



Česká zemědělská univerzita v Praze
Katedra: hospodářské úpravy lesů

Fakulta lesnická a dřevařská
Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro: **Tomáše ČIHÁKA**

obor: lesnictví

Název tématu:

Výpočet nadzemní biomasy smrku ztepilého (*Picea abies* (L.)Karst) v oblasti Orlických Hor

Název tématu v anglickém jazyce:

Determination of above-ground biomass of spruce (*Picea abies* (L.) Karst) in the Orlicke Hory Mts.

Zásady pro vypracování:

- Výběr odběrových míst - porostů
- Charakteristika odběrových míst
- Měření pokácených vzorníků
- Výpočet empirické hodnoty biomasy vzorníků
- Výpočet biomasy podle alometrických rovnic
- Srovnání výsledků



Rozsah grafických prací: 5

Rozsah průvodní zprávy: 40 stran

Seznam odborné literatury:

- Chroust, L., Tesařová, J., 1985: Quantification of above-ground components of 20 years old Norway spruce (*Picea abies*/L./Karsten). In: *Communications Instituti Forestalis Cechosloveniae*. Vol. 14. Jíloviště-Strnady, VÚLHM, s. 111-126.
- Repola, J., 2009: Biomass Equations for Scots Pine and Norway Spruce in Finland. *Silva Fenica* 43(4), s. 625-647.
- Pajtík, J., Konopka, B., Lukač, M., 2008: Biomass functions and expansion factors in young Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) trees. *Forest Ecology and Management* 256, s. 1096-1113.
- Pokorný, R., Tomášková, I., 2007: Allometric relationship for surface area and dry mass of young Norway spruce aboveground organs. *Journal of forest science*, 53(12), s. 548-554.
- Zianis, D., Radoglou, K., 2006: Comparison between empirical and theoretical biomass allometric models and statistical implications for stem volume predictions. *Forestry*, Vol. 79(4), s. 477-487.
- 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, s. 133-140.
- Vyskot, M., 1980: Bilance biomasy hlavních lesních dřevin. *Lesnictví* 26(10), s. 849-882.
- Šmelko, Š., 2007: Dendrometrie. TU Zvolen, II-vydání, 401s.
- Petráš, R., 1991: Soustava česko-slovenských objemových tabulek dřevin. *Lesnický časopis*, 37(1), s. 49-55.
- Vyskot, M., 1991: Nadzemní biomasa adultní populace Smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) Karst). *Lesnictví* 37(6), s. 509-527.
- Černý, M., 1990: Biomas sof *Picea Abies* (L.) Karst. in Midwestern Bohemia. *Scand. J. For. Res.* 5, s. 83-95.
- Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. Róbert Marušák, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: 4.5.2010

Termín odevzdání bakalářské práce: 30.4. 2011

Vedoucí katedry



Děkan

V Praze dne 4.5.2010

ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra hospodářské úpravy lesa

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Výpočet nadzemní biomasy smrku ztepilého (*Picea abies* /L./
KARST.) v oblasti Orlických hor**

Tomáš Čihák

Vedoucí:

doc. Ing. Róbert Marušák, PhD.

PRAHA 2011

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil pouze podkladů, které jsou řádně citovány.

V Lavičkách, dne 27. 4. 2011

Tomáš Čihák

Děkuji doc. Ing. Róbertu Marušákovi, PhD. (FLD ČZU v Praze) za metodické vedení diplomové práce, doc. Ing. Vítovi Šrámkovi, Ph.D. (VÚLHM, v. v. i., Strnady) za poskytnutí základních dat o biomase vzorníků smrku, Ing. Monice Vejpustkové, Ph.D. (VÚLHM, v. v. i., Strnady) za konzultace a poskytnutí literatury, Ing. Petru Novotnému, Ph.D. (VÚLHM, v. v. i., Strnady) za konzultace, poskytnutí literatury a pomoc při úpravě práce, Mgr. Ludmile Boháčové za pomoc s překladem do angličtiny a v neposlední řadě mojí manželce Pavle Čihákové za trpělivost, kterou se mnou měla při psaní bakalářské práce a po celou dobu studia.

Tomáš Čihák

OBSAH

ANOTACE	7
ANNOTATION	9
1. ÚVOD	11
2. LITERÁRNÍ REŠERŠE	12
2.1. POJEM BIOMASA	12
2.2. METODY ZJIŠŤOVÁNÍ MNOŽSTVÍ BIOMASY SMRKU ZTEPILÉHO	13
3. CÍL PRÁCE	22
4. MATERIÁL A METODIKA	23
4.1. LOKALITY ODBĚRU VZORNÍKŮ	23
4.2. CHARAKTERISTIKA VZORNÍKŮ	25
4.3. STANOVENÍ NADZEMNÍ BIOMASY VZORNÍKŮ	25
4.4. POUŽITÉ MODEL Y PRO VÝPOČET NADZEMNÍ BIOMASY SMRKU	26
5. VÝSLEDKY	30
5.1. NADZEMNÍ BIOMASA VZORNÍKŮ	30
5.2. VÝPOČET BIOMASY PODLE ALOMETRICKÝCH ROVNIC	33
5.2.1. Srovnání vypočtené a empiricky stanovené biomasy vzorníků a porostů.....	33
5.2.2. Porovnání výsledků vzorců v závislosti na počtu proměnných a věku porostu	39
5.2.3. Porovnání alometrických modelů pro všechny vzorníky bez ohledu na věk.....	43
6. DISKUSE	46
7. ZÁVĚR	50
LITERATURA	51

Anotace

V předkládané práci jsou prezentovány výsledky zjišťování nadzemní biomasy smrku ztepilého (*Picea abies* /L./ KARST.) v porostech v Orlických horách a jejich následné porovnání s vybranými modely pro výpočet biomasy.

Pro zjištění biomasy bylo vybráno 9 vzorníků smrku ve třech porostech. Průměr vzorníků ve výčetní výšce dosahoval 17,5 – 49,4 cm, výška vzorníků byla 10,6 – 29,1 m.

Porosty byly rozděleny podle věku do tří kategorií, starý porost, středně starý a mladý porost. V každém porostu byly vybrány 3 vzorníky, u kterých byla zjišťována hmotnost biomasy. Průměrná celková hmotnost sušiny vzorníků ve starém porostu byla 640,8 kg, ve středně starém porostu 164,6 kg, a v mladém 64,6 kg. U vzorníků byly dále zjištěny poměr biomasy koruny a kmene a poměr biomasy asimilačních orgánů, kůry a dřeva.

Empiricky zjištěné informace o biomase jednotlivých vzorníků byly porovnány s výpočty biomasy podle vybraných modelů.

Pro porovnání bylo vybráno 19 modelů pro výpočet biomasy. Jedná se o modely českých, německých, finských, švédských, dánských, belgických a islandských autorů včetně modelu vytvořeného speciálně pro středoevropské podmínky. Pro každou skupinu vzorníků bylo provedeno srovnání průměrné hodnoty skutečného množství biomasy a množství vypočítaného podle jednotlivých modelů. Dále byly porovnány absolutní odchylky výsledků s empiricky zjištěnou hodnotou a porovnání výsledků v procentech.

V další fázi byly modely rozděleny do dvou skupin podle počtu proměnných, které daný model používá. Do první skupiny byly zahrnuty modely, které jako proměnné používají výšku a výčetní tloušťku, do druhé skupiny pak modely využívající pouze výčetní tloušťku.

Pro porovnání byly zvoleny dvě charakteristiky. Procenticky vyjádřená odchylka od empiricky zjištěných dat a absolutní odchylka od empiricky zjištěných dat. Většina modelů použitá v této práci odhad biomasy v průměru nadhodnocuje. Největší nadhodnocení dosahuje model Chrousta. Nejvíce podhodnocuje model Laitata. Nejmenší odchylky od průměru za všechny vzorníky dosahuje Brækeho model 1.

Při porovnání skupin modelů se na základě proměřeného materiálu v této práci jako nejvhodnější jeví pro mladé porosty použít model používající jako proměnnou průměr ve

výčetní výšce a výšku stromu. Pro středně starý a starý porost je vhodnější použít modely, které jako proměnnou používají pouze průměr ve výčetní výšce.

Vzhledem k malému počtu vzorníků nelze jednoznačně prokázat obecnou vhodnost konkrétního modelu.

Klíčová slova: nadzemní biomasa, alometrie, smrk

Annotation

In this contribution the results of investigation of over-ground biomass of Norway spruce (*Picea abies* /L. / KARST.) in the stands in Orlické Mts. are presented, and they are compared to selected models for biomass calculation.

To measure biomass, 9 sample trees of spruce were selected in three stands. The DBH (diameter at breast height) of the sample trees in three stands was 17.5 – 49.4 cm; the height was 10.6 – 29.1 m.

The stands were divided in three categories, according to the age: old stand, medium, and young stand. In each stand 3 sample trees were selected, and biomass weight measured. Average total dry mass of the sample trees in the old stand was 640.8 kg, in the medium stand it was 164.6 kg, and in the young stand 64.6 kg. In all sample trees also the proportion of the biomass of the crown and of the stem was stated, and of the assimilation organs, bark and wood.

Empirically measured data of the biomass of individual sample trees have been compared to the calculations of biomass according to individual models.

In total 19 different models of biomass calculation were selected, to compare the results. They were models of Czech, German, Finish, Sweden, Danish, Belgium and Islanding authors, created with special respect to Central-European conditions. Average values of the real biomass amount of each group of the sample trees were compared to the values, as calculated according to individual models. Absolute deviation of the results and empirically measured values were also compared, and the results expressed in percents.

As the next step, the models were divided in two groups, according to the number of variables, as used in individual models. In the first groups there were models using the tree height and DBH, in the second group the models, using only DBH.

To compare the results, two characteristics were used. Deviation of the data, as empirically measured, expressed in percents, and, absolute deviation of the empirically measured data. Most of the models used in this work, over- estimate the biomass in the average. The highest over-estimate was with the Chroust's model. The highest under-estimate with the Laitat's model. The lowest was the deviation of the average of all samplers, using the Bræke's 1 model.

Comparing the results on the base of the material measured, the most suitable in the young stands seems to be to use the model, calculating with DBH and tree height. In the medium and old stand it seems to be more suitable the models, using only DBH as a variable.

Having in mind low number of the sample trees, general suitability of concrete model cannot be stated unambiguously.

Keywords: aboveground biomass, allometry, spruce

1. Úvod

V poslední době stále více vystupuje do popředí potřeba kvantifikace biomasy v ekosystémech. Závazky vyplývající z přijetí mezinárodních dohod nutí i jednotlivé země, které tyto dohody přijaly, podílet se na jejich plnění. Přijetím „Kjótského protokolu“ se státy, které k němu přistoupily, zavazují k jeho plnění. Prováděcím předpisem je IPCC (2005). Jeho část týkající se lesních ekosystémů podává rámcový návod, jak biomasu lesních ekosystémů kvantifikovat. Vhodným základem vstupních dat pro kvantifikaci biomasy je právě probíhající Národní inventarizace lesa. Řada projektů využívá dat z národních inventarizací i pro bilanci biomasy (LEHTONEN 2004, REPOLA 2009).

V České republice se kvantifikací biomasy zabývá nebo zabývala řada autorů – buď přímo empirickým zjišťováním (VINSŠ 1975, VYSKOT 1991), nebo tvorbou modelů pro zjišťování biomasy (CHROUST 1985, ČERNÝ 1990, POKORNÝ 2007).

Podstatnou část bilance biomasy tvoří lesní dřeviny. Jedním z důvodů, proč byl pro tuto práci vybrán smrk ztepilý (*Picea abies* /L./ KARST.), je, že v České republice představuje hlavní hospodářskou dřevinu.

Předkládaná práce si klade za cíl na datech získaných v rámci 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“, jehož řešitelem je Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., provést bilanci biomasy pro vzorníky vybrané v porostech v Orlických horách a následně porovnat vybrané modely pro výpočet nadzemní biomasy s empiricky zjištěnými daty.

2. Literární rešerše

2.1. Pojem biomasa

Kvantifikace biomasy se v poslední době jeví jako stále důležitější. Jedním z mnoha důvodů, proč je této problematice nutno věnovat větší pozornost, jsou i emise skleníkových plynů. Zjišťování množství biomasy je předpokladem pro stanovení množství uhlíku v ekosystémech i prověření možností jeho deponování. Dalším možným využitím je produkce biomasy jako obnovitelného zdroje energie. V neposlední řadě jsou informace o biomase důležité z hlediska pohybu živin v ekosystému a zjištění jejich limitů. V řadě evropských zemí je patrná snaha zúročit data z národních inventarizací lesů pro bilanci biomasy v lesních ekosystémech.

První práce, které se v Československu zabývaly kvantifikací biomasy lesních ekosystémů, vycházely z metodiky Mezinárodního biologického programu organizace UNESCO.

Tento program, který probíhal v letech 1965 až 1974, měl za cíl provést komplexní výzkum organické produkce na souši, ve sladkých vodách a v mořích, včetně zjištění nových přírodních zdrojů a dále objasnění možností lidské přizpůsobivosti měnícím se podmínkám života na zemi. Na tento program navázal program Člověk a biosféra (<http://encyklopedie.vseved.cz/Mezin%C3%A1rodn%C3%AD+biologick%C3%BD+program>). Člověk a biosféra je mezinárodní program, který zkoumá vazby mezi lidskou činností a prostředím.

Snaha o zjištění co nejpřesnějších informací o výskytu skleníkových plynů vyústila na mezinárodní úrovni ve vytvoření a přijetí Kjótského protokolu. Jeho metodický výstup (IPCC 2004) podává rámcový návod, jak zjišťovat množství biomasy v ekosystémech, včetně lesních ekosystémů.

Samotný pojem biomasa je definován jako celková hmota organismů jednotlivých druhů nebo celého společenstva vztažená na jednotku plochy (ROČEK et VOREL 1994).

Jiná definice je, že stromovou biomasou se rozumí celková biologická produkce stromu (ŠMELKO 2007), nebo ústrojná hmota rostliny, populace či porostu v určitém okamžiku (*Slovník cizích slov* 1994).

Pro účely lesního hospodářství se též používá termín dendromasa nebo fytomasa. Vyjadřuje se obvykle jako hmotnost sušiny vztažená k jednotce plochy.

2.2. Metody zjišťování množství biomasy smrku ztepilého

Smrk ztepilý je nejdůležitější hospodářská dřevina střední a severní Evropy. Střední výška hlavního porostu ve 100 letech na nejhorší a nejlepší bonitě v ČR je přibližně v rozmezí 16 – 36 m. Objem kmene na nejlepší bonitě dosahuje až 2 m³. V ČR má smrk těžiště výskytu v oreofytiku. Produkční optimum se nachází v rozmezí 600 – 1 000 m n. m. (MUSIL et HAMERNÍK 2007).

Plocha porostní půdy se smrkem je 1 352 820 ha, tj. 52,16 %. Střední plošný věk smrkových porostů je 63 let a má rostoucí trend (*Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2009*).

Empirické zjišťování množství biomasy je časově i finančně velmi náročná činnost. Platí to jak o samotné přípravě vzorků, tak o vyhodnocování výsledků. Zpracování vzorníků je náročné zejména u stromů větších dimenzí a dále při vyhodnocování podzemní biomasy. Z toho důvodu se relativně více prací zabývá bilancí biomasy mladších porostů.

Biomasa se obvykle uvádí jako hmotnost sušiny, často pro jednotlivé části vzorníku. To předpokládá jejich separaci a další přípravu, včetně zpracování v laboratorních podmínkách.

Vzhledem k pracnosti postupu je pro vytvoření modelů pro výpočet biomasy zpracováván menší počet vzorníků. Ve srovnání s vytvářením hmotových tabulek může být tento rozdíl až řádový. Pro srovnání zpracovává střeoevropský model pro výpočet biomasy, který vytvořili WIRTH, SCHUMECHER et SCHULZE (2004), soubor čítající přibližně 200 až 500 jedinců. Naproti tomu KORSUŇ (1964) uvádí, že při tvorbě hmotových tabulek pro smrk pracoval s daty z 2 111 vzorníků. PETRÁŠ (1991) měl k dispozici 1 491 vzorníků, a to pouze pro Čechy, Moravu a Slezsko.

Snaha a o co nejpřesnější kvantifikaci dřevní hmoty má svoji historii. Lze říci, že až do 18. století byla dřevní hmota v porostech stanovována převážně okulárním odhadem. Zvýšený zájem o zpřesnění měření dřeva spadá přibližně do druhé poloviny 18. století. Souvisel s průmyslovým rozvojem a zvýšenou potřebou dřeva. Vzrostla poptávka po dřevě a tím jeho cena. Vyvstala i potřeba druhování dřeva (NEUMAN 1972).

Z tohoto období pochází i první kubírovací tabulky, které vytvořil Kästner v roce 1758. Na tomto místě nelze nezmínit Huberův vzorec z roku 1828 (1), který se v nezměněné podobě používá dodnes, viz např. MARUŠÁK (2010).

$$v = g_{1/2} * l \quad (1)$$

(v – objem kmene; $g_{1/2}$ – kruhová základna v $1/2$ délky kmene; l – délka kmene)

V tomto období docházelo i k rozvoji dendrometrických pomůcek. K velkému rozvoji dendrometrických metod došlo v 19. století. Do této doby spadá výpočet prvních výtvarnic a sestavení prvních hmotových a růstových tabulek. Ve 20. století se v dendrometrii stále více uplatňují statistické metody založené na hromadném šetření (NEUMAN 1970). Konec 20. století je charakterizován prudkým rozvojem výpočetní techniky, který možnosti zpracování a hodnocení dendrometrických šetření rozšířil dříve těžko představitelným způsobem.

Údaje pro zjištění podílu klestu u vybraných dřevin jsou obsaženy již v tabulkách, které publikovali GRUNDNER et SCHWAPACH (1938) ex MARUŠÁK (2010). Hmota nehroubí je zde vyjádřena jako funkce věku, výšky stromu a výčetní tloušťky. Ve starších lesnických příručkách jsou často uvedena procenta objemu nehroubí a pařezů (KORF 1953).

KORSUŇ et al. ex ŠMELKO (2009) zjistili, že mezi objemem kmene bez kůry, výškou a výčetní tloušťkou existuje vztah v tom smyslu, že objem větví klesá s rostoucí výškou a stoupá s rostoucí výčetní tloušťkou podle vztahu (2).

$$\% \text{vetvi} = \frac{a * (d_{1,3} + 1)^b}{h^c} \quad (2)$$

($d_{1,3}$ – průměr kmene ve výčetní výšce 1,3 m; h – výška stromu; a , b , c – regresní koeficienty)

Jiným způsobem je odvození hmoty větví podle délky koruny vyjádřené v desetinách výšky (PRESSLER ex KORF 1953).

Průkopníkem v oblasti kvantifikace nadzemní biomasy včetně jednotlivých segmentů byl BURGER ex CHROUST (1985), který analyzoval a kvantifikoval biomasu 184 stromů ve věkovém rozmezí 15 – 285 let. Výsledky jeho práce byly publikovány v letech 1937 –

1942. Z jeho výsledků vycházel KITTREDGE (1944) ex CHROUST (1985), který údaje využil pro zjišťování regresního vztahu závislosti množství asimilačních orgánů na výčetní tloušťce stromu. Vytvořil tak základ vzorcové kvantifikace komponentů biomasy. Tuto metodu později rozpracovali mnozí další autoři. Zatímco někteří se drželi původní Kittredgeho funkce (3), další ve snaze zvýšit těsnost proložení regresní funkce ověřovali funkce jiné. Jejich přehled sestavil Fiedler v roce 1979 (CHROUST 1985).

$$\log y = b * \log(D) - a \quad (3)$$

(D – průměr ve výčetní výšce 1,3 m; y – celková biomasa kmene [kg]; a , b – regresní koeficienty)

Práce zabývající se zjišťováním nadzemní biomasy v České republice souvisely s vytvořením hmotových tabulek (KORSUŇ 1964, PETRÁŠ et PAJTÍK 1991). V tomto případě se jednalo především o zjišťování objemu kmene, případně o objem hmoty stromové. Výpočet objemových rovnic pomocí počítačového programu prezentují PETRÁŠ et PAJTÍK (1991). Je zde uveden kód programu pro výpočet objemu kmene, hroubí a hmoty stromové, jakož i rovnice pro výpočet hmoty s kůrou a bez kůry.

Zjišťováním bilance biomasy u smrku se v České republice zabývali např. VINŠ et ŠIKA (1975) a VYSKOT (1991).

Kvantifikací a následným vytvořením modelu pro výpočet nadzemní biomasy mladých smrkových porostů se zabývali CHROUST et TESAŘOVÁ (1985). Na dvou plochách provedli destrukční analýzu celkem 20 vzorníků s průměrem ve výčetní výšce v rozsahu 1,0 – 10,7 cm s výškou 1,85 – 8,57 m. Obě plochy byly situovány v odlišných lokalitách. První se nacházela v Orlických horách, druhá pak v Broumovských stěnách. Hodnoceny však byly společně. Ze zjištěné biomasy vzorníků následně odvodili model pro výpočet biomasy kmene, větví a asimilačních orgánů (4). Rovnice má stejný tvar pro všechny jmenované segmenty, rozdíl je pouze v použitých regresních koeficientech.

$$y = a * (D + 1)^{b+c*\log(D)} * H^d \quad (4)$$

(D – průměr ve výčetní výšce 1,3 m; H – výška stromu; y – celková biomasa kmene [kg]; a , b , c , d – regresní koeficienty)

V rámci programu člověk a biosféra UNESCO proběhlo několik studií zabývajících se kvantifikací biomasy lesních dřevin včetně smrku (zejména VINŠ et ŠIKA /1975/ a VYSKOT /1980/).

Vysokým počtem zpracovaných vzorníků vyniká v České republice zmíněná práce Vyskota. Konkrétně pro smrk bylo kompletně změřeno a zváženo 45 vzorníků ve třech věkových kategoriích (24, 52 a 68 let). V každé kategorii bylo analyzováno 15 vzorníků. Hodnoty biomasy jsou uvedeny jak v čerstvém stavu, tak v sušině. Výsledky jsou uvedeny v $t \cdot ha^{-1}$ včetně průměrného ročního přírůstu stromové biomasy na 1 ha.

Z hlediska počtu vzorníků menší, avšak pokud jde o počet zjišťovaných parametrů rozsáhlejší, je práce autorů VINŠ et ŠIKA (1975). Provedli analýzu čtyř vzorníků ze tří ploch. Jednalo se o plochy Strnady a Želivka (po jednom vzorníku) a plochu Šerlich v Orlických horách (dva vzorníky). U všech vzorníků se zjišťovala jak nadzemní, tak podzemní biomasa, hloubka a hustota prokořenění, a dále hmotnost sušiny jednotlivých ročníků jehličí. Pro všechny vzorníky byla provedena dendrochronologická analýza kmene.

Kvantifikací listové biomasy porostů smrku, borovice a buku se věnoval PETRAŠ (1985). Ve své práci vytvořil model regresní funkce pro výpočet hmotnosti čerstvého jehličí u výše zmiňovaných dřevin. Výsledky jsou uváděny v $t \cdot ha^{-1}$ pro zakmenění 10. Listovou biomasu rozdělil na listy (jehličí) a zelené větvičky. Pro smrk autor použil 283 porostů s rozpětím středních tlouštěk od 4 do 60 cm. Neprováděl destrukční analýzu vzorníků, ale využil dostupné regresní modely. Zkoumal závislosti hmotnosti biomasy na výčetní tloušťce a na výšce. Uvádí, že ve srovnání s dalšími zkoumanými dřevinami má smrk největší hmotnost čerstvého jehličí v závislosti na věku a bonitě; na druhém místě uvádí borovici a na posledním buk. Přírůst hmotnosti má rostoucí trend po celou dobu života stromu na rozdíl od borovice, kde přírůst zelené biomasy nejprve rychle narůstá a pak po kulminaci pozvolna klesá. Autor to zdůvodňuje tvarem koruny obou dřevin.

Tvorbou modelu pro výpočet biomasy smrku se zabýval ČERNÝ (1990). Jedná se pravděpodobně o první pokus sestavit univerzální model pro výpočet nadzemní biomasy v České republice. Ve své práci provedl analýzu 26 vzorníků smrku v oblasti středních Čech. Pro analýzu použil vzorníky ze tří porostů ve věku 57, 78 a 106 let. Průměr ve výčetní výšce se pohyboval v rozmezí 10,5 – 47,2 cm; výška činila 13,6 – 33,4 m.

Z naměřených a zvážených dat autor odvodil parametry regresních rovnic pro všechny části stromu, a to jak pro čerstvou váhu, tak váhu sušiny (5).

$$Y = A1 + X^{A2} \quad (5)$$

(X – viz text níže; Y – biomasa [kg]; $A1$, $A2$ – regresní koeficienty)

Jako proměnná X vstupuje do výpočtu buď výčetní tloušťka v cm (DBH) nebo součin druhé mocniny průměru ve výčetní výšce a výšky stromu $DBH^2 \cdot H$ [$\text{cm}^2 \cdot \text{m}$]. U rovnic pro výpočet hmotnosti jehličí, respektive jehličí a živých větví, je jako proměnná X použit člen $DBH^2 \cdot dH/H$ [$\text{cm}^2 \cdot \text{m} \cdot \text{m}$], kde dH je délka koruny. Koeficient determinace r se prakticky pro všechny rovnice blíží 1, tedy velmi nízké rozrůzněnosti rozptylů dat. Výjimku tvoří rovnice pro mrtvé větve ($r = 0,6562 - 0,6405$).

Porovnáním biomasy smrku a jedle se zabýval KONÓPKA (1999). Pro nadzemní části biomasy obou dřevin uvádí velmi malé rozdíly v poměru jednotlivých komponentů na celkovou biomasu stromu.

O vytvoření univerzálního modelu pro výpočet biomasy smrku ve střední Evropě se pokusili WIRTH, SCHUMACHER et SCHULZE (2003), kteří vytvořili model na podkladě empirických dat z pěti evropských států. Jedním z nich byla i Česká republika, z níž bylo do projektu zahrnuto několik prací (VINŠ et ŠIKA 1975, ČERNÝ 1990, VYSKOT 1991). Dalšími státy, jejichž empirická data byla použita pro tvorbu modelu, byly Dánsko, Belgie, Německo a Švýcarsko.

Modely byly vytvořeny pro jednotlivé segmenty stromů. Zvlášť jsou uvedeny rovnice pro výpočet váhy asimilačních orgánů, živých a mrtvých větví, kmene a podzemní části. Vzhledem k tomu, že je využíváno dat od více autorů, pohybuje se počet analyzovaných vzorníků pro jednotlivé stromové segmenty od 167 do 551 kusů. Tloušťkové rozpětí vzorníků je od 1,8 do 67,6 cm. Výšky se pohybují v intervalu 2 – 43 m.

Bilancí biomasy koruny se zabýval rakouský autor ECKMÜLLNER (2006). Na empirických datech z 296 vzorníků smrku, zkoumá závislost váhy biomasy koruny na základních dendrometrických veličinách, jakými jsou výška a výčetní tloušťka. Další proměnná, která vstupuje do výpočtu, je „poměr koruny“, což je poměr délky koruny k celkové výšce vzorníku.

V Rakousku se kvantifikací biomasy koruny u hospodářských dřevin zabývali HOCHBICHLER, BELLOS et LICK (2006). Ve své práci zpracovali 89 vzorníků smrku ze tří ploch. Výčetní tloušťka byla v rozmezí 9,2 – 43,2 cm, výška vzorníků v rozmezí 12,2 – 31,2 m. Nezabývali se pouze biomasou smrku, ale vytvořili i modely pro borovici, buk a dub. V rovnicích jsou jako proměnné použity výčetní tloušťka a výška. Poměr koruny (výška stromu ku délce koruny) byl použit pouze u rovnic pro buk a dub.

Rovnice vytvořili jednak pro jednotlivé segmenty, tj. asimilační orgány a větve zvlášť, jednak pro společný model pro obě veličiny. Obecně lze říci, že vyšších hodnot koeficientu determinace bylo dosaženo pro modely určené k výpočtu hmotnosti větví, než pro modely sloužící pro výpočet jehličí.

Vytvořením funkce pro výpočet biomasy v mladých porostech smrku se zabývali NEUMANN et JANDL (2005). Jedním z důvodů který je vedl k zjištění biomasy v mladých porostech, bylo zpřesnění odhadů zásoby uhlíku. Pro empirické zjištění biomasy použili 12 vzorníků na dvou plochách. Jako proměnná je ve vzorci použit pouze průměr ve výčetní výšce. Hodnota koeficientu determinace je v rozmezí 0,88 – 0,96, tedy vysoká.

Dá se říci, že použití alometrických rovnic se stalo univerzální metodou pro výpočet biomasy. Alometrická rovnice obecně je taková rovnice, která popisuje změny organismu v průběhu růstu. Existuje celá řada rovnic pro různé dřeviny i pro jednotlivé části stromu. Snaha o jejich rozdělení může vyústit v několik způsobů. Může se jednat například o počet proměnných, které do výpočtu vstupují. Jde především o výčetní tloušťku, dále o výšku stromu, nasazení koruny, délku koruny, poměr koruny k celkové délce ap. Dalším způsobem rozdělení může být počet regresních koeficientů rovnic. Rovnice lze rozdělit i podle části stromu, pro který se biomasa počítá. Jsou známy rovnice pro výpočet celkové biomasy, celkové nadzemní biomasy, rovnice pro výpočet hmotnosti živých a mrtvých větví, rovnice pro výpočet biomasy kořenů i asimilačních orgánů. Spíše výjimečně se objevují modely pro výpočet biomasy plodů. Existují rovnice objemové, ale i rovnice, které udávají výsledek již jako hmotnost sušiny. Seznam dostupných modelů pro výpočet biomasy stromů v Evropě vytvořili ZIANIS et RADOGLU (2005). Jedná se o podrobně sestavený seznam 178 rovnic pro evropské dřeviny včetně smrku. Každá rovnice obsahuje hodnoty regresních koeficientů, které je třeba dosadit, dále rozsah dendrometrických veličin souboru, který byl pro vytvoření rovnice použit i jméno autora.

Vývoj modelů pro výpočet biomasy pokračuje i nadále, takže jsou dostupné i rovnice, které byly publikovány v posledních letech. PAJTIK, KONŮPKA et LUKAČ (2008) se ve své studii zaměřili na smrkové porosty ve věku 1 – 10 let. Na každé z celkem 7 ploch situovaných v pohořích Pořana a Nízké Tatry bylo změřeno přibližně 120 vzorníků. Následně byly vzorníky rozděleny do 10 výškových tříd. Z každé třídy byly vybrány 2 až 3 jedinci pro destruktivní analýzu.

Jedním z důvodů pro zpracování takto mladých vzorníků je skutečnost, že pro tento věkový stupeň alometrické rovnice do té doby chyběly.

Výpočtem biomasy asimilačních orgánů a větví se zabývali POKORNÝ et TOMÁŠKOVÁ (2007). Na 34 vzornících z oblasti Beskyd provedli analýzu biomasy. Jejich práce je zajímavá mimo jiné tím, že se snaží pracovat i s nepříliš často používanými stromovými veličinami, jako je například plocha koruny. V uvedené práci byl zkoumán i vztah mezi korunou stromu, průměrem ve výčetní výšce ap.

Kvantifikací biomasy lesních dřevin ve Finsku se zabýval REPOLA (2009). Pro vytvoření jeho modelu bylo odebráno celkem 613 vzorníků ze 34 stanovišť. Rovnice pro výpočet byly vytvořeny zvlášť pro dřevo a kůru kmene, živé a mrtvé větve, jehličí, biomasu pařezu a kořenů. Průměr ve výčetní výšce se pohyboval v rozmezí 4,2 – 35,0 cm a výška v rozmezí 3,3 – 31,4 m. Věk vzorníků dosahoval 18 až 161 let. Vytvoření modelu souvisí s využitím dat získaných při inventarizaci lesů pro kvantifikaci biomasy lesních dřevin. V publikaci jsou uvedeny celkem tři víceparametrické modely pro výpočet biomasy. Podobně jako u jiných autorů jsou vytvořeny samostatné rovnice pro jednotlivé části stromů i pro celkovou nadzemní a podzemní biomasu. Modely se od sebe mimo jiné liší počtem proměnných. Jsou to průměr ve výčetní výšce, výška stromu a délka koruny. Autor na závěr porovnává výsledky získané pomocí jeho modelů s modely jiných švédských a finských autorů. Způsob tvorby modelů představuje nový trend ve vytváření alometrických rovnic pro výpočet biomasy. Rovnice obsahují více parametrů, kdy do výpočtu vstupují jako proměnné výška a výčetní tloušťka, která je ještě upravena pomocí speciálních koeficientů. V rovnici se dále zohledňují i stanoviště a reziduální chyba.

Biomasa lesních dřevin tvoří jednu z nejvýznamnějších položek v celkové biomase lesního porostu. Pro využití dat z inventarizace lesů se v poslední době stále více uplatňuje využití tzv. BEF (Biomass Extension Factor). Jedná se o koeficient, kterým se vynásobí vybraná porostní veličina. Obvykle je to zásoba porostu, ale může to být např. i kruhová

výčetní základna. Výsledek je podobně jako u rovnic pro výpočet biomasy uváděn v kg sušiny, avšak vztažený k jednotce plochy.

Možné zdroje chyb a porovnání přesnosti při odhadech množství biomasy pomocí alometrických rovnic a pomocí BEF zjišťoval JALKANEN (2005). Ve své práci použil data získaná v rámci národní inventarizace lesů ve Švédsku. Výsledky porovnává jednak s ohledem na region, jednak na věk porostu. Relativně největších nepřesností dosahují pro obě metody odhady v mladých porostech.

Kvantifikací biomasy smrku ve vyšších nadmořských výškách se zabýval KONŮPKA (2011). Na šesti plochách umístěných v nadmořské výšce od 626 do 1 171 m n. m. provedl kvantifikaci celkové biomasy 77 vzorníků smrku. Ve své práci porovnává odhady dosažené pomocí BEF a pomocí alometrického modelu, a možnosti využití těchto způsobů zjišťování biomasy pro porosty v nižších nadmořských výškách.

Problémy, na které naráží zjišťování biomasy v lesních ekosystémech, se zabývali SOMOGYI et al. (2006). Autoři zmiňují zejména následující potíže. Metody používané pro odhady biomasy, např. alometrické rovnice nebo expansní faktory, jsou odvozovány z malého počtu jedinců a mají obvykle pouze regionální platnost. Jsou však často vztahovány k plochám řádově větším (často miliony hektarů). Dalším problémem je nejednotnost používané terminologie, kdy jsou definice často matoucí. Autoři zmiňují možnosti využití metod letecké fotogrammetrie a technologie LiDAR (laserová zobrazovací detekce a vytyčování) pro zjišťování množství biomasy. V případě technologie LiDAR se jedná o systém podobný radaru s tím rozdílem, že používá k zobrazování laserové pulsy (<http://lidar.navajo.cz>).

Autoři se snaží o sjednocení používaných definic. Ve své práci dělí metody zjišťování biomasy na převod z objemu kmene nebo z objemu prodejné části kmene (sortimentu) na celkový objem biomasy, konverze z objemu na biomasu, převod z biomasy kmene, nebo biomasy prodejné části kmene (sortimentu) na celkovou biomasu na odhady množství biomasy kombinací výše zmíněných metod.

ZIANIS et RADOGLU (2006) se ve své práci zabývají porovnáním empirických a teoretických modelů pro zjišťování biomasy lesních dřevin. Jako vstupní sadu dat použili autoři 764 dvojic hodnot biomasy a výčetních tloušťek, dále 59 empirických rovnic pro výpočet nadzemní biomasy a 29 rovnic pro výpočet objemu kmene jehličnatých a listnatých dřevin rostoucích v Norsku a Holandsku. Snaží se o nalezení nejvhodnější

univerzální funkce a porovnávají přesnost jednotlivých postupů a závislost mezi jednotlivými segmenty stromu. Pro výpočet používají jednak metodu nelineární a lineární regrese jednak metodu speciálních predikčních modelů. Mezinárodní panel pro klimatickou změnu (IPCC) doporučuje pro odhady zásoby biomasy použít nejpřesnější metody zjišťování. Metody by měly být transparentní a ověřitelné. Faktem zůstává, že pro lesní ekosystémy nejsou ve většině případů známy rozsahy možných nepřesností.

Zdroji a kvantifikaci možných nepřesností pro BEF se zabývali LEHTONEN et CIENCIALA (2007). Vytvořili BEF pro výpočet biomasy smrku v podmínkách České republiky. Pro výpočet byla použita data z 325 ploch. Minimální podíl kruhové výčetní základny smrku byl 97 %. Pro 65 ploch z celkového počtu byla k dispozici opakovaná měření po 5 letech. Na každé ploše bylo měřeno průměrně 189 jedinců; věk měřených stromů se pohyboval v rozmezí 32 – 143 let. Výčetní kruhová základna se nacházela v rozmezí 14,5 – 73,1 m².ha⁻¹. Samotný BEF vyjádřený jako poměr nadzemní biomasy a objemu kmene bez kůry je uváděn v mg.m⁻³.

3. Cíl práce

Cílem bakalářské práce je kvantifikace nadzemní biomasy vzorníků smrku a následně výběr nejvhodnějšího modelu pro výpočet nadzemní biomasy smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) KARST.) podle publikovaných rovnic různých autorů na základě srovnání s empiricky stanovenou hodnotou nadzemní biomasy vzorníků smrku z porostů v Orlických horách.

4. Materiál a metodika

4.1. Lokality odběru vzorníků

Zájmové porosty se nacházejí v přírodní lesní oblasti (PLO) 25 – Orlické hory. Průměrná roční teplota se zde pohybuje v rozmezí 4 – 6 °C, roční úhrn srážek 800 – 1 300 mm. Plošně nejvíce zastoupený je 6. lesní vegetační stupeň (56 % plochy), ze souborů lesních typů je to 6K (31,3 %). Z půdních typů převažují podzoly (30 %) a kryptopodzoly (22 %). 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. Přírodní lesní oblast 25 Orlické hory.* 1999).

Místa pro odběr vzorníků byla vybírána mimo jiné s ohledem na to, aby se v blízkosti nacházela plocha intenzivního monitoringu projektu FUTMON, u které jsou známa klimatická data, výše depozic a další parametry potřebné k plnění hlavního projektu.

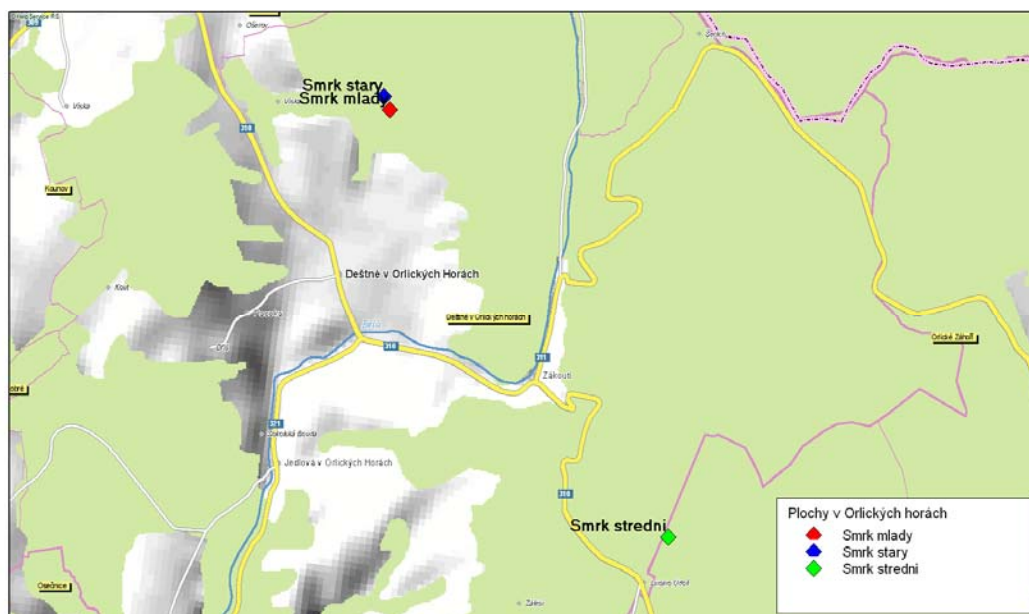
Porosty, kde se uskutečnil odběr biomasy, se nacházejí na majetku dvou vlastníků – Správa Kolowratských lesů (porosty 2 B2, 2 B14) a Lesy Janeček Kvasiny (porost 8 D5). Plochy pro odběr vzorků biomasy byly vybrány na stanovištích kyselé edafické řady (N, K) v 6. a 7. lesním vegetačním stupni. Půdním typem v porostu 2 B2 je kryptopodzol modální, v porostech 2 B14 a 8 D5 podzol modální (VORTELOVÁ 2011, in verb.). Půdní a typologické charakteristiky porostů tak poměrně přesně odpovídají podmínkám typickým pro danou přírodní lesní oblast. Údaje o jednotlivých porostech z LHP jsou uvedeny v tabulce 1. Porosty určené k odběru vzorníků byly vybrány tak, aby pokud možno co nejlépe charakterizovaly poměry v dané PLO. Zeměpisné souřadnice ploch a nadmořskou výšku přináší tabulka 2. Mapa ploch je zobrazena na obrázku 1. Mapa byla vytvořena pomocí programu Janitor.

Tab. 1 – Údaje z LHP vztahující se k zájmovým porostům

Porost	Dřevina	Vlastník	Platnost LHP	Zastoupení	Zakmenění	Věk	Střední $d_{1,3}$	Střední výška	Bonita (AVB/relativní)	SLT
2 B14	SM	Správa Kolowratských lesů	2001 – 2010	45	9	135	32	22	20/9	6K6
2 B2	SM	Správa Kolowratských lesů	2001 – 2010	75	10	17	-	6	22/5	6K7
8 D5	SM	Lesy Janeček Kvasiny	2001 – 2010	100	9	49	20	14	22/5	7N2

Tab. 2 – Základní charakteristika ploch odebraných vzorníků

Dřevina	Označení plochy	Porost	Věk	Severní šířka	Východní délka	Nadmořská výška
SM	Starý SM	2 B14	140	50°19'03"	16° 21'12"	790 m n. m.
SM	Střední SM	8 D5	50	50°17'24"	16° 23'25"	950 m n. m.
SM	Mladý SM	2 B3	30	50°19'00"	16° 21'15"	770 m n. m.



Obr. 1 – Lokalizace ploch odebraných vzorníků

4.2. Charakteristika vzorníků

Porosty pro odběr byly vybírány s ohledem na věk tak, že byl vybrán porost starý, středně starý a mladý. V každém typu porostu byly zaměřeny zkusné plochy a byla zjištěna střední výčetní tloušťka, odvozená z průměrné kruhové základny porostu. Průměry kmenů byly měřeny obvodym pásmem, kruhové plochy byly zaměřovány pomocí ultrazvukového dálkoměru přístroje VERTEX III. Pro vzorníky je v bakalářské práci používáno původní značení z výzkumného projektu NAZV.

Následně byly v každém porostu vybrány tři vzorníky s výčetní tloušťkou blížíící se co nejvíce střednímu kmeni. Průměr ve výčetní výšce se u vzorníků pohyboval v rozmezí 17,5 – 49,4 cm, výška v rozmezí 10,6 – 29,1 m a výška nasazení koruny v rozmezí 5,9 – 18,2 m.

Vzhledem k tomu, že se některá čísla opakovala a mohlo by dojít k záměně, jsou dva vzorníky ve středně starém porostu označeny písmeny X a Y.

Kmenové charakteristiky jednotlivých vzorníků, včetně hmotnosti sušiny jsou uvedeny v tabulce 3.

Tab. 3 – Charakteristika odebraných vzorníků

Číslo vzorníku	Dospělý smrk			Středně starý smrk			Mladý smrk		
	20	23	24	6	X	Y	15	22	51
	Parametry stromu – měřené								
$d_{1,3}$ [cm]	49,4	41,3	42,6	25,4	26,2	25,6	17,5	20,8	18,9
Výška [m]	29,1	24,5	26,9	17,2	17,6	17,2	12,5	10,6	11,6
Nasazení koruny [m]	18,2	13,9	16,5	7,8	7,3	8,9	7,1	5,9	6,5
	Parametry stromu – vypočítané								
Objem kmene [m ³]	2,43	1,50	1,68	0,44	0,47	0,46	0,15	0,17	0,16

4.3. Stanovení nadzemní biomasy vzorníků

Pro zpracování předkládané bakalářské práce byla použita data získaná v rámci výše zmíněného projektu NAZV, na jehož řešení spolupracuji. Projekt je řešen ve Výzkumném ústavu lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., v rámci útvaru ekologie lesa. Předmětem řešení je výzkum dynamiky hlavních živin ve smrkových a bukových porostech v oblasti Jeseníků, Moravskoslezských Beskyd, Českomoravské vrchoviny, Slavkovského lesa a

Orlických hor. Jednou z činností, která se v rámci projektu provádí, je i zjišťování celkové nadzemní biomasy.

Pokácení vzorníků a odběr vzorků byl proveden po ukončení vegetačního období ve dnech 22. – 24. 9. 2008. Po skácení byla u každého vzorníku změřena celková délka a výška nasazení koruny (první živá větev). Špička, tj. prvních 11 – 19 přeslenů, byla odebrána, měřena a vážena samostatně. Z každého přeslenu byla odebrána jedna reprezentativní větev, u které byly stanoveny délka, hmotnost a počet přeslenů. Zároveň byl v každém přeslenu zjištěn počet větví. U ostatních živých a mrtvých větví byla zjištěna celková hmotnost *in situ*.

Pro zjištění biomasy kmene byly odebrány kotouče ve výčetní tloušťce a dále ve vzdálenosti 30, 50 a 80 % délky kmene vzorníku. Kotouče byly zváženy v čerstvém stavu, následně byly odkorněny a bylo zváženo zvlášť dřevo a kůra. Po vysušení bylo opět váženo jak dřevo tak kůra kotoučů.

Vzorníkové větve byly zváženy a následně odkorněny. Byla u nich zjišťována hmotnost kůry, dřeva a jehličí v čerstvém stavu a po vysušení. 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.

U každého vzorníku se určovala hmotnost kůry kmene v sušině, hmotnost dřeva kmene v sušině, hmotnost kůry větví v sušině, hmotnost dřeva větví v sušině a hmotnost „větviček“. Pojem větvičky je v této práci používán pro nejtenčí konce větví, u kterých nebylo možné separovat kůru a dřevo (vážily se tedy dohromady).

Objem kůry a dřeva byl stanoven xylometricky v laboratořích VÚLHM.

Pro potřeby této práce se korunou stromu rozumí všechny větve a špička stromu do tloušťky 7 cm.

4.4. Použité modely pro výpočet nadzemní biomasy smrku

V práci je použito celkem 19 modelů pro výpočet nadzemní biomasy smrku (viz níže uvedený seznam). Regresní koeficienty a parametry v rovnicích jsou označeny následujícím způsobem. Koeficienty jsou značeny malými písmeny (např. a, b); pro označení parametrů jsou použita písmena velká: D je výčetní tloušťka, H je výška stromu,

AB je nadzemní biomasa celková, BR je biomasa větví, FL biomasa asimilačních orgánů, ST biomasa kmene a DB biomasa kůry. 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. V bakalářské práci pracuji již s výsledky převedenými na hmotnost v kg.

Většina rovnic byla převzata z práce ZIANISE (2005). Novější sdělení zveřejnil REPOLA (2009). Všechny rovnice kvantifikují celkovou nadzemní biomasu, tj. biomasu kmene a větví včetně kůry a asimilačních orgánů. V naprosté většině model tvoří pouze jedna rovnice, výjimku představuje publikace WIRTH, SCHUMACHER et SCHULZE (2003), kde je pro každý segment vzorníku uvedena zvláštní rovnice. Celková nadzemní biomasa je dána součtem výsledků dílčích rovnic pro jednotlivé části kmene.

Výběr rovnic obsahuje modely používající jako proměnou pouze výčetní tloušťku, ale i rovnice, kde se ve výpočtu používá jak tloušťka tak výška. Výběr rovnic v bakalářské 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 grafech a tabulkách této práce označeny jménem autora. Pokud se vyskytuje více rovnic od jednoho autora, jsou jednotlivé rovnice označeny pořadovým číslem shodným s pořadím v tomto seznamu.

$$AB = a + b * H + c * D^2 \quad (6)$$

LAITAT et al ex ZIANIS (2005)

$$AB = a * (D + 1)^{b+c*\log(D)} * H^d \quad (7)$$

CHROUST et TESAŘOVÁ (1985)

$$AB = a * D^b \quad (8)$$

ČERNÝ (1990)

$$AB = a * [(D^2) * H]^b \quad (9)$$

ČERNÝ (1990)

$$AB = a * D^2 * H \quad (10)$$

MØLLER ex ZIANIS (2005)

$$AB = a * D^2 * H \quad (11)$$

MØLLER ex ZIANIS (2005)

$$AB = a + b * D + c * D^2 \quad (12)$$

BRIGGS et CUNIA ex ZIANIS (2005)

$$AB = a + b * D^2 + c * (D^2 * H) \quad (13)$$

BRIGGS et CUNIA ex ZIANIS (2005)

$$AB = a + b * D + c * D^2 \quad (14)$$

FIEDLER ex ZIANIS (2005)

$$AB = a + b * D + c * D^2 \quad (15)$$

POEPEL ex ZIANIS (2005)

$$AB = a + b * D + c * D^2 \quad (16)$$

POEPEL ex ZIANIS (2005)

$$AB = a + b * D + c * D^2 \quad (17)$$

POEPEL ex ZIANIS (2005)

$$AB = a * D^b * H^c \quad (18)$$

SNORRASON ex ZIANIS (2005)

$$AB = a * D^2 + b * (D^2 - c) \quad (19)$$

BRÆKKE ex ZIANIS (2005)

$$AB = a * D^2 \quad (20)$$

BRÆKKE ex ZIANIS (2005)

$$\log(AB) = a + \log[H * (D^2)] * b \quad (21)$$

NIHLGÅRD ex ZIANIS (2005)

$$\log(AB) = a + b * \log(D) \quad (22)$$

DUVIGNEAUD et TIMPERMAN ex ZIANIS (2005)

$$AB = e^{\ln(BR)} + e^{\ln(DB)} + e^{\ln(FL)} + e^{\ln(ST)} \quad (23)$$

$$\ln(BR) = a + b * \ln(D)$$

$$\ln(DB) = a + b * \ln(D)$$

$$\ln(FL) = a + b * \ln(D)$$

$$\ln(ST) = a + b * \ln(D)$$

WIRTH et al (2004}

$$\ln(y_{ki}) = b_o + b_1 * \left(\frac{d_{s_{ki}}}{d_{s_{ki}} + 20} \right) + b_2 * \ln(h_{ki}) + u_{ki} + e_{ki} \quad (24)$$

$$d_{s_{ki}} = 2 + 1.25 * D$$

REPOLA (2009)

Výpočty alometrických rovnic byly provedeny pomocí programu MS Excel v aplikaci VBA (Visual Basic for Application). Samotné vytvoření grafů a tabulek bylo provedeno v programu Excel. Pro porovnání byl zvolen následující způsob. Vzorníky byly rozděleny podle věku na tři skupiny. Následně byla porovnána absolutní a relativní odchylka výsledků jednotlivých alometrických rovnic od empiricky stanovené hodnoty biomasy. Absolutní odchylkou je v této práci myšlena kladná nebo záporná odchylka hodnot vypočtených pomocí alometrických rovnic od empiricky zjištěné hodnoty.

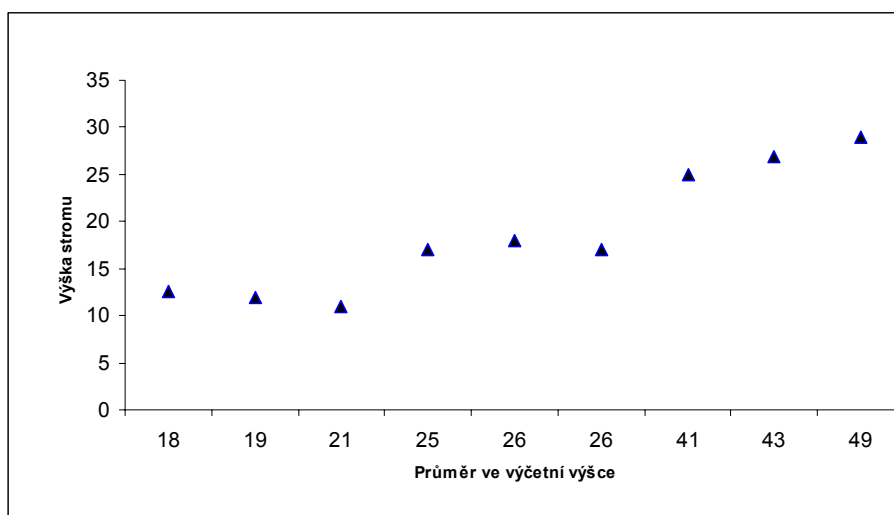
Rovnice byly rovněž rozděleny do dvou skupin (A, B), kdy první skupina obsahuje rovnice ve kterých jsou jako proměnné použity výška a výčetní tloušťka; druhá skupina pak obsahuje rovnice, kde je jako proměnná použita pouze výčetní tloušťka. Důvodem je porovnání skupin alometrických modelů podle ekonomické (časové, kapacitní, finanční) náročnosti na pořízení jejich vstupních dat. Rozdělení podle věku zůstává zachováno. Do skupiny A (výška, $d_{1,3}$) patří vzorce (6), (7), (9), (10), (11), (13), (18), (21) a (24); skupina B (pouze $d_{1,3}$) zahrnuje vzorce (8), (12), (14), (15), (16), (17), (19), (20), (22) a (23). Pro každou věkovou skupinu byly vypočteny popisné statistiky a vytvořeny krabicové grafy.

Posledním způsobem hodnocení je grafické znázornění průměrných hodnot výpočtů za všechny vzorníky podle jednotlivých modelů. Tento způsob hodnocení byl zvolen ve snaze zjistit modely, které nejlépe charakterizují množství biomasy bez ohledu na věk.

5. Výsledky

5.1. Nadzemní biomasa vzorníků

Základní dendrometrické charakteristiky (výška, $d_{1,3}$) vzorníků všech tří věkových skupin jsou uvedeny v grafu 1.



Graf 1 – Výška a $d_{1,3}$ jednotlivých vzorníků

Empiricky zjištěné hodnoty množství nadzemní biomasy pro všechny tři věkové skupiny vzorníků jsou uvedeny v tabulce 4 a grafech 2 – 7.

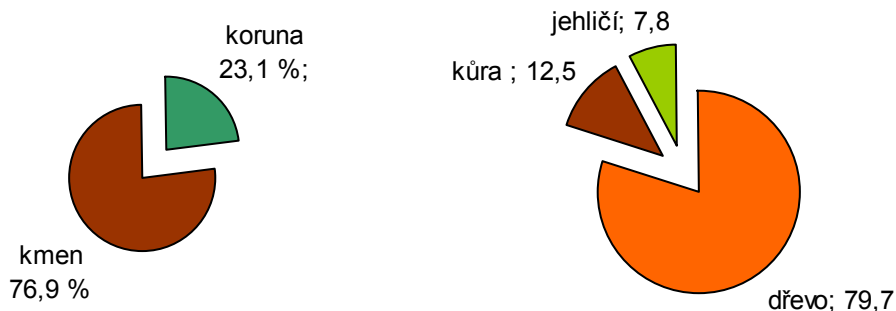
Tab. 4 – Empiricky zjištěné údaje pro jednotlivé vzorníky smrku [kg]

Číslo vzorníku	Dospělý SM			Středně starý SM			Mladý SM		
	20	23	24	6	X	Y	15	22	51
Hmotnost sušiny									
Kmen									
dřevo	608,0	361,2	411,6	79,4	85,6	77,0	32,7	35,4	31,2
kůra	43,9	28,3	31,2	7,8	6,9	6,0	1,9	3,7	8,4
Koruna									
dřevo	53,7	37,3	61,1	17,8	32,7	30,1	8,7	10,7	10,1
jehličí	56,6	36,8	56,1	15,9	33,7	29,0	8,3	8,7	9,1
kůra	26,4	17,6	25,7	7,4	14,9	13,5	3,6	4,3	4,2
větvičky	24,2	16,2	26,6	7,7	15,2	13,2	4,1	4,4	4,5
Čerstvá hmotnost větví									
Živé	298,5	199,5	312,3	89,7	179	158,5	45,7	51,4	51,2
Suché	75,5	54,0	61,5	5,0	15,6	12,0	9,0	6,8	4,0

U starého porostu dosahuje podíl biomasy koruny na celkové biomase průměrné 23,1 % , biomasa kmene pak 76,9 % (graf 2). Průměrná podíl biomasy jehličí je 7,8 %, kůry 12,5 % a dřeva 79,7 % (graf 3). Průměrná celková biomasa vzorníku je 640,8 kg, z toho dřevo 511, kůra 80 a jehličí 49,8 kg (tab. 8).

Tab. 5 – Hmotnost sušiny vzorníků v kg (starý porost)

Vzorník č.	Starý SM – hmotnost sušiny		
	20	23	24
Dřevo [kg]	661,7	398,5	472,7
Kůra [kg]	94,5	62,1	83,5
Jehličí [kg]	56,6	36,8	56,1

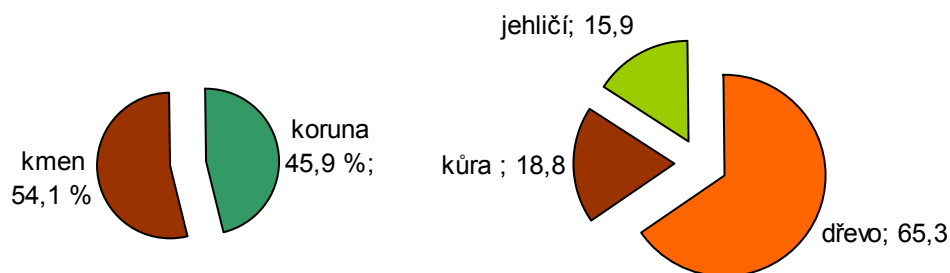


Graf 2, 3 – Starý porost, průměrné hodnoty v %

U středně starého porostu dosahuje podíl biomasy koruny na celkové biomase průměrně 45,9 %. Biomasa kmene činí 54,1 % (graf 4), biomasa jehličí 15,9 %, kůry 18,8 % a dřeva 65,3 % (graf 5). Celková průměrná biomasa vzorníku je 164,6 kg, z toho dřevo 107,6, kůra 30,9 a jehličí 26,2 kg (tab. 8).

Tab. 6 – Hmotnost sušiny vzorníků v kg (středně starý porost)

Vzorník č.	Střední SM – hmotnost sušiny		
	6	X	Y
Dřevo [kg]	97,2	118,3	107,2
Kůra [kg]	23,0	37,0	32,7
Jehličí [kg]	15,9	33,7	29,0

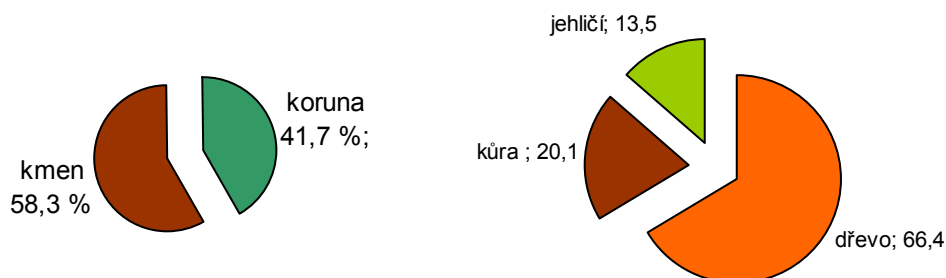


Graf 4, 5 – Středně starý porost, průměrné hodnoty v %

U mladého porostu dosahuje podíl biomasy koruny na celkové biomase průměrně 41,7 %, biomasa kmene 58,3 % (graf 6), průměrný podíl biomasy jehličí je 13,5 %, kůry 20,1 % a dřeva 66,4 % (graf 7). Průměrná celková biomasa vzorníku je 64,6 kg, z toho dřevo dosahovalo 42,9, kůra 13 a jehličí 8,7 kg (tab. 8).

Tab. 7 – Hmotnost sušiny vzorníků v kg (mladý porost)

	Mladý SM – hmotnost sušiny		
	6	X	Y
Dřevo [kg]	41,4	46,0	41,2
Kůra [kg]	9,6	12,4	17,0
Jehličí [kg]	8,3	8,7	9,1



Graf 6, 7 – Mladý porost, průměrné hodnoty v %

Průměrné hodnoty jednotlivých komponent celkové biomasy za vzorníky příslušných věkových skupin jsou uvedeny v tabulce 8.

Tab. 8 – Průměrná hmotnost biomasy vzorníků v kg

	Starý porost	Střední porost	Mladý porost
	Průměrná hmotnost biomasy vzorníku [kg]		
Jehličí [kg]	49,8	26,2	8,7
Dřevo [kg]	511,0	107,6	42,9
Kůra [kg]	80,0	30,9	13,0
Celková biomasa [kg]	640,8	164,6	64,6
	Poměr celkové biomasy		
Koruna [%]	23,1	45,9	41,7
Kmen [%]	76,9	54,1	58,3
	Z toho		
Dřevo [%]	79,7	65,3	66,4
Kůra [%]	12,5	18,8	20,1
Jehličí [%]	7,8	15,9	13,5

Z uvedených hodnot je patrné, že největší podíl dřeva na celkové bilanci biomasy vzorníků má starý porost. U středně starého a mladého porostu se hodnoty téměř neliší. U mladého a středně starého porostu je výrazně větší podíl jehličí a kůry. Zjištěné skutečnosti odpovídají faktu, že u mladého a středně starého porostu je výrazně větší část biomasy soustředěna v koruně stromu. U mladého porostu a středně starého porostu je to 41,7 %, resp. 45,9 %, zatímco u starého porostu činí podíl biomasy koruny 23,1 %.

5.2. Výpočet biomasy podle alometrických rovnic

5.2.1. Srovnání vypočtené a empiricky stanovené biomasy vzorníků a porostů

Výsledky pro jednotlivé vzorníky jsou uvedeny v tabulkách 9 až 11. Tabulka 9 obsahuje výsledky biomasy [kg] tak, jak byly vypočteny podle jednotlivých publikovaných modelů.

Tab. 9 – Vypočítané hmotnosti sušiny biomasy vzorníků podle různých autorů

		Vzorník č. 22	Vzorník č. 51	Vzorník č. 15	Vzorník Y	Vzorník X	Vzorník č. 6	Vzorník č. 24	Vzorník č. 23	Vzorník č. 20
		Biomasa vypočtená [kg]								
Laitat	$a+b\cdot H+c\cdot D^2$	66,1	54,5	46,6	100,4	105,2	98,9	279,1	262,3	375,5
Chroust	$a\cdot(D+1)^{b+c\cdot\log(D)}\cdot H^d$	231,5	164,0	125,1	438,2	474,6	425,8	2882,3	2587,2	5266,9
Cerny 1	$a\cdot D^b$	223,8	185,4	159,4	336,5	352,1	331,3	914,8	860,8	1223,6
Cerny 2	$a\cdot[(D^2)\cdot H]^b$	113,7	104,7	98,2	236,3	250,0	233,3	778,0	685,7	1055,2
Møller 1	$a\cdot D^2H$	100,9	91,2	84,2	248,0	265,8	244,1	1074,0	919,4	1562,3
Møller 2	$a\cdot D^2H$	82,5	74,6	68,9	202,9	217,5	199,7	878,7	752,2	1278,3
Briggs 1	$a+b\cdot D+c\cdot D^2$	163,5	130,0	107,9	266,3	280,9	261,5	839,6	784,2	1160,4
Briggs 2	$a+b\cdot D^2+c\cdot(D^2\cdot H)$	127,0	108,5	95,8	235,5	249,4	231,9	827,8	737,1	1166,7
Fiedler	$a+b\cdot D+c\cdot D^2$	199,2	160,9	134,7	310,7	326,1	305,6	873,0	820,8	1171,1
Poeppel 1	$a+b\cdot D+c\cdot D^2$	172,5	141,3	119,6	260,2	272,1	256,3	673,2	636,0	883,0
Poeppel 2	$a+b\cdot D+c\cdot D^2$	208,4	168,2	137,9	306,1	317,8	302,1	603,9	583,8	702,2
Poeppel 3	$a+b\cdot D+c\cdot D^2$	195,6	160,2	134,7	289,2	301,3	285,1	667,1	635,6	838,7
Snorrason	$a\cdot D^b\cdot H^c$	103,7	83,4	69,9	148,5	155,4	146,1	405,8	385,9	548,2
Braekke 1	$a\cdot D^2+b\cdot(D^2-c)$	127,2	104,6	89,3	194,0	203,3	190,9	541,5	508,8	729,0
Braekke 2	$a\cdot D^2$	86,7	71,6	61,4	131,3	137,6	129,3	363,7	341,8	489,0
Nihlgård	$a+\log[H\cdot(D^2)]\cdot b$	93,6	85,5	79,7	208,6	221,9	205,7	770,0	670,5	1075,4
Duvigneaud	$a+b\cdot\log(D)$	133,8	105,2	86,7	225,6	239,1	221,2	811,6	750,8	1177,7
Wirth	součet vzorců	173,3	138,3	115,5	282,7	298,6	277,5	945,0	877,9	1344,3
Repola	multivariate	125,3	106,4	93,34	243,8	258,6	239,9	810,7	733,9	1086

Vypočtené hodnoty byly porovnány s empiricky zjištěnou srovnávací hodnotou. Absolutní rozdíly vypočtených hmotností biomasy od empiricky stanovené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 10.

Tab. 10 – Absolutní odchylka od empiricky zjištěné hodnoty pro jednotlivé vzorníky

		Vzorník č. 22	Vzorník č. 51	Vzorník č. 15	Vzorník Y	Vzorník X	Vzorník č. 6	Vzorník č. 24	Vzorník č. 23	Vzorník č. 20
		Absolutní odchylka								
Laitat	$a+b\cdot H+c\cdot D^2$	-1,0	-12,9	-12,7	-68,5	-83,8	-37,2	-333,3	-235,2	-437,2
Chroust	$a\cdot(D+1)^{b+c\cdot\log(D)}\cdot H^d$	164,3	96,7	65,8	269,2	285,6	289,8	2269,9	2089,8	4454,2
Cerny 1	$a\cdot D^b$	156,6	118,1	100,1	167,6	163,2	195,3	302,5	363,4	411,0
Cerny 2	$a\cdot[(D^2)\cdot H]^b$	46,6	37,4	38,9	67,4	61,0	97,3	165,7	188,2	242,5
Møller 1	$a\cdot D^2H$	33,7	23,8	24,9	79,1	76,8	108,1	461,7	422,0	749,7
Møller 2	$a\cdot D^2H$	15,4	7,2	9,6	34,0	28,5	63,7	266,4	254,8	465,6
Briggs 1	$a+b\cdot D+c\cdot D^2$	96,3	62,7	48,6	97,4	92,0	125,4	227,3	286,8	347,7

Briggs 2	$a+b \cdot D^2+c \cdot (D^2 \cdot H)$	59,9	41,1	36,5	66,6	60,4	95,8	215,5	239,7	354,1
Fiedler	$a+b \cdot D+c \cdot D^2$	132,1	93,5	75,4	141,8	137,1	169,6	260,7	323,4	358,4
Poeppel 1	$a+b \cdot D+c \cdot D^2$	105,4	74,0	60,3	91,3	83,1	120,3	60,8	138,5	70,3
Poeppel 2	$a+b \cdot D+c \cdot D^2$	141,3	100,8	78,6	137,1	128,8	166,1	-8,4	86,4	-110,5
Poeppel 3	$a+b \cdot D+c \cdot D^2$	128,5	92,9	75,4	120,2	112,3	149,1	54,8	138,2	26,0
Snorrason	$a \cdot D^b \cdot H^c$	36,5	16,0	10,6	-20,4	-33,6	10,1	-206,6	-111,5	-264,5
Braekke 1	$a \cdot D^2+b \cdot (D^2-c)$	60,1	37,2	30,0	25,1	14,3	54,9	-70,8	11,4	-83,6
Braekke 2	$a \cdot D^2$	19,6	4,2	2,1	-37,6	-51,4	-6,7	-248,6	-155,6	-323,6
Nihlgård	$a+\log[H \cdot (D^2)] \cdot b$	26,5	18,2	20,4	39,7	32,9	69,7	157,7	173,0	262,7
Duvigneaud	$a+b \cdot \log(D)$	66,7	37,9	27,4	56,7	50,1	85,1	199,3	253,3	365,0
Wirth	součet vzorců	106,1	71,0	56,2	113,8	109,6	141,5	332,7	380,5	531,6
Repola	multivariate	58,1	39,0	34,0	74,9	69,6	103,8	198,4	236,5	273,6

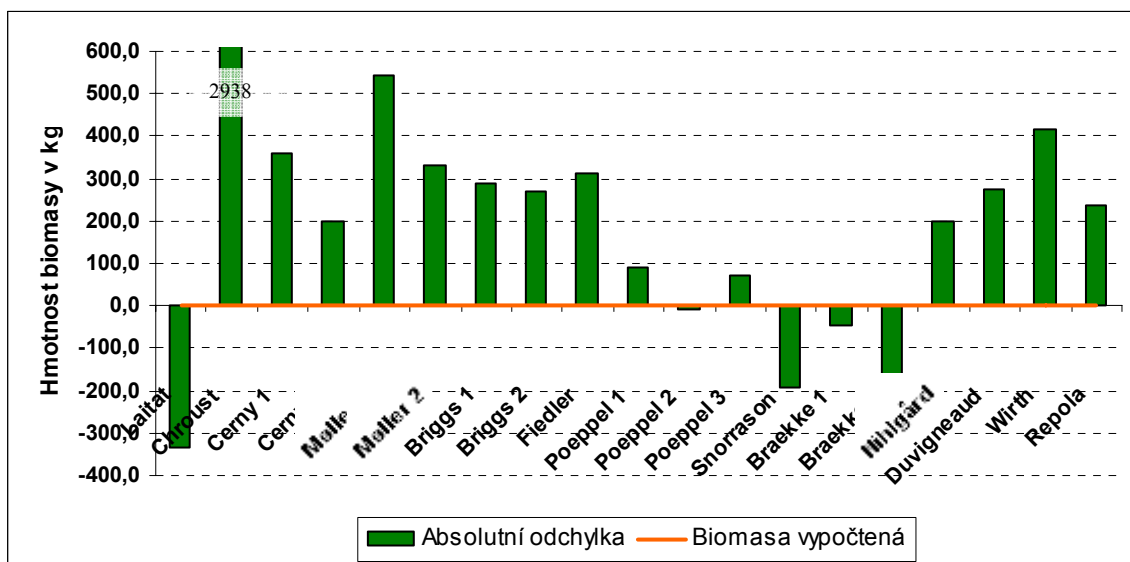
Relativní (procentické) porovnání vypočtených hodnot a empiricky stanovené hodnoty vzorníků smrku je obsaženo v tabulce 11.

Tab. 11 – Zjištěné množství biomasy v % z empirických dat pro jednotlivé vzorníky

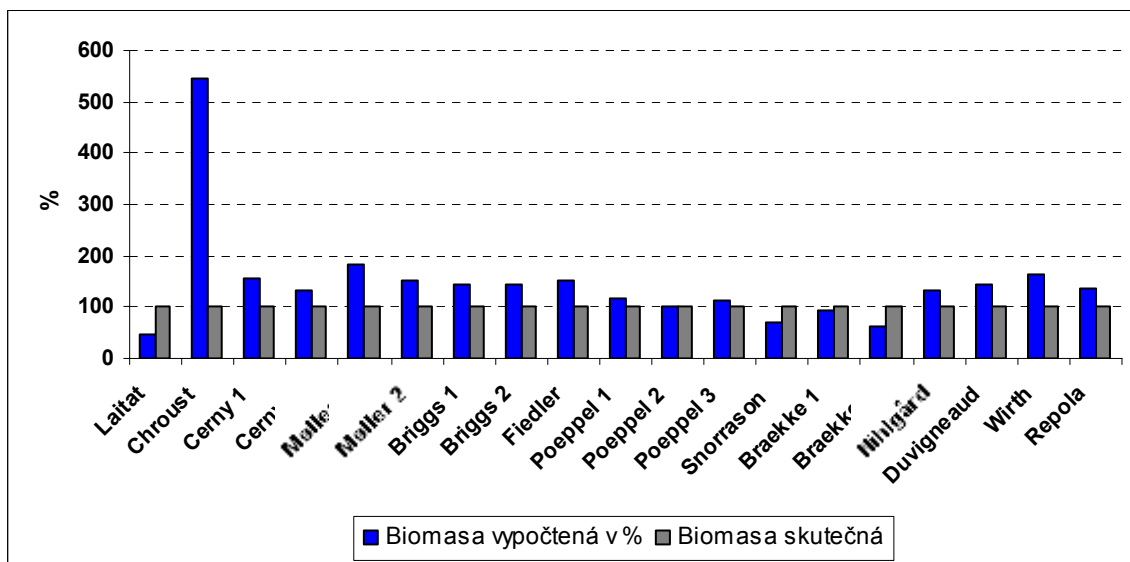
		Vzorník č. 22	Vzorník č. 51	Vzorník č. 15	Vzorník y	Vzorník x	Vzorník č. 6	Vzorník č. 24	Vzorník č. 23	Vzorník č. 20
		Biomasa vypočtená [%]								
Laitat	$a+b \cdot H+c \cdot D^2$	98,5	80,9	78,6	59,5	55,7	72,7	45,6	52,7	46,2
Chroust	$a \cdot (D+1)^{b+c \cdot \log(D)} \cdot H \cdot d$	344,8	243,6	210,9	259,4	251,1	313,0	470,7	520,1	648,1
Cerny 1	$a \cdot D \cdot b$	333,3	275,3	268,7	199,2	186,3	243,6	149,4	173,1	150,6
Cerny 2	$a \cdot [(D2) \cdot H] \cdot b$	169,4	155,5	165,6	139,9	132,3	171,5	127,1	137,8	129,8
Møller 1	$a \cdot D^2 \cdot H$	150,3	135,4	142,0	146,8	140,6	179,5	175,4	184,8	192,2
Møller 2	$a \cdot D^2 \cdot H$	122,9	110,8	116,2	120,1	115,1	146,8	143,5	151,2	157,3
Briggs 1	$a+b \cdot D+c \cdot D^2$	243,5	193,1	182,0	157,6	148,7	192,2	137,1	157,7	142,8
Briggs 2	$a+b \cdot D^2+c \cdot (D^2 \cdot H)$	189,2	161,1	161,5	139,4	132,0	170,4	135,2	148,2	143,6
Fiedler	$a+b \cdot D+c \cdot D2$	296,7	238,9	227,0	183,9	172,5	224,7	142,6	165,0	144,1
Poeppel 1	$a+b \cdot D+c \cdot D2$	257,0	209,9	201,7	154,1	144,0	188,4	109,9	127,9	108,7
Poeppel 2	$a+b \cdot D+c \cdot D2$	310,4	249,7	232,5	181,2	168,2	222,1	98,6	117,4	86,4
Poeppel 3	$a+b \cdot D+c \cdot D2$	291,3	237,9	227,1	171,2	159,4	209,6	109,0	127,8	103,2
Snorrason	$a \cdot D \cdot b \cdot H \cdot c$	154,4	123,8	117,9	87,9	82,2	107,4	66,3	77,6	67,5
Braekke 1	$a \cdot D^2+b \cdot (D^2-c)$	189,4	155,3	150,6	114,8	107,6	140,3	88,4	102,3	89,7
Braekke 2	$a \cdot D2$	129,1	106,3	103,5	77,8	72,8	95,0	59,4	68,7	60,2
Nihlgård	$a+\log[H \cdot (D^2)] \cdot b$	139,4	127,0	134,4	123,5	117,4	151,2	125,8	134,8	132,3
Duvigneaud	$a+b \cdot \log(D)$	199,3	156,2	146,2	133,6	126,5	162,6	132,5	150,9	144,9
Wirth	součet vzorců	258,1	205,4	194,7	167,4	158,0	204,0	154,3	176,5	165,4
Repola	multivariate	186,5	158,0	157,4	144,3	136,8	176,3	132,4	147,5	133,7

Pokud jde o porosty rozdělené podle věku na starý, středně starý a mladý, je absolutní a relativní porovnání odchylek různých alometrických modelů od empiricky

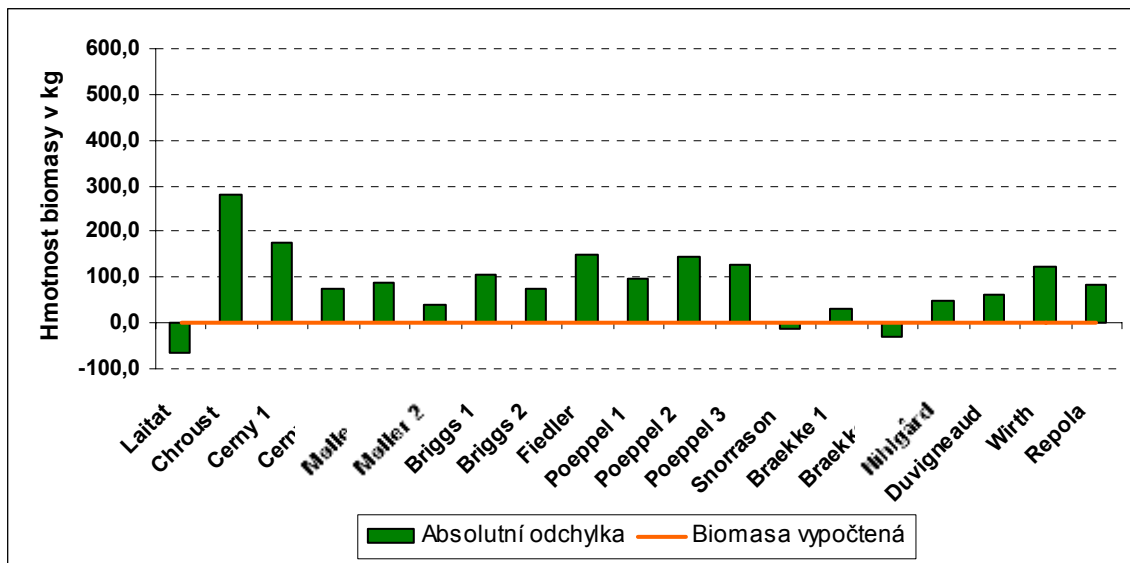
stanovené srovnávací hodnoty uvedeno v následujících grafech 8 až 13. V grafech znázorňujících absolutní odchylky alometricky a empiricky stanovených hodnot představuje osa x srovnávací nulovou hladinu.



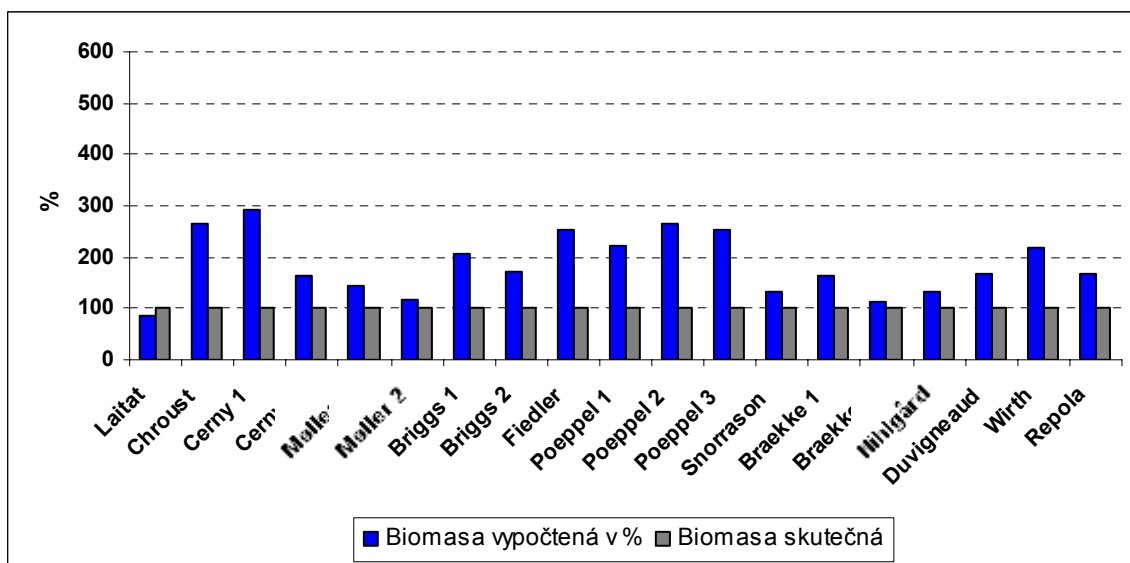
Graf 8 – Absolutní odchylka výsledků modelů od srovnávací hodnoty (starý porost)



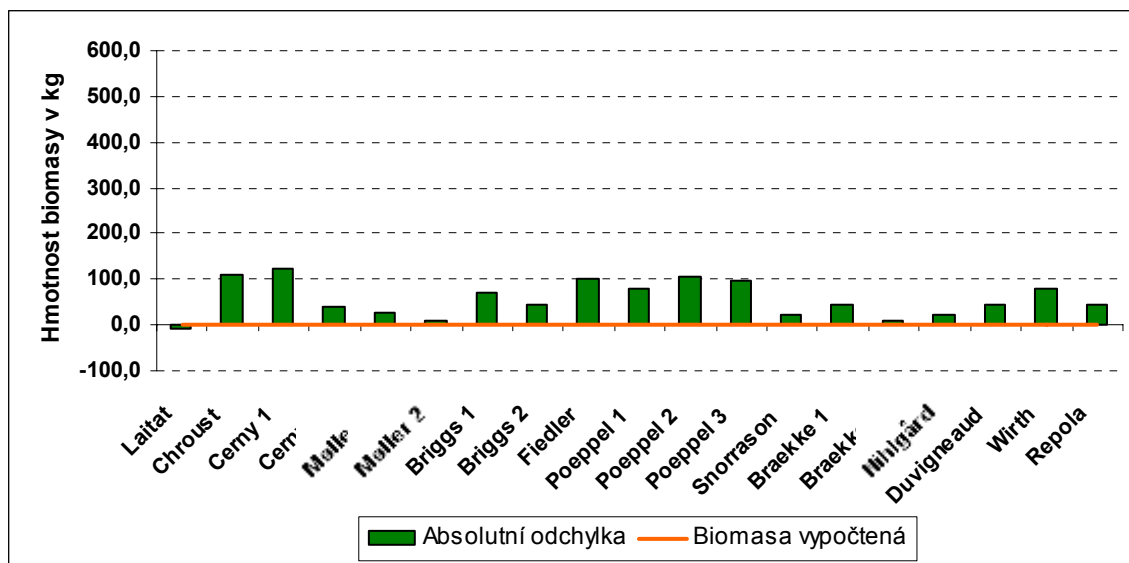
Graf 9 – Relativní odchylka výsledků modelů od srovnávací hodnoty (starý porost)



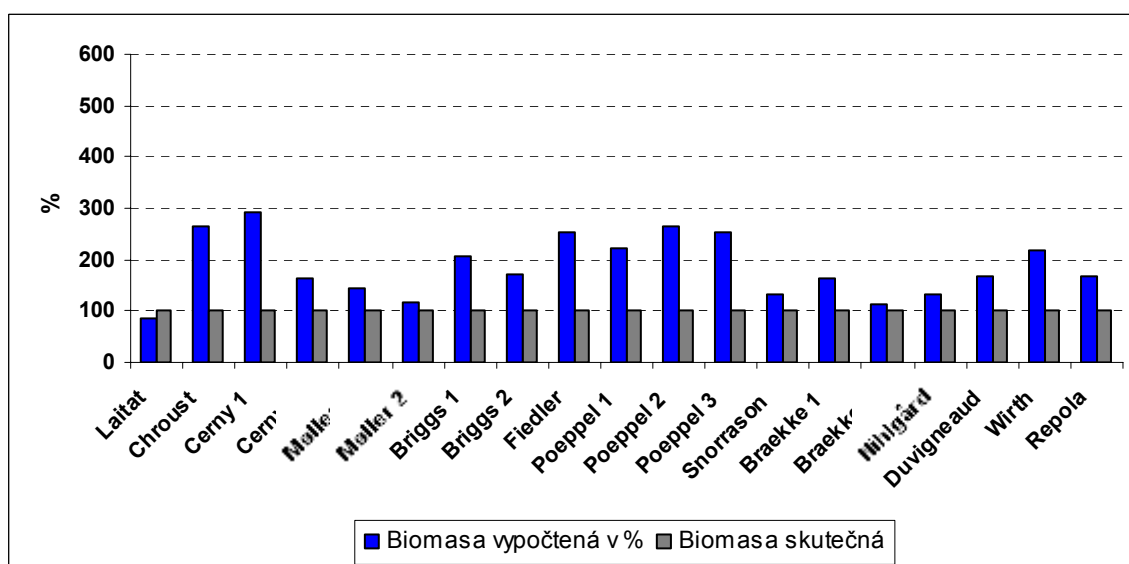
Graf 10 – Absolutní odchylka výsledků modelů od srovnávací hodnoty (středně starý porost)



Graf 11 – Relativní odchylka výsledků modelů od srovnávací hodnoty (středně starý porost)



Graf 12 – Absolutní odchylka výsledků modelů od srovnávací hodnoty (mladý porost)



Graf 13 – Relativní odchylka výsledků modelů od srovnávací hodnoty (Mladý porost)

Ze zjištěných výsledků vyplývá, že většina použitých rovnic oproti empiricky zjištěným datům údaj o množství nadzemní biomasy nadhodnocuje. U starého porostu a středně starého porostu podhodnocují výsledek tři modely, u mladého porostu jeden model. K nejvyššímu nadhodnocení došlo v případě starého a středně starého porostu aplikací vzorce (6), u mladého porostu pak aplikací vzorce (7). Nejmenší relativní odchylky dosáhly pro mladý porost modely Bræke2 a Laitat, pro středně starý porost modely Snorrason a Bræke2. Ve starém porostu se nejlépe osvědčily modely Poeppel2 a Bræke1.

5.2.2. Porovnání výsledků vzorců v závislosti na počtu proměnných a věku porostu

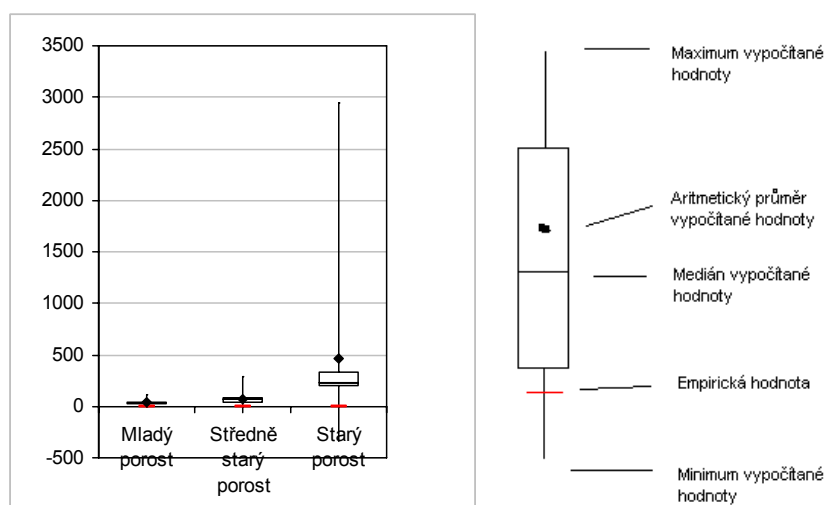
Následující grafy a tabulky obsahují výsledky porovnání dvou skupin vzorců (A, B) lišících se v počtu parametrů, které je nutno změřit pro dosažení do příslušných rovnic.

Absolutní odchylka střední hodnoty výsledků skupiny rovnic A, které vyžadují zadání jak výšky stromu, tak jejich výčetní tloušťky, je patrná z tabulky 12 a grafu 14.

Tab. 12 – Absolutní odchylka výsledků rovnic skupiny A od empiricky stanovené hodnoty u porostů různého věku a popisná statistika

		Mladý porost	Středně starý porost	Starý porost
Laitat	$a+b \cdot H+c \cdot D^2$	-8,9	-63,2	-335,2
Chroust	$a \cdot (D+1)^{b+c \cdot \log(D)} \cdot H^d$	108,9	281,6	2938,0
Cerný 2	$a \cdot [(D^2) \cdot H]^b$	41,0	75,2	198,8
Møller 1	$a \cdot D^2 H$	27,5	88,0	544,4
Møller 2	$a \cdot D^2 H$	10,7	42,1	328,9
Briggs 2	$a+b \cdot D^2+c \cdot (D^2 \cdot H)$	45,8	74,3	269,8
Snorrason	$a \cdot D^b \cdot H^c$	21,1	-14,6	-194,2
Nihlgård	$a+\log[H \cdot (D^2)] \cdot b$	21,7	47,4	197,8
Repola	multivariate	43,7	82,8	236,2

	Mladý porost	Středně starý porost	Starý porost
Stř. hodnota	34,6	68,2	464,9
Medián	27,5	74,3	236,2
Směr. odchylka	32,9	94,5	964,9
Rozptyl výběru	1079,4	8930,3	930996,2
Rozdíl max-min	117,8	344,7	3273,2
Minimum	-8,9	-63,2	-335,2
Maximum	108,9	281,6	2938,0
Součet	311,6	613,6	4184,5
Počet	9,0	9,0	9,0



Graf 14 – Absolutní odchylka výsledků rovnic skupiny A od empiricky stanovené hodnoty u porostů různého věku

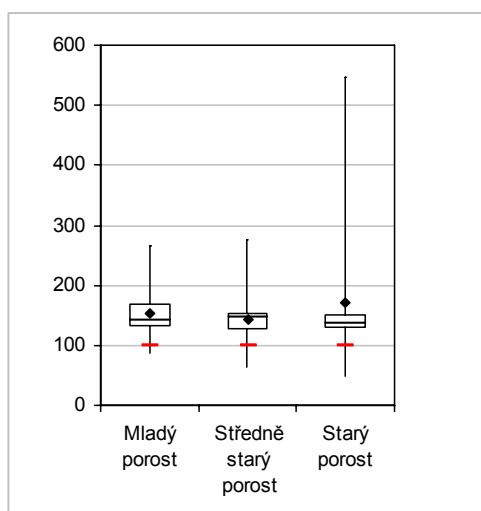
Tabulka 13, resp. graf 15 zobrazují relativní odchylku střední hodnoty výsledků skupiny rovnic A.

Tab. 13 – Relativní odchylka výsledků rovnic skupiny A od empiricky stanovené hodnoty u porostů různého věku a popisná statistika

		Mladý porost	Středně starý porost	Starý porost
Laitat	$a+b\cdot H+c\cdot D^2$	86,0	62,6	48,2
Chroust	$a\cdot(D+1)^{b+c\cdot\log(D)}\cdot H^d$	266,4	274,5	546,3
Cerny 2	$a\cdot[(D^2)\cdot H]^b$	163,5	147,9	131,6
Møller 1	$a\cdot D^2\cdot H$	142,5	155,6	184,2
Møller 2	$a\cdot D^2\cdot H$	116,6	127,3	150,7
Briggs 2	$a+b\cdot D^2+c\cdot(D^2\cdot H)$	170,6	147,3	142,3
Snorrason	$a\cdot D^b\cdot H^c$	132,1	92,5	70,4
Nihlgård	$a+\log[H\cdot(D^2)]\cdot b$	133,6	130,7	131,0
Repola	multivariate	167,3	152,5	137,9

	Mladý porost	Středně starý porost	Starý porost
Stř. hodnota	153,2	143,4	171,4
Medián	142,5	147,3	137,9
Směr. odchylka	50,3	58,1	146,5
Rozptyl výběru	2528,2	3374,8	21465,3
Rozdíl max-min	180,4	211,9	498,1
Minimum	86,0	62,6	48,2
Maximum	266,4	274,5	546,3
Součet	1378,6	1291,0	1542,5
Počet	9,0	9,0	9,0

Absolutní odchylka střední hodnoty výsledků skupiny rovnic B, které vyžadují zadání pouze výčetní tloušťky, je patrná z tabulky 14 a grafu 16.



Graf 15 – Relativní odchylka výsledků rovnic skupiny A od empiricky stanovené hodnoty u porostů různého věku

Tab. 14 – Absolutní odchylka výsledků rovnic skupiny B od empiricky stanovené hodnoty u porostů různého věku a popisná statistika

		Mladý porost	Středně starý porost	Starý porost
Cerny 1	$a \cdot D^b$	124,9	175,3	359,0
Briggs 1	$a+b \cdot D+c \cdot D^2$	69,2	104,9	287,3
Fiedler	$a+b \cdot D+c \cdot D^2$	100,3	149,5	314,1
Poeppe1 1	$a+b \cdot D+c \cdot D^2$	79,9	98,3	89,9
Poeppe1 2	$a+b \cdot D+c \cdot D^2$	106,9	144,0	-10,8
Poeppe1 3	$a+b \cdot D+c \cdot D^2$	98,9	127,2	73,0
Braekke 1	$a \cdot D^2+b \cdot (D^2-c)$	42,4	31,4	-47,7
Braekke 2	$a \cdot D^2$	8,6	-31,9	-242,6
Duvigneaud	$a+b \cdot \log(D)$	44,0	64,0	272,5
Wirth	součet vzorců	77,8	121,6	415,0

	Mladý porost	Středně starý porost	Starý porost
Stř. hodnota	75,3	98,4	151,0
Medián	78,8	113,3	181,2
Směr. odchylka	35,3	62,1	211,7
Rozptyl výběru	1246,3	3853,2	44809,8
Rozdíl max-min	116,3	207,3	657,6
Minimum	8,6	-31,9	-242,6
Maximum	124,9	175,3	415,0
Součet	753,0	984,3	1509,7
Počet	10,0	10,0	10,0



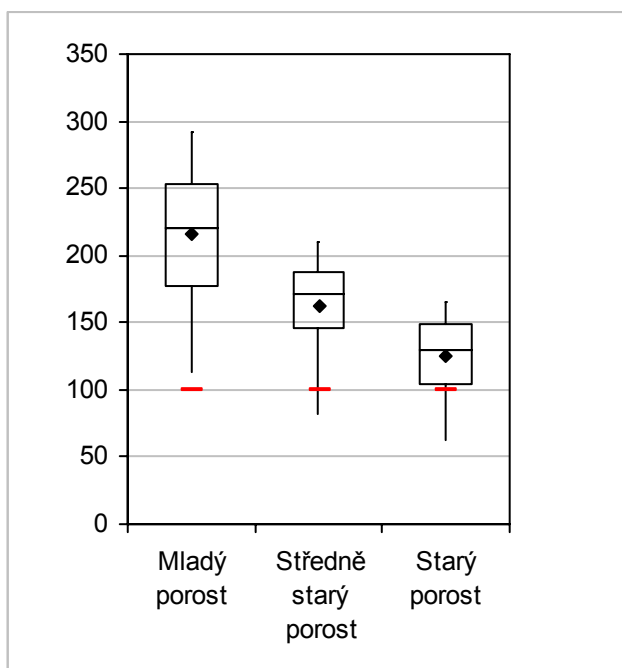
Graf 16 – Absolutní odchylka výsledků rovnic skupiny B od empiricky stanovené hodnoty u porostů různého věku

Tabulka 15, resp. graf 17 zobrazují relativní odchylku střední hodnoty výsledků skupiny rovnic B.

Tab. 15 – Relativní odchylka výsledků rovnic skupiny B od empiricky stanovené hodnoty u porostů různého věku a popisná statistika

		Mladý porost	Středně starý porost	Starý porost
Cerny 1	$a \cdot D^b$	292,5	209,7	157,7
Briggs 1	$a+b \cdot D+c \cdot D^2$	206,2	166,2	145,9
Fiedler	$a+b \cdot D+c \cdot D^2$	254,2	193,7	150,6
Poeppe 1	$a+b \cdot D+c \cdot D^2$	222,8	162,2	115,5
Poeppe 2	$a+b \cdot D+c \cdot D^2$	264,2	190,5	100,8
Poeppe 3	$a+b \cdot D+c \cdot D^2$	252,1	180,1	113,3
Braekke 1	$a \cdot D^2+b \cdot (D^2-c)$	165,1	120,9	93,5
Braekke 2	$a \cdot D^2$	113,0	81,9	62,8
Duvigneaud	$a+b \cdot \log(D)$	167,2	140,9	142,8
Wirth	součet vzorců	219,4	176,5	165,4

	Mladý porost	Středně starý porost	Starý porost
Stř. hodnota	215,7	162,2	124,8
Medián	221,1	171,3	129,1
Směr. odchylka	54,4	38,3	33,0
Rozptyl výběru	2963,2	1466,8	1087,3
Rozdíl max-min	179,5	127,8	102,7
Minimum	113,0	81,9	62,8
Maximum	292,5	209,7	165,4
Součet	2156,7	1622,4	1248,1
Počet	10,0	10,0	10,0

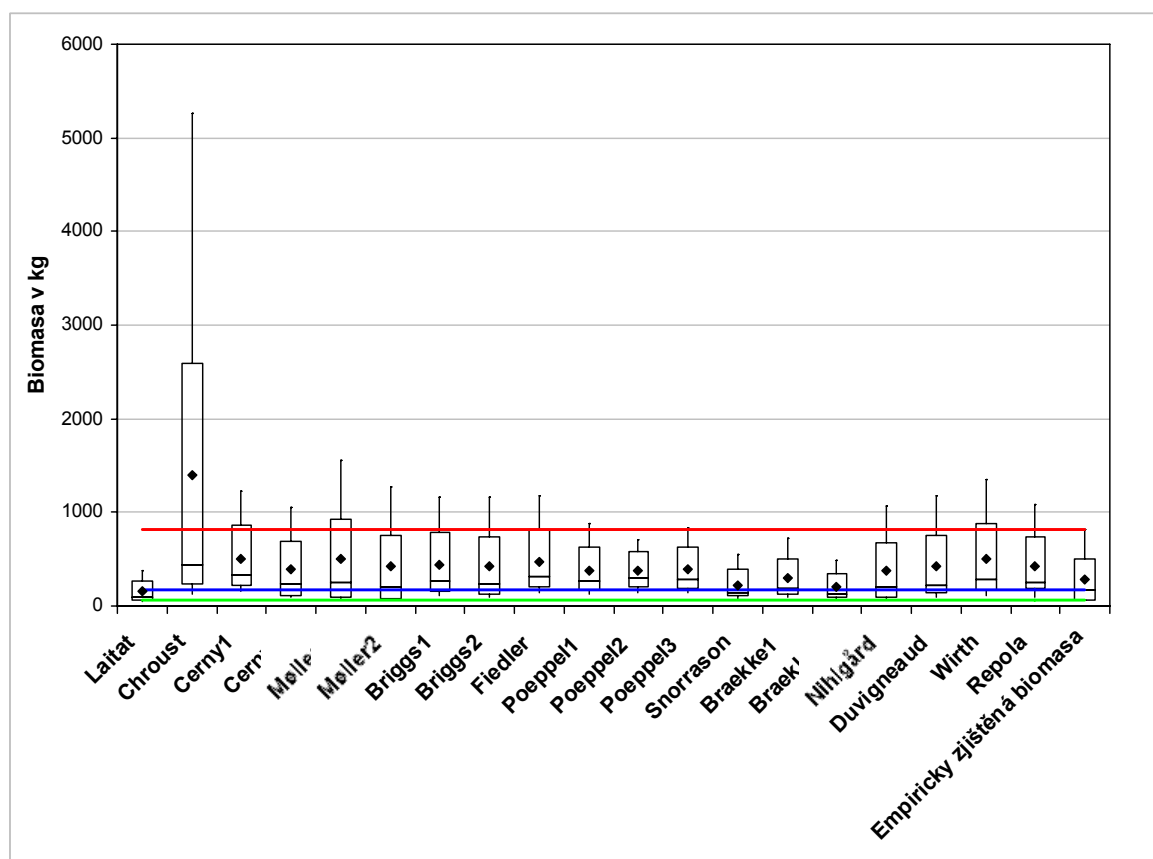


Graf 17 – Relativní odchylka výsledků rovnic skupiny B od empiricky stanovené hodnoty u porostů různého věku

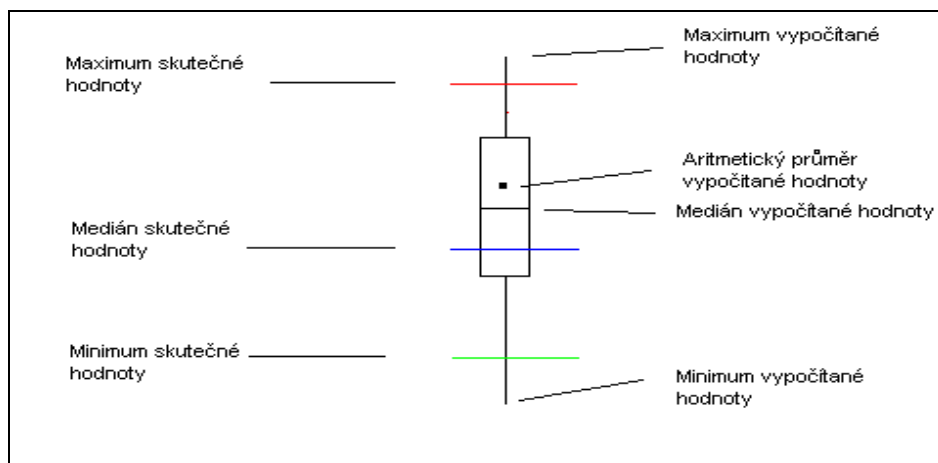
Ze zjištěných skutečností plyne, že nejnižšího rozptylu dat u absolutní odchylky dosahují rovnice používající jako proměnnou výšku i $d_{1,3}$, a to u mladého porostu.

5.2.3. Porovnání alometrických modelů pro všechny vzorníky bez ohledu na věk

Výsledky výpočtů použitých rovnic pro všechny pokusné vzorníky byly graficky porovnány (graf 18). V grafu jsou pro všechny uvažované modely znázorněny hodnoty aritmetického průměru, mediánu, maxima a minima. Pro možnost srovnání jsou stejné hodnoty uvedeny i pro empiricky stanovenou hmotnost biomasy. Vysvětlivky ke grafu jsou patrné z obrázku 2. Výsledky výpočtů k jednotlivým modelům jsou uvedeny v tab. 16.



Graf 18 – Vzájemné porovnání odchylek alometrických modelů od empiricky stanovené hmotnosti biomasy



Obr. 2 – Legenda ke grafu 18

Tab. 16 – Popisná statistika k hodnocení jednotlivých modelů (bez ohledu na věk)

	Aritmetický průměr	Směr.odchylka	Median	Minimum	Maximum	Median empirické hodnoty	Minimum empirické hodnoty	Maximum empirické hodnoty
Laitat	154,3	119,3	100,4	46,6	375,5	168,9	59,3	812,7
Chroust	1 399,5	1 796,1	438,2	125,1	5 266,9	168,9	59,3	812,7
Cerny1	509,8	386,2	336,5	159,4	1 223,6	168,9	59,3	812,7
Cerny2	395,0	351,9	236,3	98,2	1 055,2	168,9	59,3	812,7
Møller1	510,0	538,1	248,0	84,2	1 562,3	168,9	59,3	812,7
Møller2	417,3	440,2	202,9	68,9	1 278,3	168,9	59,3	812,7
Briggs1	443,8	382,0	266,3	107,9	1 160,4	168,9	59,3	812,7
Briggs2	420,0	389,1	235,5	95,8	1 166,7	168,9	59,3	812,7
Fiedler	478,0	376,0	310,7	134,7	1 171,1	168,9	59,3	812,7
Poeppel1	379,4	276,9	260,2	119,6	883,0	168,9	59,3	812,7
Poeppel2	370,0	207,0	306,1	137,9	702,2	168,9	59,3	812,7
Poeppel3	389,7	255,8	289,2	134,7	838,7	168,9	59,3	812,7
Snorrason	227,4	172,7	148,5	69,9	548,2	168,9	59,3	812,7
Braekke1	298,7	232,1	194,0	89,3	729,0	168,9	59,3	812,7
Braekke2	201,4	155,2	131,3	61,4	489,0	168,9	59,3	812,7
Nihlgård	379,0	364,6	208,6	79,7	1 075,4	168,9	59,3	812,7
Duvigneaud	416,9	393,5	225,6	86,7	1 177,7	168,9	59,3	812,7
Wirth	494,8	443,9	282,7	115,5	1 344,3	168,9	59,3	812,7
Repola	417,7	361,3	243,8	93,3	1 086,3	168,9	59,3	812,7
Empiricky zjištěná biomasa	290,0	278,6	168,9	59,3	812,7	168,9	59,3	812,7

U 14 modelů bylo zjištěno výrazné nadhodnocení výsledků, 3 modely naopak výsledek podhodnocují. Největšího odchýlení od rozpětí minima a maxima výsledků dosahuje model Chroust, nejmenší model Laitat. Nejtěsnější shoda s mediánem (do 20 % poměrné odchylky) byla zaznamenána u modelů Snorrason a Bræke1.

6. Diskuse

Hmotnost biomasy kmene v sušině dosahuje podílu 76,9 % z celkové nadzemní biomasy starého porostu. To odpovídá výsledkům, které uvádí VINŠ (1975). U mladého a středně starého porostu se poměr zmenšuje ve prospěch koruny. Konkrétně je to 54,1 % pro středně starý porost, resp. 58,3 %, pro porost mladý.

VINŠ (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 průměrné hodnoty 34,1 % pro starý porost. Celková podobnost výsledků je zřejmě způsobena faktem, že vzorníky zpracované v práci Vinše byly odebírány v oblasti Šerlich v Orlických horách. Tato lokalita je stanovištně 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 jím hodnocených porostů bylo 57 – 106 let. Tento věk dobře odpovídá věku starého a středně starého porostu (60 – 146 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. To může být způsobeno rozdílnými podmínkami při pěstování (hustší zápoj u porostů v nižších nadmořských výškách). Podíl biomasy kmene naopak vychází vyšší ve prospěch vzorníků ze středních Čech. Obecně nelze tyto závěry zevšeobecňovat, nicméně pro vzorníky uvedené v této práci platí, že v nižších nadmořských výškách dosahuje poměr biomasy kmene k celkové biomase stromu vyšších hodnot než v podmínkách Orlických hor.

Pokud jde o srovnání alometrických rovnic, od všech ostatních se výrazně liší model CHROUST. Tato skutečnost negativně ovlivňuje celkové hodnocení modelů skupiny A, které jako proměnnou používají průměr ve výčetní výšce a výšku vzorníku. Obecně lepších výsledků dosahuje tento model v mladším a středně starém porostu. Ve srovnání se starým porostem 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.

Průměrná biomasa vzorníků v práci CHROUST et TESAŘOVÁ (1985) dosahovala u kmene 43 %, u větví 28,6 % a u jehličí 28,4 % z celkové nadzemní biomasy stromu. Pro mladý porost hodnocený v předkládané práci představují ekvivalentní hodnoty podílů komponent celkové nadzemní biomasy 58,4 % (kmen), 28,2 % (větve) a 13,5 % (jehličí). Zatímco biomasa větví je v obou pracích téměř totožná, 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 et TESAŘOVÁ (1985). Může to být způsobeno odlišným věkem vzorníků z obou lokalit a podobně jako u výše uvedených zjištění např. rozdílností zápoje jednotlivých porostů.

KONÔPKA et al. (1999) pro smrkové vzorníky ve své práci uvádí poměr koruny k celkové biomase 26 % a poměr kmene 74 %. Porost, který zpracovávali měl věk 60 let, což odpovídá věkové skupině středně starého smrkového porostu v této práci. Rozdíl v poměru biomasy je zde velmi výrazný. Středně starý smrk zde dosáhl poměru biomasy koruny k celkové biomase 45,9 % a analogického poměru kmene 54,1 %. Tento rozdíl je způsoben pravděpodobně výrazně nižší nadmořskou výškou lokality, na které zpracovával biomasu Konôpka (550 m n. m.) a dále rozdílnými stanovištními podmínkami.

Odchytky výpočtů modelů od empiricky zjištěných dat, ať již průměrné nebo absolutní, 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 ten model, který ji nejlépe vystihuje.

Většina použitých modelů z hlediska poměrné odchytky nadhodnocuje. Nejmenší poměrné nadhodnocení je u starého porostu, ovšem s výjimkou modelu Chrousta. Tento model by bylo vhodné z hodnocení vyřadit a zvážit možnosti jeho využití v mladších porostech menších dimenzí, které odpovídají základnímu souboru, ze kterého byl model odvozen (viz CHROUST et TESAŘOVÁ 1985).

Z hlediska poměrné (absolutní) odchytky se jeví jako nejvhodnější použít pro starý porost model Poeppel2. Tento model dosahuje průměrné odchytky od empiricky zjištěných dat 100,8 %. Jedná se o model vytvořený pro vzorníky v dimenzích $d_{1,3}$ 17 – 38 cm (POEPPPEL 1989 ex ZIANIS 2005).

Biomasu středně starého porostu nejlépe charakterizuje model Snorrason. Výpočet provedený pomocí tohoto modelu dosahuje 92,5 % empiricky zjištěné hodnoty. Jedná se o celkem zajímavé zjištění vzhledem k faktu, že tento model byl vytvořen pro podmínky Islandu (SNORRASON et al. 2004 ex ZIANIS 2005). Vysoká podobnost zjištěných hodnot může být způsobena podobnými růstovými podmínkami s horskými stanovišti.

Nejmenší odchylky u mladých porostů (113 % empiricky zjištěné hodnoty) dosahuje model Bræke2 (BRÆKE ex ZIANIS 2005). Vzhledem k rozpětí $d_{1,3}$ použitých pro jeho konstrukci (2 – 5 cm) se tento model nejeví jako vhodný pro určování biomasy stromů větších dimenzí.

Obecný předpoklad, že modely využívající jako proměnnou pouze $d_{1,3}$ mají pouze lokální platnost, zjištění získaná v této práci příliš nepodporují, alespoň pokud jde o srovnání dvou skupin vzorců rozdělených na základě zahrnutých proměnných.

Při hodnocení podle absolutní odchylky (srovnávací hladina 0) dosahuje nejvyšší směrodatné odchylky starý porost ve skupině A, nejnižší pak mladý porost ve skupině B. Střední a starý porost skupiny B dosahují nižší směrodatné odchylky než modely používající jako proměnnou h a $d_{1,3}$. Mladý porost skupiny A dosahuje nejnižší směrodatné odchylky ze všech, přestože je součástí této skupiny i model Chroust. Tento model ale výrazně nadhodnocuje biomasu ve starších porostech, zatímco s klesajícím věkem porostu klesají i jeho odchylky od empirické hodnoty. Vyšší hodnoty směrodatné odchylky u starších porostů jsou též způsobeny vyšší hmotností starších vzorníků.

Z hodnocení vzorníků podle skupin modelů tedy plyne závěr, že pro mladé porosty je vhodnější použít modely ze skupiny A (h , $d_{1,3}$), pro střední a staré porosty pak naopak modely skupiny B ($d_{1,3}$).

Hodnocení vzorníků bez ohledu na věk bylo provedeno na základě porovnání mediánů vypočtených hodnot a mediánu hodnot empiricky zjištěných. Pro tento typ hodnocení se jako nejvhodnější jeví použít pro odhad biomasy modely Snorrason nebo Bræke1. Vzhledem k dendrometrickým charakteristikám základních souborů (SNORRASON 2004 ex ZIANIS 2005) se jeví jako vhodnější použít model Snorrason.

Rozdíly v přesnosti výpočtů podle jednotlivých vzorců ovlivňuje mnoho faktorů. Jedná se zejména o dendrometrické charakteristiky vstupního souboru (h , $d_{1,3}$), ale v neposlední řadě i stanovištní a růstové podmínky, případně provenience 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 výsledky této práce.

Vytvoření modelu pro výpočet biomasy ovlivňuje i náročnost této činnosti na sběr dat a z toho plynoucí velikost základních souborů pro tvorbu modelu.

Případné vytvoření modelu pro výpočet biomasy z dat získaných při tvorbě této práce bude zatíženo všemi faktory ovlivňujícími přesnost výše uvedených výsledků. Jedná se zejména o velikost datového souboru, kdy jsou pro jednotlivé věkové skupiny k dispozici vždy pouze tři vzorníky. Dalším faktorem je lokální platnost vytvořeného modelu, který by odpovídal horským polohám 6. a 7. lesního vegetačního stupně, z čehož plynou určitá růstová a stanovištní specifika. Jistý způsob řešení těchto problémů nabízí možné využití dat získaných v rámci řešení projektu NAZV QH81246, z kterého čerpá i tato práce. Z dosud zpracovaného materiálu jsou zatím k dispozici data z Orlických hor, Jeseníků, Moravskoslezských Beskyd, Vysočiny a v příštím roce se budou zpracovávat vzorníky biomasy i v oblasti Slavkovského lesa. Na základě zjištěných skutečností lze předpokládat, rozšíření možnosti širšího využití tohoto modelu.

7. Závěr

Cílem bakalářské práce byla kvantifikace nadzemní biomasy vzorníků smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) KARST.) z oblasti Orlických hor a následně výběr nejvhodnějšího modelu pro výpočet nadzemní biomasy této dřeviny.

V zájmové oblasti byly vybrány tři smrkové porosty, přičemž kritérii volby byly věk a co nejlepší reprezentativnost stanovištních podmínek dané přírodní lesní oblasti. V každém porostu dané věkové skupiny byly vybrány tři vzorníky, u kterých byla zjištěna hmotnost nadzemní biomasy. Hmotnost biomasy byla zjišťována i pro jednotlivé části vzorníků (dřevo, jehličí, kůra). Rovněž byl zkoumán vzájemný poměr biomasy koruny a kmene. Výsledky byly porovnány s měřeními jiných autorů, přičemž byly zjištěny odlišnosti v poměru jednotlivých stromových segmentů v závislosti na lokalitě odběru a věku vzorníků.

V druhé části práce byla empiricky zjištěná data porovnána s hodnotami biomasy vypočtenými pomocí alometrických rovnic. Pro porovnání bylo vybráno 19 různých publikovaných modelů. Modely byly testovány z hlediska závislosti/nezávislosti na věku vzorníků a počtu proměnných vstupujících do výpočtu.

Ze zjištěných skutečností vyplývají následující závěry. Pro zjištění biomasy bez ohledu na věk stromu je nejvhodnější použít model islandského autora Snorrasona (18). Pokud rozdělíme vzorníky podle věku, pak pro mladé porosty se jako nejvhodnější jeví model norského autora Brækeho (20), pro středně staré výše uvedený model Snorrasona a pro staré (mýtní) porosty model německého autora Poeppla (16). 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 mlazin.

Literatura

- ČERNÝ, M.: Biomass of *Picea abies* (L.) KARST. in Midwestern Bohemia, *Scand. J. For. Res.*, 1990, 5, s. 83-95.
- ECKMÜLLNER, O.: Allometric relations to estimate needle and branch mass of Norway spruce and Scots pine in Austria. *Austrian Journal of Forest Science*, 123, 2006, č. 1/2, s. 7-16.
- HOCHBICHLER, E., BELLOS, P., LICK, E.: 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, 2006, č. 1/2, s. 35-46.
- [http: // encyklopedie. vseved. cz/ Mezin% C3% A1rodn% C3% AD+ biologick% C3 %BD+ program](http://encyklopedie.vseved.cz/Mezin%C3%A1rodn%C3%AD+biologick%C3%BD+program) (navštíveno 19. 3. 2011).
- [http: // lidar. navajo. cz](http://lidar.navajo.cz) (navštíveno 20. 4. 2011)
- CHROUST, L., TESAŘOVÁ, J.: Quantification of above-ground components of 20 years old Norway spruce (*Picea abies* /L./ KARSTEN). *Communicationes Instituti Forestalis Čechosloveniae*, 14, 1985, s. 111-126.
- IPCC, Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, 2004.
- JALKANEN, A., MÄKIPÄÄ, R., STÅHL, G., LEHTONEN, A., PETERSSON, H.: Estimation of the biomass stock of trees in Sweden: comparison of biomass equations and age-dependent biomass expansion factors. *Ann. For. Sci.*, 62, 2005, s. 848-851.
- KONOPKA, B., PAJTÍK, J., ŠEBEŇ, V., LUKAČ, M.: Belowground biomass functions and expansion factor in high elevation Norway spruce. *Forestry.oxfordjournal.org*, 10 January 2011, s. 1-8.
- KONOPKA, B., ZILINEC, M.: Aboveground and belowground biomass comparison between Norway spruce (*Picea abies* /L./ KARSTEN) and silver fir (*Abies alba* MILL.) in mixed fir-spruce stand. *Ekológia*, 18, 1999, č. 2, s.154-161.
- KORF, V.: *Dendrometrie*. SZN, Praha 1953. 327 s.
- KORSUŇ, F.: Hmoty hroubí a hmoty nadzemní u smrku a borovice. *Lesnický časopis*, 10, 1964, č. 12, s. 1131-1143.

- LEHTONEN, A., CIENCIALA, E., TATARINOV, F., MÄKIPÄÄ, R.: Uncertainty estimation of biomass expansion factors for Norway spruce in the Czech Republic *Ann. For. Sci.*, 64, 2007, s. 133-140.
- LEHTONEN, A., MÄKIPÄÄ, R., HEIKKINEN, J., SIEVÄNEN, R., LISKI, J.: Biomass expansion factors (BEFs) for Scots pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forests. *Forest Ecology and Management*, 188, 2004, s. 211-224.
- Lesnický naučný slovník II.* MZe v Agrospoji, Praha 1995. 683 s.
- MARUŠÁK, R.: *Přednášky z předmětu Dendrometrie pro obor Lesnictví.* 2010.
- MUSIL, I., HAMERNÍK, J.: *Jehličnaté dřeviny. Lesnická dendrologie 1.* Academia, Praha 2007. 352 s.
- NEUMAN, M., JANDL, R.: Derivation of locally valid estimators of the aboveground biomass of Norway spruce. *European Journal of Forest Research*, 124, 2005, s.125-131.
- NEUMAN, H., VOJTĚCHOVSKÝ, J.: *Lesnická taxace.* SZN, Praha 1972. 271 s.
- Oblastní plán rozvoje lesů. Přírodní lesní oblast 25 Orlické hory. Platnost od 1999 do 2018. Textová část.* ÚHÚL, Hradec Králové 1999. 224 s., přílohy.
- PAJTÍK, J., KONOPKA, B., LUKAČ, M.: Biomass functions and expansion factors in young Norway spruce (*Picea abies* [L.] KARST.) trees. *Forest Ecology and Management*, 256, 2008, s. 1096-1013.
- PETRÁŠ, R.: Listová biomasa smreka, borovice a buka. *Lesnícky časopis*, 31, 1985, č. 5, s. 323-332.
- PETRÁŠ, R., PAJTÍK, J.: Sústava česko-slovenských objemových tabuliek drevín. *Lesnícky časopis*, 37, 1991, č. 1, s. 49-56.
- POKORNÝ, R., TOMÁŠKOVÁ, I.: Allometric relationship for surface area and dry mass of young Norway spruce aboveground organs. *Journal of Forest Science*, 53, 2007, č. 12, s. 548-554.
- REPOLA, J.: Biomass equations for Scots pine and Norway spruce in Finland. *Silva Fennica*, 43, 2009, č. 4, s. 625-647.
- ROČEK, I., VOREL, J.: Biomasa. In: *Lesnický naučný slovník I.* MZe v Agrospoji, Praha 1994. 743 s.
- Slovník cizích slov.* Státní pedagogické nakladatelství, Praha 1994. 855 s.

- SOMOGYI, Z., CIENCIALA, E., MÄKIPÄÄ, R., MUUKKONEN, P., LEHTONEN, A., WEIS, P.: Indirect methods of large forest biomass estimation. *European Journal of Forest Research*, published online: 5 may 2006.
- ŠMELKO, Š.: *Dendrometria*. Technická univerzita, Zvolen 2007. 401 s.
- ŠRÁMEK, V., LOMSKÝ, B., NOVOTNÝ, R., LACHMANOVÁ, Z., VÍCHA, Z., VORTELOVÁ, L.: *Dynamika obsahů hlavních živin ve smrkových a bukových porostech v ČR – možnosti zajištění výživy lesních dřevin jako předpoklad trvale udržitelného pěstování lesů*. Zpráva o průběhu řešení projektu NAZV v roce 2008. VÚLHM, Strnady 2009. 25 s. (Ms).
- VINŠ, B., ŠIKA, A.: *Biomasa nadzemních a podzemních částí vzorníků smrku*. Dílčí závěrečná zpráva. VÚLHM, Jíloviště-Strnady 1975. 38 s. (Ms).
- VYSKOT, M.: Nadzemní biomasa adultní populace smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) KARST.). *Lesnictví*, 37, 1991, č. 6, s. 509-527.
- VYSKOT, M.: Bilance biomasy hlavních lesních dřevin. *Lesnictví*, 26, 1980, s. 849-882.
- WIRTH, CH., SCHUMACHER, J., SCHULZE, E.-D.: Generic biomass for Norway spruce in Central Europe-a-meta-analysis approach toward prediction and uncertainty estimation. *Tree Physiology*, 24, 2004, s. 121-139.
- ZIANIS, D., MUUKKONEN, P., MÄKIPÄÄ, R., MENCUCCINI, M.: Biomass and stem volume equations for tree species in Europe. *Silva Fennica, Monographs*, 4, 2005.
- ZIANIS, D., RADOGLU, K.: Comparison between empirical and theoretical biomass allometric models and statistical implications for stem volume predictions. *Forestry*, 79, 2006, č. 4, s. 477-487.
- Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2009*. MZe, Praha 2010. 112 s.