

NOVÉ METODICKÉ POSTUPY NA KVANTIFIKÁCIU MŔTVEHO DREVA A JEHO ZLOŽIEK V LESNÝCH EKOSYSTÉMOCH

ŠTEFAN ŠMELKO

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

ŠMELKO Š.: New methodical procedures for the quantification of deadwood and its components in forest ecosystems. *Lesn. Čas. – Forestry Journal*, **56**(2): 155 – 175, 2010, 7 fig., tab. 4, ref. 18. Original paper. ISSN 0323 – 10468

The paper contains a proposal for sampling method of finding deadwood and its components (standing dead trees, stumps, coarse lying wood and small lying wood) in forest ecosystem whereas all parameters are given in volume unit (m^3). It presents particular procedures for optimal sampling design, i.e. number, size and allocation of sample plots, for the technique of data obtaining in the field and for the methodology of data processing including determination of the frameworks for the accuracy of derived results. It brings several original methodologies and mensurational models. The paper presents also results of the verification of proposed procedures in forest practice and comparison of data on deadwood for Slovakia and some EU countries. Suggestions for objectification and generalization of the data on deadwood on domestic and international scale are formulated as well.

Key words: *deadwood, standing dead trees, stumps, coarse lying deadwood, small lying deadwood, assessment, sampling method*

Príspevok obsahuje návrh na výberový spôsob zisťovania mŕtveho dreva a jeho komponentov (stojacich suchárov, pňov, hrubej ležaniny a tenčiny) v lesnom ekosystéme, pričom všetky vyjadruje v spoločnej objemovej jednotke (m^3). Obsahuje konkrétne postupy pre optimálny výberový dizajn, t. j. počet, veľkosť a rozmiestnenie skusných plôch, pre techniku získavania údajov v teréne a pre metodiku ich matematicko-štatistického spracovania vrátane stanovenia rámcov presnosti odvodených výsledkov. Súčasťou návrhu sú aj viaceré originálne metodiky a dendrometrické modely. Uvádzajú sa aj výsledky praktického overenia navrhnutých postupov a porovnanie údajov o mŕtvom dreve na Slovensku a v niektorých krajinách EU. Sformulované sú tiež námety pre zobjektivnenie a zovšeobecnenie údajov o mŕtvom dreve v domácom i medzinárodnom meradle.

Kľúčové slová: *mŕtve drevo, stojace sucháre, pne, hrubá ležanina, tenčina, výberové spôsoby ich zisťovania*

1. Problematika a základné princípy jej riešenia

V lesníckej vede a praxi vystupuje stále viac do popredia záujem o informácie charakterizujúce lesný ekosystém komplexne, objektívne a s primeranou presnosťou. K takým informáciám patria aj údaje o mŕtvom (fyziologicky odumretom) dreve a jeho jednotlivých zložkách – suchároch, pňoch, hrubej a tenkej ležanine, a to vyjadrené nielen v počte kusov, prípadne relatívnom výskyte, ale aj v objemových jednotkách (v m³ drevnej hmoty), oddelene podľa druhu drevín a stupňov rozkladu dreva. Súvisí to s významom, aký sa mŕtvemu drevu v súčasnosti pripisuje. Ide o drevo, ktoré po prirodzenom odumretí, ťažbe alebo kalamite zostáva v lese a všeobecne sa považuje za organickú súčasť lesného ekosystému. Je indikátorom prirodzenosti spoločenstva, významne ovplyvňuje jeho biodiverzitu, viaže na seba veľké množstvo organizmov, po rozložení sa vracia späť do pôdy, zlepšuje jej fyzikálne aj chemické vlastnosti, zvyšuje obsah živín a podporuje prirodzenú regeneráciu lesa. Napriek týmto nesporne pozitívnym biologickým aspektom vzniká otázka, aké množstvo odumretého dreva je v konkrétnych podmienkach optimálne. Ináč sa musí posudzovať v lese kde prevažujú ochranné a kde prevažujú hospodárske funkcie a prihliadať tiež k tomu, aby nadmerné množstvo tohto dreva nepodporovalo negatívne pôsobenie škodlivých činiteľov, premnoženie hmyzích škodcov, húb, vznik požiarov ap. Množstvo mŕtveho dreva a jeho štruktúra je preto už dosť často predmetom rôznych zisťovaní. V zahraničí i u nás doma je to spravidla v rámci celoštátnych inventarizácií lesa, pri posudzovaní priaznivého stavu lesných biotopov európskeho i národného významu (napr. v programe NATURA 2000), alebo v iných špeciálnych výskumných projektoch. Používajú sa pritom veľmi rozmanité spôsoby zisťovania, od okulárneho odhadu až po precízne merania a často sa netýkajú všetkých, ale iba niektorých zložiek mŕtveho dreva. Z metodického ale aj z praktického hľadiska si zasluhujú pozornosť a vyžadujú ďalší rozvoj.

Príspevok nadväzuje na túto situáciu a predkladá návrhy na objektívne a ekonomicky únosné získavanie údajov o všetkých štyroch zložkách mŕtveho dreva v lesnom ekosystéme s uplatnením princípov štatistického výberu. Koncepcia je nasledovná: Vstupné veličiny sa zistia na skusných plochách, ktorých počet, hustota a veľkosť sa prispôbi výberovému dizajnu zvolenému pre ostatné (hlavné) veličiny lesného ekosystému, alebo sa vykalkuluje osobitne iba pre mŕtve drevo. Na kvantifikáciu jednotlivých zložiek mŕtveho dreva sa využijú už existujúce a tiež nové špeciálne pre tento účel odvodené dendrometrické a biometrické modely. Výsledky sa vyjadria v spoločnej jednotke – v stromovom objeme s kôrou, aby sa dali dobre agregovať a podľa potreby previesť aj na ekvivalent hmotnosti (sušiny) a obsahu uhlíka. Vo výsledkoch ich budú charakterizovať jednak súhrny pre celú výmeru príslušného lesného objektu, jednak priemery na 1 ha a ku každému z nich bude pripojený aj rámec presnosti a spoľahlivosti. Tým sa využiteľnosť údajov o mŕtvom dreve podstatne zvýši nielen v lesníctve, ale aj v ekológii a ochrane prírody.

V nasledujúcich stadiách uvedieme najprv všeobecné zásady pre voľbu optimálneho plánu výberového zisťovania, potom definície a spôsoby kvantifikácie objemu jednotlivých zložiek mŕtveho dreva a následne algoritmy pre matematicko-štatistické

spracovanie a zovšeobecnenie získaných údajov. Na konci pripojíme aj konkrétne poznatky z doterajšej praktickej aplikácie navrhnutých metodických postupov a sformulujeme celkové závery a odporúčania.

2. Zásady pre zostavenie plánu výberového zisťovania mŕtveho dreva

Mŕtve drevo s ohľadom na jeho vznik a vlastnosti má rozmanitú veľkosť a tvar a po ploche lesa je rozmiestnené spravidla veľmi nerovnomerne. Preto celoplošné zisťovanie jeho množstva a rozmerov na výmere väčšej ako 1 – 2 hektáre je pre zložitosť, prácnosť a vysoké náklady prakticky nemožné. Jediným východiskom je výberový spôsob, čiže zisťovanie na skusných plochách. Aby výsledok bol dostatočne reprezentatívny a presný a samotné zisťovanie bolo ekonomicky únosné, je potrebné vopred zostaviť vhodný výberový plán a rozhodnúť tri východiskové údaje, ktorými sú:

- *Požadovaná presnosť výberového výsledku vyjadrená chybou $\pm E\%$.* Je to maximálna dovolená odchýlka voči skutočnej hodnote objemu mŕtveho dreva na celej inventarizovanej ploche lesa, ktorá by nemala byť prekročená s pravdepodobnosťou 95 % a jej polovičná hodnota (stredná chyba $SE\% = E\%/2$) by nemala byť prekročená so 68 % pravdepodobnosťou. Zvoliť sa môže viac-menej ľubovoľne, ale zohľadniť treba účel a použitie výsledku i vynaložené náklady na jeho získanie. Keďže mŕtve drevo nie je komerčnou veličinou, jeho požadovaná presnosť $\pm E\%$ by nemala byť vyššia ako napr. presnosť určenia zásoby dreva, ktorá je na porastovej úrovni asi $\pm 15\%$, na celoštátnej úrovni $\pm 2 - 5\%$. Pre menej závažné a informatívne účely môže postačovať 2 – 3-násobok tejto chyby.

- *Veľkosť skusnej plochy (základnej výberovej jednotky), na ktorej sa budú údaje o mŕtvom dreve zisťovať.* Nemôže byť paušálna pre všetky zložky mŕtveho dreva, ale reprezentatívna a optimálne prispôbená jeho dendrometrickým a biometrickým vlastnostiam. Do úvahy prichádzajú koncentrické kruhy s konštantným alebo premenlivým polomerom, pričom veľkosť kruhov by mala byť taká, aby sa na nich príslušná zložka mŕtveho dreva vyskytovala v dostatočnom počte (najlepšie 10 – 20 kusov, minimálne 3 – 5 kusov). Vtedy je podľa mnohých výskumov (pozri napr. ŠMELKO 1985, 2007) pomer medzi reprezentatívnosťou skusnej plochy a nákladmi na jej meranie optimálny, menšie skusné plochy sú menej presné, väčšie sú menej hospodárne. Možným riešením je aj tzv. satelit, čiže skupina 2 – 4 menších kruhov založených okolo spoločného bodu v určitej vzdialenosti (5 – 10 m) vo forme pravidelného geometrického obrazca (na spojnici, v trojuholníku, štvorci ap.). Satelity však poskytujú nižšiu celkovú presnosť ako rovnaký počet jednotlivito rozmiestnených skusných plôch, ale sú hospodárnejšie. Naše najnovšie pokusy ukazujú, že na kvantifikáciu nielen stojacich suchárov, ale aj pňov a hrubej ležaniny sa dá celkom dobre použiť aj veľmi úsporná relaskopická technika. Všeobecne možno odporučiť, aby sa pre sucháre zvolil taký kruh aký je optimálny pre inventarizáciu živých stromov (napr. 20 stromový s variabilnou výmerou 1 až 10 árov). Pre ostatné zložky mŕtveho dreva treba veľkosť kruhov voliť diferencovane podľa ich reálneho výskytu po inventarizovanom území (ináč v bežne obhospodarovanom hospodárskom lese, ináč v ochrannom lese a ináč napr. na kalamitisku). Keď je výskyt danej zložky mŕtveho dreva menej častý, kruhy

by mali byť väčšie a naopak. Ich výmera by mala byť konštantná, napr. 3, 4 alebo 5 árov, alebo definovaná zaokrúhleným polomerom (napr. $r = 10 \text{ m}$, 15 m ap.), aby sa v teréne jednoduchšie vytyčovali. Namiesto kruhov sa pre tento účel dá celkom dobre použiť aj štvorec o tej istej výmere, ktorý sa v teréne ľahšie vytyčí pomocou štyroch polovičných uhlopriečok od stredu v smere svetových strán alebo po spádnici a vrs-tevnici a na vrcholoch štvorca sa označí výtyčkou. Hodnota polovičnej uhlopriečky $u/2(m)$ zodpovedajúca výmere štvorca $p(m^2)$ sa vypočíta podľa vzťahu

$$u/2 = \sqrt{p/2} \quad [1]$$

takže napr. pre 5 árový (500 m^2) štvorec bude $u/2 = 15,81 \text{ m}$.

• *Počet (n), hustota (s) a rozmiestnenie skusných plôch po inventarizovanom území.* Počet skusných plôch n , ktoré treba pre dosiahnutie želaného výsledku založiť, závisí od variability zisťovaného množstva mŕtveho dreva po celom inventarizovanom území $\sigma_v\%$ a od už zvolenej požadovanej presnosti výsledku $SE\%$ ($=E\%/2$), čo vyjadruje známy matematicko-štatistický vzťah

$$n = \left(\frac{\sigma_v\%}{SE\%} \right)^2 \quad [2]$$

Pritom variabilita $\sigma_v\%$ nie je vopred známa. Treba ju odhadnúť podľa predpokladanej relatívnej kolísavosti (premenlivosti) objemu mŕtveho dreva na rôznych miestach (skusných plochách) po ploche inventarizovaného lesa okolo celkového priemeru. Samozrejme, že bude iná (menšia) pre celkový objem mŕtveho dreva a iná (väčšia) pre jeho jednotlivé zložky. Zväčšiť ju môže najmä tá skutočnosť, že mŕtve drevo sa nevyskytne na všetkých skusných plochách a do výpočtu variability tieto prípady vchádzajú nulovou hodnotou. Existujú dôkazy, že malá častosť výskytu zisťovanej veličiny na inventarizovanom území napr. $5 - 10 - 20\%$ zvýši jej relatívnu variabilitu až $5 - 4 - 2$ -krát (ŠMELKO 1968). Značný vplyv môže mať aj použitá veľkosť skusnej plochy. Je známe, že malé skusné plochy variabilitu zväčšujú a veľké ju naopak zmenšujú, avšak iba do určitej hranice. Napr. pre stojace stromy platí (ŠMELKO 2007), že na kruhovej skusnej ploche obsahujúcej $10 - 20 - 30 - 40 - 50$ stromov je variačný koeficient ich celkového objemu $\sigma_v\%$ nasledovný: $40 - 30 - 26 - 24 - 22\%$, spočiatku veľmi klesá, ale potom sa už takmer nemení, hoci veľkosť kruhu sa voči optimu zväčší 2 až 2,5-krát, takže kruhy s viac ako 30 stromami sú už veľmi neekonomické (zbytočne veľké). Pomôckou pri úvahách o variabilite $\sigma_v\%$ môžu byť údaje, ktoré sme odvodili z doterajších zisťovaní mŕtveho dreva v rámci inventarizácií lesa v európskom priestore. Zhrnuté sú v tabuľke 1 a zohľadňujú jednak zložky mŕtveho dreva, jednak veľkosť inventarizovaného územia.

V ďalšej tabuľke 2 sú vykalkulované potrebné počty skusných plôch pre rôzne zvolené hodnoty $\sigma_v\%$ a $E\%$. Môžu dobre poslúžiť dvojako: jednak pri rozhodovaní o rozsahu výberového zisťovania v konkrétnych podmienkach s ohľadom na jeho účel a disponibilné personálne a finančné možnosti, jednak pri predbežnej predstave o tom,

Tabuľka 1. Relatívna variabilita objemu mŕtveho dreva na skusných plochách ($\sigma_v\%$)
 Table 1. Relative variability of deadwood volume on sample plots ($\sigma_v\%$)

Kategória ¹⁾	Celý štát ²⁾	Lokalita ³⁾	Kalamitisko ⁴⁾
Mŕtve drevo spolu ⁵⁾	200	65	60
Stojace sucháre ⁶⁾	300	250	350
Pne ⁷⁾	150	140	80
Hrubá ležanina ⁸⁾	230	170	130
Tenká ležanina ⁹⁾	220	190	130

¹⁾Deadwood category, ²⁾Whole republic, ³⁾Locality, ⁴⁾Disaster area, ⁵⁾Deadwood together, ⁶⁾Standing dead trees, ⁷⁾Stumps, ⁸⁾Coarse lying deadwood, ⁹⁾Small lying deadwood

Poznámka – Notice: Pri listnáčoch je variabilita o 15 – 20 % väčšia a pre ihličnanoch menšia ako priemer – Variability in broadleaved trees is 15–20% bigger and in coniferous smaller than the average

Tabuľka 2. Orientačný počet skusných plôch (n) potrebný pre rôznu výberovú strednú chybu výsledku ($SE\%$) a rôznu relatívnu variabilitu objemu mŕtveho dreva ($\sigma_v\%$)

Table 2. Indicative number of sample plots (n) required for various standard error ($SE\%$) and various relative variability of deadwood volume ($\sigma_v\%$)

SE%	$\sigma_v\%$					
	50	100	150	200	250	300
5	100	400	900	1 600	2 500	3 600
10	25	100	225	400	625	900
15	15	45	100	180	180	400
20	10	25	60	100	160	225
25	5	15	40	65	100	145

Poznámka – Notice: Pre chybu $E\%$ pri 95 % spoľahlivosti bol by počet skusných plôch 4-násobne väčší – For the error $E\%$ on 95% confidence level would be the number of sample plots 4 times bigger

aká presnosť sa dosiahne ak sa použije konkrétny počet skusných plôch (napr. taký istý, alebo polovičný, tretinový) ako pre inventarizáciu ostatných veličín lesa.

Zvolený počet skusných plôch (n) sa má po inventarizovanom území rozmiestniť tak, aby čo najlepšie reprezentoval celé územie i jeho jednotlivé časti. Najnevhodnejšie je úplne náhodné rozmiestnenie, lebo nepokryje rovnako celé územie. Lepšie je systematické rozmiestnenie, ktoré podchytí všetky časti územia úmerne ich veľkosti a dá sa realizovať dvojako: vypočíta sa potrebný rozstup medzi skusnými plochami (hustota) s s ohľadom na výmeru inventarizovaného územia P

$$s(m) = 100 \sqrt{\frac{P(ha)}{n}} \quad [3]$$

a potom sa skusné plochy založia buď na priesečníkoch tejto štvorcovej siete (s -krát s), alebo vnútri každého štvorca sa založia náhodným spôsobom. Prvý variant je typický systematický výber (ktorý sa najčastejšie používa a má veľmi veľa výhod), druhý variant je tzv. obmedzené náhodný výber (ktorý je komplikovanejší, ale viac spĺňa teoretické požiadavky na náhodnosť výberového zisťovania). Najlepším riešením je tzv. stratifikovaný výber, ktorý treba uprednostniť vtedy, keď sa mŕtve drevo nevyskytuje na inventarizovanom území rovnomerne, ale iba v určitých častiach. Vtedy treba tieto časti osobitne vylíšiť (najlepšie pomocou leteckej snímky), zistiť ich výmeru, určiť variabilitu mŕtveho dreva $\sigma_v\%$ (ktorá bude podstatne nižšia ako na celom území), vykalkulovať potrebné parametre výberu (n, s) a každú časť zinventarizovať samostatne. Znížia sa tým náklady a zvýši presnosť zisťovania.

3. Stojace odumreté stromy a ich časti

Túto kategóriu mŕtveho dreva tvoria celé sucháre a spodné časti („štompy“) po odlomených kmeňoch, ktorých výška od zeme presahuje dohodnutú hranicu, napr. 1,3 m.

Zisťovanie celých stojacich odumretých stromov je pomerne jednoduché, lebo sa dá vykonať takým istým spôsobom ako pri živých stromoch, čiže odmeraním hrúbky $d_{1,3}$ a výšky h . Ich objem je však vhodné vyjadriť nie v hrubine bez kôry *HBK* (ako sa to robí v našej hospodársko-úpravnickej praxi), ale v stromovom objeme s kôrou *SSK*. Pre tento účel možno použiť existujúce objemové rovnice, ktoré publikovali PETRÁŠ, PAJTIK (1991) a stromový objem všetkých (m_j) suchárov $V_{SSK(j), Sucháre}$ na konkrétnej skusnej ploche (j) stanoviť ako súčet objemov $v_{SSK(i)}$ jednotlivých (i) suchárov

$$V_{SSK(j), Sucháre} = \sum_{i=1}^{m_j} v_{SSK(i)} \quad [4]$$

Jednoduchší, ale menej presný spôsob je použiť bežne dostupné objemové tabuľky pre objem hrubiny bez kôry $v_{HBK(i)}$ a na objem stromový s kôrou ho prepočítať násobným koeficientom k podľa nasledovného vzťahu

$$V_{SSK(j), Sucháre} = k * \sum_{i\%1}^{m_j} v_{HBK(i)} \quad [5]$$

Pritom za koeficient k , ktorý vyjadruje pomer objemu *SSK*/*HBK* možno použiť približnú hodnotu. Môže sa prevziať z nasledujúcej regresnej rovnice

$$k = 0,9977 + 7,70305 / d_s \quad R = 0,961, R^2 = 0,939$$

resp. z nasledujúcej tabuľky ako funkcia strednej hrúbky (d_s , cm) celého súboru zistených odumretých stromov

$d_s = 10$	20	30	40	50	60	70	80	100 cm
$k = 1,77$	1,38	1,25	1,19	1,15	1,13	1,11	1,10	1,08

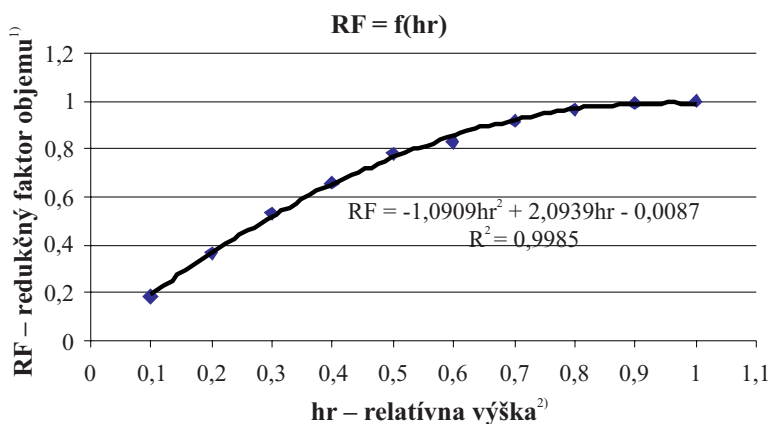
Rovnicu sme dovodili ako priemer z reprezentatívnych stromov smreka a buka na priemerných bonitách. Hodnoty k sú pri listnáčoch o niečo vyššie, pri ihličanoch nižšie.

Ďalším riešením je použitie údajov získaných z podrobnejších zisťovaní v príslušnej oblasti. Napr. pre celú SR z výsledkov národnej inventarizácie lesov 2005 – 2006 (ŠMELKO *et al.* 2008) vyplývajú tieto priemerné hodnoty k v jednotlivých vývojových štádiách (rastových stupňoch) porastov:

Mladina ($d_s < 6$ cm) 10,49	Stredná kmeňovina ($d_s 28 - 35$ cm) 1,24
Žrdkovina ($d_s 6 - 12$ cm) 1,82	Hrubá kmeňovina ($d_s 36 - 43$ cm) 1,19
Žrdovina ($d_s 13 - 19$ cm) 1,47	Veľmi hrubá kmeňovina ($d_s > 44$ cm) 1,18
Tenká kmeňovina ($d_s 20 - 27$ cm) 1,30	Celoslovenský priemer 1,25

Ako vidieť, stromový objem s kôrou sa od objemu hrubiny bez kôry podstatne líši, a to tým viac, čím sú stromy tenšie a porasty menej vyspelé, teda mladšie. Za celú SR je objem SSK voči objemu HBK vyšší až o 25 %.

Oveľa problematickejšie ako pri celých odumretých stromoch je stanovenie objemu „štompov“. Aj u nich sa síce ľahko odmeria hrúbka $d_{1,3}$ a výška h' , ale nie sú k dispozícii zodpovedajúce objemové tabuľky ani rovnice. Preto odporúčame tento postup: 1) k hrúbke „štompu“ $d_{1,3}$ priradiť pravdepodobnú výšku pôvodného celého stromu h odhadom podľa ostatných stromov na skusnej ploche a v jej širšom okolí, 2) určiť objem tohto stromu podobne ako pri celých suchároch a 3) pomocou redukčného faktora RF prevzatého z regresnej rovnice alebo grafu v obrázku 1 zredukovať objem „pôvodného stromu“ na objem „štompu“ v závislosti od relatívnej výšky „štompu“



Obr. 1. Redukčný faktor RF pre objem spodnej časti kmeňa stromu ako funkcia jeho relatívnej výšky h_r .

Fig. 1. Reduction factor RF for volume of the bottom of tree trunk as a function of its relative height h_r .

¹⁾ RF – reduction factor of volume, ²⁾ h_r – relative height

$h_r = h'/h$. Redukciu treba vykonať pre každý „štomp“ osobitne a získané objemy $v_{SSK(i),štomp}$, resp. $v_{HBK(i),štomp}$ v rámci skusnej plochy potom zosúčovať nasledovne

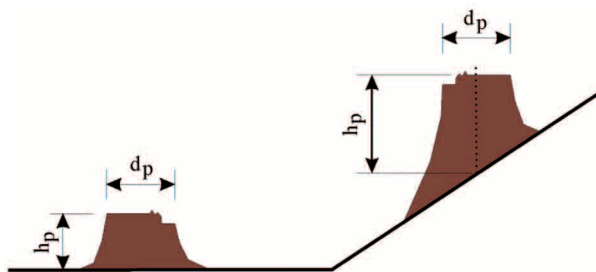
$$V_{SSK(j)štomp} = \sum_{i=1}^{m_j} (v_{SSK(i)} \cdot RF_i), \text{ resp } = k * \sum_{i=1}^{m_j} (v_{HBK(i)} \cdot RF_i) \quad [6]$$

Rovnicu a graf v obrázku 1 sme odvodili z priemerných údajov tejto závislosti, ktoré pochádzajú z Nemecka a boli získané pre účely hodnotenia kvality kmeňa stromov v lesných porastoch (SPEIDEL a ďalší, in ŠMELKO 2007).

4. Pne

Peň je časť kmeňa, ktorá zostala po ťažbe alebo po vyvrátenom resp. zlomenom strome, ak jeho výška neprekročí dohodnutú hranicu, napr. 1,3 m. Vyššia časť sa pokladá za „štomp“. Objem pňa $v_{peň}$ závisí od jeho dvoch hlavných rozmerov – hrúbky $d_p(cm)$ na hornej reznej ploche vrátane kôry a výšky $h_p(m)$, ktorou je vzdialenosť reznej plochy od priesečníka stredovej osi pňa s terénom, podľa obrázka 2. Inventarizovať sa môžu všetky pne, alebo iba od určitej registračnej hranice hrúbky, napr. 10, 15, 20 cm. Treba si uvedomiť, že pne sa netýkajú len súčasného lesného porastu na skusnej ploche, ale aj predchádzajúcej generácie, sú rôzne staré a majú rôzny stupeň rozkladu. Tomu treba prispôbiť aj voľbu veľkosti skusnej plochy a tiež spôsob merania rozmeru pňov. Napr. v hustej žrdkvine bude pre stojace stromy s ohľadom na ich pomerne veľký počet optimálny 1 árový kruh, ale pre pne, ktorých počet je zákonite menší bude optimálny 4 – 5 árový kruh. Hrúbku pňov je najvhodnejšie merať bežnou priermkou (stačí jedno meranie) alebo obvodomerom a výšku pásmom alebo meračskou latkou (s decimetrovým delením dĺžou 1,3 m, opatrenou na spodnom konci kolmou doštičkou v tvare T, aby sa objektívnejšie stanovila päta pňa). Rozmery pňov vo vysokom stupni rozkladu treba zredukovať tak, aby ich objem zodpovedal skutočnosti (odrátajú sa vyhnité, chýbajúce časti, ap.).

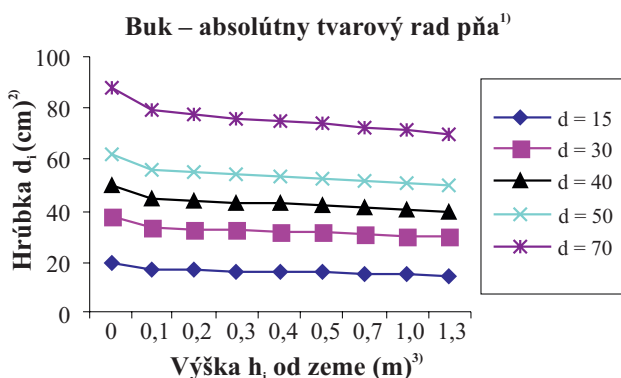
Pre stanovenie objemu pňov nie sú zatiaľ k dispozícii príslušné tabuľky ani regresné rovnice. Preto sme preskúmali stereometrické vlastnosti spodnej časti kmeňa našich hlavných drevín na podklade publikovaných údajov o tvare kmeňa (PETRÁŠ



Obr. 2. Meranie rozmerov pňa – hrúbky $d_p(cm)$ a výšky $h_p(m)$

Fig. 2. Measuring of stump dimensions – diameter $d_p(cm)$ and height $h_p(m)$.

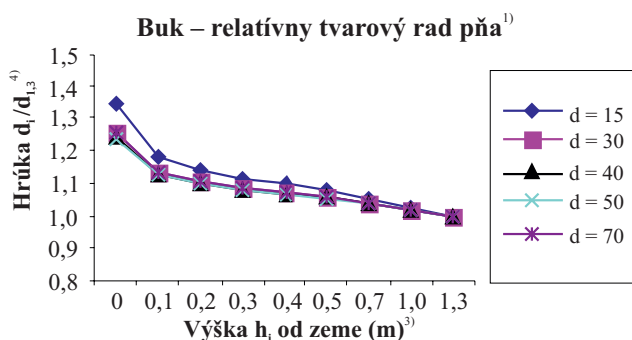
1986) i priamymi meraniami v teréne. Ukázalo sa, že medzi drevinami nie sú veľké rozdiely. Preto *pre peň stromov sme odvodili potrebné dendrometrické modely* iba pre buk ako reprezentanta listnáčov a pre smrek ako reprezentanta ihličnanov, a tiež spoločný model pre všetky dreviny. Na obrázku 3 a 4 je znázornený priebeh absolútnych aj relatívnych tvarových radov pňa (ako ukážka iba pre buk, pri smreku sú veľmi podobné). *Absolútne tvarové rady $d_{p,h}$* udávajú priamo hrúbku pňa v rôznych výškach od zeme a ako vidieť, sú tým väčšie, čím je peň hrubší a s narastajúcou vzdialenosťou od zeme zákonite klesajú. *Relatívne tvarové rady $k_{p,h}$* vyjadrujú pomer hodnôt $d_{p,h}$ vzhľadom k hrúbke $d_{1,3}$ a vďaka tejto relativizácii sa vplyv rôznej hrúbky na ich priebeh eliminuje, takže tvar kmeňa možno celkom dobre charakterizovať spoločnou priemernou závislosťou.



Obr. 3. Absolútne tvarové rady pňa $d_{p,h}$ buka pre rôzne hrúbky $d_{1,3}$

Fig. 3. Absolute shape of the beech stump $d_{p,h}$ for different diameters $d_{1,3}$.

¹⁾Beech – absolute shape order of stumps, ²⁾Diameter, ³⁾Height h_i from the ground (m)



Obr. 4. Relatívne tvarové rady pňa $k_{p,h} = d_{p,h}/d_{1,3}$ buka pre rôzne hrúbky $d_{1,3}$

Fig. 4. Relative shape of the beech stump $k_{p,h} = d_{p,h}/d_{1,3}$ for different diameters $d_{1,3}$.

¹⁾Beech – absolute shape order of stumps, ²⁾Diameter, ³⁾Height h_i from the ground (m)

Priemerné relatívne hrúbky pňa $k_{p,h} = d_{p,h}/d_{1,3}$ pre rôzne výšky pňa od zeme $h_p(m)$ boli vyrovnané touto funkciou

$$k_{p,h} = 1,0376 \cdot h_p^{-0,0274} \quad R^2 = 0,927 \quad [7]$$

a pomocou nej boli určené objemy pňa $v_p(m^3)$ pre rôzne kombinácie hrúbky $d_p(cm)$ a výšky $h_p(m)$ pňa a nakoniec odvodené *regresné rovnice objemu pňa* $v_p = f(d_p, h_p)$:

$$\text{pre buk} \quad v_p = 0,465337 \cdot d_p^{2,094175} \cdot h_p^{1,060645} \quad R^2 = 0,999 \quad [8]$$

$$\text{pre smrek} \quad v_p = 0,724703 \cdot d_p^{2,014485} \cdot h_p^{1,026424} \quad R^2 = 0,991 \quad [9]$$

$$\text{priemer} \quad v_p = 0,580569 \cdot d_p^{2,054338} \cdot h_p^{1,043639} \quad R^2 = 0,995 \quad [10]$$

Kvôli názornosti sú v tabuľke 3 zostavené *priemerné objemové tabuľky pňa* podľa tretej regresnej funkcie bez ohľadu na drevinu. Ako vidieť, objem pňa sa s jeho narastajúcou hrúbkou a výškou zväčšuje, ale vplyv hrúbky je podstatne väčší. Objem pňov $V_{pne(j)}$ nachádzajúcich sa na konkrétnej (j-tej) skusnej ploche sa stanoví jednoduchým spočítaním jednotlivých objemov $v_{p(i)}$, alebo – ak sa pne pri meraní triedia podľa hrúbkových kategórií – $V_{pne(j)}$ sa vypočíta na princípe váženého priemeru.

Tabuľka 3. Priemerný objem pňa v (v m^3 s kôrou) ako funkcia jeho hrúbky d_p (v cm) a výšky h_p (v cm) bez ohľadu na druh dreviny

Table 3. The mean trunk volume v (in m^3 over bark) as a function of diameter d_p (in cm) and height h_p (in cm), regardless the tree species

h_p/d_p	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10	0,001	0,003	0,007	0,013	0,020	0,029	0,040	0,082	0,066	0,082
20	0,001	0,006	0,014	0,026	0,041	0,060	0,082	0,107	0,137	0,170
30	0,002	0,010	0,022	0,040	0,062	0,091	0,125	0,164	0,209	0,259
40	0,003	0,013	0,030	0,053	0,084	0,123	0,165	0,222	0,282	0,350
50	0,004	0,016	0,037	0,067	0,106	0,155	0,213	0,280	0,356	0,442
60	0,005	0,020	0,045	0,081	0,129	0,187	0,257	0,338	0,431	0,535
70	0,006	0,023	0,053	0,096	0,151	0,220	0,302	0,397	0,506	0,628
80	0,006	0,026	0,061	0,110	0,174	0,253	0,347	0,457	0,582	0,722
90	0,007	0,030	0,069	0,124	0,197	0,286	0,392	0,516	0,658	0,817
100	0,008	0,033	0,077	0,139	0,219	0,319	0,438	0,576	0,734	0,912
130	0,011	0,044	0,101	0,182	0,289	0,420	0,576	0,758	0,965	1,199

5. Hrubá ležanina

Hrubú ležaninu (ležiacu hrubinu) tvoria na zemi ležiace kmene a konáre stromov s hrúbkou na tenšom konci rovnou alebo väčšou ako 7 cm vrátane kôry. Sú to ponechané zbytky po ťažbe, vyvrátené stromy, odlomené koruny stromov ap. Nepatria k nej tie

časti dreva, ktoré sa z lesa neskôr odstránia, alebo sú tam pre rôzne účely ponechané a spracované, napr. lavičky, studničky, hraničné kopce a i. Uvedomiť si treba, že pri výberovom zisťovaní je hrubou ležaninou iba tá jej časť (dĺžka), ktorá sa nachádza na skusnej ploche. Na jej kvantifikáciu odporúčame použiť dva varianty.

a) Meranie každého kusa ležaniny osobitne a stanovenie objemu $v_{lež}$ známou Huberovou alebo Smalianovou metódou. Základom sú kubikovacie vzorce

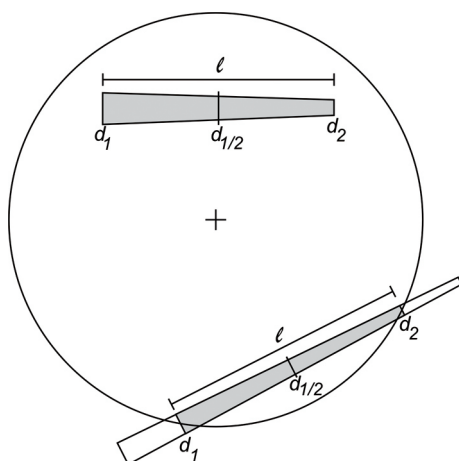
$$v_{HL} (m^3) = \frac{\pi}{4} * d_{1/2}^2 * l / 10000 \quad [11]$$

alebo

$$v_{HL} (m^3) = \frac{\pi}{4} * \frac{d_1^2 + d_2^2}{2} * l / 10000 \quad [12]$$

Pri obidvoch sa na každom kuse odmeria najprv celková dĺžka hrubiny, resp. dĺžka hrubiny patriaca do skusnej plochy $l(m)$ a potom pre Huberovu metódu hrúbka v strede kusa $d_{1/2}(cm)$, resp. pre Smalianovu metódu hrúbka $d_1(cm)$ na hrubšom $d_2(cm)$ na tenšom konci (pozri obr. 5) Hrúbky sa merajú priemerkou (stačí jedno meranie) na 1 cm a dĺžka pásmom alebo pri použití počítačom podporovanej technológie Field-Map automatizovane na 0,1 m. Objem všetkých m kusov hrubej ležaniny na skusnej ploche $V_{HL(j)}$ sa určí spočítaním jednotlivých objemov $v_{HL(i)}$.

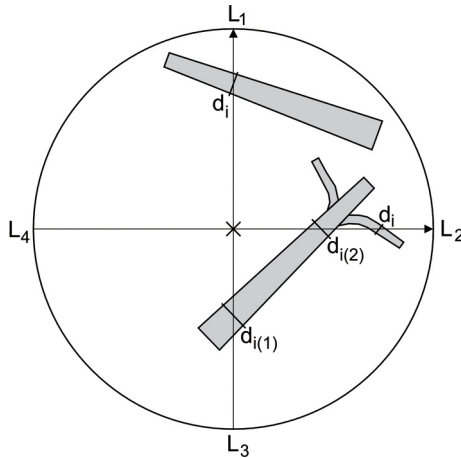
b) Aplikácia novej metódy tzv. líniového priesečníkového výberu. Vypracovali sme ju ako ďalší výhodnejší variant, pretože predchádzajúci je síce jednoduchý ale oveľa prácnejší. Meria sa iba časť ležaniny na skusnej ploche a výsledkom je priamo



Obr. 5. Meranie rozmerov hrubej ležaniny na skusnej ploche

Fig. 5. Measuring the dimensions of coarse lying deadwood on a sample plot.

jej objem v m³ na 1 ha. Nadväzuje na teóriu „Line intersect sampling“, ktorú podrobne opisuje DEVRIES (1986). Pre skusné plochy sme ju prispôbili nasledovne (obr. 6):



Obr. 6. Princíp merania ležaniny na skusnej ploche metódou líniového priesečníkového výberu
 Fig. 6. Principle of measuring the coarse lying deadwood on a sample plot using the line intersect sampling.

- Od stredu skusnej plochy sa v štyroch smeroch (podľa svetových strán alebo po spádnici a vrstevnici) vytýči línia o vodorovnej dĺžke L (napr. 20 m). Môže sa prispôbiť polomeru kruhovej skusnej plochy, na ktorej sa posudzujú parametre porastu, napr. 12,62 m pre 5-árový kruh. Väčšie dĺžky sú však z hľadiska presnosti výhodnejšie.
- Zaeviduje sa iba ten kus hrubej ležaniny (i), ktorý líniu pretne a v mieste priesečníka s líniou sa odmeria priemerkou jeho hrúbka d_i kolmo na os kusa v cm. Za kus sa považuje každá časť hrubiny na tejto línii, t. j. kmeň i konáre hrubšie ako 7 cm. V prípade, že ten istý kus ležaniny pretnú dve línie (čo je veľmi málo pravdepodobné), urobí sa z obidvoch odmeraných hrúbok d_i priemer.
- Objem všetkých m kusov ležaniny na skusnej ploche $V_{HL(j)}$ priamo v m³ v prepočte na 1 ha sa určí podľa vzťahu

$$V_{HL(j)} m^3 \cdot ha^{-1} = \frac{\pi^2}{8 \cdot (4L)} \sum_{i=1}^m d_i^2 = \frac{0,308425}{L} \sum_{i=1}^m d_i^2 \quad [13]$$

- Dĺžku jednotlivých kusov ležaniny nie je potrebné merať, pretože táto sa vo výpočtových vzorcoch vyskytuje v čitateli aj v menovateli a vo výsledku sa vykrátí.
- Metóda je veľmi efektívna a ako ukázali naše experimentálne skúšky (ŠMELKO, ŠEBEŇ 2010) na súbore vyše 1 100 skusných plôch z národnej inventarizácie lesa

na celom území Slovenska, je aj dostatočne presná. Diferencie medzi objemom ležaniny určeným týmto postupom a klasickou Smalianovou metódou mali priemernú hodnotu $-1,3 \pm 0,9 \%$, čiže od nuly sa nelíšili štatisticky významne, nemali systematickú chybu (tzv. Bias), ale úplne náhodný charakter. Korelácia medzi hodnotami obidvoch objemov na skusných plochách bola veľmi vysoká ($R = 0,88$, $R^2 = 0,77$).

6. Tenká ležanina

Tenká ležanina (ležiaca tenčina) je tá časť odumretého dreva ležiaceho na zemi, ktorá je na hrubšom konci tenšia ako 7 cm a na tenšom konci je obmedzená hrúbkou napr. 1 cm, čiže nespĺňa kritériá pre hrubinu. Je zložkou mŕtveho dreva, ktorá sa pre vedecké i praktické účely zisťuje menej často, alebo sa vykonáva len jednoduchým odhadom pokryvnosti na ploche (v %). To znemožňuje jej rovnocenné pripojenie k ostatným zložkám mŕtveho dreva vyjadreného v objemových jednotkách. V snahe vyjadriť ležiacu tenčinu v m^3 drevnej hmoty na jednotku plochy sme vytvorili dva nové varianty jej výberového zisťovania:

a) Použitie biometrického modelu pre odhad objemu tenkej ležaniny na skusnej ploche $V_{TL}(m^3)_j$ na základe veličín, ktoré ho najviac ovplyvňujú podľa vzťahu

$$V_{TL}(m^3)_j = p(m^2)_j \cdot pokrTL(\%)_j \cdot drevTL(\%)_j \cdot v_{TL}(m^3/m^2)_j / 10\,000 \quad [14]$$

Jednotlivé symboly majú tento význam a určia sa nasledovne:

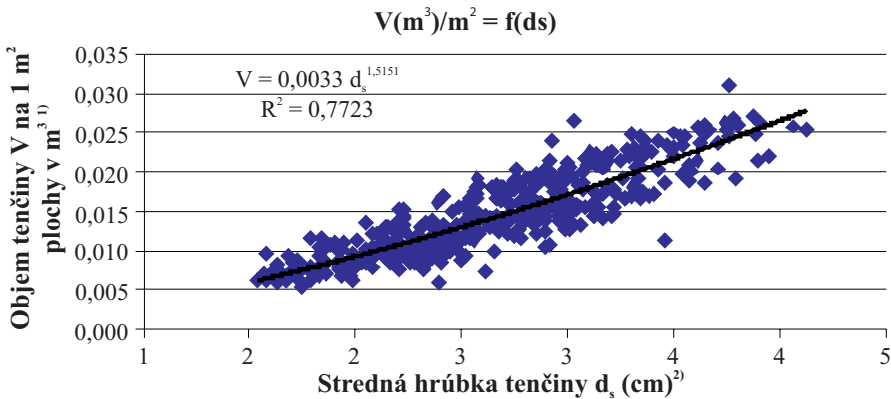
- $p(m^2)$ – výmera skusnej plochy. Zvolí sa podľa zásad v bode 2. Najlepšie je použitie tú istú veľkosť, na ktorej sa zisťujú pne a hrubá ležanina.
- $pokrTL(\%)$ – pokryvnosť tenčiny na skusnej ploche. Chápe sa ako relatívna (%) časť skusnej plochy, ktorú by zabrala vyskytujúca sa tenčina, keby bola husto poukladaná vedľa seba. V prípade, že tenčina je nahádzaná, resp. poukladaná na hromade, odhadne sa, akú plochu by drevo pokrylo po jej rozobraní. Dobrou pomôckou pri tomto odhade môže byť tabuľka, v ktorej si odhadca vopred vyčíslil, že pri použitej veľkosti skusnej plochy napr. 4 áre = 400 m^2 , keď husto poukladaná tenčina zaberie 2 – 4 – 10 – 20 – 50 – 100 – 200 m^2 bude pokryvnosť tenčiny 0,5 – 1,0 – 2,5 – 5 – 12,5 – 25 – 50 %.
- $drevTL(\%)$ – relatívne (%) zastúpenie drevín, resp. podiel ihličnanov a listnáčov v ležiacej tenčine na skusnej ploche. Stanoví sa odhadom.
- $v_{TL}(m^3/m^2)$ – objem husto vedľa seba poukladanej tenčiny pripadajúci na plochu 1 m^2 pri priemernej hrúbke jednotlivých kusov tenčiny $d_{sTL}(cm)$. Jeho určenie je zložitejšie a môže sa vykonať dvojako.

Objem $v_{TL}(m^3/m^2)$ je najjednoduchšie prevziať na základe zmeranej alebo odhadnutej strednej hrúbky $d_{TL}(cm)$ všetkej tenčiny nachádzajúcej sa na skusnej ploche z modelu, ktorý sme odvodili zo špeciálnych zisťovaní v rámci národnej inventarizácie lesov SR 2005 – 2006 na 450 inventarizačných plochách. Celý priebeh tejto závislosti $v_{TL}(m^3/m^2) = f(d_{sTL})$ je zobrazený v obrázku 7 a vyjadruje ho táto regersná rovnica

$$V_{TL}(m^3/m^2) = 0,0033 \cdot d_{sTL}^{1,5151} \quad R^2 = 0,772 \quad [15]$$

Model je univerzálny, predstavuje celoslovenský priemer a jeho stupeň korelácie je až prekvapujúco vysoký (podľa hodnoty koeficienta determinácie R^2 závislosťou objemu tenčiny od jej hrúbky sa vysvetlilo viac ako 77 % celkovej variability objemov tenčiny).

Ďalší, náročnejší spôsob je odvodenie podobného modelu ako je v obrázku 7 z priamych meraní pre konkrétne inventarizované územie. Potrebné údaje stačí získať iba na časti skusných plôch (na každej tretej, piatej ap., najmenej na $n = 30$) nasledovne: Z vyskytujúcej sa tenčiny s hrúbkou 1 – 7 cm sa na skusnej ploche urobí vzorka o rozmeroch \check{S} (šírka) $\times L$ (dĺžka). Jednotlivé kusy tenčiny sa poukladajú vedľa seba v maximálnej hustote tak, aby šírka vzorky \check{S} bola asi 1 m a dĺžka L zodpovedala priemernej dĺžke kusov po hrúbku 1 cm na tenšom konci. Ukladanie kusov treba vykonať striedavo raz z hrubšieho, raz z tenšieho konca. Vo vzorke, ktorá sa ohraničí výtyčkami, sa zmeria jej šírka \check{S} a dĺžka L (s presnosťou na 0,01 m), určí sa druh dreveniny, prípadne aj stupeň rozkladu dreva a odmerajú sa hrúbky všetkých kusov tenčiny v polovici ich priemernej dĺžky $L/2$ jednoduchým meradlom zhotoveným pre tento účel z tenkej doštičky (plexiskla) s výrezmi po okrajoch v rozpätí 1, 2, 3 ... 7 cm. Pre každú vzorku sa vypočíta skutočný objem všetkých kusov tenčiny (Smalianovou metódou) v prepočte na 1 m² ($v_{TL}(m^3/m^2)$) a ich stredná hrúbka ($d_{TL}cm$). Z n párových údajov sa odvodí vzťah $v_{TL}(m^3/m^2) = f(d_{TL})$ a použije sa ako v predchádzajúcom prípade pre odhad objemu $v_{TL}(m^3/m^2)_j$ na všetkých skusných plochách pomocou tohto modelu.



Obr. 7. Objem husto poukladanej tenčiny na 1 m² plochy ($v_{TL}(m^3/m^2)$)v závislosti od strednej hrúbky tenčiny ($d_{sTL}cm$). Model odvodený pre celú SR z $n = 450$ vzoriek tenčiny

Fig. 7. The volume of densely deposited thin lying deadwood on 1 m² area (V_{TL} in m³/m²) as a function of the mean diameter of all deadwood pieces (d_{sTL} cm). The model was derived for all forests in Slovakia on the basis of data from $n = 450$ samples.

¹⁾Volume of small wood V (in m³) per 1 m² of the area, ²⁾Mean diameter of small wood

b) Spresnenie odhadu objemu tenčiny priamym meraním metódou líniového priesečníkového výberu na menšej časti skusných plôch. Nadväzuje na spôsob odhadu podľa bodu a), ktorý je jednoduchý a dobre použiteľný, ale môže vzniknúť nebezpečenie, že odhad vstupných veličín, najmä pokrývnosti tenčiny môže byť zaťažený subjektívnou chybou odhadcu a výsledok do určitej miery znehodnotiť. Pre zobjektívnenie výsledkov odporúčame využiť výhody tzv. dvojfázového kombinovaného postupu. Za prvú fázu zisťovania sa bude považovať odhad objemu tenčiny spôsobom ad a) na pôvodnom počte skusných plôch, ktorý označíme symbolom n_1 . Druhou fázou bude navyše vykonanie aj priameho merania objemu tenčiny na menšom počte skusných plôch n_2 (najlepšie na každej štvrti, šiestej, desiatej ap.) metódou líniového priesečníkového výberu tak, že na štyroch líniiach o dĺžke L rovnajúcej sa polomeru použitej kruhovej skusnej plochy sa odmerajú hrúbky d_i všetkých kusov tenčiny v mieste ich priesečníka s líniovou a určí sa objem tenčiny podľa vzorca [13] a kvôli porovnaniu s prvou fázou sa prepočíta na výmeru použitej skusnej plochy. Pre tie isté n_2 skusné plochy sa takto získajú dvojice údajov o objeme tenčiny, označme ich $V_{O,k}$ (odhadované) a $V_{M,k}$ (merané), $k = 1, 2, 3 \dots n_2$ a využijú sa na spresnenie pôvodných n_1 odhadov. Vypočíta sa regresná rovnica závislosti $V_{M,k}$ od $V_{O,k}$ napr.

$$V_{M,k} = a + b \cdot V_{O,k} \quad [16]$$

a podľa nej sa skorigujú všetky $j = 1, 2, 3 \dots n_1$ odhady objemov tenkej ležaniny takto

$$V_{TL}(m^3)kor_j = a + b \cdot V_{TL}(m^3)_j \quad [17]$$

Spresnenie bude tým lepšie, čím tesnejšia bude korelácia medzi n_2 odhadmi a meraniami a veľkou výhodou bude to, že sa súčasne odstránia aj možné systematické odchýlky v odhadoch veličín vstupujúcich do modelu (16).

Navrhnutý postup korekcie sme overili na údajoch z NIML SR na báze $n_2 = 372$ meraných a odhadnutých údajov. Regresná rovnica medzi nimi mala tvar

$$V_{M,k} = 6,2314 + 0,15959 \cdot V_{O,k} \text{ a korelačný koeficient } R = 0,563 \quad [18]$$

Potvrdila, že v pôvodných odhadoch sa vyskytli systematické vychýlenia, pretože absolútny koeficient rovnice a sa výrazne líši od nuly (priamka závislosti neprechádza počiatkom súradníc), že menšie objemy boli nadhodnocované a vyššie podhodnocované (lebo regresná priamka je menej strmá, koeficient b je menší ako 1,0) a že spresnenie odhadov pomocou korekcie znižuje výberovú chybu výsledku násobkom $\sqrt{1 - R^2} = \sqrt{1 - 0,563^2} = 0,82$.

7. Kategorizácia mŕtveho dreva

Pri každom zisťovaní mŕtveho dreva je potrebné vopred rozhodnúť, ktoré zložky mŕtveho dreva sa budú na skúmanom území zisťovať a podľa akých znakov sa budú získané výsledky ďalej rozčleňovať (triediť).

Pokiaľ ide o mŕtve drevo, môžu sa zisťovať buď všetky, alebo iba niektoré jeho zložky, čo závisí od účelu zisťovania. Z ďalších triediacich znakov, ktoré treba pri mŕtvom dreve zaznamenať je najvýznamnejší jeho stupeň rozkladu, pretože býva veľmi rozmanitý a indikuje dôležité procesy prebiehajúce v lesnom ekosystéme. Najčastejšie sa vyjadruje v troch resp. štyroch stupňoch (od čerstvého a tvrdého až po úplne mäkké, rozpadavé drevo), charakterizovaných slovným opisom, alebo aj obrazovou dokumentáciou. Menej potrebné je podrobné triedenie podľa druhu drevín, lebo vo vyššom stupni rozkladu dreva sa príslušnosť k drevine ťažko identifikuje a v objeme sú rozdiely medzi drevinami pomerne malé. Spravidla stačí – s výnimkou stojacich suchárov – rozčleniť mŕtve drevo iba na listnaté a ihličnaté, alebo na drevo s dlhším (dub, borovica) a kratším časom rozkladu (ostatné dreviny). Pre detailnejšie analýzy, pri ktorých sa skúma aké faktory ovplyvňujú množstvo a stav mŕtveho dreva v lesnom ekosystéme, je účelné za triediace znaky zvoliť napr. funkčnú kategóriu lesa (hospodárske, ochranné, chránené, prírodné a prirodzené lesy), vnútornú štruktúru a výstavbu porastov (rovnorodé a zmiešané, rovnoveké a rôznoveké, jedno a viac vrstvové), stanovištné podmienky, nadmorskú výšku a i. Tieto znaky sa už netýkajú samotného mŕtveho dreva, ale skusnej plochy, na ktorej sa drevo vyskytuje a súvisia s jej identifikáciou (príslušnosťou k homogénnej časti lesa, k tzv. stratu).

Pri kategorizácii mŕtveho dreva je veľmi dôležitá jeho presná a jednoznačná definícia, ktorá je základnou podmienkou pre to, aby sa výsledky rôznych autorov a údaje z rôznych lokalít dali navzájom porovnávať. V súčasnosti takáto jednotná definícia chýba, a to rovnako u nás ako aj v zahraničí. Rozdiely sú najmä v hraničných hodnotách hrúbky a dĺžky od ktorých sa mŕtve drevo eviduje a v stupňoch rozkladu dreva. Určitým vodítkom by mohli byť definície, ktoré sa pri kvantifikácii mŕtveho dreva používajú v národných inventarizáciách lesa. Ich prednosťou je, že boli dohodnuté na báze širokého odborného konsenzu a predstavujú najrozsiahlejšie zisťovanie, ktoré sa pravidelne opakuje na území celého štátu. Ako dobré príklady môžu slúžiť pracovné postupy národných inventarizácií lesa Rakúska, Švajčiarska, Nemecka a Českej republiky. K nim možno celkom oprávnenne priradiť aj metodiku prvej slovenskej národnej inventarizácie 2005 – 2006 (ŠMELKO *et al.* 2006), v ktorej sú uplatnené podnetné zahraničné skúsenosti i viaceré domáce návrhy. V krátkej budúcnosti možno očakávať, že v projekte ENFIN, ktorý harmonizuje metodické postupy zisťovania a monitorovania lesných ekosystémov v rámci EU, sa zjednotí aj metodika pre získavanie informácií o mŕtvom dreve. Dovtedy možno odporučiť, aby sa pri zisťovaní mŕtveho dreva evidovali v prvotných záznamoch všetky jeho podstatné znaky čo najpodrobnejšie a do zvolenej štruktúry sa podľa vlastnej úvahy alebo potreby porovnávanía s inými údajmi rozčlenili až v procese ďalšieho spracovania.

V tejto súvislosti je potrebné upozorniť ešte na jednu dôležitú skutočnosť metodického charakteru a to, že zvolený počet triediacich kategórií mŕtveho dreva nemôže byť celkom ľubovoľný, lebo bezprostredne vplýva na presnosť získaných výsledkov. Pre každú zložku mŕtveho dreva by nemal byť väčší ako 6 – 8, napr. dve kategórie dreviny a tri alebo štyri kategórie rozkladu dreva a počet homogénnych skupín (strat), pre ktoré sa výsledky osobitne zhodnotia, by mal byť tiež relatívne malý (maximálne 3 – 5). Pri

väčšom počte by boli jednotlivé triedy nedostatočne obsadené údajmi a výberová chyba by sa zákonite zvýšila až natoľko, že výsledok by už nebol prakticky použiteľný.

8. Algoritmy pre matematicko-štatistické spracovanie a zovšeobecnenie získaných údajov

Údaje o mŕtvom dreve získané postupmi opísanými v statiach 3 – 6 na n skusných plochách predstavujú reprezentatívnu vzorku a treba ich spracovať a zhodnotiť tak, aby poskytli príslušné parametre (priemerné hektárové hodnoty, celkové úhrny a ich výberové chyby) platné pre celé inventarizované územie. Ich odvodenie musí nadväzovať na použitý výberový dizajn. Keďže v stati 2 sme odporučili ako najvhodnejšie riešenie systematický a stratifikovaný výber a skusné plochy o variabilnej veľkosti, môžu sa uvedené parametre stanoviť metódou nazvanou ako „priemer podielov“ („Mean of Ratios“), ktorú teoreticky zdôvodnili a prakticky overili SABOROVSKI – ŠMELKO v práci (1998). Pri jej uplatnení treba údaje o objeme mŕtveho dreva a jeho zložiek na každej j -tej skusnej ploche $V_j(m^3)$ vzťahujúcej sa na výmeru $p_j(m^2)$ najprv prepočítať na 1 ha a kvôli jednoduchosti zaviesť pre tento hektárový objem spoločný symbol $Y_{ha(j)}$ podľa vzťahu

$$Y_{ha(j)} = \frac{V_j(m^3)}{p_j(m^2)} \cdot 10000 \quad [19]$$

Pre celé inventarizované územie o výmere $P(ha)$ s počtom skusných plôch n sa potom potrebné parametre vypočítajú nasledovne:

- **priemerný objem na 1 ha a jeho stredná chyba v m^3 a v %** (\bar{Y}_{ha} , $S_{\bar{Y}_{ha}}$, $S_{\bar{Y}_{ha}} \%$)

$$\bar{Y}_{ha} = \frac{\sum_{j=1}^n Y_{ha(j)}}{n} \quad [20] \quad S_{\bar{Y}_{ha}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (Y_{ha(j)} - \bar{Y}_{ha})^2}{n \cdot (n-1)}} \quad [21]$$

$$S_{\bar{Y}_{ha}} \% = \frac{S_{\bar{Y}_{ha}}}{\bar{Y}_{ha}} \cdot 100 \quad [22]$$

- **celkový objem (úhrn, označený T ako “Total”) a jeho stredná chyba na celom území v m^3 a v %** ($Y_{(T)}$, $S_{Y_{(T)}}$, $S_{Y_{(T)}} \%$)

$$Y_{(T)} = P(ha) \cdot \bar{Y}_{ha} \quad [23] \quad S_{Y_{(T)}} = P(ha) \cdot S_{\bar{Y}_{ha}} \quad [24] \quad S_{Y_{(T)}} \% = \frac{S_{Y_{(T)}}}{Y_{(T)}} \cdot 100 \quad [25]$$

V prípade, že sa uplatní stratifikovaný výber a v jednotlivých stratach h (homogénnych častiach lesa), ktorých počet bude L , sa založí n_h skusných plôch, použije sa tento algoritmus:

- najprv sa **pre každé stratum** osobitne vypočítajú **jeho parametre** pre priemer $Y_{(T)}$, $S_{Y_{(T)}} \%$ i pre total $Y_{(T)h}$, $S_{Y_{(T)h}}$, $S_{Y_{(T)h}} \%$ podľa vzorcov [20 – 25] s tým rozdielom,

že údaje sa budú týkať nie všetkých n ale len n_h skusných plôch v strate h a že pri parametroch pre úhrn sa namiesto celkovej výmery $P(ha)$ použije výmera príslušného strata $P(ha)_h$. Tá sa prevezme z lesného hospodárskeho plánu, určí pomocou leteckej snímky, alebo dovodí z výberových údajov podľa vzťahu $P(ha)_h = (n_h/n) \cdot P(ha)$,

- potom sa vypočíta **výsledný „stratifikovaný“ priemer a úhrn objemu a príslušné stredné chyby**

$$\bar{Y}_{ha(str)} = \sum_{h=1}^L W_h \cdot \bar{Y}_{ha(h)} \quad [26] \quad S_{\bar{Y}_{ha(str)}} = \sqrt{\sum_{h=1}^L W_h^2 \cdot S_{\bar{Y}_{ha(h)}}^2} \quad [27]$$

$$S_{\bar{Y}_{ha(str)}} \% = \frac{S_{\bar{Y}_{ha(str)}}}{\bar{Y}_{ha(str)}} \cdot 100 \quad [28]$$

$$Y_{(T)str} = P(ha) \cdot \bar{Y}_{ha(str)} \quad [29] \quad S_{Y_{(T)str}} = P(ha) \cdot S_{\bar{Y}_{ha(str)}} \quad [30]$$

$$S_{Y_{(T)str}} \% = \frac{S_{Y_{(T)str}}}{Y_{(T)str}} \cdot 100 \quad [31]$$

pričom W_h je relatívny podiel veľkosti strát vzhľadom na celé inventarizované územie a určí sa buď z výmery strát $P(ha)_h$ alebo z počtu skusných plôch n_h v stratách ako pomer

$$W_h = \frac{P(ha)_h}{P(ha)} \quad [32] \quad \text{alebo} \quad W_h = \frac{n_h}{n} \quad [33]$$

- nakoniec sa **posúdi efektívnosť stratifikácie**. Jej výhodou je, že poskytne jednak podrobnejšie informácie o mŕtvom dreve na sledovanom území podľa zvolených kategórií lesa, jednak zníži variabilitu údajov a zvýši presnosť výberového výsledku a to tým viac, čím príslušný triediaci (stratifikačný) znak viac vplýva na objem mŕtveho dreva. Účinok stratifikácie, tzv. relatívna efíciencia (RE) sa určí porovnaním výberovej chyby po stratifikácii voči výberovej chybe bez stratifikácie podľa vzťahu

$$RE = \frac{S_{strat}^2}{S_{bezstratifikácie}^2} \quad [34]$$

Takto získané výsledky je potrebné zhrnúť do tabuliek a grafov tak, aby mali jednotnú štruktúru a aby boli prehľadné a dobre zrozumiteľné. Pre každú veličinu treba uviesť jej parameter i mieru jeho presnosti, aby sa poznatky dali zovšeobecňovať a porovnávať. Pritom mierou presnosti môže byť stredná chyba absolútna, stredná chyba relatívna, alebo 68 % interval spoľahlivosti (t. j. parameter \pm stredná chyba), resp. 95 % interval spoľahlivosti (t. j. parameter $\pm t_{\alpha/2, n-1}$ násobok strednej chyby, pri

$n > 30$ je $t_{\alpha/2, n-1} = 2$). Nemusí sa používať jednotne, ale voliť účelovo tak, aby sa presnosť výsledku dala ľahko pochopiť a interpretovať, napr. pre priemery použiť strednú chybu absolútnu, pre úhrny strednú chybu relatívnu, pre znázornenie rámcov presnosti v stĺpcových a iných grafoch interval spoľahlivosti. Dôležité je jednoznačne vysvetliť a uvedomiť si, čo tieto miery presnosti vyjadrujú: stredná chyba udáva rámec, ktorý skutočná chyba parametra (buď absolútna v m^3 , alebo relatívna v % z hodnoty parametra) neprekročí so 68 % pravdepodobnosťou, interval spoľahlivosti vymedzuje spodnú a hornú hranicu, v ktorej sa skutočná hodnota parametra vyskytuje so 68 %, resp. 95 % pravdepodobnosťou.

9. Poznanky z doterajšieho praktického využitia navrhovaných postupov

Navrhnuté postupy boli doteraz na Slovensku použité vo dvoch projektoch na celoštátnej i regionálnej úrovni, a to v rámci NIML SR 2005 – 2006 na vyše 1 400 inventarizačných plochách (ŠMELKO *et al.* 2008) a pri monitorovaní revitalizácie lesa vo Vysokých Tatrách v r. 2007 – 2008 (ŠEBEŇ *et al.* 2009) na kalamitisku o výmere 9 200 ha s 368 monitorovacími plochami a v jeho okolí na ploche vyše 14 000 ha s 556 monitorovacími plochami. Potvrdilo sa, že postupy sú dobre prakticky zvládnuteľné a poskytli zaujímavé poznanky o mŕtvom dreve v rozdielnych porastových štruktúrach, z ktorých časť je zhrnutá v tabuľke 4.

Tabuľka 4. Objem mŕtveho dreva ($V m^3 \cdot ha^{-1}$) v rôznych kategóriách lesa podľa výsledkov výberových inventarizácií na Slovensku (68 % interval spoľahlivosti, priemer \pm stredná chyba) *Table 4. The volume of deadwood ($V m^3 \cdot ha^{-1}$) in different forest categories according to results of sampling inventories in Slovakia (68% confidence interval, mean \pm standard error)*

Druh ¹⁾	Všetky lesy SR ²⁾		Vysoké Tatry			
			kalamitisko ³⁾		nekalamitné územie ⁴⁾	
	Objem ⁵⁾	Podiel % ⁶⁾	Objem ⁵⁾	Podiel % ⁶⁾	Objem ⁵⁾	Podiel % ⁶⁾
Sucháre ⁷⁾	6,3 \pm 0,3	16,7	4,8 \pm 0,8	4,3	19,5 \pm 2,3	24,2
Pne ⁸⁾	5,2 \pm 0,1	13,8	23,8 \pm 0,9	21,4	10,7 \pm 0,6	13,3
Ležanina ⁹⁾	17,8 \pm 0,6	47,2	50,3 \pm 3,4	45,2	39,5 \pm 2,8	49,0
Tenčina ¹⁰⁾	8,4 \pm 0,3	22,3	32,3 \pm 2,3	29,1	10,9 \pm 0,9	13,5
Spolu ¹¹⁾	37,7 \pm 2,1	100,0	111,4 \pm 3,3	100,0	80,1 \pm 2,7	100,0

¹⁾Category, ²⁾All forests in Slovakia, ³⁾Hihgt Tatras- disaster area, ⁴⁾Hight Tatras-undisturbed area, ⁵⁾Deadwood volume, ⁶⁾Ratio (%), ⁷⁾Standing dead trees, ⁸⁾Stumps, ⁹⁾Coarse lying deadwood, ¹⁰⁾Small lying

Medzi získanými údajmi sú značné rozdiely, pretože odrážajú rozdielne porastové pomery a spôsob obhospodarovania s ohľadom na funkciu lesa. Najviac mŕtveho dreva je celkom pochopiteľne na kalamitisku, menej v jeho okolí v porastoch s 3. – 4. stup-

ňom ochrany a najmenej v celoštátnom priemere SR. Veľké diferencie sú v podstate z tých istých dôvodov aj v zastúpení jednotlivých zložiek mŕtveho dreva. Pokiaľ ide o stupeň rozkladu dreva, vyskytujú sa všetky uvažované štyri stupne, ale s jasnou tendenciou, že na kalamitisku prevláda druhý stupeň (ešte tvrdé), kým v ostatnom tatranskom lese a na celom Slovensku sú dostatočne a takmer vyrovnané zastúpené okrem druhého aj tretí a štvrtý stupeň (drevo ešte tvrdé, mäkké i rozpadnuté). Drevinové zloženie mŕtveho dreva zodpovedá zhruba zastúpeniu drevín v danej kategórii lesa, v Tatrách prevláda smrek a ďalšie ihličnany, v celoštátnom meradle sú podiely ihličnanov a listnáčov viac-menej vyrovnané.

O množstve niektorých zložiek mŕtveho dreva v lesoch Slovenska sú k dispozícii aj údaje z iných výskumov a publikácií. Väčšinou sa týkajú špeciálnych porastových štruktúr, pralesov, prírodných rezervácií a chránených území. Pozornosť si zaslúžia práce KORPELA (1989), SANIGU (1999 – 2003), SANIGU a SCHÜTZA (2001, 2002) a PAROBKOVEJ (2009). Prinášajú cenné informácie a vedecké i praktické závery z Dobročského, Badískeho a ďalších pralesov. Zaujímavé sú tiež poznatky z NPR Babia hora, ktoré publikovali MERGANIČOVÁ, MERGANIČ, VORČÁK (2004) a MERGANIČOVÁ, MERGANIČ (2010). Dokazujú, že v prírodných lesoch je množstvo mŕtveho dreva všeobecne vysoké a značne závisí od vývojového štádia a aj od nadmorskej výšky. Napr. v známom Dobročskom pralesi dosahuje objem suchárov a hrubej ležaniny na 1 ha v štádiu dorastania 18 – 665 m³, v štádiu optima 68 – 425 m³ a v štádiu rozpadu 154 – 490 m³. V oblasti Babej hory priemerná hodnota suchárov, pňov a hrubej ležaniny na 1 ha leží so 68 % pravdepodobnosťou v intervale 144,6 ± 19,8 m³ a tvorí 56,9 ± 8,9 % zo zásoby živých stromov, väčšie hodnoty dosahuje v štádiu rozpadu, menšie v štádiu dorastania a optima, kde je takmer na rovnakej úrovni, ale s nadmorskou výškou všeobecne klesá. Určitým nedostatkom týchto údajov je, že – podobne ako v mnohých zahraničných prácach – boli získané rozdielnymi metodickými postupmi a v niektorých chýba aj miera presnosti. Preto sa ťažko agregujú, porovnávajú a zovšeobecňujú.

Zo zahraničných prameňov, ktoré boli získané univerzálnejšou metodikou a majú aj informácie o presnosti, sú zaujímavé údaje z národných inventarizácií lesa (NIL). Pre porovnanie uvedieme aktuálne objemy suchárov, pňov a ležaniny v m³ s kôrou na 1 ha, ktoré zistili niektoré európske krajiny: Česká republika 11,6 ± 0,3 m³, Rakúsko 20,0 ± 0,5 m³, Nemecko 11,5 ± 0,3 m³, Švajčiarsko 11,9 ± 0,4 m³. Údaje o objeme tenčiny chýbajú, pretože pri nej sa odhaduje iba relatívna pokryvnosť. Definícia zložiek mŕtveho je v jednotlivých krajinách tiež do určitej miery odlišná. Našej NIML sa najviac približuje NIL Českej republiky. Podrobnejšie údaje a citácie o uvedených zahraničných NIL možno nájsť na príslušných www stránkach i na ďalších stránkach venovaných špeciálne mŕtvemu drevu. Napr. stránka UNECE je spracovaná tak, že v nej možno nájsť údaje o oficiálne udávanom množstve stojacieho i ležiaceho mŕtveho dreva v m³.ha⁻¹ vo všetkých krajinách sveta, samostatnú stránku má aj tzv. bazilejská „Totholz-Charta“. V Hornom Rakúsku bola zriadená špeciálna nadácia na podporu ponechania vzácnych, starých a odumretých stromov v lese a v krajine a konkrétne projekty sú pre majiteľov pozemkov dotované vopred stanovenou finančnou čiastkou (od 45 do 190 Eur za strom, ak je ponechaný na dobu 20 rokov).

10. Diskusia, závery a odporúčania

Vykonané rozbory ukazujú, že údaje o mŕtvom dreve sú v súčasnosti už veľmi dôležitou informáciou pre posúdenie stavu lesného ekosystému a že sa dost intenzívne zisťujú pre rôzne praktické i vedecké účely tak v zahraničí ako aj u nás, pričom množstvo tohto dreva je značne premenlivé a závisí predovšetkým od vnútornej štruktúry a obhospodarovania lesa. Pomerne závažným nedostatkom je, že jednotlivé komponenty mŕtveho dreva nie sú zatiaľ jednotne definované a že často chýba aj údaj o rámcoch presnosti zisteného výsledku, čo sťažuje sumarizovanie, porovnávanie a zovšeobecňovanie získaných poznatkov.

Predložené námety ponúkajú konkrétne riešenia. Obsahujú komplexný systém výberového spôsobu zisťovania mŕtveho dreva, ktorý je optimálny z hľadiska presnosti i hospodárnosti a umožňuje kvantifikovať všetky komponenty mŕtveho dreva v spoločnej objemovej jednotke (m^3) a k získanému výsledku pripojiť aj rámec presnosti (pri 68 alebo 95 % spoľahlivosti). Okrem už známych postupov ponúka aj úplne nové varianty terénneho zberu údajov a ich biometrického spracovania, ako je kubikovanie „štomпов“, dendrometrické modely tvaru a objemu pňov, veľmi úspornú metódu líniového priesečnickového výberu na zisťovanie hrubej ležaniny, biometrický model na odhad objemu tenčiny, algoritmy pre stanovenie výsledných charakteristík mŕtveho dreva (priemeru, úhrnu a ich výberovej chyby), a to jednak pre celé záujmové územie, jednak pre menšie homogénne časti lesa. Na dobu, kým sa v rámci EU neujednotí definícia mŕtveho dreva a stupňov jeho rozkladu, sa odporúča v národnom meradle dohodnúť spoločné kritériá na báze, ktorá sa dosiaľ v najväčšom rozsahu použila pri prvej národnej inventarizácii lesa SR 2005 – 2006. Pri vzájomnom porovnávaní existujúcich i novo získaných údajov o mŕtvom dreve sa poukazuje na potrebu zohľadniť vždy aj ich presnosť a za signifikantne rozdielne (s 95 % spoľahlivosťou) považovať iba tie priemerné hodnoty a úhrny, ktorých intervaly spoľahlivosti (t. j. priemer \pm dvojnásobok strednej chyby) sa neprekrývajú.

Citovaná literatúra

1. DE VRIES P. C., 1986: Sampling theory for forest inventory. Waneningen, 422 pp. – 2. KORPEL Š., 1979: Pralesy Slovenska. Bratislava, Veda, vydavateľstvo SAV, 332 pp. – 3. MERGANIČOVÁ K., MERGANIČ J., VORČÁK J., 2004: Zásoba odumretého dreva v NPR Babia hora. Beskydy, (17), p. 137–142. – 4. MERGANIČOVÁ K., MERGANIČ J., 2010: Coarse woody debris carbon stocks in natural spruce forests of Babia hora. *Journal of Forest Science*, (v tlači). – 5. PAROBEKOVÁ Z., 2009: Štruktúra, textúra, produkcia a regeneračné procesy NPR Dobročský prales. Autoreferát dizertačnej práce. TU Zvolen, 21 pp. – 6. PETRÁŠ R., 1986: Matematický model tvaru kmeňa. *Lesnícky časopis*, 32(3): 223–236. – 7. PETRÁŠ R., PAJTIK J., 1991: Systava česko-slovenských objemových tabuliek drevín. *Lesnícky časopis*, 37(1): 49–56. – 8. SABOROVSKI J., ŠMELKO Š., 1998: Zur Auswertung von Stichprobeninventuren mit variablen Probeflächen. *AFJZ*, 169, 4, p.71–75. – 9. SANIGA M., 1999: Štruktúra, produkčné a regeneračné procesy Dobročského pralesa. Vedecké štúdie, TU Zvolen, 64 pp. – 10. SANIGA M., 1999: Štruktúra, produkčné a regeneračné procesy Badínského pralesa. *Journal of Forest Science*, 45(3): 121–218. – 11. SANIGA M., SCHÜTZ J.P., 2001: Dynamik des Totholzes in zwei gemischten Urwäldern der Westkarpaten im pflanzengeografischen Bereich der Tannen-Buchen und der Buchenwälder in verschiedenen Entwicklungsstadien. *Schweiz. Z. Forstwes.*, 152(10): 407–416. – 12. SANIGA M., SCHÜTZ J.P., 2002: Dynamics of changes in dead wood share in selected beech virgin forests in Slovakia within their development cycle. *Journal of Forest Science*,

47(12): 557–565. – 13. ŠEBEŇ V., KULLA L., JANKOVIČ J., 2009: Analýza výskytu, množstva a štruktúry odumretého dreva na tatranskom kalamitisku. In TUŽINSKÝ L., FLEISCHER P. (eds), 2009: Pokalamitný výskum v TANAPe, zborník príspevkov, (v tlači). – 14. ŠMELKO Š., 1968: Matematicko-štatistická inventarizácia zásob lesných porastov. Bratislava, Vydavateľstvo SAV, 184 pp. – 15. ŠMELKO Š., 1985: Nové smery v metodike a technike inventarizácie lesa. Zvolen, Vedecké a pedagogické aktuality. ES VŠLD, 122 pp. – 16. ŠMELKO Š., 2007: Dendrometria. Zvolen, Vydavateľstvo TU Zvolen, 401 pp. – 17. ŠMELKO Š., MERGANIČ J., ŠEBEŇ V., RAŠI R., JANKOVIČ J., 2006: Národná inventarizácia a monitoring lesov Slovenskej republiky 2005 – 2006. Metodika terénneho zberu údajov. Zvolen, NLC – LVÚ Zvolen, 129 pp. – 18. 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, NLC-LVÚ Zvolen, príloha časopisu Les/Slovenské lesokruhy, č. 5–6, 16 pp.

Summary

Results of analyses show that data on deadwood are currently very important information for reviewing the state of forest ecosystem, and they are being found intensively for various practical and scientific purposes abroad and in Slovakia as well. Relatively serious shortcoming is the fact that there is often no information on the accuracy of found results, what makes summarizing, comparing and generalizing the obtained data more difficult.

Presented proposals offer concrete solutions. They contain a complex system of sampling method of deadwood quantification, which is optimal from the viewpoint of accuracy and efficiency, and it enables quantifying all components of deadwood in common volume unit (m^3) as well as to adding to the obtained result also the framework of accuracy (with 68% or 95% confidence). Besides already known procedures it offers also completely new variants of data gathering in the field and their biometrical processing as determination of the volume of broken trees, mensurational models of the shape and volume of stumps, very economic method of line intersect sampling for quantification of coarse lying wood, biometrical model for the estimation of the volume of small lying wood, algorithms for determining resultant characteristics of deadwood (average, total and their sampling error) either for the whole interest area or for smaller homogenous parts of forest. Until the definition of deadwood and degrees of its decomposition is not coordinated in the EU, it is recommended on national level to agree common criteria on the basis that has been recently used in the largest extent during the first national forest inventory in Slovakia for the years 2005–2006. Comparison the existing and newly obtained data on deadwood shows the need to always take into account the accuracy of data and to consider only those averages whose confidence intervals (ie, mean \pm twice the standard error) do not overlap.

Translated by Z. AL-ATTASOVÁ