

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 wchodzą 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

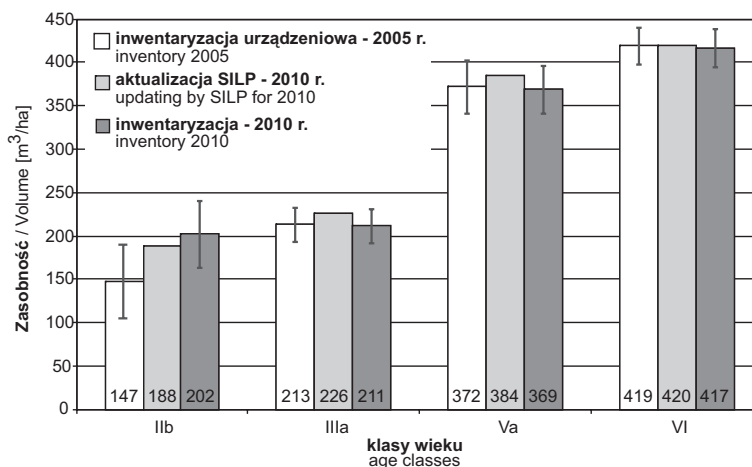


Tabela 3. Dokładność szacowania miąższości wybranych klas wieku obrębu Szczytno (przy 95% przedziale ufności)

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.

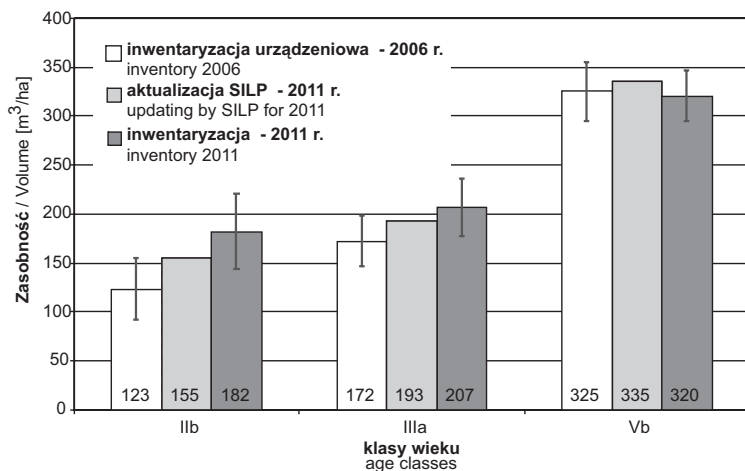
W odniesieniu do drzewostanów VI klasy wieku należy zauważyć, że na uzyskane wyniki miało wpływ przyjęte w badaniach założenie dotyczące użytkowania rębego. W 2010 r. drzewostany VI klasy wieku zajmowały w rzeczywistości dużo większą powierzchnię niż wynosiła wielkość prognozowana na koniec okresu obowiązywania 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 Gorcach. *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.

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

Marek Jabłoński

Forest Research Institute, Department of Forest Management,
Braci Leśnej 3, Sękocin Stary, 05-090 Raszyn, Poland.

✉ Tel. +48 22 715 06 60; 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. Introduction

Since the end of the sixties of the 20th century, a steady increase in the volume of timber resources has been recorded in the State Forests National Forest Holding

(PGLLP). This increase is primarily a result of forest management in accordance with the principle of sustainability of forests. It should be noted, however, that the use of more accurate inventory methods is also mentioned as one of the reasons for the increase of resources (Raport 2011).

Inventory of growing stock in the State Forests runs in a 10-year cycle, in the preparation of management plans for the forest districts. Forest inventory results are then updated each year. In the last few decades inventory methods underwent significant changes.

Within the so-called definite management planning, the volume of forest stand was estimated on the basis of selective sample plots (Instrukcja 1957). Consecutive Forest Management Plan (FMP thereafter) Manual (1970), as a complementary method of inventory, introduced variable-radius sample plots (angle count sampling) also established at representative area in stands. In the next revision of the forest management planning, the basic inventory system was formed by randomly chosen variable-radius sample plots or alternatively circle plots (Instrukcja 1980). Subsequent method assumed random sample plots in different stands or stratified sampling, depending on the variant of the method adopted (Instrukcja 1994). Both the Manual of 1994, as well as the two previous ones, assumed that in the stands below the age of 40 years no random sampling was expected and the volume of growing stock was estimated instead, using the appropriate tables or selective plots.

The stratified random sampling method of measuring the growing stock of a forest division, introduced in the FMP Manual in 2003, finally draws the line at the tree stand as the basic unit of inventory. Based on the age and dominant species of the stands there are created layers, in which random circle plots are established. Only tree stands over the age of 20 years and with a height of dominant species over 7 m, or those which meet the relevant site index criteria, qualify for measuring (Instrukcja 2003). The process of preparing a forest management plan (early signing contracts) makes the new instructions come into practice usually with a delay. Less than half of the districts having forest management plans as of January 1, 2005 were surveyed using the stratified random sampling. In most districts, in accordance with the agreements previously signed, inventories were performed using the earlier method.

In 2011 the new FMP Manual was introduced for use in PGLLP (Instrukcja 2012). What is particularly important, determining the growing stock of the forest division according to the mentioned Manual is to be done using the same method of survey. Only the algorithm for determining the number of sample plots for the division has changed. Therefore, for the forest districts managed according to the Manual of 2003 and 2012, the changes of timber resources in the subsequent cycles of forest management planning will not be affected by the differences in the inventory methods used.

As noted by Bruchwald (2004), between the volume of the forest unit at the beginning and at the end of

the period there may be one of the following relationships: the volume of the end of the period is equal to, greater than or less than the volume at the beginning of the period, which means that the volume increment is respectively equal to, greater than or less than the loss in trees (in current management). For these, relationships should be noted on the inventory data accuracy issue. In the case of a stratified random sampling method it can be expected that the estimation error of the forest divisions growing stock does not exceed 4-5% at the 95% confidence interval for the mean from the sample, while for the age class usually is at the level of 5-10%, and in rare cases can exceed 20% (Jabłoński 2011). The difference in the volumes of divisions in subsequent cycles of forest management planning (at the beginning and end of the 10-year period) will largely depend on the representativeness of the sample.

The purpose of this study is to present the changes in the volume of growing stock in subsequent cycles of forest management planning when a stratified random sampling with temporary plots is used.

2. Study areas and methods

Since none of the districts used a stratified random sampling method of inventory twice so far, it is assumed that a comparison of data from inventory in selected units with the results of remeasurements performed at these units five years later will provide the information about the changes of timber resources.

Inventory measurements were conducted in selected age classes in Szczytno Division of Szczytno Forest District on August and September 2009. This district has an FMP dated January 1, 2005 (forest inventory was done in 2004). The measurements made in 2009 characterize the state of timber resources dated January 1, 2010. Szczytno Division was chosen as an object of research due to, among others, the fact of having forest management inventory data (in the form of the Taksator programme) obtained for the earlier studies. What is important, the sample size for Szczytno Division was determined during forest management works based on new forest survey specification (stand description). Therefore, in this forest unit there was no problem with the reallocation of the sample and its consequent mismatch with the species and age structure of the division in contrast to a situation where updated information from previous FMP are used for stratification (Jabłoński 2010).

Additional inventory of growing stock was conducted in August and November 2010 in three age classes of Jedlnia Division, Radom Forest District. This district

has a forest management plan dated January 1, 2006 (forest inventory was done in 2005). Measurements made in 2010 characterize the state of timber resources of analyzed age classes dated January 1, 2011.

To determine the sample size for each layer to be measured in inventory, procedures of Taksator application, version 5.2.3 were used. Age layers were based on the age of stands predicted in a consecutive forest management plan (on January 1, 2015 for Szczytno Forest District and January 1, 2016 for Radom Forest District). Adoption of real age of stands (dated January 1, 2010 and 2011) and creating the table of age classes (subclasses) on this basis would mean that each age class after 5 years would consist of different stands than at the time of the development of a forest management plan, which would undoubtedly affect the results obtained and the possibility of their interpretation. The applied solution in turn allows us to compare the same groups of stands and reflects the actual shift to higher age subclasses in the following revision of forest management. Therefore, the age of the species listed in the composition of forest stands (in the table `f_storey_species` of Taksator application database) of analyzed forest divisions has been increased by 10 years. For mature stands, in addition, the changes in structure resulting from felling had to be taken into consideration. Because in the last five years of forest management plans being performed, felling was conducted only in a part of the stands, for the purpose of determining the number of sample plots for the division and their allocation to the various layers during the re-inventory, an assumption was taken that felling would be performed in all stands provided for in the plan. Modification of forest survey specification for mature stands is important, because their total area determines the number of sample plots planned also in other layers of inventory. The modification of above-mentioned specification in Taksator application databases included the following changes:

- in the table `f_storey_species` the age was changed to 5 years for the stands planned to be clear-cut;
- in the table `f_subarea` the area of forest subcompartments was reduced by the area of stands planned to be partly clear-cut (on manipulation plots);
- in the table `f_subarea` the description of the structure of forest stands was changed from even-aged to uneven-aged for the stands, which were scheduled to start more complex fellings;
- in the table `f_subarea` the description of stand structure was changed from uneven-aged to even-aged and in the table `f_storey` the age was changed to 10 years (providing exact age is not necessary) for the stands where overstorey removal was planned;

– in the table `f_subarea` two fields describing forest subcompartments and their area were created in the case of stands, where more complex felling was planned on manipulation plots; in one of the subcompartments the stand structure was changed from even-aged to uneven-aged.

The structure of selected age-species strata within Szczytno Division, both as on January 1, 2005 and the one forecasted in the next revision of forest management are shown in table 1. Inventory measurements covered stands representing IIb, IIIa, Va, and VI age classes according to age layers forecasted for 2015. Limiting the scope of research to four age classes resulted from the high workload of field work. In these layers, 300 circular sample plots were established.

The characteristics of the layers within the inventory of Jedlnia Division are contained in table 2. Measurements included stands that belonged to IIb, IIIa, and Vb age classes, where a total of 122 sample plots were set up.

Location of sample plots in the stands was also performed using the procedure in Taksator application, i.e. using geometric data of districts (subcompartments unit layers). Then the offset (azimuth and distance) between sample plot and the datum points – rendered on the map – was determined. As reference points were recognized: the intersections of compartment lines, roads, power lines, etc. Offset to the center of the plot was derived using a measuring tape and compass. The idea of using GPS receivers instead was intentionally discarded because of its accuracy, and therefore high probability of subjective choice of the plot center.

Measurements were performed following the methodology adopted in the FMP Manual in 2003.

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

After forest management plan in 2005				Forecast of forest management plan in 2015			
age class*	dominant species**	area [ha]	number of sample plots	age class	dominant species	area [ha]	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
Forest division		6829,44	778	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

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

After forest management plan in 2005				Forecast of forest management plan in 2016			
age class*	dominant species**	area [ha]	number of sample plots	age class	dominant species	area [ha]	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
...
Forest division		4271,07	778	Forest division		4260,63	858

* As in Table 1

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

By deploying the Taksator application the data from sample plots were introduced to the database and then the growing stock volume of the trees on the plots as well as of inventory layers were calculated. The next step was to determine the accuracy of the estimation, with a 95% confidence interval, of the growing stock of each age-species layer [p_h - formula 1] and the whole age classes [$p_{kl.w.}$ - formula 2]:

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

where:

k_h – the critical value of $z_{\alpha/2}$ - a normal distribution for the layers of at least 30 samples, or $t_{\alpha/2}$ (Student's distribution) in layers of less than 30 samples,

v_h – the coefficient of variation of the growing stock volume of plots in h -layer,

n_h – the number of sample plots in h -layer.

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

where:

W_h – the share area of the selected species-age layer within the total area of the age class.

Furthermore the accuracy of the growing stock estimation for all analyzed layers of the divisions was fixed together. Parameter W_h in this case was defined as a ratio between the area of selected age-species layer and the total area of all measured layers.

Since only the standard error is estimated during the FMP, the formulas [1] and [2] were used to determine the accuracy of growing stock estimation of the age layers analyzed within the forest management works.

Changes in the growing stock of the layers analyzed in inventory, defined as the difference between measurements made in 2009-2010 and forest inventory data,

were also compared with the changes resulting from the growing stock updating in the Information System of the State Forest (thereinafter SILP). SILP data for Szczytno District dated January 1, 2010, and for Radom District dated January 1, 2011 was obtained in the form of selected tables (f_arodes, f_arod_storey, f_storey_species, f_subarea). Because within this study the inventory was carried out in age classes accordant with the state at the end of the period of validity of forest management plans (January 1, 2015 or January 2, 2016), the age of the trees in the table f_storey_species was increased by 5 years. Taking into consideration that the area of analyzed age classes, according to the assumptions made in the study, may differ from SILP data, when comparing the results the average volume of growing stock was used for analyzed age classes.

3. Results

Average growing stock per hectare of analyzed age classes in Szczytno Division, resulting from growing stock inventory via stratified random sampling method taken in two points in time, and the volume of growing stock updated in SILP, are shown in figure 1.

Average growing stock per hectare of re-inventory was higher than the results of measurements of 2005 only for class IIb, while in the case of IIIa, Va, and VI age classes it was found that after 5 years of inventory the average growing stock volume of these classes was lower by 2-3 m³/ha. It should be noted, however, that these differences fit into the confidence interval evaluated for the mean from the samples. For example, the error of growing stock estimation for Va age class in 2005 was ± 30 m³/ha and in 2010 ± 27 m³/ha, hence ten times more than the difference in average growing stock per hectare between the measurements (tab. 3). The greatest error of the growing stock estimation, which was af-

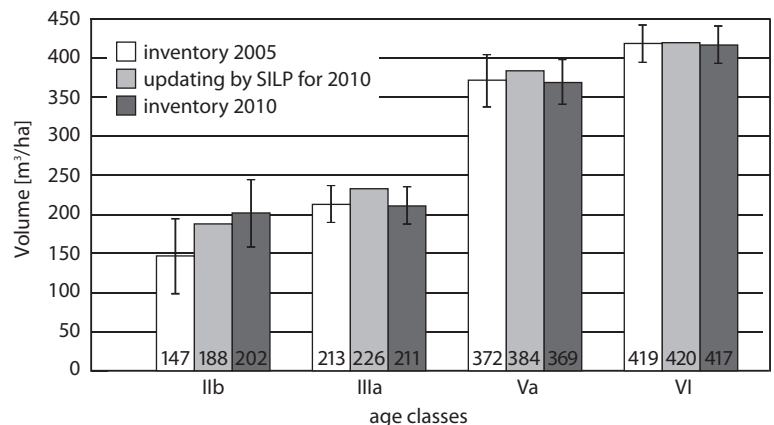


Figure 1. The average volume of growing stock and confidence intervals for the mean of analyzed age classes in the Szczytno forest division: updating for 2010 was made using the Information System of the State Forests.

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

Age class	01.01.2005			01.01.2010		
	number of sample plots	error		number of sample plots	error	
		%	m ³ /ha		%	m ³ /ha
Iib	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
Total		± 6,3	±19		± 4,7	±15

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

Age class	1.01.2006			1.01.2011		
	number of sample plots	error		number of sample plots	error	
		%	m ³ /ha		%	m ³ /ha
Iib	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
Total		±10,2	± 20		± 8,9	± 21

ected by establishing only 23 sample plots in 2005 and 28 in 2010, was found for age class Iib.

In the case of IIIa, Va, and VI age classes the volume of growing stock of forest stands in 2010, determined on the basis of inventory measurements, was lower than the growing stock updated for stands by SILP made on January 1, 2010. According to the SILP the growing stock per hectare of IIIa age class dated January 1, 2010 was 226 m³/ha, while the average growing stock per hectare of this age class estimated on the basis of the measurements was 211 m³/ha. Similar pattern was observed in the case of Va age class. Its value of growing stock volume according to SILP updates amounted to 384 m³/ha, while the average of 60 sample plots established in the framework of the audit works was 369 m³/ha (15 m³/ha less), (fig. 1). These differences, however, fit the confidence intervals specified for the samples.

With respect to stands of VI age class, it should be noted that the obtained results were affected by the assumption that they were planned to undergo the felling. In 2010, the stands of VI age class, in fact, occupied a much larger area than it was forecasted for the end of the forest management plan. The volume of growing stock updated in SILP for the same stands of VI age

class, which were included in the inventory measurements, averaged 415 m³/ha, was therefore 2 m³/ha less than the result of inventory measurement in 2010.

The increase in the growing stock per hectare obtained in the update process in SILP clearly indicates that the extent of felling in the stands of analyzed age classes was lower than the increase in growing stock (by tables). Therefore the possibly high level of felling cannot be considered responsible for the decrease in the volume of growing stock in IIIa and Va age classes between 2005 and 2010.

The results of measurements carried out in Jedlnia Division are shown in figure 2 and table 4. The growing stock per hectare of stands of Iib age class, determined from measurements on 26 plots dated 01.01.2011, amounted to 182 m³/ha and was by 17% (27 m³/ha) higher than the results of the SILP updates. In the case of IIIa age class the difference between the measurements and the updated data amounted to about 7% (14 m³/ha).

When it comes to the stands of Vb age class, it was found that their volume of growing stock dated 01.01.2011, determined from measurements of 54 sample plots, was 15 m³/ha less than the one resulting from the updates in SILP. The growing stock per hectare de-

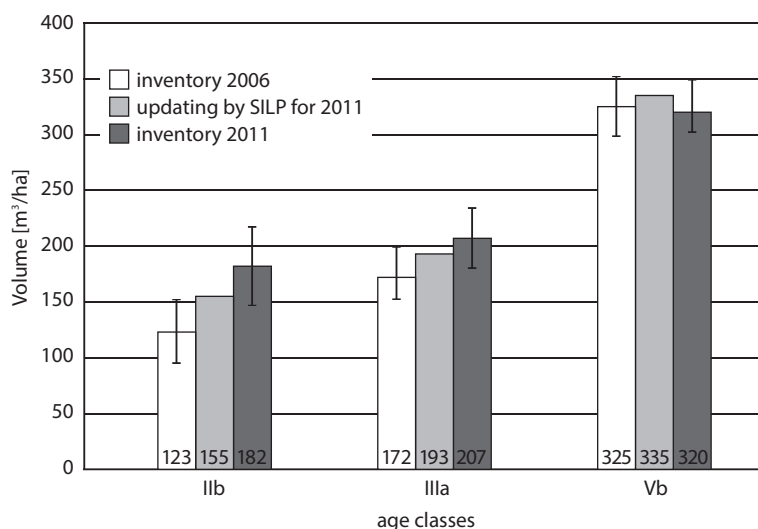


Figure 2. The average volume of growing stock and confidence intervals for the mean from the sample of analyzed age classes in the Szczytno forest division: updating for 2010 was made using the Information System of the State Forests

terminated for 2011 is at once lower by $5 \text{ m}^3/\text{ha}$ than the results of the inventory in 2006. The volume of growing stock for stands of this particular age class, among all analyzed age classes in Jedlnia Division, was estimated with the greatest accuracy. The percentage error determined by formulas [1] and [2] equals 4.2% for the inventory in 2011, which corresponds to $26 \text{ m}^3/\text{ha}$.

4. Discussion

The use of a random distribution of sample plots not only excludes an element of subjectivity, but also allows us to determine the theoretical accuracy of the parameter estimates (Rosa 1972). Evolution of the growing stock inventory methods applied in forests meant that the issue of the accuracy of the results of the inventory was given no special attention. Applying the same method of inventory in two successive management plans permits, or even forces, us to take into account the element of accuracy in the analysis of changes in the volume of timber resources of districts. The results of research presented here show in a meaningful way the need for interpretation of data from forest inventories in the light of the statistical assumptions of the method used, i.e. treating them as a random variable (Zasepa 1972).

The projection of the results from the sample plots on the general population (e.g., forest division) requires giving an error of such a generalization. Repeat sampling and measurement of the same number of sample plots (at the same time) each time will provide a slightly different result, but fitting with a certain probability the confidence interval specified for the mean from the sample (Banaś 2005).

In the face of presented results identifying the measurements on the sample plots as the actual growing stock of a stand would mean that after five years it reduced, for example, in stands of Vb age class in Jedlnia Division from $325 \text{ m}^3/\text{ha}$ in 2006 to $320 \text{ m}^3/\text{ha}$ in 2011. The only reason for such a change could be the felling after accessing the rate of stock growth of these stands, which was not confirmed by the results of the growing stock updates in SILP. The difference of 1.5% between the growing stock of the age class mentioned in 2011 and 2006 is invalid in the situation when the results of both measurements were characterized by 8-9% estimation error. Until the confidence intervals for the mean from the sample are part of a joint, you cannot talk about the differences from a statistical point of view. Establishing 49 sample plots in the age class Vb in Jedlnia Division allows us to conclude that the actual growing stock of this age layer in 2006, with a 95% probability, is somewhere between 295 and $355 \text{ m}^3/\text{ha}$. We could speak of a statistically lower value of growing stock in the situation of obtaining the result of $270 \text{ m}^3/\text{ha}$ (assuming 8% error of estimate) in the second measurement (2011).

The study adopted the assumptions regarding the number of sample plots from the Forest Management Guideline of 2003. The algorithm to determine the number of sample plots for the division proposed in the current Guideline (Instrukcja 2012), makes it more dependent on the division area. According to the current instructions about 20% less sample plots should be set within Jedlnia Division, which means that the accuracy of the growing stock estimation for the division and for the individual layers would have additionally declined.

Due to the highly labor-consuming inventory works this research deals only with a few selected age classes.

At the division or higher forest unit level, the results are expected to average. It is as much likely a possibility that in the other age classes after ten years the average growing stock per hectare will be far too high according to the knowledge about increase of timber resources in stands. It is important, however, to understand the limitations of the method applied whenever a situation like in IIIa and Va age classes in Szczytno Division or in Vb age class in Jedlnia Division occurs.

The use of temporary sample plots is an effective way of assessing the forest at any given moment in time. Comparison of the survey results of the two moments in time also allows us to determine the changes in the volume of wood resources (Scott 1998). This method, however, is not effective (Schreuder et al. 1993). It is not possible to determine the components of the growth, and its variance is equal to the sum of the variances of the growing stock volume of the two measurements.

Obtaining reliable information about changes in timber resources, including the relationship between the processes of tree growth, loss and increment, is possible through the use of permanent sample plots (continuous forest inventory). The solution is propagated in Poland since the late 70s of the last century (Rutkowski et al. 1972; Banaś 2005). As a result of the occurrence of a positive covariance between the results of the measurements on permanent plots, the increase is determined with a smaller error than in the case of independent temporary sample plots (Scott 1998).

In situations where the subject of the research is both the size of the resources at any given time as well as their changes, it is reasonable to also apply the method using both space and time constants (sampling with partial replacement), (Scott 1984). This system is especially reasonable in the case of stratified random sampling and if there are changes in the structure of the layers between the measurements (Scott, Köhl 1994; Saborowski et al. 2010). As noticed by Köhl et al. (1995), where the measurements are carried out in more than two points in time, due to the simplicity, the method of permanent sample plots is more appropriate for the assessment of the changes in wood resources

5. Conclusions

The study results tend to formulate the following conclusions:

(1) Assessment of the growing stock volume of age classes in the successive revisions of forest management without information on the accuracy of estimating this volume, but only from the point of view of the mean from the sample, may lead to inappropriate generalizations.

(2) Possibly lower average volume of growing stock of the inventory layer or age class in the consecutive revision of forest management doesn't denote the decrease in volume, and may be the result of a random sample.

(3) Average annual changes in the volume of growing stock of the age layer between consecutive cycles of forest management at the level of 2-3 m³/ha can arise solely from the method used in survey.

(4) When considering forest divisions it can be expected that the errors of the growing stock estimation of the individual inventory layers and age classes will average, as demonstrated by both the results of this paper and the literature data. In order to avoid bias, do not question the results indicating decrease of growing stock volume of stands even if it looks unreasonable in the light of the knowledge about tree growth.

(5) The results obtained in this work indicate that it is necessary to take into account the element of statistical accuracy of the stratified random sampling method (especially at the age classes level) in the course of analytical works performed in accordance with § 76-77 of forest management guideline (Instrukcja 2012), namely:

- the analysis of forest management for the duration of the current FMP and the formulation of proposals for the future,
- the analysis of timber resources and determining the desired level of stocks at the end of the planned economic period.

6. Acknowledgments

The paper presents the results of studies carried out in the framework of the project “Integrated methodology of growing stock assessment for the purposes of forest management,” funded by the Directorate General of State Forests.

References

- Banaś J. 2005. Drzewostanowa metoda inwentaryzacji i kontroli lasów różnowiekowych. *Sylvan*, 11: 18-24.
- Bruchwald A. 2004. Relacje między użytkowaniem głównym i przyrostem miąższości. *Sylvan*, 5: 3-12.
- Instrukcja urządzania lasu. 1957. PWRiL. Warszawa. pp. 182.
- Instrukcja urządzania lasu. 1970. PWRiL. Warszawa. pp. 148.
- Instrukcja urządzania lasu. Tom 1. 1980. PWRiL. Warszawa. pp. 301.
- Instrukcja urządzania lasu. Część ogólna. 1994. IBL. Warszawa. pp. 140.
- Instrukcja urządzania lasu. Część 1. Instrukcja sporządzania planu urządzania lasu dla nadleśnictwa. 2003. CILP. Warszawa. pp. 177.
- Instrukcja urządzania lasu. Część 1. Instrukcja sporządzania planu urządzania lasu dla nadleśnictwa. 2012. CILP. Warszawa. pp. 287.
- Jabłoński M. 2010. Warstwowanie drzewostanów w statystycznej metodzie reprezentacyjnej pomiaru miąższości obrębu leśnego – praktyczna realizacja założeń. *Sylvan*, 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. pp. 84.
- Rosa W. 1972. Z badań nad dokładnością określania powierzchni przekroju drzewostanu na podstawie powierzchni próbnych. *Sylvan*, 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 Gorcach. *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.
- Zasepa R. 1972. Metoda reprezentacyjna. Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne. Warszawa. pp. 366.