

Marek Jabłoński¹

Teoretyczna dokładność statystycznej metody reprezentacyjnej pomiaru miąższości obrębu leśnego

Growing stock assessment through stratified sampling – accuracy of the method at strata and forest division level

Abstract. In 2003, a new method of forest inventory based on stratified sampling was implemented in State Forests in Poland. In this paper, the results of analyses concerning the accuracy of growing stock assessment based on new method are presented. Firstly methods adopted in forest management planning for accuracy estimation are discussed. In the next step, the theoretical accuracy of inventory at the strata level as well as that of the forest division was calculated. For this purpose data from 12 forest districts (28 forest divisions) were used. Using formula from the literature standard errors and confidence intervals for these data were calculated. Stratification of stands is usually made based on data from Information Systems of the State Forests (updated old forest characteristics), while the results of the inventory are presented according to the new stand assessment method. The analysis of differences between updated and new data and their influence on the accuracy of growing stock assessments are presented in the paper.

Key words: growing stock inventory, stratified sampling, standard error, confidence interval.

1. Wstęp

Charakterystyka zasobów drzewnych pod względem ich wielkości, struktury, dynamiki zmian i stopnia użyteczności należy do podstawowych zadań inwentaryzacji lasu (Borecki 1993). Duża pracochłonność pomiarów terenowych i ich wysokie koszty powodują, że w zarządzaniu lasu określanie miąższości odbywa się najczęściej poprzez badania częściowe, wykonywane na poziomie drzewostanu lub większych jednostek.

Stosowana obecnie w Lasach Państwowych metoda inwentaryzacji zasobów drzewnych wykorzystuje schemat losowania warstwowego (Instrukcja zarządzania lasu 2003a). W przyjętym rozwiązaniu definitywnie odchodzi się od drzewostanu jako podstawowej jednostki inwentaryzacyjnej. Zdaniem wielu autorów (m.in. Rosa et al. 1981; Rutkowski 1981; Borecki 1995) drzewostanowe systemy inwentaryzacji nie były racjonalne ze względu na małą precyzję określenia miąższości na poziomie wydzielenia. Jednocześnie według Bruchwal-

da i Zajączkowskiego (2002a) dokładność określenia miąższości obrębów leśnych była zbyt wysoka w stosunku do rzeczywistych potrzeb.

Jak zauważył Zajączkowski (2001), wdrażanie do praktyki nowych rozwiązań powinno być poprzedzone ich weryfikacją. Analizę proponowanych do stosowania, w ramach statystycznej metody reprezentacyjnej, wzorów empirycznych na pierśnicową liczbę kształtu grubizny drzew oraz wzorów stałych krzywych wysokości, względem rozwiązań obowiązujących w poprzednim cyklu urzędniowym, przeprowadzili Bruchwald i Zajączkowski (2002b). Problematyką alokacji próby w obrębowej metodzie inwentaryzacji zajmowali się Bruchwald i inni (2003).

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie wyników badań dotyczących teoretycznej dokładności szacowania miąższości w statystycznej metodzie reprezentacyjnej. Zaprezentowane analizy stanowią część projektu badawczego wykonanego w latach 2004–2008

¹ Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Zarządzania Zasobami Leśnymi, Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn, Fax +48227153837, e-mail: M.Jablonski@ibles.waw.pl

przez Instytut Badawczy Leśnictwa na zlecenie Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych.

2. Charakterystyka statystycznej metody reprezentacyjnej

Szczegółowy opis statystycznej metody reprezentacyjnej szacowania miąższości obrębu leśnego znajduje się w części pierwszej Instrukcji urządzania lasu (2003a), zwanej dalej "Instrukcją", oraz w publikacji Bruchwalda i Zajączkowskiego (2002a). Poniżej zamieszczono skróconą jej charakterystykę, obejmującą elementy istotne z punktu widzenia dokładności szacowania miąższości.

Miąższość obrębu leśnego składa się z miąższości warstw określonych statystyczną metodą reprezentacyjną oraz miąższości drzewostanów nie mierzonych tą metodą. Warstwy inwentaryzacyjne tworzone są według wieku i gatunku panującego w drzewostanie. Do pomiaru w ramach statystycznej metody reprezentacyjnej kwalifikowane są drzewostany w wieku powyżej 21 lat o wysokości drzew gatunku panującego ponad 7 m (lub spełniające odpowiednie kryteria bonitacyjne). Do ustalenia warstw wykorzystywane są dane Systemu Informatycznego Lasów Państwowych (SILP), tj. zaktualizowane w SILP informacje o gatunku panującym w drzewostanie, jego wieku i wysokości – cechy określone w trakcie poprzedniej taksacji lasu (przed 10 laty).

Wielkość próby dla obrębu zależy od powierzchni drzewostanów podlegających inwentaryzacji i udziału w niej drzewostanów o zróżnicowanej budowie pionowej i zróżnicowanym składzie gatunkowym. O liczbie powierzchni próbnych w warstwie decydują jej powierzchnia i wiek gatunku panującego. Więcej powierzchni próbnych zakładanych jest w starszych drzewostanach. Każda warstwa o powierzchni ponad 30 ha powinna być reprezentowana przez co najmniej 4 powierzchnie próbne, warstwa o mniejszej powierzchni – przez co najmniej 2 powierzchnie próbne.

Lokalizacja powierzchni próbnych w terenie odbywa się według schematu losowania systematycznego (bez zwracania) z zastosowaniem siatki kwadratów. Wielkość kołowych powierzchni próbnych jest dostosowana do wieku drzewostanów i wynosi od 0,005 ha w IIa klasie wieku (21–30 lat) do 0,05 ha w VI klasie wieku (ponad 100 lat). Pięcioarowe powierzchnie próbne zakładane są również w klasie odnowienia (KO), klasie do odnowienia (KDO) i drzewostanach o budowie przerębowej (oznaczanych łącznie jako KOKDO).

Dla warstw inwentaryzacyjnych określany jest błąd procentowy średniej z próby za pomocą następującego wzoru (Instrukcja urządzania lasu 2003a):

$$P_h = \frac{v_h}{\sqrt{n_h}} \quad (1)$$

gdzie:

v_h – współczynnik zmienności miąższości na powierzchniach próbnych warstwy h ,

n_h – liczba powierzchni próbnych założonych w warstwie h .

Błąd procentowy szacowania miąższości obrębu obliczany jest w sposób następujący (Instrukcja urządzania lasu 2003a):

$$P_o = \sqrt{\sum_h \left[\left(\frac{a_h}{A} \right)^2 \times \frac{s_h^2}{n_h} \right]} \times \frac{100\%}{V_o} \quad (2)$$

gdzie:

a_h – powierzchnia warstwy h (ha),

A – powierzchnia obrębu (ha),

s_h^2 – wariancja miąższości na powierzchniach próbnych w warstwie h (m^3/ha),

V_o – średnia miąższość obrębu przeliczona na 1 ha,

n_h – liczba powierzchni próbnych założonych w warstwie h .

Według założeń przyjętych w Instrukcji (2003a) wyznacza się współczynnik zmienności i wariancję badanej cechy tylko dla warstw reprezentowanych przez więcej niż 10 powierzchni próbnych. Możliwe jest przyjmowanie identycznych miar zmienności dla wszystkich warstw gatunkowych tej samej klasy wieku. W przypadku warstw wiekowych o małej liczbie powierzchni próbnych dopuszcza się łączenie dwóch sąsiednich klas wieku.

3. Analiza założeń statystycznej metody reprezentacyjnej

Schemat losowania próby

Stosowany w praktyce urządzania lasu wzór na dokładność szacowania miąższości na poziomie obrębu jest przekształceniem (uproszczeniem) wzoru na wariancję średniej z próby w losowaniu warstwowym (Zasępa 1972):

$$D^2(\bar{y}) = \sum_h W_h^2 \times \left(1 - \frac{n_h}{N_h} \right) \times \frac{s_h^2}{n_h} \quad (3)$$

gdzie:

N_h – liczebność populacji w warstwie h ,

W_h – frakcja, jaką stanowi warstwa h w całej populacji – a_h/A we wzorze (2), pozostałe symbole jak we wzorze (2).

Z porównania wzorów (2) i (3) wynika, że w praktyce urządzania lasu pomijany jest parametr $1 - \frac{n_h}{N_h}$,

określany jako poprawka na bezzwrotność losowania (Bracha 1996) lub współczynnik związany z populacją skończoną (Cochran 1977). Oznacza to, że w ramach statystycznej metody reprezentacyjnej dane uzyskiwane za pomocą losowania bez zwracania interpretuje się przy wykorzystaniu wzorów właściwych dla losowania ze zwracaniem. Ewentualne pomijanie wymienionej poprawki uzasadnia się jej niewielkim znaczeniem w przypadku gdy próba obejmuje niewielką część populacji (Zasępa 1972).

Procentowy błąd standardowy średniej z próby

Cechą charakterystyczną pomiarów urzędzeniowych jest określanie dokładności szacowania miąższości za pomocą błędów procentowych. Za takim podejściem przemawia m.in. zdecydowanie mniejsza zmienność współczynników zmienności w porównaniu z odchyleniem standardowym (Bruchwald 1994). Z konstrukcji wzorów (1) i (2) wynika jednak, że określenie błędów procentowych dla warstw i obrębu odbywa się w różny sposób. Błąd procentowy dla warstw [wzór (1)] obliczany jest z wykorzystaniem współczynnika zmienności miąższości. Błąd dla obrębu [wzór (2)] określany jest natomiast jako iloraz błędu standardowego dla obrębu i średniej miąższości obrębu.

Według Bruchwalda (1995) procentowy błąd standardowy, w przypadku losowania warstwowego, gdy wagą jest udział powierzchni danej warstwy, powinien być obliczany z zastosowaniem współczynnika zmienności analizowanej cechy:

$$P_o = \sqrt{\sum_h W_h^2 \times \left(1 - \frac{n_h}{N_h}\right) \times \frac{v_h^2}{n_h}} \quad (4)$$

oznaczenie symboli jak przy wzorach (1)–(3).

W sytuacji pominięcia poprawki na bezzwrotność losowania (co występuje w praktyce urządzania lasu) wzór (4) ulegnie uproszczeniu do postaci:

$$P_o = \sqrt{\sum_h W_h^2 \times \frac{v_h^2}{n_h}} = \sqrt{\sum_h W_h^2 \times p_h^2} \quad (5)$$

gdzie:

p_h – błąd procentowy określony wzorem (1),
pozostałe symbole jak we wzorach (1)–(3).

Estymacja przedziałowa

Ideą badań reprezentacyjnych jest zaplanowanie i przeprowadzenie pomiarów umożliwiających uzyskanie wyników o pożądanej precyzji szacunków (Bracha

1996). Wyniki uzyskane za pomocą próby traktowane są jako zmienna losowa, dla której możliwe i niezbędne jest określenie dopuszczalnego prawdopodobieństwa popełnienia błędu określonej wielkości (Zasępa 1972). W praktyce urządzania lasu zagadnienie oczekiwanej dokładności wyników inwentaryzacji jest marginalizowane, a same wyniki podlegają tylko estymacji punktowej. Na znaczenie estymacji przedziałowej w pomiarach miąższości drzewostanów już kilkadziesiąt lat temu zwracał uwagę Grochowski (1949), który podkreślał, że przyjęcie 95% przedziału ufności umożliwia uzyskanie praktycznej pewności wyników inwentaryzacji.

W sytuacji stosowania estymacji przedziałowej, błąd procentowy szacowania miąższości może być określony w następujący sposób:

$$P_{(\alpha)} = z_{\alpha/2} \times \frac{v}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

gdzie:

$z_{\alpha/2}$ – wartość krytyczna rozkładu normalnego,

v – współczynnik zmienności miąższości na powierzchniach próbnych

n – liczba powierzchni próbnych.

Jak zauważa Rosa (1967), obliczanie wielkości błędu z wykorzystaniem wzoru (6) jest możliwe dla prób o odpowiedniej liczebności. Dla dostatecznie dużych prób możliwe jest bowiem korzystanie z rozkładu normalnego przy budowie przedziału ufności (Bracha 1996). Za wystarczającą liczbę spostrzeżeń, upoważniającą do korzystania z rozkładu normalnego przy tworzeniu przedziałów ufności, przyjmuje się najczęściej 30 (Rosa 1967; Wójcik 1987; Bruchwald 1994). Dla prób mniej licznych (poniżej 30) do określenia wielkości błędu, należy posłużyć się, zamiast statystyką $z_{\alpha/2}$, wartością krytyczną rozkładu Studenta $t_{\alpha/2}$, o liczbie stopni swobody wynoszącej $n-1$ (Rosa 1967; Bruchwald 1994). Za stosowaniem statystyki $t_{\alpha/2}$ w takich przypadkach przemawia dodatkowo korzystanie z miar zmienności określanych bezpośrednio z próby. Jak podkreśla Bruchwald (1994), obliczanie wielkości błędów z wykorzystaniem statystyki $z_{\alpha/2}$ powinno się bowiem odbywać z uwzględnieniem populacyjnego odchylenia standardowego lub populacyjnego współczynnika zmienności.

W sytuacji stosowania losowania warstwowego błąd procentowy dla obrębu, przy 95% poziomie ufności, można więc określić za pomocą wzoru będącego uzupełnieniem wzoru (5) o parametr $z_{\alpha/2}$ lub $t_{\alpha/2}$ następująco:

$$P_{O(\alpha)} = \sqrt{\sum_h W_h^2 \times \frac{k_h^2 \times v_h^2}{n_h}} = \sqrt{\sum_h W_h^2 \times k_h^2 \times p_h^2} \quad (7)$$

gdzie:

k_h – oznacza $z_{\alpha/2}$ (równe 1,96) dla warstw o co najmniej 30 powierzchniach próbnych lub $t_{\alpha/2}$ w przy-

padku warstw o mniej niż 30 powierzchniach próbnych; pozostałe symbole jak we wzorach (1)–(3).

Praktyczna realizacja założeń – program Taksator

Do obliczenia wielkości próby, jej alokacji do warstw i poszczególnych drzewostanów oraz przetwarzania danych inwentaryzacyjnych wykorzystywany jest w PGL Lasy Państwowe program Taksator (Instrukcja urządzania lasu 2003b). Jak opisano wcześniej, według pierwszej części Instrukcji (2003a), ustalanie warstw i liczby powierzchni próbnych powinno odbywać się na podstawie zaktualizowanych w SILP opisów taksacyjnych z poprzedniego planu urządzania lasu. Z instrukcji użytkownika programu Taksator (Instrukcja urządzania lasu 2003b) wynika natomiast, że szacowanie miąższości i dokładności pomiarów odbywa się dla warstw utworzonych według nowych opisów drzewostanów (bieżącej taksacji). Jak zauważył Jabłoński (2010) zmiany opisu taksacyjnego drzewostanów powodują, że próba wyznaczona na podstawie danych SILP i następnie założona w terenie nie odpowiada aktualnej strukturze gatunkowo-wiekowej obrębu.

Kolejnym elementem ujmowanym w różny sposób w dwóch tomach Instrukcji (2003a, 2003b) jest podejście do warstw reprezentowanych przez co najwyżej 10 powierzchni próbnych. W programie Taksator współczynniki zmienności miąższości a na ich podstawie błędy procentowe określane są dla wszystkich warstw (w których założono co najmniej 2 powierzchnie próbne), wg pierwszej części Instrukcji (2003a) dla warstw o więcej niż 10 powierzchniach próbnych.

Niezależnie od zapisów pierwszej części Instrukcji (2003a) procedury programu Taksator umożliwiają ponadto projektowanie inwentaryzacji (m.in. wyznaczanie warstw) według nowego opisu taksacyjnego. Sposób ten, eliminujący wątpliwości dotyczące wielkości próby i jej alokacji, a wynikające z ponownego warstwowania drzewostanów (Jabłoński 2010), stosowany jest w niektórych nadleśnictwach.

4. Materiał i metodyka badań

Materiał empiryczny stanowią pomiary inwentaryzacyjne z 12 nadleśnictw (28 obrębów leśnych). Dane inwentaryzacyjne pozyskano w postaci relacyjnych baz danych utworzonych w programie Taksator. Wybrane nadleśnictwa, rozlokowane w miarę równomiernie na obszarze Polski, wchodzą w skład ośmiu regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych. W dziewięciu z tych nadleśnictw, zgodnie z zaleceniami pierwszej części Instrukcji (2003a) do ustalenia wielkości próby i wyzna-

czenia warstw, posłużono się danymi SILP. W trzech nadleśnictwach prace inwentaryzacyjne poprzedzone zostały taksacją drzewostanów, której wyniki wykorzystano następnie do ustalenia próby i jej alokacji do warstw i drzewostanów.

W wyniku analizy zamieszczonej w poprzednim rozdziale następujące zagadnienia uznano za istotne z punktu widzenia dokładności inwentaryzacji i objęto dalszymi badaniami:

- udział (znaczenie) warstw, w których założono maksymalnie 10 powierzchni próbnych,
- intensywność próbkowania,
- sposób określania błędów procentowych dla obrębu,
- estymacja przedziałowa wyników inwentaryzacji na poziomie warstw wiekowych i obrębu.

Warstwy o 1–10 powierzchniach próbnych

Wyróżniono cztery grupy warstw o mniej niż 11 powierzchniach próbnych. Dwie pierwsze, wynikające pośrednio z zapisów pierwszej części Instrukcji (2003a), to warstwy reprezentowane przez 2–3 powierzchnie próbne (teoretycznie warstwy o powierzchni drzewostanów 30 ha) lub przez 4–10. Pozostałe grupy stanowią warstwy bez żadnej powierzchni próbnej lub reprezentowane przez jedną. Możliwość wystąpienia takich sytuacji wiąże się z przenoszeniem powierzchni próbnych do warstw tworzonych na podstawie nowych opisów taksacyjnych.

W przypadku nadleśnictw inwentaryzowanych według danych SILP, analizę przeprowadzono w dwóch wariantach, tj.:

- dla próby określonej względem danych SILP, założonej w terenie i przyporządkowanej następnie do warstw utworzonych na podstawie nowych opisów taksacyjnych, oraz
- dla hipotetycznej próby wynikającej z uwarunkowań nowych opisów taksacyjnych.

Do ustalenia liczby powierzchni próbnych w warstwach tworzonych według nowych opisów taksacyjnych wykorzystano odpowiednią procedurę programu Taksator, wykonując ją na kopiach baz danych.

Intensywność pobierania próby

Dla poszczególnych warstw wiekowych i całych obrębów określono intensywność pobierania próby czyli sumaryczną powierzchnię próbną względem całkowitej powierzchni podlegającej inwentaryzacji. Określenie intensywności pobierania próby pozwoli na wyciągnięcie odpowiednich wniosków co do obliczania dokładności inwentaryzacji wg wzorów właściwych dla losowania ze zwracaniem, w sytuacji zakładania próby zgod-

nie ze schematem losowania bezzwrotnego. Dodatkowo obliczono powierzchnię drzewostanów reprezentowaną przez jedną powierzchnię próbną.

Estymacja błędu procentowego

Obliczono różnice w wielkości błędów procentowych dla poszczególnych obrębów określonych za pomocą dwóch wzorów, tj. wzoru (2) – stosowanego w praktyce zarządzania lasu (Instrukcja zarządzania lasu 2003a) i wzoru (5) zalecanego w literaturze (Bruchwald 1995). Błędy procentowe dla obrębu określane wg Instrukcji (2003a) uzyskano z raportów generowanych przez program Taksator (Instrukcja zarządzania lasu 2003b). Przy obliczaniu błędów procentowych szacowania miąższości obrębu za pomocą wzoru (5) wykorzystano obliczone w programie Taksator błędy procentowe dla poszczególnych warstw (p_h) oraz ich powierzchnię. Dalsze obliczenia wykonywano w arkuszu kalkulacyjnym.

Estymacja przedziałowa

Dla warstw wiekowych i całych obrębów określono wielkości błędów procentowych szacowania miąższości przy poziomie istotności $\alpha=0,05$ za pomocą wzoru (7). Dla warstw wiekowo-gatunkowych o co najmniej 30 powierzchniach próbnych, w obliczeniach stosowano wartość krytyczną rozkładu normalnego $z_{\alpha/2}$. Dla warstw o mniejszej liczbie powierzchni próbnych przy szacowaniu błędów posłużono się wartościami krytycznymi rozkładu Studenta. W obliczeniach uwzględniono wszystkie warstwy gatunkowo-wiekowe, również te, w których założono mniej niż 11 powierzchni próbnych. W przypadku obrębów inwentaryzowanych na pod-

stawie danych SILP obliczenia wykonano w dwóch wariantach, tj.:

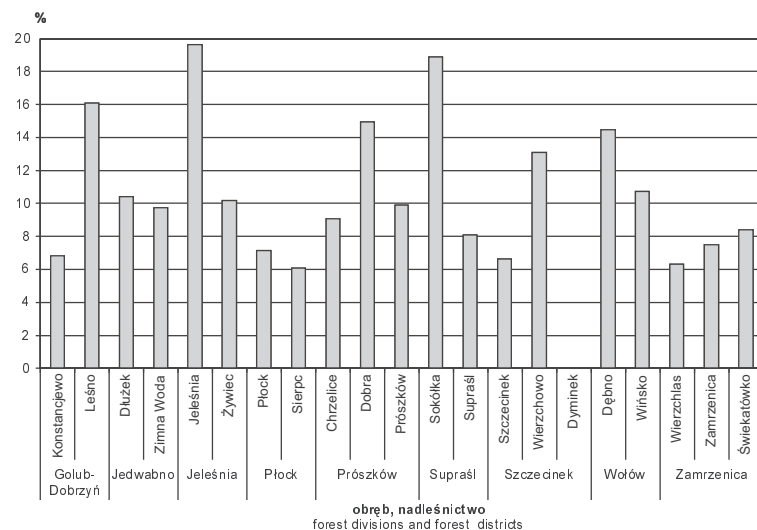
- dla próby założonej w terenie a następnie przeniesionej do nowych warstw oraz,
- liczebności próby wynikającej z warstwowania drzewostanów według nowych opisów taksacyjnych.

W obu przypadkach posłużono się współczynnikami zmienności miąższości z powierzchni próbnych założonych w rzeczywistości w terenie. Liczbę powierzchni próbnych w poszczególnych warstwach wynikającą z uwarunkowań nowych opisów taksacyjnych określono za pomocą wspomnianej wcześniej procedury programu Taksator.

5. Wyniki badań

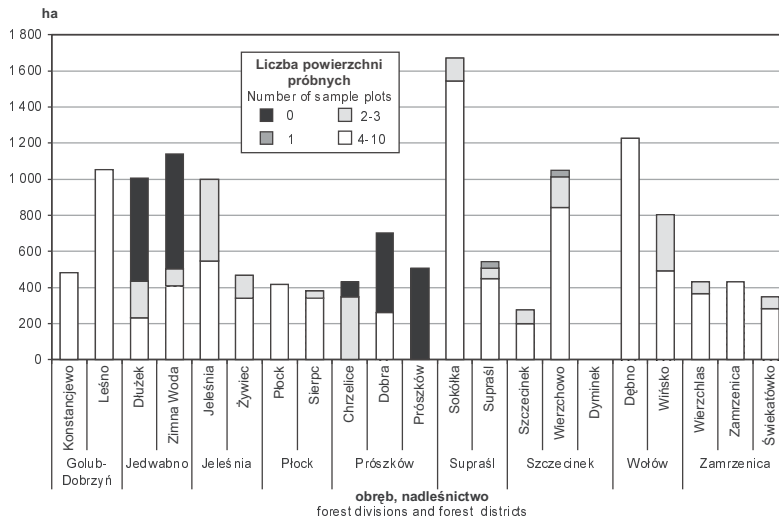
Warstwy o 1–10 powierzchniach próbnych

Na 21 analizowanych obrębów, w których wielkość próby ustalano według danych SILP, jedynie w jednym (Dyminek) liczba powierzchni próbnych we wszystkich warstwach była wyższa od dziesięciu. Warstwy o mniej niż 11 powierzchniach próbnych stanowiły od 6% do prawie 20% powierzchni podlegającej inwentaryzacji w poszczególnych obrębach (ryc. 1). W czterech obrębach (Leśno, Sokółka, Wierzchowo i Dębno) powierzchnia warstw reprezentowanych przez mniej niż 11 prób wynosiła ponad tysiąc ha, z czego w obrębie Sokółka aż 1670 ha (ryc. 2). Szczególna sytuacja wystąpiła w obrębach: Dłużek, Zimna Woda, Dobra i Pruszków, gdzie w warstwach (IIa klasy wieku) o łącznej powierzchni 440–630 ha nie założono żadnej powierzchni próbniej. W wymienionych nadleśnictwach, w wyniku posługiwania się nie zaktualizowanymi danymi SILP



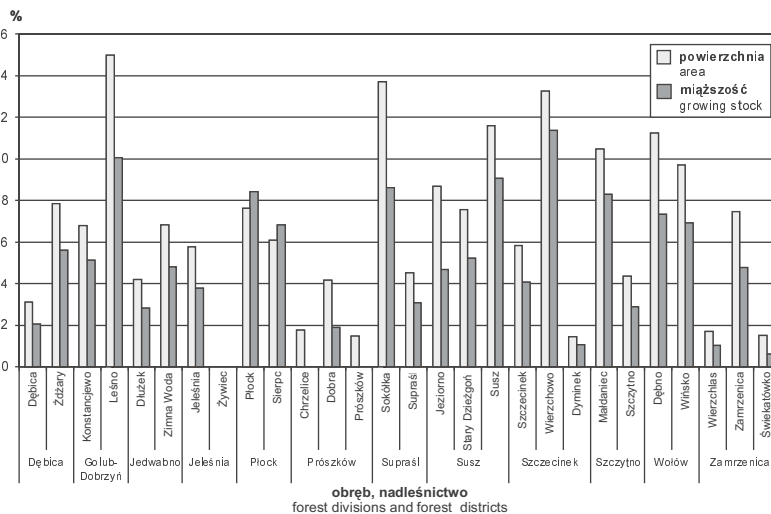
Rycina 1. Udział powierzchniowy warstw, w których na podstawie danych SILP założono 1-10 powierzchni próbnych, w powierzchni inwentaryzowanej części obrębu

Figure 1. Percentage of area of strata with 1 to 10 sample plots established on the basis of the data from the SILP (the Information System of the State Forests) in area of inventoried part of forest division



Rycina 2. Powierzchnia warstw, w których na podstawie danych SILP założono 1-10 powierzchni próbnych

Figure 2. Area of strata with 1 to 10 sample plots established based on the data from the SILP



Rycina 3. Udział powierzchni i miąższości warstw, w których wg nowych opisów taksacyjnych należy założyć 1-10 powierzchni próbnych

Figure 3. Percentage of area and growing stock of strata where 1 to 10 sample plots should be established according to the new stand assessment data and growing stock of inventoried part of forest division

przy ustalaniu próby, nie uwzględniono w pomiarach drzewostanów IIa klasy wieku.

Jak wynika z informacji przedstawionych na rycinie 3, również w sytuacji ustalania próby według danych nowego opisu taksacyjnego udział powierzchniowy warstw reprezentowanych przez kilka prób może być znaczący. W obrębie Leśno jest to aż 15% inwentaryzowanej powierzchni. Przyjęty w praktyce sposób alokacji próby do warstw wiekowych powoduje, że najczęściej warstwy o małej liczbie powierzchni próbnych występują w młodszych klasach wieku. Nie jest to jednak regułą, również w niektórych warstwach drzewostanów IV i V klasy wieku oraz klasy KOKDO zakładano kilka powierzchni próbnych. W przypadku obrębów Leśno i Wierchowo miąższość drzewostanów tworzących warstwy gatunkowo-wiekowe o potencjalnie 4–10 powierzchniach próbnych (w poszczególnych warstwach) stanowi ponad 10% miąższości obrębu.

Intensywność pobierania próby

Sumaryczna powierzchnia wszystkich prób założonych w analizowanych 28 obrębach leśnych zawierała się w przedziale od 17,6 do 43,0 ha. Najmniejszą intensywnością próbkowania, co wynika z przyjętych w Instrukcji (2003a) założeń odnośnie do alokacji i wielkości powierzchni próbnych, charakteryzuje się IIa klasa wieku. Powierzchnie próbne założone w tej warstwie wiekowej stanowiły od 0,01% do 0,06% sumarycznej powierzchni warstwy (tab. 1). Jedna powierzchnia próbna reprezentuje średnio ponad 20 ha drzewostanów IIa klasy wieku. Dane dla IIa klasy wieku pochodzą z 21 obrębów. W czterech obrębach, co już podkreślano, nie założono żadnej powierzchni próbnej. Nie uwzględniono w obliczeniach również danych z trzech obrębów, w których w wyniku posługiwania się nie zaktualizowanymi danymi SILP w drzewostanach o powierzchni 265–432 ha założono zaledwie 2–4 powierzchnie prób-

Tabela 1. Intensywność i reprezentatywność próby w klasach wieku analizowanych obrębów leśnych

Table 1. Sampling intensity and representativeness in age classes of analysed forest divisions

Klasa wieku Age class	Wielkość powierzchni próbnej [ha] Sample plot area [ha]	Intensywność pobierania próby [%] Sampling intensity [%]		Powierzchnia [ha] reprezentowana przez jedną powierzchnię próbną Area [ha] represented by one sample plot	
		zakres range	średnio average	zakres range	średnio average
IIa	0,005	0,01÷0,06*	0,03*	8,4÷34,5*	20,7*
IIb	0,01	0,04÷0,7	0,1	8,0÷27,1	14,8
IIIa	0,02	0,1÷0,3	0,2	6,7÷21,6	11,7
IIIb	0,02	0,1÷0,4	0,2	5,1÷18,1	9,5
IVa	0,03	0,2÷0,7	0,4	4,4÷14,9	7,7
IVb	0,03	0,2÷0,8	0,5	3,9÷13,8	7,0
Va	0,04	0,3÷1,4	0,7	2,9÷12,1	6,1
Vb	0,04	0,4÷1,3	0,8	3,1÷10,8	5,6
VI	0,05	0,4÷2,0	1,1	2,5÷11,8	4,8
KOKDO	0,05	0,5÷2,3	1,3	2,2÷9,7	4,4
Obręb		0,2÷1,0	0,5	3,9÷13,9	7,8

* **wyniki dotyczą 21 obrębów**
results for 21 forest divisions

ne. Największą intensywnością próbkowania na poziomie 0,5–2,3% charakteryzuje się warstwa drzewostanów klasy odnowienia i do odnowienia (KOKDO). Jedna powierzchnia próbna przypada średnio na 4,4 ha drzewostanów danej warstwy.

W 576 na 688 warstw wyznaczonych w analizowanych obrębach intensywność próbkowania wynosiła mniej niż 1%, w 107 warstwach zawierała się w przedziale od 1% do 2%, zaledwie w 5 warstwach przekraczała 2%. W 11 warstwach utworzonych w dwóch nadleśnictwach nie założono żadnej powierzchni próbnej. Intensywność próbkowania na poziomie obrębu wynosiła od 0,2% do 1,0%.

Estymator błędu procentowego

Określone za pomocą wzorów (2) i (5) wielkości błędów procentowych dla poszczególnych obrębów, przy uwzględnieniu w obliczeniach warstw o co najmniej 2 powierzchniach próbnych, zamieszczono w tabeli 2. Jak wynika z przedstawionych danych, błąd procentowy obliczony według algorytmu zamieszczonego w Instrukcji (2003a) jest mniejszy od błędu określonego za pomocą wzoru (5). Tylko w sześciu obrębach różnice w wielkości błędu są mniejsze niż 10%. W trzech jednostkach błąd ustalony za pomocą

Tabela 2. Wielkość procentowego błędu standardowego określonego za pomocą wzorów (2) i (5)

Table 2. Standard percentage error calculated using formulas (2) and (5)

Nadleśnictwo Forest district	Obręb Forest division	Wielkość błędu wg wzoru An error according to formula:		Różnica procentowa Percentage difference (4-3)/3
		(2)	(5)	
1	2	3	4	5
Dębica	Dębica	1,31	1,59	21
	Żdzary	1,15	1,23	7
Golub-Dobrzyń	Konstancjewo	1,01	1,09	8
	Leśno	1,13	1,33	18
Jedwabno	Dłużek	1,21	1,33	10
	Zimna Woda	1,15	1,22	6
Jeleśnia	Jeleśnia	1,33	1,93	45
	Żywiec	1,74	2,79	60
Płock	Płock	1,60	1,90	19
	Sierpc	1,65	1,87	13
Prószków	Chrzelice	1,69	3,63	115
	Dobra	1,25	1,34	7
	Prószków	1,04	1,10	6
Supraśl	Sokołka	1,31	1,54	18
	Supraśl	1,01	1,18	17
Susz	Jeziorno	1,05	1,26	20
	Stary Dzieżgoń	1,21	1,42	17
	Susz	1,06	1,35	27
Szczecinek	Szczecinek	1,52	1,66	9
	Wierzchowo	1,39	2,18	57
	Dyminek	1,27	1,41	11
Szczytno	Małdaniec	1,21	1,37	13
	Szczytno	1,07	1,21	13
Wołów	Dębno	1,24	1,47	19
	Wińsko	1,22	1,36	11
Zamrzenica	Wierzchlas	1,36	1,59	17
	Zamrzenica	1,00	1,25	25
	Świekatówko	1,35	1,84	36

wzoru (5) jest większy o ponad 50% od określonego na etapie opracowywania planów urządzenia lasu, z czego w obrębie Chrzelice różnica w wielkości błędów jest ponad dwukrotna.

Estymacja przedziałowa

Zakresy i rozkład błędów szacowania miąższości warstw wiekowych analizowanych obrębów, przy

poziomie ufności wynoszącym 95%, zamieszczono w tabeli 3. W związku z alokacją najmniejszej liczby powierzchni próbnych w najmłodszych drzewostanach warstwą wiekową inwentaryzowaną z najniższą dokładnością jest IIa klasa wieku. We wszystkich analizowanych obrębach błąd szacowania miąższości danej klasy wieku (przy 95% poziomie ufności) przekroczył

Tabela 3. Rozkład błędów procentowych dla klas wieku przy poziomie ufności $\beta=0,95$

Table 3. Distribution of percentage errors for age classes using the confidence level $\beta=0,95$

Klasa wieku Age class	Zakres błędów Range of errors	Liczba obrębów z błędem: Number of forest divisions with errors:			
		$\leq 5\%$	5,1–10,0%	10,1–20,0%	$>20\%$
IIa	12,3÷590,2	-	-	9	15*
IIb	5,5÷49,6	-	8	17	3
IIIa	4,1÷17,1	2	19	7	-
IIIb	5,1÷12,3	-	24	4	-
IVa	4,4÷14,2	2	20	6	-
IVb	3,6÷14,0	3	24	1	-
Va	4,0÷18,8	3	22	3	-
Vb	4,1÷19,0	4	17	7	-
VI	3,6÷13,0	8	17	3	-
KOKDO	6,8÷84,0	-	4	18	6

* z czego w czterech obrębach błąd szacowania miąższości warstwy wiekowej wynosi ponad 100%
including 4 forest divisions in which error of growing stock estimation for an age class is bigger than 100%

10%, z czego w 15 jednostkach był większy od 20%. W przypadku IIa klasy wieku obliczenia wykonano dla 24 obrębów, ponieważ w czterech jednostkach w danej warstwie wiekowej nie założono żadnej powierzchni próbnej. W kolejnej klasie wieku, tj. IIb, określony za pomocą wzoru (7) błąd szacowania miąższości przekraczał 20% tylko w trzech obrębach. W większości obrębów miąższość drzewostanów IIb klasy wieku oszacowano z błędem na poziomie 10–20%. Ze zdecydowanie większą dokładnością szacowana jest miąższość kolejnych warstw wiekowych (oprócz klasy KOKDO). We wszystkich obrębach błąd szacowania miąższości klas wieku od IIIa do VI jest niższy od 20%. W zdecydowanej większości analizowanych jednostek błąd szacowania miąższości powyższych warstw wiekowych zawiera się w przedziale od 5% do 10%. Natomiast w większości obrębów miąższość klasy KOKDO jest szacowana z błędem przekraczającym 10%. W sześciu obrębach miąższość tej warstwy wiekowej oszacowano z ponad dwudziestoprocentowym błędem.

Na uzyskane wielkości błędów, zwłaszcza w młodszych klasach wieku, niewątpliwie wpłynęło zakładanie w niektórych warstwach małej liczby powierzchni próbnych, czego ilustracją są dane zamieszczone w tabeli 4. Szczególnym przypadkiem są sytuacje gdy w warstwie inwentaryzacyjnej założono dwie powierzchnie próbne. Wartość krytyczna rozkładu Studenta $t_{\alpha/2}$ przy dwóch powierzchniach próbnych i $\alpha=0,05$ wynosi aż 12,7. Powoduje to, że obliczone wielkości błędów wynoszą nawet kilkaset procent. Warto zauważyć, że już przy

Tabela 4. Wielkość błędu procentowego ($\alpha=0,05$) dla wybranych warstw gatunkowo-wiekowych

Table 4. Percentage error ($\alpha=0,05$) for selected age and species strata

Obręb Forest division	Klasa wieku Age class	Gatunek panujący Main tree species	Powierzchnia Area [ha]	Próba na podstawie danych SILP Sample size established using the SILP data				Próba wg nowego opisu taksacyjnego Sample size according to the new stand assessment			
				n_h	v_h	$t_{\alpha/2}$	$P_{h(a)}$	n_h	v_h	$t_{\alpha/2}$	$P_{h(a)}$
Jeleśnia	IIa	świerk* / spruce*	365	2	26	12,7	231	22	-	2,1	11
	IIb	buk / beech	86	3	46	4,3	115	9	-	2,3	36
	IIIb	jodla / fir	45	5	6	2,8	7	8	-	2,4	5
Żywiec	IIa	świerk* / spruce*	264	4	48	3,2	101	26	-	2,1	26
	IIb	jodla / fir	84	2	20	12,7	28	13	-	2,2	12
Chrzelice	IIa	sosna** / pine**	348	2	66	12,7	590	21	-	2,1	30
	KOKDO	sosna / pine	61	13	51	2,2	40	22	-	2,1	30
Świekatówko	IIa	brzoza / birch	63	2	86	12,7	772	6	-	2,6	90
	IIa	sosna / pine	285	9	42	2,8	39	18	-	2,1	21
Żdzary	IIb	olsza / alder	64	-	-	-	-	7	58	2,4	54
	IIb	brzoza / birch	32	-	-	-	-	4	42	3,2	64
Susz	IIa	sosna / pine	140	-	-	-	-	11	68	2,2	46
	IIa	brzoza / birch	54	-	-	-	-	6	99	2,6	104

* jedyna warstwa w danej klasie wieku / the only stratum in an age class

** jedyna warstwa uwzględniona w obliczeniach, w drugiej warstwie gatunkowej IIa klasy wieku nie założono żadnej próby / the only stratum taken into account in calculations, for the second species stratum in IIa age class no sample plot was established

liczebności próby 4 statystyka $t_{\alpha/2}$ wynosi w zaokrągleniu 3,18, jest więc tylko o $\frac{2}{3}$ wyższa od wartości krytycznej rozkładu normalnego. Dane zamieszczone w tabeli 4 pochodzą z czterech obrębów, w których procedurę warstwowania wykonano według informacji z SILP oraz dwóch obrębów (Żdzary, Susz) inwentaryzowanych na podstawie nowych opisów taksacyjnych.

Konsekwencją zakładania małej liczby powierzchni próbnych w warstwie może być duża zmienność miąższości na tych powierzchniach. Współczynnik zmienności miąższości drzewostanów świerkowych IIa klasy wieku w obrębie Jeleśnia wynosił 26%, podczas gdy w drugim obrębie tego samego nadleśnictwa już 48% (tab. 4). Zmienność miąższości drzewostanów sosnowych IIa klasy wieku w obrębie Chrzelice (założono 2 powierzchnie próbne) określono podczas prac inwentaryzacyjnych aż na 66%. Współczynnik zmienności miąższości drzewostanów brzozowych w obrębie Świekatówko (dwie powierzchnie próbne) wynosił 86% a w obrębie Susz (6 powierzchni próbnych) aż 99%. Jednocześnie zmienność miąższości drzewostanów jodłowych w obrębie Jeleśnia, określona w wyniku pomiarów na pięciu powierzchniach próbnych, wynosiła 6%.

W przypadku obrębów inwentaryzowanych według danych SILP, w tabeli 4 zamieszczono dodatkowo wielkości błędów obliczone dla potencjalnej liczebności próby wynikającej z uwarunkowań nowych opisów taksacyjnych. W sytuacji ustalania wielkości próby w odniesieniu do wyników nowej taksacji można spodziewać się nawet kilkukrotnego zwiększenia dokładności szacowania miąższości analizowanych warstw. Zgodnie z przyjętymi założeniami do oszacowania błędów posłużono się współczynnikami zmienności miąższości określonymi na podstawie próby założonej w terenie wg danych SILP.

Przykłady wymienione w tabeli 4 niewątpliwie wpłynęły na wielkość błędów procentowych określonych dla całych obrębów Jeleśnia, Żywiec, Chrzelice i Świekatówko (tab. 5). Poza czterema wymienionymi jednostkami, miąższość pozostałych 24 obrębów oszacowana została w trakcie prac urzędniowych z błędem w zakresie 2,2–4,8% (przy $\alpha=0,05$). W trakcie prac urzędniowych z najmniejszym błędem, wynoszącym 2,2%, oszacowano miąższość obrębu Konstancjowo. Z 95% prawdopodobieństwem można więc stwierdzić, że rzeczywista miąższość wymienionego obrębu zawiera się w przedziale 2289–2393 tys. m^3 – przedział ufności obejmuje 104 tys. m^3 .

W sytuacji wyznaczenia i alokacji próby według nowych opisów taksacyjnych można oczekiwać zwiększenia dokładności szacowania miąższości we wszystkich obrębach. W 17 na 28 analizowanych obrębów błąd procentowy wynosiłby mniej niż 3%, w żadnym nie byłby większy od 4% (tab. 5).

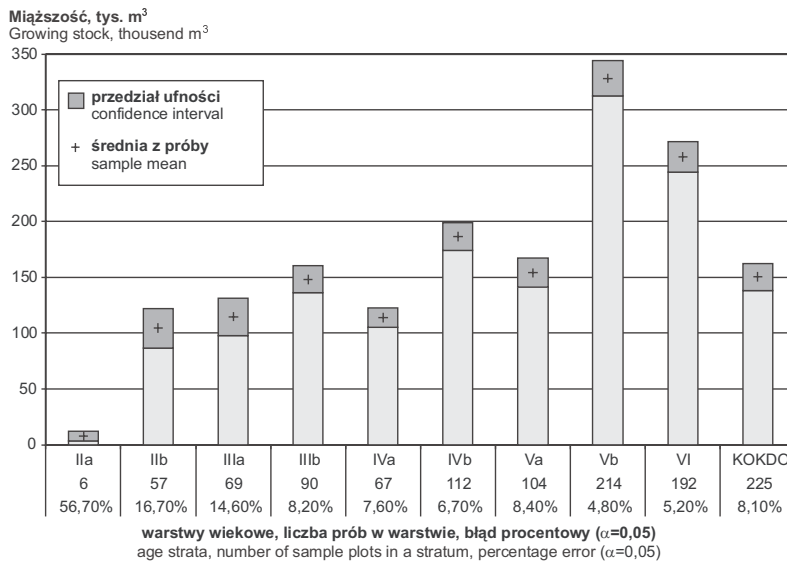
Przykładowe wyniki inwentaryzacji w układzie warstw wiekowych przedstawiono na rycinie 4. Pokazany na rycinie obręb Dębica inwentaryzowany był po wykonaniu nowej taksacji. Nie wystąpiła tu więc sytuacja przyporządkowywania do nowych warstw inwentaryzacyjnych powierzchni próbnych zakładanych według danych SILP. W wyniku przeprowadzenia pomiarów na

Tabela 5. Wielkości błędu procentowego dla obrębu ($\alpha=0,05$) obliczonych wzorem (7)

Table 5. Percentage errors for forest division ($\alpha=0,05$) using the formula (7)

Nadleśnictwo Forest district	Obręb Forest division	Wielkość błędu procentowego obliczonego dla próby wg Size of a percentage error for sample plot according to	
		danych SILP the SILP data	nowych opisów taksacyjnych the new stand assessment
Dębica	Dębica	-	3,2
	Żdzary	-	2,6
Golub-Dobrzyń	Konstancjowo	2,2	2,1
	Leśno	2,9	2,7
Jedwabno	Dłużek*	4,7	2,7
	Zimna Woda*	2,9	2,5
Jeleśnia	Jeleśnia	16,9	2,6
	Żywiec	7,9	3,8
Płock	Płock	3,9	3,8
	Sierpc	3,9	3,7
Prószków	Chrzelice	43,9	3,2
	Dobra*	2,8	2,7
	Prószków*	2,2	2,3
Supraśl	Sokółka	4,0	3,0
	Supraśl	2,5	2,3
Susz	Jeziorno	-	2,6
	Stary Dzieżgoń	-	2,9
	Susz	-	3,0
Szczecinek	Szczecinek	3,7	3,2
	Wierzchowo	4,5	3,0
	Dyminek	2,8	2,7
Szczytno	Małdaniec	-	2,9
	Szczytno	-	2,6
Wołów	Dębno	3,2	2,9
	Wińsko	3,4	2,7
Zamrzenica	Wierzchlas	3,3	3,0
	Zamrzenica	2,7	2,4
	Świekatówko	12,3	3,1

* bez IIa klasy wieku, w której nie założono powierzchni próbnych
without IIa age class (where no sample plots were established)



Rycina 4. Miąższość warstw wiekowych obrębu Dębica, średnia z próby i przedział ufności

Figure 4. Growing stock of age strata of the Dębica forest division, sample mean, and the confidence interval

1136 powierzchniach próbnych miąższość obrębu Dębica oszacowano na 1567 tys. m³. W omawianym obrębie największą miąższością, określoną w wyniku założenia 214 powierzchni próbnych i wynoszącą 328 tys. m³, charakteryzuje się Vb klasa wieku. Wymieniona warstwa wiekowa oszacowana została z największą dokładnością w obrębie, tj. z błędem 4,8% przy $\alpha=0,05$. Oznacza to, że z 95% prawdopodobieństwem rzeczywista miąższość drzewostanów Vb klasy wieku zawiera się w przedziale 313–344 tys. m³. Również klasy wieku IIb i IIIa charakteryzują się przedziałem ufności obejmującym ponad 30 tys. m³. Miąższość drzewostanów IIb klasy wieku zawiera się w przedziale 87–122 tys. m³. Założenie 69 prób w IIIa klasie wieku pozwala oczekiwać, że rzeczywista miąższość tej warstwy wiekowej wynosi od 98 do 131 tys. m³. Najstarsze drzewostany w obrębie, tj. VI klasę wieku, oszacowano z błędem wynoszącym 5,2% co oznacza, że ich rzeczywista miąższość z 95% prawdopodobieństwem zawiera się w przedziale 245–271 tys. m³.

6. Dyskusja i wnioski

Lokalizacja powierzchni próbnych w statystycznej metodzie reprezentacyjnej odbywa się w dwóch etapach. Według schematu losowania systematycznego następuje przypisanie powierzchni próbnych do drzewostanów. Do określenia szczegółowego położenia powierzchni próbnych w poszczególnych drzewostanach wykorzystywana jest siatka kwadratów rzucana na mapę. Powierzchnia próbna zakładana jest w wybranym losowo węźle siatki. Jak zauważył Bruchwald (1995), poprawna estymacja wyników losowania systematycznego wymaga określenia współczynnika korelacji wewnątrzgrupo-

wej. Jednak ze względu na trudności w obliczaniu powyższego współczynnika, do określenia dokładności szacowania miąższości z próby pobranej w sposób systematyczny wykorzystuje się najczęściej wzory właściwe dla losowania zaleźnego, tj. bez zwracania (Bruchwald 1995).

Mimo że próba w statystycznej metodzie reprezentacyjnej pobierana jest bezzwrotnie, to określanie dokładności szacowania miąższości odbywa się za pomocą wzorów właściwych dla losowania niezależnego (ze zwracaniem). Według Cochran (1977) oraz Shivera i Bordersa (1996), w przypadku gdy próba obejmuje mniej niż 5% populacji, możliwe jest pominięcie w obliczeniach poprawki na bezzwrotność losowania. Według Rosy (1972) przy próbie wynoszącej mniej niż 1% powierzchni drzewostanu omawiana poprawka nie ma znaczenia praktycznego. W analizowanych obrębach maksymalna intensywność próbkowania na poziomie warstwy wynosiła 2,3%. W ponad 80% warstw była mniejsza od 1%. Wobec powyższego można przyjąć, że określanie dokładności inwentaryzacji przy wykorzystaniu formuł właściwych dla losowania ze zwracaniem nie ma istotnego wpływu na wyniki obliczeń.

W wyniku przeprowadzonych badań można mieć natomiast wątpliwości co do stosowanego w trakcie prac urządzeniowych wzoru (2) wykorzystywanego do obliczania błędu procentowego dla obrębu. Różnice w wielkości błędów pomiędzy rozwiązaniem proponowanym w Instrukcji (2003a) a zalecanym w literaturze (np. Bruchwald 1995) mogą być nawet dwukrotne. Ponieważ przeciętna miąższość w poszczególnych warstwach różni się od wartości przeciętnej dla obrębu, błąd procentowy określony przy użyciu wzoru (2) zawsze będzie mniejszy od błędu określonego za pomocą wzoru (5).

Należy podkreślić również niespójność pomiędzy pierwszą i trzecią częścią Instrukcji urządzania lasu (2003a, 2003b) w sformułowaniach odnoszących się do do warstw o maksymalnie 10 próbach. Z zapisów pierwszej części Instrukcji (2003a) wynika, że możliwe jest przyjmowanie miar zmienności (wariancji i współczynnika) jednakowych dla wszystkich warstw należących do tej samej klasy wieku, a nawet łączenie dwóch sąsiednich klas w przypadku, gdy w jednej z nich wypadła mała próba. W praktyce (Instrukcja urządzania lasu 2003b) błąd szacowania miąższości oblicza się dla wszystkich warstw wiekowo-gatunkowych, z wykorzystaniem miar zmienności uzyskanych z próby, niezależnie od liczby powierzchni próbnych w warstwie. Z przeprowadzonej oceny wynika, że warstwy w których założono nie więcej niż 10 powierzchni próbnych obejmują znaczącą powierzchnię obrębu o miąższości stanowiącej nawet kilkanaście procent miąższości ogółem. Zamieszczone w niniejszej pracy przykłady potwierdzają wątpliwości co do określania miar zmienności na podstawie kilku powierzchni próbnych. Przyjęcie w takiej sytuacji rozwiązania, które sugeruje pierwsza część Instrukcji (2003a), tj. miar zmienności z innych warstw, nie rozwiązuje jednak problemu wiarygodności danych. Pomiary na kilku powierzchniach próbnych wykorzystuje się bowiem do określenia miąższości całych warstw. W wyniku ponownego warstwowania drzewostanów według nowych opisów taksacyjnych i przenoszenia do tak utworzonych warstw powierzchni próbnych założonych według danych SILP niektóre warstwy są reprezentowane zaledwie przez jedną powierzchnię próbną.

Jak zauważył Bracha (1996), przy zastosowaniu metody reprezentacyjnej próba powinna być na tyle liczna, żeby błąd szacunku nie przekroczył zadanej wielkości przy z góry określonym prawdopodobieństwie $1-\alpha$. Odnosząc powyższe sformułowanie do praktyki urządzania lasu pojawiają się dwie wątpliwości. W Instrukcji urządzania lasu (2003a, 2003b) brak jest odniesień do oczekiwanej dokładności danych. Nie prowadzi się również estymacji przedziałowej – nie określa się prawdopodobieństwa, z jakim możemy oczekiwać, że rzeczywista miąższość inwentaryzowanej jednostki zawiera się w zakresie wyznaczonym przez przedział ufności.

Częstym zjawiskiem, nie tylko w praktyce urządzania lasu, ale również w badaniach, jest utożsamianie przedziału wokół estymatora wyznaczonego za pomocą błędu (standardowego, procentowego) z estymacją przedziałową przy poziomie ufności 0,68. Taką interpretację błędu znaleźć można m.in. w pracy Rutkowskiego (1981). Jest ona poprawna, ale dla wystarczająco licznych prób, dla których przy wyznaczaniu przedziału ufności można posługiwać się wartością krytyczną roz-

kładu normalnego, statystyka $z_{\alpha/2}$ wynosi wtedy 1. O ile liczba powierzchni próbnych dla obrębu w statystycznej metodzie reprezentacyjnej wynosi od kilkuset do ponad tysiąca, to liczebność próby w poszczególnych warstwach często nie przekracza 30 powierzchni próbnych. Wobec powyższego przy wyznaczaniu przedziału ufności konieczne byłoby korzystanie z wartości krytycznych rozkładu Studenta. Estymacja szacunków z prawdopodobieństwem 68% wiąże się jednak z możliwością popełnienia znaczącego błędu, co podkreślał już ponad pół wieku temu Grochowski (1949). Prawdopodobieństwo, że prawdziwa średnia analizowanej cechy znajdzie się poza granicami wyznaczonymi przez błąd, nie jest małe – wynosi bowiem 32%.

Z przeprowadzonych badań wynika, że przy 95% poziomie ufności miąższość obrębu leśnego w ramach statystycznej metody reprezentacyjnej szacowana jest z błędem poniżej 5%. W połowie analizowanych obrębów błąd szacunku nie przekraczał 3%. Obliczone dla kilku obrębów wyższe wartości błędów są przede wszystkim wynikiem posługiwania się niezaktualizowanymi danymi SILP na etapie projektowania inwentaryzacji co spowodowało, że w drzewostanach IIa klasy wieku założono zbyt małą liczbę powierzchni próbnych.

W sytuacji ustalania wielkości próby i jej alokacji według danych SILP, na uzyskiwane wielkości błędów miało również wpływ ponowne warstwowanie drzewostanów. Niewątpliwie projektując inwentaryzację miąższości względem nowych opisów taksacyjnych można oczekiwać zwiększenia dokładności szacunków, co potwierdzają przeprowadzone obliczenia. Określenie wielkości próby i jej alokacja według nowych opisów taksacyjnych pozwoliłoby na oszacowania miąższości (wszystkich analizowanych obrębów) z błędem mniejszym od 4%, a w $\frac{3}{4}$ obrębów – z błędem nie przekraczającym 3%.

Praktyka leśna jest jednak zainteresowana nie tylko informacjami opisującymi całą populację, ale również wiekową i gatunkową strukturą obrębu (Bruchwald et al. 2003). Konieczność wykonywania obliczeń dla klas wieku czy nawet warstw gatunkowo-wiekowych wynika ponadto z innego niż proporcjonalny schematu alokacji prób do warstw (Zasępa 1972). Według Poznańskiego (1998) miąższość klasy wieku powinna być oszacowana z błędem średnim nie większym niż 5%, co w uproszczeniu przekłada się na błąd rzędu 10% przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Powyższe jest spełnione w większości warstw wiekowych analizowanych obrębów. Jednak miąższość drzewostanów najmłodszych, tj. IIa i IIb klasy wieku, klasy KOKDO, a w niektórych obrębach także starszych warstw wiekowych, określana jest z mniejszą dokładnością. Zasadniczą przyczyną niewielkiej dokładności szacowania miąższości szczególnie młodszych klas wieku jest zakładanie w nich małej

liczby powierzchni próbnych. Stosowanie w takiej sytuacji wartości krytycznych rozkładu Studenta powoduje, że miąższość warstwy (klasy wieku) określana jest z błędem na poziomie ponad stu procent, co logicznie patrząc jest trudne do zaakceptowania. Z drugiej strony szacowanie miąższości drzewostanów o powierzchni od kilkudziesięciu do kilkuset hektarów na podstawie pomiarów z kilku powierzchni próbnych może dostarczać przypadkowych wyników. Takie przypuszczenie uzasadniają wielkości współczynników miąższości na powierzchniach próbnych, w zakresie od 6% do nawet 100% w warstwach gatunkowo-wiekowych. Stosowanie w urządzaniu lasu estymacji punktowej powoduje, że wątpliwości co do uzyskiwanych wyników nie są tak widoczne.

Odrębnym zagadnieniem jest pomijanie informacji dotyczących dokładności inwentaryzacji w procesie planowania urzędniowego. Generalnie średnią arytmetyczną z powierzchni próbnych utożsamia się z rzeczywistą miąższością analizowanego obiektu. Przy zastosowaniu badań częściowych, a do takich należy statystyczna metoda reprezentacyjna, nie jest jednak możliwe określenie rzeczywistej miąższości obrębu i warstw wiekowych. Wyniki inwentaryzacji pozwalają na stwierdzenie, że rzeczywista miąższość klasy wieku (obrębu) z pewnym prawdopodobieństwem zawiera się w przedziale wyznaczonym wokół średniej, o szerokości przedziału decyduje uzyskany błąd szacunku.

Zamieszczone w niniejszej pracy analizy dotyczą teoretycznej dokładności szacowania miąższości na podstawie próby. Zagadnieniem wymagającym dodatkowych badań jest określenie, na ile próba pobierana w ramach statystycznej metody reprezentacyjnej spełnia wymogi losowości. Według Instrukcji urządzania lasu (2003a) w sytuacji, gdy powierzchnia próbna wypada na brzegu drzewostanu, należy ją przesunąć w głąb wydzielenia o połowę długości boku stosowanej siatki (zazwyczaj o 50 m). Takie podejście powoduje, że w poszczególnych drzewostanach występują obszary o różnym prawdopodobieństwie uwzględnienia w próbie. Między innymi, według Rutkowskiego (1985), brzeg drzewostanu, ze względu na odmienną strukturę lasu względem środka wydzielenia powinien być odpowiednio reprezentowany w pomiarach inwentaryzacyjnych. To stwierdzenie potwierdziły badania Przybylskiej i Kaczmarzkiego (1993), z których wynika, że obrzeża drzewostanu charakteryzują się zdecydowanie większą pierśnicową powierzchnią przekroju w porównaniu z wnętrzem drzewostanów. Nie uwzględnianie w pomiarach takich obszarów może być źródłem dodatkowych błędów systematycznych (Rutkowski 1985; Shiver, Borders 1994).

Stosowany w praktyce urządzania lasu sposób określania dokładności pomiarów inwentaryzacyjnych

pomija ponadto problem dokładności szacowania miąższości poszczególnych powierzchni próbnych. Określanie pierśnicowej liczby kształtu grubizny i wysokości poszczególnych drzew za pomocą wzorów empirycznych jest również źródłem ewentualnych błędów. Z badań prowadzonych przez Bruchwalda (1996) wynika, że wzór na pierśnicową liczbę kształtu grubizny sosny, stosowany w praktyce urządzania lasu, charakteryzuje się błędem standardowym (błędem średnim) na poziomie 11,5%. Podobnie wysokość poszczególnych drzew, obliczona za pomocą wzoru empirycznego, obarczona jest kilkuprocentowym błędem, co potwierdzają m.in. badania przeprowadzone przez Rymer-Dudzińską (1994). Jak zauważyli m.in. Gertner i Köhl (1992), błędy związane z wykorzystywaniem w obliczeniach określonych funkcji (taryf) powinny stanowić jeden z komponentów błędu szacowania miąższości.

Przeprowadzone badania i przegląd literatury skłaniają do sformułowania następujących wniosków:

1. Zapisy dwóch części Instrukcji urządzania lasu (2003a, 2003b) dotyczące sposobu wykonywania inwentaryzacji lasu wymagają ujednoczenia.

2. W statystycznej metodzie reprezentacyjnej pomiaru miąższości obrębu leśnego wskazane jest zastosowanie estymacji przedziałowej, co m.in. uwidoczni teoretyczną dokładność inwentaryzacji.

3. Posługiwanie się przy ustalaniu liczebności próby i warstw inwentaryzacyjnych danymi z nowej taksacji lasu (zamiast zaktualizowanymi danymi SILP) pozwoli na szacowanie miąższości, szczególnie warstw o małej liczbie powierzchni próbnych, z dokładnością odpowiednią do udziału warstw w obecnej strukturze obrębu.

4. Wyjaśnienia wymaga, czy przyjmowany w praktyce urządzania lasu sposób lokalizacji powierzchni próbnych nie przyczynia się do powstawania błędów systematycznych w wyniku wykluczania z pomiarów obrzeży drzewostanów.

5. W związku z obliczaniem miąższości drzew na powierzchniach próbnych za pomocą wzorów empirycznych celowe byłoby uwzględnienie dokładności stosowanych wzorów przy obliczaniu błędów procentowych dla warstw i obrębu.

6. W świetle wyników niniejszej pracy, szczególnie dokładności szacowania miąższości na poziomie warstw inwentaryzacyjnych i klas wieku, należy zadać pytanie o pożądaną z punktu widzenia planowania urzędniowego dokładność szacowania miąższości. Zagadnienie to będzie przedmiotem dalszych badań autora.

Literatura

Bracha Cz. 1996. Teoretyczne podstawy metody reprezentacyjnej. Warszawa, PWN, ss. 282. ISBN 8301121238.

- Borecki T. 1993. Statystyczno-matematyczna metoda inwentaryzacji jako źródło informacji o lesie. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, Seria B*, 15: 22–33.
- Borecki T. 1995. Metody inwentaryzacji lasu dla celów planowania krótko- i średniookresowego oparte na grupowaniu drzewostanów. Warszawa, Fundacja “Rozwój SGGW”, ss. 70. ISBN 8386241470.
- Bruchwald A. 1994. Statystyka matematyczna dla leśników. Wydanie II. Warszawa, Wydawnictwo SGGW, ss. 319. ISBN 8300021876.
- Bruchwald A. 1995. Dendrometria. Wydanie II poprawione. Warszawa, Wydawnictwo SGGW, ss. 261.
- Bruchwald A. 1996. New Empirical Formulae for Determination of Volume of Scots Pine Stands. *Folia Forestalia Polonica, Series A*, 38: 5–10.
- Bruchwald A., Wójcik R., Zajączkowski S. 2003. Analiza dokładności obrębowej metody inwentaryzacji lasu opartej na losowaniu warstwowym. *Sylwan*, 5: 13–20.
- Bruchwald A., Zajączkowski S. 2002a. Obrębowa metoda inwentaryzacji lasu oparta na losowaniu warstwowym. *Sylwan*, 10: 13–23.
- Bruchwald A., Zajączkowski S. 2002b. Analiza porównawcza różnych sposobów inwentaryzacji lasu. *Sylwan*, 11: 5–14.
- Cochran W. G. 1977. *Sampling Techniques*. 3rd edition. John Wiley & Sons. New York, ss. 428.
- Gertner G., Köhl M. 1992. An Assessment of Some Nonsampling Errors in a National Survey Using an Error Budget. *Forest Science*, 38 (3): 525–538.
- Grochowski J. 1949. Rola współczynnika zmienności w pracy badawczej. *Sylwan*, 3–4: 12–18.
- Instrukcja urządzania lasu. Część 1. Instrukcja sporządzania planu urządzania lasu dla nadleśnictwa. 2003a. Warszawa, CILP, ss. 177.
- Instrukcja urządzania lasu. Część 3. Zarządzenie i wytyczne dotyczące urządzania lasu. 2003b. Warszawa, CILP, ss. 160.
- Jabłoński M. 2010. Warstwowanie drzewostanów w statystycznej metodzie reprezentacyjnej pomiaru miąższości obrębu leśnego – praktyczna realizacja założeń. *Sylwan*, 154 (6): 397–404.
- Poznański R. 1998. Analiza dokładności określania zasobów drzewnych oraz jej skutków w obiegu informacji o lasach, w: Analiza dokładności określania zasobów drzewnych oraz jej skutków w obiegu informacji o lasach. Dokumentacja Instytutu Badawczego Leśnictwa. Warszawa: 213–224.
- Przybylska K. Kaczmarek A. 1993. Brzegowe relaskopowe powierzchnie próbne. *Sylwan*, 10: 31–37.
- Rosa W. 1967. Matematyczno-statystyczna metoda inwentaryzacji lasu i możliwości stosowania jej w urządzaniu lasu. *Sylwan*, 10: 35–49.
- Rosa W. 1972. Ocena przydatności metod określania powierzchni przekroju drzewostanu i grup drzewostanów na podstawie powierzchni próbnych. *Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego*, 18: 3–108.
- Rosa W., Stępień E., Zielony R. 1981. Zastosowanie statystycznej metody taksacji lasu dla potrzeb okresowego urządzania gospodarstwa leśnego w Leśnym Zakładzie Doświadczalnym w Rogowie. *Sylwan*, 7/9: 59–69.
- Rutkowski B. 1981. Błędy i praktyczna dokładność statystyczno-matematycznych systemów inwentaryzacji lasu. *Sylwan*, 1: 11–23.
- Rutkowski B. 1985. Brzegowe powierzchnie próbne. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej im. Hugona Kollątaja w Krakowie. Leśnictwo*, 16: 103–117.
- Rymer-Dudzińska T. 1994. Nowe wzory empiryczne krzywej wysokości dla sosny. *Sylwan*, 11: 21–24.
- Shiver B. D., Borders B. E. 1996. *Sampling Techniques for Forest Resource Inventory*. New York, John Wiley & Sons, ss. 356. ISBN 0471109401.
- Wójcik A. R. 1987. Statystyka matematyczna z elementami prawdopodobieństwa i statystyki opisowej. Warszawa, Wydawnictwo SGGW-AR., ss. 255. ISBN 8300019375.
- Zajączkowski S. 2001. Wybrane problemy inwentaryzacji zasobów drzewnych oraz regulacji użytkowania głównego w praktyce urzędniczej. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, Leśnictwo*, 181, 39: 281–286.
- Zasępa R. 1972. Metoda reprezentacyjna. Warszawa. Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, ss. 366.

