

# **POROVNANIE DVOCH ALTERNATÍVNYCH METÓD KALKULÁCIE ZÁSOb DENDROMASY**

IVAN SAČKOV

Národné lesnícke centrum - Lesnícky výskumný ústav Zvolen, T. G. Masaryka 22, SK – 960 92 Zvolen,  
e-mail: sackov@nlcsk.org

SAČKOV, I., 2012: Comparison of two alternative methods for the calculation of dendromass. Lesn. Čas. – Forestry Journal, 58(2): 111–120, 2012, fig. 5, tab. 5, ref. 7, ISSN 0323 – 1046. Original paper.

The paper is focused on comparison of two methods which were developed for dendromass calculation at both tree and stand level. The analysis for stand level was performed in the locality of Sekier 3 (VŠLP TU in Zvolen) and the analysis for tree level was carried out using the database of National Forest Inventory and Monitoring of Slovakia (2005 – 2006). The first calculation uses the Czech-Slovak volume tables (PETRÁŠ *et al.*, 1991) and the second one uses tables for timber grading released by DEJMAL (1986). The software was developed for automated data processing. The results showed insignificant differences (at  $\alpha = 0.05$  level of significance) only for beech and oak (tree biomass) and for pine (branch biomass).

**Key words:** database system, volume equations, dendromass

Príspevok sa zaoberá porovnaním výsledkov výpočtu zásob dendromasy alternatívnymi metódami na porastovej a stromovej úrovni. Porastové analýzy boli vykonané pre územie lesného celku Sekier 3 (VŠLP TU vo Zvolene) a analýzy stromové pre výberový súbor stromov z databázy Národnej inventarizácie o monitoringu lesov 2005 – 2006. Analyzované sú kalkulácie podľa sústavy česko-slovenských objemových tabuliek (PETRÁŠ *et al.*, 1991) a analogicky podľa tabuliek pre sortimentáciu ťažobného fondu (DEJMAL, 1986). Výpočet je vykonaný prostredníctvom softvérových riešení fungujúcich na databázovej úrovni. Z výsledkov vyplýva, že nevýznamne rozdielne výsledky sa na  $\alpha = 0,05$  hladine významnosti vo výberovom súbore dosiahli len pri drevine buk a dub (dendromasa stromu) a pri drevine borovica (dendromasa vetiev).

**Kľúčové slová:** databázové systémy, objemové rovnice, dendromasa

## **1. Úvod, problematika a cieľ**

Biomasa je komplexným biologickým systémom živej organickej hmoty, ktorá vznikla a vyvíjala sa ako produkt životných prejavov živých organizmov. Jednou zložkou v tomto systéme je biomasa stromov (dendromasa), ktorá predstavuje všetky podzemné a nadzemné časti (orgány) zdrevnatenejších rastlín lesných ekosystémov.

Kvantifikácia zdrojov stromovej biomasy ma mimoriadny význam z hospodárskeho, sociálneho ale aj z environmentálneho hľadiska. Výsledky kalkulácií sú dôležité hlavne v rámci hospodársko-úpravníckeho plánovania, stratégie využívania obnoviteľných zdrojov energie, či pri optimalizácii urbanistických zámerov.

Systémom výpočtu objemu dendromasy sa zaoberalo mnoho zahraničných aj domácich autorov. Vzniklo tak viacero alternatívnych metodických postupov, ktoré sú determinované osobitými podmienkami krajiny pô-

vodu metódy, resp. podmienkou postačujúcej presnosti kalkulácií. Vo všeobecnosti je pritom možné súbor týchto metód diferencovať, podľa toho akým spôsobom sa zisťujú vstupné charakteristiky, na postupy založené na priamom meraní a na postupy založené na odhade.

K jedným z najpoužívanějších spôsobov priameho zisťovania objemu dendromasy stromu, resp. jeho nadzemných, či podzemných zložiek patrí metóda objemových tabuliek, ktorých základom sú objemové funkcie. Tieto vyjadrujú objem stromu ako funkciu jednej až troch, resp. štyroch jednoduchšie merateľných veličín charakterizujúcich rozmery aj tvar kmeňa stromu (ŠMELKO, 2003). Takto sú konštruované rovnice určené ku kalkuláciám jednotlivých zložiek stromu ako kmeň, vetvy, asimilačné orgány, koreňový systém (PETRÁŠ *et al.*, 1985, 1991; DREXHAGE *et al.*, 2001; ZIANIS *et al.*, 2005). Na Slovensku je dominantne využívaná alternatíva dvojargu-

mentových objemových rovníc a tabuliek. Sústava česko-slovenských objemových tabuliek je skonštruovaná na základe vyše 20 tisíc vzorníkov pre 11 drevín – smrek, jedľu, borovicu, smrekovec, dub, buk, hrab, brezu, jašeň, topoľ, jelšu a pre 8 objemových jednotiek – kmeň s kôrou, kmeň bez kôry, hrubina nad 7 cm s kôrou, hrubina nad 7 cm bez kôry, strom s kôrou, strom bez kôry, hrubina nad 3 cm s kôrou, hrubina nad 3 cm bez kôry. Uvedené rovnice a tabuľky umožňujú určiť iba objemy celého stromu v m<sup>3</sup>, objem ďalších zložiek, napr. vetiev (konárov) sa musí odvodiť ako rozdiel objemu stromu a objemu kmeňa, objem tenčiny ako rozdiel objemu stromu a hrubiny ap. Pre stanovenie objemovej hmotnosti v kg je potrebné príslušné objemy prenásobiť konverzným faktorom – jednotkovou objemovou hmotnosťou (kg.m<sup>-3</sup>). Nezávislými premennými v rovniciach sú hrúbka  $d_{1,3}$  a výška  $h$  stromu. Objemové funkcie umožňujú odhad objemu stromu s presnosťou  $\pm 7 - 12 \%$  pri 68 % spoľahlivosti. Autori tohto postupu sa zaoberali aj jeho automatizáciou, pričom bola vytvorená aplikácia s názvom „Objtab“ (PETRÁŠ *et al.*, 1991). Algoritmy tejto aplikácie neskôr tvorili základ pre účelové modifikácie pôvodného systému. Príkladom je riešenie regionálneho zisťovania uhlíkových zásob a ich bilančných zmien, postavené na geografickej báze údajov, do ktorej vstupujú upravené algoritmy ako uložené procedúry a procesy (PAJTIK *et al.*, 2009). Z upraveného algoritmu objemových rovníc vychádza aj kalkulačný model – produkcia, ktorý je súčasťou architektúry rastového simulátora SIBYLA (FABRIKA, 2010).

Menej používanou metódou umožňujúcou zistiť priamo objemovú hmotnosť stromovej biomasy, resp. jej nadzemných zložiek je metóda koeficientov výťažnosti zložiek nadzemnej dendromasy pre priemerné vzrastové pomery (DEJMAL, 1986). Základom tohto postupu sú koeficienty výťažnosti nadzemnej dendromasy dreva z vetiev, dendromasy asimilačných orgánov a dendromasy stromu (objem stromu tvorí objem kmeňa bez kôry, objem dreva z vetiev a objem asimilačných orgánov). Tieto vyjadrujú pomer uvažovaných zložiek lesnej biomasy k hmotnosti lesnej biomasy kmeňa bez kôry, z ktorého bola získaná. Automatizáciou tohto metodického postupu sa zaoberal SAČKOV a kolektív (2007), pričom bola vytvorená on-line aplikácia, ktorá funguje na webovom rozhraní. Ovládanie programu je intuitívne, pričom užívateľovi stačí po výbere vstupných taxačných charakteristík, zadanie kalkulačných charakteristík aktivovať výpočet a algoritmus prepočtu objemových jednotiek (m<sup>3</sup>) na jednotky hmotnostné (kg), a to pre jednotlivé zložky stromu sa spustí automaticky. Cenová výťažnosť je možná až po editovaní ceny dendromasy na kg pre jednotlivé vlhkostné stavy.

Predložený príspevok sleduje tri ciele: 1) Odprezentovať softvérové riešenia, ktoré automatizujú postup kalkulácie zásob biomasy stromov, sú založené na databázovom princípe a vychádzajú z metodickej štruktúry

dvoch alternatívnych metód vypracovaných v podmienkach Česka a Slovenska; 2) Prostredníctvom nich následne vykalkulovať jednotlivé zložky dendromasy pre lokálne podmienky záujmového územia na porastovej úrovni a tak preukázať praktickú použiteľnosť vytvorených riešení; 3) Preskúmať a zhodnotiť možné rozdiely vo výpočte totožných objemových a hmotnostných jednotiek dendromasy stromu a vetiev bez kôry na stromovej úrovni.

## 2. Metodika

### 2.1. Softvérové riešenia pre kalkuláciu biomasy stromov

Základom štruktúry softvérových riešení bola metodika výpočtu objemu stromovej biomasy podľa PETRÁŠ *et al.* (1991) a podľa DEJMAL (1986). Skriptovanie bolo vykonané v objektovo orientovanom programovom jazyku C#. Zápis všeobecného tvaru algoritmu analyzovaných metód je uvedený vo vzťahu 1 a 2. Vzťah 1 predstavuje funkciu výpočtu objemu dreva prostredníctvom sústavy česko-slovenských objemových tabuliek drevín a jeho automatizovaná verzia má názov OR. Vzťah 2 je funkciou alternatívneho výpočtu z tabuliek pre sortimentáciu ťažobného fondu a jeho automatizovaná verzia má názov KVND.

$$\begin{aligned} v &= f(d_{1,3}, h) \\ w &= v \cdot \rho \end{aligned} \quad [1]$$

kde

$v$  – objem stromu pre zvolenú objemovú jednotku (m<sup>3</sup>),  
 $d_{1,3}$  – hrúbka stromu vo výške 1,3 m (cm),  
 $h$  – výška stromu (m),  
 $w$  – objemová hmotnosť stromu (kg) zodpovedajúca objemu ( $v$ ),  
 $\rho$  – konverzný faktor (kg.m<sup>-3</sup>), jednotková objemová hmotnosť pripadajúca na 1 m<sup>3</sup> objemu pri určitej relatívnej vlhkosti dreva.

$$w = f(w_{KBK}, d_{1,3}) \quad [2]$$

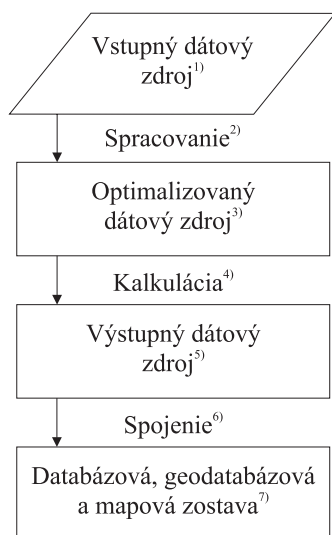
kde

$w$  – objemová hmotnosť zložky dendromasy stromu bez kôry (kg),  
 $w_{KBK}$  – dendromasa kmeňa bez kôry (kg),  
 $d_{1,3}$  – hrúbka stromu vo výške 1,3 m (cm).

Prvý a druhý všeobecný zápis je pritom možné prispôbiť pre účel kalkulácie objemu biomasy stromu na úrovni lesného porastu, a to súčtom objemov, resp. hmotností objemov zložiek dendromasy ( $v$ ;  $w$ ) jednotlivých stromov. Eventuálne je možné použiť metódu stredného kmeňa, t. j. nahradiť stromové charakteristiky priemernými porastovými veličinami (počtom stromov, strednou hrúbkou a strednou výškou). Ďalšie prispôbenie všeobecného zápisu súvisí s prepočtom objemových jednotiek na jednotky hmotnostné a naopak.

## 2.2. Kalkulácia biomasy stromov

Metodický postup kalkulácie zložiek stromovej biomasy v chronologickom poradí jednotlivých nadväzujúcich činností je schematicky zobrazený na obrázku 1.



**Obr. 1.** Schéma kalkulácie zložiek dendromasy

**Fig. 1.** Scheme of dendromass components calculation

<sup>1)</sup>Input database, <sup>2)</sup>Processing, <sup>3)</sup>Optimized database, <sup>4)</sup>Calculation,

<sup>5)</sup>Output database, <sup>6)</sup>Join, <sup>7)</sup>Database, geodatabase and map set

### Spracovanie

Podstatou činnosti spracovania bola optimalizácia vstupného dátového zdroja. Jednalo sa o hromadnú editáciu a konverziu atribútovej časti vstupnej databázy tak aby vznikla integritne obmedzená dátová štruktúra uložená v databázovom systéme SQL Server 2005. Obsahom databázy boli údaje z diel hospodársko-úpravníckeho plánovania v lesoch (PSoL), teda porastové charakteristiky, pre územie LC Sekier 3 (VŠLP TU vo Zvolene). Záujmové územie má výmeru 218 ha a obsahuje 131 jednotiek priestorového rozdelenia lesa. V drevinovom zložení dominujú listnaté lesy a približne štvrtina lesov je ihličnatých (BK 25 %, DB 38 %, BO 18 %, SM 13 %, SC 4 %, JD 2 %). Priemerné zakmenenie dosahuje hodnotu 08, stredná hrúbka hodnotu 22 cm a stredná výška hodnotu 18 m.

### Kalkulácia

Proces kalkulácie prebiehal formou pripojenia vytvorených aplikácií (softvérové riešenia) na optimalizovaný dátový zdroj. Nasledovalo spustenie kalkulácií na základe automatizovaných vzťahov 1 a 2, pričom platilo, že v tomto postupe sa charakteristiky hrúbky a výšky jednotlivého stromu nahradzovali strednými charakteristikami porastu ( $d_{1,3} - d_s$ ,  $h - h_s$ ). Potrebné vstupné dáta sa preberali, resp. sa odvodili z dát v databáze alebo boli vnútornou súčasťou programu. Odvodeným vstup-

ným zdrojom bol napríklad počet stromov, ktorý sa získal podielom zásoby porastu (hrúbka bez kôry) a objemu stredného kmeňa bez kôry. Interným vstupným zdrojom boli napríklad hodnoty objemovej hmotnosti dreva, podľa STN 480010 (tab. 1). Podobne vstupovali do prepočtu aj hodnoty koeficientov výťažnosti zložiek nadzemnej dendromasy (tab. 2). Výsledkom kalkulácie bol výstupný dátový zdroj, ktorý obsahoval vykalkulované množstvá objemu lesnej biomasy stromu a vetiev obidvoma metódami v objemových a hmotnostných jednotkách bez kôry. Nutné je pritom upozorniť, že objem stromu v prípade kalkulácie podľa KVND predstavoval objem kmeňa, vetiev a aj asimilačných orgánov, pričom ale stromový objem podľa OR predstavoval len objem kmeňa a objem primárnych vetiev.

**Tabuľka 1.** Jednotková objemová hmotnosť dreva (STN 480010)

**Table 1.** Volume weight of dry matter – 20% moisture content (STN 480010)

| Drevina <sup>1)</sup>                                                    | Objemová hmotnosť dreva (kg·m <sup>-3</sup> ) (absolútna vlhkosť 20 % <sup>2)</sup> |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Smrek; jedľa <sup>3)</sup>                                               | 480                                                                                 |
| Borovica; smrekovec; ostatné ihličnaté dreviny <sup>4)</sup>             | 580                                                                                 |
| Agát; buk; dub; hrab <sup>5)</sup>                                       | 760                                                                                 |
| Cer <sup>6)</sup>                                                        | 820                                                                                 |
| Topoľ; vŕba; lipa <sup>7)</sup>                                          | 470                                                                                 |
| Breza; brest; jaseň; javor; ostatné tvrdé listnaté dreviny <sup>8)</sup> | 720                                                                                 |
| Jelša; osika; ostatné mäkké listnaté dreviny <sup>9)</sup>               | 550                                                                                 |

<sup>1)</sup>Tree species, <sup>2)</sup>Volume weight of dry matter – 20% moisture content,

<sup>3)</sup>Spruce, fir, <sup>4)</sup>Pine, larch, other coniferous trees, <sup>5)</sup>Black locust, beech, oak, hornbeam, <sup>6)</sup>Turkey oak, <sup>7)</sup>Poplar, willow, linden, <sup>8)</sup>Birch, elm, ash, maple, other hard-wooded broadleaved trees, <sup>9)</sup>Alder, Aspen, other soft-wooded broadleaved trees

### Spojenie

Prostredníctvom vonkajšieho spojenia operátorom rovnosti (equi-join) sa výstupný dátový zdroj spojil s bazou dát geografických informácií. Determinujúcim identifikátorom spojenia pritom boli atribúty priestorového rozdelenia lesa. Tento proces bol vykonaný v prostredí geografického informačného systému ArcGIS 10 (ESRI).

## 2.3. Analýza významnosti rozdielov v kalkulácii biomasy stromov

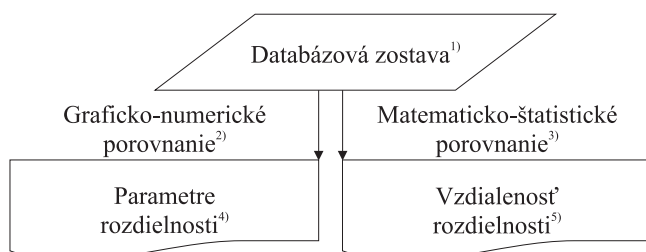
Metodický postup analýzy rozdielov kalkulácie zložiek dendromasy v chronologickom poradí jednotlivých nadväzujúcich činností je schematicky zobrazený na obrázku 2.

**Tabuľka 2.** Koefficienty výťažnosti zložiek nadzemnej dendromasy pre priemerné vzrastové pomery (DEJMAL, 1986)  
**Table 2.** Yield coefficients of aboveground dendromass for mean growth conditions (DEJMAL, 1986)

| Koefficienty <sup>2)</sup>    | d <sub>1,3</sub> <sup>1)</sup> |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|                               | 22                             | 26   | 30   | 34   | 38   | 42   | 46   | 50   |
| <b>Smrek<sup>3)</sup></b>     |                                |      |      |      |      |      |      |      |
| k1                            | 1,19                           | 1,17 | 1,16 | 1,15 | 1,15 | 1,14 | 1,14 | 1,14 |
| k2                            | 0,08                           | 0,07 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| k3                            | 0,11                           | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  |
| <b>Jedľa<sup>4)</sup></b>     |                                |      |      |      |      |      |      |      |
| k1                            | 1,18                           | 1,16 | 1,16 | 1,15 | 1,14 | 1,13 | 1,13 | 1,13 |
| k2                            | 0,07                           | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| k3                            | 0,11                           | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 |
| <b>Borovica<sup>5)</sup></b>  |                                |      |      |      |      |      |      |      |
| k1                            | 1,21                           | 1,19 | 1,18 | 1,17 | 1,17 | 1,17 | 1,17 | 1,17 |
| k2                            | 0,07                           | 0,06 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,03 | 0,03 |
| k3                            | 0,14                           | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,14 | 0,14 |
| <b>Smrekovec<sup>6)</sup></b> |                                |      |      |      |      |      |      |      |
| k1                            | 1,15                           | 1,12 | 1,1  | 1,1  | 1,09 | 1,09 | 1,1  | 1,1  |
| k2                            | 0,05                           | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| k3                            | 0,1                            | 0,09 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,09 | 0,09 |
| <b>Dub<sup>7)</sup></b>       |                                |      |      |      |      |      |      |      |
| k1                            | 1,23                           | 1,2  | 1,18 | 1,18 | 1,17 | 1,17 | 1,17 | 1,17 |
| k2                            | 0,03                           | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| k3                            | 0,2                            | 0,17 | 0,16 | 0,16 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| <b>Buk<sup>8)</sup></b>       |                                |      |      |      |      |      |      |      |
| k1                            | 1,26                           | 1,24 | 1,22 | 1,21 | 1,21 | 1,21 | 1,21 | 1,22 |
| k2                            | 0,03                           | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| k3                            | 0,23                           | 0,21 | 0,2  | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,2  |

Vysvetlivky – Explanatory notes: k1 – koefficient výťažnosti nadzemnej dendromasy stromu – sum of yield coefficients of aboveground dendromass; k2 – koefficient výťažnosti biomasy asimilačných orgánov – yield coefficients of leaf biomass; k3 – koefficient výťažnosti dendromasy vetiev – yield coefficients of branch wood.

<sup>1)</sup>Stem diameter, <sup>2)</sup>Coefficients, <sup>3)</sup>Spruce, <sup>4)</sup>Fir, <sup>5)</sup>Pine, <sup>6)</sup>Larch, <sup>7)</sup>Oak, <sup>8)</sup>Beech



**Obr. 2.** Schéma analýzy významnosti rozdielov

**Fig. 2.** Scheme of significance test

<sup>1)</sup>Database set, <sup>2)</sup>Graphic-numerical comparison, <sup>3)</sup>Mathematic-statistical comparison, <sup>4)</sup>Difference parameters, <sup>5)</sup>Statistical significance of differences

Databázová zostava bola vytvorená podobným postupom ako je uvedený v schéme na obrázku 1. V tomto prípade bola tvorená ale z kalkulovaných objemov stromovej biomasy podľa vzťahu 1 a 2 pre 500 náhodne vybraných stromov z databázy Národnej inventarizácie a monitoringu lesa (ŠMELKO *et al.*, 2008). K dispozícii tak bol výberový súbor s rozsahom  $n = 500$  a údajmi o hrúbke

( $d_{1,3}$ ) a výške ( $h$ ) každého jednotlivého stromu pre drevinu buk, dub, smrek, borovica, jedľa, smrekovec. Prehľad dôležitých dendrometrických charakteristík, ktoré popisujú hrúbkovú a výškovú štruktúru výberového súboru je uvedený v tabuľke 3. Nutné je pritom upozorniť, že objem stromu v prípade kalkulácie podľa KVND a aj v prípade OR predstavoval objem kmeňa a objem vetiev (objem asimilačných orgánov nevstupoval do prepočtu). Porovnávané boli teda len identické objemové jednotky jednotlivých zložiek dendromasy bez kôry.

### Graficko-numerické porovnanie

Graficko-numerické porovnávanie výsledkov kalkulácií objemu lesnej biomasy rozdielnymi metódami predstavovalo ich jednoduchú konfrontáciu v grafickej a tabuľkovej forme. Jednalo sa o primárne analýzy databázovej zostavy.

### Matematicko-štatistické porovnanie

Porovnávanie kalkulácií na základe matematicko-štatistických metód predstavovalo vykonanie niekoľkých

**Tabuľka 3.** Dendrometrické charakteristiky v databázovej zostave  
**Table 3.** Dendrometric characteristics in Database set

| Drevina <sup>1)</sup> | $\bar{d} \pm S_D$ (cm) | $\bar{h} \pm S_D$ (m) | Drevina <sup>1)</sup>   | $\bar{d} \pm S_D$ (cm) | $\bar{h} \pm S_D$ (m) |
|-----------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|
| Buk <sup>2)</sup>     | 23,6 ± 12,6            | 18 ± 6                | Borovica <sup>5)</sup>  | 25,1 ± 9,4             | 17 ± 6                |
| Dub <sup>3)</sup>     | 27,2 ± 10,9            | 20 ± 6                | Jedľa <sup>6)</sup>     | 26,2 ± 13,3            | 17 ± 7                |
| Smrek <sup>4)</sup>   | 26,4 ± 11,9            | 20 ± 9                | Smrekovec <sup>7)</sup> | 25,1 ± 10,6            | 19 ± 7                |

Vysvetlivky – Explanatory notes:  $\bar{d}$  – aritmetický priemer hrúbok – mean diameter;  $\bar{h}$  – aritmetický priemer výšok – mean height;  $\pm S_D$  – smerodajná odchýlka – standard deviation.

<sup>1)</sup>Tree species, <sup>2)</sup>Beech, <sup>3)</sup>Oak, <sup>4)</sup>Spruce, <sup>5)</sup>Pine, <sup>6)</sup>Fir, <sup>7)</sup>Larch

nadväzujúcich testov štatistických hypotéz. Jednalo sa o sekundárne analýzy databázovej zostavy.

Za účelom správnej voľby štatistického testu sa najprv overilo splnenie predpokladov o dátach. Zhodnotil sa tvar rozdelenia pravdepodobností hodnôt diferencií, a to prostredníctvom Shapiro-Wilksoho W testu. Na základe výsledkov tohto overenia a skutočnosti, že rozsahy závislých analyzovaných súborov sú rovnaké ( $n_1 = n_2$ ), sa pri analýze významnosti rozdielov použil neparametrický Wilcoxonov párový test. Testom hypotézy  $H_0 : \Delta = 0$  oproti  $H_1 : \Delta \neq 0$  sa na  $\alpha = 0,05$  hladine významnosti pri  $f = n-1$  stupňoch voľnosti zisťovalo, či rozdiely vo výsledkoch sú len náhodné alebo sú štatisticky významné.

### 3. Výsledky

#### 3.1. Softvérové riešenia pre kalkuláciu biomasy stromov

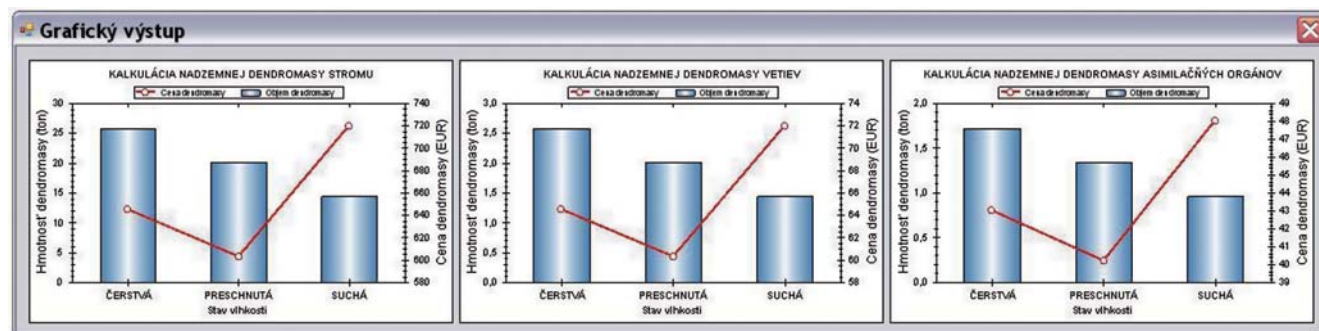
Softvérové riešenia, ktoré automatizujú proces kalkulácie zložiek biomasy stromov podľa metodiky DEJMAL (1986) a PETRÁŠ *et al.* (1991), doplnené algoritmom na prepočet zdrojov lesnej biomasy na úrovni lesného porastu, sú spracované ako samostatné aplikácie – KVND, OR. Vstupné charakteristiky sa priamo zadávajú, alebo vyberajú z prednastavenej ponuky. Výstupy kalkulácií sú k dispozícii v numerickej alebo grafickej podobe, pričom je možný ich export do tabuľkového alebo textového formátu (csv, pdf). Na obrázku 3 je zobraze-

ný jeden príklad aplikačného výstupu, ktorý prezentuje vykalkulované množstvo jednotlivých zložiek lesnej biomasy stromu (dendromasa stromu: kmeň, vetvy, asimilačné orgány; dendromasa vetiev; dendromasa asimilačných orgánov) v hmotnostných a peňažných jednotkách. Z uvedeného grafu je možné vykonať rýchle zhodnotenie efektívnosti spracovania dendromasy, teda rozhodnúť, či je výhodné ekonomicky zhodnotiť dendromasu v čerstvom stave vlhkosti, alebo je výhodnejšie túto dendromasu skladovať a až následne ju zobchodovať.

#### 3.2. Kalkulácia biomasy stromov na porastovej úrovni

Optimalizáciou vstupného dátového zdroja vznikla integritne obmedzená dátová štruktúra s rádom relácie 152 a rozmerom relácie 95. Aktiváciou kalkulácie prostredníctvom softvérových aplikácií OR a KVND sa rád relácie zväčšil na 320, čo znamená navýšenie 21 stĺpcov pre každú drevinu vo výstupnej databáze. Atribútový obsah priradených stĺpcov predstavuje vykalkulované hodnoty objemových a hmotnostných jednotiek jednotlivých zložiek stromovej biomasy bez kôry metódou objemových rovníc (OR) a metódou kalkulácií výťažnosti nadzemnej dendromasy (KVND) v priemernom stave absolútnej vlhkosti 20 %.

Vypočítané hodnoty zložiek dendromasy stromu a vetiev pre úroveň lesného celku vyjadrené k plošnej charakteristike sú uvedené v tabuľke 4. Z prehľadu hodnôt vyplýva, že vo väčšine jednotiek priestorového rozdele-



**Obr. 3.** Grafický výstup – Objemová a cenová výťažnosť nadzemnej dendromasy

**Fig. 3.** Graphic output – Volume and price yield of above ground dendromass

**Tabuľka 4.** Hektárové zásoba dendromasy v LC Sekier 3**Table 4.** Dendromass sources per 1 ha in the forest-management area Sekier 3

| Zložka dendromasy <sup>1)</sup>           | Strom <sup>2)</sup>     |                           | Vetvy <sup>3)</sup>     |                           |
|-------------------------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Metóda <sup>4)</sup>                      | OR (m <sup>3</sup> /ha) | KVND (m <sup>3</sup> /ha) | OR (m <sup>3</sup> /ha) | KVND (m <sup>3</sup> /ha) |
| Priemerná hodnota $\pm S_p$ <sup>5)</sup> | 312,84 $\pm$ 196,06     | 338,39 $\pm$ 213,17       | 43,04 $\pm$ 29,72       | 50,18 $\pm$ 29,6          |
| Metóda <sup>4)</sup>                      | OR (ton/ha)             | KVND (ton/ha)             | OR (ton/ha)             | KVND (ton/ha)             |
| Priemerná hodnota $\pm S_p$ <sup>5)</sup> | 222,53 $\pm$ 141,48     | 240,31 $\pm$ 153,6        | 31,95 $\pm$ 22,88       | 36,26 $\pm$ 22,51         |

Vysvetlivky – Explanatory notes: KVND – kalkulator výťažnosti nadzemnej dendromasy – calculator of aboveground biomass yield; OR – kalkulator objemových rovníc – calculator of timber volume equations;  $\pm$ SD – smerodajná odchýlka – standard deviation.

<sup>1)</sup>Biomass component, <sup>2)</sup>Tree, <sup>3)</sup>Branches, <sup>4)</sup>Method, <sup>5)</sup>Average

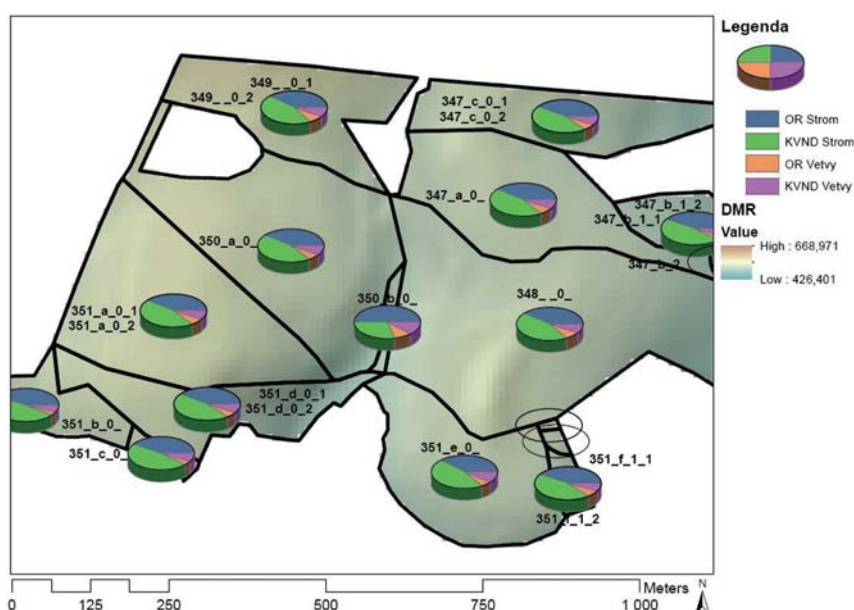
nia lesa (68 %) bude na jeden hektár pripadať 312,84 m<sup>3</sup>  $\pm$ 62,67 %, resp. 222,53 ton  $\pm$ 63,57 % lesnej biomasy stromu vykalkulovanej podľa OR a 338,39 m<sup>3</sup>  $\pm$ 62,99 %, resp. 240,31 ton  $\pm$ 63,91 % podľa KVND. Podobne je možné zhodnotiť objem lesnej biomasy vetiev, ktorá dosahuje podľa OR hodnotu 43,04 m<sup>3</sup>  $\pm$ 69,05 %, resp. 31,95 ton  $\pm$ 71,61 % na hektár a podľa KVND 50,18 m<sup>3</sup>  $\pm$ 58,98 %, resp. 36,26 ton  $\pm$ 62,07 % na hektár. Na základe uvedených vykalkulovaných hodnôt objemov, resp. hmotností objemov dendromasy je možné ďalej usúdiť, že metóda KVND poskytla v porovnaní s metódou OR pre daný lesný celok nadhodnotený výsledky. Tento záver zostal platný aj po tom, keď sa dendromasa stromu kalkulovala podľa KVND znížila o hodnotou kalkulovalenej dendromasy asimilačných orgánov (8,64 ton/ha) a bolo tak možné porovnať rovnaké zložky objemu dendromasy.

Prepojením výstupného dátového zdroja s databázou geografických informácií je možná prezentácia zá-

kladných výsledkov kalkulácií zložiek lesnej biomasy stromu a vetiev pre úroveň lesného celku v podobe mapovej zostavy na obrázku 4. Výsekové grafy korešpondujú s jednotlivými jednotkami priestorového rozdelenia lesa a vyjadrujú pomery vykalkulovaných objemov lesnej biomasy stromu a vetiev alternatívnymi metódami. Týmto spôsobom je možné analogicky prezentovať tieto výsledky pre ktorúkoľvek časť územia v tabuľkovej alebo mapovej zostave, resp. na týchto dátach vykonávať potrebné analýzy.

### 3.3. Analýza významnosti rozdielov v kalkulácii biomasy stromov na stromovej úrovni

Graficko-numerické porovnanie výsledkov kalkulácií objemu dendromasy jednotlivých zložiek stromu rozdielnymi metódami je prezentované na obrázku 5. Plošné histogramy zobrazujú priemernú hodnotu kalkulovalenej dendromasy stromu a vetiev bez kôry pre konkrét-

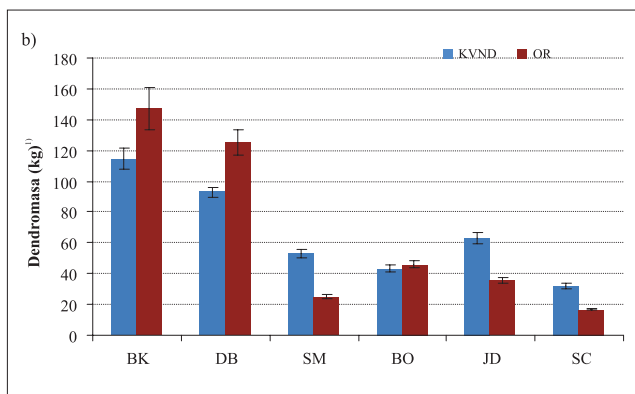
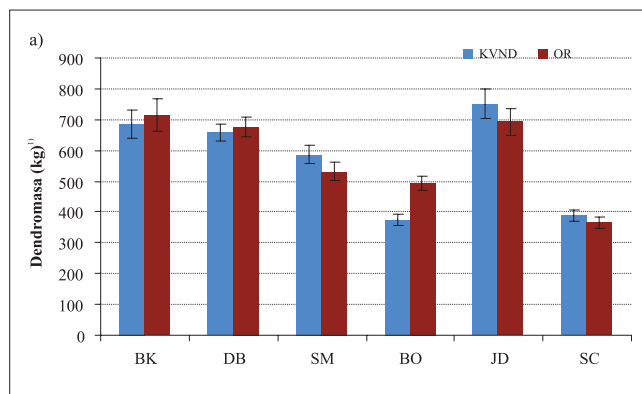
**Obr. 4.** Mapa zásob dendromasy v časti LC Sekier 3**Fig. 4.** Map of dendromass sources in the the forest-management area Sekier 3

Vysvetlivky – Explanatory notes: KVND – kalkulator výťažnosti nadzemnej dendromasy – calculator of aboveground biomass yield; OR – kalkulator objemových rovníc – calculator of timber volume equations; DMR – digitálny model reliéfu – digital relief model.

nu drevinu vo výberovom súbore a zároveň prezentujú aj veľkosť strednej výberovej chyby, teda 68 % interval spoľahlivosti. Z grafov vyplýva, že v tomto výberovom súbore metodika KVND oproti metodike OR výsledky pri drevine smrek, jedľa a smrekovec nadhodnocuje a pri drevine buk, dub, borovica podhodnocuje, a to v prípade dendromasy stromu aj vetiev. Výberová presnosť kalkulovaného množstva lesnej biomasy bola so 68 % spoľahlivosťou priemerne 5 % pri metóde KVND a priemerne 6 % pri metóde OR za všetky drevisť. Vyššia hodnota strednej kvadratickej chyby vo zvolenom výberovom súbore, ktorú zaznamenala metóda OR vyplýva z väčšej variability hodnôt vyčíslovaných objemov lesnej biomasy. Táto skutočnosť pravdepodobne súvisí s tým,

že OR pomocou dvoch vstupných veličín ( $d_{1,3}$ ,  $h$ ) lepšie zohľadňuje skutočný objem stromu ako KVND, kde sa s výškou stromu neuvažuje a koeficienty výťažnosti sú k dispozícii iba pre hrúbky od 10 do 50 cm.

Zhodnotením počtu prípadov nad/pod-hodnotenia vyčíslovaných hodnoty objemu dendromasy metódou KVND oproti metodike OR sa zistilo, že niektoré drevisť, pri ktorých sa v celkovom súhrne získali podhodnotené výsledky, zaznamenali naopak viac prípadov nadhodnotenia ako podhodnotenia. Tento nesúlad sa vyskytol pri drevine buk, dub v rámci dendromasy stromu a pri drevine dub, borovica v rámci dendromasy vetiev (obr. 6). Pri týchto drevinách počet nadhodnotených prípadov teda nemal významný vplyv na celkové vyčíslo-

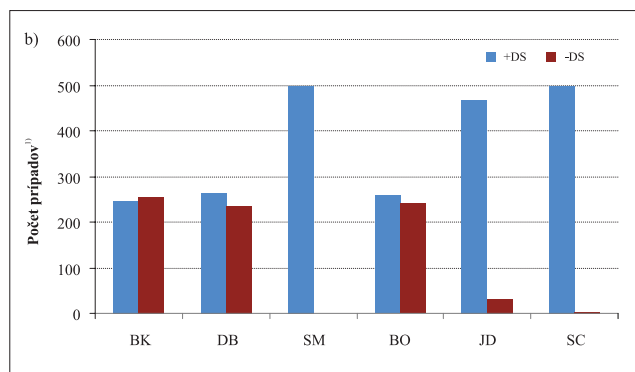
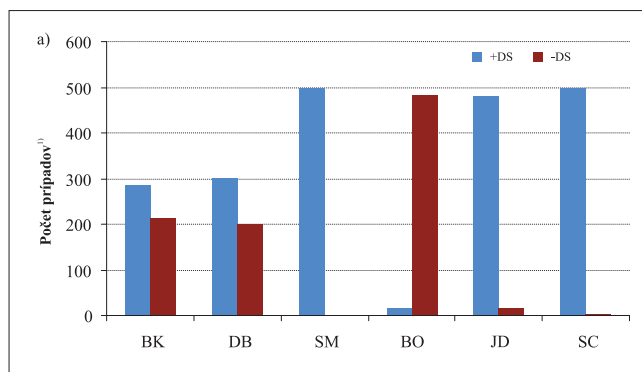


**Obr. 5.** Zložky dendromasy stromu (a) a vetiev (b)

**Fig. 5.** Dendromass components: Tree (a) and Branches (b)

Vysvetlivky – Explanatory notes: KVND – kalkulátor výťažnosti nadzemnej dendromasy – calculator of aboveground biomass yield; OR – kalkulátor objemových rovníc – calculator of timber volume equations; I – stredná chyba – standard error; BK – buk – beech; DB – dub – oak; SM – smrek – spruce; BO – borovica – pine; JD – jedľa – fir; SC – smrekovec – larch.

<sup>1)</sup>Dendromass



**Obr. 6.** Počet prípadov nad/pod-hodnotenia v kalkulácii dendromasy stromu (a) a vetiev (b) metódou KVND oproti metóde OR  
**Fig. 6.** Number of over/under-estimations in calculation by KVND method in comparison with OR method: Tree (a) and Branches (b)

Vysvetlivky – Explanatory notes: BK – buk – beech; DB – dub – oak; SM – smrek – spruce; BO – borovica – pine; JD – jedľa – fir; SC – smrekovec – larch; +DS – počet prípadov nadhodnotenia: dendromasa stromu – number of overestimated calculations: tree biomass; -DS – počet prípadov podhodnotenia: dendromasa stromu – number of underestimated calculations: tree biomass; +DV – počet prípadov nadhodnotenia: dendromasa vetiev – number of overestimated calculations: branch biomass; -DV – počet prípadov podhodnotenia: dendromasa vetiev – number of underestimated calculations: branch biomass.

<sup>1)</sup>Number of calculations

**Tabuľka 5.** Prehľad stredných diferencií (metóda KVND v porovnaní s metódou OR)  
**Table 5.** Overview of mean differences (KVND method in comparison with OR method)

| Drevina <sup>1)</sup> | $\bar{\Delta} \pm S_E$ (kg) |                     | Drevina <sup>1)</sup>   | $\bar{\Delta} \pm S_E$ (kg) |                     |
|-----------------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------|
|                       | Strom <sup>2)</sup>         | Vetvy <sup>3)</sup> |                         | Strom <sup>2)</sup>         | Vetvy <sup>3)</sup> |
| Buk <sup>4)</sup>     | -30,3 ± 7,57                | -32,56 ± 7,07       | Borovica <sup>7)</sup>  | -119,65 ± 6,3               | -2,64 ± 0,94        |
| Dub <sup>5)</sup>     | -18,71 ± 5,25               | -32,04 ± 5,47       | Jedľa <sup>8)</sup>     | 58,35 ± 3,6                 | 27,44 ± 1,87        |
| Smrek <sup>6)</sup>   | 54,98 ± 2,52                | 27,99 ± 1,44        | Smrekovec <sup>9)</sup> | 23,48 ± 1,21                | 14,96 ± 0,76        |

Vysvetlivky – Explanatory notes:  $\bar{\Delta}$  – stredná diferencia – mean difference;  $\pm S_E$  – stredná chyba strednej diferencie – standard error of mean difference.

<sup>1)</sup>Tree species, <sup>2)</sup>Tree, <sup>3)</sup>Branches, <sup>4)</sup>Beech, <sup>5)</sup>Oak, <sup>6)</sup>Spruce, <sup>7)</sup>Pine, <sup>8)</sup>Fir, <sup>9)</sup>Larch

**Tabuľka 6.** Test normality diferencií (metóda KVND v porovnaní s metódou OR)

**Table 6.** Normality test of differences (KVND method in comparison with OR method)

| Drevina <sup>1)</sup> | n   | Strom <sup>2)</sup><br>OR | Vetvy <sup>3)</sup><br>KVND | Strom <sup>2)</sup><br>OR | Vetvy <sup>3)</sup><br>KVND |
|-----------------------|-----|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|
|                       |     | W                         |                             | p                         |                             |
| BK                    | 500 | 0,344                     | 0,319                       | < 0,001                   | < 0,001                     |
| DB                    | 500 | 0,527                     | 0,243                       | < 0,001                   | < 0,001                     |
| SM                    | 500 | 0,756                     | 0,695                       | < 0,001                   | < 0,001                     |
| BO                    | 500 | 0,717                     | 0,739                       | < 0,001                   | < 0,001                     |
| JD                    | 500 | 0,738                     | 0,714                       | < 0,001                   | < 0,001                     |
| SC                    | 500 | 0,511                     | 0,604                       | < 0,001                   | < 0,001                     |

Vysvetlivky – Explanatory notes: KVND – kalkulátor výťažnosti nadzemnej dendromasy – calculator of aboveground biomass yield; OR – kalkulátor objemových rovníc – calculator of timber volume equations; n – rozsah súbore – sample size; W – testovacie kritérium – test criterion; p – hodnota – value; SM – smrek – spruce; JD – jedľa – fir; BO – borovica – pine; SC – smrekovec – larch; BK – buk – beech; DB – dub – oak.

<sup>1)</sup>Tree species, <sup>2)</sup>Tree, <sup>3)</sup>Branches

**Tabuľka 7.** Test významnosti rozdielov (metóda KVND v porovnaní s metódou OR)

**Table 7.** Significance test of differences (KVND method in comparison with OR method)

| Drevina <sup>1)</sup> | n   | Strom <sup>2)</sup> | Vetvy <sup>3)</sup> | Strom <sup>2)</sup> | Vetvy <sup>3)</sup> |
|-----------------------|-----|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                       |     | Z                   |                     | p                   |                     |
| BK                    | 500 | 1,44                | 2,45                | 0,151               | 0,012               |
| DB                    | 500 | 1,88                | 2,37                | 0,062               | 0,024               |
| SM                    | 500 | 19,22               | 19,34               | < 0,001             | < 0,001             |
| BO                    | 500 | 19,14               | 0,44                | < 0,001             | 0,663               |
| JD                    | 500 | 18,21               | 17,70               | < 0,001             | < 0,001             |
| SC                    | 500 | 19,06               | 19,18               | < 0,001             | < 0,001             |

Vysvetlivky – Explanatory notes: n – rozsah súbore – sample size; Z – testovacie kritérium – test criterion; p – hodnota – value; SM – smrek – spruce; JD – jedľa – fir; BO – borovica – pine; SC – smrekovec – larch; BK – buk – beech; DB – dub – oak.

<sup>1)</sup>Tree species, <sup>2)</sup>Tree, <sup>3)</sup>Branches

lované množstvo lesnej biomasy. Dôvodom bol fakt, že prípady podhodnotenia boli väčšie, aj keď menej početné. Pri drevinách smrek, jedľa, smrekovec sa dosiahla zhoda v záveroch vykonaných analýz, teda v analyzovanom výberovom súbore metóda KVND oproti metóde OR podala nadhodnotenú výsledky a zároveň zaznamenala viac prípadov nadhodnotenia ako podhodnotenia.

Výsledky matematicko-štatistických sekundárnych analýz potvrdzujú tiež trend nadhodnotenia a podhodnotenia kalkulácie objemu dendromasy vo výberovom súbore. Uvedené sú v tabuľke 5, pričom sa jedná o stredné diferencie vykalkulovaného množstva lesnej biomasy metódou KVND voči OR doplnené strednými výberovými chybami, takže spolu vymedzujú interval, ktorý skutočná odchýlka vo výberovom súbore nepresiahne so 68%-nou pravdepodobnosťou.

V rámci overenia predpokladov o dátach, ktoré vymedzujú výber vhodného typu testu štatistických hypotéz sa zistilo, že na  $\alpha = 0,05$  hladine významnosti hod-

noty zistených diferencií nemajú normálne rozdelenie. Výsledky tohto testu overujúceho normalitu rozdelenia hodnôt rozdielu vykalkulovaného objemu lesnej biomasy metódou KVND a metódou OR, ktorý bol vykonaný prostredníctvom Shapiro-Wilksovo W testu, sú uvedené v tabuľke 6. Z tohto dôvodu bol pri riešení použitý neparametrický Wilcoxonov párový test, ktorého závery sú uvedené v tabuľke 7. Na základe nich možno interpretovať, že nevýznamný rozdiel v kalkulovaných objemoch lesnej biomasy medzi metódami OR a KVND sa dokázal s 95 % pravdepodobnosťou v rámci objemu stromu len pri drevine buk a dub a v rámci objemu vetiev len pri drevine borovica. Platí teda, že v analyzovanom výberovom súbore sú rozdiely v kalkulácii objemu lesnej biomasy obidvoma metódami pri týchto drevinách a zložkách dendromasy na zvolenej hladine spoľahlivosti náhodné, čo je v dobrom súlade so závermi z predchádzajúcej graficko-počítárskej analýzy. V týchto prípadoch teda zároveň platí, že využitím jednej alebo druhej me-

tódy sa nedosiahnu štatisticky významne rozdielne výsledky v kalkulácii objemu lesnej biomasy a možné je tak zvoliť jednoduchšiu z nich.

#### 4. Závery a odporúčania

Z vykonaného rozboru, ktorý sa venoval problematike kvantifikácie zložiek lesnej biomasy stromov dvomi rozdielnymi metódami, vyplynuli viaceré nové poznatky:

Potvrdilo sa, že vypracovaný automatizovaný databázový systém je prakticky dobre použiteľný. Umožňuje interaktívne užívateľské operácie (import, editácia, konverzia formátov, export), pričom ich aplikácia je možná na širokom spektre údajov o jednotlivých stromoch ale aj o súbore stromov (lesné porasty, lesné celky). Požadované kalkulácie a ich výstupy sú k dispozícii v tabuľkovej i grafickej forme a doplnené navyše aj informáciami o rámcoch presnosti zistených výsledkov. Výhodná je aj možnosť prepojenia výsledných dátových zostáv na geografickú bázu údajov a teda prezentácia a analýza výsledkov prostriedkami geografických informačných systémov.

Použitie systému v modelovom území (časť VŠLP TU Zvolen) ukázalo, že v množstve objemovej hmotnosti vykalkulovanej obidvomi skúšanými metódami existujú pomerne veľké rozdiely. Vo väčšine jednotiek priestorového rozdelenia lesa (68 %) pripadalo na jeden hektár 223 ton  $\pm 64$  % celostromovej dendromasy bez kôry a asimilačných orgánov podľa OR, resp. 232 ton  $\pm 64$  % podľa KVND. Pri dendromase vetiev boli príslušné hodnoty na úrovni 32 ton  $\pm 72$  % na hektár podľa OR, resp. 36 ton  $\pm 62$  % na hektár podľa KVND. Diferencie medzi metódou KVND a OR teda dosiahli pri celkovej dendromase približne -9 ton na hektár a pri dendromase vetiev približne +4 tony na hektár. Súčasne sa zistilo, že objemová hmotnosť asimilačných orgánov stromov (určená metódou KVND) predstavuje okolo 9 ton na hektár.

Z výsledkov analýzy, ktorá hodnotila štatistickú významnosť rozdielov v určení dendromasy jednotlivých stromov a vetiev obidvoma metódami na vzorke 500 stromov zaznamenaných v rámci Národnej inventarizácie a monitoringu lesa, sa potvrdili tiež rozdielne výsledky. Zistilo sa, že metóda KVND voči OR pri kalkulácii dendromasy stromu a vetiev poskytuje pre drevinu smrek, jedľu, smrekovec nadhodnotenú výsledky a pre drevinu buk, dub a borovicu podhodnotenú výsledky. Vo výsledných hodnotách to znamená rozdiel skoro -25 kg (približne 4 %) dendromasy stromu a -32 kg (približne 27 %) dendromasy vetiev pri listnatých drevinách a +4 kg (približne 13 %) dendromasy stromu a +17 kg (približne 49 %) dendromasy vetiev pri drevinách ihličnatých. Pritom najväčšia diferenciacia bola zistená medzi ihličnatými drevinami (borovica). Následne bolo zistené, že nevýznamne rozdielne výsledky sa na  $\alpha = 0,05$  hladine významnosti vo výberovom súbore dosiahli len pri drevine buk a dub (dendromasa stromu) a pri drevine borovica (dendromasa vetiev). Pri ostatných drevi-

nách a zložkách dendromasy sa dosiahli štatistické významne rozdielne hodnoty kalkulovaného objemu zložiek dendromasy.

Uvedené skutočnosti sú vhodným podkladom pre všeobecné zhodnotenie porovnávaných metód i pre sformulovanie námetov na ich praktické využitie a ďalší rozvoj riešenej problematiky. Predovšetkým si treba uvedomiť rozdielne princípy obidvoch metód a ich výhody i nevýhody. Objemové rovnice sú výstupom z dlhodobého výskumu viacerých autorov z Českej i Slovenskej republiky, sú k dispozícii pre všetky domáce druhy drevín, platné pre široké rozpätie vyskytujúcich sa hodnôt hrúbky a výšky stromov, vyjadrené sú matematicky a známa je aj ich presnosť. Naproti tomu metóda koeficientov výťažnosti zložiek nadzemnej dendromasy nespĺňa všetky tieto atribúty, nie je dostatočne známa jej metodická konštrukcia (podkladový materiál, spôsob odvodnenia koeficientov výťažnosti, ani použité konverzné faktory na určenie objemovej hmotnosti dreva), má obmedzené vstupné údaje o stromoch (využíva iba hrúbku, zanedbáva výšku), vzťahy nie sú vyjadrené matematicky, chýba informácia o rámcoch presnosti. Ďalšou jej nevýhodou je, že vychádza z priemerných podmienok a preto je žiaduce výsledky získané týmto spôsobom primerane prispôbiť konkrétnym lokálnym podmienkam. Spôsob úpravy dosiahnutých výsledkov pritom ale nie je jasne definovaný, čo sťažuje jej uplatnenie. Určitou výhodou je jej jednoduchosť, ale tá v súčasnosti pri automatizovaných systémoch spracovania údajov už nie je rozhodujúca. Pre širšie praktické použitie v našich domácich podmienkach možno preto odporučiť metódu objemových rovníc, pretože všetky dostupné databázy v HÚL i v NIML sú na ne viazané, pričom pre databázy HÚL treba uplatniť metódu stredného kmeňa, pre databázu NIML stromovú metódu. Pri úvahách o širších súvislostiach danej problematiky treba zdôrazniť potrebu venovať pozornosť všetkým zložkám lesnej biomasy, okrem iného aj kôre stromov, ktorá je v kalkuláciách často opomínaná napriek tomu, že jej objem predstavuje približne 6 – 19 % z celkového objemu stromu (v príspevku nebola dendromasa kôry analyzovaná z dôvodu, že metóda koeficientov výťažnosti zložiek nadzemnej dendromasy túto zložku lesnej biomasy neumožňuje kalkulovať). Rovnako významné je zvoliť správnu hodnotu konverzného faktora pre prevod objemu dreva na jeho hmotnosť, ktorý sa preberá z rôznych zdrojov a má významný vplyv na odchýlku zisťovanej zásoby biomasy v hmotnostných jednotkách. Preto je potrebné postupne preveriť jeho hodnoty v STN, aktualizovať ich a zosúladiť s medzinárodným štandardom, minimálne v rámci EÚ. Hodnoverné výsledky o lesnej biomase môžu totiž byť vhodným podkladom aj pre odvodnenie obsahu uhlíka akumulovaného v nadzemnej stromovej dendromase, ktorý nadobúda postupne stále viac na význame. Viaceré námety v tomto smere možno nájsť v príspevku ŠMELKO *et al.*, 2011.

## Literatúra

- DEJMAL J., 1986: Tabulky pro sortimentaci těžebního fondu. Brno: VŠZ v Brně. 25 s.
- DREXHAGE M., COLIN F., 2001: Estimating root system biomass from breast-heights diameters. In: *Forestry*. IOCF, **74**(5): 491-497.
- FABRIKA M., 2010: Počítačom podporované modelovania lesa, súčasný stav a perspektívy. In: *Zborník referátov z vedeckého seminára Biometria, informatika, inventarizácia, modelovanie lesa – základ pre precízne lesníctvo*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, s. 43-55.
- PAJTÍK J. *et al.*, 2009: Kvantifikácia uhlíkových zásob a ich bilančných zmien na regionálnej úrovni. In: *Lesnícky časopis – Forestry Journal*, **55**(4): 353-365.
- PETRÁŠ R., KOŠÚT M., OSZLÁNYI J., 1985: Listová biomasa stromov smreka, borovice a buka. In: *Lesnícky časopis*, **31**(2): 121-136.
- PETRÁŠ R., PAJTÍK J., 1991: Sústava česko-slovenských objemových tabuliek drevín. In: *Lesnícky časopis*, **37**(1): 49-56.
- SAČKOV I., NATOV P., MESSINGEROVÁ V., 2007: On-line kalkulátor objemovej a cenovej výťažnosti nadzemnej dendromasy z lesných porastov. In: *Lesnícky časopis – Forestry Journal*, **54**(1): 75-85.
- ŠMELKO Š., SCHEER L., PETRÁŠ R., ĎURSKÝ J., FABRIKA M., 2003: Meranie lesa a dreva. Zvolen: ÚVVP LVH SR, 239 s.
- ŠMELKO Š., ŠEBEŇ V., BOŠELA M., MERGANIČ J., JANKOVIČ J., 2008: Národná inventarizácia a monitoring lesov SR 2005 – 2006: Základná koncepcia a výber zo súhrnných informácií. Zvolen: Národné lesnícke centrum, 15 s.
- ŠMELKO Š., ŠEBEŇ V., PRIWITZER T., 2011: Odvodenie suchej objemovej hmotnosti a zásoby uhlíka v nadzemnej dendromase z výberovej inventarizácie v lesnom horskom ekosystéme biosfé-

rickej rezervácie Poľana. In: *Lesnícky časopis – Forestry Journal*, **57**(2): 87-95.

ZIANIS D., MUUKKONEN P., MÄKIPÄÄ R., MENCUCCINI M., 2005: Biomass and stem volume equations for tree species in Europe. In: *Silva Fénica – Monographs 4*. Tampere: Tammer-Paino Oy, 63 pp.

## Summary

The paper is focused on comparison of volume biomass calculation by two methods that were developed on the basis of national empirical data. The first calculation uses the Czech-Slovak volume tables (PETRÁŠ *et al.*, 1991) and the second one uses tables for timber grading released by DEJMAL (1986). The software for automated data processing was developed.

The results showed insignificant differences (at  $\alpha = 0,05$  level of significance) only for beech and oak (tree biomass) and for pine (branch biomass). For these tree species, the KVND method generally underestimated the total volume of biomass when compared to the OR method (average tree biomass was 56 kg; average branch biomass was 22 kg). Differences in the volume of biomass were not random, at a probability level of 95%, in the case of spruce, fir and larch, where the KVND method provided overestimated biomass volume in comparison with the OR method (average tree biomass was 45 kg; average branches biomass was 23 kg).

The results showed that the selection of a method is important in order to obtain more precise values of dendromass. However, it is strongly recommended to use more precise calculation methods in old and highvalue forest stands.

Translated by: M. BOŠELA

Revised by: J. LÁSKOVÁ