

## WYKORZYSTANIE ZDJĘĆ LOTNICZYCH W URZĄDZANIU NADLEŚNICTWA MILICZ

### THE APPLICATION OF AERIAL PHOTOGRAPHS TO MANAGEMENT PLANNING OF THE MILICZ FOREST DISTRICT

Janusz Bańkowski<sup>1</sup>, Stanisław Miścicki<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej, Oddział w Brzegu

<sup>2</sup>Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa, Wydział Leśny  
Szkola Główna Gospodarstwa Wiejskiego

**Słowa kluczowe:** urządzenie lasu, zdjęcia lotnicze, taksacja lasu, inwentaryzacja lasu, zapas grubizny

**Keywords:** forest management planning, aerial photographs, forest assessment, forest inventory, standing volume

## Wstęp

W roku 2000 w Katedrze Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa Wydziału Leśnego SGGW zostały zakończone badania dotyczące zastosowania zdjęć lotniczych i stałych naziemnych powierzchni próbnych w inwentaryzacji zasobów drzewnych (Miścicki, 2000). Uzyskane rezultaty i doświadczenia próbowano włączyć w zakres tematyczny badań finansowanych przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych, prowadzonych w roku 2002 na terenie Nadleśnictwa Złotów. Niestety, nie doszło do realizacji tego zamierzenia.

Założenia prac urzędzeniowych z wykorzystaniem zdjęć lotniczych były opracowane dla warunków specyficznych w polskim leśnictwie. Dotychczasowe prace były wykonywane przez zespoły badawcze instytucji naukowych. Konieczne stało się przekazanie doświadczeń tym osobom, które praktycznie opracowują plany urządzenia lasu. W tym kontekście ogólnym celem niniejszych badań było opracowanie rozwiązań technologicznych, które umożliwiłyby wprowadzenie zdjęć lotniczych jako materiałów pomocniczych, na różnych etapach sporządzenia kompletnego planu urządzenia lasu.

Jako cele cząstkowe wskazano:

- poznanie praktycznego aspektu wykorzystania zdjęć lotniczych w taksacji lasu (nauka posługiwania się zdjęciami, indywidualny zakres ich wykorzystania, występujące trudności),
- poznanie zakresu korekt wyników taksacji w następstwie zastosowania ortofotomapy,
- przeprowadzenie pomiaru zapasu drzewostanów wybranego obrębu leśnego z zastosowaniem kombinowanej metody inwentaryzacji z wykorzystaniem zdjęć lotniczych.

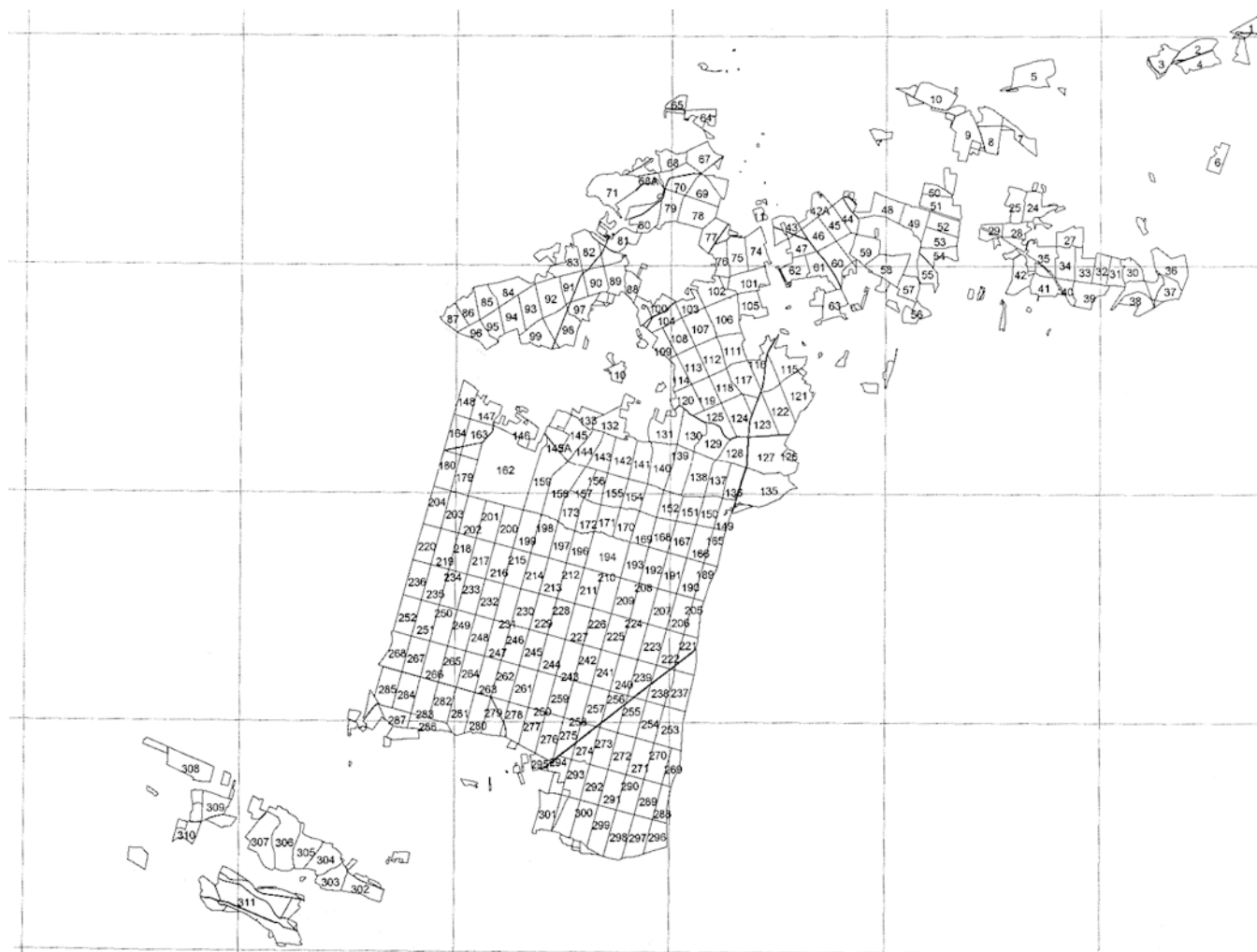
Przyjęto, że większość prac będzie polegać na współpracy pomiędzy zespołem autorskim z SGGW, a zespołem Oddziału Biura Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej w Brzegu. Zadaniem tego ostatniego zespołu było uczenie się nowych technik pomiarowych i nowych technologii związanych z wykorzystaniem zdjęć lotniczych w urządzaniu lasu oraz ich praktyczne testowanie podczas prac terenowych i kameralnych.

## Obiekt badań

Badania przeprowadzono na terenie Obrębu Milicz (Nadleśnictwo Milicz, RDLP we Wrocławiu). Jest on położony w III Krainie Wielkopolsko-Pomorskiej, w III.9. Dzielnicy Kotliny Żmigrodzko-Grabowskiej, w terenie nizinym – miejscami falistym – na wysokości od 100 do 230 m n.p.m. Według stanu na 1 stycznia 2006 roku ogólna powierzchnia obrębu wynosiła 8206 ha, w tym grunty zalesione 7599 ha (rys. 1). Struktura wiekowa drzewostanów była zakłócona – dominowała IIIa podklasa wieku (tab. 1). Około 57% powierzchni zajmowały siedliska borowe. Dominującym gatunkiem była sosna (66%), a innymi gatunkami o znaczącym udziale były: dąb, buk, świerk, modrzew, brzoza i olsza.

**Tabela 1.** Wielkość jednostek inwentaryzacyjnych, wielkość i liczba powierzchni próbnych naziemnych i fotolotniczych założonych w poszczególnych jednostkach inwentaryzacyjnych w Obrębie Milicz oraz współczynnik korelacji prostoliniowej między zasobnością obliczoną na powierzchniach próbnych naziemnych a obliczoną dla prób fotolotniczych

Jednostka inwentaryzacyjna	Powierzchnia [ha]	Wielkość powierzchni próbnej [m <sup>2</sup> ]	Liczba powierzchni próbnych			Współczynnik korelacji $r$ między zasobnością na próbach naziemnych a obliczoną dla prób fotolotniczych
			naziemnych i odpowiadających im fotolotniczych	dodatkowych fotolotniczych	razem fotolotniczych	
IIa	681	200	7	191	198	0,404
IIb	772	200	26	196	222	0,921
IIIa	1235	200	33	311	344	0,769
IIIb	527	200	8	146	154	0,552
IVa	487	300	31	123	154	0,715
IVb	551	300	27	143	170	0,873
Va	594	400	18	150	168	0,831
Vb	411	400	35	111	146	0,707
VI	610	500	36	158	194	0,440
VII+	358	500	24	84	108	0,791
KO	440	500	22	100	122	0,769
Obręb bez I kl. wieku	6664	x	267	1713	1980	0,802



Rys. 1. Szkic Obrębu Milicz z siatką geograficzną PUVG 1992 – wewnątrz podano numery oddziałów leśnych

## Zdjęcia lotnicze wykorzystane w badaniach

W badaniach wykorzystano zdjęcia lotnicze w dwóch skalach 1:10 000 i 1:25 000. Zastosowano: kamerę z obiektywem normalnokątnym o ogniskowej 210 mm; film uczulony na podczerwień Kodak Aerochrome 1443; kierunek nalotu wschód-zachód.

Zdjęciami w skali 1:10 000 pokryto cały obszar Obrębu Milicz (208 zdjęć w 14 szeregach). Wykonano je 25 czerwca 2005 roku. Zdjęciami w skali 1:25 000 pokryto cały obszar Nadleśnictwa Milicz (99 zdjęć w 8 szeregach). Wykonane zostały 26 czerwca 2005 roku, a następnie wykorzystane do opracowania ortofotomapy w skali 1:5000. Zarówno zdjęcia jak i ortofotomapę wykonało przedsiębiorstwo Geo-Invent.

Zdjęciami w skali 1:10 000 posługiwali się bezpośrednio taksatorzy podczas niżej opisanych prac terenowych.

## Metodyka związana z wykorzystaniem zdjęć lotniczych w taksacji lasu

Wyróżniono następujące etapy prac:

- szkolenie taksatorów w zakresie wykorzystywania zdjęć lotniczych do taksacji lasu,
- badanie sposobu i jakości pracy taksatorów podczas prac terenowych,
- wykonanie korekty map leśnych wraz z oceną zakresu przeprowadzonych zmian.

Podczas szkolenia kameralnego nauczono pięciu taksatorów zasad korzystania ze zdjęć lotniczych, w tym przygotowań kameralnych przed pracą w terenie. Przeprowadzono praktyczne ćwiczenia tworzenia modelu stereoskopowego z odpowiednich 2 zdjęć lotniczych przy użyciu stereoskopu kieszonkowego lub bez jego użycia dla osób mających wrodzoną umiejętność widzenia (patrzenia) stereoskopowego.

Badanie sposobu i jakości pracy taksatorów polegało na wykonaniu szczegółowego opisu dnia pracy poszczególnych pracowników korzystających ze zdjęć lotniczych. Osoba towarzysząca taksatorowi podczas prac w terenie prowadziła rejestr czynności związanych z wykorzystaniem zdjęć lotniczych, który obejmował:

- częstotliwość wspomagania taksacji obrazem ze zdjęć – z uwzględnieniem faktu korzystania z „nieuzbrojonego oka” lub ze stereoskopu kieszonkowego,
- wskazanie do jakich celów są wykorzystywane zdjęcia – korekta lub tworzenie granic wyłączeń, planowanie miejsc do kontroli, ocena składu gatunkowego, zmieszania, zróżnicowania wiekowego, budowy poziomej, obecności powierzchni nie stanowiących wyłączeń.

Do wykonania i oceny korekty map leśnych wykorzystano ortofotomapę. Przy tworzeniu pierworysu mapy posługiwano się opracowaniami numerycznymi z zasobów PODGiK ze starostw Milicz, Oleśnica, Trzebnica oraz podkładem mapy z poprzedniego cyklu urzędniowego. Rezultaty prac taksacyjnych wnoszono na cyfrową postać ortofotomapy. Obejmowały one korektę granic wyłączeń oraz weryfikację podkładu geodezyjnego, zarówno warstwy działek jak i użytków. Przebieg wszystkich nowych granic starano się określić na podstawie sytuacji na poziomie gruntu. Elementy liniowe o prostym przebiegu i częściowo widoczne określano na podstawie szczegółów widocznych na gruncie. Przebieg elementów liniowych, zaznaczonych tylko w warstwie koron drzew, określono ze zdjęć w skali 1:10 000 na stacji fotogrametrii cyfrowej Dephos. Powstały w wyniku tego procesu trójwymiarowy wektor wyrównywano do jednakowego poziomu przy pomocy funkcji *flat*.

Porównując przebieg granic i innych elementów liniowych na ortofotomapie z ich przebiegiem na poprzedniej mapie leśnej wskazano błędy. W przypadku, gdy granica drzewostanu była widoczna tylko w warstwie drzew, za bezbłędny przyjmowano wynik, jeżeli średnia różnica odległości między obecną a dawną granicą nie przekraczała 15 metrów.

Obliczono liczbę, powierzchnię i udział (w stosunku do ogólnej liczby lub powierzchni) skorygowanych wyłączeń. W wypadku obiektów liniowych – dróg utwardzonych, dróg leśnych, linii energetycznych, linii podziału powierzchniowego, rowów, ścieżek, wizur, obliczono łączną długość elementów nowych (lub uprzednio błędnie wrysowanych) i elementów wymagających tylko korekty.

### Metodyka związana z wykorzystaniem zdjęć do pomiaru zapasu grubizny

Zastosowano kombinowaną, dwufazową metodę inwentaryzacji z wykorzystaniem powierzchni próbnych fotolotniczych i naziemnych stałych kontrolnych (Miścicki 2000). Przy opracowaniu tej metody przyjęto następujące założenia:

- na zdjęciach lotniczych nie można bezpośrednio zmierzyć cech, które prowadzą do obliczenia miąższości grubizny drzew;
- konieczne jest zastosowanie metody pośredniej przez określenie zależności między zasobnością (zapasem grubizny na jednostce powierzchni) a cechami mierzonymi na zdjęciu lotniczym,
- cechy mierzone na zdjęciu powinny być łatwo dostępne i nie może ich być dużo.

Pomiar zapasu grubizny obejmował niżej opisane etapy prac.

1. Obliczenie sumy miąższości drzew (zasobności) na poszczególnych naziemnych powierzchniach próbnych tzw. II fazy. Zmierzone 283 systematycznie rozmieszczone jednostki, w tym 267 w drzewostanach w wieku powyżej 20 lat, o wielkości zależnej od wieku drzewostanu (tab. 1).
2. Określenie współrzędnych środków powierzchni próbnych II fazy. Zastosowano metodę DGPS i skorzystano z danych ze stacji referencyjnej Wrocław.
3. Przygotowanie zdjęć lotniczych do pomiarów. Wykonano aerotriangulację stwarzając możliwość pomiarów współrzędnych XYZ w wybranym układzie odniesienia. Przygotowano numeryczny model terenu i nałożono sieci powierzchni próbnych według współrzędnych ich środków.
4. Zmierzenie cech na powierzchniach próbnych fotolotniczych tzw. II fazy, o wielkości takiej jak – w skali zdjęcia – wielkość powierzchni naziemnej i w miejscach, które odpowiadają położeniu prób naziemnych. Określono: **stopień pokrycia koron** wg wzorca Arbeitsgruppe FL (2003) z uwzględnieniem udziału ośmiu najważniejszych gatunków drzew (sosna, modrzew, świerk, dąb, buk, olsza, brzoza, inne liściaste); **wysokość górną** z trzech najwyższych drzew, obliczoną jako różnicę rzędnej terenu (z modelu rzeźby terenu) i współrzędnej Z wierzchołka drzewa; **zrewidowany wiek drzew** – dla drzewostanów różnowiekowych.
5. Obliczenie regresji – zależności między zasobnością na powierzchniach naziemnych, a cechami mierzonymi na powierzchniach fotolotniczych z wykorzystaniem funkcji kwadratowej (cechy oryginalne, ich kwadraty i iloczyny par cech).
6. Zmierzenie powierzchni próbnych I fazy (w liczbie 1980 – rozmieszczone systematycznie) i obliczenie końcowe z wykorzystaniem regresji (Loetsch i Haller 1964) łącznie z

oszacowaniem dokładności inwentaryzacji (Khan i Tripathi 1967). Obliczenia wykonano dla podstawowych jednostek (podklas wieku drzewostanów) i łącznie dla drzewostanów całego Obrębu Milicz.

## **Wyniki badania przydatności wykorzystania zdjęć lotniczych w taksacji lasu**

Na podstawie szczegółowego opisu dnia pracy taksatorów stwierdzono, że:

- do wykonania opisu drzewostanu taksatorzy korzystali z obrazu stereoskopowego ze zdjęć lotniczych w zakresie 1–7 razy (średnio 2,8 raza),
- zdjęcia lotnicze były wykorzystywane do zorientowania się, jakie jest położenie wyłączenia i jaki jest przebieg jego granic, w zakresie 0–4 razy (średnio 1,2 raza; 0 oznacza, że ocena położenia wydzielenia była połączona z opisem drzewostanu),
- istniały różnice w sprawności posługiwania się przez taksatorów zdjęciami lotniczymi i pokrywały się z ich ogólnym doświadczeniem w pracach terenowych,
- w przypadku znacznej liczby szczegółów na zdjęciu lotniczym, 2 z 5 taksatorów posługiwało się stereoskopem kieszonkowym w celu zwiększenia dokładności interpretacji tych szczegółów na modelu stereoskopowym (średnio w 11% wydzielen),
- nauka korzystania ze zdjęć lotniczych przebiegała najszybciej w wypadkach, gdy ćwiczenia były prowadzone na obiektach o średnim stopniu trudności – umożliwiało to poznanie korzyści z zastosowania zdjęć, a jednocześnie nie było obciążeniem wynikającym z nadmiaru problemów do rozwiązania; w drzewostanach o prostej budowie niewyszkoleni taksatorzy mieli tendencję, aby nie korzystać ze zdjęć i prowadzić taksację tradycyjnie,
- według ocen taksatorów, im teren i las były bardziej zróżnicowane i o skomplikowanej budowie, tym bardziej przydatne były zdjęcia,
- taksatorzy pozytywnie oceniali indywidualne szkolenie w trakcie nauki posługiwania się zdjęciami lotniczymi, wskazując, że obecność nauczającego: utrwala nawyk regularnego korzystania ze zdjęć, ułatwia przyswojenie umiejętności tworzenia modelu stereoskopowego bez użycia instrumentu, ułatwia dostrzeżenie szczegółów ważnych dla tworzenia granic wyłączeń i sporządzania ich opisów (informacja „czego szukać i jak to wygląda”),
- nadmierne wyposażenie taksatora w sprzęt i pomoce powodowały, że przestawał z niektórych z nich korzystać, co prowadzi do wniosku, że zdjęcia lotnicze powinny być tak zabezpieczone, aby nie uległy zniszczeniu, a jednocześnie były łatwo dostępne (najlepiej włożone w specjalne przezroczyste obwoluty zabezpieczające),
- osoby najchętniej korzystające z modelu stereoskopowego podkreślały, że skala zdjęć 1:8000 (z którą zetknęły się podczas szkolenia kameralnego) była lepsza od skali 1:10 000, ponieważ w tej większej skali możliwa była obserwacja „nieuzbrojonym okiem” wszystkich podstawowych detali.

Ogółem wykonanie opisów taksacyjnych drzewostanów Obrębu Milicz o powierzchni 7599 ha zajęło pięciu osobom 8 tygodni.

## Wyniki wykorzystania ortofotomapy do korekty i tworzenia map leśnych

Na terenie Obrębu Milicz w warstwie działek ewidencyjnych dokonano 47 zmian granic (66 działek), co stanowiło 12% liczby działek. Skorygowano granice użytków. Część granic działek ewidencyjnych, będąca jednocześnie granicą oddziałów, została usunięta (działki połączone) i na podstawie ortofotomapy wniesiono nowe granice oddziałów. Dotyczyło to miejsc o dużych rozbieżnościach w przebiegu granic oddziałów stwierdzonych na podstawie ortofotomapy.

Na podstawie ortofotomapy skorygowano, nie licząc nowo utworzonych, 576 pododdziałów o powierzchni 1843 ha, co stanowiło 22,4% oraz 616 elementów liniowych, co stanowiło 30,0% ich liczby.

Udział elementów skorygowanych wśród poszczególnych kategorii obiektów liniowych był zróżnicowany (tab. 2). Istniał związek między ważnością danej kategorii a udziałem miejsc wymagających korekty. W najmniejszym stopniu konieczna była korekta przebiegu dróg utwardzonych. Dalej była korekta linii podziału powierzchniowego, dróg leśnych, rowów, wizur, ścieżek i linii energetycznych.

**Tabela 2.** Wykorzystanie ortofotomapy do korekty przebiegu elementów liniowych na mapie leśnej w Obrębie Milicz – udział i długość elementów nowych lub skorygowanych

Element	Przebieg nowy lub w innym miejscu		Przebieg skorygowany		Długość całkowita
	udział [%]	długość [km]	udział [%]	długość [km]	długość [km]
Drogi utwardzone	22,4	6	8,6	2	26
Drogi leśne	16,0	77	12,6	61	481
Linie energetyczne	100	0,06			0,06
Linie podziału powierzchniowego	9,7	11			118
Rowy	19,5	34	17,7	31	175
Ścieżki	73,0	10	2,8	0,3	13
Wizury	53,7	57	4,6	5	106
<b>Razem elementy liniowe</b>	<b>21,2</b>	<b>195</b>	<b>10,8</b>	<b>99</b>	<b>920</b>

## Wyniki wykorzystania zdjęć lotniczych do pomiaru zapasu grubizny

Zmienność zasobności na powierzchniach próbnych naziemnych była wystarczająco dobrze objaśniana, jeżeli w modelu regresji wykorzystano: wysokość górną (kwadrat i sześcián, stwierdzono, że wskazane jest wykorzystanie sześciánu wysokości), kwadrat wieku, iloczyn stopnia pokrycia i kwadratu wysokości, iloczyn wysokości i wieku (współczynnik korelacji wielokrotnej  $R=0,804$ ). Zależność między wartościami rzeczywistymi a obliczonymi na podstawie równania miała charakter prostoliniowy, co wskazało na dobre dopasowanie i także na dobry dobór cech. Pewna część obserwacji miała charakter „odstających”. Wskazano 12 najbardziej znaczących. Odszukano te powierzchnie próbne w terenie, stwierdzono przyczyny odstawiania, usunięto błędy i wykonano ponowne pomiary.



Po ponownym obliczeniu regresji między zasobnością na powierzchniach próbnych naziemnych a cechami na fotolotniczych powierzchniach próbnych, współczynnik korelacji wielokrotnej zwiększył się do  $R=0,830$  (rys. 2). W poszczególnych podklasach wieku współczynnik korelacji prostoliniowej między tymi cechami przyjmował różne wartości – od 0,404 do 0,921 (tab. 1).

Średnia zasobność w podklasach wieku, obliczona z wykorzystaniem metody kombinowanej była zbliżona, a niekiedy bardzo podobna (rys. 3), do uzyskanej w metodzie stosowanej obecnie w urządzaniu lasu (Instrukcja UL, 2003). Nie stwierdzono istotności różnic wartości średnich, obliczonych w poszczególnych podklasach wieku z zastosowaniem obu metod. Należy zwrócić uwagę na fakt, że metoda urzędzeniowa jest także metodą reprezentacyjną, w której wynik jest oszacowany z pewnym błędem – może więc służyć do porównania, ale nie jako wzorzec.

Z wyjątkiem jednej podklasy wieku, w metodzie kombinowanej błąd oszacowania średniej zasobności był większy niż w metodzie urzędzeniowej. W poszczególnych podklasach wieku wahał się w granicach  $\pm 18$ – $55 \text{ m}^3/\text{ha}$  (przy poziomie istotności  $\alpha=0,05$ ). Jako błąd względny zawierał się w przedziale  $\pm 8,3$ – $15,5\%$ , przeciętnie  $\pm 11,4\%$ . Największe rozbieżności wyników między zasobnością obliczoną według metody kombinowanej a obliczoną według metody stosowanej obecnie w urządzaniu lasu, dotyczyły podklas wieku IIa, IIIb i VI. W tych jednostkach inwentaryzacyjnych wartość współczynnika korelacji prostoliniowej między zasobnością zmierzoną na ziemi a zasobnością obliczoną na powierzchniach fotolotniczych, była najmniejsza (tab. 1).

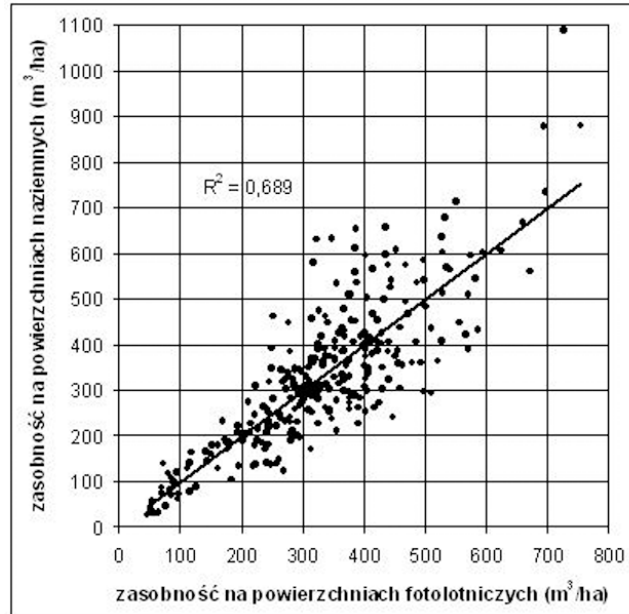
Oszacowano, że średnia zasobność drzewostanów Obrębu Milicz (w wieku powyżej 20 lat) po zsumowaniu wyników z poszczególnych podklas wieku wyniosła  $322,5 \pm 10,9 \text{ m}^3/\text{ha}$  (tj.  $\pm 3,4\%$ ). Był to wynik zbliżony do uzyskanego w metodzie urzędzeniowej, w której wyniósł  $326,8 \pm 8,1 \text{ m}^3/\text{ha}$  (tj.  $\pm 2,5\%$ ). Średnia zasobność obliczona metodą kombinowaną, ale bez podziału na podklasy wieku (przy przyjęciu jednej jednostki inwentaryzacyjnej „wszystkie drzewostany obrębu”) wyniosła  $327,9 \pm 12,4 \text{ m}^3/\text{ha}$  (tj.  $\pm 3,8\%$ ). Dla wszystkich drzewostanów (łącznie z I klasą wieku) zasobność według metody kombinowanej wyniosła  $282,7 \pm 9,6 \text{ m}^3/\text{ha}$ , a według urzędzeniowej  $286,5 \pm 7,1 \text{ m}^3/\text{ha}$ . Według metody kombinowanej zapas drzewostanów starszych niż 20 lat wyniósł w Obrębie Milicz  $2\ 149\ 178 \pm 72\ 615 \text{ m}^3$ . Według metody urzędzeniowej było to  $2\ 177\ 610 \pm 54\ 287 \text{ m}^3$ .

## Dyskusja

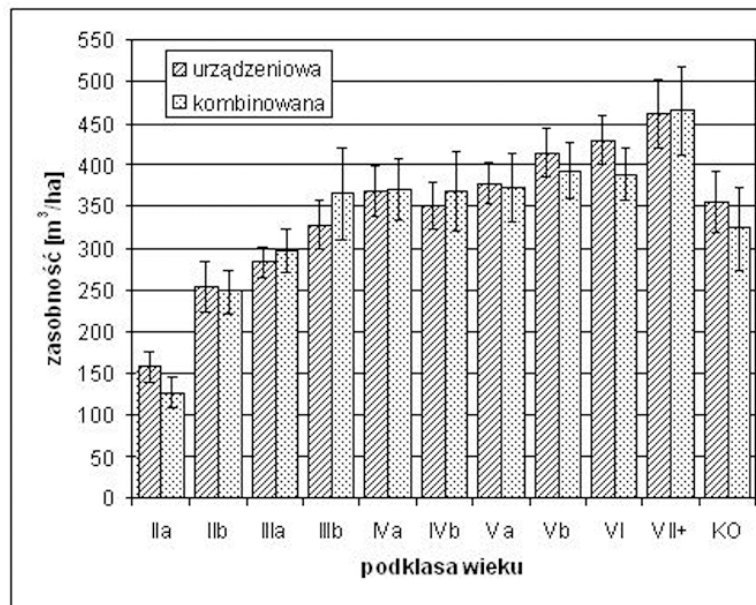
Znaczenie niniejszych badań może być rozpatrywane w dwóch aspektach. Pierwszy to zastosowanie zdjęć lotniczych do prac związanych z opracowaniem planu urzędzenia lasu całego obrębu leśnego. Drugi to przeprowadzenie eksperymentu o charakterze gospodarczym – przez wykorzystanie na wszystkich etapach pomiarów i obliczeń pracowników na co dzień zajmujących się pracami urzędzeniowymi.

Wykorzystanie zdjęć lotniczych do taksacji lasu zostało szybko zaakceptowane przez wykonawców prac terenowych. Po początkowych obawach, związanych z koniecznością noszenia i posługiwania się dodatkowymi materiałami (zdjęciami lotniczymi odpowiednio zabezpieczonymi) oraz sprzętem (stereoskop kieszonkowy), korzyści przeważały nad trudnościami.





Rys. 2. Zależność między zasobnością obliczoną na naziemnych powierzchniach próbnych a na powierzchniach fotolotniczych – wyniki obliczeń wykonanych po weryfikacji obserwacji odstających



Rys. 3. Średnia zasobność grubizny drzewostanów w podklasach wieku w Obrębie Milicz według inwentaryzacji kombinowanej z zastosowaniem zdjęć lotniczych i według inwentaryzacji urzędniowej (błędy oszacowania wartości średnich podano przy poziomie istotności  $\alpha=0,05$ )

Wykorzystanie w terenie zdjęć lotniczych było ułatwione przez to, że taksatorzy dysponowali ortofotomapą. Dzięki niej możliwe było szybkie przygotowanie się w dniu poprzedzającym do prac terenowych. Tylko w niektórych wypadkach konieczna była kameralna obserwacja stereoskopowa w celu wskazania istotnych szczegółów.

Liczba skorygowanych wydzieleni i elementów liniowych (ok. 30%) wskazuje na ile przydatne okazało się wykorzystanie zdjęć do taksacji i do korekty map leśnych. Jeżeli podobna sytuacja dotyczyłaby pozostałych nadleśnictw w Polsce (co jest prawdopodobne), to konieczne wydaje się zastosowanie zdjęć lotniczych i przeprowadzenie kompletnych pomiarów, tak jak to było wykonane podczas definitywnego urządzania lasu w latach 1957–1968. Dzięki temu możliwe byłoby usunięcie błędów na mapach, które są rezultatem nawarstwiania się pomyłek popełnionych podczas przygotowywania w przeszłości kolejnych opracowań urzędzeniowych.

Mimo że, w Obrębie Milicz udział drzewostanów sosnowych jest zbliżony do przeciętnego w Lasach Państwowych, to przeprowadzenie inwentaryzacji drzewostanów całego obrębu wiązało się z pewnymi problemami. Polegały one na tym, że podczas pomiarów i interpretacji zdjęć lotniczych konieczne było uwzględnienie innych, dość licznych gatunków panujących – przede wszystkim dębu, buka, olszy i brzozy – ale także gatunków mniej licznych. Ponadto pomiary obejmowały całe spektrum wieku drzewostanów. W tej sytuacji należało się liczyć z faktem, że korelacja między zasobnością obliczoną na naziemnych stałych powierzchniach próbnych a obliczoną na podstawie cech fotolotniczych, mogła być niezbyt silna. Okazało się, że dla danych z całego obrębu (łącznie z drzewostanami w wieku 16–20 lat) wynosiła  $R=0,830$ , a dla drzewostanów w wieku powyżej 20 lat  $R=0,802$ , a więc była to wartość dość duża. Wprawdzie w literaturze (Stellingwerf, 1962; Bogyay, 1970; Schade, 1980; Akça i in., 1996) były podawane przykłady silniejszej zależności (w granicach od 0,77 nawet do 0,96), ale dotyczyły one drzewostanów z tym samym gatunkiem panującym.

Bardzo ważna dla badań była możliwość dokonania porównania wyników inwentaryzacji metodą kombinowaną z zastosowaniem zdjęć lotniczych, z wynikami inwentaryzacji przeprowadzonej według metody przyjętej w Instrukcji UL (2003). Zarówno dla podklas wieku, jak i dla całego obrębu różnice oszacowania zapasu pomiędzy obiema metodami były niewielkie. Oznacza to, że przy odpowiedniej liczbie powierzchni próbnych naziemnych i fotolotniczych można osiągnąć wyniki tak samo przydatne jak w metodzie stosowanej w urządzaniu lasu na szerokiej skali.

Przyjmując, że relacja kosztów pomiaru powierzchni fotolotniczej do powierzchni naziemnej wynosi 1:10, a współczynnik korelacji między zasobnością na powierzchniach próbnych naziemnych a fotolotniczych  $R=0,868$  (po uwzględnieniu podziału populacji próbnej na mniejsze jednostki – tu na podklasy wieku), aby uzyskać taką samą – jak w metodzie urzędzeniowej naziemnej – dokładność pomiaru zapasu, należałoby według optymalizacji Loetscha i Hallera (1964) zmierzyć 2582 prób fotolotniczych i 467 prób naziemnych. Przyjmując, że pomiar jednej naziemnej (stałej) powierzchni próbnej kosztuje 151,7 zł, a za Hildebrandtem (1996), że przy stosowaniu zdjęć lotniczych koszt taksacji lasu zmniejsza się do 50%, łączny koszt terenowych prac urzędzeniowych oraz wykonania i przygotowania zdjęć lotniczych wyniósłby około 225 tys. zł. Byłoby to zaledwie o 5 tys. więcej od szacowanego kosztu taksacji lasu i pomiaru zapasu wykonanych tradycyjnie – bez wykorzystania zdjęć lotniczych.

Pozostaje jeszcze jeden aspekt bardzo trudny do ujęcia finansowego – jakość prac. Nie tylko na podstawie literatury, ale także na podstawie niniejszych badań można wskazać, że zastosowanie zdjęć lotniczych przyczynia się do zwiększenia dokładności taksacji, zwiększa

szansę usunięcia błędów przebiegu granic wydzielen wyłączeń i elementów liniowych. Jednocześnie zdjęcia umożliwiają zarejestrowanie w jednym czasie stanu dużego obszaru leśnego. Taki materiał może mieć duże znaczenie dla porównań dokonywanych w przyszłości. Zaletą kombinowanej metody inwentaryzacji zapasu grubizny jest mniejszy (w stosunku do dotychczasowych metod naziemnych) udział prac terenowych na rzecz prac kameralnych.

## Podsumowanie

1. Przy obecnych cenach usług fotolotniczych, zastosowanie zdjęć lotniczych do taksacji i inwentaryzacji lasu w niewielkim stopniu zmienia koszt prac urzędniowych.
2. Istotną korzyścią z zastosowania zdjęć lotniczych, którą trudno wyrazić w kategoriach finansowych, jest zwiększenie dokładności opracowań urzędniowych.
3. Osiągnięcie tych korzyści jest możliwe tylko wtedy, kiedy ww. materiałami będzie się posługiwać odpowiednio przeszkolony i zorganizowany zespół wykonawców.

## Literatura

- Akça A., Beisch T., Eilermann F., 1996: Two-phased sampling method using regression estimators and small-scale aerial IR-photographs in volume and increment estimation Proc. Symp. Remote Sensing and Computer Technology for Natural Resource Assessment, IUFRO S 4.02-00, Tampere 1995, pp. 255-264.
- Arbeitsgruppe Forstlicher Luftbildinterpreten (AFL), 2003: Luftbildinterpretationsschlüssel – Bestimmungsschlüssel für die Beschreibung von strukturreichen Waldbeständen im Color-Infrarot-Luftbild. Landesforstpräsidium Sachsen, Pirna, 48 p.
- Bogyay J., 1970: Möglichkeiten für die Verwendung von Luftbildern bei der Vorratsaufnahme von ungarischen Kiefernwäldern. I. *Archives of Photogrammetry* XVIII – 7, pp. 229-241.
- Hildebrandt G., 1996: Fernerkundung und Luftbildmessung. Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, 676 p.
- Instrukcja Urządzenia Lasu, 2003: Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa.
- Khan S., Tripathi T.P., 1967: The use of multivariate auxiliary information in double-sampling. *Journal of Indian Statistical Association* 5, pp. 42-48.
- Loetsch F., Haller K.E., 1964: Forest inventory. BLV Verlagsgesellschaft München, Basel, Wien, 436 p.
- Miścicki S. (red.), 2000: Kombinowana dwufazowa inwentaryzacja lasów nizinnych z wykorzystaniem zdjęć lotniczych i stałych-kontrolnych powierzchni próbnych. Fundacja „Rozwój SGGW”, Warszawa, 99 s.
- Schade J., 1980: Ein mehrphasiges Stichprobensystem für forstliche Großrauminventuren, gestützt auf Landsat MSS-Daten, Luftbilder 1:50 000 und ergänzende terrestrische Messungen. Diss. Univ. Freiburg, 130 p.
- Stellingwerf D.A., 1962: Holzmassenbestimmung von *Pinus silvestris* aus Luftbildern in den Niederlanden. *AFZ*, 17, pp. 29-30.

## Abstract

*The following aims were put forward: (1) to get to know the practical aspect of application of aerial photos to forest inventory (individual range of their application by forest assessors), (2) to get to know the range of corrections of inventory results in consequence of orthophotomap application, (3) to conduct a measurement of growing stock volume of stands within the whole district using combined double-phased method of forest inventory. Colour infrared sensitized aerial photographs in 1:10 000 scale were used together with orthophotomap in 1:5000 scale.*

*The knowledge of practical aspects of application of aerial photos in forest inventory (first stage) was realized by carrying out "photos" of the a workday of individual workers using colour paper reprints*

*of aerial photographs. An observer accompanying assessor during his work carried out the record of actions related to the usage of aerial photographs in the forest. The frequency of supporting the inventory with the picture from aerial photos was registered. It was also identified in solving of what kind of problems the aerial photographs were used. All assessors used aerial photographs with the frequency dependent on the degree of complexity of the stand and terrain. Therefore, the following assessment was made: aerial photographs are particularly useful in inventory of complex parts of the forest. The individual training and the possibility of ongoing consultation during the initial phase of using of photographs were positively evaluated by assessors.*

*In order to get to know the range of corrections of the inventory results in consequence of the use of orthophotomap (second stage), the results of the updated inventory and boundaries of all registered parcels and subcompartments located on the maps from the previous management period were brought onto the map. Comparing the new situation with the situation on the previous forest map enabled to demonstrate errors. It was calculated that corrections were necessary in 22% of the subcompartments. In case of linear objects, the percentage was higher (30%) and all types of elements required corrections. It was concluded that the orthophotomap enables easy correction of these elements, which location doesn't need to be very precise (e.g. stand's boundaries). If high accuracy is required, determination of the location of elements should be realized by using a digital photogrammetry station.*

*In order to measure the volume of the stand's growing stock with the use of combined double phased method of stocktaking applying aerial photographs (third stage), 283 sample plots were measured (including 267 plots located in the stands of more than 20 years of age). Depending on the age of stands, the size of plots varied from 200 to 500 m<sup>2</sup>. The volume of merchantable timber was calculated on each sample plot. Using the DGPS method, the coordinates of plot centers were defined. These coordinates enabled – using digital photogrammetry station – to indicate location of the sample plots on stereoscopic model. On these sample plots (called photoaerial plots) the following measurements were conducted: the evaluation of the crown coverage of the stands area (model applied), estimation of the share of particular species in species composition (eight the most important species were identified), heights measurement of the three highest trees, verification of the trees age.*

*On 283 ground sample plots (called second-phase samples) the relation between growing stock volume and stand's characteristics on the photoaerial sample plots was calculated (correlation ratio  $R=0,83$ ). 1980 photoaerial sample plots were used as first-phase samples. Mean growing stock volume of stands in particular age subclasses and volume of the whole district were calculated. The obtained result did not vary significantly from the result of the inventory carried out in traditional way according to the rules accepted in Forest Management Manual from 2003 regarding mean values and estimation errors. It was estimated that with comprehensive usage of aerial photographs (in inventory, elaboration of maps, volume stocktaking) the working cost of management may be close to the cost of work carried out in traditional way. The calculation does not take into account advantages arising from the increase of accuracy of the management elaborations.*

mgr inż. Janusz Bańkowski  
Janusz.Bankowski@brzeg.buligl.pl

prof. dr hab. inż. Stanisław Miścicki  
stanislaw\_miscicki@sggw.pl  
tel. + 48 22 593 82 08