

## ROZPOZNANIE FORM POKRYCIA I UŻYTKOWANIA ZIEMI NA ZDJĘCIU SATELITARNYM LANDSAT ETM+ METODĄ KLASYFIKACJI OBIEKTOWEJ

### IDENTIFICATION OF LAND COVER AND LAND USE FORMS ON LANDSAT ETM+ SATELLITE IMAGE USING THE METHOD OF OBJECT-ORIENTED CLASSIFICATION

Stanisław Lewiński

Instytut Geodezji i Kartografii

**Słowa kluczowe:** klasyfikacja obiektowa, użytkowanie ziemi, pokrycie terenu, Landsat ETM+  
Keywords: object oriented classification, land use, land cover, Landsat ETM+

## Wstęp

Informacja o pokryciu terenu i użytkowaniu ziemi, pozyskiwana na podstawie zdjęć satelitarnych, odgrywa obecnie podstawową rolę w procesie monitoringu środowiska. Pozwala na śledzenie tendencji zmian w sposobie wykorzystania ziemi, zmian krajobrazu, rozwoju osadnictwa i infrastruktury transportu oraz oceniać wpływ na nasze życie zanieczyszczeń rozprzestrzeniających się w powietrzu, glebie i wodzie.

Dane o pokryciu i użytkowaniu ziemi są źródłem informacji dla działań związanych z realizacją tzw. zrównoważonego rozwoju, który jest jednym z podstawowych celów polityki Unii Europejskiej. Obecnie (lipiec 2006), za sprawą programu GMES (GMES, 2004), wyraźnie widoczne jest przyspieszenie i intensyfikacja prac związanych z monitoringiem zmian zachodzących na powierzchni ziemi. Uruchamiany jest program FTSP – *European Land Monitoring (Fast Track Service Precursor)* w celu dostarczenia początkowych danych dla docelowego programu FTS (*Fast Track Service*), którego operacyjne rozpoczęcie planowane jest w roku 2008. W ramach FTSP zostanie wykonana baza danych, będąca kontynuacją programu CORINE, obrazująca stan pokrycia i użytkowania ziemi w roku 2006 oraz dwie nowe warstwy o podwyższonej rozdzielczości, związane z zabudową oraz lasami (GMES, 2006).

Tradycyjną metodą pozyskiwania informacji na podstawie zdjęć satelitarnych jest interpretacja wizualna. Jednakże wzrost częstotliwości pozyskiwania informacji oraz równoczesny wzrost stopnia ich szczegółowości sprawia, że interpretacja wizualna ze względu na swoją czasochłonność nie jest optymalną technologią tworzenia aktualnych baz danych. Dlatego też poszukiwanie metod automatycznych wspomagających proces interpretacji jest

ważnym i aktualnym zagadnieniem. Spośród znanych obecnie algorytmów klasyfikacji zdjęć satelitarnych najbardziej obiecującym jest algorytm klasyfikacji obiektowej, w którym nie są analizowane pojedyncze piksele obrazu lecz tzw. obiekty będące grupami pikseli spełniającymi zadane warunki jednorodności. Klasyfikacja wykonywana jest nie tylko na podstawie wartości odbić spektralnych charakteryzujących obiekty lecz również z zastosowaniem informacji o ich geometrii i teksturze, wykorzystywane są również informacje o relacjach zachodzących między obiektami. Obecnie oprogramowanie eCognition jest najbardziej zaawansowanym oprogramowaniem klasyfikacji obiektowej, pozwalającym na analizę różnorodnych danych oraz na definiowanie własnych funkcji klasyfikacyjnych.

## Dane satelitarne

Klasyfikacja obiektowa form pokrycia i użytkowania ziemi została wykonana na podstawie zdjęcia satelitarnego Landsat ETM+, zarejestrowanego w dniu 7 maja 2000 r. Wiosenny termin rejestracji zdjęcia nie jest optymalny z punktu widzenia rozpoznania klas pokrycia terenu gdyż lepsze wyniki można uzyskać na podstawie zdjęć z sierpnia i września. Jednak wiosenne zdjęcia często są wykorzystywane w pracach teledetekcyjnych ze względu na ograniczoną dostępność bezchmurnych zdjęć.

Przed przystąpieniem do klasyfikacji wykonano wstępne przetworzenie zdjęcia polegające na korekcji atmosferycznej oraz na połączeniu danych wielospektralnych z kanałem panchromatycznym.

Korekcja atmosferyczna została wykonana z zastosowaniem oprogramowania ATCOR2 (Richter, 2006), będącym jednym z modułów systemu przetwarzania obrazów PCI Geomatica. Zastosowano standardową definicję stanu atmosfery dla wiosennej pory roku i terenów z przewagą rolnictwa.

Dane wielospektralne (MS) zdjęcia Landsat ETM+ połączono z kanałem panchromatycznym (PAN) z zastosowaniem algorytmu PanSharp autorstwa dr Y. Zhang (Zhang, 1999; 2002), będącego jednym z modułów oprogramowania PCI Geomatica. Wybór algorytmu nie był przypadkowy. Podstawową wadą większości stosowanych sposobów łączenia danych MS i PAN opartych na metodzie IHS, PCA, HP lub transformacji Wavelet jest uzależnienie uzyskiwanych wyników od umiejętności operatora. Jest to szczególnie dobrze widoczne w przypadku metody IHS, stosowanej dla potrzeb opracowywania map satelitarnych (Lewiński, 2000; Lewiński i Zagajewski, 2002) oraz kompozycji barwnych dla interpretacji wizualnej (Lewiński i Poławski, 2005). Algorytm PanSharp dedykowany jest do łączenia zdjęć satelitarnych MS i PAN o różnej rozdzielczości przestrzennej, spektralnej i radiometrycznej. Charakteryzuje się on wysokim stopniem automatyzacji oraz wyjątkowo dobrze zachowuje charakterystyki spektralne danych MS.

Stosując algorytm PanSharp wykonano połączenie (*data fusion*) kanału panchromatycznego z kanałem nr 2, 3 i 4 danych MS, które pod względem spektralnym odpowiadają zakresowi kanału PAN. W wyniku połączenia uzyskano trzy nowe kanały PanSharp2, PanSharp3 oraz PanSharp4, charakteryzujące się szczegółowością danych PAN oraz wysokim stopniem korelacji z danymi MS wynoszącym odpowiednio; 0,89, 0,89 i 0,94. Przeprowadzone testy wykazały przydatność połączonych danych przede wszystkim w procesie segmentacji zdjęcia Landsat ETM+, natomiast w czasie klasyfikacji wykorzystano oryginalne dane wielospektralne.

## Teren badań

Badania wykonano na fragmencie zdjęcia obrazującym teren o powierzchni 423 km<sup>2</sup>, położony w centralnej części Polski na Nizinie Mazowieckiej w pobliżu Warszawy. W jego centrum, między rzekami Wisłą i Narwią, znajduje się miasto Legionowo (49 000 mieszkańców). Na terenie badań występują lasy iglaste, liściaste, tereny rolnicze, łąki oraz zabudowa z przewagą zabudowy rozproszonej. Tereny rolnicze charakteryzują się dużym stopniem rozdrobnienia. Pola o małej powierzchni, często poniżej 1 ha, sąsiadują z użytkami zielonymi. Na rzece Narwi znajduje się sztuczny zbiornik „Zalew Zegrzyński” o powierzchni ponad 30 km<sup>2</sup>.

## Segmentacja zdjęcia satelitarnego

Segmentacja zdjęcia Landsat ETM+ poprzedzona została analizą parametrów statystycznych poszczególnych kanałów oraz analizą współczynników korelacji. Przyjęty sposób segmentacji związany był z założeniem klasyfikacyjnym, polegającym na rozpoznawaniu obiektów o minimalnej wielkości 4 ha oraz 1 ha dla wód i obszarów zabudowanych. Parametry segmentacji oraz liczba utworzonych obiektów i ich średnia powierzchnia przedstawione są w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry segmentacji zdjęcia Landsat ETM+ w oprogramowaniu eCognition

Poziom	Parametr			Waga kanału				Obiekty	
	skala	kolor	zwartość	PAN	PAN SHARP 2	PAN SHARP 3	PAN SHARP 4	liczba	średnia wielkość [ha]
1	5	0,9	1	1	–	–	–	84 183	0,50
2	23	0,8	0,8	–	1	2	1	4 269	9,93

Pierwszy poziom segmentacji został wykonany tylko na podstawie kanału panchromatycznego, z zastosowaniem małego parametru *skala* i wysokich wartości współczynników *kolor* i *zwartość*. Obraz terenu badań został podzielony na 84183 obiektów o zwartych kształtach. Druga segmentacja charakteryzuje się dużo wyższym parametrem skali o wartości 23 oraz niższymi parametrami *kolor* i *zwartość* o jednakowej wartości 0,8. Dla kanału PanSharp3 zastosowano wagę 2, która w tym zestawie kanałów spełnia rolę uśredniającą wobec kanału PanSharp4, charakteryzującego się wysoką wartością odchylenia standardowego. Na drugim poziomie powstało 4269 obiektów.

Zastosowanie w segmentacji kanałów PanSharp2, PanSharp3 i PanSharp4 wydaje się być w pełni uzasadnione, gdyż zawierają one sumę informacji danych MS i PAN. Przeprowadzone próby wykazały, że połączone dane zwiększają precyzję wyznaczania obiektów w porównaniu z danymi wielospektralnymi.

## Klasyfikacja

Klasyfikację zdjęcia Landsat ETM+ wykonano na podstawie drugiego poziomu segmentacji (tabela 1). Do rozpoznania klas pokrycia terenu zastosowano funkcje oprogramowania eCognition; Standard Nearest Neighbor (STD.N.N.) oraz kryteria parametryczne.

Wybór parametrów klasyfikacyjnych zastosowanych w metodzie najbliższego sąsiada poprzedzony był analizą rozróżnialności klas pokrycia terenu. Przeanalizowano następujące parametry obiektów: wartości średnie, odchylenia standardowe, ratio oraz funkcje Haralic związane z teksturą obrazu. W sumie testowano 14 parametrów związanych z kanałem panchromatycznym, kanałami wielospektralnymi oraz kanałami PanSharp. Do określenia parametrów rozróżnialności wykorzystano funkcję „Feature Space Optimization” oprogramowania eCognition.

Wykonane analizy wykazały, że kanał panchromatyczny oraz kanały PanSharp nie mają znaczącego wpływu na rozróżnialność zdefiniowanych klas pokrycia terenu. Należy jednak zaznaczyć, że stosunkowo najlepsze wyniki uzyskano dla kanału PanSharp4, charakteryzującego się największą wartością odchylenia standardowego. Ostatecznie wybrano sześć parametrów, które zostały zastosowane w klasyfikacji STD.N.N.: średnie wartości spektralne kanałów 4, 5 i 7, funkcja ratio kanału 3 i 7 oraz entropia GLCM kanału 2.

**Tabela 2. nazwy klas rozpoznanych na zdjęciu Landsat ETM+ w granicach terenu badań**

Lp.	Kod CORINE	Nazwa klasy
1	1121	Zabudowa luźna wielorodzinna miejska typu blokowego
2	1122	Zabudowa luźna wielorodzinna typu miejskiego
3	1123	Zabudowa luźna jednorodzinna typu wiejskiego
4	121	Tereny przemysłowe i handlowe
5	1322	Zwałowiska odpadów płynnych - osadniki
6	133	Place budów
7	141	Miejskie tereny zielone
8	21111	Grunty orne wieloblokowe
9	21112	Grunty orne drobnoblokowe
10	2113	Uprawy szklarniowe
11	231	Łąki
12	243	Tereny z dużym udziałem roślinności naturalnej
13	311	Lasy liściaste
14	312	Lasy iglaste
15	313	Lasy mieszane
16	324	Lasy i roślinność krzewiasta w stanie zmian
17	3311	Plaże
18	51	Cieki i zbiorniki wodne

W procesie klasyfikacji zastosowano również kryteria parametryczne występujące samodzielnie lub też razem z STD.N.N.. Wykorzystano w tym celu kryteria wielkości obiektów, odległości, kształtu, graniczenia i długości granicy, przynależności do innej klasy oraz średnie i odchylenia standardowe związane z wybranymi kanałami. Zastosowano też własne kryterium ZABUD1.

Sklassyfikowano 18 klas pokrycia i użytkowania ziemi. W tabeli 2 przedstawione są nazwy rozpoznanych klas oraz ich kody związane z rozwiniętą legendą programu CORINE (Heymann i inni, 1993).

Poniżej przedstawione są zasady klasyfikacji

poszczególnych klas. Niektóre z nich ze względu na podobieństwo spektralne są nierozpoznawalne tradycyjnymi metodami klasyfikacyjnymi, bazującymi tylko na analizie wartości spektralnych pikseli zdjęcia satelitarnego.

### Zasady rozpoznania klas pokrycia i użytkowania terenu

**Zabudowa (1121, 1122, 1123, 121):** cztery klasy zabudowy zostały wyłonione z ogólnej klasy „zabudowa”, która została zdefiniowana na podstawie STD.N.N. i dodatkowo ograniczona przez kryterium długości granicy z wodą oraz przez minimalną szerokość obiektu.

Tereny przemysłowe (121) wyodrębniono z ogólnej klasy „zabudowa” stosując kryterium *ZABUDI* oraz przy założeniu, że tereny te nie graniczą z zabudowa blokową oraz kształt obiektów zbliżony jest do prostokąta. Kryterium *ZABUDI* zostało również zastosowane do wyróżnienia zabudowy luźnej wielorodzinnej typu wiejskiego (1123) oraz zabudowy luźnej typu miejskiego (1122). Zabudowę typu blokowego (1121) wyłoniono z zabudowy luźnej miejskiej z zastosowaniem klasyfikacji na pierwszym poziomie segmentacji, na podstawie którego sklasyfikowano cienie bloków mieszkalnych zobrazowane w kanale panchromatycznym.

Kryterium *ZABUDI* nie jest standardową funkcją oprogramowania eCognition, jest to tzw. funkcja użytkownika, na zdefiniowanie której pozwala oprogramowanie eCognition (Baatz i inni, 2001). Kryterium zostało zastosowane do rozdzielania w ramach ogólnej klasy „zabudowa” trzech podklas: zabudowy luźnej wiejskiej, luźnej miejskiej oraz terenów przemysłowych. Wzór kryterium *ZABUDI* jest następujący:

$$ZABUDI = ( (k2-k3)^2 + (k3-k4)^2 + (k4-k5)^2 + (k5-k7)^2 + (k7-pan)^2 )^{0,5}$$

gdzie:

k2, k3, k4, k5, k7 – średnie wartości obiektu w poszczególnych kanałach danych wielospektralnych

pan – średnia wartość obiektu w kanale panchromatycznym.

Zastosowanie kryterium *ZABUDI* poprzedzone było analizą rozróżnialności klas zabudowy na podstawie poszczególnych kanałów. Największe różnice między klasami zabudowy występują w 4. i 5. kanale spektralnym, co jest związane z występowaniem roślinności w granicach analizowanych obiektów. Przeprowadzone próby rozróżnienia na podstawie wartości 4. i 5. kanału oraz powszechnie stosowanego w teledetekcji współczynnika NDVI nie przyniosły zadowalających wyników, natomiast kryterium *ZABUDI* uwzględniające różnice między poszczególnymi kanałami pozwoliło na rozróżnienie trzech klas zabudowy. Zaproponowane kryterium może być również wykorzystane do rozpoznania innych klas pokrycia terenu. Teoretycznie przyjmuje ono minimalną wartość równą 0 w przypadku braku różnic w odbiciu spektralnym między kolejnymi kanałami.

**Zwałowiska odpadów płynnych – osadniki (1322):** klasyfikacja STD.N.N oraz warunki nie graniczenia z wodą i związane z szerokością obiektu.

**Place budów i plaże (133, 3311):** Obie klasy na zdjęciu Landsat są bardzo zbliżone pod względem spektralnym, dlatego też najpierw sklasyfikowane je w jednej klasie na podstawie

STD.N.N., a następnie rozdzielono na podstawie kryterium odległości od zabudowy oraz granicy z wodą. Place budów i plaże wyłoniono również z podklasy gruntów ornych bez roślinności na podstawie kryterium powierzchni (małe obiekty) przy równoczesnym zachowaniu warunku graniczenia z wodą lub zabudową.

**Miejskie tereny zielone (141):** zostały wyłonione z dwóch klas „tereny z dużym udziałem roślinności naturalnej” i „las mieszany” spełniających warunek wspólnej długiej granicy z zabudową (ponad 75%) oraz występowania w zdefiniowanej odległości od środka miasta Legionowo (jedyne duże miasto na terenie badań, gdzie może występować ta klasa).

**Grunty orne wielkoblokowe (2111):** sklasyfikowano z podziałem na dwie podklasy: pola z odkrytą glebą i pola z pokrywą roślinną (zboża ozime). Pierwsza klasa została rozpoznana na podstawie STD.N.N. W definicji drugiej klasy, ze względu na podobieństwo spektralne do innych terenów pokrytych roślinnością, zastosowano STD.N.N. oraz warunek równoczesnej przynależności do klasy „tereny z dużym udziałem roślinności naturalnej”.

**Grunty orne drobnoblokowe (2112)** (mozaikowy układ pól): klasyfikacja STD.N.N.

**Uprawy szklarniowe (2113):** klasyfikacja STD.N.N. oraz warunek kształtu zbliżonego do prostokąta.

**Łąki (231):** klasyfikacja STD.N.N.

**Tereny z dużym udziałem roślinności naturalnej (243):** klasyfikacja STD.N.N.

**Las liściasty (311):** sklasyfikowano na podstawie STD.N.N. oraz stosując kryterium jednorodności, związane z wartością oraz odchyleniem standardowym w kanale panchromatycznym.

**Las iglasty (312):** sklasyfikowano na podstawie STD.N.N. oraz stosując kryterium jednorodności, związane z wartością oraz odchyleniem standardowym w kanale panchromatycznym.

**Las mieszany (313):** klasa ta została wyłoniona z klas „las liściasty” i „las iglasty”. Założono, że lasem mieszanym jest las iglasty lub liściasty nie spełniający warunku jednorodności. Warunek jednorodności określono na podstawie kanału panchromatycznego, w którym drzewostany iglaste charakteryzują się mniejszymi wartościami odbicia spektralnego w porównaniu z liściastymi. Las mieszany wyłoniony z lasu iglastego charakteryzuje się wysokimi wartościami w kanale panchromatycznym - „jasny” las iglasty. Natomiast w przypadku związanym z lasem liściastym las mieszany posiada niskie wartości w kanale panchromatycznym - „ciemny” las liściasty. Podobne podejście do klasyfikacji lasu mieszanego zastosowano w klasyfikacji zdjęcia ASTER (Lewiński, 2006). Kanał panchromatyczny jest wykorzystany również w przypadku szczegółowej klasyfikacji obiektowej drzewostanów na zdjęciach wysokiej rozdzielczości (de Kok i in., 2000a, 2000b).

**Lasy i roślinność krzewiasta w stanie zmian (324):** klasyfikacja STD.N.N oraz warunek istnienia granicy z lasami.

**Cieki i zbiorniki wodne (51):** klasa składa się z 3 podklas: duże rzeki, małe płytkie zbiorniki oraz kanały. Zastosowano jedynie parametryczne kryterium klasyfikacji, związane z wartościami w kanale 4 i 6 (termalny) oraz stosunkiem długości i szerokości obiektów (kanały).

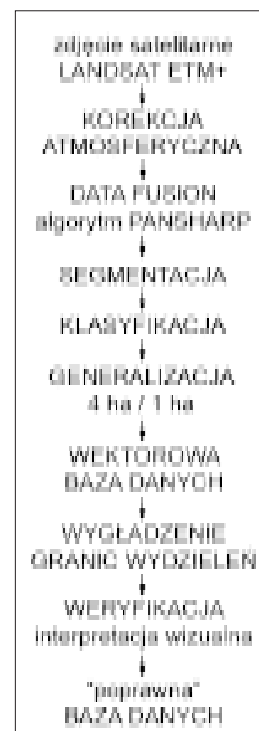
## Opracowanie wyników klasyfikacji obiektowej

Stosując podane zasady klasyfikacji obiektowej wykonano klasyfikację zdjęcia Landsat ETM+ obrazującego teren badań. Nie był to jednak ostatni etap pracy. Wynik klasyfikacji został przetworzony w taki sposób aby na jego podstawie powstała wektorowa baza danych o pokryciu i użytkowaniu ziemi, taka jak w przypadku tradycyjnej interpretacji wizualnej. W tym celu posłużono się metodą postępowania zastosowaną w klasyfikacji zdjęć ASTER (Lewiński, 2005, 2006). Poszczególne etapy przetwarzania zdjęcia Landsat ETM+, od wstępnego przetworzenia i kończąc na gotowej bazie danych, przedstawione są na rysunku 1. Wynika z niego, że po wykonaniu klasyfikacji obiektowej opracowywanie danych klasyfikacyjnych polegało na: generalizacji, zamianie formatu klasyfikacji z rastrowego na wektorowy, wygładzeniu granic wydzielen oraz weryfikacji wyników klasyfikacji. Po weryfikacji tworzono ostateczną „poprawną” bazę danych.

W przypadku większości automatycznych klasyfikacji zdjęć satelitarnych zagadnienie generalizacji jest pomijane, najczęściej stosowana jest jedynie filtracja mająca na celu usunięcie pojedynczych pikseli sklasyfikowanych inaczej niż ich otoczenie. Przyjmuje się, że stopień szczegółowości klasyfikacji związany jest z wymiarem piksela zdjęcia, czyli z jego rozdzielczością przestrzenną. Natomiast w przypadku interpretacji wizualnej stopień szczegółowości interpretacji jest kluczowym zagadnieniem. Zależy on od skali opracowania, przyjętych założeń oraz od rodzaju interpretowanych danych. Interpretacja zdjęcia rozpoczyna się od ustalenia tzw. pola odniesienia (*Working Unit*) czyli minimalnej powierzchni, która będzie interpretowana. Wielkość pola odniesienia jest informacją o stopniu szczegółowości bazy danych, utworzonej na podstawie interpretacji wizualnej.

W przyjętym sposobie postępowania generalizację wykonano w środowisku oprogramowania PCI Geomatica na podstawie danych klasyfikacyjnych w postaci rastrowej. Dla klas związanych z zabudową i wodą przyjęto WU=1 ha, a dla pozostałych klas – 4 ha. Obiekty o powierzchni mniejszej od WU zostały przyporządkowane do sąsiednich, większych obiektów. W tabeli 3 przedstawione są powierzchnie poszczególnych klas przed i po generalizacji.

Po generalizacji największe zmiany pod względem zajmowanej powierzchni nastąpiły dla klas „łąki” (+170 ha) i „grunty orne wiel-



**Rys. 1.** Schemat postępowania zastosowany w klasyfikacji zdjęcia Landsat ETM+

Tabela 3. Porównanie danych klasyfikacyjnych przed i po generalizacji

Kod CORINE	Klasa	Klasyfikacja		Generalizacja		Zmiany	
		ha	obiekty	ha	obiekty	%	ha
1121	Zabudowa luźna wielorodzinna miejska typu blokowego	63,3	1	63,3	1	0,0	0,0
1122	Zabudowa luźna wielorodzinna typu miejskiego	2627,0	85	2668,5	85	1,58	41,5
1123	Zabudowa luźna jednorodzinna typu wiejskiego	1884,6	109	1900,5	109	0,84	15,9
121	Tereny przemysłowe i handlowe	358,3	21	364,2	20	1,66	5,9
1322	Zwałowiska odpadów płynnych – osadniki	24,9	2	24,9	2	0,0	0,0
133	Place budów	137,7	56	82,0	9	-40,48	-55,7
141	Miejskie tereny zielone	27,6	6	19,5	2	-29,45	-8,1
21111	Grunty orne wieloblokowe	1396,8	171	1210,8	81	-13,32	-186,0
21112	Grunty orne drobnoblokowe	6602,2	287	6692,7	185	1,37	90,5
2113	Uprawy szklarniowe	15,3	2	15,3	2	0,0	0,0
231	Łąki	6477,5	239	6647,5	195	2,62	170,0
243	Tereny z dużym udziałem roślinności naturalnej	5125,7	322	5144,0	232	0,36	18,3
111	Lasy liściaste	2524,5	124	2548,6	97	0,96	24,1
312	Lasy iglaste	8238,7	139	8344,0	97	1,28	105,3
313	Lasy mieszane	4131,1	192	4030,6	120	-2,43	-100,5
324	Lasy i roślinność krzewiasta w stanie zmian	6,9	2	4,8	1	-29,69	-2,1
3311	Plaże	23,7	8	11,3	1	-52,21	-12,4
51	Cieki i zbiorniki wodne	2609,7	28	2612,5	27	0,11	2,8
0	Obiekty niesklasyfikowane	109,6	85	0,0	0	-100	-109,6
	Suma	42385,0	1879	42385,0	1266	474,4 ha = 1,1% terenu badań	

koblokowe” (-186 ha). W przypadku łąk zmiany stanowiły jedynie 2,6 % powierzchni klasy, natomiast powierzchnia wieloblokowych gruntów ornych zmieniła się o ponad 13%. Tak duże zmiany występujące w ramach jednej klasy wynikają w sposób bezpośredni z liczby obiektów mniejszych od 4 ha oraz z faktu, że klasa ta jest sumą dwóch podklas związanych z polami z odkrytą glebą oraz z polami z pokrywą roślinną. Zmiany w powierzchni na pozio-



mie 100 ha związane są z trzema klasami: „lasy iglaste”, „lasy mieszane”, „grunty orne drobnoblokowe”. Pod względem liczby obiektów największe zmiany nastąpiły w klasie „place budów”, liczba których początkowo wynosząca 56 została zmniejszona do 9. Klasy „lasy i roślinność krzewiasta w stanie zmian” oraz „plaże” zostały zredukowane do pojedynczych obiektów. Największa liczba obiektów o powierzchni mniejszej od 4 ha związana była z „terenami z dużym udziałem roślinności naturalnej”. Obiekty te były jednak na tyle małe, że zmiany powierzchni tej klasy są nieznaczne, wyniosły jedynie 18,3 ha co odpowiada jedynie 0,36% całkowitej powierzchni klasy. Powierzchnie klas związanych z zabudową i wodą generalizowane z zastosowaniem jednostki odniesienia 1 ha uległy stosunkowo małym zmianom. Z tabeli 3 wynika również, że obraz klasyfikacyjny zawierał 85 bardzo małych niesklasyfikowanych obiektów, które po generalizacji zostały związane z sąsiednimi klasami.

W sumie zmiany nastąpiły na powierzchni 474,4 ha co stanowi jedynie 1,1% całego terenu badań. Podobny rezultat (1,4%) uzyskano w przypadku generalizacji klasyfikacji obiektowej zdjęcia ASTER (Lewiński, 2006).

Kolejnym etapem opracowania obrazu klasyfikacyjnego była zamiana danych rastrowych na format wektorowy. Następnie granice wydzielen biegnące wzdłuż krawędzi pikseli zdjęcia satelitarnego zostały wygładzone (stosując funkcje PCI Geomatica) w taki sposób aby uzyskać granice zbliżone do granic interpretacji wizualnej.

Na podstawie danych wektorowych wykonana została ocena poprawności klasyfikacji. W tym celu zastosowano sposób przyjęty w programie CORINE 2000 (Nunes de Lima, 2005). Interpretator korygował przebieg granic wydzielen oraz kody klas bezpośrednio na monitorze, na którym wyświetlona była wektorowa baza danych oraz obraz satelitarny. W wyniku interpretacji powstała tzw. warstwa zmian będąca równocześnie informacją o poprawności klasyfikacji. Ocena dokładności przedstawiona jest w tabeli 4.

Całkowita dokładność klasyfikacji wyniosła 94,54% oraz równocześnie uzyskano wysoką wartość statystyki  $K_{HAT}=93,76\%$  (Congalton, 1991). Z punktu widzenia dokładności producenta, związanej z błędami pominięcia, z najmniejszą dokładnością zostały sklasyfikowane „tereny z dużym udziałem roślinności naturalnej” (243), „place

**Tabela 4. Ocena dokładności klasyfikacji obiektowej (wykonana metodą interpretacji wizualnej)**

Kod klasy	Powierzchnia (ha)		Dokładność (%)	
	klasyfikacja obiektowa	po weryfikacji	użytkownika	producenta
51	2612,5	2612,5	100,00	100,00
121	364,2	374,9	100,00	97,15
133	73,7	84,8	100,00	86,90
141	19,5	19,5	100,00	100,00
231	6635,0	6386,2	89,86	93,36
243	5145,3	6029,3	92,01	78,52
311	2548,6	2121,4	81,42	97,81
312	8338,2	8435,3	99,78	98,63
313	4030,6	3980,4	97,07	98,30
324	4,8	4,8	100,00	100,00
1121	63,3	63,3	100,00	100,00
1122	2620,1	2600,2	97,99	98,73
1123	1891,2	2143,9	99,08	87,40
1322	24,9	24,9	100,00	100,00
2113	15,3	15,3	100,00	100,00
3311	11,3	11,3	100,00	100,00
21111	1210,8	1196,2	98,35	99,56
21112	6724,2	6229,5	92,14	99,46
Suma	42333,7	42333,7		
			Dokładność całkowita 94,54% Współczynnik $K_{HAT}$ 93,76%	

budów” (133) oraz „zabudowa luźna jednorodzinna typu wiejskiego” (1123). Dokładność rozpoznania tych klas wyniosła odpowiednio: 78,52%, 86,90% i 87,40%. Stosunkowo niska dokładność użytkownika świadcząca o błędach przeszacowania związana jest z klasą „lasy liściaste” (311) 81,42%, „łąki” (231) 89,86%, „tereny z dużym udziałem roślinności naturalnej” (243) 92,01% oraz „grunty orne drobnoblokowe” (21112) 92,14%. Teoretycznie znacząca część błędów klasyfikacyjnych może być związana z majowym terminem rejestracji klasyfikowanego zdjęcia. W wiosennym okresie wegetacyjnym roślinność charakteryzuje się wysokim poziomem chlorofilu, który wpływa na zmniejszenie zróżnicowania spektralnego między tzw. zielonymi klasami. Jest to również widoczne w przypadku interpretacji wizualnej. Natomiast błędy klasyfikacji luźnej zabudowy wiejskiej związane są przede wszystkim ze stopniem rozproszenia zabudowy; w przypadku zabudowy miejskiej, charakteryzującej się większym stopniem zwarcia, uzyskano dużo wyższą dokładność.

Ostatnim etapem opracowania wyników klasyfikacji obiektowej było utworzenie końcowej, „bezbłędnej” bazy danych. Powstała ona w wyniku uwzględnienia zmian określonych przez interpretatora w trakcie weryfikacji klasyfikacji. Rysunki 2 i 3 przedstawiają kompozycję barwną terenu badań oraz końcowy obraz bazy danych o pokryciu i użytkowaniu ziemi utworzonej na podstawie klasyfikacji obiektowej zdjęcia Landsat ETM+.

## Podsumowanie

Celem prezentowanej pracy było przedstawienie klasyfikacji form pokrycia i użytkowania ziemi na zdjęciu satelitarnym Landsat ETM+, wykonanej metodą obiektową. W tym celu rozpatrzono możliwość wykorzystania danych wielospektralnych, panchromatycznych oraz danych połączonych.

Stosując algorytm PanSharp z kanałem PAN połączono 3., 4. i 5. kanał MS. Przeprowadzone analizy wykazały przydatność połączonych danych przede wszystkim na etapie segmentacji, która została wykonana na dwóch poziomach. Pierwszy poziom segmentacji został utworzony na podstawie kanału PAN, drugi wyłącznie na podstawie danych PanSharp. W samym procesie klasyfikacji, czyli w rozpoznaniu obiektów, dane PanSharp nie odegrały istotnej roli. Należy jednak zauważyć, że spośród trzech utworzonych kanałów największą pojemnością informacji charakteryzuje się kanał PanSharp4. Jego wartość odchylenia standardowego wynosi 30,62 i jest największa w porównaniu z innymi danymi. Odchylenie standardowe dwóch pozostałych kanałów PanSharp2 i PanSharp3 jest znacznie mniejsze i wynosi odpowiednio 10,21 i 13,85.

Obiekty klas pokrycia i użytkowania ziemi zostały rozpoznane z zastosowaniem metody STD.N.N. oraz kryteriów parametrycznych. Dodatkowo w klasyfikacji klas związanych z zabudową zastosowano kryterium ZABUD1, dzięki któremu rozróżniono 4 klasy zabudowy. Klasa „las mieszany” została wyłoniona z klas „las liściasty” i „las iglasty” na podstawie informacji pochodzącej z kanału panchromatycznego. Klasyfikacja obiektowa pozwoliła na rozróżnienie bardzo podobnych pod względem spektralnym klas „plaże” i „place budów” oraz na sklasyfikowanie klas nierozpoznawalnych tradycyjnymi (pikselowymi) metodami klasyfikacji: „zabudowa typu blokowego”, „miejskie tereny zielone”, „grunty orne drobnoblokowe” oraz „tereny z dużym udziałem roślinności naturalnej”.

Klasyfikacja obiektowa pozwoliła na uzyskanie bardzo dobrych wyników pod względem jakościowym i ilościowym, rozpoznano 18 klas z całkowitą dokładnością 94,54%. Zastosowany sposób opracowania wyników klasyfikacji obiektowej, związany z generalizacją, utworzeniem wektorowej bazy danych, wygładzaniem granic wydzielen i zakończony weryfikacją metodą interpretacji wizualnej, pozwolił na uzyskanie wiarygodnej bazy danych o pokryciu i użytkowania terenu.

### Literatura

- Baatz M., Banz U., Dehghani S., Heynen M., Holtje A., Hofmann P., Lingenfelder I., Mimler M., Sohlbach M., Weber M., Willhauck G., 2001: eCognition user guide. Definiens Imaging GmbH.
- Congalton R.G., 1991: A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, vol. 37, pp. 35-46.
- GMES 2004: Global monitoring for environment and security, final report for the GMES initial period (2001-2003).
- GMES 2006: GMES Fast Track Service Precursor (FTSP) on European land monitoring, FTSP technical implementation – discussion paper, ver 11.4, 23.06.2006.
- Heymann Y., Steenmans C., Croisille G., Bossard M., 1993: CORINE land cover technical guide. European Commission, EUR 12585.
- De Kok R., Buck A., Schneider T., Ammer U., 2000a: Analysis of image objects from VHR imagery for forest GIS updating in the Bavarian Alps. Proc. ISPRS Amsterdam, July 2000, Working Group III/5.
- De Kok R., Buck A., Schneider T., Ammer U., Baatz M., 2000b: Data fusion with Landsat 7 imagery. STROBL, J. et al. (Hrsg), *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII, Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 1999*, Karlsruhe, Herbert Wichmann Verlag, pp.90-97.
- Lewiński S., 2000: The satellite maps of Poland elaborated on the basis of Landsat MSS, TM and IRS-1C images. Proceedings of 28 th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Cape Town, RPA, 27-30 March 2000.
- Lewiński S., Zagajewski B., 2002: The map of the Narew River National Park on the scale of 1:25000 elaborated on the basis of the merger of the satellite and aerial imagery. *Miscellanea Geographica* vol. 10, s. 307-318, Warszawa.
- Lewiński S., Poławski Z.F., 2005: The comparison of interpretation possibility of RGB composite of LISS-III and ETM+ scanner. Proceedings of the 24th Symposium of European Association of Remote Sensing Laboratories, Dubrovnik, Croatia.
- Lewiński S., 2005: Klasyfikacja obiektowa narzędziem wspomagającym process interpretacji zdjęć satelitarnych. *Polskie Towarzystwo Informatyki Przestrzennej, Roczniki Geomatyki*, t. III, z. 2, s. 97-106. Warszawa.
- Lewiński S., 2006: Land use classification of ASTER image – Legionowo test site. Proc. of the 25<sup>th</sup> Symposium of the European Association of Remote Sensing Laboratories, Porto, Portugal, 6-9 June 2005. Global Developments in Environmental Earth Observation from Space.
- Nunes de Lima M.V., 2005: CORINE Land Cover updating for the year 2000. IMAGE2000 and CLC2000, products and methods. JRC-IES.
- Richter R., 2006: ATCOR-2/3 user guide, ver 6.2. DLR-German Aerospace Center. [http://www.rese.ch/pdf/atcor23\\_manual.pdf](http://www.rese.ch/pdf/atcor23_manual.pdf)
- Zhang Y., 1999: A new merging method and its spectral and spatial effects. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 20, No. 10, pp. 2003-2014.
- Zhang Y., 2002. Problems in the fusion of commercial high-resolution satellite images as well as Landsat 7 images and initial solutions. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (IAPRS)*, vol. 34, part 4.

### **Summary**

*The results of object-oriented classification based on multispectral and panchromatic Landsat ETM+ data, conducted with the use of eCognition software, are presented in the paper.*

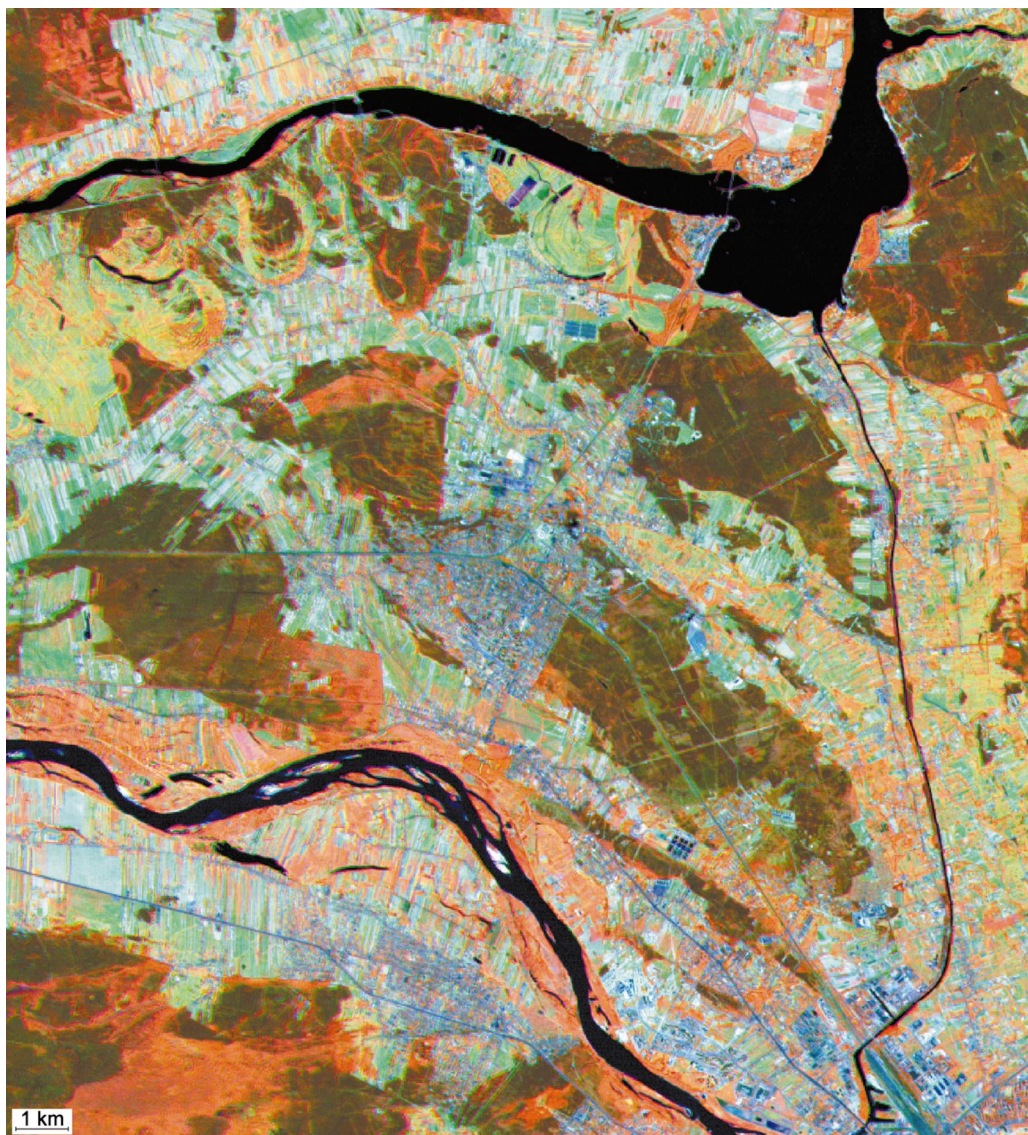
*The classification image was prepared using an algorithm aimed at obtaining a database similar to the one resulting from traditional visual interpretation. After the classification, generalisation of data was performed using a working unit of 1 ha for built-up areas and 4 ha for the remaining classes. Next, raster to vector conversion was performed and the edges of objects delineations were smoothed. Verification using a method of visual interpretation was the last stage of works. After combining the verification results with the classification, the final database was obtained.*

*The applied methods of classification enabled identification of 18 land cover and land use classes, at least four of which cannot be identified using traditional methods. The obtained total accuracy of classification reached 94%.*

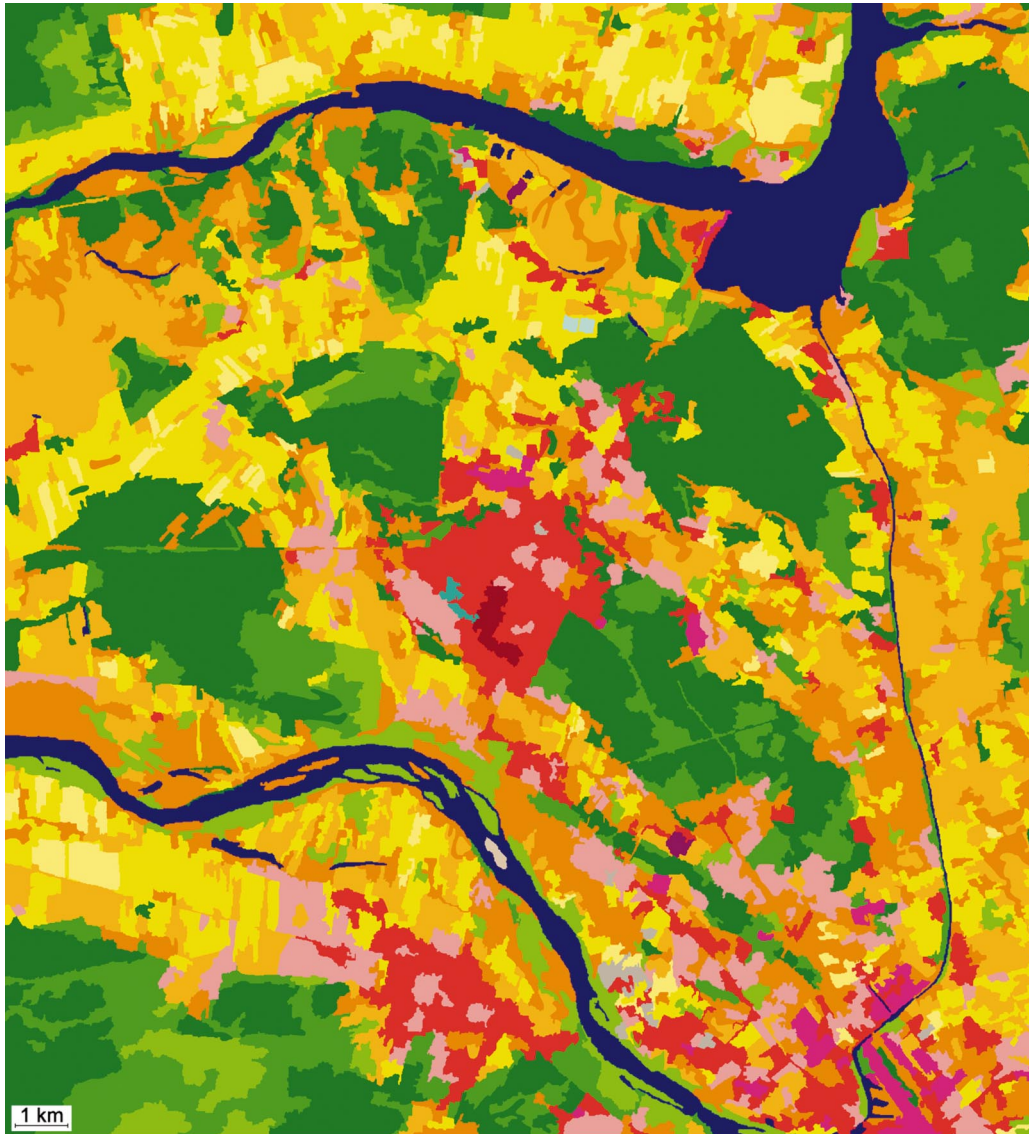
*The principles of segmentation of the Landsat ETM+ image based on the panchromatic channel and fused multispectral and panchromatic data are specified in the paper. Fusion was based on PanSharp algorithm within PCI Geomatica software, which preserves spectral characteristics of the original data. The adopted principles of land use and land cover classes were also described. What is particularly worth attention is the method of identification of four built-up land classes, which were extracted from the general class of built-up areas classified using the nearest neighbour method. This task involved use of a parameter defined as a square root of the sum of squares of differences between spectral values of particular channels, while the classification of shadows of buildings was used for identification of built-up areas with apartment blocks.*

*The presented method of classification and processing of the obtained results can support or, in certain cases, entirely replace traditional visual interpretation of satellite images, aimed at creating a land cover and land use database.*

dr inż. Stanisław Lewiński  
stanislaw.lewinski@igik.edu.pl  
tel: (022) 329 19 76



Rys. 2. Teren badań, kompozycja barwna (4, 5, 3) zdjęcia ETM+



- |   |  |
|---|--|
| <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #800000; border: 1px solid black;"></span> ZABUDOWA LUŻNA WIELORODZINNA MIEJSKA TYPU BLOKOWEGO | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #ADD8E6; border: 1px solid black;"></span> UPRAWY SZKLARNIOWE                             |
| <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #FF0000; border: 1px solid black;"></span> ZABUDOWA LUŻNA WIELORODZINNA TYPU MIEJSKIEGO        | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #FFD700; border: 1px solid black;"></span> ŁĄKI   |
| <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #FFA07A; border: 1px solid black;"></span> ZABUDOWA LUŻNA WIELORODZINNA TYPU WIEJSKIEGO        | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #FF8C00; border: 1px solid black;"></span> TERENY Z DUŻYM UDZIAŁEM ROSLINNOŚCI NATURALNEJ |
| <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #FF00FF; border: 1px solid black;"></span> TERENY PRZEMYSŁOWE I HANDLOWE                       | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #9ACD32; border: 1px solid black;"></span> LASY LISCIASTE                                 |
| <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #800080; border: 1px solid black;"></span> ZWAŁOWISKA ODPADÓW PŁYNNYCH - OSADNIKI              | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #008000; border: 1px solid black;"></span> LASY IGLASTE                                   |
| <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #A9A9A9; border: 1px solid black;"></span> PLACE BUDÓW   | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #3CB371; border: 1px solid black;"></span> LASY MIESZANE                                  |
| <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #20B2AA; border: 1px solid black;"></span> MIEJSKIE TERENY ZIELONE                             | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #808000; border: 1px solid black;"></span> LASY I ROSLINNOŚĆ KRZEWIASTA W STANIE ZMIAN    |
| <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #FFFF00; border: 1px solid black;"></span> GRUNTY ORNE WIELKOBLOKOWE                           | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #D2B48C; border: 1px solid black;"></span> PLAŻE  |
| <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #FF00FF; border: 1px solid black;"></span> GRUNTY ORNE DROBNOBLOKOWE                           | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #000080; border: 1px solid black;"></span> CIEKI I ZBIORNIKI WODNE                        |

Rys. 3. Obraz klasyfikacji obiektowej zdjęcia Landsat ETM+ (po weryfikacji wizualnej)