

## VYHODNOCENÍ ALOMETRICKÝCH FUNKCÍ PRO STANOVENÍ NADZEMNÍ BIOMASY SMRKU ZTEPILÉHO (*PICEA ABIES* /L./ KARST.) Z OBLASTI ORLICKÝCH HOR

EVALUATION OF ALLOMETRIC FUNCTIONS FOR THE ASSESSMENT OF NORWAY SPRUCE (*PICEA ABIES* /L./ KARST.) ABOVEGROUND BIOMASS IN THE ORLICKÉ MOUNTAINS (CZECH REPUBLIC)

TOMÁŠ ČIHÁK<sup>1)</sup> - MONIKA VEJPUŠTKOVÁ<sup>1)</sup> - VÍT ŠRÁMEK<sup>1)</sup> - RÓBERT MARUŠÁK<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Strnady

<sup>2)</sup>Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Praha

### ABSTRACT

Eighteen biomass functions were tested for Norway spruce (*Picea abies* /L./ KARST.) from the Orlické Mountains (Czech Republic). Empirical data obtained by the destructive analysis of 9 spruce trees originated from 3 stands of different age (17, 49, and 135 years) were the comparative base for models evaluation. Average dry weight of wood was 42.87 kg for young trees, 107.57 kg for middle-aged trees and 510.97 kg for old trees; dry weight of bark was 13 kg, 30.9 kg, and 80.03 kg; dry weight of needles was 8.7 kg, 26.2 kg, and 49.8 kg respectively. Empirical biomass data were compared with results of biomass functions. Two approaches were employed: (1) trees were divided into 3 groups according to the age, and biomass models were evaluated for particular groups separately; (2) biomass models were evaluated for all trees together without regard to the age. The models 1 (Laitat) and 15 (Brække 2) fit best the empirical biomass data of young spruce trees, the models 13 (Snorrason) and 15 (Brække 2) give the most accurate results for middle-aged trees, and the models 11 (Poeppel) and 14 (Brække 1) show the best fit for the old trees. The models 13 (Snorrason) and 14 (Brække 1) are the most suitable for the biomass assessment without regard to the tree age.

**Klíčová slova:** nadzemní biomasa, funkce pro výpočet biomasy, alometrie, smrk

**Key words:** aboveground biomass, biomass function, allometry, *Picea abies*

### ÚVOD

V současnosti stále více vystupuje do popředí potřeba přesné kvantifikace biomasy lesních porostů a množství uhlíku vázaného v této biomase. Důvodem je zvýšená poptávka po využití nadzemní biomasy jako obnovitelného zdroje energie a v neposlední řadě i plnění mezinárodních závazků vyplývajících z Kjótského protokolu (Rámcová úmluva OSN o změně klimatu, 1997).

Existují dva etablované postupy pro kvantifikaci biomasy: (1) výpočet biomasy stromů za použití vhodných alometrických rovnic, (2) převod objemu (nejčastěji objemu hroubí kmene) jednotlivých stromů či částí celých porostů na hodnotu celkové nadzemní biomasy pomocí tzv. konverzních (převod objemu na hmotnost) a expanzních (převod objemu či hmotnosti hroubí na objem či hmotnost celého stromu) faktorů, respektive kombinovaných faktorů, které v sobě spojují obě operace (SOMOGYI et al. 2006).

Použití alometrických rovnic předpokládá existenci vstupních dat na úrovni stromu (výčetní tloušťka, výška stromu). Pro kvantifikaci biomasy na konkrétní lokalitě či menším území je nejpřesnější metodou použití lokálních alometrických rovnic (BOLLANDSÅS 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 biomasy stromů v Evropě vytvořili

ZIANIS a RADOGLU (2006), z novějších prací lze uvést PAJTÍKA et al. (2008), WUTZLERA et al. (2008) či REPOLU (2009). 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, výšky nasazení koruny), do obecných modelů vstupuje široký soubor predikátorů – kromě dimenze stromu též věk, nadmořská výška, bonita a další stanovištní charakteristiky.

Druhý 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 České republiky (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 prokázaly vysokou míru nepřesnosti odhadu biomasy při použití BEF (JALKANEN et al. 2005; WIRTH et al. 2003). Nejméně přesné je použití konstantní hodnoty BEF. LEVY et al. (2004) prokázal závislost BEF na výšce stromu, LEHTONEN et al. (2004) odvodil BEF závislé na věku a druhu hlavní dřeviny v porostu, TEOBALDELLI et al. (2009) modeluje BEF v závislosti na druhu dřeviny, věku, zásobě porostu a bonitě.

Jednou z prvních prací v ČR zabývající se kvantifikací biomasy je práce VINŠE a ŠIKY (1975). Vysokým počtem zpracovaných vzorníků vyniká zejména práce VYSKOTA (1991). Oba autoři se zabývali kvantifikací biomasy pomocí destruktivních analýz. Model pro zjištění množství biomasy v mladých smrkových porostech vytvořili CHROUST, TESAŘOVÁ (1985). Pro výpočet biomasy smrku ve starších porostech sestavil model ČERNÝ (1990). Z novějších prací na toto téma je třeba zmínit práci POKORNÝ, TOMÁŠKOVÁ (2007). BEF pro smrkové porosty na území České republiky odvodil LEHTONEN et al. (2007).

Cílem prezentované studie je zhodnocení použitelnosti dostupných alometrických modelů (testováno celkem 18 modelů) pro výpočet nadzemní biomasy smrku z oblasti Orlických hor.

## MATERIÁL A METODIKA

### Biomasa vzorníků

Zájmové porosty, ze kterých byly vybrány vzorníky pro stanovení biomasy, se nacházejí v přírodní lesní oblasti (PLO) 25 – Orlické hory. Smrk zde má výrazné zastoupení; v současné době se vyskytuje na 82,9 % plochy, tj. 17 542 ha a i do budoucna se s ním počítá jako s dominantní dřevinou. Cílové zastoupení je 70 %. Porostní zásoba smrku tvoří 89,3 % z celkové zásoby dřeva v PLO (Oblastní plán rozvoje lesů 1999).

Pro zpracování bylo vybráno celkem 9 vzorníků ve třech porostech různého stáří (tab. 1). Porosty byly vybrány tak, aby jejich stanovištní podmínky co nejlépe charakterizovaly příslušnou PLO.

V každém porostu byla metodou zkusných ploch stanovena kruhová základna porostu a z ní byla odvozena střední tloušťka. Následně byly v každém porostu pokáceny 3 úrovně stromy s dimenzemi odpovídajícími hodnotě středního kmene, které byly podrobeny destruktivní analýze.

Biomasa dřeva a kůry kmene byla kvantifikována pomocí vzorníkových kotoučů odebíraných po dvoumetrových sekcích. Biomasa koruny byla zjišťována tak, že z každého přeslenu byla vybrána vzorníková

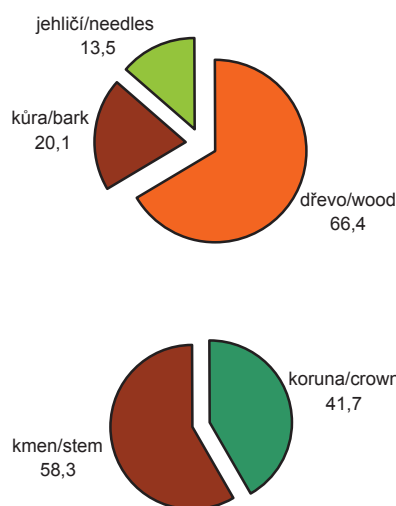
**Tab. 1.**  
Základní charakteristiky porostů  
Basic stand characteristics

Porost/Stand	Zast. smrku/ Spruce share	Zakm./ Stocking	Věk/Age	Stř. tloušťka/ Mean DBH [cm]	Stř. výška/ Mean height	Bonita/ Site index	Lesní typ/ Forest type	Nadm. výš. [m n.m.]/ Altitude [m]
2 B14	45	9	135	32	22	20/9	6K6 <sup>1</sup>	790
8 D5	100	9	49	20	14	22/5	7N2 <sup>2</sup>	950
2 B2	75	10	17	-	6	22/5	6K7 <sup>1</sup>	770

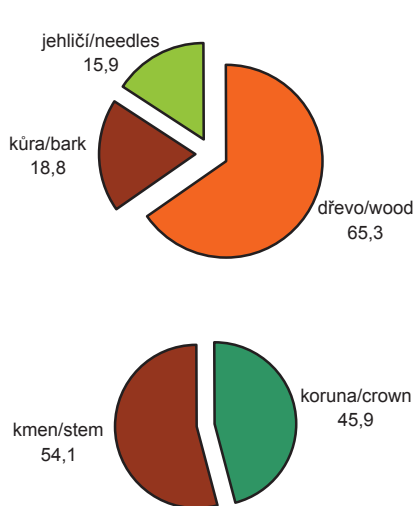
<sup>1</sup>Acidic Spruce-Beech, <sup>2</sup>Stony-Acidic Beech – Spruce

**Obr. 1.**  
Procentický podíl biomasy jednotlivých komponent (průměrné hodnoty pro mladé, středně staré a staré vzorníky)  
**Fig. 1.**  
Percentage of particular biomass components (mean values for young, middle-aged and old sample trees)

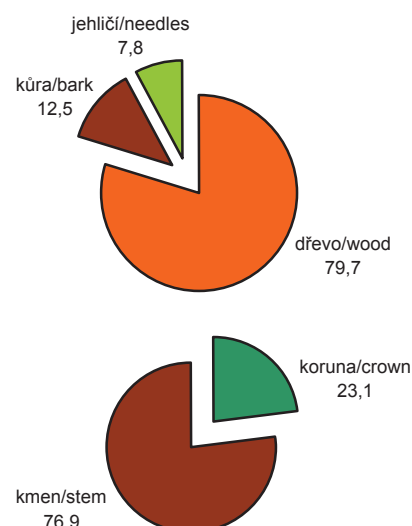
#### Mladé vzorníky/Young sample trees



#### Středně staré vzorníky/Middle aged sample trees



#### Staré vzorníky/Old sample trees



větev, jež byla zvážena *in situ* a byl stanoven počet větví v každém přes-lenu. Kromě toho byla koruna rozdělena na třetiny a z každé části byla odebrána větev, u které byly separovány kůra, jehličí a dřevo. Stejným způsobem se zjišťovala hmotnost biomasy pro špičku každého vzor-níku. Separace jednotlivých segmentů biomasy byla provedena zčásti *in situ*, zčásti v laboratoři. Zbývající čerstvé větve byly váženy *an bloc*. Kromě toho byla zjišťována i váha suchých větví vzorníků (mrtvé dře-vo) a rozměry pařezu.

Vzorníkové větve a kotočce byly odvezeny do laboratoře a rozděleny na jednotlivé části (dřevo, kůra, asimilační orgány a zelené větvičky). Termín „zelené větvičky“ je použit v této práci pro nejslabší konce vět-ví s jehličím, u kterých nešlo separovat dřevo a kůra. Jednotlivé seg-menty biomasy byly následně vysušeny do konstantní hmotnosti při 80 °C a zváženy. Objem dřeva a kůry byl zjištěn xylometricky.

### Modely pro zjišťování biomasy

Testováno bylo 18 modelů pro výpočet celkové nadzemní biomasy smrku (tab. 2). V rovnicích jsou regresní koeficienty značeny malými písmeny (např. a, b); pro označení parametrů jsou použita písmena velká: D je výčetní tloušťka, H je výška stromu, AB je nadzemní bio-masa celková, BR je biomasa větví, FL biomasa asimilačních orgánů, ST biomasa kmene a DB biomasa suchých větví. Hodnoty koeficientů pro jednotlivé rovnice jsou k dispozici v použité literatuře. Výsledky jsou u jednotlivých autorů uváděny nejčastěji v kg, nechybí však ani výsledky uváděné v g, případně v logaritmech zjištěné hmotnosti. Prezentované výsledky jsou převedené na hmotnost v kg. Většina rov-nic je uvedena v práci ZIANISE et al. (2005). Novější sdělení zveřejnil REPOLA (2009). Všechny rovnice kvantifikují celkovou nadzemní bio-

masu, tj. biomasu kmene a větví včetně kůry a asimilačních orgánů. V naprosté většině model tvoří pouze jedna rovnice, výjimku předsta-vuje model WIRTH et al. (2004), kde je pro každý segment vzorníku uvedena zvláštní rovnice. Celková nadzemní biomasa je dána součtem výsledků dílčích rovnic.

Výběr rovnic obsahuje modely používající jako parametr pouze výčet-ní tloušťku, ale i rovnice, kde se ve výpočtu používá jak tloušťka, tak výška. Výběr rovnic v této práci není omezen pouze na modely pro Českou republiku nebo střední Evropu, ale obsahuje i rovnice finské, švédské, norské, dánské, belgické, německé a islandské. Rovnice jsou v tomto příspěvku značeny pořadovým číslem shodným s pořadím v tab. 2 a jménem autora.

### Porovnání modelů

Pro posouzení jednotlivých modelů byly zvoleny následující postupy. Nejprve byly vzorníky rozděleny do třech skupin podle věku (mladé – 17 let, středně staré – 49 let a staré – 135 let). Pro každou skupi-nu byla vypočtena průměrná empirická hodnota nadzemní biomasy a průměrná hodnota nadzemní biomasy, a sice za použití daného modelu; následně byla vyčíslena absolutní odchylka modelové hodno-ty od empiricky stanovené biomasy. V dalším kroku byly porovnávány výsledky z jednotlivých modelů s empirickými daty pro celý soubor vzorníků bez ohledu na věk. Hodnocení modelů bylo provedeno na základě porovnání mediánů vypočtených hodnot a mediánu hodnot empiricky zjištěných. Dále bylo pro celý soubor vzorníků provedeno porovnání empirických a modelových hodnot pomocí oboustranného párového t-testu a byla vyčíslena střední kvadratická chyba pro jed-notlivé modely.

Tab. 2.

Seznam použitých modelů pro výpočet biomasy  
List of biomass functions

Číslo modelu/ Model No.	Model	Autor/Author
1.	$AB = a + b * H + c * D^2$	LAITAT et al. (2003)
2.	$AB = a * (D + 1)^{b+c*log(D)} * H^d$	CHROUST, TESAŘOVÁ (1985)
3.	$AB = a * D^b$	ČERNÝ (1990)
4.	$AB = a * [(D^2) * H]^b$	ČERNÝ (1990)
5.	$AB = a * D^2 * H$	MØLLER (2000)
6.	$AB = a * D^2 * H$	MØLLER (2000)
7.	$AB = a + b * D + c * D^2$	BRIGGS, CUNIA (1982)
8.	$AB = a + b * D^2 + c * (D^2 * H)$	BRIGGS, CUNIA (1982)
9.	$AB = a + b * D + c * D^2$	FIEDLER (1986)
10.	$AB = a + b * D + c * D^2$	POEPEL (1989)
11.	$AB = a + b * D + c * D^2$	POEPEL (1989)
12.	$AB = a + b * D + c * D^2$	POEPEL (1989)
13.	$AB = a * D^2 * H$	SNORRASON, EINARSSON (2006)
14.	$AB = a * D^2 + b * (D^2 - c)$	BRÆKKE (1986)
15.	$AB = a * D^b$	BRÆKKE (1986)
16.	$\log(AB) = a + \log[H * (D^2)] * b$	NIHLGÅRD (1972)
17.	$AB = e^{\ln(BR)} + e^{\ln(DB)} + e^{\ln(FL)} + e^{\ln(ST)}$	WIRTH et al (2004)
18.	$\ln(y_{ki}) = b_o + b_1 * \left( \frac{d_{s_{ki}}}{d_{s_{ki}} + 20} \right) + b_2 * \ln(h_{ki}) + u_{ki} + e_{ki}$	REPOLA (2009)

## VÝSLEDKY

### Biomasa vzorníků

Empiricky zjištěná hmotnost v sušině jednotlivých komponent nadzemní biomasy vzorníků je uvedena v tab. 3. Největší podíl dřeva na celkové bilanci biomasy byl zjištěn u starých vzorníků – skoro 80% (obr. 1). U středně starých a mladých vzorníků je podíl dřeva nižší a dosahuje podobných hodnot (65,3 %, resp. 66,4 %). Mladé a středně staré vzorníky mají výrazně větší podíl jehličí a kůry (obr. 1). Zjištěné hodnoty ukazují, že u mladých a středně starých vzorníků je výrazně větší část biomasy soustředěna v koruně (41,7 %, resp. 45,9 %), zatímco u starých vzorníků činí podíl biomasy koruny jen 23,1 % (obr. 1).

### Porovnání výsledků modelů v rámci věkových skupin

Většina použitých rovnic oproti empiricky zjištěným datům údaj o množství nadzemní biomasy nadhodnocuje (obr. 2). K nejvyššímu nadhodnocení došlo v případě starých a středně starých vzorníků aplikací modelu 2 (Chroust), u mladých vzorníků pak aplikací modelu 3 (Černý 1). U starých vzorníků podhodnocuje hodnotu biomasy pět modelů. U středně starých vzorníků podhodnocují tři modely, u mladých vzorníků jeden model. Nejmenší odchylky od empirické hodnoty dosáhly pro mladé vzorníky modely 15 (Braeke 2) a 1 (Laitat). Pro středně staré vzorníky modely 13 (Snorrason) a 15 (Braeke 2). Pro staré vzorníky se nejlépe osvědčily modely 11 (Poeppel 2) a 14 (Braeke 1) (obr. 2).

### Porovnání výsledků modelů pro celý soubor vzorníků

Hodnotu nadzemní biomasy nejvíce nadhodnocuje model 2 (Chroust), naproti tomu podhodnocení skutečné hodnoty bylo zaznamenáno ze všech 18 modelů pouze u modelu 1 (Laitat) a modelu 13 (Snorrason) (obr. 3). Nejmenší rozdíl mezi mediánem skutečných a modelových hodnot byl dosažen při použití modelů 13 (Snorrason), 14 (Braeke 1) a 15 (Braeke 2). Rozdíl mezi mediány empirické biomasy vzorníků a modelové biomasy činil -20,4 kg (Snorrason), +25 kg (Braeke 1) a -37,6 kg (Braeke 2). Rozdíl mezi skutečnými a modelovými hodnotami biomasy byl testován oboustranným párovým t-testem. Pro modely 1 (Laitat), 2 (Chroust), 13 (Snorrason), 14 (Braeke 1) a 15 (Braeke 2) vycházejí rozdíly jako statisticky nevýznamné ( $\alpha = 0,05$ ).

Nejnižší hodnoty střední kvadratické chyby vychází pro modely 14 (Braeke 1), 1 (Laitat) a 13 (Snorrason). Hodnoty střední kvadratické chyby pro všechny modely jsou uvedeny v tab. 4, zvláště jsou modely se statisticky nevýznamným rozdílem empirických a modelových hodnot dle oboustranného párového t-testu.

Tab. 3.

Hmotnost v sušině jednotlivých komponent nadzemní biomasy vzorníků  
Dry weight of particular components of sample tree aboveground biomass

	Mladé vzorníky/ Young trees			Středně staré vzorníky/ Middle-aged trees			Staré vzorníky/ Old trees		
	15	22	51	6	X	Y	20	23	24
$d_{1,3m}$ /DBH [cm] <sup>1</sup>	17,5	20,8	18,9	25,4	26,2	25,6	49,4	41,3	42,6
H [m] <sup>2</sup>	12,5	10,6	11,6	17,2	17,6	17,2	29,1	24,5	26,9
NK/HCB [m] <sup>3</sup>	7,1	5,9	6,5	7,8	7,3	8,9	18,2	13,9	16,5
Dřevo/Wood [kg]	41,4	46,0	41,2	97,2	118,3	107,2	661,7	398,5	472,7
Kůra/Bark [kg]	9,6	12,4	17,0	23,0	37,0	32,7	94,5	62,1	83,5
Jehličí/Needles [kg]	8,3	8,7	9,1	15,9	33,7	29,0	56,6	36,8	56,1

<sup>1</sup>Výčetní tloušťka/Diameter at the breast height [cm], <sup>2</sup>Výška stromu/Tree height [m], <sup>3</sup>Výška nasazení koruny/Height to the crown base [m]

## DISKUSE

Biomasa kmene v sušině dosahuje podílu 76,9 % z celkové nadzemní biomasy starých vzorníků. To odpovídá výsledkům, které uvádí VINŠ, ŠIKA (1975). U mladých a středně starých vzorníků se poměr zmenšuje ve prospěch koruny. Konkrétně je to 54,1 % pro středně staré vzorníky, resp. 58,3 % pro vzorníky mladé.

VINŠ, ŠIKA (1975) uvádí podíl jehličí z hmotnosti koruny 35 % pro volný porost a 43 % pro porost zapojený. K obdobným výsledkům dospěla i tato práce, kdy podíl biomasy jehličí k biomase koruny dosahuje u zkoumaných starých vzorníků průměrné hodnoty 34,1 %. Celková podobnost výsledků je zřejmě způsobena faktem, že vzorníky zpracované v práci VINŠE a ŠIKY (1975) byly odebírány v oblasti Šerlich v Orlických horách. Tato lokalita je stanovištěm velmi podobná plochám, kde se odebíraly vzorníky analyzované v této práci.

Možnost dalšího srovnání poskytuje práce ČERNÉHO (1990), který uvádí pro vzorníky z oblasti středních Čech průměrný poměr biomasy jehličí k celkové biomase v rozmezí 6,1 – 6,5 %, dále poměr biomasy kmene k celkové biomase 81,0 – 82,8 % a poměr biomasy koruny k celkové biomase 17,1 – 19,0 %. Stáří hodnocených porostů bylo 57 – 106 let. Tento věk dobře odpovídá věku středně starých a starých vzorníků (49 – 135 let), které jsou hodnoceny v této práci. Analogické poměry komponent k celkové biomase jsou u nich pro jehličí 7,8 – 15,9 %, kmen 76,9 – 54,1 % a korunu 23,1 – 49,9 %. U vzorníků středně starého smrku je patrný vyšší podíl jehličí v koruně i samotné koruny na celkové biomase v porovnání se vzorníky ze středních Čech. To může být způsobeno rozdílnými ekologickými podmínkami i péstebními zásahy. V důsledku hustšího zápoje se u porostů v nižších nadmořských výškách vyvíjejí kratší koruny. Podíl biomasy kmene naopak vychází vyšší ve prospěch vzorníků ze středních Čech.

Pokud vzájemně porovnáme výsledky modelů počítané pro celý soubor vzorníků bez ohledu na věk, pak výrazně odlehle hodnoty dává model 2 (Chroust). O něco lepších výsledků dosahuje tento model pro mladé a středně staré vzorníky. Ve srovnání se starými vzorníky je procentický rozdíl až dvojnásobný. Tato skutečnost může být způsobena tím, že autor svůj model „dimenzoval“ pro mladší porosty, konkrétně pro stromy s průměrem ve výčetní výšce v rozmezí 1 – 11 cm a výškou 2 – 9 m, navíc se zavětvením po celé délce kmene.

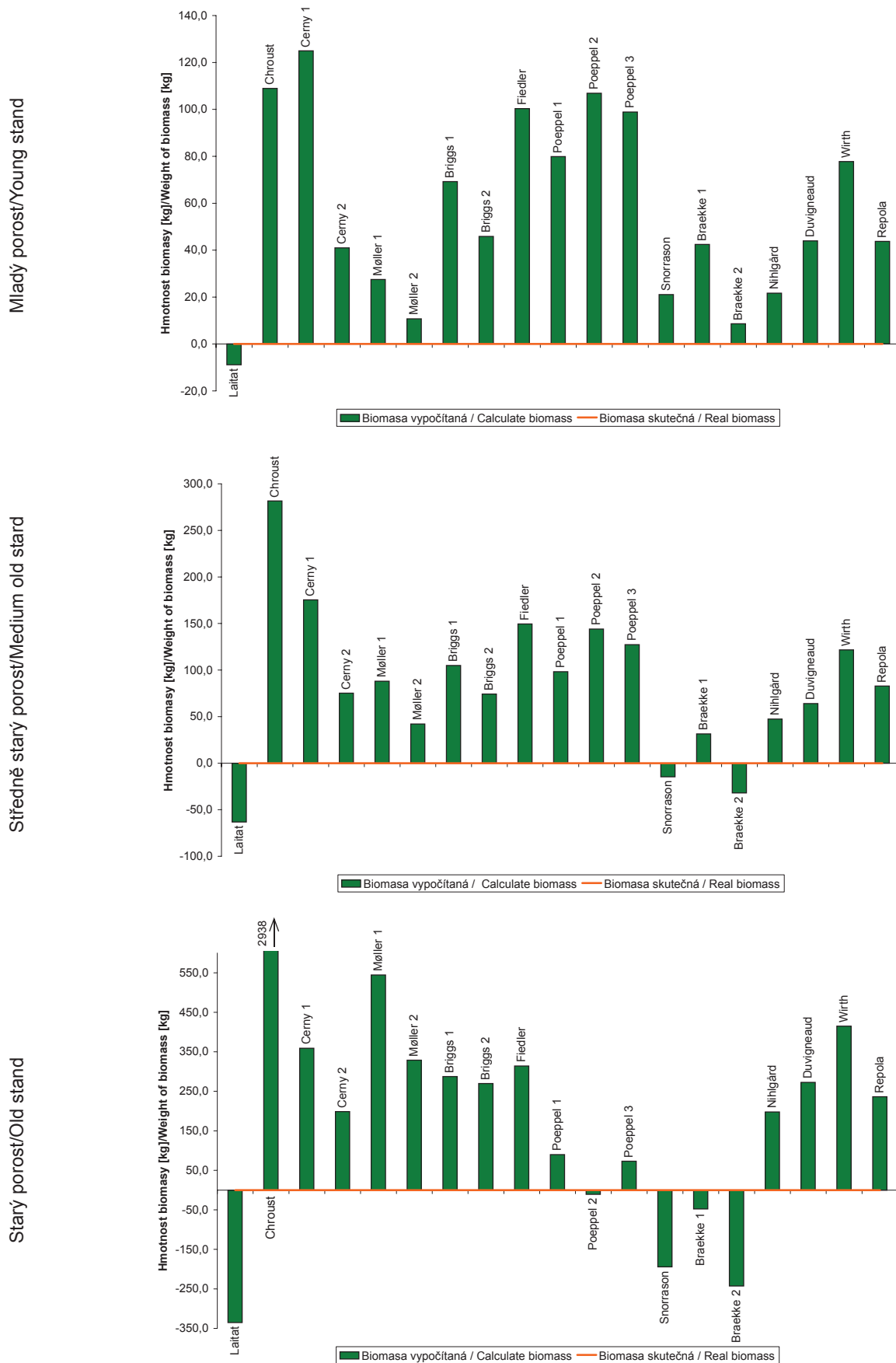
V práci CHROUST, TESAŘOVÁ (1985) tvořila průměrná biomasa kmene 43 %, větví 28,6 % a jehličí 28,4 % z celkové nadzemní biomasy stromu. Pro mladé vzorníky hodnocené v předkládaném příspěvku představují ekvivalentní hodnoty podílů komponent celkové nadzem-

**Obr. 2.**

Absolutní odchylka modelové hodnoty od empirické hodnoty nadzemní biomasy pro jednotlivé věkové skupiny vzorníků

**Fig. 2.**

Absolute difference of modelled and empirical aboveground biomass values for particular age groups of sample trees

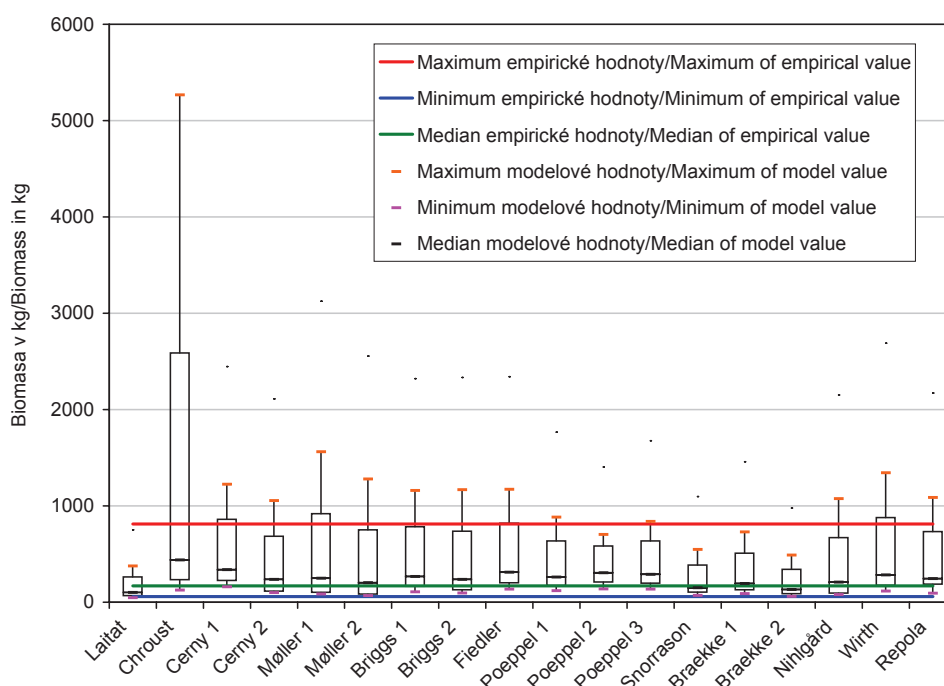


**Obr. 3.**

Porovnání výsledků modelů pro celý soubor vzorníků bez ohledu na věk

**Fig. 3.**

Evaluation of biomass models for all sample trees together without regard to the age



**Tab. 4.**

Hodnoty střední kvadratické chyby a hodnoty pravděpodobnosti p párového t-testu pro celý soubor vzorníků  
The values of mean square error and the probability values of pair t-test for all sample trees

Číslo modelu/ Model No.	Autor/Author	n <sup>1</sup>	MSE <sup>2</sup>	RMSE <sup>3</sup>	Hodnota p/ p value <sup>4</sup>
<b>1.</b>	<b>LAITAT ET AL. (2003)</b>	<b>9</b>	<b>8704</b>	<b>93</b>	<b>0,1653</b>
<b>2.</b>	<b>CHROUST, TESAŘOVÁ (1985)</b>	<b>9</b>	<b>3727236</b>	<b>1931</b>	<b>0,0302</b>
3.	ČERNÝ (1990)	9	66542	258	0,0002
4.	ČERNÝ (1990)	9	18322	135	0,0016
5.	MØLLER (2000)	9	111764	334	0,0180
6.	MØLLER (2000)	9	47092	217	0,0234
7.	BRIGGS, CUNIA (1982)	9	38010	195	0,0013
8.	BRIGGS, CUNIA (1982)	9	31640	178	0,0042
9.	FIEDLER (1986)	9	50058	224	0,0003
10.	POEPPPEL (1989)	9	9661	98	0,0000
11.	POEPPPEL (1989)	9	14923	122	0,0122
12.	POEPPPEL (1989)	9	12836	113	0,0000
<b>13.</b>	<b>SNORRASON, EINARSSON (2006)</b>	<b>9</b>	<b>16189</b>	<b>127</b>	<b>0,0594</b>
<b>14.</b>	<b>BRÆKKE (1986)</b>	<b>9</b>	<b>2737</b>	<b>52</b>	<b>0,3132</b>
<b>15.</b>	<b>BRÆKKE (1986)</b>	<b>9</b>	<b>24423</b>	<b>156</b>	<b>0,0328</b>
16.	NIHLGÅRD (1972)	9	16660	129	0,0080
17.	WIRTH ET AL. (2004)	9	75317	274	0,0032
18.	REPOLA (2009)	9	26397	162	0,0020

<sup>1</sup>Počet vzorníků/Number of sample trees

<sup>2</sup>Střední kvadratická chyba/Mean square error

<sup>3</sup>Odmocnina střední kvadratické chyby/Root mean square error

<sup>4</sup>Hodnota p oboustranného párového t-testu/p value for two-tail pair t-test



ní biomasy 58,4 % (kmen), 28,2 % (větvě) a 13,5 % (jehličí). Zatímco biomasa větví je téměř totožná s hodnotou uváděnou CHROUSTEM a TESAŘOVOU (1985), podíl jehličí je u vzorníků z Orlických hor výrazně menší, a naopak podíl biomasy kmene výrazně větší než u směsi vzorníků z oblasti Orlických hor a Broumovských stěn, kde prováděli výzkum CHROUST a TESAŘOVÁ (1985). Může to být způsobeno odlišným věkem vzorníků z obou lokalit a podobně jako u výše uvedených zjištění např. rozdílem v zápoji hodnocených porostů.

KONŮPKA a ZILINEC (1999) uvádí pro smrkové vzorníky ve své práci poměr koruny k celkové biomase 26 % a poměr kmene 74 %. Porost, který zpracovávali, měl věk 60 let, což odpovídá věkové skupině středně starých vzorníků, prezentované v tomto příspěvku. Ovšem podíl biomasy koruny na celkové biomase je v našem případě 45,9 %, podíl biomasy kmene 54,1 %. Tento rozdíl je způsoben pravděpodobně výrazně nižší nadmořskou výškou lokality, na které zpracovávali biomasu Konůpka a Zilinc (550 m n. m.), a dále rozdílnými stanovištními podmínkami.

Absolutní odchylky modelových hodnot od empiricky zjištěných dat dosahují pro všechny modely velkého rozpětí. Z hlediska případného dalšího využití se jeví jako vhodné neomezovat se při hodnocení na jeden model, ale použít pro každou věkovou skupinu takový model, který ji nejlépe vystihuje. Většina použitých modelů nadhodnocuje. Nejmenší nadhodnocení je u starých vzorníků, ovšem s výjimkou modelu 2 (Chroust). Tento model by bylo vhodné z hodnocení vyřadit a zvážit možnosti jeho využití pouze v mladších porostech menších dimenzí, které odpovídají základnímu souboru, ze kterého byl model odvozen (CHROUST, TESAŘOVÁ 1985).

Biomasa středně starých vzorníků nejlépe charakterizuje model 13 (Snorrason). Průměrná hodnota nadzemní biomasy, vypočtená pomocí tohoto modelu, dosahuje 92,5 % empiricky zjištěné hodnoty. Jedná se o zajímavé zjištění vzhledem k faktu, že tento model byl vytvořen pro podmínky Islandu (SNORRASON, EINARSSON 2006). Vysoká podobnost zjištěných hodnot může být způsobena srovnatelnými růstovými podmínkami s našimi horskými stanovišti.

Na základě porovnání výsledků modelů pro všechny vzorníky bez ohledu na věk pomocí oboustranného párového t-testu se jako nejvhodnější jeví použít pro odhad biomasy modely 1 (Laitat), 14 (Braekke 1) 13 (Snorrason), 2 (Chroust), a 15 (Braekke 2). První 3 jmenované modely zároveň dosahují nejmenší hodnoty střední kvadratické chyby. Model Laitat poněkud znevýhodňuje skutečnost, že autor jako nezávislou proměnnou používá tloušťku kmene u země ( $d_0$ ) a musí se provadět příslušná korekce na hodnotu tloušťky ve výšce  $d_0$ . V této práci byl k tomuto účelu použit postup (LAASASENAHO 1982 in REPOLA 2009). Model 1 (Chroust) nelze doporučit, neboť dosahuje největší hodnoty střední kvadratické chyby a také rozdíl mediánů empirických a modelových hodnot je ze všech modelů nejvyšší.

Vzhledem k dendrometrickým charakteristikám základních souborů se jeví jako nejvhodnější model 13 (Snorrason) (SNORRASON, EINARSSON 2006). Pokud odhlédneme od vlastností základního souboru, lze pro kvantifikaci biomasy v oblasti Orlických hor doporučit i model 14 (Braekke 1).

Přesnost výpočtů podle jednotlivých vzorců ovlivňuje mnoho faktorů. Jedná se zejména o dendrometrické charakteristiky vstupního souboru dat ( $h$ ,  $d_{1,3}$ ), dále o stanovištní a růstové podmínky, případně provenienci dřeviny. Všechny tyto skutečnosti je při použití konkrétního modelu třeba vzít v úvahu. Rozdíly v poměrném zastoupení jednotlivých stromových segmentů v závislosti na stanovišti a růstových podmínkách naznačují i zde prezentované výsledky. Vytvoření modelu pro výpočet biomasy ovlivňuje i náročnost sběru dat a z toho se odvíjející velikost základních souborů pro tvorbu modelu.

## ZÁVĚR

V PLO 25 Orlické hory byly pokáceny tři vzorníky smrku v každém ze tří vybraných porostů různého stáří (17, 49, 135 let) za účelem kvantifikace celkové nadzemní biomasy. Tyto vzorníky byly následně změřeny a zváženy a byla u nich zjištěna hmotnost jehličí, dřeva a kůry jak v čerstvém stavu, tak v sušině. Dále byla vyčíslena hmotnost biomasy kmene a koruny. Následně bylo vybráno 18 modelů pro zjišťování nadzemní biomasy smrku. Pomocí každého modelu byla provedena kalkulace nadzemní biomasy pro všechny vzorníky. Tyto výsledky byly porovnány se skutečně zjištěnými hodnotami. Porovnání bylo provedeno dvěma způsoby, jednak s ohledem na věk vzorníků, a jednak bez ohledu na věk.

U mladých vzorníků dosahuje podíl biomasy koruny v sušině 41,7 % z celkové hmotnosti biomasy. Velmi podobné výsledky byly zjištěny i pro středně staré vzorníky (45,9 %). S rostoucím věkem podíl biomasy koruny výrazně klesá, v našem případě dosahuje pro staré vzorníky průměrné hodnoty 23,1 % z celkové nadzemní biomasy.

Podíl jehličí činí u mladých vzorníků 13,5 %, u středně starých vzorníků 15,9 %, u starých vzorníků 7,8 % z celkové nadzemní biomasy. Podíl jehličí tedy s věkem klesá, podobně jako podíl biomasy koruny.

Pro kůru byly zjištěny následující hodnoty: mladé smrky 20,1 %, středně staré smrky 18,8 %, staré smrky 12,5 % z celkové nadzemní biomasy vzorníků. Podíl dřeva dosahuje 79,7 % pro staré vzorníky a 66,4 %, respektive 65,3 %, pro mladé a středně staré vzorníky.

Z testování modelů pro zjišťování nadzemní biomasy vyplývají následující závěry. Pro zjištění celkové nadzemní biomasy smrku bez ohledu na věk je nejvhodnější použít model 13 islandského autora Snorrasona a model 14 norského autora Braekkeho. Pokud rozdělíme vzorníky podle věku, pak pro mladé porosty se jako nejvhodnější jeví model 15 norského autora Braekkeho, pro středně staré výše uvedený model 13 Snorrasona a pro staré (mýtní) porosty model 11 německého autora Poeppela. Výše uvedená zjištění jsou platná pro zkoumanou oblast Orlických hor. Výsledky práce naznačují, že stěžejní kritéria pro výběr modelu jsou zejména věk vzorníků a stanovištní podmínky. Z případného hodnocení se doporučuje vyjmout velmi mladé porosty ve stadiu kultur a nezapojených mlazín.

## Poděkování:

Příspěvek vznikl v rámci řešení projektu NAZV QH81246 „Dynamika obsahů hlavních živin ve smrkových a bukových porostech v ČR – možnosti zajištění výživy lesních dřevin jako předpoklad trvale udržitelného pěstování lesů“, dále projektu NAZV QI102A079 „Výzkum biomasy listnatých dřevin“, a výzkumného záměru MZE000207203 „Stabilizace funkcí lesa v antropogenně narušených a měnících se podmínkách prostředí“.

## LITERATURA

- 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 aboveground component biomass for Norway spruce? *Forest Ecology and Management*, 258: 2628-2637.
- BOLLANDSÅS O. M., REKSTAD I., NÆSSET E., RØSBERG I. 2009. Models for predicting above-ground biomass of *Betula pubescens* ssp. cze-repanovii in mountain areas of southern Norway. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 24: 318-332.
- BRAEKKE F. H. 1986. Distribution and yield of biomass from young *Pinus sylvestris* and *Picea abies* stands on drained and fertilized peatland. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 1: 49-66.

- BRIGGS E. F., CUNIA T. 1982. Effect of cluster sampling in biomass tables construction: linear regression models. *Canadian Journal of Forest Research*, 12: 255-263.
- ČERNÝ M. 1990. Biomass of *Picea abies* (L.) KARST. in Midwestern Bohemia. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 5: 83-95.
- FIEDLER F. 1986. Die Dendromasse eines hiebsreifen Fichtenbestandes. *Beiträge für die Forstwirtschaft*, 20: 171-180.
- 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.
- 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. 12. dubna 2012]. Dostupné na World Wide web: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf.html>
- IPCC 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories [on line]. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. [cit. 12. dubna 2012]. Dostupné na World Wide Web: <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. *Annals of Forest Science*, 62: 845-851.
- JENKINS J. C., CHOJNACKY D. C., HEATH L. S., BIRDSEY R. 2003. National scale biomass estimators for United States tree species. *Forest Science*, 49: 12-35.
- KONŌPKA B., ZILINEC M. 1999. Aboveground and belowground biomass comparison between Norway spruce (*Picea abies* /L./ KARSTEN) and silver fir (*Abies alba* MILL.) in mixed fir-spruce stand. *Ekológia (Bratislava)*, 18: 154-161.
- LAITAT E., LEBÈGUE C., PERRIN D., PISSART G. 2003. Séquestration du carbone par les forêts selon l'affectation des terres. *Ministre de l'Agriculture et de la Ruralité, Ministère de la Région Wallonne, Division de la Nature et des Forêts, FuSAGxp*.
- LEHTONEN A., MÄKIPÄÄ R., HEIKKINEN J., SIEVÄNEN R., LISKI J. 2004. Biomass expansion factors (BEFs) for Scots pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forests. *Forest Ecology and Management*, 188:211-224.
- LEHTONEN A., CIENCIALA E., TATARINOV F., MÄKIPÄÄ R. 2007. Uncertainty estimation of biomass expansion factors for Norway spruce in the Czech Republic. *Annals of Forest Science*, 64: 133-140.
- LEVY P. E., HALE S. E., NICOLL B. C. 2004. Biomass expansion factors and root:shoot ratios for coniferous tree species in Great Britain. *Forestry*, 77: 421-430.
- MØLLER I. S. 2000. Calculation of biomass and nutrient removal for different harvesting intensities. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 30: 29-45.
- 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.
- Oblastní plán rozvoje lesů. 1999. Přírodní lesní oblast 25 Orlické hory. Platnost od 1999 do 2018. Textová část. Hradec Králové, ÚHÚL: 224 s.
- PAJTÍK J., KONŌPKA B., LUKAC M. 2008. Biomass functions and expansion factors in young Norway spruce (*Picea abies* [L.] KARST) trees. *Forest Ecology and Management*, 256: 1096-1103.
- POEPEL B. 1989. Untersuchungen der Dendromasse in mittelalten Fichtenbeständen. *Forsteinrichtung und Forstliche Ertragskunde*. Dresden, Technische Universität Dresden: 66 s.
- POKORNÝ R., TOMÁŠKOVÁ I. 2007. Allometric relationship for surface area and dry mass of young Norway spruce aboveground organs. *Journal of Forest Science*, 53: 548-554.
- REPOLA J. 2009. Biomass equations for Scots pine and Norway spruce in Finland. *Silva Fennica*, 43: 625-647.
- SNORRASON A., EINARSSON S. F. 2006. Single-tree biomass and stem volume functions for eleven tree species used in Icelandic forestry. *Icelandic Agricultural Sciences*, 19: 15-24.
- SOMOGYI Z., CIENCIALA E., MÄKIPÄÄ R., MUUKKONEN P., LEHTONEN A., WEISS P. 2006. Indirect methods of large-scale forest biomass estimation. *European Journal of Forest Research*, 126: 197-207.
- STATSOFT, INC. 2011. STATISTICA (data analysis software system), version 10. [on-line]. [cit. 12.01.2012]. Dostupné na World Wide Web: [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).
- TEOBALDELLI M., SOMOGYI Z., MIGLIAVACCA M., USOLTSEV V. A. 2009. Generalized functions of biomass expansion factors for conifers and broadleaved by stand age, growing stock and site index. *Forest Ecology and Management*, 257: 1004-1013.
- VINŠ B., ŠIKA A. 1975. Biomasa nadzemních a podzemních částí vzorníků smrku. *Dílčí závěrečná zpráva. VÚLHM, Jiloviště-Strnady*: 38 s.
- 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 C., 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 CH., SCHUMACHER J. 2008: Generic biomass functions for Common beech (*Fagus sylvatica*) in Central Europe: predictions and components of uncertainty. *Canadian Journal of Forest Research*, 38: 1661-1675.
- ZIANIS D., MUUKKONEN P., MÄKIPÄÄ R., MENCUCINI M. 2005. Biomass and stem volume equations for tree species in Europe. *Silva Fennica, Monographs*, 4: 63 s.
- ZIANIS D., RADOGLU K. 2006. Comparison between empirical and theoretical biomass allometric models and statistical implications for stem volume predictions. *Forestry*, 79: 477-487.



## EVALUATION OF ALLOMETRIC FUNCTIONS FOR THE ASSESSMENT OF NORWAY SPRUCE (*PICEA ABIES* /L./ KARST.) ABOVEGROUND BIOMASS IN THE ORLICKÉ MOUNTAINS (CZECH REPUBLIC)

### SUMMARY

In the Orlické Mountains – three Norway spruce sample trees were cut down in each of 3 stands of different age (17, 49, and 135 years) to quantify total aboveground biomass (Tab. 1). Afterwards the sample trees were measured and weighed; both the fresh and dry weight of needles, wood and bark were assessed. The stem and crown biomass of individual trees was calculated (Tab. 3). Aboveground biomass of each sample tree was computed using 18 different biomass functions selected from European literature (Tab. 2). The results of models were compared with empirical biomass data. Primarily the comparison was carried out with regard to the sample tree age and then without it.

For young spruce sample trees the crown/total aboveground biomass ratio was 41.7%. Similar results were found out for middle-aged sample trees (45.9%). The crown/total biomass ratio is decreasing considerably with tree age, in our case it was 23.1% for old sample trees.

The ratio of needle biomass to the total aboveground biomass is 13.5% for young spruce trees, 15.9% for middle-aged trees, and 7.8% for old trees. The ratio is decreasing with tree age similarly to the crown biomass ratio. The ratio of bark biomass to the total aboveground biomass is 20.1% for young trees, 18.8 % for middle-aged trees, and 12.5 % for old trees. The wood to total biomass ratio is 66.4% for young trees, 65.3 % for middle-aged trees, and 79.7 % for old trees (Fig. 1).

The test of biomass models showed that the models 13 – Snorrason (SNORASSON, EINARSSON 2006) and 14 – Braekke 1 (BRÆKKE 1986) (Tab. 4) give the most accurate results for the biomass assessment without regard to the tree age. When dividing sample trees in groups according to the age, then the model 15 – Brække 2 (BRÆKKE 1986) fits the best to the empirical biomass data of young spruce trees, the model 13 – Snorrason (SNORASSON, EINARSSON 2006) gives the most accurate results for middle-aged trees, and the model 11 – Poeppel (POEPPPEL 1989) shows the best accordance with the old trees biomass (Fig. 2).

The findings mentioned above are valid for the forest region of the Orlické Mountains. The results suggest that the principal criteria for reliable selection of biomass function are the age of assessed trees and site conditions. It is recommended to exclude very young stands (e.g. young plantations) from the assessment.

Recenzováno

---

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Bc. Tomáš Čihák, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.  
Strnady 136, 252 02 Jíloviště, Česká republika  
tel.: 257 892 252; e-mail: cihak@vulhm.cz