

ARKADIUSZ BRUCHWALD, STANISŁAW ZAJĄCZKOWSKI

## Analiza porównawcza różnych sposobów inwentaryzacji lasu

A comparative analysis of different forest inventory methods

**Abstract.** Six methods for measurement of stand volume were compared. Stand basal area is often calculated using the Bitterlich method or the method is based on measurements of DBHs of trees on sample plots. The methods also differ in equations for dbh form factor and height curve. The analysis revealed the advantages of the novel inventory method (*method 6*) which is characterised by: 1) stratified sampling, 2) use of sample plots on which dbh of trees are measured, 3) application of new empirical equations for height curves and equations for dbh form factor.

**Key words:** forest inventory methods, accuracy

### Wstęp

**D**o praktyki urządzania lasu wprowadzane są nowe metody inwentaryzacji, których wyróżnikiem jest pomiar pierśnic drzew na powierzchniach próbnych (Bruchwald, Zajączkowski 2002). Celowe jest porównanie wyników uzyskanych zarówno sposobami nowymi, jak i dotychczas stosowanymi (Instrukcja 1994). Porównanie takie, będące celem niniejszej pracy, dotyczyć będzie miąższości uzyskiwanej na poziomie obrębu. Analiza porównawcza obejmie również błędy standardowe, których wielkość zależy od zmienności cechy badanej (tu miąższości), liczebności próby i sposobu jej alokacji.

### Metody określania miąższości obrębu

Przedstawiamy w skrócie różne metody określania miąższości obrębu przy założeniu, że w każdej wykonuje się na wstępie te same czynności (Bruchwald, Zajączkowski 2002):

- ustala się liczbę próbek dla obrębu,
- tworzy się warstwy wiekowo-gatunkowe, po czym zalicza się do nich poszczególne drzewostany,
- określa się powierzchnię warstw,
- rozdziela się ogólną liczbę próbek do warstw,

- w ramach każdej warstwy losuje się miejsca, w których wykonywane będą szacunki lub pomiary,
- określa się miąższość punktu pomiarowego, a następnie miąższość każdej warstwy i całego obrębu.

Dalsze czynności różnicują już poszczególne sposoby określania miąższości.

**Sposób 0.** W wylosowanych miejscach, a ściślej w drzewostanach, szacuje się miąższość zgodnie z dotychczas obowiązującymi w taksacji lasu zasadami. Pomocą w określaniu miąższości są tablice zasobności.

**Sposób 1.** W wylosowanych miejscach pomiar pierśnicowej powierzchni przekroju wykonuje się metodą Bitterlicha (Bruchwald 1964). Mierzy się również wysokości pewnej liczby drzew. Korzystając z drzewostanowych liczb kształtu opracowanych dla niektórych gatunków drzew przez prof. Tramplera (Trampler 1975), określa się przeliczoną na jeden hektar miąższość punktu pomiarowego ( $V$ ) wzorem

$$V = K \cdot \sum G_i H_i F_i \quad i = 1, 2, \dots, r \quad (1)$$

gdzie:

- $K$  – stała dla stosowanego przyrządu, tu równa 3,7 gdy  $N < 7$  lub 4 gdy  $N \geq 7$ ,
- $N$  – liczba tych drzew, które spełniają warunek metody Bitterlicha,
- $H$  – średnia wysokość gatunku drzewa,
- $F$  – drzewostanowa liczba kształtu dla gatunku drzewa,
- $r$  – liczba gatunków drzew.

**Sposób 2.** Różni się od *sposobu 1* tym, że drzewostanowe liczby kształtu określa się nowymi wzorami empirycznymi (Bruchwald i in. 2001).

**Sposób 3.** W wylosowanych miejscach zakłada się powierzchnie próbne, na których przeprowadza się pomiar pierśnic drzew z uwzględnieniem gatunku. Mierzy się również wysokości pewnej liczby drzew. Korzystając z drzewostanowych liczb kształtu opracowanych przez prof. Tramplera, określa się przeliczoną na jeden hektar miąższość ( $V$ ) punktu pomiarowego wzorem

$$V = \frac{1}{a} \cdot \sum G_i H_i F_i \quad i = 1, 2, \dots, r \quad (2)$$

gdzie:

- $G$  – pierśnicowa powierzchnia przekroju poszczególnych gatunków drzew otrzymana z pomiaru pierśnic na powierzchni próbnej,
- $H$  – średnia wysokość gatunku drzewa,
- $F$  – drzewostanowa liczba kształtu dla gatunku drzewa,
- $a$  – wielkość powierzchni próbnej,
- $r$  – liczba gatunków drzew.

**Sposób 4.** Różni się od *sposobu 3* tym, że drzewostanowe liczby kształtu określa się nowymi wzorami empirycznymi.

**Sposób 5.** W wylosowanych miejscach zakłada się powierzchnie próbne, na których mierzy się pierśnice drzew z uwzględnieniem gatunku. Mierzy się również wysokości pewnej liczby drzew. Korzystając z tablic stałych krzywych wysokości opracowanych przez prof. Tramplerę (1983), odczytuje się z nich wysokość dla każdego drzewa. Dalej korzystając z opracowanych przez prof. Tramplerę (1974) wzorów na pierśnicową liczbę kształtu, określa się miąższość każdego drzewa, a z sumy – przeliczoną na jeden hektar miąższość punktu pomiarowego ( $V$ ) wzorem:

$$V = \frac{1}{a} \cdot \sum g_j h_j f_j \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

gdzie:

- $g$  – pierśnicowa powierzchnia przekroju drzewa,
- $h$  – wysokość drzewa,
- $f$  – pierśnicowa liczba kształtu drzewa,
- $a$  – wielkość powierzchni próbnej,
- $n$  – liczba drzew na powierzchni próbnej.

**Sposób 6.** Różni się od sposobu 5 tym, że wykorzystuje się w nim nowe wzory stałych krzywych wysokości i również nowe wzory na pierśnicową liczbę kształtu drzewa.

## Metodyka badań

Podstawą porównywania sposobów określania miąższości będą wyniki uzyskane sposobem 6. Obliczona zostanie wielkość  $p$  wzorem:

$$p = \frac{V_i - V_6}{V_6} 100 \quad i = 0, 1, 2, 3, 4, 5 \quad (4)$$

gdzie:

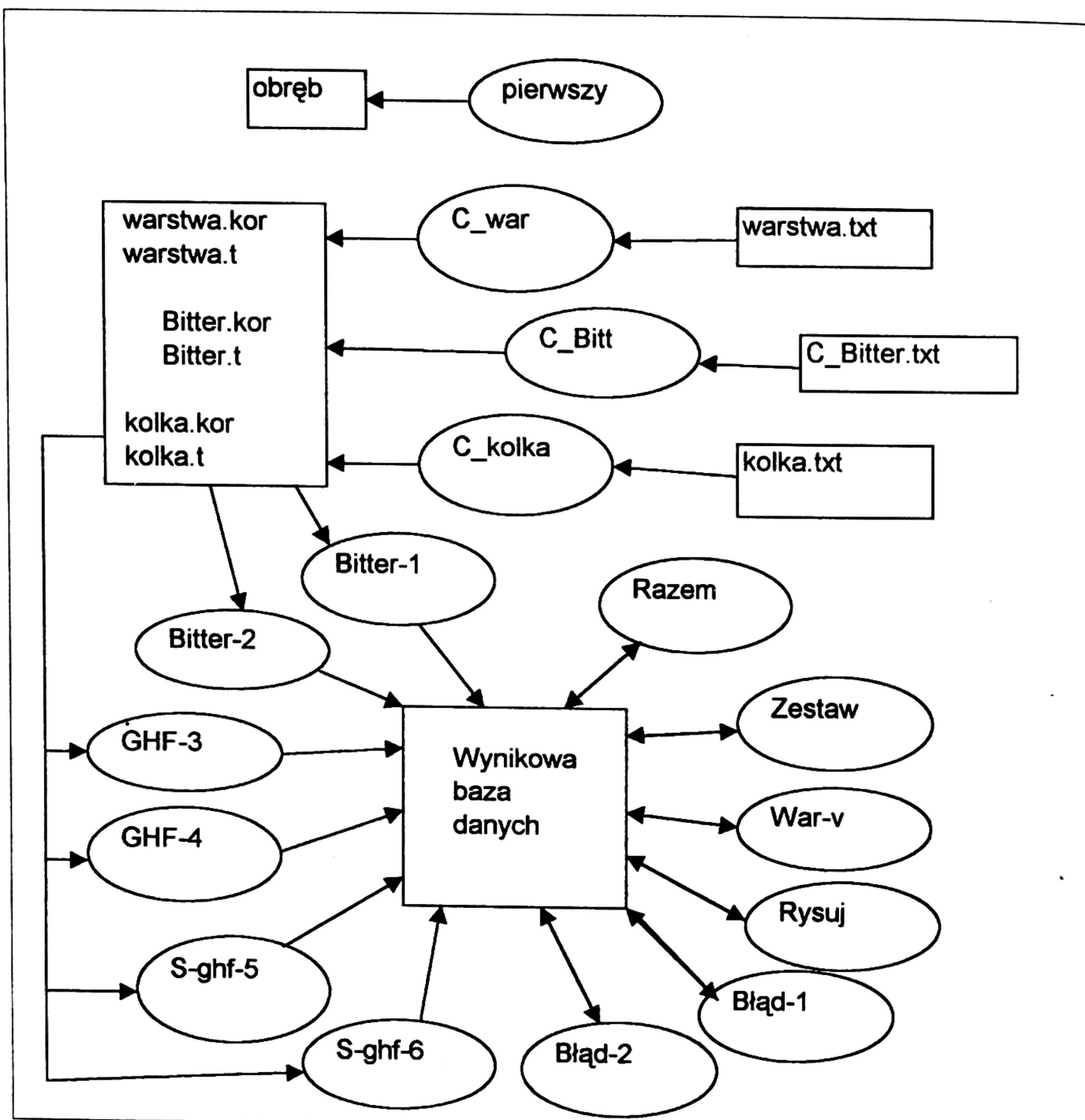
- $V_i$  – miąższość warstwy lub obrębu obliczona  $i$ -tym sposobem,
- $V_6$  – miąższość warstwy lub obrębu obliczona sposobem 6.

Porównanie przeprowadzone zostanie na przykładzie danych zebranych w ośmiu obrębach trzech nadleśnictw: Jędrzejów (obręby: 1 – Jędrzejów, 2 – Nagłowice), Staszów (obręby: 1 – Golejów, 2 – Klimontów, 3 – Kurozwęki) i Złotów (obręby: 1 – Krajenka, 2 – Łobżenica, 3 – Złotów).

Na wstępie przygotowano odpowiednią bazę danych. Składała się ona z 24 plików, po 3 dla każdego obrębu. Zawarte w nich są dane uzyskane z inwentaryzacji, a także dane dotyczące powierzchni wszystkich drzewostanów obrębu, numeru warstwy, do której zaliczony został drzewostan oraz oszacowanej miąższości. Wykorzystano również plik zawierający stałe krzywe wysokości opracowane przez prof. Tramplerę (1983).

Wykonanie odpowiednich obliczeń i analiz wymagało opracowania zestawu programów komputerowych (ryc.). Przedstawimy krótki ich opis.

**Pierwszy** – zakłada katalogi i zapisuje nazwę obrębu. Do jednego z tych katalogów należy wprowadzić pliki dla odpowiedniego obrębu.



RYC. Schemat systemu obliczania i porównywania miąższości

**C\_Bitt** – sprawdza plik *Bitter.txt* w którym zapisane są dane z pomiarów metodą Bitterlicha, a wykryte braki zapisuje w pliku *Bitter.kor*. Do dalszych obliczeń tworzy plik *Bitter.t*.

**C\_war** – sprawdza plik *warstwa.txt*, w którym zapisana jest powierzchnia każdego drzewostanu, numer warstwy i jego oszacowana miąższość. Do dalszych obliczeń tworzy plik *warstwa.t* i ewentualnie plik z informacją o brakujących danych (*warstwa.kor*).

**C\_kolka** – sprawdza plik *kolka.txt* z wynikami pomiaru pierśnic na powierzchniach, a do dalszych obliczeń tworzy plik *kolka.t*. Tworzy również plik *kolka.kor*, gdzie zapisuje brakujące dane.



**Warstwa** – Oblicza m. in. powierzchnię warstwy i średnią miąższość otrzymaną z taksacji (sposób 0).

**Bitter-1** – oblicza miąższości powierzchni próbnym sposobem 1.

**Bitter-2** – oblicza miąższości powierzchni próbnym sposobem 2.

**GHF-3** – oblicza miąższość powierzchni próbnym sposobem 3.

**GHF-4** – oblicza miąższość powierzchni próbnym sposobem 4.

**S-ghf-5** – oblicza miąższość powierzchni próbnym sposobem 5.

**S-ghf-6** – oblicza miąższość powierzchni próbnym sposobem 6.

**Razem** – oblicza miąższość obrębu otrzymaną poszczególnymi sposobami.

**Zestaw** – zestawia dla wydzieleń drzewostanowych, w których były założone powierzchnie próbne miąższości otrzymane sposobami od 0 do 6.

**War-v** – zestawia miąższości i różnice sposobów dla warstw i obrębów.

**Rysuj** – tworzy plik ze współczynnikami prostej regresji dla związku miąższości obliczonej danym sposobem i miąższości oszacowanej przez określonego taksatora. Pokazuje również wykresy tych zależności.

**Błąd-1** – oblicza błędy standardowe poszczególnych sposobów dla warstw i obrębów.

**Błąd-2** – oblicza błędy poszczególnych sposobów dla podklas wieku.

## **Analiza różnic miąższości otrzymanych poszczególnymi sposobami**

**Sposób 0.** W stosunku do *sposobu 6*, szacunek dał dla każdego obrębu zaniżone wyniki, średnio o -16,7% (tab. 1). Zaniżenie to kształtowało się od -11,5% dla obrębu Staszów 3 do -24,0% dla Złotowa 3.

**Sposób 1.** Dał dla obrębów zarówno różnice ujemne jak i dodatnie. Kształtowały się one od -4,3% (Staszów 3) do 6,4% (Złotów 2), ze średnią różnicą – 0,1%. Dość dużą różnicę, wynoszącą 2,9%, otrzymano również dla obrębu Jędrzejów 1. Gdyby w metodzie zastosowano w każdym przypadku współczynnik  $K=4$ , to średnia arytmetyczna błędów byłaby równa 1,5%, z wahaniami od -1,9 do 8,2%.

**Sposób 2.** Otrzymano nim dla większości obrębów różnice ujemne, wynoszące średnio -2,1%. Kształtowały się one od -5,9% (Staszów 3) do 4,4% (Złotów 2). W stosunku do sposobu drugiego nastąpiło przesunięcie różnic średnio o około -2%. Gdyby w metodzie zastosowano w każdym przypadku współczynnik  $K=4$ , to średnia różnica wyniosła by -0,5%, a zakres wahań kształtowałby się od -0,9 do 6,1%.

**Sposób 3.** Dał dla obrębów różnice dodatnie, średnio 1,4%, kształtujące się od 1,1% (Staszów 1) do 1,9% (Jędrzejów 1). Są to więc różnice małe, jednak systematyczne.

TABELA 1

Procentowe różnice kolejnych metod inwentaryzacji lasu w stosunku do metody 6 dla poszczególnych obrębów

Obręb	Metoda					
	1	2	3	4	5	0
J1	2,9	0,6	1,9	-0,5	-3,0	-16,7
J2	-0,7	-2,4	1,3	-0,4	-3,3	-15,5
S1	-2,7	-4,3	1,1	-0,5	-3,6	-13,3
S2	-1,5	-3,5	1,6	-0,4	-3,8	-16,6
S3	-4,3	-5,9	1,3	0,5	-3,1	-11,5
Z1	0,6	-1,8	1,6	-0,6	-3,8	-17,3
Z2	6,4	4,4	1,4	-0,7	-4,9	-18,4
Z3	-1,7	-3,7	1,3	-0,6	-5,8	-24,0
Średnia	-0,1	-2,1	1,4	-0,5	-3,9	-16,7

**Sposób 4.** Otrzymano nim dla poszczególnych obrębów różnice ujemne kształtujące się od -0,7 (Złotów 2) do -0,4% (Jędrzejów 2 i Staszów 2), średnio -0,5. Są to więc różnice małe. Między sposobem 3 i 4 różnice w miąższości obrębów wynoszą około -2%.

**Sposób 5.** Otrzymano nim dla obrębów różnice ujemne, kształtujące się od -5,8% (Złotów 3) do -3,0% (Jędrzejów 1), średnio -3,9%. Są to więc różnice dość duże i systematyczne.

Poszczególne sposoby określania miąższości charakteryzują się zbliżoną dokładnością, gdy uwzględni się tylko błędy standardowe (błędy wynikające ze zmienności cechy badanej), a pominię błędy wynikające z obciążenia estymatorów (błędy systematyczne). Dla poszczególnych obrębów błędy standardowe wahają się od 1,1 do 1,6% (tab. 2). Odbiegają od tych

TABELA 2

Błąd standardowy poszczególnych sposobów pomiaru lasu

Sposób pomiaru	Obręb							
	J1	J2	S1	S2	S3	Z1	Z2	Z3
0	0,6	0,7	0,6	0,9	0,8	1,0	0,8	0,7
1	1,3	1,2	1,3	1,4	1,3	1,7	1,8	1,3
2	1,3	1,2	1,3	1,4	1,3	1,7	1,8	1,3
3	1,2	1,1	1,1	1,2	1,2	1,6	1,6	1,1
4	1,2	1,1	1,1	1,2	1,2	1,6	1,6	1,1
5	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,5	1,6	1,0
6	1,2	1,1	1,1	1,2	1,2	1,6	1,6	1,1
Liczba próbek	794	942	964	937	1139	688	832	715

**TABELA 3**  
**Błąd standardowy sposobu szóstego dla klas wieku w ramach obrębów**

Klasa wieku	Obręb								
	J1	J2	S1	S2	S3	Z1	Z2	Z3	średnio
II	4,6	7,5	4,3	5,1	7,9	4,7	5,3	4,3	5,5
III	2,5	3,3	2,6	2,6	1,9	3,4	2,9	2,7	2,6
IV	2,0	1,6	1,8	1,7	1,9	3,2	3,0	1,9	2,1
V	2,0	2,3	2,8	3,0	2,3	2,8	3,3	2,1	2,6
VI	9,5	3,6	3,2	4,5	5,6	4,0	3,5	3,0	4,8
KO+KDO	6,0	4,2	4,7	4,0	4,0	8,1	10,7	23,1	10,6

wyników błędy otrzymane dla szacunkowego sposobu taksacji lasu, wahające się dla poszczególnych obrębów od 0,6 do 1,0%. Małe ich wartości można wyjaśnić zaniżoną wariancją miąższości.

Dla sposobu szóstego określania miąższości wyznaczono błędy standardowe w poszczególnych klasach wieku (tab. 3). W klasach III, IV i V błędy te są małe i wahają się od 1,6 do 3,4%, a wartość średnia wynosi 2,5%. W klasach tych można więc oczekiwać błędu metody nie przekraczającego średnio 5%. Większe błędy otrzymano dla II i VI klasy wieku, a wahają się one od 3 do 9,5%, ze średnią 5%. Błędy określania miąższości w tych klasach nie powinny więc średnio przekraczać 10%, pod warunkiem, że powierzchnia tych klas, a więc i liczba próbek nie będzie zbyt mała. Zróżnicowaną dokładność określania miąższości otrzymano dla warstwy KO+KDO, dość dużą w Nadleśnictwie Jerzejów i Staszów, natomiast małą – w Złotowie.

## Wnioski

- Szacunkowy sposób taksacji miąższości dał dla wszystkich badanych obrębów zaniżoną miąższość średnio o -17%. W poszczególnych warstwach wystąpiły zarówno dodatnie jak i ujemne różnice, z przewagą tych ostatnich, często o bardzo dużych wartościach. Mała dokładność sposobu opartego na szacunku wskazuje na potrzebę podjęcia bardziej skutecznych działań zmierzających do zwiększenia dokładności taksacji.
- Stosowana obecnie w praktyce urządzania lasu metoda Bitterlicha, wykorzystująca wzory (tablice) liczb kształtu Tramplera, dała różnice miąższości (w stosunku do sposobu 6) wahające się dla obrębów od -4,3 do 6,4%, ze średnią -0,1%. Z dodatnim błędem byłaby określona miąższość (średnio 1,5%) gdyby w metodzie Bitterlicha w każdym przypadku stosowany był współczynnik  $K=4$ . Na niekorzyść metody przemawiają dość duże wahania różnic otrzymane dla poszczególnych obrębów.

- Zastępując w metodzie Bitterlicha wzory Tramplera nowymi wzorami pierśnicowych liczb kształtu drzewostanu, uzyskuje się obniżenie miąższości obrębu średnio o -2,1% w stosunku do sposobu 6. Gdy w metodzie zastosuje się dla każdego drzewostanu współczynnik  $K=4$ , wówczas różnica maleje średnio do wartości -0,5%. Duże wahania różnic otrzymane dla poszczególnych obrębów, przemawiają na niekorzyść metody Bitterlicha.
- Sposób 3, w którym miąższość obliczana jest z iloczynu  $GHF$ , z zastosowaniem wzorów (tablic) Tramplera na pierśnicową liczbę kształtu drzewostanu, dała dla wszystkich obrębów miąższość zawyżoną w stosunku do sposobu szóstego, średnio o 1,4%. Analogiczna metoda oparta na nowych wzorach na pierśnicową liczbę kształtu drzewostanu (sposób 4), dała różnice miąższości bardzo małe, zaniżone średnio o -0,5%. Dla obu metod otrzymano małe wartości różnic w miąższości w poszczególnych obrębach.
- Metoda drzewa indywidualnego oparta na wzorach Tramplera (sposób 5), dała dla każdego obrębu zaniżoną miąższość w stosunku do metody 6, średnio o 4%. Główna przyczyna tych różnic wynika z zaniżonych wysokości. Tablice stałych krzywych wysokości powstały przed około 25 laty, a wówczas trudności z dostępem do komputerów i nienajlepiej dobrana funkcja do aproksymacji związku wysokość-pierśnica, to przyczyna systematycznych błędów, które otrzymuje się przy stosowaniu tych tablic.
- Godny polecenia do dalszego stosowania jest sposób 6. Stosuje się w nim bogaty zestaw wzorów empirycznych na pierśnicową liczbę kształtu drzewa oraz wzorów stałych krzywych wysokości. Wzory te zostały opracowane na bogatym materiale empirycznym, przy wykorzystaniu statystycznej analizy regresji i korelacji nieliniowej, z zastosowaniem elektronicznej techniki obliczeniowej.
- Ewentualna decyzja o wprowadzeniu do praktyki urządzania lasu nowej metody inwentaryzacji (sposób 6), otwiera nowe pola badawcze i wdrożeniowe. Do najważniejszych problemów wymagających pilnego podjęcia można zaliczyć:
  - opracowanie sposobu dochodzenia do miąższości i innych cech taksacyjnych każdego drzewostanu wchodzącego w skład obrębu,
  - poszukiwanie trzeciej, dobrej cechy, która może być wdrożona do warstwowania drzewostanów,
  - wdrożenie do praktyki leśnictwa nowych tablic miąższości i tablic zasobności,
  - korektę pakietu informatycznego ACER o nowe wzory empiryczne,
  - wdrożenie do praktyki leśnictwa modeli wzrostu.

*Zakład Dendrometrii i Nauki o Produkcyjności Lasu SGGW  
ul. Rakowiecka 26/30, 02-528 Warszawa  
e-mail: les\_kpl@delta.sggw.waw.pl*

*Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej  
Wawelska 52/54 00-922 Warszawa  
e-mail: buligl@buligl.pl*

# Literatura

Bruchwald A., 1964, Relaskop Bitterlicha. Sylwan, 6:73-83.

Bruchwald A. i in., 2000, Wzory empiryczne do określania wysokości i pierśnicowej liczby kształtu grubizny drzewa. Sylwan 10:5-13.

Bruchwald A., Zajączkowski S., 2002, Sylwan 10: 13-24.

Instrukcja Urządzania Lasu 1994, IBL, Warszawa.

Trampler T., 1974, Tablice miąższości drzewostanów pomierzonych sposobem Bitterlicha. IBL, Warszawa.

Trampler T., 1983, Tablice jednolitych krzywych wysokości. IBL, Warszawa.

## Summary

### A comparative analysis of different forest inventory methods

Comparative analysis of six methods for the measurement of stand volume in a forest management unit and the forest taxation method based on estimates was the subject of the analysis. The studies were carried out in eight forest management units in three Forest Districts: Jędrzejów, Staszów and Złotów. The results of the analysis are presented below:

- The application of the taxation method based on estimates to calculate stand volume gave the underestimated volume on average by -17% for all forest management units under study. Both positive and negative differences occurred in individual strata with the prevalence of the latter often with very high values. The poor accuracy of the method based on estimates indicates the need of taking more efficient measures to increase the accuracy of the taxation method.
- The Bitterlich method based on Trampler form factor equations (tables) commonly used in forest management planning pointed to differences in the stand volume (as compared with *method 6*) for all forest management units ranging from -4.3 to 6.4%, with the mean -0.1%. Stand volume would be positive biased (on average 1.5%) if the coefficient  $K$  in the Bitterlich method equalled 4. The disadvantage of the method as compared with the *method 6* is high fluctuations in differences in stand volume calculated for individual forest management units.
- The application of new equations for DBH form factors for the stand replacing Trampler equations in the Bitterlich method gave the underestimated volume on average by -2.1% for all forest management units under study as compared with the *method 6*. The difference is reduced to on average -0,5% if the coefficient  $K$  in the Bitterlich method equalled 4 for each stand. The disadvantage of the method as compared with the *method 6* is high fluctuations in differences in stand volume calculated for individual forest management units.

- ❑ The *method 3* in which stand volume is calculated from the formula  $G H F$  using Trampler DBH form factors equations (tables) for the stand gave the overestimated volume on average by -1.4% for all forest management units under study as compared with the *method 6*. An analogous method based on new DBH form factor equations for the stand (*method 4*) gave very small differences in the calculated volume lower on average by -0.5%. The low values of differences in volume calculated for individual forest management units were obtained.
- ❑ The application of the single tree method based on Trampler equations (*method 5*) gave the underestimated volume on average by -4% for each forest management unit as compared with the *method 6*. The main cause of these differences resulted from underestimated heights. The height curve tables developed 25 years ago, both the poor availability of computers and incorrectly selected function for the approximation of the height-dbh relationship were the reasons of systematic errors that were obtained using these tables.
- ❑ *Method 6* is recommended for further use. It uses a number of empirical equations for of DBH form factors for a tree and for height curves. These equations were developed on the basis of the empirical material using computing techniques.
- ❑ The decision to implement the novel inventory method (*method 6*) in management planning creates new possibilities for scientific research and implementation. The most important issues requiring urgent studies are:
  - the development of the method for the determination of volume and other taxation parameters for each stand included in a forest management unit,
  - searching for the third parameter efficient enough to be implemented in stand stratification,
  - the implementation of new volume tables and yield tables in forest practice,
  - the modification of the ACER package for processing the grading estimates by introducing new empirical equations,
  - the implementation of growth models in forest practice.