

Zastosowanie zdjęć lotniczych do badania sukcesji wtórnej na polanach śródleśnych

The use of aerial photographs in the study of secondary succession in forest clearings

Maciej LIGOCKI

This paper proposes a method for analyzing secondary succession changes on interforestial glades. Aerial photography and field study are data sources for GIS software. Archival aerial photography allow to reconstruct the glades vegetation in recent decades. The pictures were interpreted basing on the environmental knowledge from the field study and literature — plant cover and land use forms were divided into 6 classes. Then the situation was scanned and rectified due to different scale and

direction of the flight for pictures taken in particular terms. The GIS layers were created for each surveyed glades and for each photography date. Spatial analysis returned the direction and the area of the changes. They also were used to create the maps of vegetation dynamics.

The method can help to determine the rate of decrease of the unique semi-natural glade habitats, work out protection methods for them and monitor the effects of the protection.

Wstęp

Zmiany sukcesyjne zbiorowisk roślinnych można badać na wiele sposobów. Tradycyjnie celowi temu służą stałe powierzchnie zdjęć fitosocjologicznych, na których w określonych odstępach czasu inwentaryzowana jest roślinność zarówno pod względem jakościowym (występowanie poszczególnych gatunków), jak i ilościowym (ich pozycja i rola w zbiorowisku). Dane zebrane w ten sposób, lub przez inwentaryzacje na transektach czy próbnym powierzchniach statystycznych, służą do kameralnych opracowań umożliwiających identyfikację zespołu roślinnego lub wyższej jednostki fitosocjologicznej. Służą także do określania zmian i tendencji rozwojowych zachodzących w danym środowisku. Metoda ta ma jednak istotne wady: jest czasochłonna, pracochłonna i nie umożliwia „cofnięcia się” w czasie.

Zdjęcia lotnicze były dotychczas wykorzystywane dla potrzeb fitosocjologii w niewystarczający sposób. Często stanowiły tylko orientacyjny podkład pod prowadzone innymi metodami badania, nie wykorzystywano też możliwości ilościowego badania zmian.

Dlaczego zdjęcia lotnicze?

Główne zalety danych teledetekcyjnych w porównaniu z naziemnymi obserwacjami i inwentaryzacjami to:

- pełne pokrycie terenu, trudne do zapewnienia lub bardzo kosztowne tradycyjnymi metodami;
- możliwość uzyskiwania danych z tego samego terenu w krótkich odstępach czasu (zwłaszcza danych satelitarnych);
- zbieranie danych nie tylko w widzialnym zakresie promieniowania;
- niewielki koszt danych w porównaniu z tradycyjnymi badaniami.

Dane teledetekcyjne mające stanowić alternatywę lub uzupełnienie inwentaryzacji terenowych na potrzeby analizy zmian sukcesyjnych powinny spełniać następujące kryteria:

- obrazować rejestrację promieniowania w zakresach umożliwiających najbardziej szczegółowe rozróżnianie interesujących nas obiektów;
- zapewniać jak największą rozdzielczość terenu;

— zapewniać dostęp do jak najstarszych danych archiwalnych.

Biorąc pod uwagę te kryteria, należy rozważyć trzy źródła danych: obrazy satelitarne, wideografię lotniczą i fotografię lotniczą. Niestety postulaty drugi i trzeci w przypadku danych satelitarnych okazują się sprzeczne, gdyż wcześniejsze satelity wyposażone były w mniej doskonałe urządzenia rejestrujące — na przykład satelita LANDSAT-1 1972 z roku dostarcza danych o rozdzielczości terenowej 79 m, czyli uśredniane dane pobierane z 62 arów powierzchni. Przy wielkoobszarowych badaniach dane te są tańsze od fotografii lotniczych. Rozmiar jednej sceny wynosi zazwyczaj kilkadziesiąt do kilkuset tysięcy km², a jej cena kształtuje się od kilkuset do kilku tysięcy euro.

Wideografia lotnicza w Polsce nie wyszła poza fazę badań naukowych i eksperymentów i dlatego pomimo potencjalnie dużej przydatności trudno jest ją oceniać. Jako stosunkowo nowa technika nie umożliwia dostępu do danych sprzed kilkadziesiąt lat, jak czynią to zdjęcia lotnicze.

Zdjęcia lotnicze są w Polsce od II wojny światowej wykonywane okresowo w celach kartograficznych. Obecnie są one udostępniane w cenie kosztów reprodukcji przez Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Warszawie. Dodatkowo dla obszarów ziem odzyskanych dostępne są w archiwach niemieckich fotogrametryczne, panchromatyczne zdjęcia lotnicze wykonane w latach 1940–1941. Zaletą zdjęć w postaci analogowej jest możliwość ich interpretacji na prostym sprzęcie optycznym. Ze zdjęć lotniczych można w łatwy i szybki sposób otrzymać model stereoskopowy, a metody fotogrametryczne pozwalają odtworzyć wymiary terenowe obiektu. Do wad można zaliczyć uzależnienie wyników rejestracji od pogody, ograniczoną możliwość rejestracji widma (tylko pewne zakresy 0,35–0,90 mm, na które można uczulić emulsję), trudność przesyłu analogowej formy da-

nych i konieczność oczekiwania na fotochemiczną obróbkę, która może być długotrwała.

Archiwalne zdjęcia lotnicze z różnych okresów różnią się między sobą wieloma parametrami i nie były wykonywane w celu badania roślinności. Mimo to można na nich dokonywać interpretacji treści i pomiarów dotyczących szaty roślinnej. Zaletą zdjęć lotniczych jest pełne pokrycie badanego terenu, niewielki koszt otrzymania informacji oraz możliwość badania stanu interesującego nas obiektu nawet sprzed kilkadziesiąt lat.

Mimo ciągłego rozwoju technik satelitarnych zdjęcia lotnicze są nadal najłatwiej dostępnym, najbardziej szczegółowym i najtańszym źródłem danych teledetekcyjnych. Dlatego są one najlepszym źródłem danych teledetekcyjnych do badań sukcesyjnych na polanach śródleśnych.

Propozycja metody badania zmian sukcesyjnych

Wykorzystany sprzęt i materiały

I. Mapy:

1. Mapy topograficzne w skali 1:50 000, arkusze N-34-137-D i N-34-137-C, układ współrzędnych 1942:
 - Sztab Generalny Wojska Polskiego, 1958,
 - Główny Geodeta Kraju, 1996.
2. *Bolimowski Park Krajobrazowy. Mapa turystyczno-krajoznawcza*. Wydawnictwo GEA, Warszawa, 1996.
3. *Mapa topograficzna Bolimowskiego Parku Krajobrazowego w skali 1:10 000*, układ współrzędnych 1965.

II. Wykorzystane zdjęcia lotnicze (tab. 1)

III. Sprzęt:

- Interpretoskop C.
- Programy komputerowe: ESRI ArcView 3.1, ArcInfo, i inne.
- Sprzęt komputerowy klasy PC i skaner płaski.

Tabela 1.

Charakterystyka wykorzystanych zdjęć lotniczych

Characteristics of aerial photographs used

Termin wykonania <i>Time obtained</i>	Wrzesień 1957 <i>September 1957</i>	Październik 1964 <i>October 1964</i>	Czerwiec 1973 <i>June 1973</i>	Maj 1980 <i>May 1980</i>	Czerwiec 1997 <i>June 1997</i>
Rodzaj materiałów <i>Type of materials</i>	panchromatyczne <i>panchromatic</i>	panchromatyczne <i>panchromatic</i>	panchromatyczne <i>panchromatic</i>	panchromatyczne <i>panchromatic</i>	barwne <i>colour</i>
Format zdjęć (cm) <i>Plate format</i>	18 × 18	18 × 18	23 × 23	23 × 23	23 × 23
Ogniskowa kamery (mm) <i>Camera focal length</i>	208,95	209,75	152,00	153,04	153,36
Wysokość lotu (m) <i>Flight altitude</i>	2100	3600	4000	4800	4100
Pokrycie w szeregu (%) <i>Cover in series</i>	> 60	> 60	> 60	> 60	> 60
Przybliżona skala <i>Approx. scale</i>	1:10 000	1:18 000	1:26 000	1:30 000	1:26 000
Kierunek nalogu <i>Direction of flight</i>	W-E	W-E	S-N	W-E	S-N

Metodyka badań terenowych

Badania terenowe polegały na eksploracji polan i identyfikacji obiektów odfotografowanych na zdjęciach lotniczych. Zdjęcia w barwach naturalnych z 1997 roku przyjęto jako obrazujące stan zbliżony do aktualnego. Odwiedzono obiekty sprawiające trudność przy interpretacji i wykonano dokumentację fotograficzną. Zebrane w ten sposób informacje posłużyły do opracowania klucza fotointerpretacyjnego.

Metodyka badań kameralnych

Na podstawie posiadanych informacji merytorycznych dotyczących zbiorowisk polan Puszczy Bolimowskiej z badań terenowych i literatury dokonano fotointerpretacji zdjęć lotniczych na Interpretoskopie C. Umożliwia on obserwację stereoskopową pary zdjęć oraz uzyskanie powiększenia od 2 do 15 razy. Zdjęcia ze wszystkich okresów zapewniały pokrycie terenu wystarczające do obserwacji w trzech wymiarach. Założono, że wszystkie zdjęcia lotnicze to tzw. zdjęcia normalne, czyli pozbawione zniekształceń z tytułu odchylenia kamery od pionu i z tytułu zróżnicowania rzeźby terenu (deniwelacja w obrębie największej polany nie osiąga 1 m). Niektóre polany odfotografowane były zarówno na zdjęciach z 1980 jak i 1973 roku; w tym wypadku wykorzystano zdjęcia z 1973 roku ze względu na lepszą jakość techniczną. W wyniku fotointerpretacji powstały kalki fotointerpretacyjne. Na kalki przeniesiono informację dotyczącą zasięgu poszczególnych grup zbiorowisk i sytuację topograficzną, umożliwiającą późniejszą rektyfikację kalek. Ponieważ przydatność interpretacyjna zdjęć z poszczególnych okresów była różna, aby umożliwić porównywanie danych z różnych okresów, zgeneralizowano informację i zakwalifikowano poszczególne fragmenty polan do jednej z wymienionych niżej kategorii.

Zbiorowiska leśne

Zakwalifikowano tu wszystkie fazy rozwojowe drzewostanów gospodarczych, od uprawy do drzewostanu dojrzałego, a także lasy powstałe samoistnie w wyniku zmian sukcesyjnych. Cechami rozpoznawczymi były:

— na zdjęciach panchromatycznych: ciemny fototon, struktura ziarnista, tekstura zbita, obecność cienia rzucanego na granicy z polem lub łąką. Uprawy charakteryzowały się jasnym fototonem, strukturą drobnoziarnistą i paskowaną teksturą;

— na zdjęciach w barwach naturalnych: barwa od jasnozielonej (uprawy) do ciemnozielonej (dojrzałe drzewostany), struktura drobnoziarnista i ziarnista, tekstura zbita.

Zbiorowiska polan

Zakwalifikowano tu zbiorowiska ziołorośli, łąk, pastwisk, turzycowisk i torfowisk, najcenniejsze z przy-

rodniczego punktu widzenia. Chociaż na zdjęciach z lat 1957 i 1964 w skali 1:10 000 i 1:18 000 istnieje możliwość bardziej szczegółowego ich rozróżnienia (dobrze widać na przykład niektóre turzycowiska), to ze względu na możliwość przeprowadzenia porównań z pozostałymi latami (1973, 1980, 1997), dla których informacje otrzymane ze zdjęć nie są tak szczegółowe, zdecydowano sprowadzić je do „najmniejszego wspólnego mianownika” i nie rozróżniać poszczególnych typów zbiorowisk w obrębie otwartej przestrzeni polany. Cechy rozpoznawcze:

— na zdjęciach panchromatycznych: fototon od jasnego do ciemnego (miejsca wilgotniejsze), struktura od drobnoziarnistej do amorficznej, tekstura regularna (paski łąk kośnych różnej własności) do kłębiastej, obecność kop siana;

— na zdjęciach w barwach naturalnych: barwa jasnozielona, ciemniejsza w przypadku stagnowania wody powierzchniowej i w miejscach silnie uwilgotnionych, tekstura i struktura jak wyżej.

Zbiorowiska zaroślowe

Zakwalifikowano tu głównie jedne z najbardziej ekspansywnych zespołów roślinnych polan, łożowiska *Salicetum pentadro-cinereae* i *Salicetum auritae*, a także wczesne stadia sukcesyjne zbiorowisk leśnych. Cechy rozpoznawcze:

— na zdjęciach panchromatycznych: fototon szary i jasnoszary, brak cienia rzucanego, struktura gąbczasta;

— na zdjęciach w barwach naturalnych: barwa jasnozielona, pozostałe cechy jak wyżej.

Grunty rolne

Zakwalifikowano tu uprawy rolne i intensywnie użytkowane, nawożone i przeorywane łąki, o ujednoliconym składzie gatunkowym, w którym dominują trawy sztucznie wyselekcjonowane. Cechy rozpoznawcze:

— na zdjęciach panchromatycznych: fototon od bardzo jasnego, niemal białego, do ciemnoszarego, widoczna mozaika różnych rodzajów upraw, tekstura pasowa, struktura amorficzna;

— na zdjęciach w barwach naturalnych: barwa od jasnobrązowej przez żółtą do jasnozielonej, pozostałe cechy jak wyżej.

Zabudowania

Jedyny obiekt w tej kategorii to gajówka „Siwica” znajdująca się na skraju polany o tej samej nazwie. Cechy rozpoznawcze:

— na obu typach zdjęć widoczne elementy budynków i ogrodzeń, jasny fototon dachów, obecność dróg dojazdowych.

Wody

Zakwalifikowano tu zbiorniki potorfowe na pola-

nie Siwica, rowy i niewielkie oczko na polanie Topieliska. Cechy rozpoznawcze:

— rowy — elementy liniowe, często z rzędem drzew wyrosłych wzdłuż rowu, gdzieś widoczna wypukłość wału wybranej z rowu ziemi,

— wody — na zdjęciach panchromatycznych foton niemal czarny, struktura amorficzna. Na zdjęciach w barwach naturalnych barwa bardzo ciemnozielona, pozostałe cechy jak wyżej.

Podczas fotointerpretacji wykorzystano także wielkość obiektów oraz cechy pośrednie, takie jak ich wzajemne położenie oraz strukturę własności i użytkowania danego obiektu. Obserwacja stereoskopowa umożliwiła uwzględnienie wysokości interpretowanych obiektów, jej zróżnicowania w obrębie płatu roślinności i różnic między sąsiednimi grupami.

Kalki fotointerpretacyjne zeskanowano na skanerze płaskim i przeniesiono do programu ArcView, gdzie dokonano transformacji na format „grid”. ArcView za pomocą rozszerzeń *Spatial Analyst* i *Grid Tools* umożliwia rektyfikację plików graficznych zapisanych w tym formacie. Rektyfikację wykonano na podstawie współrzędnych odczytanych z dokładnością do 1 m za pomocą suwmiarki z mapy topograficznej w skali 1:10 000, wykonanej w układzie współrzędnych 1965. Zrektyfikowane obrazy zeskanowanych kalek cechują się jednakową skalą (1:10 000) i są zorientowane w przestrzeni, co umożliwia ich porównanie.

Na tak przygotowanych plikach rastrowych przeprowadzono ręczną wektoryzację. W jej wyniku otrzymano poligonową warstwę zbiorowisk roślinnych, według przedstawionych powyżej kategorii, liniową warstwę dróg i liniową warstwę rowów dla każdej z polan i każdego z trzech okresów, dla jakich dostępne są archiwalne zdjęcia lotnicze. Poligonowe warstwy

roślinności przeniesiono do programu ArcInfo, w którym dokonano transformacji pliku typu *shape* (ArcView) na format ArcInfo i przekształcono warstwy w posiadające topologiczny model danych. Tak przygotowane pliki posłużyły do kompozycji map tematycznych przedstawiających dystrybucję przestrzenną zachodzących zmian i do analiz przestrzennych w programie ArcView. Mapy dynamiki roślinności utworzono za pomocą rozszerzenia „kreator funkcji analitycznych”. Wykorzystano analizy pionowe (część wspólna — *intersect*) i poziome (łączenie — *dissolve*).

Do obliczenia tempa zmian sukcesyjnych przyjęto daty 1957, 1980 i 1997. Zdjęcia z lat 1964 i 1973 posłużyły do zebrania informacji o mniejszej liczbie polan. Dla dwóch najcenniejszych pod względem florystycznym polan wykonano po cztery mapy — stan w poszczególnych latach i mapę dynamiki zbiorowisk roślinnych według nomenklatury Falińskiego (Faliński, 1991). Niejasna geneza pozostałych polan (antropogenna czy naturalna) nie pozwala jednoznacznie zakwalifikować zmian na nich zachodzących do sukcesji wtórnej lub pierwotnej. Dla pozostałych polan sporządzono mapy najlepiej charakteryzujące zachodzące na nich zmiany. Ze względu na ograniczoną objętość publikacji przedstawiono tu jedynie mapy z polany Strożyska, jednej z najciekawszych pod względem przyrodniczym (ryc. 1–4).

Sukcesja na polanach Puszczy Bolimowskiej

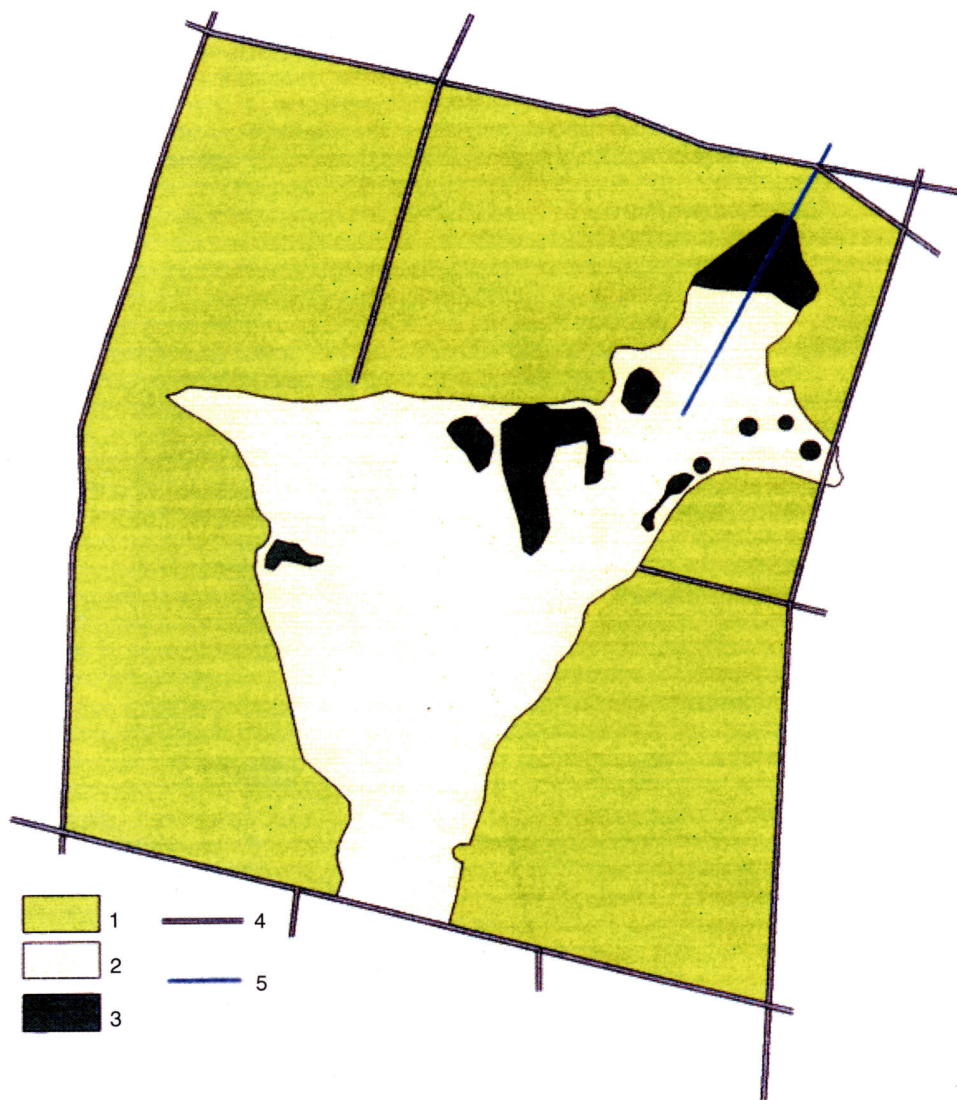
W rezultacie przeprowadzonych badań terenowych, fotointerpretacji i opracowań informatycznych uzyskano obraz zmian sukcesyjnych na badanych polanach Puszczy Bolimowskiej. Ogólna powierzchnia polan w latach 1957–1997 malała (tab. 2). Tempo zmian było większe w drugim okresie (1980–1997).

Tabela 2.

Powierzchnia poszczególnych grup zbiorowisk na sześciu polanach Puszczy Bolimowskiej w latach 1957–1997
The area of the plant communities groups on the six glades in the Bolimów Forest 1957–1997

Zbiorowiska <i>Communities</i>	Powierzchnia 1957 <i>Area 1957</i>	Zmiany 1957–1980 <i>Changes 1957–1980</i>		Powierzchnia 1980 <i>Area 1980</i>	Zmiany 1980–1997 <i>Changes 1980–1997</i>		Powierzchnia 1997 <i>Area 1997</i>	Zmiany 1957–1997 <i>Changes 1957–1997</i>	
	ha	ha	%	ha	ha	%	ha	ha	%
Leśne <i>Forest</i>	461,4	81,8	18	543,2	42,0	8	585,2	123,8	27
Polany <i>Clearings</i>	175,2	-36,8	-21	138,4	-52,0	-38	86,4	-88,8	-51
Zarośla <i>Scrub</i>	28,9	0,6	2	29,5	25,1	85	54,6	25,7	89
Grunty rolne <i>Agricultural land</i>	82,1	-45,6	-55	36,5	-15,3	-42	21,2	-60,9	-74
Wodne <i>Waters</i>	3,3	0,0	0	3,3	0,3	9	3,5	0,3	6

Podana w zestawieniach powierzchnia zbiorowisk leśnych nie jest powierzchnią ściśle odnoszącą się do polany, ale uwzględnia także jej otoczenie wzięte pod uwagę w badaniach. Zmiany powierzchni zajmowanej przez zbiorowiska leśne dotyczą bezpośrednio wkraczania zbiorowisk leśnych na polanę. Powierzchnie otrzymane dla poszczególnych płatów zbiorowisk z topologicznego modelu danych ArcInfo zaokrąglono do 0,1 ha.



Ryc. 1. Roślinność polany Strożyska w 1957 r.: 1 — zbiorowiska leśne, 2 — zbiorowiska polan, 3 — zbiorowiska zaroślowe, 4 — drogi, 5 — rów (skala 1:10 000)

Fig. 1. The vegetation of the Strożyska Clearing in 1957: 1—forest communities, 2—clearing communities, 3—scrub communities, 4—roads, 5—ditch (scale 1:10 000)

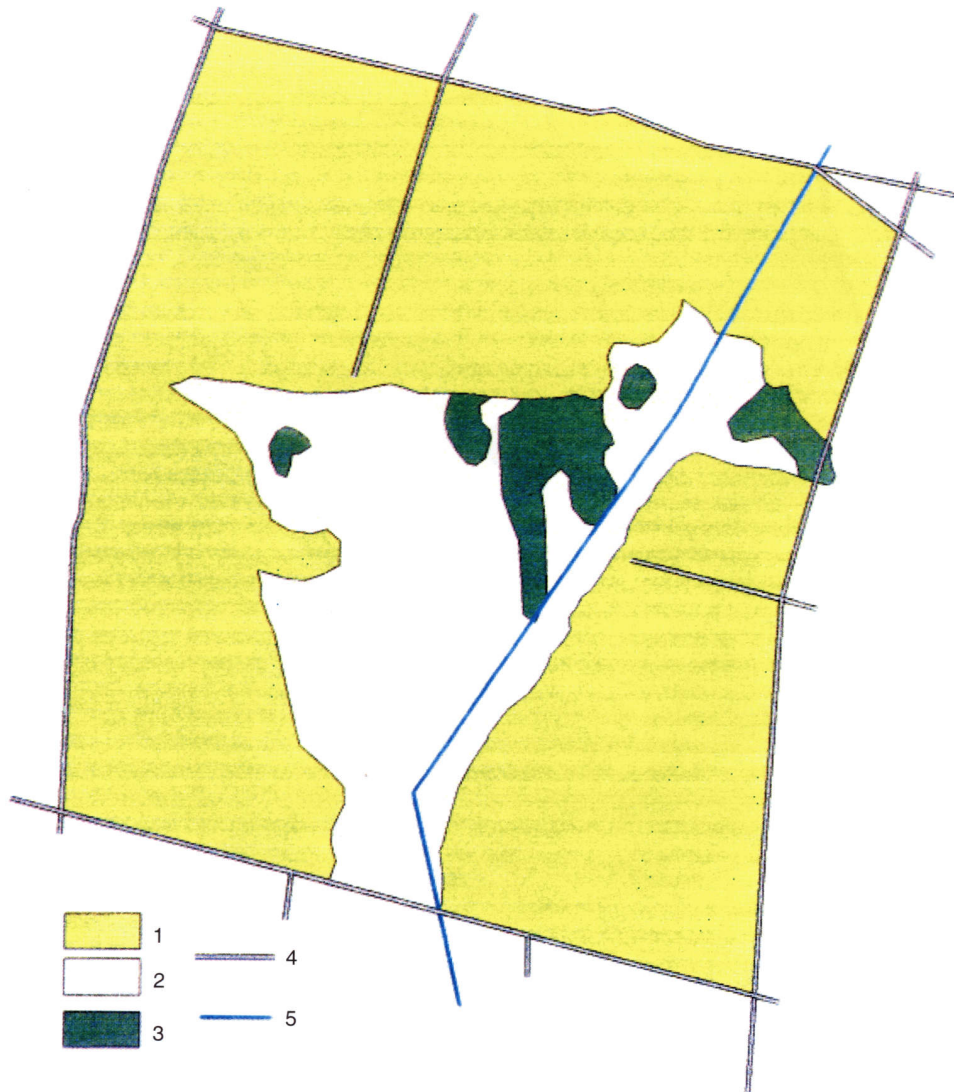
W okresie 1957–1980 powierzchnia zbiorowisk polan kurczyła się przeciętnie o 1,6 ha rocznie, a w latach 1980–1997 średnie tempo regresji wzrosło do 3,1 ha rocznie. W całym czterdziestoletnim okresie rocznie ubywało przeciętnie 2,2 ha tych cennych zbiorowisk, w sumie inne zbiorowiska opanowały 88,8 ha terenów zajętych w 1957 roku przez zbiorowiska polan. Tempo regresji turzycowisk, szuwarów, torfowisk i innych zbiorowisk zajmujących nie porośniętą drzewami i krzewami przestrzeń polan było różne. Przypadek polany Kierz, na której powierzchnia zbiorowisk polan stanowiła w 1997 roku zaledwie 30% stanu z roku 1957 pokazuje, że zmiany sukcesyjne zachodzą tu stosunkowo szybko i odwodniona polana może zarosnąć w ciągu kilkudziesięciu lat. Sukcesja następuje najczęściej według schematu zbiorowiska polan–zbiorowiska zaroślowe–zbiorowiska leśne, chociaż występują także odmienne scenariusze.

Zbiorowiska leśne zwiększały swój areal. W pierw-

szym okresie rocznie na polanach przybywało średnio 3,5 ha lasu, co związane jest z intensywnymi zalesieniami prowadzonymi w tym okresie. W następnym okresie tempo to spadło do 2,6 ha rocznie. W sumie w latach 1957–1997 lasy zajęły ponad 123 ha terenów, uprzednio porośniętych roślinnością polan lub użytkowanych rolniczo.

W pierwszym okresie powierzchnia zajmowana przez zbiorowiska zaroślowe nie ulegała dużym zmianom, okres drugi to wzrost dynamiki tych zbiorowisk i średnio 1,5 ha rocznie zdobywanej przez nie powierzchni. Największą dynamiką zbiorowiska te charakteryzują się na dwu największych i najcenniejszych florystycznie polanach — Strożyska i Siwica, gdzie opanowały już 1/5 powierzchni.

Powierzchnia obszarów użytkowanych rolniczo malała, zwłaszcza w pierwszym okresie, średnio o 2,0 ha rocznie, w okresie drugim tempo zmian spadło do 0,9 ha/rok. Zmiany te warunkowane są czynni-



Ryc. 2. Roślinność polany Strożyska w 1980 r.: 1 — zbiorowiska leśne, 2 — zbiorowiska polan, 3 — zbiorowiska zaroślowe, 4 — drogi, 5 — rów (skala 1:10 000)

Fig. 2. The vegetation of the Strożyska Clearing in 1980: 1 — forest communities, 2 — clearing communities, 3 — scrub communities, 4 — roads, 5 — ditch (scale 1:10 000)

kami gospodarczymi i spadkiem opłacalności produkcji rolnej, zwłaszcza na gruntach o niskiej bonitacji.

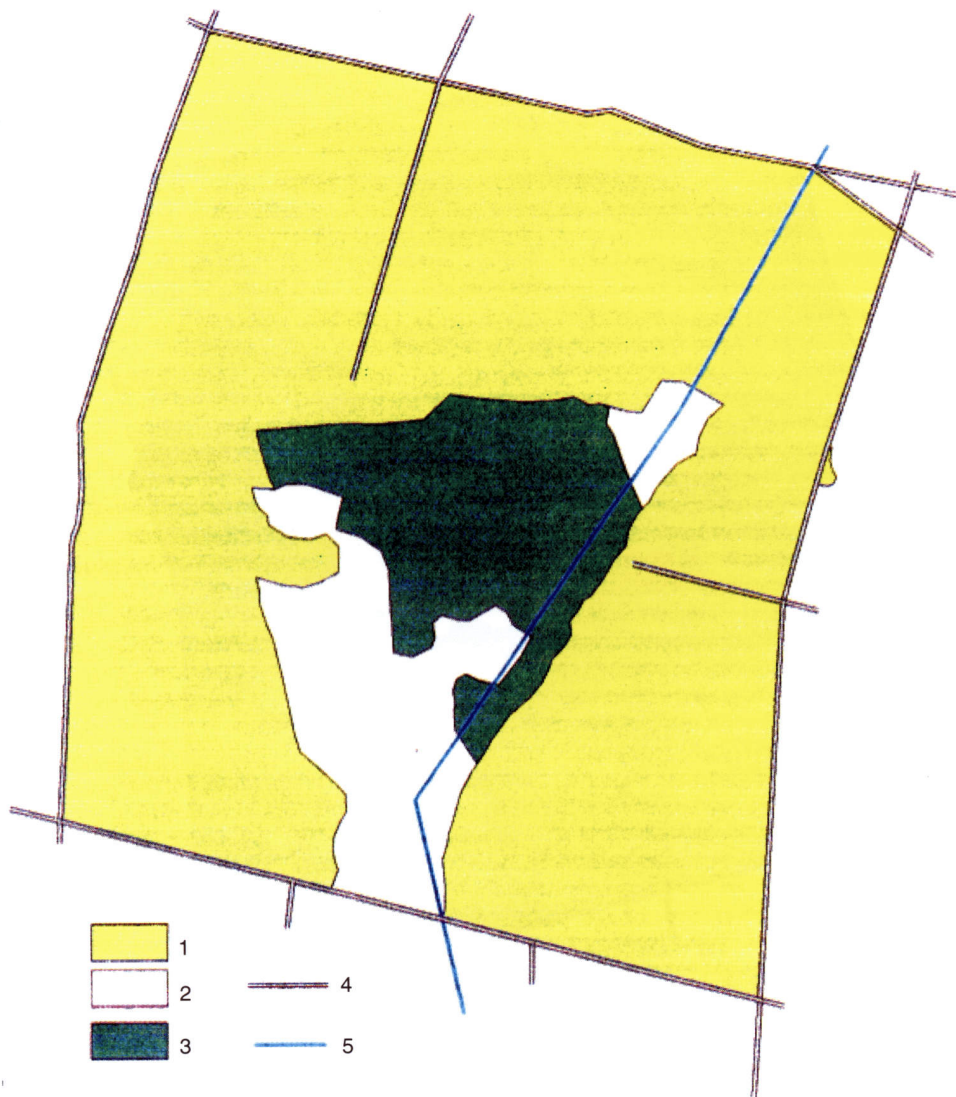
Wody stojące występują właściwie tylko na Siwicy. Niewielkie stawy potorfowe stopniowo zarastają. W okresie 1957–1997 na polanach powstały dwa zbiorniki przeciwpożarowe, jeden na Siwicy, drugi na nie objętej badaniami polanie sąsiadującej z Topieliskami. Nowe rowy wykopano głównie w latach 1957–1980, w drugim okresie powstał rów na polanie Kierz i wykonywano konserwacje już istniejących.

Przydatność archiwalnych zdjęć lotniczych do badań sukcesyjnych

Największą wartością fotointerpretacyjną charakteryzowały się zdjęcia panchromatyczne z 1957 roku w skali 1:10 000 i z 1964 roku w skali 1:18 000. Wykonane one zostały w odpowiednim, z punktu widzenia zróżnicowania jasności spektralnej roślin, termi-

nie — jesienią. Odbitki stykowe są wysokiej jakości i mają dużą rozpiętość tonalną. Zdjęcia te wykonano przy bezchmurnej pogodzie. Skala umożliwia rozpoznawanie drobnych szczegółów terenowych i pomiar wysokości z dokładnością do około 1 m, nie tylko drzew, ale także niższych roślin i tworzonych przez nie zbiorowisk.

Najmniejszą przydatnością do badań sukcesyjnych cechowały się zdjęcia panchromatyczne wykonane w 1980 roku. Zarówno ich skala (1:30 000), jak termin wykonania (czerwiec) i typ papieru zastosowany do wykonania odbitek (błyszczący) nie są odpowiednie do analizy roślinności. Odbitki stykowe tych zdjęć są mało kontrastowe, wyraźnie zaznacza się także spadek jakości obrazu na brzegach kadru. O wiele lepsze są zdjęcia z 1998 roku, które choć również wykonane w nienajlepszym do badań roślinności terminie (maj) i skali (1:26 000), jakością fotograficzną nie odbiegają od odbitek z lat 1957 i 1964.



Ryc. 3. Roślinność polany Strożyska w 1997 roku: 1 — zbiorowiska leśne, 2 — zbiorowiska polan, 3 — zbiorowiska zaroślowe, 4 — drogi, 5 — rów (skala 1:10 000)

Fig. 3. The vegetation of the Strożyska Clearing in 1957: 1— forest communities, 2 — clearing communities, 3 — scrub communities, 4 — roads, 5 — ditch (scale 1:10 000)

Zdjęcia w barwach naturalnych wykonane w lipcu 1997 roku mimo zbyt małej skali (1:26 000) i terminu wykonania (czerwiec) są bardziej przydatne do badania zmian sukcesyjnych niż zdjęcia panchromatyczne wykonane w tej samej skali. Odzworowanie odcieni koloru zielonego i żółtego pozwala na łatwe rozróżnianie między zbiorowiskami polan, lasów i zarośli. Na niektórych zdjęciach widoczny jest spadek ostrości i zmiana odcieni lasów, spowodowana zróżnicowaniem przejrzystości powietrza lub lekkim zamgleniem.

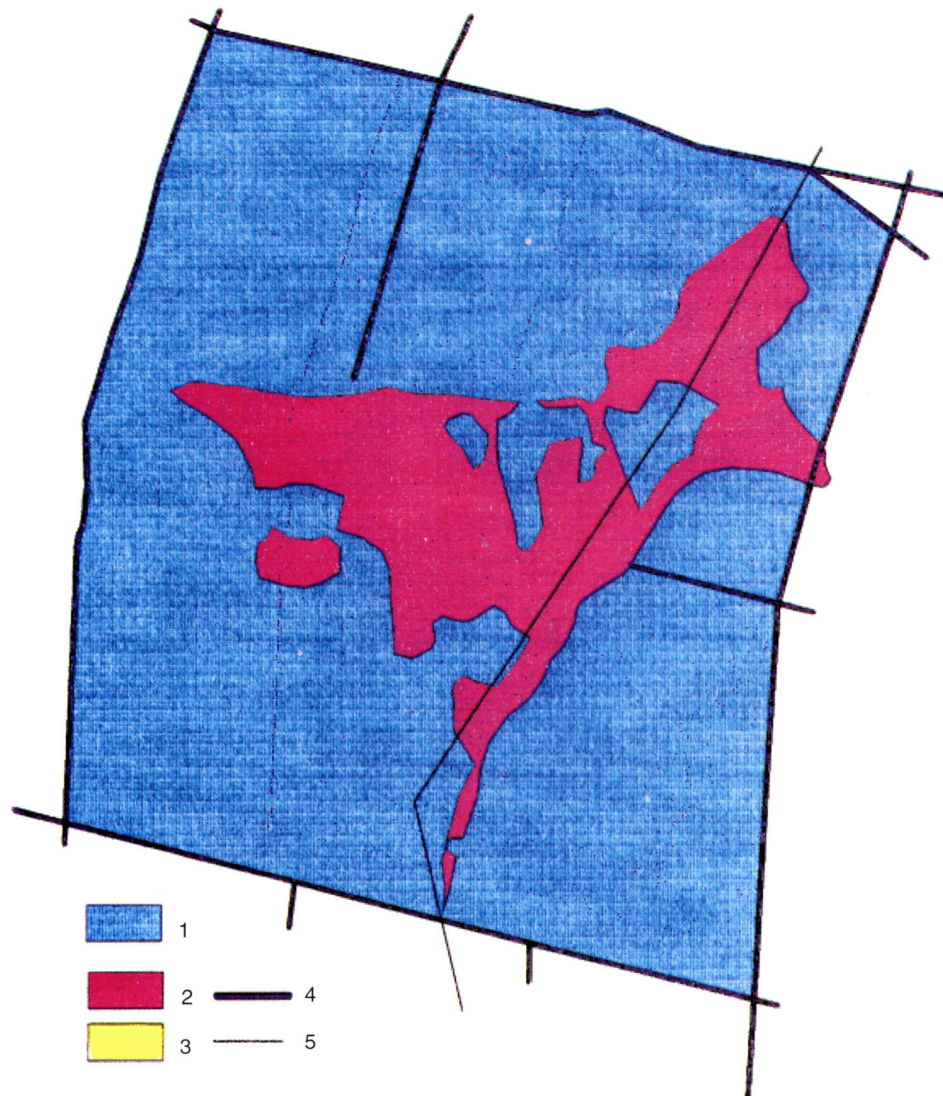
Na wszystkich zdjęciach dobrze widoczne są szczegóły liniowe — drogi, rowy, smugi i pasy drzewostanu. Pojedyncze lub rosnące w grupach na polanach drzewa i krzewy można odnaleźć na zdjęciach z kolejnych terminów i prześledzić ich rozwój. Trudniej odróżnić mniej zróżnicowane obiekty, wymaga to wzięcia pod uwagę wszystkich cech fotointerpretacyjnych. W bardzo zróżnicowany sposób odzworowywana jest

woda, wpływa na to głębokość zbiornika, roślinność wodna oraz kąt padania promieni słonecznych.

Pomimo że wykorzystane zdjęcia lotnicze wykonane zostały do innych niż przyrodnicze celów, okazały się przydatne do ilościowego i jakościowego określenia zmian zachodzących na polanach śródleśnych Puszczy Bolimowskiej.

Dokładność proponowanej metody

O dokładności fotointerpretacji decyduje szereg czynników technicznych i przyrodniczych. Bazując na archiwalnych zdjęciach lotniczych nie mamy wpływu na warunki i parametry ich wykonania. Kluczowe znaczenie dla dokładności ma psychofizyczny proces fotointerpretacji, podczas którego na podstawie obrazu odbicia promieniowania elektromagnetycznego od obiektu, zarejestrowanego na nośniku (w tym wypad-



Ryc. 4. Dynamika roślinności polany Strożyska w latach 1957–1997 r.: 1 — zbiorowiska względnie stabilne; sukcesja wtórna naturalna i antropogenna, 2 — rekreacyjna, 3 — kreatywna, 4 — drogi, 5 — rów (skala 1:10 000)

Fig. 4. Dynamics for the vegetation of the Strożyska Clearing in the years 1957–1997: 1—relatively stable communities; natural and anthropogenic secondary succession. 2 — recreative, 3 — creative, 4 — roads, 5 — ditch (scale 10: 000)

ku na stykowej odbitce fotografii lotniczej) i merytorycznej wiedzy z zakresu danego zagadnienia przeprowadzana jest klasyfikacja obiektów przyrodniczych.

Spośród czynników technicznych ograniczających dokładność metody największy wpływ wydaje się mieć szerokość linii kreślonej pisakiem na kalce fotointerpretacyjnej. Dochodzi ona do 1 mm, co na zdjęciach z 1973 roku oznacza 30 m w miarach terenowych. Błędy te częściowo można wyeliminować podczas wektoryzacji, prowadząc linie przez środek śladu pisaka. Mimo to błąd ten z pewnością przewyższa np. niedokładność transformacji geometrycznej kalek fotointerpretacyjnych.

Błąd określenia powierzchni oddziałów leśnych podziału administracyjnego (około 25 ha) na cyfrowym obrazie zrektyfikowanych kalek fotointerpretacyjnych wyniósł 3,5%. O ile istnieją wypracowane metody określenia fotogrametrycznej dokładności określenia punktu, o tyle weryfikację fotointerpretacji najlepiej

przeprowadzić w terenie, sprawdzając trafność klasyfikacji konkretnych obiektów. Przy wielkoobszarowych inwentaryzacjach przeprowadzonych w USA w ramach programu National Wetland Inventory osiągnięto dokładność przekraczającą 90% (Ross-Powell, Wilen, 1991). W programie tym badania terenowe uwzględniono jedynie w niewielkim stopniu, a do interpretacji stosowano zdjęcia lotnicze w skali 1:80 000. Należy zwrócić uwagę, że w tym, bodajże największym projekcie wykorzystującym dane teledetekcyjne do celów przyrodniczych (wykonano mapy podmokłych obszarów obejmujące 89% powierzchni USA w skali 1:24 000 i w skali 1:63 360 dla 31% terytorium Alaski), wszystkie osoby przeprowadzające interpretację miały wykształcenie biologiczne, a dopiero później zostały przeszkolone w technikach fotogrametrycznych. Podkreśla to znaczenie wiedzy merytorycznej podczas procesu interpretacji. Dla terenów Alaski, dla których nie było zdjęć lotniczych, rozważano zastoso-

wanie obrazów MSS z satelitów LANDSAT 1–3, jednak okazały się one nieprzydatne ze względu na małą rozdzielczość terenową. Dopiero dane z LANDSAT-4, wyposażonego w TM zapewniły 90% dokładność, chociaż nadal ustępowały zdjęciom lotniczym, zwłaszcza przy identyfikacji niewielkich lub okresowo podtapianych terenów. Wzięto pod uwagę także obrazy z satelity SPOT, ale pomimo większej rozdzielczości nie spełniały one założonych standardów. Potwierdza to dużą przydatność fotogrametrycznych zdjęć lotniczych do badania zjawisk przyrodniczych.

W Wielkiej Brytanii badania przeprowadzone na terenie hrabstw Norfolk i Suffolk, polegające na określeniu technikami fotointerpretacji i kartografii cyfrowej statusu środowisk półnaturalnych i zmienionych przez człowieka, zaowocowały wykreśleniem map, których dokładność, na podstawie porównań z innymi źródłami informacji, określono na 88% (Fuller, 1986). Pozwala to sądzić, że dokładność zaproponowanej metody jest dość wysoka.

Uwagi końcowe

Dane teledetekcyjne, w tym przypadku fotografie lotnicze, okazały się przydatne do badań sukcesyjnych. Inwentaryzacja terenowa będzie zawsze dokładniejsza od zaproponowanej metody, ale ma ona istotne wady:

- nie pozwala na badanie stanu przeszłego;
- trudno jest zapewnić pełne pokrycie terenu.

Optymalne jest połączenie obu tych metod, kiedy na podstawie badań terenowych dokonuje się szczegółowej identyfikacji z dokładnością, jeśli to możliwe, do zespołu roślinnego, a na podstawie zdjęć lotniczych określa się precyzyjnie zasięg przestrzenny płatu (Ciołkosz i inni, 1999).

Dane na zdjęciach z poszczególnych okresów nie są jednakowo szczegółowe. Aby zwiększyć możliwości interpretacji należałoby przefotografować zdjęcia w skali 1:30 000 i 1:26 000 do skali co najmniej 1:10 000 lub pracować na formie cyfrowej otrzymanej z zeskanowanych z wysoką rozdzielczością materiałów oryginalnych. Przejście na cyfrową formę interpretacji wiąże się z koniecznością korzystania ze sprzętu komputerowego potrafiącego operować dużymi plikami graficznymi, ale przynosi wiele korzyści, na przykład w postaci łatwości płynnej zmiany skali obserwowanego obrazu czy łatwości przechowywania i przesyłania danych, a także możliwości ich analizy w rastrowych systemach GIS, na przykład IDRISI. Zastosowanie

automatycznej klasyfikacji cyfrowego obrazu polan byłoby prawdopodobnie problematyczne ze względu na różnice w odcieniach odbitek z tych samych okresów, subtelne różnice pomiędzy wyróżnionymi obiektami oraz wykorzystanie różnorodnych zdjęć lotniczych (tab. 1).

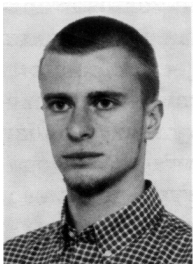
Wyniki badań potwierdziły informacje uzyskane metodami fitosocjologicznymi przez Pisarka i Kucharskiego (1999). Roślinność torfowisk, szuwarów i łąk na polanach śródleśnych Puszczy Bolimowskiej jest zagrożona wyginięciem, ustępuje na rzecz zbiorowisk leśnych i zaroślowych. Tylko podjęcie ochrony czynnej może temu zapobiec, choć na niektórych polanach zmiany są już nieodwracalne, gdyż znaczna część nagromadzonego przez wieki torfu uległa murszeniu.

Oprócz wskazanych w niniejszej pracy możliwości, istnieją również inne sposoby wykorzystania zdjęć lotniczych do badań ekologicznych na polanach śródleśnych. Są to:

- interpretacja zdjęć w postaci cyfrowej na ekranie monitora, z wykorzystaniem obserwacji stereoskopowej i pomiarem wysokości (na przykład za pomocą autografu cyfrowego VSD);
- analiza fraktalna granicy las/łąka;
- analiza powstawania odnowienia drzew w zależności od odległości od źródeł diaspor;
- zbudowanie pomiaru na podstawie wysokości na zdjęciach lotniczych z poszczególnych okresów numerycznego modelu pokrywy roślinnej w pełni sezonu wegetacyjnego i analizy zmian wysokości na tym modelu;
- wykorzystanie zaproponowanej metody do monitorowania zabiegów ochrony czynnej na polanach, po wykonaniu dodatkowych zdjęć lotniczych, obrazujących stan aktualny.

Literatura

- Ciołkosz A., Miszański J., Olędzki J., 1999: *Interpretacja zdjęć lotniczych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Fuller R.M., 1986: *Taking stock of changing Broadland*, *Journal of Biogeography*, no. 13, 327–337.
- Faliński J.B., 1991: *Procesy ekologiczne w zbiorowiskach leśnych*, *Phytocenosis N.S. Semin. geobot.*, no. 1, 17–41.
- Pisarek W., Kucharski L., 1999: *Roślinność szuwarowa i torfowiskowa Bolimowskiego Parku Krajobrazowego*, *Monographiae Botanicae*, no. 85.
- Ross-Powell H., Willen B.O., 1991: *Remote sensing the nations wetlands*, *ACSM-ASPRS Annual Convention*, Baltimore, Maryland, USA, March 25–28, no. 3, 329–338.



Mgr inż. Maciej Ligocki jest absolwentem Wydziału Leśnego Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego. Odbywał staż zawodowy w Nadleśnictwie Szczytno. Obecnie pracuje w Biurze Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej, Oddział w Brzegu.

Adres do korespondencji: 96-100 Skierniewice, ul. B. Prusa 1/26, e-mail: mat@forest.sggw.waw.pl