., HOLMQUIST J., THELIN G., UGGLA E., MALM G. 2007. Impact of harvest intensity on long-term base cation budgets in Swedish forest soils. *Water, Air and Soil Pollution, Focus* 7: 201-210.
- AUGUSTO L., RANGER J., PONETTE Q., RAPP M. 2000. Relationship between forest tree species stand production and stand nutrient amount. *Annals of Forest Science*, 57: 313-324.
- BASKERVILLE G. L. 1972. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass. *Canadian Journal of Forest Research*, 2(1): 49-53.
- ČERNÝ M. 1990. Biomass of *Picea abies* (L.) Karst. in Midwestern Bohemia. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 5: 83-95.
- ČIHÁK T., HLÁSNÝ T., STOLARIKOVÁ R., VEJPUSTKOVÁ M., MARUŠÁK R. 2014. Functions for the aboveground woody biomass in small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill.)/Funkce pro hodnocení biomasy nadzemních částí lípy malolisté (*Tilia cordata* Mill.). *Forestry Journal*, 60(3): 150-158.
- CHRISTOFOROU E. A., FOKAIDES P. A. 2015. A Review of Quantification Practices for Plant-Derived Biomass Potential. *International Journal of Green Energy*, 12: 368–378.
- CHROUST L., TESAŘOVÁ, J. 1985. Quantification of above-ground components of 20 years old Norway spruce (*Picea abies* /L./ KARSTEN). *Communicationes Instituti Forestalis Českosloveniae*, 14: 111-126.
- 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. 13. února 2017]. 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. 13. února 2017]. Dostupné na: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>

- 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.
- KAILA A., LAURÉN A., SARKKOLA S., KOIVUSALO H., UKONMAANAHO L., O'DRISCOLL C., XIAO L., ASAM Z., NIEMINEN M. 2015. Effect of clear-felling and harvest residue removal on nitrogen and phosphorus export from drained Norway spruce mires in southern Finland. *Boreal Environment Research*, 20: 693–706.
- KRTKOVÁ E. (ed.) 2016. National greenhouse gas inventory report of the Czech Republic 1990 – 2014. Prague, Czech hydrometeorological institute: 423. [cit. 15. února 2017]. Dostupné na http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/nis/NIR/CZE_NIR-2016-2014_UNFCCC.pdf.
- PAJTÍK J., KONŮPKA B., LUKAČ M. 2008. Biomass functions and expansion factors in young Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) trees. *Forest Ecology and Management* 256: 1096-1013.
- PETERSSON H., HOLM S., STÅHL G., ALGER D., FRIDMAN J., LEHTONEN A., LUNDSTRÖMA A., MÄKIPÄÄ R. 2012. Individual tree biomass equations or biomass expansion factors for assessment of carbon stock changes in living biomass - A comparative study. *Forest Ecology and Management*, 270: 78-84.
- PETRAŠ R., PAJTÍK J. 1991. Sústava česko-slovenských objemových tabuliek drevín. *Lesnícky časopis*, 37 (1): 49–56.
- POKORNÝ R., TOMÁŠKOVÁ I. 2007. Allometric relationships for surface area and dry mass of young Norway spruce aboveground organs. *Journal of Forest Science*, 53(12): 548-554.
- ŠMELKO Š. 2007. *Dendrometria*. Technická univerzita, Zvolen: 401 s.
- ŠRÁMEK V., LOMSKÝ B., NOVOTNÝ R. 2009. Hodnocení obsahu a zásoby živin v lesních porostech – literární přehled. *Zprávy lesnického výzkumu*, 54 (4): 307-315.
- VEJPUSTKOVÁ M., ZAHRADNÍK D., ČIHÁK T., ŠRÁMEK V. 2015. Models for predicting aboveground biomass of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in the Czech Republic. *Journal of Forest Science*, 61: 45–54.
- VINŠ B., ŠIKA A. 1975. Biomasa nadzemních a podzemních částí vzorníků smrku. Dílčí závěrečná zpráva. VÚLHM, Jíloviště-Strnady: 38 s. (Ms).
- VINŠ B. 1981. Biomasa smrkového porostu v chlumní oblasti. *Práce VÚLHM*, 59: 83–99.
- VYSKOT M. 1980. Bilance biomasy hlavních lesních dřevin. *Lesnictví*, 26: 849-882.
- VYSKOT M. 1991. Nadzemní biomasa adultní populace smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) KARST.). *Lesnictví*, 37: 509-527.

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.

8.2 Seznam publikací, které předcházely metodice

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*, 3: 257–265. (Dedikace: NAZV QH81246, NAZV QI102A079, MZE000207203)

ČIHÁK T., HLÁSNÝ T., STOLARIKOVÁ R., VEJPUSTKOVÁ M., MARUŠÁK R. 2014. Functions for the aboveground woody biomass in Small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill.). *Lesnícky časopis - Forestry Journal*, 60: 150–158. (Dedikace: NAZV QH81246, NAZV QI102A079, MZE000207203)

ČIHÁK T., VEJPUSTKOVÁ M. 2017. Parameterisation of allometric equations for quantifying aboveground biomass of Norway spruce (*Picea abies* /L./ KARST.) in the Czech Republic. *Journal of Forest Science. V recenzním řízení.*

VEJPUSTKOVÁ M., ČIHÁK T., ZAHRADNÍK D., ŠRÁMEK V. 2013. Metody stanovení nadzemní biomasy buku (*Fagus sylvatica* L.). *Lesnický průvodce 1/2013*, VÚLHM, 28 s. (Dedikace: NAZV QH81246, MZE000207203)

VEJPUSTKOVÁ M., ZAHRADNÍK D., ČIHÁK T., ŠRÁMEK V. 2015. Models for predicting aboveground biomass of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in the Czech Republic. *Journal of Forest Science*, 61: 45–54. (Dedikace: NAZV QH81246, MZE000207203)

QUANTIFICATION OF ABOVEGROUND BIOMASS OF NORWAY SPRUCE (*PICEA ABIES* (L.) KARST.)

Summary

The methodology is concerned with the quantification of aboveground biomass of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst), the main forest tree species in the Czech Republic. The national allometric model for aboveground biomass of Norway spruce has not yet been parameterised in the Czech Republic. All previously published studies can be considered as being local (CHROUST, TESAŘOVÁ 1985; ČERNÝ 1990; POKORNÝ, TOMÁŠKOVÁ 2007).

The first part of the methodology gives detailed guidelines for the empirical assessment of aboveground biomass using the methods of destructive analysis (chapter 3.1). The second part provides newly developed allometric equations applicable to estimate the spruce biomass at a national level (chapter 3.2).

The biomass functions are based on an extensive dataset of 177 spruce trees representing a wide range of dimensions (D 1-52.5 cm; H 1.9-34.6 m) and site conditions (25 stands on 15 different sites, at an altitude between 300–950 m a.s.l., site index 20–38) (Fig. 1, Tab. 1). The data originate from two sources: (1) previously published studies (VINŠ, ŠIKA 1975; CHROUST, TESAŘOVÁ 1985; ČERNÝ 1990; VYSKOT 1991), (2) experimental data obtained from recent research projects of Forestry and Game Management Research Institute.

The allometric models were developed for prediction of total aboveground biomass and its basic compartments – stem, crown, and foliage. The stump was not included in stem biomass. The crown biomass comprised biomass of branches and assimilation organs. The biomass in dry mass was modelled using linear regression equations with one (diameter D), two (D , slenderness ratio H/D) or three (D , H/D , site index B , resp. tree age T) explanatory variables. Both the total aboveground biomass and the stem biomass were best predicted by three-variable models (D , H/D , B). The two-variable model (D , H/D) best fitted the crown biomass. The inclusion of tree age T in the basic two-variable model resulted in the best model for the foliage biomass. The parameters of the best regression models are given in Table 2.

We expect the main application of derived models within the National Forest Inventory and Forest Monitoring Programme of the Czech Republic. The models

are also applicable on a local scale. However, an accurate estimate cannot be expected for trees growing at extreme sites or for trees growing as solitaires. The models are not recommended for biomass quantification of the youngest trees with a diameter of up to 7 cm.

PŘÍLOHA

Kontrolní výpočet biomasy pro modelový vzorník smrku při použití modelů z tabulky 2.

Vstupní parametry vzorníku	
D (cm)	30
H (m)	32
B-bonita	32
T-věk	100

Kompartment biomasy	Tvar modelu	Biomasa v sušině (kg)
Celková nadzemní biomasa	$Y = \exp(p_1 + p_2 \cdot \ln(D)) \cdot \lambda$	412,88
	$Y = \exp(p_1 + p_2 \cdot \ln(D) + p_3 \cdot \ln(H/D)) \cdot \lambda$	483,96
	$Y = \exp(p_1 + p_2 \cdot \ln(D) + p_3 \cdot \ln(H/D) + p_4 \cdot \ln(B)) \cdot \lambda$	472,98
Biomasa kmene	$Y = \exp(p_1 + p_2 \cdot \ln(D)) \cdot \lambda$	317,07
	$Y = \exp(p_1 + p_2 \cdot \ln(D) + p_3 \cdot \ln(H/D)) \cdot \lambda$	442,96
	$Y = \exp(p_1 + p_2 \cdot \ln(D) + p_3 \cdot \ln(H/D) + p_4 \cdot \ln(B)) \cdot \lambda$	438,96
Biomasa koruny	$Y = \exp(p_1 + p_2 \cdot \ln(D)) \cdot \lambda$	85,23
	$Y = \exp(p_1 + p_2 \cdot \ln(D) + p_3 \cdot \ln(H/D)) \cdot \lambda$	77,10
	$Y = \exp(p_1 + p_2 \cdot \ln(D) + p_3 \cdot \ln(H/D) + p_4 \cdot \ln(B)) \cdot \lambda$	75,83
Biomasa jehličí	$Y = \exp(p_1 + p_2 \cdot \ln(T)) \cdot \lambda$	28,93
	$Y = \exp(p_1 + p_2 \cdot \ln(D) + p_3 \cdot \ln(H/D)) \cdot \lambda$	21,30
	$Y = \exp(p_1 + p_2 \cdot \ln(D) + p_3 \cdot \ln(H/D) + p_4 \cdot \ln(T)) \cdot \lambda$	20,68



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

www.vulhm.cz

LESNICKÝ PRŮVODCE 3/2017