



Magdalena Wrzesień

**STRUKTURA LASÓW OKOLIC WARSZAWY
NA PODSTAWIE ZDJĘĆ SATELITARNYCH I LOTNICZYCH
ANALYZING STRUCTURE OF FORESTS NEAR WARSAW
ON THE BASIS OF SATELLITE IMAGERY
AND AERIAL PHOTOGRAPHS**

*Uniwersytet Warszawski, WGiSR, Zakład Teledetekcji Środowiska
University of Warsaw, Remote Sensing of Environment Laboratory*

STRESZCZENIE: Celem pracy było zweryfikowanie klasyfikacji nadzorowanej jako metody badania struktury gatunkowej i wiekowej drzewostanów w Rezerwacie Sieraków, Uroczysku Chojnów i Lesie Kabackim oraz ocena wykorzystanych materiałów. Ponadto zbadanie struktury kompleksów leśnych za pomocą wskaźników z ekologii krajobrazu.

Do klasyfikacji, która była podstawową wykorzystywaną metodą, wzięto pod uwagę dwa trzykanałowe zestawy (TM2, TM3, TM4 oraz TM3, TM4, TM5) oraz pojedynczy kanał TM4. Określono klasy możliwe do wydzielenia na obrazach satelitarnych i na zdjęciach lotniczych. Dokonano wyboru pól treningowych i określono sygnatury spektralne poszczególnych gatunków i klas wieku. Wykonano klasyfikację nadzorowaną, korzystając z reguły największego prawdopodobieństwa. Uzyskano mapy, których dokładność określono, posługując się macierzą błędów i współczynnikiem zgodności kappa. Wybrano mapy sklasyfikowane z największą dokładnością i poddano je analizie z użyciem wskaźników z ekologii krajobrazu.

Po przeanalizowaniu wyników sformułowano następujące wnioski:

- klasyfikacja nadzorowana obrazów Landsat umożliwia określenie składu gatunkowego i przedziałów klas wieku heterogenicznych kompleksach leśnych w sposób ogólny,
- skład gatunkowy jest możliwy do wydzielenia z większą dokładnością niż przedziały klas wieku,
- mimo położenia kompleksów leśnych w jednym regionie biogeograficznym nie można stworzyć jednolitych sygnatur spektralnych,
- błędy wynikają z uśrednionej informacji zawartej w pikselu, uogólnionych danych zapisanych na mapach drzewostanowych i opisach taksacyjnych, rozbieżności terminów wykonania zobrazowania i map,
- cyfrową analizę zdjęć lotniczych uniemożliwia zbyt szczegółowy obraz oraz jakość materiałów, które charakteryzują się znaczną zmiennością tonalną w zależności od położenia względem środka zdjęcia,
- wskaźniki opisujące strukturę drzewostanów ilościowo uzupełniają informację jakościową zawartą na mapach poklasyfikacyjnych,
- wyniki analizy ilościowej są uzależnione od rodzaju danych teledetekcyjnych.

SŁOWA KLUCZOWE: struktura lasu, klasyfikacja, wskaźniki ekologiczne

1. WSTĘP

Las jest złożonym systemem przyrodniczym, który pełni szereg funkcji zarówno społecznych, jak i przyrodniczych jako jeden ekosystem, ale w szerszym ujęciu las jest składową większej całości – elementem środowiska przyrodniczego, oddziałującym z pozostałymi jego częściami.

Teledetekcja jest jednym z narzędzi, które mogą się w znacznym stopniu przyczynić do poszerzenia wiadomości na temat lasów i uzupełnić już istniejące metody badawcze oraz wspomóc działania w procesach decyzyjnych na różnych szczeblach administracji.

W latach 70. wraz z wprowadzeniem na orbitę satelitów środowiskowych rozpoczęto prace nad zastosowaniem obrazów satelitarnych w badaniach lasów. Niska rozdzielczość przestrzenna (80 m) i spektralna (4 kanały) obrazów wykonanych skanerem MSS (Multispectral Scanner System) zainstalowanym na pierwszym z serii satelitów Landsat, umożliwiła wydzielenie drzewostanów iglastych, liściastych i mieszanych [1]. Dane ze skanera MSS były także przydatne do badania rozkładu przestrzennego zniszczeń lasów na obszarach uprzemysłowionych [2]. Pierwsze analizy danych satelitarnych polegały przede wszystkim na wizualnej ocenie i późniejszej weryfikacji wyników w terenie.

Dzięki wprowadzeniu na orbitę satelitów rejestrujących powierzchnię Ziemi z większą dokładnością, wzrosła ilość informacji możliwych do pozyskania. Dane pozwoliły na wyodrębnienie drzewostanów jednogatunkowych z podziałem na klasy wieku oraz wydzielenie różnych stopni zmieszania gatunkowego [3]. Prowadzono badania dotyczące wykorzystania obrazów satelitarnych do określania stanu lasu [3], monitorowania i inwentaryzacji lasów zdegradowanych [4, 5, 6] oraz w ochronie przeciwpożarowej [7, 8].

Wraz z wdrażaniem od połowy XIX w. w leśnictwie technik teledetekcji i fotogrametrii, badano możliwości ich wykorzystania do taksacji leśnej. W leśnictwie polskim dopiero po koniec lat 50. XX w. po raz pierwszy zastosowano zdjęcia lotnicze.

2. MATERIAŁY

Obraz satelitarny został wykonany dnia 7.V.2000 r. przez satelitę Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper (ETM+). Wykorzystano trzy fragmenty sceny satelitarnej. Obraz wielospektralny ma rozdzielczość przestrzenną 30 m.

W pracy zostały wykorzystane także zdjęcia lotnicze: jedno w barwach naturalnych w skali 1:26 000 wykonane 12–13 VIII 1997 r. w ramach programu PHARE (PL 9602) – przedstawiające fragment rezerwatu Sieraków w Kampinoskim Parku Narodowym, cztery – w barwach naturalnych w skali 1:5 000 wykonane w ramach programu PHARE (PL 9206) w drugiej połowie maja 1997 r., przedstawiające fragment Lasu Kabackiego, pięć – spektrostrefowych w skali 1:10 000 wykonanych w lipcu 1992 r., przedstawiających fragment Uroczyska Chojnów w Chojnowskim Parku Krajobrazowym. Po zgeometryzowaniu zdjęć utworzono fotomozaiki.

W procesie wstępnego przetwarzania materiałów teledetekcyjnych wykorzystano mapy topograficzne w układzie współrzędnych „1942” oraz mapy leśne.

3. OBSZARY BADAŃ

Do analizy struktury lasów towarzyszących Warszawie wybrano fragmenty trzech kompleksów leśnych – Kampinoskiego Parku Narodowego (KPN), Chojnowskiego Parku Krajobrazowego (ChPK) i Lasu Kabackiego – różniących się rangą, wielkością i dostępnością dla człowieka, w mniejszym stopniu charakterystykami przyrodniczymi.

Największym rezerwatem KPN jest Rezerwat Sieraków, który znajduje się w północno-wschodniej części Parku w bliskim sąsiedztwie Warszawy. Do gatunków panujących należą olsza (45%) wraz z brzozą omszoną na terenach podmokłych i sosna (44%) z domieszką dębu na wyniesieniach wydmowych. Tereny sąsiadujące z bagnem porasta las mieszany dębowo-grabowo-sosnowy z domieszką brzozy brodawkowatej, lipy drobnolistnej i jabłoni. Grądy występują wyspowo i reprezentują je takie gatunki jak: dąb szypułkowy, sosna, grab i leszczyna.

Drzewostany występujące w Rezerwacie Sieraków, dzięki temu, że po zniszczeniach wojennych nie ingerowano w ich regenerację mają charakter naturalny i osiągnęły wiek średnio 89 lat (najstarsze drzewa to sosny – 110 lat i dęby – 100 lat, do najmłodszych zaś należą brzozy – 58 lat).

Ponad 70% powierzchni ChPK zajmują silnie rozczłonkowane i nierównomiernie rozmieszczone Lasy Chojnowskie, skupione głównie w środkowej części Parku. Głównym kompleksem leśnym jest Uroczysko Chojnów położone na południe od Piaseczna. Do najważniejszych gatunków lasotwórczych, zajmujących najwyższy procent ogólnej powierzchni lasów należą: sosna (74,1%), dąb (9,1%), brzoza (8,6%), olsza (5,6%). Łączny udział pozostałych gatunków wynosi 2,6%.

Leśny, częściowy rezerwat krajobrazowy Las Kabacki im. Stefana Starzyńskiego jest położony w południowej części Warszawy. W Lesie Kabackim został zachowany zróżnicowany drzewostan, ale mimo to szata roślinna jest mocno zmieniona i znacznie zubożona. Zachowały się duże obszary porośnięte starodrzewiem 120–160 letnim. W górnym piętrze drzewostanu spotkać można najczęściej sosnę, dąb szypułkowy, brzozę brodawkowatą, osikę, a także lipę drobnolistną, buk, klon zwyczajny, modrzew oraz wiąz górski i jesion wyniosły.

4. METODY

Główną metodą analizy jest klasyfikacja nadzorowana, która opiera się na parametrycznych regułach decyzyjnych. Jako metody pomocnicze, służące do wstępnej analizy danych, zastosowano wizualną ocenę materiałów i klasyfikację nienadzorowaną.

4.1. Klasyfikacja obrazów satelitarnych

W celu dokonania oceny przydatności zastosowanych danych i prawidłowości przeprowadzonych badań posłużono się dwoma metodami oszacowania dokładności klasyfikacji: macierzą błędów i współczynnikiem Kappa [9].

Analizie poddano tylko obszary kompleksów leśnych będących przedmiotem niniejszego opracowania, co pozwoliło na uniknięcie wpływu otaczających lasy zabudowań i użytków rolnych.

Klasyfikację przeprowadzono, posługując się regułą największego prawdopodobieństwa, która uwzględnia największą ilość zmiennych i jest uznawana za najdokładniejszą spośród dostępnych reguł [10].

Pośród sześciu kanałów optycznych (TM1, TM2, TM3, TM4, TM5, TM7) do analizy wybrano jeden pojedynczy zakres – TM4 uznawany za najlepszy do badań roślinności oraz TM2, TM3 i TM5, które były potrzebne do utworzenia kompozycji barwnych.

Ponadto dokonano wizualnej oceny poszczególnych obrazów i zróżnicowania wartości pikseli, oraz wykresów spektralnych sporządzonych dla badanych gatunków drzew i przedziałów klas wieku.

Na wykresach przedstawiających zarówno wartości odbicia spektralnego dla poszczególnych gatunków, jak i klas wieku, największe zróżnicowanie jest widoczne w kanale TM4 oraz w mniejszym stopniu w kanałach sąsiednich – TM3 i TM5. Wybrano kanał TM4 (bliska podczerwień), w którym dobrze zróżnicowana jest roślinność, w tym także lasy.

Do klasyfikacji użyto kanałów, w których występuje największe zróżnicowanie odbicia spektralnego, z których utworzono dwie kompozycje: TM4, TM3, TM2, uważaną za dobrze odzwierciedlającą charakter roślinności i TM4, TM5, TM3 złożoną z kanałów, w których występuje największe zróżnicowanie odbicia spektralnego wydzielanych gatunków drzew oraz klas wieku [11].

4.2. Zdefiniowanie klas i wybór pól treningowych

W celu zdefiniowania klas przeanalizowano przeglądowe mapy drzewostanów i wizualnie oceniono na obrazie możliwości wydzielenia poszczególnych gatunków i klas wieku na podstawie zróżnicowania tonalnego w przypadku pojedynczego kanału oraz zmienności barw dla kompozycji trzykanałowych. Następnie jako wstępną analizę i proces przygotowawczy do przeprowadzenia klasyfikacji nadzorowanej zastosowano klasyfikację nienadzorowaną, określając na podstawie materiałów źródłowych maksymalną liczbę klas możliwych do wydzielenia (równą ilości wydzieleni na mapie drzewostanów). Na podstawie otrzymanych wyników możliwe było określenie stopnia zróżnicowania dla poszczególnych gatunków i klas wieku oraz wpływu wielkości powierzchni zajmowanej przez dany rodzaj pokrycia terenu na przypisanie do określonej klasy.

Dla Lasu Kabackiego określono pięć klas ilustrujących przestrzenny rozkład gatunków, spośród których cztery odzwierciedlają skład gatunkowy. Są to: sosna, dąb, brzoza, olsza oraz tereny pozbawione pokrywy leśnej (polany, zręby, gniazda). Jako oddzielną klasę wydzielono buka na obrazie jednokanałowym – TM4. Następnie ustalono przedziały klas wieku możliwe do rozróżnienia na obrazie satelitarnym. W Lesie Kabackim taki podział możliwy był jedynie dla sosny, dla której określono rozmieszczenie drzew zaliczanych do klas II–V (20–100 lat) oraz VI (powyżej 100 lat). I klasa wieku nie została wyróżniona z powodu wartości odbicia spektralnego dla młodych sosen zbliżonego do wartości reprezentujących drzewa liściaste. Jako osobne klasy wydzielono drzewostany dębowe w klasach II–V oraz w klasie VI. Wiek pozostałych gatunków zawiera się w przedziale zaliczanym do klas II–V.

W Uroczysku Chojnów leżącym na terenie ChPK zostały zdefiniowane takie same klasy w podziale na gatunki i klasy wieku, co wynika z faktu, że oba kompleksy są położone w niewielkiej odległości od siebie i stanowiły niegdyś całość.

W przypadku Rezerwatu Sieraków wydzielono ten sam zestaw klas ze względu na dystrybucję gatunków. Natomiast dla każdego z gatunków został określony przedział wiekowy II–V oraz VI.

Po zdefiniowaniu klas przystąpiono do tworzenia sygnatur spektralnych dla poszczególnych obszarów. W celu wybrania reprezentatywnych pól treningowych posłużyły mapy drzewostanowymi, co umożliwiło precyzyjne określenie występowania analizowanych gatunków.

4.3. Klasyfikacja zdjęć lotniczych

Na zdjęciach możliwe do wydzielenia było jedynie zróżnicowanie gatunkowe, co wynika ze znacznego podobieństwa odpowiedzi spektralnych poszczególnych gatunków drzew. Ponadto duża rozdzielczość przestrzenna zdjęć spowodowała, że jedną koronę drzewa odzwierciedla duża liczba pikseli, co zwiększa szczegółowość i wprowadza nadmiar informacji w przypadku analizy cyfrowej. Problem stanowi także zmienność tonalna w obrębie każdego ze zdjęć. Fragmenty przedstawiające ten sam drzewostan na różnych zdjęciach mają odmienne wartości pikseli, co jest spowodowane m.in. odległością od środka zdjęcia.

4.4. Analiza z wykorzystaniem wskaźników z ekologii krajobrazu

Program Fragstats (<http://ftp.fsl.orst.edu>) powstał na Uniwersytecie w Oregonie jako narzędzie do wyrażania w formie ilościowej struktury krajobrazu [12]. Na podstawie danych ilustrujących strukturę krajobrazu z ekologicznego punktu widzenia można wnioskować o jego funkcjach i kierunkach zachodzących zmian.

Miary dostępne w programie odnoszą się do poziomu klasy i całego krajobrazu, ilustrują kompozycję i konfigurację krajobrazu.

- powierzchnia zajmowana przez daną klasę – *CA (Class Area)*, lub krajobraz – *TA (Total Area)* wyrażana w ha, mówi o tym, jaką część krajobrazu zajmuje dana klasa. Określone klasy reprezentują specyficzne siedlisko, co jest istotne zarówno dla roślin, jak i różnych gatunków zwierząt potrzebujących odpowiednio dużej przestrzeni życiowej.
- wskaźnik największej jednostki – *LPI (Largest Patch Index)* wyrażony w %, opisuje zróżnicowanie krajobrazu poprzez wyrażenie, jaki udział w krajobrazie ma płat o największej powierzchni należący do danej klasy $\max(a_{ij})$.
- liczba klas – *NP (Number of Patches)* mówiąca z ilu jednostek składa się badany krajobraz (przyjmuje wartości od 1 do $+\infty$), co wpływa na tempo rozprzestrzeniania się gatunków oraz różnego typu zagrożeń, np. pożarów lub szkodników, jak również mówi o heterogeniczności analizowanego obszaru.
- zagęszczenie jednostek – *PD (Patch Density)* opisuje, ile klas jednego typu znajduje się na określonej powierzchni (czyli na 100 ha i zawiera się w przedziale $0; +\infty$), indeks ten mówi o rozcłonkowaniu krajobrazu.

- liczba klas – *PR (Patch Richness)* zawiera się w przedziale $<1; +\infty$)
- wymiar fraktalny – *FRACT (Fractal Dimension)* mówi o stopniu skomplikowania obwodu jednostki, co pokazuje poprzez porównanie długości granic jednostki do jej powierzchni. Wartości wskaźnika osiągają 1, gdy granica jest prosta i jednowymiarowa, a 2 gdy skomplikowanie linii zbliża się do wymiaru przestrzeni.
- wskaźnik kształtu – *LSI (Landscape Shape Index)* opisuje kształt poprzez porównanie jednostki do kształtu idealnego, jakim w przypadku rastra jest kwadrat. Indeks zawiera się w przedziale $<1, +\infty$).
- średnia odległość do najbliższego sąsiada tego samego typu – *MNN (Mean Nearest Neighbour Distance)* także pokazuje zróżnicowanie w krajobrazie poprzez opisanie dystrybucji jednostek danego typu. Osiąga wartości od 0 do $+\infty$.
- lokalizacja – *IJI (Interspersion and Juxtaposition Index)* mówi o tym, z iloma sąsiadami graniczy dana jednostka, uwzględniając przy tym długość granicy.
- entropia – *SHDI (Shannon's Diversity Index)* to wskaźnik oparty na teorii informacji (Shannon, Weaver, 1949). Może przyjmować wartości w przedziale $<0; +\infty$).

Po sklasyfikowaniu obrazów satelitarnych wybrano wynikowe mapy drzewostanów, które uzyskały największą dokładność klasyfikacji, czyli przedstawiające strukturę gatunkową na podstawie kanałów TM3, TM4, TM5 i dla nich policzono wskaźniki.

5. WNIOSKI

Uśredniona informacja zapisana w pikselu (30 m) umożliwia oddanie cech drzewostanów w sposób przybliżony. Dane pozyskiwane przez satelitę Landsat ETM+ i przetworzone cyfrowo są dobrym źródłem danych do badania kompleksów leśnych w skali regionu, co daje możliwość uzyskania ogólnej charakterystyki lasów na danym terenie i pomaga w zaplanowaniu późniejszych – dokładniejszych badań. Wpływają na to materiały wykorzystywane podczas definiowania klas i wybierania pól treningowych. Mapy drzewostanowe oraz informacje zawarte w opisach taksacyjnych, będących w formie analogowej, które także podają uśredniony stan, już we wstępnym etapie analizy są źródłem błędów. Na mapach nie można przedstawić danych wiernie oddających sytuację w terenie, przez co informacja jest ograniczona do cech, które dominują w poszczególnych jednostkach podziału lasu, co wpływa na jakość sygnatur wykorzystanych w klasyfikacji. Dane na temat lasów aktualizowane są co 10 lat, jednak przedstawiają stan dotyczący terminu wykonania opracowania; dane satelitarne także odzwierciedlają stan chwilowy, jednak w większości przypadków znacząco odbiegający od daty wykonania taksacji leśnej. Wynikające z tego faktu różnice są źródłem dodatkowych błędów, więc należałoby wykorzystywać dane odnoszące się do przybliżonego terminu, zarówno jeśli chodzi o obrazy satelitarne, jak i zdjęcia lotnicze. Jednak dobór materiałów pozyskanych w zbliżonych okresach jest trudny ze względu na występujące często zachmurzenie w umiarkowanych szerokościach geograficznych, w istotny sposób wpływające na jakość danych.

Otrzymana dokładność klasyfikacji rzędu 70% przy określaniu składu gatunkowego na obrazach satelitarnych informuje, że analiza struktury gatunkowej może być przeprowadzana z powodzeniem na podstawie danych satelitarnych, szczególnie, gdy dominującym na danym obszarze gatunkiem jest sosna. W przypadku, gdy wzrasta udział drzew liściastych klasyfikacja nadzorowana jest niewystarczająca i wymaga zastosowania dodatkowych analiz. Zwiększenie szczegółowości generuje dodatkowe błędy, więc informacje zebrane przez satelitę Landsat ETM+ nie są wystarczające do badania struktury wiekowej zróżnicowanych kompleksów leśnych. Poprawienie wyników przy wydzieleniu klas wieku mogłoby zostać uzyskane poprzez zastosowanie danych satelitarnych o większej rozdzielczości przestrzennej dostosowanej do zróżnicowania badanego obszaru.

Analizowane kompleksy leśne są położone w jednym regionie biogeograficznym, jednak odmienny charakter każdego z nich nie pozwolił na stworzenie jednolitych klas i konieczne okazało się stworzenie oddzielnych sygnatur spektralnych, co wskazuje na to, że nawet na niewielkim obszarze warunki siedliskowe są czynnikiem zmiennym odgrywającym rolę w kształtowaniu odpowiedzi spektralnej badanych drzewostanów.

Zbyt szczegółowy obraz lasów na zdjęciach lotniczych uniemożliwia automatyczną klasyfikację tego typu materiałów. Poszczególne korony drzew tworzy szereg pikseli o zróżnicowanych wartościach, co powoduje, że są one klasyfikowane błędnie. Drugą przyczyną trudności w cyfrowej analizie zdjęć lotniczych jest zmienność tonalna w zależności od położenia obiektu względem środka zdjęcia. Zdjęcia lotnicze wykonywane na kliszach fotograficznych są materiałem niezdatnym do automatycznej analizy z wykorzystaniem klasyfikacji nadzorowanej jako jedynej metody.

Dzięki wskaźnikom opisującym krajobraz i jego składowe w sposób ilościowy, można wyciągać wnioski na temat struktury przestrzennej kompleksów leśnych w oparciu o skład gatunkowy. Indeksy informują o układzie jednostek w przestrzeni i wzajemnych relacjach między nimi. Stanowią ilościowe uzupełnienie wyników klasyfikacji. Struktura lasu opisana za pomocą indeksów dostępnych w programie Fragstata oddaje charakter kompleksów zawarty w opisach taksacyjnych. Jednak wykorzystanie do analizy jedynie danych ilościowych uzyskanych w ten sposób jest niewystarczające. Wartości wskaźników należy rozpatrywać w powiązaniu z danymi teledetekcyjnymi wykorzystanymi do badań oraz uwzględnić informacje zebrane przez służby leśne. Wskaźniki charakteryzujące kształt odpowiadają danym wejściowym (sklasyfikowane obrazy), jednak odbiegają od uogólnionej treści map drzewostanowych, co jest związane z wielkością piksela, podobnie jest z indeksami opisującymi powierzchnię i liczbę typów jednostek występujących na danym terenie. Miary przedstawiające zróżnicowanie (*PD*, *SHDI*) i sąsiedztwo (*IJI*, *MNN*) dodają do podstawowych danych o strukturze krajobrazu informacje nowe jakościowo, szczególnie cenne może okazać się porównanie wskaźników policzonych dla różnych okresów, dające obraz kierunków zachodzących w krajobrazie zmian.

Wartości indeksów liczone na podstawie danych teledetekcyjnych są zależne od wielkości piksela, więc rozdzielczość danych źródłowych powinna być odpowiednio dobrana ze względu na cel opracowania, zwłaszcza w kwestii kształtu i zróżnicowania, które są w znacznym stopniu zależne od szczegółowości danych, które determinują ilość jednostek możliwych do wydzielenia i dalszej analizy.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Ciołkosz A., Poławski Z., 1980: Mapa użytkowania ziemi w skali 1:250 000 sporządzona za pomocą wizualnej klasyfikacji treści obrazów satelitarnych, [w:] Zastosowanie teledetekcji w badaniach środowiska geograficznego. PWN, Warszawa.
- [2] Bychawski W., Linsenbarth A., Mizerski W., 1980: Charakterystyka zdjęć satelitarnych wykonanych ze stacji orbitalnej Salut-6 w czasie radziecko-polskiego lotu kosmicznego, [w:] Zastosowanie teledetekcji w badaniach środowiska geograficznego. PWN, Warszawa.
- [3] Beaubien J., 1979: Forest Type Mapping from Landsat Digital Data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 45, nr 8.
- [4] Zawila-Niedźwiecki T., 1990: Wybrane zagadnienia wykorzystania zdjęć wykonanych przez satelity Landsat TM i SPOT w badaniach lasu. *Prace Instytutu Geodezji i Kartografii*, t. 37, z. 1–2.
- [5] Bochenek Z., Ciołkosz A., Iracka M., 1997: Zmiany stanu lasów w Sudetach Zachodnich na podstawie analizy zdjęć satelitarnych. *Prace Instytutu Geodezji i Kartografii*, t. 44, z. 95.
- [6] Kadro A., 1988: Use of Landsat TM data for forest damage inventory. European Space Agency.
- [7] Chuvieco E., Congalton R.G., 1989: Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems to Forest Fire Hazard Mapping. *Remote Sensing of Environment*, vol. 29.
- [8] Karlikowski T. i in., 1997: Wykorzystanie zdjęć satelitarnych NOAA-AVHRR do wspomaganiania.
- [9] Congalton R.G., 1991: A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment*, vol. 37.
- [10] Domański J. (red.), 1998: ERDAS Field guide: przewodnik geoinformatyczny. GEOSYSTEMS Polska, Warszawa.
- [11] Zawila-Niedźwiecki T., Wiśniewska E., Iracka M., 2001: Zdjęcia lotnicze i satelitarne w leśnictwie. Konferencja Polskiego Towarzystwa Informatyki Przestrzennej, Warszawa.
- [12] McGarigal K., Marks B., 1995: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Oregon University, Corvallis.

ANALYZING STRUCTURE OF FORESTS NEAR WARSAW ON THE BASIS OF SATELLITE IMAGERY AND AERIAL PHOTOGRAPHS

S u m m a r y

Forests are rich ecosystems, which fulfill significant functions as scientific, educational and finally recreational. Forest landscapes play a key role, particularly near urban areas like Warsaw, where they are affected by the town and its inhabitants. Collecting data about forests and analyzing it are desirable tasks for the purposes of environmental monitoring, protection, planning and management in different scales (spatial/time). Remotely sensed data proved to be very useful sources of information about forest characteristics as a specific ecosystem and as a part of the boarder landscape.

The aim of this study is to present methods and techniques used for analyzing and effectively using satellite images and aerial photographs for certain purposes in forestry and environment protection.

Analyses were made on the example of Landsat ETM+ satellite images acquired in 2000 and set of aerial photographs obtained in 1997 (PHARE, true color, 1:26000, 1:5000) and 1992 (color infrared, 1:10000). The areas under study are three forest complexes located near Warsaw: Kampinoski National Park, Chojnowski Landscape Park and Las Kabacki Reserve, which differ in size, diversity, and level of protection.

Automated solutions in forest studies deliver objective and high quality thematic data, which are competitive to the conventional survey mapping methods.

KEY WORDS: forest structure, classification, ecological indices

Recenzent: dr Małgorzata Mycke-Dominko, Uniwersytet Warszawski