



Stanisław Lewiński*

Klasyfikacja niskorozdzielczego obrazu satelitarnego AVHRR/NOAA

Classification of the low resolution satellite image AVHRR/NOAA

The approach to do the classification of NOAA images is similar to the classification of high resolution images of other satellites. Mostly unsupervised classification is used. The accuracy of this method depends of the definition of training fields.

It is not very complicated to find appropriate training fields for land use classes when they cover areas which are much bigger comparing to pixel size. In case of NOAA image one pixel represents area of 1100×1100 m (1.21 km^2). In European conditions and especially for East European land use structure, it is difficult to find a pure training field and to mark it interactively on a computer screen.

The presented method of land use classification using NOAA images is based on supervised classification. The training fields are chosen automatically by comparing NOAA image to the digital land use map of the test area. This map was based on the LANDSAT TM image. The training fields are selected automatically in ARC/INFO system. They contain only these NOAA pixels which are filled in 100%, 90% or in 80% by one land use class according to the digital map. The supervised classification using ERDAS image processing system was performed.

The classification algorithm was applied for the test area of 8311 km^2 in West part of Poland. This area is characterized by typical land use classes in Poland with large number of agricultural fields.

On the bases of the visual interpretation of color composite of LANDSAT TM image scale (1:250 000) the digital map was created as the reference map. After preliminary analysis some land use classes were joined together and the number of classes was reduced from 25 to 14. The training fields were defined for 9 classes: arable land, mixed arable lands and grassland, grassland, build-up areas — high density, build-up areas — low density, coniferous forest, deciduous forest, mixed forest and waters.

The classification was performed on NOAA images for May 16, 1989. Four different combination of NOAA channels: [1, 2, 4], [1, 2], [1, NDVI, 4] and [NDVI, 4] have been chosen for classification. Results were tested by comparing classification to homogeneity of pixels expressed in % of dominance of a single land use class in individual NOAA pixel and by comparing AVHRR/NOAA image classification to the digital map of the study area.

Wstęp

Zdjęcia satelitarne są uznanym i powszechnie stosowanym źródłem informacji o użytkowaniu ziemi. W ostatnich latach są one coraz powszechniej wykorzystywane do zasilania systemów informacji geograficznej.

Szczegółowe informacje o pokryciu terenu można

uzyskać na podstawie wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych takich jak LANDSAT TM lub SPOT. Przykładem może być projekt CORINE, w którym warstwa informacyjna o użytkowaniu ziemi w skali 1:100 000 opracowywana jest dla całej Europy na podstawie zdjęć LANDSAT TM. Związane jest to z bardzo wysokimi kosztami oraz wielkim wysiłkiem organizacyjnym. Ponadto,

* Dr inż. Stanisław Lewiński, Instytut Geodezji i Kartografii, Ośrodek Teledetekcji i Informacji Przestrzennej — OPOLIS, ul. Jasna 2/4, 00-950 Warszawa, Tel.: (48 22) 26 42 21 w. 338, Fax: (48 22) 27 03 28.

szacuje się, że uaktualnienie tak szczegółowych informacji może trwać ponad 10 lat. W ostatnim czasie w pracach związanych z określaniem pokrycia powierzchni Ziemi czynione są próby wykorzystania satelitarnych zdjęć meteorologicznych NOAA. Charakteryzują się one małą terenową zdolnością rozdzielczą, wymiary piksela wynoszą 1100×1100 m. W porównaniu ze zdjęciami LANDSAT TM (30×30 m) i SPOT (20×20 m — zakres wielospektralny i 10×10 m — zakres panchromatyczny) różnica jest bardzo duża. Jednak w przypadku opracowań o charakterze przeglądowym, w skali całego kontynentu, stopień dokładności kartowania użytkowania ziemi na podstawie zdjęć NOAA wydaje się być wystarczający. Ponadto są one pozyskiwane z dużą częstotliwością (kilka razy w ciągu jednego dnia) i mogą być wykorzystywane do śledzenia zjawisk wielkoobszarowych i szybkozmiennych.

Zdjęcia satelitarne AVHRR/NOAA

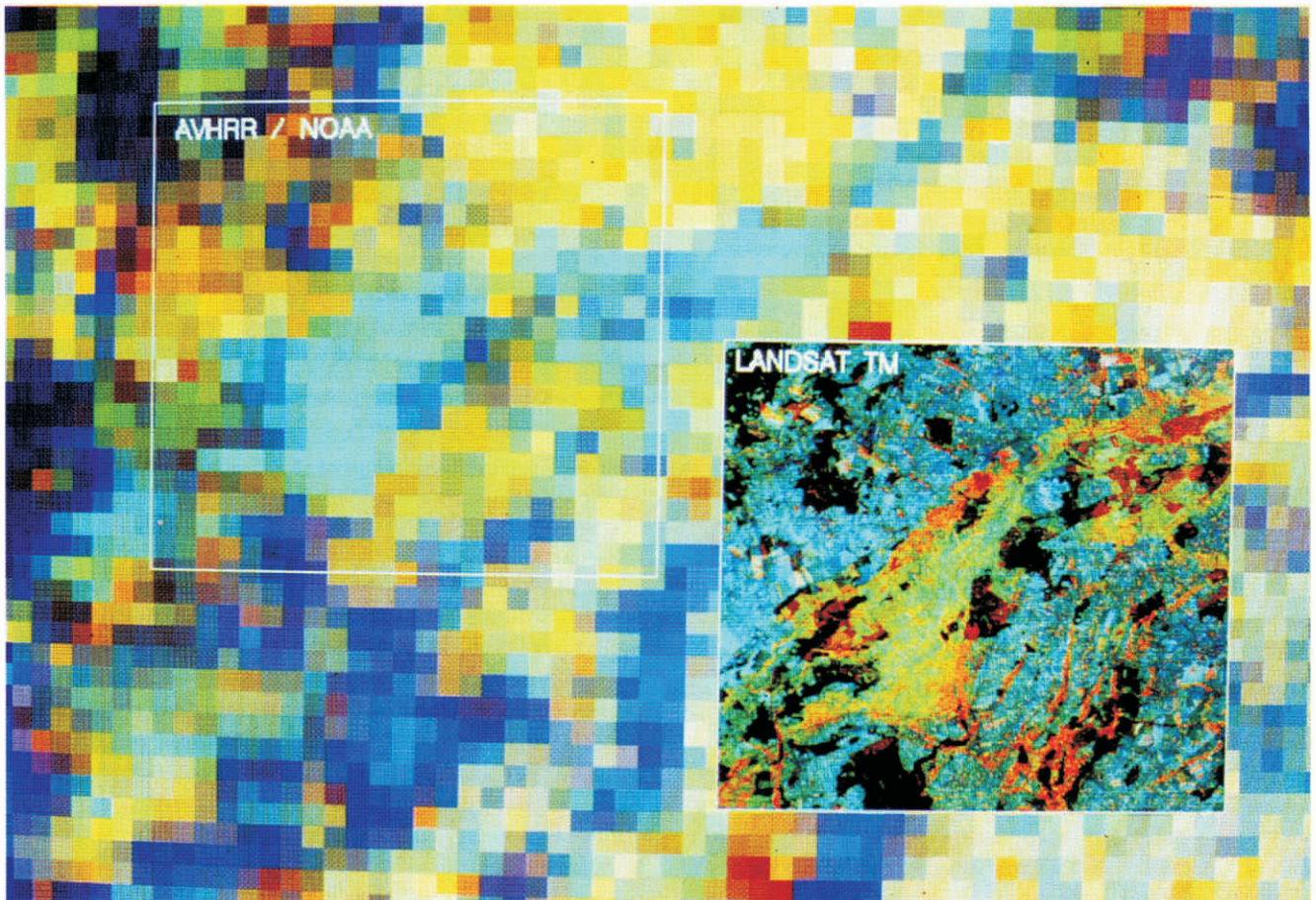
Aktualnie działające satelity serii NOAA należą do trzeciej generacji satelitów meteorologicznych (Ciolkosz, Kęsik, 1989). Zostały one skonstruowane przede wszystkim do badań meteorologicznych i oceanograficznych. Są jednak wykorzystywane również w badaniach przyrodniczych powierzchni Ziemi. Radiometr AVHRR (Ad-

vanced Very High Resolution Radiometer) jest podstawowym sensorem satelity NOAA służącym do wykonywania wielospektralnych obrazów atmosfery i powierzchni Ziemi. Promieniowanie elektromagnetyczne rejestrowane jest w pięciu kanałach spektralnych (Sparkman, 1984):

1. $0,58 - 0,68 \mu\text{m}$ (zakres widzialny),
2. $0,70 - 1,10 \mu\text{m}$ (bliska podczerwień),
3. $3,55 - 3,93 \mu\text{m}$ (średnia podczerwień),
4. $10,30 - 11,30 \mu\text{m}$ (podczerwień termalna),
5. $11,50 - 12,40 \mu\text{m}$ (podczerwień termalna).

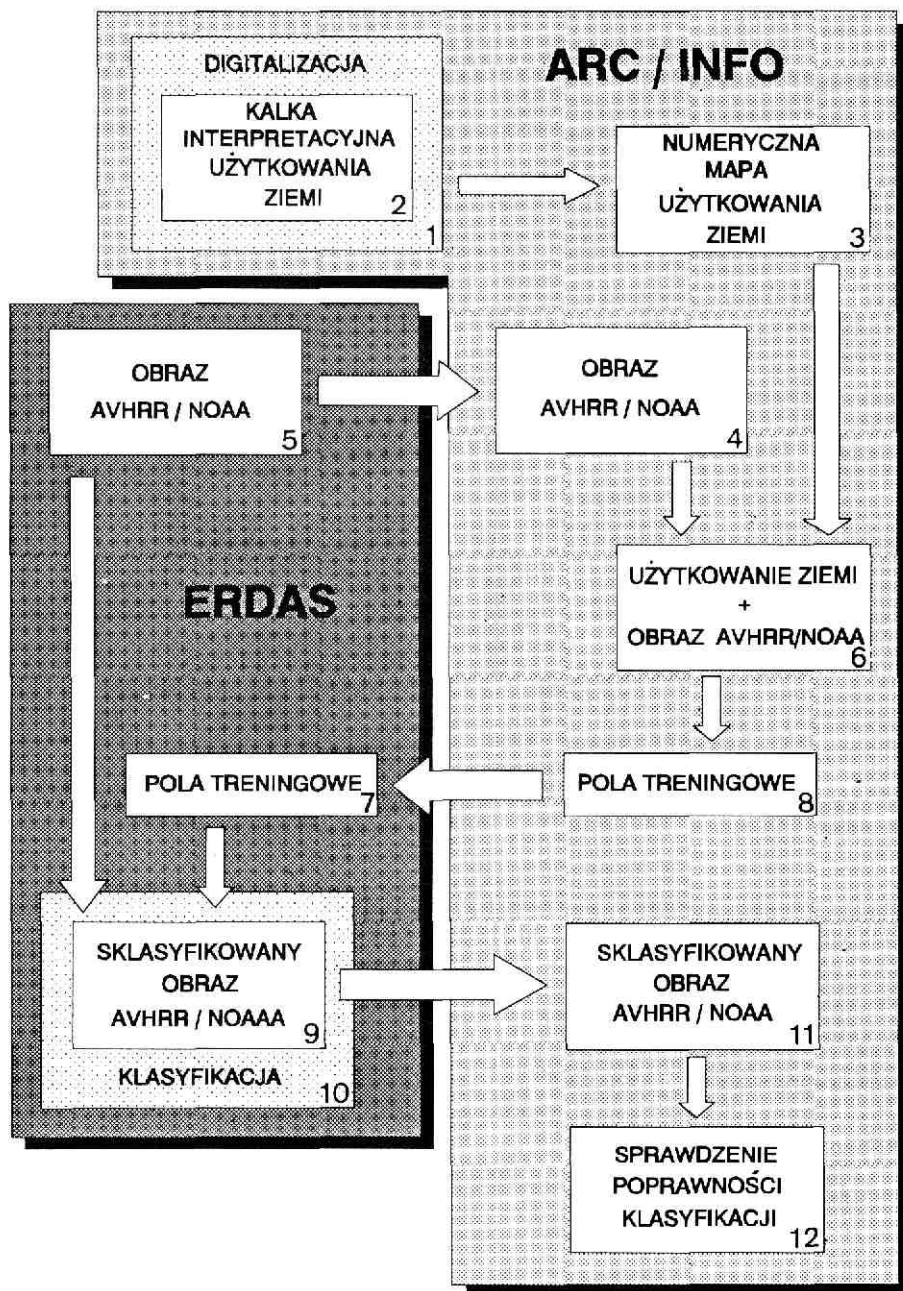
Każda linia obrazu składa się z 2048 pikseli reprezentujących na powierzchni Ziemi pas o szerokości 2700 km (Schneider, McGinnis, i in., 1981). Wielkość piksela w punkcie podsatelitarnym (nadirowym) wynosi 1100×1100 m. Obszar całej Europy może być zobrazowany na trzech zdjęciach.

Ryc. 1 pokazuje jak jest zobrazowany ten sam fragment powierzchni Ziemi na zdjęciu NOAA i LANDSAT TM. Obszar widoczny na obu zdjęciach zaznaczony jest białą ramką i jest przedstawiony w tej samej skali. Wyraźna różnica w stopniu szczegółowości obu obrazów wynika z rozdzielczości terenowej. Jeden piksel NOAA na obrazie LANDSAT TM reprezentowany jest przez ponad 1300 pikseli. Należy o tym pamiętać komentując wyniki klasyfikacji obrazu NOAA i porównując je ze



Ryc. 1. Porównanie rozdzielczości terenowej zdjęć AVHRR/NOAA i LANDSAT TM

Fig. 1. Comparison of terrain resolution of AVHRR/NOAA image to LANDSAT TM



Ryc. 2. Schemat algorytmu klasyfikacji obrazów NOAA

Fig. 2. The scheme of the classification algorithm of NOAA image. 1 — digitization; 2 — land use, interpretation overlay; 3 — land use, digital map; 4 — AVHRR/NOAA image; 5 — AVHRR/NOAA image; 6 — land use + AVHRR/NOAA image; 7 — training fields; 8 — training fields; 9 — classified AVHRR/NOAA image; 10 — classification; 11 — classified AVHRR/NOAA image; 12 — verification of classification

szczególą mapą lub klasyfikacją wysokorozdzielczego obrazu satelitarnego.

Algorytm klasyfikacji obrazu NOAA

Wielospektralne obrazy AVHRR/NOAA mogą być klasyfikowane tak jak każde inne zdjęcie satelitarne. Jednak ze względu na ich małą zdolność rozdzielczą wydaje się celowe opracowanie specjalnej metody klasyfikacji pozwalającej na uzyskanie wyników o możliwie wysokim stopniu poprawności. W warunkach europejskiego użytkowania ziemi większość pikseli reprezentujących obszar ponad 1 km² jest niejednorodna tzn.

występuje w ich obrębie więcej niż jedna forma użytkowania. Jakość klasyfikacji zdjęć NOAA zależy od klasyfikacji pikseli, które w rzeczywistości są wewnętrznie bardzo zróżnicowane, co w konsekwencji powoduje, że odpowiedź spektralna takiego piksela jest wypadkową odbicia promieniowania od różnych form pokrycia terenu. W żargonie teledetekcyjnym tego rodzaju piksel określany jest jako „miksł” (Curran, 1985).

Prezentowany algorytm klasyfikacji obrazów NOAA bazuje na metodzie klasyfikacji nadzorowanej. Treść obrazu dzielona jest na klasy w oparciu o kryteria statystyczne. Są one określane osobno dla każdej klasy na podstawie pól treningowych. Wybór odpowiednich

pól treningowych jest najważniejszym elementem procesu klasyfikacji. Decyduje to o poprawności uzyskanych wyników. Wybór i zaznaczenie odpowiednich pól treningowych w sposób interaktywny, bezpośrednio na obrazie NOAA wyświetlonym na monitorze komputerowym, jest zadaniem bardzo trudnym. Jest to możliwe jedynie w przypadku klas użytkowania ziemi występujących na powierzchniach o wielkości kilkunastu kilometrów kwadratowych. Są to najczęściej kompleksy leśne, łąkowe, wielkie pola orne oraz duże zbiorniki wodne. Obszary te rozróżniane są na obrazach satelitarnych na podstawie tonu szarości pojedynczych kanałów lub barwy kompozycji. Formy użytkowania ziemi reprezentowane przez małe grupy pikseli są bardzo trudne do rozpoznania. Pojedyncze, jednorodnie piksele otoczone mikselami tworzą obraz mało czytelny. W jego interpretacji nie jest pomocna analiza wartości pikseli, ponieważ nie ma pewności czy dany piksel reprezentuje jednorodną formę użytkowania ziemi. Piksele będące w rzeczywistości mikselami nie są związane z konkretnymi wartościami obrazu. Tak więc zaznaczenie pola treningowego, klasy użytkowania ziemi nielicznie reprezentowanej lub występującej w dużym rozdrobieniu nie jest łatwe i może być źródłem poważnych błędów klasyfikacji.

W opracowanej metodzie klasyfikacji obrazów NOAA piksele pól treningowych są kontrolowane pod względem ich jednorodności. Piksele, które są wypełnione całkowicie tylko jedną klasą użytkowania ziemi lub też te, w których klasa dominująca zajmuje założony procent powierzchni, wybierane są przez system w sposób automatyczny. Jest to możliwe poprzez połączenie (nałożenie) obrazu NOAA z numeryczną mapą użytkowania ziemi analizowanego terenu. Szczegółowa mapa użytkowania ziemi pełni rolę poziomu odniesienia w analizie obrazu NOAA.

Do klasyfikacji obrazu NOAA wykorzystane zostały dwa systemy komputerowe: system przetwarzania obrazów ERDAS (wersja PC 7.5) oraz system informacji geograficznej ARC/INFO (wersja PC 3.4D). Ponadto do analizy baz danych utworzonych w ARC/INFO opracowano szereg programów w języku systemu baz danych DBase III.

Schemat algorytmu klasyfikacji obrazów NOAA przedstawiony jest na ryc. 2. Wykorzystując funkcje systemu ERDAS obraz NOAA zostaje wstępnie przygotowany do analizy. Polega to na wczytaniu do systemu zbiorów związanych z poszczególnymi kanałami i wybraniu fragmentu reprezentującego obszar badań. Następnie obraz jest geometryzowany na podstawie mapy topograficznej. Współrzędne pikseli zostały przekształcone zgodnie z odwzorowaniem i układem współrzędnych mapy. Funkcje systemu ERDAS wykorzystywane są również w celu wykonania klasyfikacji nadzorowanej, w której pola treningowe określone są na podstawie bazy danych utworzonej w systemie ARC/INFO.

W środowisku systemu ARC/INFO powstaje numeryczna mapa użytkowania ziemi analizowanego terenu. Jest ona następnie łączona z obrazem NOAA. Utworzona

warstwa informacyjna zawiera wszystkie dane związane z formami użytkowania ziemi oraz pikselami obrazu NOAA reprezentowanymi przez siatkę poligonów. Na podstawie połączonych danych można wykonać analizę wypełnienia pikseli obrazu formami użytkowania ziemi. Określone zostają piksele jednorodne, które w procesie klasyfikacji w systemie ERDAS wykorzystywane są jako pola treningowe.

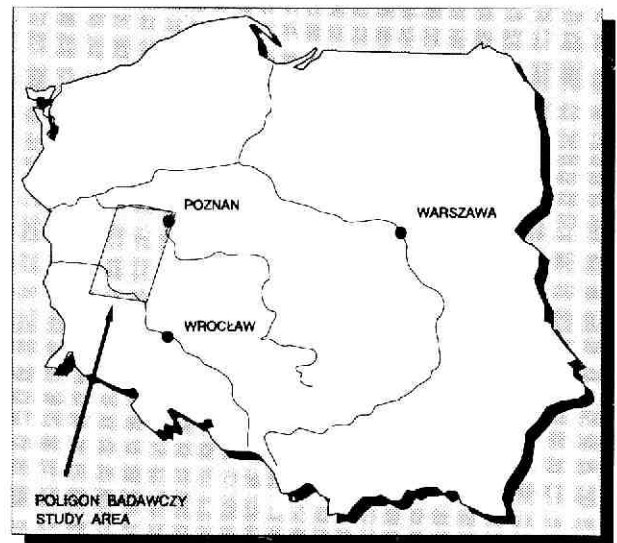
Ostatnim elementem algorytmu przedstawionego na ryc. 2, jest sprawdzenie poprawności wykonanej klasyfikacji. Następuje to w środowisku systemu ARC/INFO poprzez porównanie wyników klasyfikacji z numeryczną mapą użytkowania ziemi.

Klasyfikacja obrazu NOAA

Algorytm klasyfikacji przedstawiony na ryc. 2 został sprawdzony praktycznie na podstawie klasyfikacji obrazu zarejestrowanego 16 maja 1989 roku o godz. 14:40 GMT przez satelitę NOAA-11. Jako poligon badawczy wybrano obszar o powierzchni 8311 km² zlokalizowany między Wartą i Odrą, w którego północno-wschodniej części znajduje się Poznań. Jest on ograniczony punktami o współrzędnych geograficznych:

lewy górny	$\lambda = 15^{\circ}54'$,	$\phi = 52^{\circ}42'$
prawy górny	$\lambda = 17^{\circ}06'$,	$\phi = 52^{\circ}30'$
lewy dolny	$\lambda = 15^{\circ}36'$,	$\phi = 51^{\circ}42'$
prawy dolny	$\lambda = 16^{\circ}36'$,	$\phi = 51^{\circ}30'$

Lokalizacja obszaru badań przedstawiona jest w postaci szkicu na ryc. 3.



Ryc. 3. Lokalizacja poligonu badawczego

Fig. 3. Localization of the study area.

Dominującą formą użytkowania ziemi na poligonie badawczym są grunty orne charakteryzujące się dużym zróżnicowaniem pod względem wielkości poszczególnych pól. Występują tu silnie rozdrobione pola gospodarstw indywidualnych oraz pola gospodarki wielkopowierzchniowej. W centralnej części poligonu znajdują się duże obszary użytków zielonych. Zachodnia część poligonu zdominowana jest przez kompleksy leśne. Są

to przede wszystkim lasy iglaste. Cechą charakterystyczną tego obszaru jest duża liczba małych i średniej wielkości jezior. Do największych należą: Zbąszyńskie, Sławskie, Dominickie, Berzyńskie, Bytyńskie i Kierskie. Największą aglomeracją miejską jest Poznań. Przemysł związany jest z trzema ośrodkami: Poznaniem, Nową Solą i Głogowem.

Dla całego analizowanego obszaru przygotowana została numeryczna mapa użytkowania ziemi. Materiałem wyjściowym były dwie kompozycje barwne zdjęć satelitarnych LANDSAT TM w skali 1:250 000, zarejestrowane w dniach 14 lipca i 31 sierpnia 1985 roku.

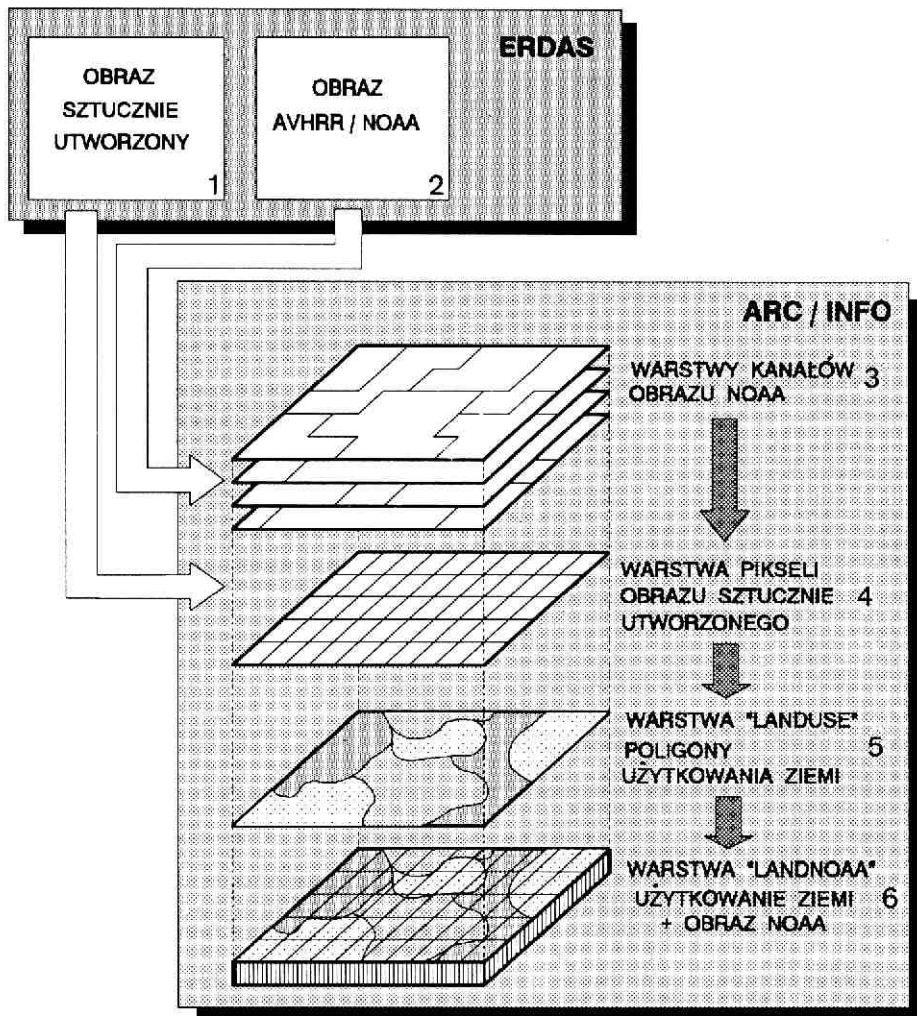
Formy użytkowania ziemi określono na podstawie wizualnej interpretacji kompozycji barwnych. W podziale na klasy została wykorzystana legenda numerycznej mapy użytkowania ziemi w skali 1:500 000, opracowana w Instytucie Geodezji i Kartografii. Początkowo na poligonie badawczym wydzielono 25 form użytkowania ziemi. W wyniku wstępnych analiz, niektóre klasy zostały połączone. Połączono przede wszystkim klasy bliskie tematycznie, reprezentowane przez nieliczne, małe powierzchnie, rozpoznanie których na obrazie NOAA jest zadaniem

bardzo trudnym lub wręcz niemożliwym. Liczba klas została zmniejszona do 14. Są to: tereny niesklasyfikowane, wody, nieużytki, tereny komunikacyjne, grunty orne, użytki kompleksowe, użytki zielone, zabudowa zwarta, zabudowa luźna, tereny przemysłowe, las iglasty, las liściasty, las mieszany, nieużytki leśne. Wyjaśnienia wymaga klasa „użytki kompleksowe”. Powstała ona z połączenia tak zwanych terenów mieszanych tworzących na kompozycji barwnej mozaikowy typ użytkowania ziemi. Są to występujące obok siebie małe powierzchnie użytków zielonych oraz małe obszary leśne.

Połączenie danych satelitarnych z numeryczną mapą użytkowania ziemi

Połączenie danych satelitarnych z numeryczną mapą użytkowania ziemi następuje w środowisku systemu ARC/INFO. Powstaje warstwa informacyjna składająca się z poligonów klas użytkowania ziemi oraz nałożonych na nie poligonów reprezentujących piksele obrazu NOAA (Lewiński, 1992).

Ze względu na różnice w postaci zapisu, dane sate-



Ryc. 4. Schemat połączenia danych obrazowych z numeryczną mapą użytkowania ziemi

Fig. 4. The scheme presents the combination of satellite data with digital land use map. 1 — artificial image; 2 — AVHRR/NOAA image; 3 — coverages of NOAA image channels; 4 — coverage of pixels of artificial image; 5 — „LANDUSE” coverage; 6 — „LANDNOAA” coverage, land use + NOAA image

litarne można połączyć z warstwą informacyjną o użytkowaniu ziemi dopiero po zmianie formatu z rastrowego systemu ERDAS na wektorowy ARC/INFO. Podział na poligony następuje na podstawie wartości pikseli. Powstają poligony o granicach biegnących wzdłuż krawędzi pikseli tworzących grupy o jednakowych wartościach. Wartości spektralne przekazane są w postaci atrybutów poligonów.

Jednym z założeń analizy obrazu NOAA w funkcji klas użytkowania ziemi jest uzyskanie informacji o każdym pojedynczym pikselu obrazu. Poligony reprezentujące grupy pikseli muszą zostać podzielone na powierzchnie odpowiadające pojedynczym pikselom, co nie jest możliwe do wykonania w czasie importu danych z systemu ERDAS do ARC/INFO. W celu wykonania takiego podziału opracowano i zastosowano własną metodę, polegającą na wykorzystaniu w procesie łączenia danych sztucznie wygenerowanej warstwy reprezentującej pojedyncze piksele analizowanego obrazu. Warstwa ta powstała na podstawie obrazu specjalnie wygenerowanego w systemie ERDAS, w taki sposób aby w systemie ARC/INFO powstały poligony reprezentujące każdy pojedynczy piksel obrazu.

Na ryc. 4 przedstawiony jest schemat zmiany formatu danych obrazowych oraz łączenia ich z warstwą użytkowania ziemi. W wyniku wszystkich procesów przedstawionych na ryc. 4, związanych ze zmianą formatów i łączeniem (przecinaniem) danych, w systemie ARC/INFO powstaje końcowa warstwa informacyjna, którą nazwano LANDNOAA. Warstwa ta zawiera sumę informacji związanych z użytkowaniem ziemi na obszarze badawczym i obrazem satelitarnym NOAA. Informacje te można uzyskać poprzez analizę atrybutów poligonów zawartych w bazie danych.

Pola treningowe klasyfikacji obrazu NOAA

W prezentowanej metodzie klasyfikacji obrazu NOAA pola treningowe wybierane są automatycznie w środowisku systemu ARC/INFO. Specjalnie przygotowane do tego celu programy analizują atrybuty bazy danych warstwy informacyjnej LANDNOAA utworzonej przez połączenie numerycznej mapy użytkowania ziemi z siatką pikseli obrazu satelitarnego. Dla każdej klasy użytkowania ziemi wyszukiwane są piksele — obrazu satelitarnego, w których klasa ta dominuje oraz zajmuje określony procent powierzchni.

Jako pola treningowe zostały wybrane przede wszystkim piksele całkowicie jednorodne, na podstawie których można uzyskać najlepsze charakterystyki statystyczne. Niestety nie wszystkie klasy użytkowania ziemi związane są z dostatecznie dużą liczbą jednorodnych pikseli. Dlatego też, dla niektórych klas kryterium jednorodności pól treningowych zostało obniżone. Założono jednak, że nie może być niższe od 80%. Oznacza to, że pola treningowe składają się z pikseli, w których klasa dominująca zajmuje nie mniej niż 80% powierzchni.

W tabeli 1 przedstawione są klasy użytkowania ziemi oraz poziom jednorodności pikseli tworzących pola treningowe. Z 14 klas do klasyfikacji wybrano 9 i dla nich określono pola treningowe. Są to „wody”, „grunty orne”,

„użytki kompleksowe”, „użytki zielone”, „zabudowa zwarta”, „zabudowa luźna”, „las iglasty”, „las liściasty” oraz „las mieszany”.

Dla dwóch klas „las iglasty” i „grunty orne”, najliczniej występujących na poligonie badawczym, pola treningowe zostały utworzone z pikseli całkowicie jednorodnych. Dla pozostałych kryterium jednorodności zostało obniżone: do 90% dla „użytków kompleksowych” i „użytków zielonych” i do 80% dla „zabudowy zwartej”, „zabudowy luźnej”, „lasu liściastego” i „lasu mieszanego”.

Tabela 1

Poziomy jednorodności pikseli tworzących pola treningowe
The homogeneity levels of the pixels of training fields

Klasa użytkowania ziemi <i>Land use class</i>	Kryterium jednorodności <i>Level of the homogeneity</i> %
Tereny niesklasyfikowane <i>Unclassified area</i>	*
Wody <i>Waters</i>	**
Nieużytki <i>Waste land</i>	*
Tereny komunikacyjne <i>Transportation infrastructure</i>	*
Grunty orne <i>Arable land</i>	100
Użytki kompleksowe <i>Mixed arable lands</i>	90
Użytki zielone <i>Grassland</i>	90
Zabudowa zwarta <i>Build-up areas — high density</i>	80
Zabudowa luźna <i>Build-up areas — low density</i>	80
Tereny przemysłowe <i>Industrial areas</i>	*
Las iglasty <i>Coniferous forest</i>	100
Las liściasty <i>Deciduous forest</i>	80
Las mieszany <i>Forest mixed</i>	80
Nieużytki leśne <i>Forest waste land</i>	*

* Klasa pominięta w klasyfikacji *The class was omitted in the classification*

** Pola treningowe nie zostały wybrane automatycznie
The training field was not chosen automatically

Pięć klas, a mianowicie: „tereny niesklasyfikowane”, „nieużytki”, „tereny komunikacyjne”, „tereny przemysłowe” i „nieużytki leśne”, pominięto w procesie klasyfikacji. Są one związane z małymi powierzchniami. Dominują one w pojedynczych pikselach niespełniających założonego kryterium jednorodności.

„Wody” są jedyną klasą, dla której pola treningowe nie zostały wybrane w sposób automatyczny mimo, że na poligonie badawczym występują liczne jeziora. Są i one jednak niewielkie w porównaniu z pikselami o wymiarach 1100 × 1100 m. Jedynie pięć dużych jezior z racji wielkości i kształtu jest widocznych na zdjęciu NOAA. Układ ich powierzchni na mapie numerycznej oraz pikseli obrazu spowodował, że pola treningowe nie mogły zostać wybrane automatycznie. Zostały one wyselekcjonowane na podstawie analizy wartości pikseli. Taki sposób postępowania był możliwy jedynie dla klasy tak dobrze rozróżnialnej jak woda (Lillesand, Kiefer, 1979).

Ostatnim etapem tworzenia pól treningowych było przesłanie ich z systemu ARC/INFO do systemu przetwarzania obrazów ERDAS.

Klasyfikacja

Obraz NOAA został sklasyfikowany na podstawie czterech zestawień kanałów spektralnych oraz wskaźnika NDVI: [1, 2, 4], [1, 2], [1, NDVI, 4], [NDVI, 4]. Znormalizowany wskaźnik zieleni NDVI (*Normalized Difference of Vegetation Index*) jest zdefiniowany jako przekształcenie pierwszego i drugiego kanału spektralnego obrazu AVHRR/NOAA (Cicone, Metzler, 1984):

$$NDVI = (K2 - K1) / (K2 + K1),$$

gdzie: K1, K2 są wartościami pikseli w 1 i 2 kanale.

W obliczeniach zastosowano współczynniki wprowadzone przez S.M. Singh'a (1988):

$$NDVI = [(Y2 - Y1)/(Y2 + Y1)] \times 1,2,$$

gdzie: $Y1 = K1 \times 0.1065 \times 4 - 4.01$,

$$Y2 = K2 \times 0.1062 \times 4 - 3.76.$$

Wzór w tej postaci stosowany jest w pracach prowadzonych w Instytucie Geodezji i Kartografii (Dąbrowska-Zielińska i in., 1992).

Do przetworzenia obrazu wykorzystano standardową funkcję klasyfikacji nadzorowanej systemu ERDAS, dzielącą piksele na klasy według zasady największego prawdopodobieństwa. Charakterystyki spektralne form użytkowania ziemi określono na podstawie pól treningowych zdefiniowanych w systemie ARC/INFO. Wszystkie klasyfikacje zostały wykonane w oparciu o identyczne pola treningowe.

Ocena obrazów klasyfikacyjnych

Analizę wyników klasyfikacji wykonano w środowisku systemu ARC/INFO. W tym celu obrazy klasyfikacyjne zostały przesłane z systemu przetwarzania obrazów ERDAS do systemu ARC/INFO, a następnie porównane z numeryczną mapą użytkowania ziemi pełniącą rolę poziomu odniesienia.

Poprawność klasyfikacji sprawdzona została dla każdego piksela obrazu związanego z poligonem badawczym. Program analizujący bazy danych kwalifikował piksel jako poprawnie rozpoznany jeżeli wynik klasyfikacji był zgodny z klasą użytkowania ziemi dominującą pod względem zajmowanej powierzchni w danym pikselu. W tabeli 2, przedstawione są uzyskane wyniki w postaci procentu pikseli poprawnie sklasyfikowanych w zależności od stopnia ich jednorodności. Piksele podzielone są na pięć grup: całkowicie jednorodne, takie, w których klasa dominująca zajmuje więcej niż 90%, 70% i 50% powierzchni oraz łącznie wszystkie bez względu na stopień ich jednorodności.

Najlepsze wyniki związane są z klasyfikacjami [1, NDVI, 4] i [1, 2, 4]. Piksele jednorodne zostały rozpoznane poprawnie w 80.4% i 72.1%. Zdecydowanie najmniej pikseli dobrze sklasyfikowanych występuje w klasyfikacji [1, 2]; nawet w przypadku pikseli jednorodnych nie jest przekroczony poziom 30%.

Tabela 2

Dokładność klasyfikacji fragmentu obrazu NOAA zarejestrowanego w dniu 16 maja 1989 roku
The accuracy of the NOAA image classification from the 16th May 1989

Klasyfikacja zdjęć utworzonych z kanałów <i>Classification of NOAA channels</i>	Stopień jednorodności pikseli <i>The homogeneity level (%)</i>				
	100	> 90	> 70	> 50	> 0
1; 2; 4	72,1	66,9	59,9	52,1	49,2
1; 2	29,3	27,4	23,4	21,1	20,4
1; NDVI; 4	80,4	75,1	66,6	57,2	53,9
NDVI; 4	68,7	63,7	57,9	50,7	48,1

Jak można było łatwo przewidzieć dokładność klasyfikacji maleje w miarę obniżania kryterium jednorodności pikseli. Rozpatrując wszystkie piksele związane z poligonem badawczym, w najlepszej klasyfikacji [1, NDVI, 4] poprawne wyniki związane są z 53.9% pikseli.

Tabela 3

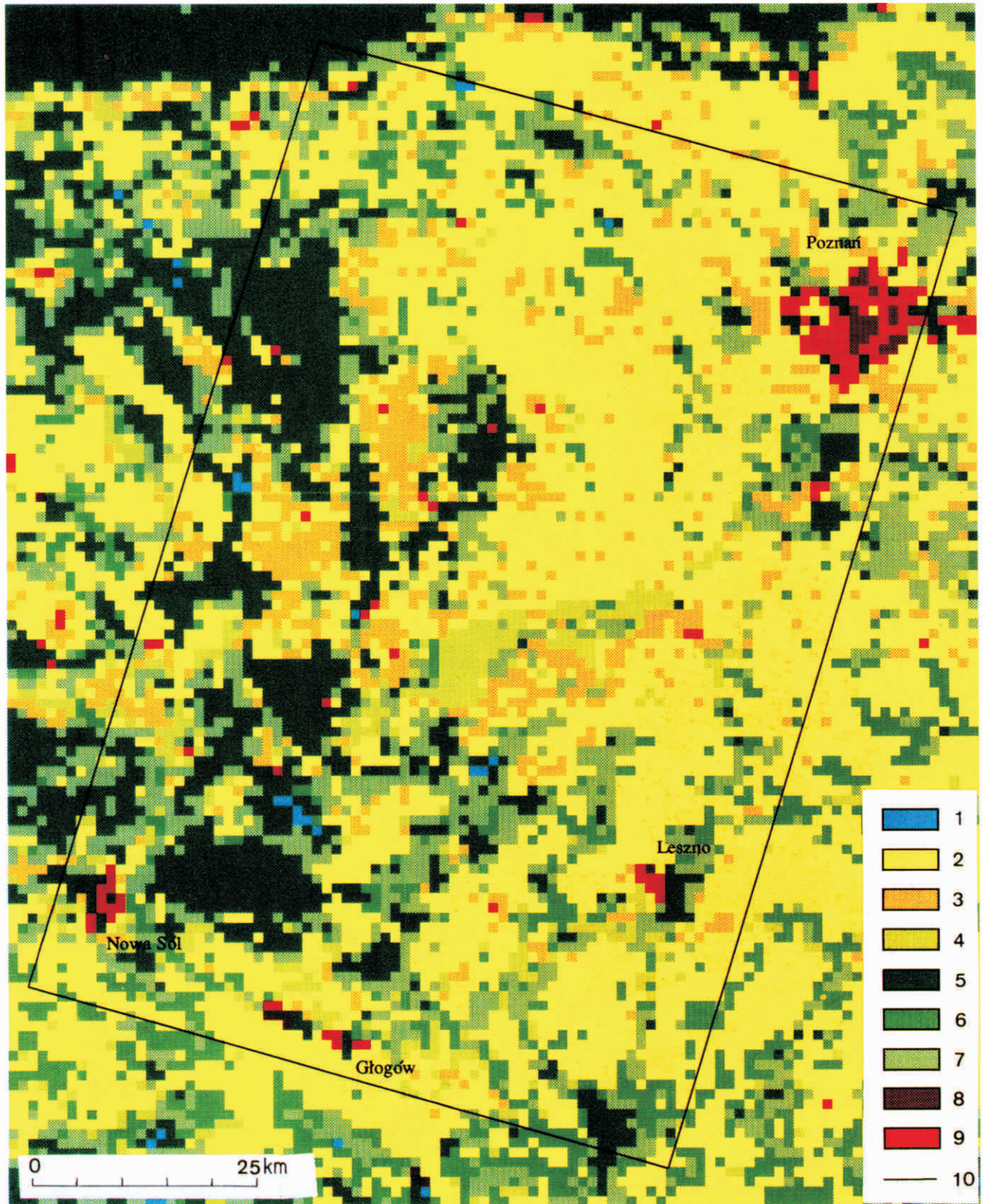
Porównanie powierzchni klas użytkowania ziemi na numerycznej mapie poligonu badawczego i w klasyfikacji [1, NDVI, 4] obrazu NOAA

Comparing of land use classes area between digital map and NOAA classification [1, NDVI, 4] of the study area

Klasa użytkowania ziemi <i>Land use class</i>	Powierzchnia klasy <i>Area of the class (ha)</i>		mapa/ klasyfikacja map <i>map/ classification (%)</i>
	Mapa użytkowania ziemi <i>Land use map</i>	Klasyfikacja obrazu NOAA <i>NOAA classification</i>	
Grunty orne <i>Arable land</i>	397609	368203	92,6
Użytki kompleksowe <i>Mixed arable lands</i>	76419	77561	101,5
Użytki zielone <i>Grasslands</i>	95954	39809	41,5
Zabudowa zwarta <i>Build-up areas — high density</i>	1239	3146	253,9
Zabudowa luźna <i>Build-up areas — low density</i>	24198	14641	60,5
Las iglasty <i>Coniferous forest</i>	157014	134431	85,6
Las liściasty <i>Deciduous forest</i>	21248	51304	241,4
Las mieszany <i>Forest mixed</i>	36840	124025	336,6
Wody <i>Waters</i>	12416*	1815	14,6
Inne klasy <i>Other classes</i>	8197	-	-

* Suma powierzchni jezior i rzek
The sum of rivers and lakes area

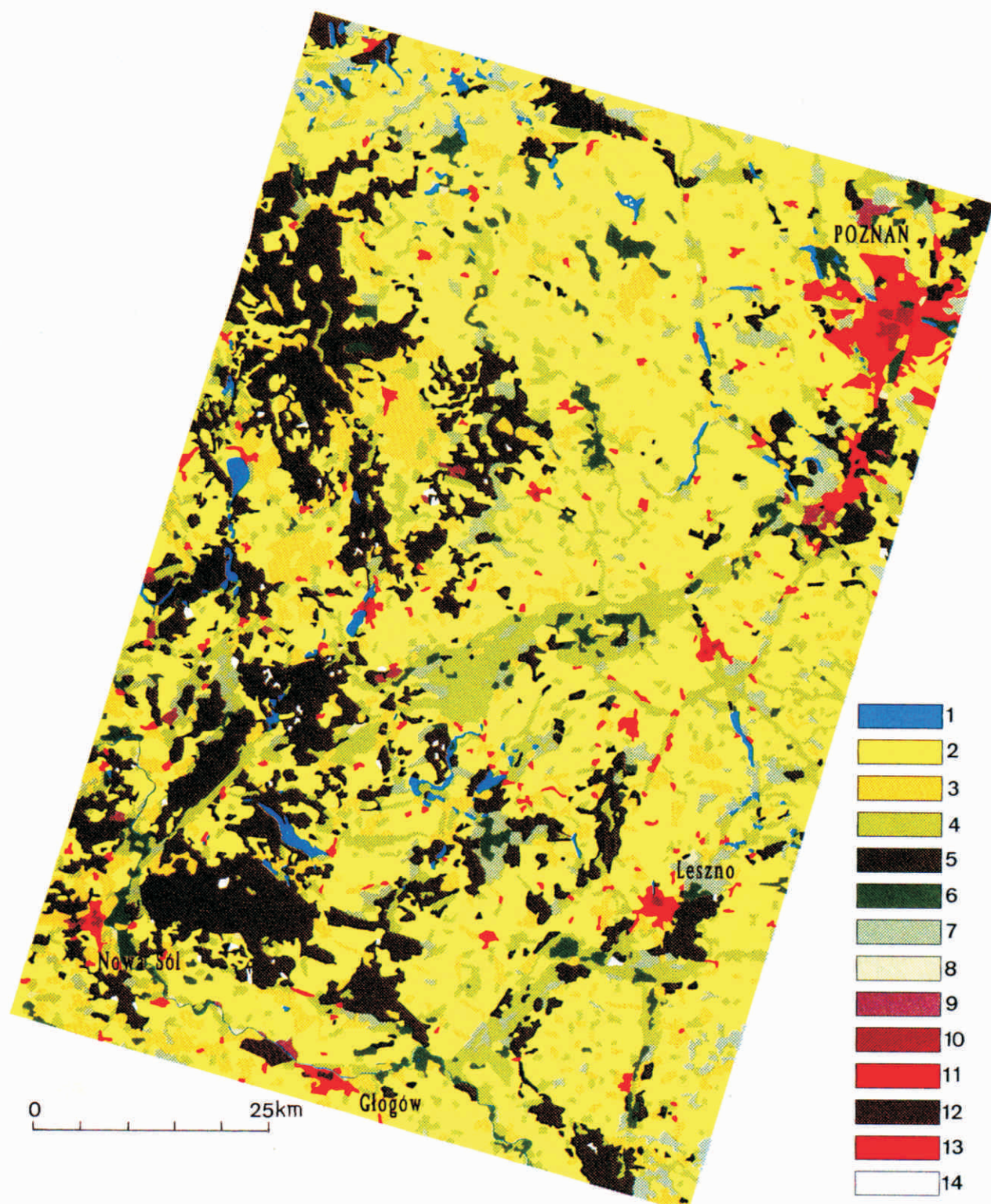
W tabeli 3 przedstawione jest porównanie powierzchni klas użytkowania ziemi określonych na podstawie numerycznej mapy poligonu badawczego oraz klasyfikacji [1, NDVI, 4] obrazu NOAA. Wysoka zgodność pod względem powierzchni występuje dla gruntów ornych, użytków kompleksowych i lasu iglastego. Uwzględniając rozdzielenie obrazu NOAA można uznać, że również zabudowa luźna jest dobrze sklasyfikowana. Podobnie jak przy wyborze pól treningowych komentarza wymaga klasa „wody”. Jest to ważny element pokrycia terenu.



opracował: St. Lewiński

Ryc. 5. Mapa użytkowania ziemi poligonu badawczego opracowana na podstawie klasyfikacji obrazu satelitarnego NOAA (kanady: 1, NDVI, 4), zarejestrowanego 16 maja 1989. 1 – wody; 2 – grunty orne; 3 – użytki kompleksowe; 4 – użytki zielone; 5 – lasy iglaste; 6 – lasy liściaste; 7 – lasy mieszane; 8 – zabudowa zwarta; 9 – zabudowa luźna; 10 – granica poligonu badawczego.

Fig. 5. The land use map of the study area elaborated on the basis of the classification of data, from channel 1, NDVI and 4 of NOAA image for the 16th May 1989. 1 – waters; 2 – arable land; 3 – mixed arable lands; 4 – grassland; 5 – coniferous forest; 6 – deciduous forest; 7 – forest mixed; 8 – build-up areas, high density; 9 – build-up areas, low density; 10 – border of the study area



Ryc. 6. Mapa użytkowania ziemi poligonu badawczego opracowana na podstawie interpretacji zdjęć satelitarnych Landsat TM. 1 — wody; 2 — grunty orne; 3 — użytki kompleksowe; 4 — użytki zielone; 5 — lasy iglaste; 6 — lasy liściaste; 7 — lasy mieszane; 8 — nieużytki leśne; 9 — nieużytki; 10 — zabudowa zwarta; 11 — zabudowa luźna; 12 — tereny przemysłowe; 13 — tereny komunikacyjne; 14 — tereny nie sklasyfikowane

Fig. 6. The land use map of the study area created on the bases of the visual interpretation of color composite of LANDSAT TM images. 1 — waters; 2 — arable land; 3 — mixed arable lands; 4 — grassland; 5 — coniferous forest; 6 — deciduous forest; 7 — forest mixed; 8 — forest waste land; 9 — waste land; 10 — build-up areas, high density; 11 — build-up areas, low density; 12 — industrial areas; 13 — transportation infrastructure; 14 — unclassified areas

Badany obszar charakteryzuje się dużą liczbą małych i średnich jezior, które są „niewidoczne” dla skanera AVHRR. Na obrazie klasyfikacyjnym rozpoznane są prawidłowo jedynie duże jeziora odwzorowujące się na kompozycji barwnej obrazu NOAA. Mimo różnic w powierzchniach określonych na podstawie mapy i klasyfikacji można uznać, że „wody” są sklasyfikowane poprawnie. Bardzo duże różnice w znaczących powierzchniach występują dla lasu liściastego i lasu mieszanego. Klasy te zostały zdecydowanie najgorzej rozpoznane.

Podsumowanie

Końcowy wynik klasyfikacji obrazuje mapa użytkowania ziemi przedstawiona na ryc. 5. Powstała ona na podstawie klasyfikacji trzech kanałów spektralnych [1, NDVI, 4] zdjęcia NOAA. Na ryc. 6, zamieszczona jest mapa użytkowania ziemi pełniąca rolę poziomu odniesienia w prezentowanej tu metodzie. Powstała ona w systemie ARC/INFO w wyniku interpretacji zdjęcia satelitarnego LANDSAT TM. Jednakowa skala 1:500 000 pozwala na bezpośrednie porównanie treści obu map.

Klasyfikacja NOAA jest obrazem mocno zgeneralizowanym. Wynika to nie tylko z racji wielkości pikseli lecz również z samego procesu klasyfikacji. Mimo to z łatwością można rozpoznać charakterystyczne formy występujące na wektorowej mapie użytkowania ziemi. Są to kompleksy leśne, obszary zabudowane, duże jeziora. W centralnej części poligonu badawczego wyraźnie zaznaczone są duże obszary użytków zielonych. Charakterystyczne jest, że kompleksy lasu iglastego otoczone są pikselami sklasyfikowanymi jako las mieszany. W rzeczywistości są to piksele reprezentujące las oraz przyлегłe tereny, najczęściej związane z rolnictwem.

Otrzymane wyniki nie mogą być traktowane jako podsumowanie możliwości klasyfikacji obrazu NOAA. Zaprezentowany algorytm został praktycznie sprawdzony na podstawie zdjęcia satelitarnego zarejestrowanego w okresie wiosennym. Jest to pora szczególnie niesprzyjająca rozróżnianiu klas pokrycia terenu, zwłaszcza w przypadku tzw. klas zielonych. Bardziej poprawnych wyników należy oczekiwać w klasyfikacji zdjęć z letniego i jesiennego okresu wegetacji.

Zdjęcia NOAA dostarczają informacji o podstawowych formach użytkowania ziemi. Znajdują one zastosowanie w kartowaniu powierzchni ziemi przede wszystkim w skalach przeglądowych takich jak 1:1 000 000

i mniejszych, w których precyzja pozyskiwanych informacji jest wystarczająca. Ze względu na rozdzielczość terenową i wielkość obszaru rejestrowanego na jednej scenie są one szczególnie predysponowane do wykonywania opracowań o zasięgach subkontynentalnych i całych kontynentów.

W prezentowanej pracy do określenia pól treningowych klasyfikacji wykorzystana została szczegółowa numeryczna mapa użytkowania ziemi opracowana dla całego poligonu badawczego. Taki sposób postępowania był uzasadniony potrzebą wykonania różnorodnych analiz poklasyfikacyjnych. W rzeczywistości numeryczna mapa powinna być przygotowana tylko dla terenów wytypowanych do określenia pól treningowych, dla których niezbędne jest wykonanie oceny jednorodności pikseli obrazu NOAA.

Literatura

- Cicone R.C., Metzler M.D., 1984: Comparison of Landsat MSS, Nimbus-7 CZCS, and NOAA-7 AVHRR features for landuse analysis. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 14, No 1-3, str. 257-265.
- Ciołkosz A., Kęsik A., 1989: *Teledetekcja satelitarna*. PWN. Warszawa.
- Cuuran P.J., 1985: *Principles of remote sensing*. Longman, London - New York.
- Dąbrowska-Zielińska K., Ciołkosz A., Gruszczyńska M., Lewiński St., 1992: Assessment of grassland production using information from satellite remote sensing. *Proceedings of XVII Congress of International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, Washington D.C., Vol. 29, part B7, commission 7, str. 150-152.
- Lewiński St., 1992: The look into the inside of the AVHRR/NOAA pixel. *Proceedings of the 12th Annual ESRI User Conference*, Palm Springs, 8-12 June. Vol. III, str. 63-69.
- Lillesand T.M., Kiefer R.W., 1979. *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley and Son, New York.
- Schneider S.R., McGinnis D.F., Gatlin J.A., 1981: *Use of NOAA AVHRR visible data for land remote sensing*. National and Atmospheric Administration, NOAA Technical Memorandum NESS 84, Washington D.C.
- Singh S.M., 1988: Lowest order correction for solar zenith angle to Global Vegetation Index (GVI) data. *International Journal of Remote Sensing*, T. 9, str. 1565-1572
- Sparkman J.K. Jr, 1989. NOAA polar orbiting sensor systems, today and tomorrow. *International Journal of Remote Sensing*, T. 10, str. 609-612.