

Dokładność statystycznej metody reprezentacyjnej a zmiany wielkości zasobów drzewnych w kolejnych rewizjach urządzania lasu

A comparison of two growing stock assessments by stratified sampling
– how does accuracy of inventory affect our interpretation of the results

Marek Jabłoński

Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Zarządzania Zasobami Leśnymi,
Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05–090 Raszyn
Tel. +48 227150660; e-mail: M.Jablonski@ibles.waw.pl

Abstract. Since 1967, when the Polish State Forests were first inventoried, a continuous increase in the volume of growing stock has been recorded. This increase in timber resources is mainly the result of sustainable forest management. However, during this time period inventory methods have been changed a few times and this may have affected the estimates of wood resources.

Since 2011 new instructions have been in place for forest management plans in the Polish State Forests. Despite this, the method of taking forest inventories remained consistent with the previous guidelines. This should allow us to consider changes in the volume of growing stock in relation to inventory methods and their accuracy.

In this paper, the results of growing stock estimations based on two assessments made using stratified random sampling are compared. After five years of inventories made for forest management plans, 422 sample plots in two forest districts were measured within 15 strata. Predicted age classes structure at the beginning of successive management plans was used to determine new strata. Data from two inventories were compared on the basis of age class. In addition, data from the State Forests Information System i.e. updated stand level inventory data (on felling and tree growth) were analyzed.

Comparing data from the two inventories, in three of seven age classes there was a decrease in the volume of growing stock after a five year period. We found no rational explanation for this. The extent of felling in the analyzed stand was very low, as confirmed by data from State Forests database. However, the largest decrease in volume was 1.5%, whereas the accuracy of growing stock assessment of discussed age class was estimated at some 9% in 2006 and 8% in 2011. Hence, from statistical viewpoint there was no differences between the results of both inventories.

However, the differences between volume of growing stock of examined age classes, updated in the Information System of the State Forests and results of assessments by stratified sampling are less than 95% confidence intervals for means of samples. Because of that, updated information could be used in the long term management planning.

The results clearly suggest that changes of growing stock, estimated as a difference between two assessments, should be interpreted in conjunction with the accuracy of these inventories. The accuracy of sampling should be also taken into account when creating management plans.

Key words: changes of growing stock, stratified sampling, accuracy of inventory

1. Wstęp

Począwszy od końca lat sześćdziesiątych XX wieku rejestrowany jest stały wzrost wielkości zasobów drzew-

nych w Państwowym Gospodarstwie Leśnym Lasy Państwowe (PGLLP). Wzrost ten jest przede wszystkim wynikiem prowadzenia gospodarki leśnej zgodnie z zasadą trwałości lasów. Należy jednak zauważyć, że jako

jedną z przyczyn wzrostu zasobów wymienia się również fakt stosowania dokładniejszych metod inwentaryzacji (Raport 2011).

Inwentaryzacja miąższości drzewostanów w Lasach Państwowych odbywa się w cyklu 10-letnim, w trakcie sporządzania planów urządzenia lasów dla nadleśnictw. Wyniki inwentaryzacji urządzeniowej podlegają następnie corocznej aktualizacji.

W okresie ostatnich kilkudziesięciu lat metody inwentaryzacji ulegały znaczącym zmianom. W ramach tzw. definitywnego urządzenia lasu miąższość drzewostanów szacowano na podstawie reprezentatywnych dla nich powierzchni próbnych z wyboru (Instrukcja 1957). Kolejna Instrukcja urządzenia lasu (1970), jako uzupełniającą metodę inwentaryzacji, wprowadziła relaskopowe powierzchnie próbne, zakładane również w miejscach reprezentatywnych dla drzewostanów. W następnej rewizji urządzenia lasu podstawowy system inwentaryzacji miąższości drzewostanów stanowiły zakładane losowo powierzchnie relaskopowe lub ewentualnie kołowe (Instrukcja 1980). W ramach matematyczno-statystycznej metody inwentaryzacji (Instrukcja 1994) losowe powierzchnie próbne zakładano w poszczególnych drzewostanach, w warstwach stratyfikacyjnych lub klasach wieku w zależności od przyjętego wariantu metody. Zarówno według Instrukcji z 1994 r., jak i dwóch wcześniejszych, w drzewostanach w wieku do 40 lat nie zakładano losowych powierzchni próbnych, a ich miąższość określano szacunkowo, przy wykorzystaniu odpowiednich tablic zasobności lub powierzchni z wyboru.

W statystycznej metodzie reprezentacyjnej pomiaru miąższości obrębu leśnego, wprowadzonej Instrukcją urządzenia lasu z 2003 r., definitywnie odchodzi się od drzewostanu jako podstawowej jednostki inwentaryzacyjnej. Na podstawie wieku i gatunku panującego w drzewostanie tworzone są warstwy, w których zakładane są kołowe powierzchnie próbne. Do pomiaru kwalifikowane są drzewostany w wieku powyżej 20 lat i o wysokości gatunku panującego ponad 7 m lub spełniające odpowiednie kryteria bonitacyjne (Instrukcja 2003).

Proces przygotowywania planu urządzenia lasu (wcześniejsze podpisywanie umów) powoduje, że nowe zasady wchodzi do praktyki najczęściej z opóźnieniem. Mniej niż połowa nadleśnictw posiadających plany urządzenia lasu wg stanu na 1 stycznia 2005 r. inwentaryzowana była z wykorzystaniem statystycznej metody reprezentacyjnej. W większości nadleśnictw zgodnie z podpisanymi wcześniej umowami wykonywano inwentaryzację miąższości z zastosowaniem metody matematyczno-statystycznej.

W roku 2011 wprowadzona została do stosowania w PGLLP nowa Instrukcja urządzenia lasu (Instrukcja 2012). Co szczególnie istotne, określanie miąższości

obrębu leśnego według wymienionej Instrukcji ma się odbywać przy zastosowaniu tej samej metody inwentaryzacji. Zmieniony został jedynie algorytm określania liczby powierzchni próbnych dla obrębu. Wobec powyższego, w przypadku nadleśnictw zarządzanych według Instrukcji urządzenia lasu z 2003 i 2012 roku, na zmiany zasobów drzewnych w kolejnych cyklach urządzenia lasu nie będą miały wpływu różnice w stosowanych metodach inwentaryzacji.

Jak zauważa Bruchwald (2004), między miąższością obiektu leśnego na końcu i początku okresu może zajść jedna z następujących relacji: miąższość na końcu okresu jest równa, większa lub mniejsza od miąższości na początku okresu, co oznacza, że przyrost miąższości jest odpowiednio równy ubytkowi drzew (w tym użytkowaniu), jest większy od ubytku lub jest mniejszy. W odniesieniu do wymienionych relacji należy jednak zwrócić uwagę na zagadnienie dokładności danych inwentaryzacyjnych. W przypadku statystycznej metody reprezentacyjnej można oczekiwać, że błąd szacowania miąższości obrębu leśnego nie przekroczy 4–5% przy 95% przedziale ufności dla próby, natomiast dla klasy wieku zazwyczaj kształtuje się na poziomie 5–10%, a w sporadycznych przypadkach może przekroczyć 20% (Jabłoński 2011). Różnica miąższości obrębu w kolejnych cyklach urządzenia lasu (na początku i końcu okresu) będzie w dużej mierze zależała od reprezentatywności próby.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie wyników badań dotyczących zmian wielkości zasobów drzewnych w kolejnych cyklach urządzenia lasu w sytuacji stosowania statystycznej metody reprezentacyjnej.

2. Metodyka i objekty badań

Dotychczas w żadnym z nadleśnictw nie przeprowadzono jeszcze dwukrotnie inwentaryzacji miąższości z wykorzystaniem statystycznej metody reprezentacyjnej, toteż przyjęto, że informacji o zmianach wielkości zasobów drzewnych dostarczy porównanie danych z inwentaryzacji urządzeniowej w wybranych obiektach z wynikami pomiarów wykonanych w tych obiektach po pięciu latach od prac urządzeniowych.

W sierpniu i wrześniu 2009 r. przeprowadzono pomiary inwentaryzacyjne w wybranych warstwach wiekowych obrębu Szczytno, Nadleśnictwa Szczytno. Nadleśnictwo to posiada plan urządzenia lasu wg stanu na 1 stycznia 2005 r. (inwentaryzacja urządzeniowa wykonywana była w 2004 r.). Wykonane w 2009 r. pomiary charakteryzują zasoby drzewne według stanu na 1 stycznia 2010 r. Wybór obrębu Szczytno jako obiektu badań wynikał m.in. z faktu posiadania danych urządzeniowych (w formie bazy programu Taksator) pozyskanych

dla potrzeb wcześniejszych pomiarów. Co znaczące, wielkość próby dla obrębu Szczytno ustalona została podczas prac urzędzeniowych na podstawie nowych opisów taksacyjnych. W obiekcie tym nie występował więc problem z realokacją próby i jej niedopasowaniem z tego powodu do struktury gatunkowo-wiekowej obrębu (Jabłoński 2010).

Dodatkowo w sierpniu i listopadzie 2010 roku przeprowadzono inwentaryzację miąższości trzech warstw wiekowych obrębu Jedlnia, Nadleśnictwa Radom. Wymienione nadleśnictwo posiada plan urządzenia lasu wg stanu na 1 stycznia 2006 r. (inwentaryzacja urzędzeniowa wykonywana była w 2005 r.). Pomiaru wykonane w 2010 r. charakteryzują zasoby drzewne analizowanych klas wieku wg stanu na 1 stycznia 2011 r.

Do ustalenia wielkości próby dla poszczególnych warstw inwentaryzacyjnych podlegających pomiarom wykorzystano procedury aplikacji Taksator w wersji 5.2.3. Warstwy wiekowe tworzone wg prognozowanego wieku drzewostanów w kolejnym planie urządzenia lasu (na 1 stycznia 2015 r. dla Nadleśnictwa Szczytno i 1 stycznia 2016 dla Nadleśnictwa Radom). Przyjęcie rzeczywistych wieków drzewostanów (z 1 stycznia 2010 i 2011 r.) i utworzenie na tej podstawie tabeli klas (podklas) wieku spowodowałyby, że poszczególne klasy wieku po 5 latach składałyby się z innych zbiorów drzewostanów niż w momencie opracowania planu urządzenia lasu, co niewątpliwie wpłynęłoby na uzyskane wyniki i możliwość ich interpretacji. Zastosowane rozwiązanie pozwala natomiast na porównywanie ze sobą grup tych samych drzewostanów, odzwierciedla faktyczne przesunięcie drzewostanów do wyższych podklas wieku w kolejnej rewizji urządzenia lasu. Wobec powyższego wiek gatunków wymienionych w składzie drzewostanów (w tabeli *f_storey_species* bazy danych aplikacji Taksator) analizowanych obrębów leśnych zwiększono o 10 lat. W przypadku drzewostanów rębnych dodatkowo konieczne było uwzględnienie zmian struktury wynikającej z prowadzenia użytkowania rębego. Ponieważ w trakcie pięciu lat obowiązywania planów urządzenia lasu tylko w części drzewostanów zostało przeprowadzone użytkowanie rębne, dla potrzeb ustalenia liczby powierzchni próbnych dla obrębu i ich alokacji do poszczególnych warstw w czasie ponownej inwentaryzacji urzędzeniowej przyjęto założenie, że użytkowanie rębne zostanie wykonane we wszystkich drzewostanach przewidzianych w planie. Modyfikacja opisów taksacyjnych w przypadku drzewostanów rębnych jest również o tyle istotna, że ich powierzchnia determinuje liczbę powierzchni próbnych planowanych do założenia również w pozostałych warstwach inwentaryzacyjnych.

Modyfikacja opisów taksacyjnych inwentaryzowanych obiektów w bazach danych aplikacji Taksator polegała na:

- zmianie wieku na umowne 5 lat w tabeli *f_storey_species* w drzewostanach przewidzianych w całości do użytkowania rębego rębiami zupełnymi,
- zmniejszeniu powierzchni wydzieleń w tabeli *f_subarea* o powierzchnię działek w drzewostanach przewidzianych do użytkowania rębiami zupełnymi na działkach manipulacyjnych,
- zmianie opisu struktury drzewostanów z "DRZEW" (lub "2 PIĘTR") na "KO" w tabeli *f_subarea* w drzewostanach, w których zaplanowano rozpoczęcie rębni złożonych,
- zmianie opisu struktury drzewostanu z "KO" na "DRZEW" w tabeli *f_subarea* i wieku w tabeli *f_storey_species* na umowne 10 lat (podanie dokładnego wieku nie jest konieczne), w drzewostanach, w których zaplanowano wykonanie ciec uprzętających;
- utworzeniu dwóch wydzieleń i przypisanie im odpowiedniej powierzchni w tabeli *f_subarea* w przypadku drzewostanów, w których przewidziano rozpoczęcie rębni złożonych na działkach manipulacyjnych; w jednym z wydzieleń pochodnych zmianie struktury drzewostanu z "DRZEW" (lub "2 PIĘTR") na "KO".

Strukturę wybranych warstw gatunkowo-wiekowych w obrębie Szczytno, zarówno wg stanu na 1 stycznia 2005 r., jak i prognozowaną dla kolejnej rewizji urządzenia lasu, przedstawiono w tabeli 1. Pomiarami inwentaryzacyjnymi objęto drzewostany IIb, IIIa, Va i VI klasy wieku wg przewidywanej struktury warstw wiekowych w 2015 r. Ograniczenie zakresu badań do czterech klas wieku wynikało z wysokiej pracochłonności prac terenowych. W wymienionych warstwach założono 300 kołowych powierzchni próbnych.

Charakterystykę warstw podlegających inwentaryzacji w obrębie Jedlnia zawiera tabela 2. Pomiarami objęto drzewostany IIb, IIIa i Vb klasy wieku, w których założono łącznie 122 powierzchnie próbne.

Lokalizację powierzchni próbnych wykonano również za pomocą procedury programu Taksator, przy wykorzystaniu danych geometrycznych nadleśnictw (warstwy obiektów podstawowych). Następnie określono domiar do powierzchni (azymut i odległość) od punktów charakterystycznych – odwzorowanych na mapie. Za punkty takie uznano skrzyżowania linii oddziałowych, dróg, linii energetycznych, itp. Domiar do środka powierzchni w terenie odbywał się z wykorzystaniem taśmy i busoli. Świadomie zrezygnowano z lokalizacji powierzchni próbnych za pomocą odbiorników GPS, ze względu na ich dokładność i wynikający z tego faktu subiektywizm wyboru środka powierzchni.

Pomiary na powierzchniach wykonywano zgodnie z metodyką przyjętą w Instrukcji urządzenia lasu z 2003.

Tabela 1. Charakterystyka wybranych warstw wiekowo-gatunkowych obrębu Szczytno

Table 1. Characteristics of analysed age-species strata in the Szczytno forest division

Plan urządzenia lasu z 2005 r. After forest management plan in 2005				Prognoza dla planu urządzenia lasu w 2015 r. Forecast of forest management plan in 2015			
klasa wieku age class*	gatunek panujący dominant species**	powierzchnia area [ha]	liczba próbek number of sample plots	klasa wieku age class	gatunek panujący dominant species	powierzchnia area [ha]	liczba próbek number of sample plots
IIa	Św	39,57	4	IIb	Św	39,57	4
IIa	So	283,93	14	IIb	So	283,93	18
IIa	Brz	67,89	5	IIb	Brz	67,89	6
IIb	So	614,66	38	IIIa	So	614,66	46
IIb	Ol	34,32	4	IIIa	Ol	34,32	4
IIb	Brz	54,04	5	IIIa	Brz	54,04	6
...
IVb	So	441,39	56	Va	So	429,16	60
...
VI	So	609,79	115	VI	So	789,30	140
Vb	Db	42,46	6				
VI	Db	55,34	12	VI	Db	82,24	16
Obręb Forest division		6829,44	778	Obręb Forest division		6613,32	789

* Age classes of stands are : IIa – 21–30 years, IIb – 31–40, IIIa – 41–50, IIIb – 51–60, IVb – 71–80, Va – 81–90, Vb – 91–100, VI – 101–120.

** Św – Norway spruce, So – Scots pine, Brz – birch, Ol – black alder, Db – oak

Tabela 2. Charakterystyka wybranych warstw wiekowo-gatunkowych obrębu Jedlnia

Table 2. Characteristics of analysed age-species strata in the Jedlnia forest division

Plan urządzenia lasu z 2006 r. After forest management plan in 2005				Prognoza dla planu urządzenia lasu w 2016 r. Forecast of forest management plan in 2016			
klasa wieku age class*	gatunek panujący dominant species**	powierzchnia area [ha]	liczba próbek number of sample plots	klasa wieku age class	gatunek panujący dominant species	powierzchnia area [ha]	liczba próbek number of sample plots
IIa	Ol	60,23	6	IIb	Ol	60,23	7
IIa	So	184,41	15	IIb	So	191,06	19
IIb	Jd	34,86	7	IIIa	Jd	46,78	7
IIb	Ol	51,69	6	IIIa	Ol	51,69	8
IIb	So	218,07	18	IIIa	So	218,07	27
...
Va	So	223,61	49	Vb	So	218,77	54
...
Obręb Forest division		4271,07	778	Obręb Forest division		4260,63	858

* As in table 1

** Ol – black alder, So – Scots pine, Jd – silver fir

Przy wykorzystaniu aplikacji Taksator dane z powierzchni próbnych wprowadzono do baz danych, a następnie obliczono miąższość drzew na powierzchniach próbnych i miąższość warstw inwentaryzacyjnych.

Kolejnym etapem było określenie dokładności szacowania, przy 95% przedziale ufności, miąższości poszczególnych warstw gatunkowo-wiekowych [p_h – wzór 1] i całych klas wieku [$p_{kl.w.}$ – wzór 2]:

$$p_h = k_h \cdot \frac{v_h}{\sqrt{n_h}} \quad [1]$$

gdzie:

k_h – wartość krytyczna $z_{\alpha/2}$ – rozkładu normalnego dla warstw o co najmniej 30 próbkach, lub $t_{\alpha/2}$ (rozkładu Studenta) w przypadku warstw o mniej niż 30 próbkach,

v_h – współczynnik zmienności miąższości na powierzchniach próbnych warstwy h ,

n_h – liczba powierzchni próbnych w warstwie h .

$$p_{kl.w.} = \sqrt{\sum_h W_h^2 \cdot \frac{k_h^2 \cdot v_h^2}{n_h}} = \sqrt{\sum_h W_h^2 \cdot p_h^2} \quad [2]$$

gdzie:

W_h – udział powierzchni danej warstwy gatunkowo-wiekowej w powierzchni klasy wieku.

Ponadto określono dokładność szacowania miąższości wszystkich analizowanych warstw danego obrębu łącznie. Parametr W_h w tym przypadku określono jako udział powierzchni danej warstwy gatunkowo-wiekowej w łącznej powierzchni wszystkich warstw.

Ponieważ w trakcie inwentaryzacji urządzeniowej szacowany jest tylko błąd standardowy, za pomocą wzorów [1] i [2] określano również dokładność szacowania miąższości analizowanych warstw wiekowych w ramach prac urządzania lasu.

Zmiany miąższości analizowanych warstw inwentaryzacyjnych, określone jako różnica pomiędzy pomiarami wykonanymi w latach 2009–2010 a danymi z inwentaryzacji urządzeniowej, porównano dodatkowo ze

zmianami wynikającymi z aktualizacji miąższości drzewostanów w Systemie Informatycznym Lasów Państwowych (SILP). Dane SILP wg stanu na 1 stycznia 2010 r. dla Nadleśnictwa Szczytno i 1 stycznia 2011 r. dla Nadleśnictwa Radom pozyskano w postaci wybranych tabel (f_arodes , f_arod_storey , $f_storey_species$, $f_subarea$). Ponieważ w ramach niniejszych badań inwentaryzację przeprowadzono w klasach wieku wg stanu na koniec okresu obowiązywania planów urządzenia lasu (1 stycznia 2015 r. lub 1 stycznia 2016 r.), wiek drzew w tabeli $f_storey_species$ zwiększono o 5 lat. Mając na uwadze, że powierzchnia analizowanych klas wieku, według założeń przyjętych w badaniach, może się różnić od danych SILP, przy porównaniu wyników posłużono się przeciętną zasobnością (miąższością na 1 ha) analizowanych klas wieku.

3. Wyniki

Przeciętną zasobność drzewostanów analizowanych klas wieku obrębu Szczytno, wynikającą z inwentaryzacji miąższości statystyczną metodą reprezentacyjną w dwóch momentach czasowych, oraz zasobność z aktualizacji miąższości drzewostanów w SILP przedstawiono na rycinie 1.

Zasobność z powtórnej inwentaryzacji była wyższa od wyników pomiarów z 2005 r. jedynie w przypadku klasy IIb, natomiast w przypadku IIIa, Va i VI klasy wieku stwierdzono, że po 5 latach od inwentaryzacji urządzeniowej zasobność tych klas była niższa o 2–3 m³/ha. Należy jednak zauważyć, że różnice te zawierają się w zakresie przedziałów ufności określonych dla średnich z prób. Przykładowo, błąd szacowania miąższości Va klasy wieku w 2005 r. wynosił ± 30 m³/ha i w 2010 r. ± 27 m³/ha, czyli dziesięciokrotnie więcej niż różnica zasobności pomiędzy pomiarami (tab. 3). Największy błąd szacowania miąższości, na co miało wpływ zało-

Rycina 1. Przeciętna zasobność i przedziały ufności dla średnich z prób analizowanych klas wieku obrębu Szczytno

Figure 1. The average volume of growing stock and confidence intervals for the mean of analysed age classes in the Szczytno forest division : updating for 2010 was made using the Information System of the State Forests

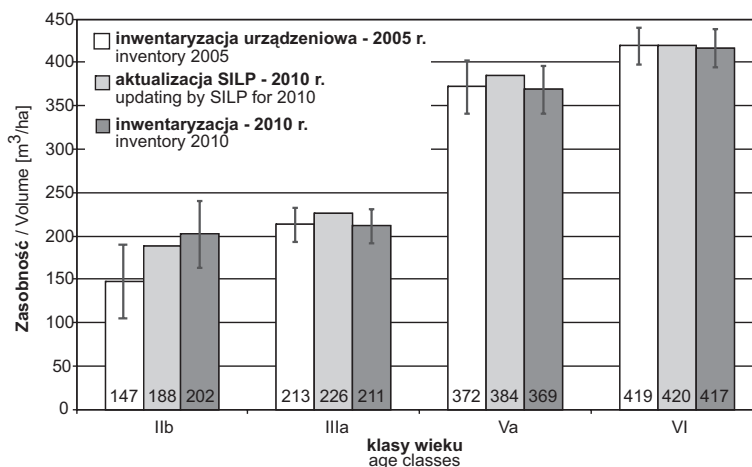


Tabela 3. Dokładność szacowania miąższości wybranych klas wieku obrębu Szczytno (przy 95% przedziale ufności)

Table 3. The accuracy of growing stock estimation of analysed age classes in the Szczytno forest division (at the 95% confidence interval)

Klasa wieku Age class	1.01.2005 r.			1.01.2010 r.		
	liczba próbek number of sample plots	błąd / error		liczba próbek number of sample plots	błąd / error	
		%	m ³ /ha		%	m ³ /ha
I Ib	23	±28,4	± 42	28	± 19,0	± 38
IIIa	47	± 9,3	± 20	56	± 9,2	± 20
Va	56	± 8,2	± 30	60	± 7,4	± 27
VI	133	± 5,1	± 21	156	± 5,2	± 22
Razem / Total		± 6,3	± 19		± 4,7	± 15

Tabela 4. Dokładność szacowania miąższości wybranych klas wieku obrębu Jedlnia (przy 95% przedziale ufności)

Table 4. The accuracy of growing stock estimation of analysed age classes in the Jedlnia forest division (at the 95% confidence interval)

Klasa wieku Age class	1.01.2006			1.01.2011		
	liczba próbek number of sample plots	błąd / error		liczba próbek number of sample plots	błąd / error	
		%	m ³ /ha		%	m ³ /ha
I Ib	21	± 25,8	± 32	26	± 21,2	± 39
IIIa	31	± 15,0	± 26	42	± 14,2	± 29
Vb	49	± 9,1	± 30	54	± 8,1	± 26
Razem / Total		±10,2	± 20		± 8,9	± 21

zenie zaledwie 23 powierzchni w 2005 r. i 28 powierzchni w 2010 r., stwierdzono dla I Ib klasy wieku.

W przypadku IIIa, Va i VI klasy wieku zasobność drzewostanów w 2010 r. określona na podstawie pomiarów inwentaryzacyjnych była niższa od wyników aktualizacji miąższości drzewostanów w SILP wykonanej na 1 stycznia 2010 r. Według danych SILP (zaktualizowanych danych IV rewizji) zasobność IIIa klasy wieku na 1 stycznia 2010 r. wynosiła 226 m³/ha, natomiast średnia zasobność tej klasy wieku oszacowana na podstawie przeprowadzonych pomiarów wynosiła 211 m³/ha. Podobnie było w przypadku Va klasy wieku. Jej zasobność wg aktualizacji SILP wynosiła 384 m³/ha, gdy średnia z 60 powierzchni próbnych założonych w ramach prac kontrolnych to 369 m³/ha (o 15 m³/ha mniej; ryc. 1). Wymienione różnice zawierają się jednak w wyznaczonych dla prób przedziałach ufności.

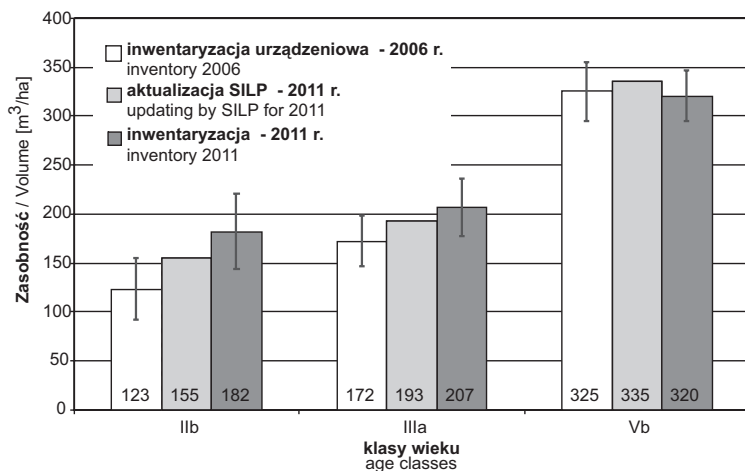
W odniesieniu do drzewostanów VI klasy wieku należy zauważyć, że na uzyskane wyniki miało wpływ przyjęte w badaniach założenie dotyczące użytkowania rębnego. W 2010 r. drzewostany VI klasy wieku zajmowały w rzeczywistości dużo większą powierzchnię niż wynosiła wielkość prognozowana na koniec okresu obowiązywania planu urządzenia lasu. Zaktualizowana w SILP miąższość tylko tej części drzewo-

stanów VI klasy wieku, która została uwzględniona w pomiarach inwentaryzacyjnych, w przeliczeniu na 1 ha, wynosiła 415 m³/ha, była więc o 2 m³/ha niższa od danych dla 2010 r.

Wzrost zasobności określony w ramach procesu aktualizacji miąższości w SILP jednoznacznie wskazuje, że w analizowanych klasach wieku użytkowanie było prowadzone na niższym poziomie niż przyrost (tablicowy). Nie można więc w ewentualnym wysokim poziomie użytkowania upatrywać przyczyn obniżenia zasobności IIIa i Va klasy wieku pomiędzy 2005 i 2010 rokiem.

Wyniki pomiarów prowadzonych w obrębie Jedlnia przedstawiono w tabeli 4 i na rycinie 2. Zasobność drzewostanów I Ib klasy wieku, określona na podstawie pomiarów na 26 powierzchniach próbnych według stanu na 1.01.2011 r. wynosiła 182 m³/ha i była aż o 17% (27 m³/ha) wyższa od wyników aktualizacji miąższości w SILP. W przypadku IIIa klasy wieku różnica pomiędzy wynikami pomiarów a danymi aktualizacyjnymi wynosiła około 7% (14 m³/ha).

W przypadku drzewostanów Vb klasy wieku stwierdzono, że ich zasobność według stanu na 1.01.2011 określona na podstawie danych z 54 powierzchni próbnych była o 15 m³/ha niższa od zasobności wy-



Rycina 2. Przeciętna zasobność i przedziały ufności dla średnich z prób analizowanych klas wieku obrębu Jedlnia

Figure 2. The average volume of growing stock and confidence intervals for the mean of analyzed age classes in the Szczytno forest division : updating for 2010 was made using the Information System of the State Forests

kającej z aktualizacji miąższości w SILP. Zasobność określona dla 2011 roku jest jednocześnie niższa o 5 m³/ha od wyników inwentaryzacji urzędniowej z 2006 r. Zasobność (miąższość) drzewostanów tej klasy wieku, spośród analizowanych klas wieku obrębu Jedlnia, oszacowana została z największą dokładnością. Określony za pomocą wzorów [1] i [2] błąd procentowy wynosi w przypadku inwentaryzacji dla 2011 roku 4,2%, co odpowiada 26 m³/ha.

4. Dyskusja wyników

Stosowanie losowego rozmieszczenia powierzchni próbnych nie tylko wyklucza element subiektywizmu, ale także umożliwia określenie teoretycznej dokładności oszacowania parametru (Rosa 1972). Zmiany stosowanych w praktyce leśnej metod inwentaryzacji miąższości powodowały, że zagadnienie dokładności wyników inwentaryzacji nie było przedmiotem szczególnej uwagi. Zastosowanie tej samej metody inwentaryzacji w dwóch kolejnych rewizjach urządzania lasu pozwala, czy nawet zmusza do uwzględnienia elementu dokładności przy analizie zmian wielkości zasobów drzewnych nadleśnictw. Zaprezentowane wyniki badań w wymowny sposób wskazują na potrzebę interpretacji danych z inwentaryzacji lasu w świetle założeń statystycznych stosowanej metody, tj. traktowania ich jako zmiennej losowej (Zasępa 1972).

Przeniesienie wyników z powierzchni próbnych na populację generalną (np. obręb leśny) wymaga podania błędów takiego uogólnienia. Powtarzanie losowania i pomiar tej samej liczby powierzchni próbnych (w tym samym czasie) za każdym razem dostarczy nieco inny wynik, ale mieszczący się z określonym prawdopodobieństwem w przedziale ufności wyznaczonym dla średniej z próby (Banaś 2005).

W przypadku zaprezentowanych wyników utożsamianie pomiarów na powierzchniach próbnych z rzeczywistą miąższością obiektu oznaczałoby, że po pięciu latach zmniejszyła się np. zasobność drzewostanów Vb klasy wieku obrębu Jedlnia z 325 m³/ha w 2006 r. do 320 m³/ha w roku 2011. Jedyną przyczyną takiej zmiany mogłoby być wykonanie użytkowania na poziomie przekraczającym przyrost drzewostanów, czego nie potwierdzają wyniki aktualizacji miąższości drzewostanów w SILP. Różnica w wysokości 1,5% pomiędzy zasobnością omawianej klasy wieku w 2011 i 2006 roku nie ma jednak żadnego znaczenia w sytuacji, gdy wyniki z obu pomiarów charakteryzowały się 8–9% błędem szacowania miąższości. Do momentu, gdy przedziały ufności dla średnich z prób mają część wspólną, nie można mówić o różnicach ze statystycznego punktu widzenia. Założenie 49 powierzchni próbnych w Vb klasie wieku obrębu Jedlnia pozwala na stwierdzenie, że rzeczywista miąższość warstwy wiekowej w 2006 r. z 95% prawdopodobieństwem zawiera się w przedziale od 295 do 355 m³/ha. O statystycznie niższej miąższości można by mówić w sytuacji uzyskania w drugim pomiarze (2011 r.) zasobności na poziomie 270 m³/ha (zakładając 8% błąd szacunku).

W pracy przyjęto założenia dotyczące liczby powierzchni próbnych z Instrukcji urządzania lasu z 2003 r. Zaproponowany w obecnie obowiązującej Instrukcji (2012) algorytm określania liczby powierzchni próbnych dla obrębu, w większym stopniu uzależnia ich liczbę od powierzchni obrębu. Według obecnie obowiązujących zasad w obrębie Jedlnia należałoby założyć o 20% mniej powierzchni próbnych, co oznacza, że dokładność szacowania miąższości obrębu i poszczególnych warstw inwentaryzacyjnych dodatkowo by się zmniejszyła.

W związku z wysoką pracochłonnością prac inwentaryzacyjnych przedstawione badania dotyczą zaledwie kilku wybranych klas wieku. Na poziomie obrębu leśnego i wyższych jednostek można spodziewać się

uśrednienia wyników. Równie prawdopodobne jest bowiem, że w innych klasach wieku po dziesięciu latach uzyska się przeciętną zasobność zdecydowanie za wysoką z punktu widzenia wiedzy o przyroście drzewostanów. Istotne jest jednak, żeby sytuacje, jakie wystąpiły w IIIa i Va klasie wieku obrębu Szczytno oraz Vb klasie wieku obrębu Jedlnia, przyjmować ze zrozumieniem ograniczeń stosowanej metody.

Stosowanie czasowych powierzchni próbnych jest efektywnym sposobem oceny stanu lasu. Porównanie wyników inwentaryzacji z dwóch momentów czasowych pozwala również na określenie zmian wielkości zasobów drzewnych (Scott 1998). Sposób ten, nie jest jednak efektywny. Nie jest możliwe określenie elementów składowych przyrostu, a jego wariancja jest równa sumie wariancji miąższości z dwóch pomiarów (Schreuder et al. 1993).

Uzyskanie wiarygodnych informacji dotyczących zmian zasobów drzewnych, w tym relacji procesów przyrostu drzew, ich ubywania i dorostu, jest możliwe dzięki zastosowaniu stałych, kontrolnych powierzchni próbnych (ang. *continuous forest inventory*). Rozwiązanie to jest propagowane w Polsce od końca lat 70. ubiegłego stulecia (Rutkowski et al. 1972; Banaś 2005). W efekcie występowania pozytywnej kowariancji pomiędzy wynikami z dwóch pomiarów na stałych powierzchniach, z mniejszym błędem określa się przyrost niż w przypadku niezależnych powierzchni tymczasowych (Scott 1998).

W sytuacji, gdy przedmiotem badań jest zarówno wielkość zasobów w danym momencie, jak i ich okresowe zmiany, zasadne jest również stosowanie metody wykorzystującej zarówno powierzchnie stałe jak i czasowe (ang. *sampling with partial replacement*), (Scott 1984). Sposób ten jest szczególnie uzasadniony w sytuacji stosowania losowania warstwowego i zmian w strukturze warstw pomiędzy pomiarami (Saborowski et al. 2010; Scott, Köhl 1994). Jak zauważają Köhl et al. (1995) jeżeli pomiary mają odbywać się w więcej niż dwóch momentach czasowych, ze względu na prostotę, metoda stałych powierzchni próbnych jest jednak odpowiedniejsza do oceny zmian zasobów drzewnych.

5. Wnioski

Przeprowadzone badania skłaniają do sformułowania następujących wniosków:

(1) Ocena zmian miąższości warstw wiekowych w kolejnych rewizjach urządzania lasu z pominięciem informacji o dokładności szacowania miąższości, a jedynie z punktu widzenia średniej z próby może prowadzić do niewłaściwych uogólnień.

(2) Ewentualnie niższa przeciętna zasobność danej warstwy inwentaryzacyjnej czy też klasy wieku w kolejnej rewizji urządzania lasu nie jest jednoznaczna z obniżeniem zasobności, a może być efektem stosowania próby losowej.

(3) Średnioroczne zmiany zasobności danej warstwy wiekowej pomiędzy kolejnymi cyklami urządzania lasu na poziomie 2–3 m³/ha mogą wynikać tylko i wyłącznie ze stosowanej metody inwentaryzacji.

(4) W przypadku obrębu leśnego można spodziewać się, że nastąpi uśrednienie błędów szacowania miąższości poszczególnych warstw inwentaryzacyjnych i klas wieku, na co wskazują zarówno uzyskane wyniki, jak i dane literaturowe. W celu uniknięcia błędu systematycznego, nie należy kwestionować wyników wskazujących na nieuzasadnione w świetle wiedzy o przyroście drzewostanów zmniejszenie zasobności.

(5) W świetle uzyskanych wyników konieczne jest uwzględnienie elementu dokładności statystycznej metody reprezentacyjnej (szczególnie na poziomie klas wieku) w ramach wykonywanych zgodnie z § 76–77 Instrukcji urządzania lasu (Instrukcja 2012) prac analitycznych, tj.:

– w analizie gospodarki leśnej za okres obowiązywania dotychczasowego planu urządzania lasu oraz przy formułowaniu wniosków na okres przyszły,

– w analizie stanu zasobów drzewnych oraz określaniu pożądanego stanu tych zasobów na koniec planowanego okresu gospodarczego.

6. Podziękowanie

W publikacji przedstawiono wyniki badań zrealizowanych w ramach projektu „Zintegrowana metodyka inwentaryzacji miąższości drzewostanów dla potrzeb gospodarki leśnej i zarządzania zasobami leśnymi” sfinansowanego przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych.

Literatura

- Banaś J. 2005. Drzewostanowa metoda inwentaryzacji i kontroli lasów różnowiekowych. *Sylwan*, 11: 18–24.
- Bruchwald A. 2004. Relacje między użytkowaniem głównym i przyrostem miąższości. *Sylwan*, 5: 3–12.
- Instrukcja urządzania lasu. 1957. PWRiL. Warszawa. ss. 182.
- Instrukcja urządzania lasu. 1970. PWRiL. Warszawa. ss. 148.
- Instrukcja urządzania lasu. Tom 1. 1980. PWRiL. Warszawa. ss. 301.
- Instrukcja urządzania lasu. Część ogólna. 1994. IBL. Warszawa. ss. 140.

- Instrukcja urzędowania lasu. Część 1. Instrukcja sporządzania planu urzędowania lasu dla nadleśnictwa. 2003. CILP. Warszawa. ss. 177.
- Instrukcja urzędowania lasu. Część 1. Instrukcja sporządzania planu urzędowania lasu dla nadleśnictwa. 2012. CILP. Warszawa. ss. 287
- Jabłoński M. 2010. Warstwowanie drzewostanów w statystycznej metodzie reprezentacyjnej pomiaru miąższości obrębu leśnego – praktyczna realizacja założeń. *Sylwan*, 154 (6): 397–404.
- Jabłoński M. 2011. Teoretyczna dokładność statystycznej metody reprezentacyjnej pomiaru miąższości obrębu leśnego. *Leśne Prace Badawcze*, 72 (2): 131–143.
- Köhl M., Scott C.T., Zingg A. 1995. Evaluation of permanent sample surveys for growth and yield studies: a Swiss example. *Forest Ecology and Management*, 71: 187–194.
- Raport o stanie lasów w Polsce 2010. 2011. CILP. Warszawa. ss. 84
- Rosa W. 1972. Z badań nad dokładnością określania powierzchni przekroju drzewostanu na podstawie powierzchni próbnych. *Sylwan*, 6: 35–43.
- Rutkowski B., Poznański R., Przybylska K. 1972. Wstępne wyniki zastosowania statystyczno-matematycznego kontrolnego sposobu inwentaryzacji w rezerwacie Turbacz im. Wł. Orkana w Górcach. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie, Leśnictwo*, 7: 45–69.
- Saborowski J., Marx A., Nagle J., Böckmann T. 2010. Double sampling for stratification in periodic inventories—Infinite population approach. *Forest Ecology and Management*, 260: 1886–1895
- Schreuder H. T., Gregoire T.G., Wood G.B. 1993. Sampling methods for multiresource forest inventory. John Wiley and Sons, New York
- Scott C.T. 1984. A new look at sampling with partial replacement. *Forest Science*, 30 (1): 157–166.
- Scott C.T. 1998. Sampling methods for estimating change in forest resources. *Ecological Applications*, 2: 228–233.
- Scott C.T., Köhl M. 1994. Sampling with partial replacement and stratification. *Forest Science*, 40 (1): 30–46.
- Zasępa R. 1972. Metoda reprezentacyjna. Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne. Warszawa. ss. 366.