

STANISŁAW LEWIŃSKI

KLASYFIKACJA UŻYTKOWANIA ZIEMI NA PODSTAWIE OBRAZÓW SATELITARNYCH AVHRR/NOAA

ZARYS TREŚCI: Prezentowany algorytm klasyfikacji form użytkowania ziemi na niskorozdzielczych obrazach NOAA bazuje na metodzie klasyfikacji nadzorowanej. Jego odmienność polega na sposobie definiowania pól treningowych. Piksele pól treningowych określone są automatycznie i kontrolowane pod względem jednorodności. Wybierane są piksele wypełnione całkowicie tylko jedną klasą użytkowania ziemi lub też te, w których klasa dominująca zajmuje założony procent powierzchni. Taki sposób postępowania jest możliwy poprzez połączenie (nałożenie) obrazu NOAA z numeryczną mapą użytkowania ziemi opracowaną dla fragmentu analizowanego obszaru.

1. WSTĘP

Zdjęcia satelitarne są coraz powszechniej stosowanym i uznanym źródłem informacji o użytkowaniu ziemi. W ostatnich latach zapotrzebowanie na tego typu dane wyraźnie rośnie. Zasilają one przede wszystkim systemy informacji geograficznej (SIG) o różnych skalach opracowania i przystosowane do analizy różnorodnych zagadnień geograficzno-gospodarczych.

W wielu krajach europejskich, w tym i w Polsce, istnieją i są dostępne w sposób operacyjny bazy danych o użytkowaniu ziemi utworzone na podstawie obrazów satelitarnych. Powstają również systemy SIG o zasięgu międzynarodowym. Przykładem jest program CORINE, w ramach którego na podstawie zdjęć satelitarnych LANDSAT TM powstaje baza danych o użytkowaniu ziemi w skali 1 : 100 000 dla całej Europy.

Zdjęcia satelitów środowiskowych LANDSAT TM oraz SPOT odznaczają się wysoką rozdzielczością terenową - rzędu kilkudziesięciu metrów.

Umożliwia to uzyskanie szczegółowych informacji o terenie, ale wiąże się z koniecznością czasochłonnego przetwarzania dużej liczby danych. Szacuje się np., że uaktualnienie bazy danych o użytkowaniu ziemi w projekcie CORINE może trwać ponad 10 lat. Ponadto wykorzystanie zdjęć LANDSAT TM i SPOT dla obszaru całej Europy jest przedsięwzięciem bardzo kosztownym.

Wymagany stopień szczegółowości informacji o terenie zależy od skali opracowania oraz od celu, w jakim tworzone są bazy danych. W przypadku wielu projektów o zasięgu regionalnym i szerszym dokładność kartowania terenu na podstawie zdjęć z satelitów środowiskowych jest zbyt duża. Korzystanie z tak dokładnych informacji jest technicznie skomplikowane, merytorycznie nieuzasadnione oraz związane z wysokimi kosztami. Ponadto dane przed wprowadzeniem do systemu SIG muszą zostać uśrednione do skali opracowania. Z tego względu czynione są próby wykorzystania zdjęć z satelity meteorologicznego NOAA, wykonanych skanerem AVHRR o rozdzielczości 1100 x 1100 m. Wprawdzie zdjęcia te charakteryzują się małą rozdzielczością terenową, ale także mogą być wartościowe, zwłaszcza w skalach przeglądowych. Obszar całej Europy może być zobrazowany na dwóch zdjęciach NOAA. Dodatkową zaletą tych zdjęć jest duża częstotliwość ich pozyskiwania pozwalająca na kilka rejestracji tego samego fragmentu Ziemi w ciągu jednego dnia. Ułatwia to także pozyskiwanie obrazów bezchmurnych.

Wykorzystanie w systemach SIG niskorozdzielczych zdjęć NOAA umożliwi zdobycie informacji o aktualnym stanie użytkowania ziemi przy równoczesnej minimalizacji ponoszonych kosztów. Wymaga to jednak opracowania specjalnej metodyki klasyfikacji obrazów i poznania stopnia generalizacji zjawisk rejestrowanych na powierzchni ziemi. Jest to konieczne, ponieważ większość pikseli reprezentujących obszar ponad 1 km² jest niejednorodna, tzn. w ich obrębie występuje więcej niż jedna forma użytkowania ziemi. Jest to szczególnie istotne w warunkach polskich - z charakterystycznym dla nich dużym rozdrobnieniem klas użytkowania ziemi.

Prezentowana metoda klasyfikacji niskorozdzielczych obrazów NOAA jest zmodyfikowaną formą powszechnie znanej i stosowanej klasyfikacji nadzorowanej. Jej odmienność polega na sposobie wyboru pól treningowych. Są one wybierane automatycznie przez system komputerowy, z uwzględnieniem stopnia wypełnienia piksela obrazu klasami użytkowania ziemi, występującymi na powierzchni reprezentowanej przez piksel. Taki sposób postępowania jest możliwy, jeżeli dla fragmentu analizowanego zdjęcia opracowana jest szczegółowa mapa użytkowania ziemi. Łącząc treść mapy z obrazem satelitarnym można wyselekcjonować piksele obrazu tworzące pola treningowe.

2. NISKOROZDZIELCZE OBRAZY REJESTROWANE PRZEZ RADIOMETR AVHRR Z POKŁADU SATELITY NOAA

Satelita meteorologiczny o nazwie NOAA pojawił się na orbicie okołoziemskiej w roku 1970. Powstanie satelitów tej serii jest ściśle związane z pierwszymi amerykańskimi programami kosmicznymi, których celem było prowadzenie stałych obserwacji zjawisk atmosferycznych oraz powierzchni ziemi.

Historia satelitów meteorologicznych rozpoczyna się w roku 1960 z chwilą wystrzelenia satelity TIROS-1, będącego własnością amerykańskiego biura pogody Weather Bureau. [Ciołkosz A., Kęsik A., 1989]. Na pokładzie satelity zainstalowano dwie kamery telewizyjne typu VCS (Vidicon Camera System). TIROS-1 w czasie swojej 2,5 miesięcznej działalności zarejestrował i przekazał do naziemnych stacji odbiorczych ok. 23 tysięcy zdjęć [Stachlewski W., Zubek A., 1985].

Kolejne satelity z tej serii posiadały coraz doskonalsze urządzenia pomiarowe. Na szczególną uwagę zasługuje system APT (Automatic Picture Transmission) zainstalowany po raz pierwszy na pokładzie TIROS'a-8, umożliwiający przekazywanie obrazów satelitarnych w czasie rzeczywistym. Aparaturę odbiorczą systemu APT cechuje stosunkowo prosta konstrukcja, co spowodowało duże zainteresowanie budową tych urządzeń.

Program badań związany z satelitami TIROS został zakończony w roku 1965 wraz z wprowadzeniem na orbitę satelitów TIROS-9 i TIROS-10. Orbits ostatnich TIROS-ów synchronizowane były z położeniem Słońca, co znacznie ułatwia interpretację i porównywanie zdjęć satelitarnych [Linsenbarth A., 1987].

Rok 1966 zapoczątkował nowy program badań kosmicznych o nazwie TOS (TIROS Operational System). Program ten dał początek satelitarnym obserwacjom meteorologicznym prowadzonym w sposób operacyjny [Colwell N., 1983]. W pierwszej fazie badań brały udział dwa satelity, których prototypem był TIROS-9. Satelity te oznaczono symbolem ESSA (Environmental Survey Satellite). Skrót ESSA był również związany z organizacją Environmental Science Services Administration kierującą programem badań. Do roku 1969 wystrzelono w sumie 9 satelitów ESSA.

Kolejnym programem amerykańskich badań kosmicznych związanym z satelitami meteorologicznymi był program ITOS (Improved TOS), zapoczątkowany wystrzeleniem w styczniu 1970 r. satelity ITOS-1. Satelita ten dał początek drugiej generacji satelitów meteorologicznych [Ciołkosz A., Kęsik A., 1989]. ITOS wyposażony był w kamery telewizyjne pracujące w systemie APT.

W grudniu 1970 r. satelity serii ITOS zmieniły nazwę na NOAA. Było to związane z powstaniem instytucji National Oceanic and Atmospheric Administration przejmującej kontrolę nad zarządzaniem systemem ITOS.

Satelity typu ITOS-D oznaczone jako NOAA-2, NOAA-3, NOAA-4 i NOAA-5 zostały wystrzelone kolejno w latach 1972, 1973, 1974, 1976 [Schnapf A., 1980]. Ostatnim z generacji ITOS jest ITOS-N wprowadzony na orbitę okołozemską w październiku 1978 r., a następnie w czerwcu 1979 r. oznaczony symbolem NOAA-6.

NOAA-6 rozpoczął trzecią generację satelitów meteorologicznych [Ciołkosz A., Kęsik A., 1989]. Posiadał on wiele nowych i technologicznie bardzo zaawansowanych urządzeń. Do najważniejszych instrumentów należał radiometr AVHRR (Very High Resolution Radiometer) o zdolności rozdzielczej 1 km pracujący w pięciu kanałach spektralnych oraz sonda TOVS (TIROS Operational Vertical Sounder) służąca do określania profili temperaturowych i zawartości pary wodnej w atmosferze [Barton I.J., 1985].

W roku 1981 wystrzelony został satelita NOAA-7, w roku 1983 - NOAA-8, a rok później NOAA-9, który zastąpił w operacyjnym działaniu siódmkę. W roku 1986 wprowadzony został NOAA-10. Następnie pojawił się NOAA-11. Ostatni NOAA-12 pracuje od roku 1991, ma on zastąpić satelitę NOAA-10, którego praca w trybie operacyjnym nie jest już systematyczna.

Obecnie działają 4 satelity NOAA oznaczone numerami 9, 10, 11 i 12. Poruszają się one po kołowych orbitach okołobiegunowych o wysokości ok. 850 km zsynchronizowanych z ruchem Słońca. Czas jednego obiegu po orbicie wynosi 101 minut, w ciągu 1 doby każdy z satelitów okrąży kulę ziemską 13 razy. Działają one w systemie otwartym, tzn. sygnał przekazywany przez satelitę nie jest kodowany. Odbiór zdjęć satelitarnych jest nieodpłatny.

Radiometr AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) jest podstawowym sensorem satelitów serii NOAA służącym do wykonywania obrazów wielospektralnych atmosfery i powierzchni Ziemi. Pracuje on na zasadzie skanera rejestrującego obraz linia po linii. W czasie rejestracji jednej linii oś optyczna urządzenia porusza się w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku lotu satelity, odchylając się maksymalnie w prawo i w lewo do kąta 56° . Linia obrazu składa się z 2048 pikseli reprezentujących na powierzchni Ziemi pas o szerokości 2700 km [Schneider i inni, 1981]. Wielkość piksela w punkcie podsatelitarnym (nadirowym) wynosi $1.1 \text{ km} \times 1.1 \text{ km}$.

Promieniowanie elektromagnetyczne rejestrowane jest w pięciu kanałach spektralnych [Sparkman J.K. Jr, 1989]:

1. $0,58 - 0,68 \mu\text{m}$ (zakres widzialny)
2. $0,70 - 1,10 \mu\text{m}$ (bliska podczerwień)

Tabela 1. Porównanie zakresów spektralnych obrazów AVHRR/NOAA, LANDSAT MSS, LANDSAT TM, SPOT XS oraz SPOT PAN

	NOAA AVHRR	LANDSAT MSS	LANDSAT TM	SPOT XS	SPOT PAN
(μm)			KANAŁ 1		
0.6	KANAŁ 1	KANAŁ 1	KANAŁ 2	KANAŁ 1	
		KANAŁ 2	KANAŁ 3	KANAŁ 2	KANAŁ 1
0.8		KANAŁ 3			
	KANAŁ 2	KANAŁ 4	KANAŁ 4	KANAŁ 3	
1.0					
1.2					
1.4					
1.6			KANAŁ 5		
1.8					
2.0					
2.2			KANAŁ 7		
2.4					
2.6					
3.0					
4.0	KANAŁ 3				
6.0					
8.0					
10.0					
12.0	KANAŁ 4		KANAŁ 6		
	KANAŁ 5				
14.0					

3. 3,55 - 3,93 μm (średnia podczerwień)
4. 10,30 - 11,30 μm (podczerwień termalna)
5. 11,50 - 12,40 μm (podczerwień termalna)

W tabeli 1 przedstawione jest porównanie zakresów spektralnych radiometru AVHRR z zakresami wielospektralnych obrazów LANDSAT TM, SPOT i LANDSAT MSS [ERDAS Field Guide, 1991].

Stacje odbioru zdjęć satelitarnych znajdujące się na terenie Polski odbierają obrazy z czterech satelitów NOAA (NOAA 9, 10, 11, 12). W ciągu jednej doby można zarejestrować maksymalnie do 6 obrazów, na których widoczny jest obszar Polski.

Skaner AVHRR był projektowany z myślą o obserwacjach meteorologicznych, mimo to obrazy NOAA znalazły wiele różnorodnych zastosowań w innych badaniach przyrodniczych nie związanych z meteorologią.

Dwa pierwsze kanały obejmujące zakres promieniowania widzialnego oraz bliskiej podczerwieni wykorzystywane są w badaniach roślinności. W kanale 1 jest rejestrowane promieniowanie elektromagnetyczne o długości fal odpowiadających światłu zielonemu, wobec czego na utworzonym w tym przedziale widma zdjęciu roślinność jest szczególnie dobrze rozróżniana. Kanał 2 (bliska podczerwień) jest stosowany do rozpoznawania typów upraw. Charakteryzuje go duży kontrast między wodą a powierzchnią ziemi. Powszechnie stosowane są przetworzenia kanału 1 i 2, nazywane wskaźnikami zieleni. Najbardziej popularne wskaźniki zieleni to Vegetation Index (VI) oraz Normalized Difference of Vegetation Index (NDVI).

Wskaźniki VI i NDVI obrazu NOAA są wzorowane na przekształceniach opracowanych dla kanału 5 i 7 obrazów LANDSAT MSS. Wyniki obliczeń wykonanych na podstawie obrazów LANDSAT MSS i AVHRR/NOAA są ze sobą bardzo dobrze skorelowane [Cicone R.C., Metzler M.D., 1984].

Literatura poświęcona wskaźnikom zieleni obrazu NOAA jest bardzo bogata. Prezentowane prace związane są przede wszystkim z monitoringiem roślinności na dużych obszarach. Wskaźnik NDVI został wykorzystany m.in. do śledzenia sezonowych zmian roślinności na obszarach zachodniej Afryki [Justice C.O. i inni, 1986] oraz do operacyjnego monitorowania kondycji roślinności na całym kontynencie afrykańskim [van der Laan F., 1992]. Na obszarach zagrożonych suszą NDVI może być wskaźnikiem stanu całego środowiska [Conese C. i inni, 1991]. Wskaźnik NDVI był również tematem badań prowadzonych w Instytucie Geodezji i Kartografii. Wykazano istnienie dobrej korelacji między NDVI a LAI (Leaf Area Index) i biomasą użytków zielonych [Bochenek Z., 1991].

Trzeci kanał (średnia podczerwień) radiometru AVHRR, ze względu na dużą czułość na wysokie temperatury, znalazł zastosowanie w lokalizacji i śledzeniu pożarów lasów. Wykorzystany został również do obserwacji

płonących szybów naftowych w Kuwejcie [Kogan F., Carey R.M., 1991]. Z kolei kanał 3 w połączeniu z kanałem 1 (widzialnym) oraz 4 (termalnym) znajduje zastosowanie w automatycznych algorytmach rozpoznawania pokrywy śnieżnej oraz rozróżniania jej od niskich i średnich chmur [Bellec B., Legleau H., 1989]. Obrazy dzienne w zakresie średniej podczerwieni, silnie zakłócone przez promieniowanie odbite od powierzchni Ziemi, są mało przydatne do interpretacji wizualnej.

Sensory 4 i 5 kanału radiometru rejestrują promieniowanie w zakresie termalnym. Obrazy z tych kanałów dostarczają informacji o radiacyjnej temperaturze powierzchni Ziemi. Wartości temperatur nie są odczytywane z obrazu w sposób bezpośredni, należy wykonać obliczenia bazujące na odwrotnym równaniu Plancka [Dyras I., i inni, 1989].

Kanały termalne wykorzystywane w badaniach roślinności i warunków wodnych środowiska są źródłem informacji o aktualnych fizjologicznych i anatomicznych cechach roślinności [Jackson R.D., 1986; Dąbrowska-Zielińska K., 1989; Dąbrowska-Zielińska K. i inni, 1991; Lewiński St., Gruszczyńska M., 1992].

3. POLIGON BADAWCZY

Jako poligon badawczy został wybrany obszar o powierzchni 8311 km², zlokalizowany między Wartą i Odrą, w którego północno-wschodniej części znajduje się Poznań. Lokalizacja obszaru badań przedstawiona jest w postaci szkicu na rys. 1.

Poligon ograniczony jest punktami o współrzędnych geograficznych:

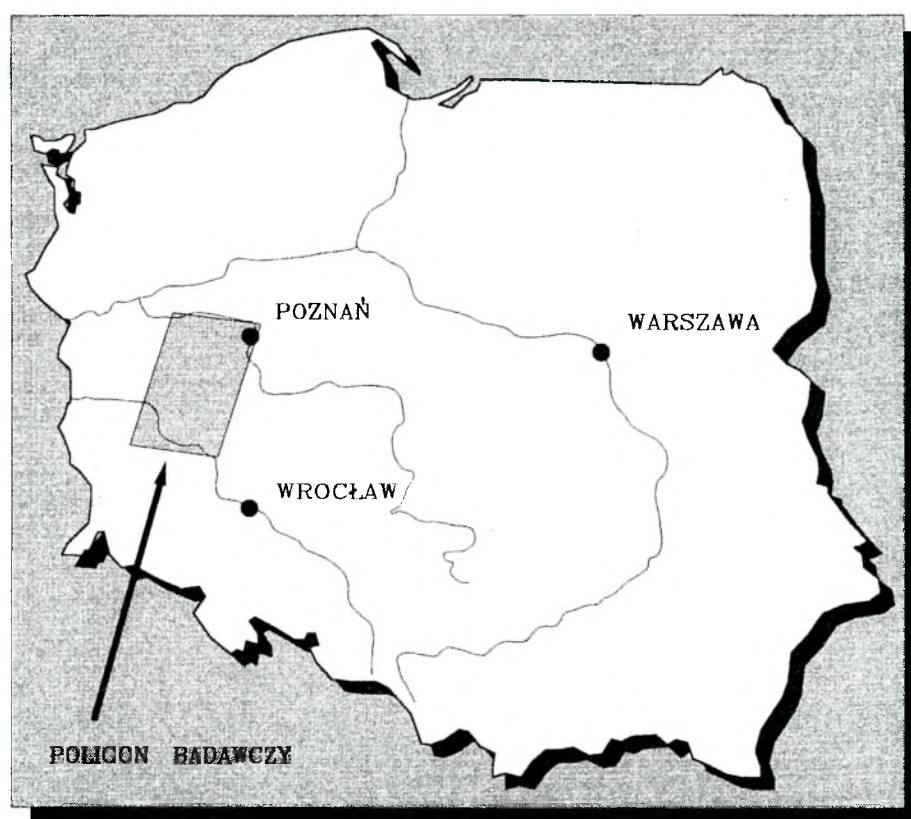
lewy górny	$\lambda = 15.9^\circ$, $\varphi = 52.7^\circ$
prawy górny	$\lambda = 17.1^\circ$, $\varphi = 52.5^\circ$
lewy dolny	$\lambda = 15.6^\circ$, $\varphi = 51.7^\circ$
prawy dolny	$\lambda = 16.6^\circ$, $\varphi = 51.5^\circ$

Wybierając poligon starano się, aby był on reprezentatywny dla warunków użytkowania ziemi w Polsce oraz aby jego wielkość była proporcjonalna do rozdzielczości terenowej obrazów satelitarnych NOAA (1100 m x 1100 m).

Na poligonie badawczym dominują grunty orne zróżnicowane pod względem wielkości poszczególnych pól. Występują tu rozdrobnione pola gospodarstw indywidualnych i pola gospodarki wielkopowierzchniowej. W centralnej części poligonu znajdują się duże obszary użytków zielonych, w zachodniej zaś dominują kompleksy leśne. Są to przede wszystkim lasy iglaste. Lasy liściaste oraz mieszane występują sporadycznie. 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.

Pod względem fizyczno-geograficznym północna oraz środkowa część poligonu badawczego (ponad 2/3 powierzchni) należy do Pojezierza Wielkopolskiego, natomiast pozostała część południowa to fragment Niziny Wielkopolskiej.



Rys. 1. Lokalizacja poligonu badawczego

4. WYBÓR I WSTĘPNE PRZYGOTOWANIE OBRAZU NOAA

Obraz satelitarny, na przykładzie którego została wykonana klasyfikacja form użytkowania ziemi, wybrano z archiwum obrazów znajdujących się w Instytucie Geodezji i Kartografii. Szukając odpowiedniego zdjęcia, zwracano szczególną uwagę na to, aby poligon badawczy nie był zasłonięty

przez cienką warstwę chmur, przez które widoczny jest obraz powierzchni Ziemi. Tego rodzaju zachmurzenie jest trudne do rozpoznania. Zniekształcone zaś przez obecność chmury wartości pikseli mogą być poważnym źródłem błędów, zwłaszcza w przypadku stosowania automatycznych algorytmów klasyfikacyjnych.

Spośród kilkudziesięciu obrazów z lat 1989-1991 wybrano obraz satelity NOAA-11 wykonany w dniu 16 maja 1989 r. o godzinie 14:40 GMT, zarejestrowany przez stację odbiorczą zdjęć satelitarnych w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Krakowie.

Obraz składa się z czterech kanałów spektralnych o numerach 1, 2, 4, 5, które są związane z zakresem promieniowania widzialnego (1), bliskiej podczerwieni (2) i dwoma zakresami podczerwieni termalnej (4,5). W obrazie nie występuje kanał 3 - średnia podczerwień. Brak tego kanału nie może być jednak traktowany jako istotna strata informacji, w porze dziennej bowiem promieniowanie elektromagnetyczne rejestrowane w tym kanale jest mało przydatne, gdyż jest ono silnie zakłócanie przez odbicie od powierzchni Ziemi.

Obrazy odbierane przez stację w Krakowie różnią się od „oryginalnych”, transmitowanych przez satelity NOAA. Różnice związane z rozdzielczością radiometryczną oraz liczbą kanałów wynikają z ograniczeń technicznych zainstalowanej aparatury odbiorczej. Rozdzielczość radiometryczna jest zmniejszona czterokrotnie. Spowodowane jest to tym, że aparatura odbiorcza nie może rejestrować sygnałów satelity w jego oryginalnym 10-bitowym zapisie. Transmitowane przez satelitę informacje 10-bitowe zamieniane są w czasie rzeczywistym na zapis 8-bitowy. Jest to dokonywane poprzez odrzucenie dwóch ostatnich, najmniej znaczących bitów. W wyniku tej operacji wartości pikseli obrazu są związane z przedziałem wartości 0-255, a nie jak w obrazie „oryginalnym” 0-1023. O zmianie rozdzielczości radiometrycznej należy pamiętać przede wszystkim podczas obliczeń wykonywanych na wartościach pikseli, w celu uzyskania informacji ilościowych, np. dotyczących temperatury radiacyjnej powierzchni Ziemi.

Fragment obrazu z 16 maja 1989 r. zawierający obszar badań został zgeometryzowany na podstawie mapy topograficznej w skali 1 : 200 000, za pomocą funkcji systemu ERDAS. Został on przekształcony do równopoleowego, stożkowego odwzorowania Albers'a o następujących parametrach:

pierwszy równoleżnik sieczny	- $\varphi = 50^{\circ}30'$
drugi równoleżnik sieczny	- $\varphi = 53^{\circ}30'$
współrzedne punktu głównego	- $\varphi = 52^{\circ}00'$ $\lambda = 19^{\circ}00'$
elipsoida	- wg Krasowskiego

Dokładność wykonanej transformacji wyniosła 0,75 wielkości piksela NOAA.

Fragment zgeometryzowanego obrazu NOAA, w którego granicach znajduje się poligon badawczy, składa się z 94 kolumn i 123 wierszy.

W klasyfikacji obrazu NOAA wykorzystano znormalizowany wskaźnik zieleni NDVI, powstały w wyniku przekształcenia 1. i 2. kanału spektralnego. Wartości NDVI obliczono na podstawie równania ze współczynnikami podanymi przez Singha [Singh S. M., 1988].

$$NDVI = ((Y2 - Y1) / (Y2 + Y1)) * A$$

w którym:

$$Y1 = 0.1065 * 4 * K1 - 4.01$$

$$Y2 = 0.1062 * 4 * K2 - 3.76$$

$$A = 1.21$$

K1, K2 - wartości pikseli w 1 i 2 kanale AVHRR

Ten sposób obliczania NDVI jest stosowany w pracach prowadzonych w Instytucie Geodezji i Kartografii [Dąbrowska-Zielińska K. i inni, 1992].

5. METODA KLASYFIKACJI OBRAZU NOAA

Prezentowany algorytm klasyfikacji form użytkowania ziemi na podstawie niskorozdzielczych obrazów satelitarnych NOAA bazuje na metodzie klasyfikacji nadzorowanej. Treść obrazu dzielona jest na klasy według kryteriów statystycznych, którymi jest m.in. średnia arytmetyczna i odchylenie standardowe. Wartości te są obliczane osobno dla każdej klasy na podstawie tzw. pól treningowych, czyli zbiorów pikseli związanych z tą samą klasą użytkowania ziemi. Wybór odpowiednich pól treningowych jest najważniejszym elementem procesu klasyfikacji. Decyduje to o poprawności i jakości uzyskanych wyników.

Metoda klasyfikacji nadzorowanej jest jednym z podstawowych sposobów klasyfikacji obrazów satelitarnych. Można powiedzieć, że jest ona standardowym modulem każdego systemu przetwarzania obrazów. Jest szeroko stosowana w pracach związanych z określaniem form użytkowania ziemi na podstawie zdjęć satelitarnych. Wykorzystywane są do tego celu przede wszystkim obrazy o wysokiej rozdzielczości LANDSAT TM i SPOT oraz zdjęcia starszej generacji LANDSAT MSS.

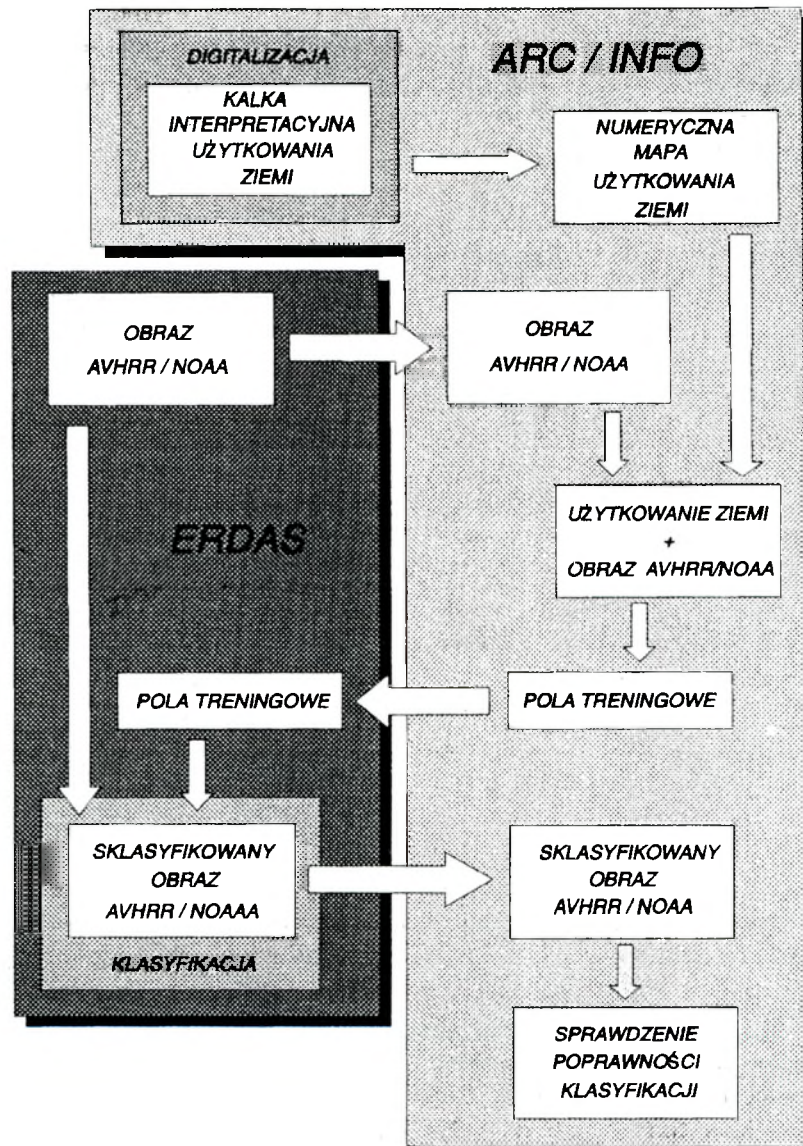
Wykonanie klasyfikacji form użytkowania ziemi na podstawie zdjęć NOAA wymaga odmiennego algorytmu postępowania w porównaniu z obrazami wysokorozdzielczymi. Spowodowane jest to przede wszystkim wielkością piksela wynoszącą 1100 m x 1100 m. W warunkach polskich,

gdzie gospodarka ziemią charakteryzuje się dużym stopniem rozdrobnienia i dużą różnorodnością, jedynie nieliczne powierzchnie o wymiarach przynajmniej 1100 m x 1100 m są związane z jedną formą użytkowania. Z tego też względu na obrazie NOAA występuje niewielka liczba pikseli, które można uznać za jednorodne, czyli wypełnione tylko jedną klasą użytkowania ziemi. Większość pikseli jest mikselami, w granicach których znajdują się dwie lub kilka różnych form użytkowania. Wartości takich pikseli mogą być wypadkową nawet skrajnie odmiennych charakterystyk spektralnych związanych z występującym pokryciem terenu.

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, duże pola orne oraz duże zbiorniki wodne. Obszary te rozróżnialne są na obrazach satelitarnych na podstawie tonu szarości pojedynczych kanałów lub barwy kompozycji powstałych z trzech kanałów spektralnych. Formy użytkowania ziemi reprezentowane przez małe grupy pikseli są bardzo trudne do rozpoznania. Pojedyncze, jednorodne 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 rozdrobnieniu 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, są wybierane przez system w sposób automatyczny. Jest to możliwe poprzez połączenie (przecięcie) obrazu NOAA z numeryczną mapą użytkowania ziemi analizowanego terenu. Mapą powstałą na podstawie wysoko-rozdzielczego obrazu satelitarnego LANDSAT TM o rozdzielczości terenowej 30 m x 30 m, pełniącą rolę poziomu odniesienia.

Do klasyfikacji obrazu NOAA wykorzystano 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 programy w języku systemu baz danych dBase III.



Rys. 2. Schemat algorytmu klasyfikacji obrazów NOAA

Schemat algorytmu klasyfikacji obrazów NOAA przedstawiono na rys. 2.

Przed przystąpieniem do klasyfikacji obraz NOAA wprowadzony zostaje do systemu ERDAS oraz wstępnie przygotowany do analizy. Polega to na wczytaniu do systemu zbiorów związanych z poszczególnymi kanałami i wybraniu fragmentu obrazu reprezentującego obszar badań. Następnie obraz jest geometryzowany na podstawie mapy topograficznej. Funkcje systemu ERDAS są wykorzystywane również w celu wykonania klasyfikacji nadzorowanej, w której pola treningowe określa się na podstawie bazy danych utworzonej w systemie ARC/INFO.

W środowisku systemu ARC/INFO jest opracowywana numeryczna mapa użytkowania ziemi analizowanego obszaru oraz wykonuje się wszystkie analizy związane z obrazem NOAA. Mapa powstaje poprzez digitalizację treści nakładki interpretacyjnej opracowanej na podstawie kompozycji barwnej zdjęcia LANDSAT TM. Następnie zostaje ona połączona (przecięta) z obrazem NOAA. W wyniku tego powstaje warstwa informacyjna, zawierająca wszystkie dane związane z formami użytkowania ziemi oraz pikselami obrazu NOAA, których granice reprezentowane są przez wektory układające się w siatkę linii. Na podstawie tych danych można wykonać analizę wypełnienia pikseli obrazu formami użytkowania ziemi. Określone zostają piksele jednorodne, które w procesie klasyfikacji w systemie ERDAS wykorzystane są jako pola treningowe.

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

Systemy ERDAS i ARC/INFO pracują w oparciu o różne formaty danych. ERDAS korzysta z prostej struktury rastrowej, w której najmniejszą rozróżnialną jednostką powierzchniową jest raster będący odpowiednikiem piksela w obrazie cyfrowym. Natomiast zbiory ARC/INFO zapisywane są w bardziej skomplikowanym formacie wektorowym. System tworzy warstwy informacyjne, w których mogą występować obiekty punktowe, liniowe i powierzchniowe. Położenie ich określane jest przez współrzędne punktów i linii (wektorów). Z każdym obiektem związane są atrybuty, których wartości przechowywane są w bazach danych.

Ze względu na różnice w formatach danych, komunikacja między systemami związana jest ze zmianą struktury zapisu informacji. Wykorzystane zostały do tego celu standardowe funkcje systemu ARC/INFO. Opracowana została również własna metoda konwersji danych z systemu ERDAS do ARC/INFO odznaczająca się wysokim stopniem niezawodności.

5.1. Utworzenie numerycznej mapy użytkowania ziemi poligonu badawczego

Numeryczna mapa użytkowania ziemi poligonu badawczego powstała na podstawie wysokorozdzielczego obrazu satelitarnego LANDSAT TM (wielkość piksela 30 m x 30 m).

Materiałem wyjściowym były dwie kompozycje barwne w skali 1 : 250 000 scen oznaczonych numerami 191/024 i sceny 191/023, zarejestrowanych w dniach 14 lipca i 31 sierpnia 1985 r. Kompozycje powstały w wyniku nałożenia na siebie obrazów trzech kanałów spektralnych: 3, 4 i 5, filtrowanych przez barwne filtry addytywne: niebieski, zielony i czerwony.

Formy użytkowania ziemi występujące na poligonie badawczym zostały określone na podstawie interpretacji wizualnej kompozycji barwnych. W podziale na klasy została wykorzystana legenda numerycznej mapy użytkowania ziemi w skali 1 : 500 000, która powstała w Instytucie Geodezji i Kartografii. Treść legendy została zmodyfikowana przez dodanie klasy „tereny niesklasyfikowane”, związanej z obszarami, dla których nie można było w sposób jednoznaczny określić klasy użytkowania ziemi na podstawie analizy kompozycji barwnej. Opis klas użytkowania ziemi przedstawiony jest w tabeli 2. W tabeli podane są wartości kodów, które są wykorzystane w dalszej części pracy do identyfikacji poszczególnych klas.

Wizualna interpretacja klas użytkowania ziemi została wykonana z możliwie dużą dokładnością. Na kalce interpretacyjnej zaznaczane były wszystkie wydzielienia, które na kompozycji barwnej były większe od kwadratu 2 mm x 2 mm, co w terenie odpowiada powierzchni 500 m x 500 m. W miarę możliwości klasyfikowane były również i mniejsze powierzchnie.

Następnym etapem tworzenia cyfrowej mapy użytkowania ziemi była digitalizacja treści nakładki interpretacyjnej, powstałej w wyniku interpretacji wizualnej.

W systemie ARC/INFO utworzona została warstwa informacyjna o nazwie LANDUSE. Na rys. 3 przedstawiono schemat powstawania tej warstwy.

Końcowym etapem tworzenia numerycznej mapy użytkowania ziemi była transformacja współrzędnych warstwy LANDUSE do odwzorowania Albersa, takiego samego jak w przypadku zgeometryzowanego obrazu NOAA.

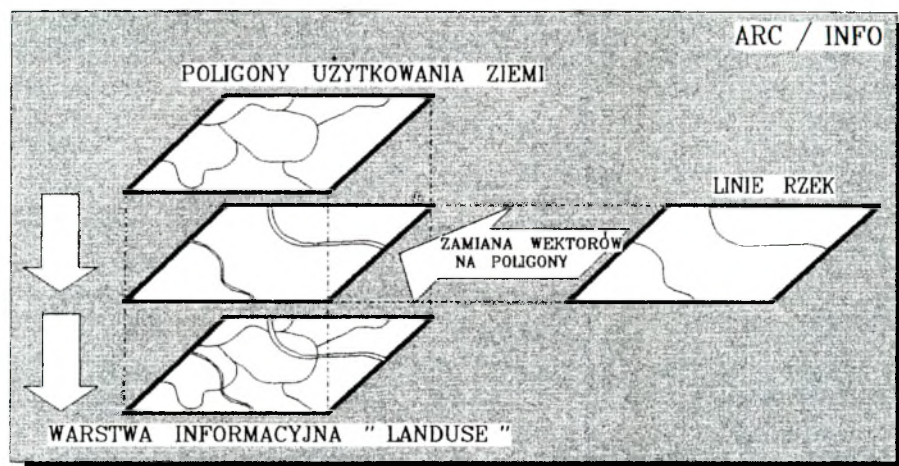
Tabela 3 przedstawia zestawienie powierzchni poszczególnych klas użytkowania ziemi występujących w granicach analizowanego poligonu badawczego.

Tabela 2. Podział form użytkowania ziemi na klasy wg legendy numerycznej mapy użytkowania ziemi w skali 1 : 500 000

KOD	OPIS KLASY UŻYTKOWANIA ZIEMI
3	Tereny niesklasyfikowane
6	Wody
7	Nieużytki
9	Tereny komunikacyjne
11	Tereny rolnicze: zwarte powierzchnie gruntów ornych zajmujące przynajmniej 75-80% powierzchni, wraz z małymi osiedlami i ogrodami oraz izolowanymi, niewielkimi powierzchniami leśnymi i łąkami o powierzchni mniejszej od 0,36 km ²
12	Tereny mieszane: grunty orne - użytki zielone, mozaikowy typ użytkowania ziemi w przewadze rolniczy ze znacznym udziałem powierzchni zajętych przez stałe użytki zielone, których powierzchnie nie przekraczają 0,36 km ²
13	Tereny mieszane: grunty orne - małe obszary leśne; mozaikowy typ użytkowania w przewadze rolniczy, ze znacznym udziałem rozrzuconych lasów o pow. nie przekraczającej 0,36 km ²
14	Tereny mieszane: grunty orne - użytki zielone - małe obszary leśne; mozaikowy typ użytkowania w przewadze rolniczy, ze znacznym udziałem rozrzuconych użytków zielonych i lasów
15	Tereny mieszane: sadowniczo - rolnicze; mozaikowy typ użytkowania obejmujący tereny zajęte przez sady, warzywniki i plantacje owoców zajmujące co najmniej 60% powierzchni
16	Tereny sadowniczo-ogrodnicze
21	Użytki zielone łąkowe
22	Użytki zielone łąkowe
23	Użytki zielone bagienne
24	Użytki zielone antropogeniczne
25	Użytki zielone i małe obszary leśne
31	Obszary zwartej zabudowy miejskiej
32	Obszary zabudowy luźnej miejskiej i podmiejskiej z udziałem ogrodów i sadów
33	Nowe dzielnice mieszkaniowe wraz z zielenią miejską
41	Tereny górniczej eksploatacji odkrywkowej wraz z otaczającymi obszarami przeobrażonymi
42	Tereny zabudowy przemysłowej wraz z obszarami przeobrażonymi
51	Drzewostany iglaste - od 80% gatunków iglastych
52	Drzewostany liściaste - od 80% gatunków liściastych
53	Drzewostany mieszane - powyżej 20% gatunków liściastych i poniżej 80% gatunków iglastych lub powyżej 20% gatunków iglastych i poniżej 80% gatunków liściastych
54	Las zdegradowany
55	Zadrzewienia i zakrzaczenia

Tabela 3. Powierzchnie klas użytkowania ziemi występujących na poligonie badawczym

KOD KLASY	LICZBA POLIGONÓW	SUMA POWIERZCHNI [ha]	ŚREDNIA POWIERZCHNIA POLIGONU [ha]
3	44	1542.87	5.07
6	140	12415.71	88.68
7	18	2842.92	157.94
9	5	723.42	144.68
11	275	397609.38	1445.85
12	186	46744.23	251.31
13	42	5069.88	120.71
14	39	8950.82	229.51
15	185	14890.31	80.49
16	14	763.39	54.53
21	201	18463.15	91.86
22	91	4243.80	46.64
23	182	16130.93	88.63
24	282	52319.18	185.53
25	59	4796.89	81.30
31	9	1238.98	137.66
32	205	20281.54	98.93
33	14	3916.37	279.74
41	5	106.05	21.21
42	10	1583.41	158.34
51	314	157014.18	500.05
52	148	21248.50	143.57
53	211	36839.93	174.60
54	1	113.65	113.65
55	36	1284.24	35.67



Rys. 3. Schemat numerycznej mapy użytkowania ziemi

5.2. Połączenie danych satelitarnych z numeryczną mapą użytkowania ziemi

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

Ze względu na różnice w formatach, dane satelitarne mogły zostać połączone z użytkowaniem ziemi dopiero po zmianie formatu z rastrowego systemu ERDAS na wektorowy ARC/INFO. Podział na poligony został wykonany na podstawie wartości pikseli. Powstały poligony o granicach biegnących wzdłuż krawędzi pikseli, reprezentujące pojedyncze piksele lub ich grupy. Wartości spektralne zostały przekazane w postaci atrybutów poligonów.

Jednym z założeń analizy obrazu NOAA w funkcji klas użytkowania ziemi było uzyskanie informacji o każdym pojedynczym pikselu obrazu. Z tego powodu poligony związane z obrazem musiały zostać podzielone na poligony odpowiadające pojedynczym pikselom, co nie było możliwe do wykonania w czasie importu danych z systemu ERDAS do ARC/INFO. W celu wykonania takiego podziału, zastosowano metodę polegającą na wykorzystaniu w procesie łączenia warstw sztucznie wygenerowanej warstwy reprezentującej pojedyncze piksele analizowanego obrazu. Warstwa ta powstała na podstawie obrazu wygenerowanego w systemie ERDAS. Obraz składał się z takiej samej liczby wierszy i kolumn

co analizowany obraz NOAA oraz posiadał identyczne współrzędne terenowe odwzorowania kartograficznego. Utworzony w ten sposób zbiór został przesłany do systemu ARC/INFO, w wyniku czego powstała warstwa o poligonach reprezentujących każdy pojedynczy piksel obrazu.

Na rysunku 4 przedstawiony jest schemat zmiany formatu danych obrazowych oraz łączenia ich z warstwą użytkowania ziemi.

W czasie procesu łączenia sztucznie wygenerowanych poligonów z danymi obrazowymi wszystkie poligony związane z grupami pikseli o jednakowych wartościach zostały podzielone na powierzchnie odpowiadające pojedynczym pikselom obrazu.

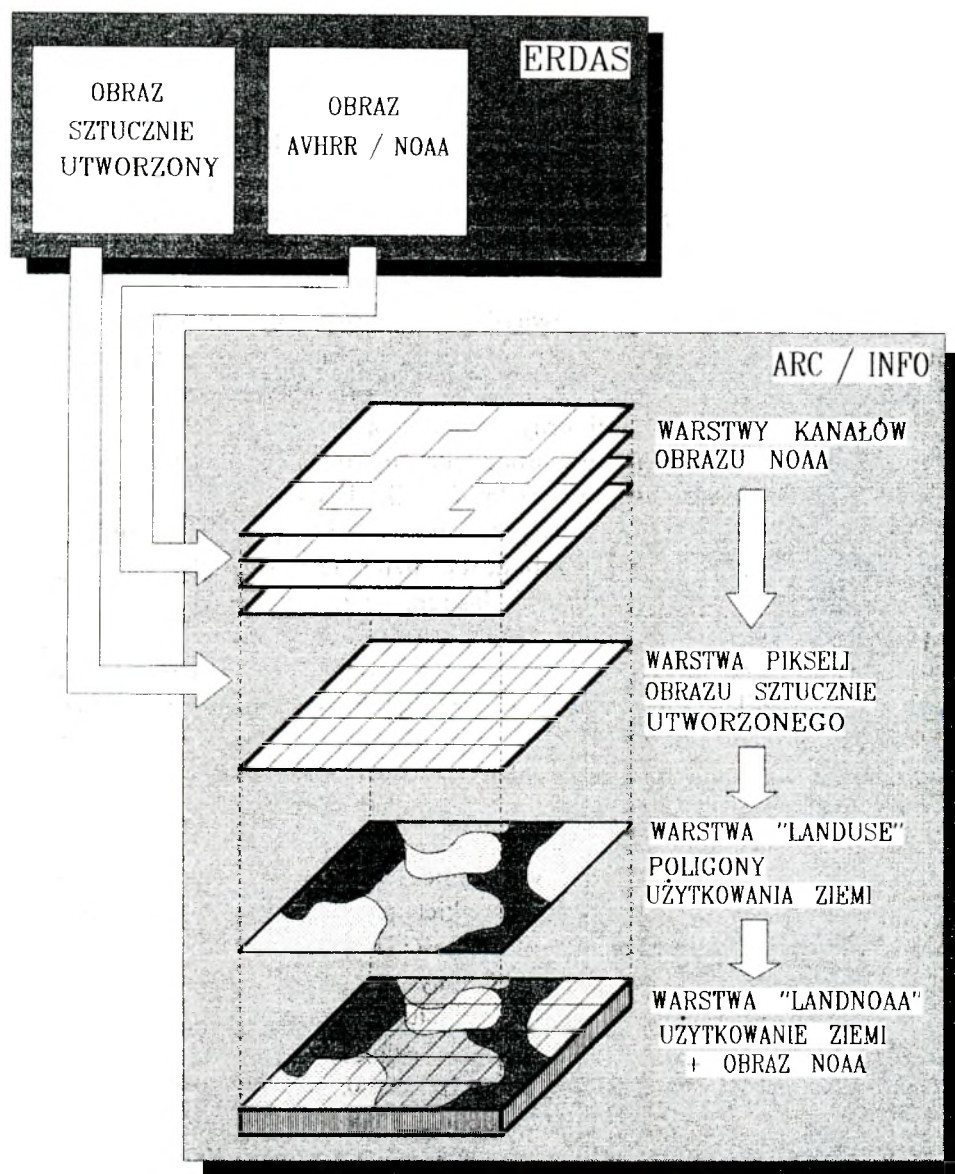
W wyniku wszystkich procesów przedstawionych na rys. 4, związanych ze zmianą formatów i łączeniem (przecinaniem) danych, w systemie ARC/INFO powstała końcowa warstwa informacyjna, o nazwie LANDNOAA. Warstwa ta zawiera sumę informacji związanych z użytkowaniem ziemi na obszarze badawczym i obrazem satelitarnym NOAA. Ich analizę opartą na bazie danych atrybutów poligonów przedstawiono w dalszej części pracy.

Dokładność połączenia (przecięcia) poligonów użytkowania ziemi z pikselami obrazu satelitarnego jest uzależniona od precyzji współrzędnych określających ich położenie. Można to wyrazić przez błąd transformacji warstw informacyjnych do odwzorowania kartograficznego (Albersa). Średni błąd transformacji digitalizowanej mapy użytkowania ziemi wyniósł 120 m, natomiast obraz NOAA został zgeometryzowany z precyzją 0,75 piksela, czyli 825 m. Na tej podstawie średni błąd kwadratowy połączenia wynosi: $(825^2 + 120^2)^{1/2} = 833$ m.

5.3. Analiza wypełnienia pikseli obrazu NOAA klasami użytkowania ziemi

W poprzednim rozdziale przedstawiono proces łączenia danych satelitarnych z numeryczną mapą użytkowania ziemi. W systemie ARC/INFO powstała warstwa informacyjna LANDNOAA (rys. 4) zawierająca wszystkie informacje o użytkowaniu ziemi oraz o lokalizacji i wartościach pikseli obrazu NOAA. Na podstawie zbioru bazy danych PAT (Polygon Attribute Table) można wykonać analizę wypełnienia pikseli obrazu NOAA klasami użytkowania ziemi.

W ARC/INFO wersja 3.4D zbiory PAT są zapisywane w formacie bazy danych DBase III, dzięki czemu bezpośredni dostęp do nich jest możliwy z poziomu systemu DBase III. Specjalnie do tego celu opracowano szereg programów komputerowych w języku DBase III.



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

Analizowany poligon badawczy reprezentowany jest przez zbiór 6735 pikseli obrazu NOAA (zarejestrowanego 16 maja 1989). Ze zbioru danych odrzucono piksele brzeżne, których więcej niż 10% powierzchni znajduje się poza granicą poligonu.

Ze względu na rozmiary pikseli obrazu NOAA tylko nieliczne z nich są wypełnione przez jedną klasę użytkowania ziemi. Większość pikseli jest w rzeczywistości mikselami, w których klasa użytkowania ziemi nazywana dominującą zajmuje największy procent powierzchni. Dla każdej klasy użytkowania ziemi występującej na poligonie badawczym określono liczbę pikseli jednorodnych oraz liczbę mikseli o danym stopniu jednorodności. Uzyskane wyniki przedstawione są w tabeli 4.

Na podstawie tabeli 4 można stwierdzić, że w miarę obniżania kryterium jednorodności rośnie liczba pikseli związanych z daną klasą użytkowania ziemi. Największa liczba pikseli całkowicie jednorodnych związana jest przede wszystkim z gruntami ornymi (11) oraz lasami iglastymi (51). Przy obniżonym kryterium jednorodności do 70% - poza dwoma już wymienionymi klasami - istotne liczebności pikseli występują dla terenów mieszanych: grunty orne - użytki zielone (12), użytki zielone antropogeniczne (24), obszary zabudowy luźnej (32) oraz drzewostany liściaste (52) i mieszane (53). Rubryki klas reprezentujących tereny górniczej eksploatacji odkrywkowej (41) oraz las zdegradowany (54) są niewypełnione. Oznacza to, że klasy te występują na poligonie badawczym, ale w żadnym pikselu nie zostały wykryte jako zajmujące największą powierzchnię. W ostatniej kolumnie podana jest całkowita liczba pikseli, w których dominują poszczególne klasy użytkowania ziemi.

Na podstawie tabeli 4 powstał rys. 5 przedstawiający w sposób graficzny rozkład pikseli NOAA w funkcji jednorodności ich wypełnienia.

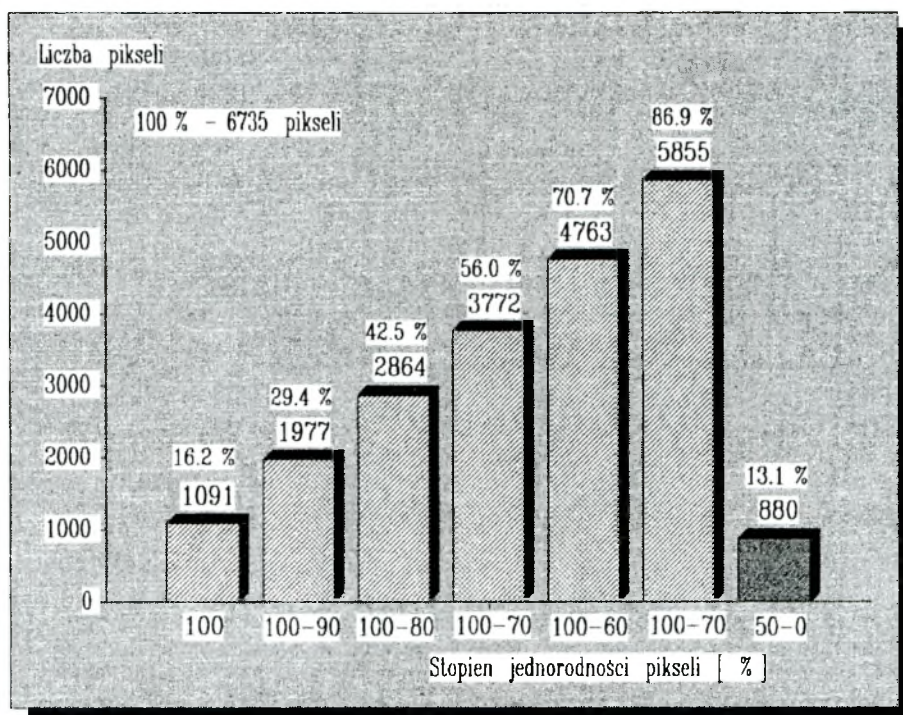
Na poligonie badawczym występuje 1091 pikseli całkowicie jednorodnych. Stanowi to 16.2% wszystkich pikseli poddanych analizie. Jeżeli obniżeniu ulega kryterium jednorodności, liczba pikseli spełniających to kryterium rośnie. 86.9% pikseli wypełnionych jest przez klasę dominującą w stopniu większym niż 50%. Ostatni słupek na rys. 5 zaznaczono ciemniejszym kolorem. Reprezentuje on piksele, w których klasa dominująca zajmuje powierzchnię mniejszą od połowy powierzchni piksela. Są to piksele, w granicach których występują przynajmniej trzy klasy użytkowania ziemi. Stanowią one jedynie 13.1% wszystkich pikseli.

Prawie połowa klas użytkowania ziemi występujących na poligonie badawczym jest reprezentowana tylko przez kilkanaście lub nawet kilka pikseli obrazu NOAA. Korzystając z danych z tabeli 4 zdecydowano się na połączenie „małych”, bliskich tematycznie klas, dla których określenie pól treningowych na obrazie NOAA jest zadaniem bardzo trudnym lub wręcz niemożliwym. W tabeli 5 przedstawione są nazwy i kody nowych,

Tabela 4. Liczebność pikseli w funkcji wypełnienia dominującą klasą użytkowania ziemi

KOD KLASY	WYPEŁNIENIE PIKSELA KLASĄ DOMINUJĄCĄ [%]						
	100	90-100	80-100	70-100	60-100	50-100	0-100
3					1	1	2
6	1	3	8	13	24	32	53
7		1	4	8	11	13	21
9			1	2	2	3	5
11	739	1331	1862	2368	2828	3286	3572
12	17	49	90	141	214	305	380
13	1	1	9	11	15	26	31
14	1	2	7	19	37	54	69
15	1	2	6	12	17	33	51
16					1	2	3
21			3	9	20	43	87
22				1	2	9	13
23	1	4	6	15	32	52	92
24	33	67	105	160	228	329	401
25			1	3	5	10	29
31		2	3	5	8	10	10
32	7	14	33	45	68	89	126
33	2	8	12	15	21	27	31
41							
42	1	4	5	6	6	7	10
51	277	452	639	817	1009	1206	1317
52	5	16	25	39	70	118	158
53	5	21	45	83	144	198	266
54							
55						2	8

połączonych klas. Liczba klas użytkowania ziemi zmniejszyła się z 25 do 14.



Rys. 5. Rozkład pikseli obrazu NOAA w funkcji ich jednorodności (wypełnienia klasą dominującą)

Kodem 17 oznaczona jest nowa klasa „użytki kompleksowe”. Jest ona sumą pięciu klas o kodach; 12, 13, 14, 15 i 16 związanych z terenami mieszanymi, na których obok gruntów ornych występują użytki zielone, małe obszary leśne oraz tereny sadowniczo-ogrodnicze. Na zdjęciu LANDSAT TM tereny mieszane wyróżniają się mozaikowym typem użytkowania ziemi. Spośród pięciu łączonych klas najliczniej reprezentowane są „tereny mieszane: grunty orne, użytki zielone” (12), a najmniej licznie „tereny sadowniczo ogrodnicze” (16).

Podobnie jak tereny mieszane połączono w jedną klasę wszystkie typy użytków zielonych: 21, 22, 23, 24, 25. Nowa klasa „użytki zielone” otrzymała kod 20. Jest ona zdecydowanie zdominowana przez „użytki zielone antropogeniczne” (24).

Tabela 5. Nowy podział form użytkowania ziemi na klasy

		KLASY POŁĄCZONE	
KOD	OPIS KLASY /skrót/	KOD	KLASA
3	Tereny niesklasyfikowane	3	Tereny niesklasyfikowane
6	Wody	6	Wody
7	Nieuzytaki	7	Nieuzytaki
9	Tereny komunikacyjne	9	Tereny komunikacyjne
11	Tereny rolnicze: zwarte powierzchnie gruntów ornych	11	Grunty orne
12	Tereny mieszane: grunty orne, użytki zielone	17	Użytki kompleksowe: grunty orne, drobne powierzchnie leśne, użytki zielone, sady
13	Tereny mieszane: grunty orne, małe obszary leśne		
14	Tereny mieszane: grunty orne, użytki zielone, małe obszary leśne		
15	Tereny mieszane: sadowniczo-ogrodnicze		
16	Tereny sadowniczo-ogrodnicze		
21	Użytki zielone łąkowe	20	Użytki zielone
22	Użytki zielone łąkowe		
23	Użytki zielone bagienne		
24	Użytki zielone antropogeniczne		
25	Użytki zielone i małe obszary leśne		
31	Obszary zwartej zabudowy miejskiej	31	Zabudowa zwarta
32	Obszary zabudowy luźnej miejskiej i podmiejskiej	34	Zabudowa luźna
33	Nowe dzielnice mieszkaniowe wraz z zielenią miejską		
41	Tereny górniczej eksploatacji odkrywkowej	40	Przemysł
42	Tereny zabudowy przemysłowej		
51	Drzewostany iglaste	51	Las iglasty
52	Drzewostany liściaste	52	Las liściasty
53	Drzewostany mieszane	53	Las mieszany
54	Las zdegradowany	56	Nieuzytaki leśne
55	Zadrzewienia i zakrzaczenia		

Z dwóch klas „obszary zabudowy luźnej miejskiej i podmiejskiej” (32) oraz z „nowe dzielnice mieszkaniowe” (33) utworzono jedną klasę „luźna zabudowa miejska” o kodzie 34. Na zdjęciach wysokorozdzielczych klasy te charakteryzują się podobnymi wielkościami odbić spektralnych.

Najmniejsza klasa występująca na poligonie „tereny górniczej eksploatacji odkrywkowej” (41) połączona została z nieliczną klasą „tereny zabudowy przemysłowej” (42). Powstała klasa „tereny przemysłowe” o kodzie 40.

Ostatnia, nowa klasa „nieużytki leśne” o kodzie 56 powstała z lasów zdegradowanych (54) oraz zadrzewień i zakrzaczeń (55).

Na podstawie tabeli 5 zawierającej kody nowych klas wprowadzone zostały zmiany w numerycznej mapie użytkowania ziemi. Nowe zestawienie wielkości powierzchni przedstawione jest w tabeli 6.

Tabela 6. Powierzchnie klas użytkowania ziemi występujące na poligonie badawczym, po połączeniu klas

KOD KLASY	KLASA	LICZBA POLIGONÓW	POWIERZCHNIA POLIGONÓW	
			SUMA [ha]	ŚREDNIA [ha]
3	Tereny niesklasyfikowane	44	1542.87	35.07
6	Wody	140	12415.71	88.68
7	Nieużytki	18	2842.92	157.94
9	Tereny komunikacyjne	5	723.42	144.68
11	Grunty orne	275	397609.38	1445.85
17	Użytki kompleksowe	397	76418.62	192.49
20	Użytki zielone	635	95953.94	151.11
31	Zabudowa zwarta	9	1238.98	137.66
34	Zabudowa luźna	202	24197.91	119.79
40	Przemysł	15	1689.45	112.63
51	Las iglasty	314	157014.18	500.05
52	Las liściasty	148	21248.50	143.57
53	Las mieszany	211	36839.93	174.60
56	Nieużytki leśne	37	1397.89	37.78

Zał. 1

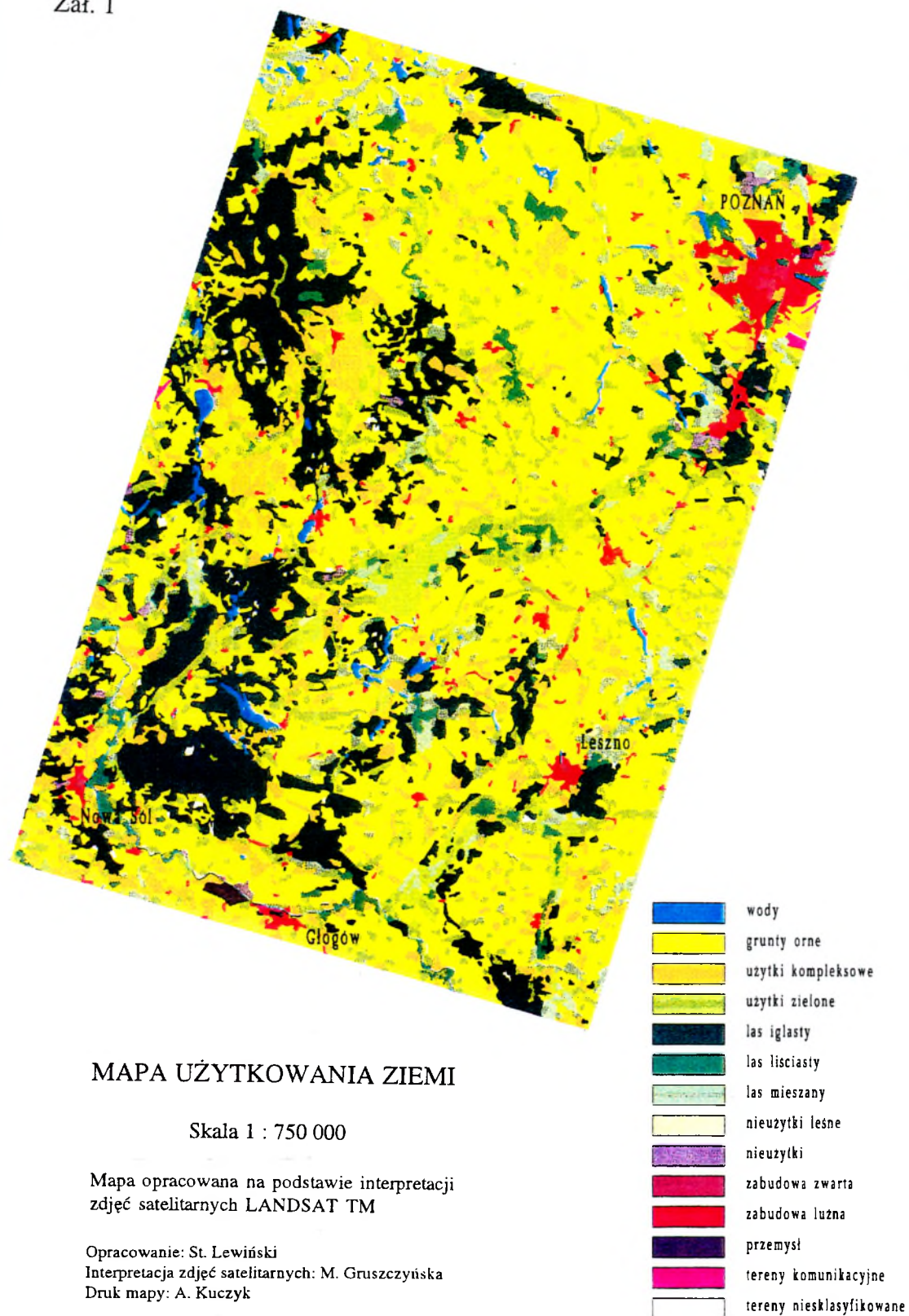


Tabela 7 przedstawia liczebność pikseli w funkcji wypełnienia dominującą klasą, obliczoną dla klas połączonych.

Tabela 7. Liczebność pikseli w funkcji wypełnienia dominującą klasą użytkowania ziemi, po połączeniu klas

KOD KLASY	WYPEŁNIENIE PIKSELA KLASĄ DOMINUJĄCĄ [%]						
	100	90-100	80-100	70-100	60-100	50-100	0-100
3					1	1	2
6	1	3	8	13	24	32	49
7		1	4	8	11	13	21
9			1	2	2	3	5
11	739	1331	1862	2368	2828	3286	3538
17	38	81	145	220	321	450	545
20	46	88	140	234	345	511	660
31		2	3	5	8	10	10
34	19	35	57	75	106	127	162
40	1	4	5	6	6	7	9
51	277	452	639	817	1009	1206	1314
52	5	16	25	39	70	118	153
53	5	21	45	83	144	198	259
56						2	8

Porównując tabelę 3 z 6 oraz 4 i 7 widzimy, że spośród 5 nowo powstałych klas największe są klasy „użytków zielonych” oraz „użytków kompleksowych”. Klasy te są wyraźniej „mocniejsze” w porównaniu z tymi, które je utworzyły. Podobna sytuacja nastąpiła po zsumowaniu różnych typów zabudowy w klasie „zabudowa miejska luźna” (34). Pozostałe dwie nowe klasy „tereny przemysłowe” (40) oraz „nieużytki leśne” (56) powstały z małych klas, które nawet po połączeniu, pod względem powierzchni nie są istotnymi klasami użytkowania ziemi na poligonie badawczym. Mapa użytkowania ziemi poligonu badawczego z podziałem na 14 klas, w skali 1 : 750 000, przedstawiona jest na załączniku 1.

5.4. Pola treningowe klasyfikacji obrazu NOAA

Celem klasyfikacji obrazu satelitarnego jest podział jego treści możliwie jak najdokładniej, na grupy pikseli nazywane klasami (tworzące w przestrzeni wielospektralnej tzw. klastry) oraz określenie związanych z nimi rodzajów pokrycia terenu [Domański J., 1980]. W metodzie klasyfikacji nadzorowanej podział na klasy dokonuje się na podstawie parametrów statystycznych określonych na podstawie tzw. pól treningowych, reprezentujących poszczególne klasy użytkowania ziemi. Poprawność zdefiniowania pól treningowych decyduje w sposób bezpośredni o jakości wykonania klasyfikacji.

W opracowanej metodzie klasyfikacji obrazu NOAA pola treningowe wybierane są w środowisku systemu ARC/INFO. Jest to proces automatyczny, całkowicie kontrolowany. Specjalnie przygotowane do tego celu programy analizują zbiór PAT (Polygon Attribute Table) warstwy informacyjnej, utworzonej przez połączenie numerycznej mapy użytkowania ziemi z siatką pikseli obrazu satelitarnego (rys. 4). Wyszukiwane są piksele, w których dominująca klasa użytkowania ziemi zajmuje określony procent jego powierzchni.

Jako pola treningowe wybierane są przede wszystkim piksele całkowicie jednorodne, na podstawie których można uzyskać najlepsze charakterystyki statystyczne. Jak wynika z tabeli 7, nie wszystkie klasy użytkowania ziemi związane są z dostatecznie dużą liczbą takich pikseli. Dlatego też kryterium jednorodności pól treningowych dla niektórych klas zostało obniżone. Założono jednak, że kryterium jednorodności nie może być niższe od 80%. Oznacza to, że pola treningowe nie mogą składać się z pikseli, w których klasa dominująca zajmuje mniej niż 80% powierzchni.

W tabeli 8 przedstawione są poszczególne klasy użytkowania ziemi oraz poziom jednorodności pikseli tworzących pola treningowe.

Z 14 klas użytkowania ziemi do klasyfikacji wybrano 9 i dla nich zostały określone pola treningowe. Są to „wody”, „grunty orne”, „użytki kompleksowe”, „użytki zielone”, „zabudowa zwarta”, „zabudowa luźna”, „las iglasty”, „las liściasty” oraz „las mieszany”.

Pięć klas: „tereny niesklasyfikowane”, „nieużytki”, „tereny komunikacyjne”, „tereny przemysłowe” i „nieużytki leśne”, pominięto w procesie klasyfikacji. Są one związane z bardzo małą liczbą pikseli spełniających przyjęte kryterium jednorodności.

Dla dwóch, najliczniejszych klas użytkowania ziemi - „gruntów ornych” (11) oraz „lasu iglastego” (51) - jako pola treningowe zostały wybrane piksele całkowicie jednorodne. Dla pozostałych - kryterium jednorodności zostało obniżone: do 90% dla „użytków kompleksowych” (17) i „użytków

zielonych” (20); do 80% dla „zabudowy zwartej” (31), „zabudowy luźnej” (34), „lasu liściastego” (52) i „lasu mieszanego” (53).

Tabela 8. Poziomy jednorodności pikseli tworzących pola treningowe

Klasa użytkowania ziemi	Kod klasy	Kryterium jednorodności [%]
Tereny niesklasyfikowane	3	*
Wody	6	**
Nieużytki	7	*
Tereny komunikacyjne	9	*
Grunty orne	11	100
Użytki kompleksowe	17	90
Użytki zielone	20	90
Zabudowa zwarta	31	80
Zabudowa luźna	34	80
Tereny przemysłowe	40	*
Las iglasty	51	100
Las liściasty	52	80
Las mieszany	53	80
Nieużytki leśne	56	*

Wybór do klasyfikacji klas „zabudowa zwarta” (31) i „wody” (6) wymaga komentarza. Pole treningowe dla „zabudowy zwartej” związane jest z bardzo małą liczbą pikseli. Mimo to zdecydowano się na uwzględnienie tej klasy w klasyfikacji, ponieważ jest ona istotna w przypadku dużych aglomeracji miejskich. Ponadto przeprowadzone próby wykazały, że jest ona bardzo dobrze rozróżnialna.

„Wody” są jedyną klasą, dla której pola treningowe nie zostały wybrane w sposób automatyczny, mimo że na poligonie badawczym występują liczne jeziora. Są one jednak niewielkie w porównaniu z pikselami o wymiarach 1100 x 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 wyselekcjonowane na podstawie

* klasa pominięta w klasyfikacji

** pola treningowe nie zostały wybrane automatycznie

analizy wartości pikseli. Taki sposób postępowania był możliwy jedynie dla klasy tak dobrze rozróżnialnej jak woda [Lillesand T.M., Kiefer R.W., 1979].

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

5.5. Klasyfikacja obrazu NOAA

Klasyfikacja obrazu NOAA (wybranego fragmentu) została wykonana w systemie ERDAS, według prezentowanego algorytmu (rys. 2), na podstawie czterech zestawień kanałów spektralnych:

[1,2,4]

[1,2]

[1,NDVI,4]

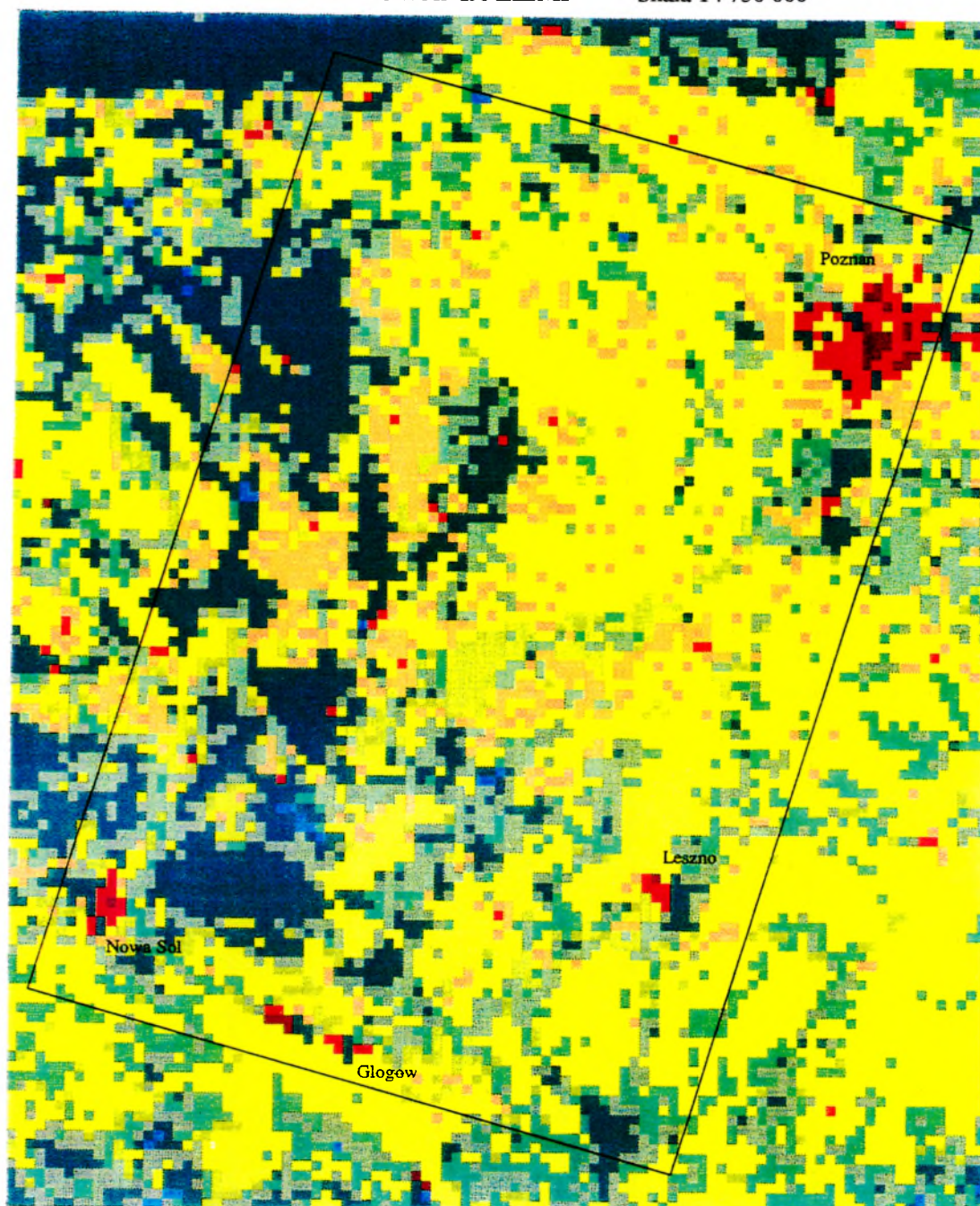
[NDVI,4]

Starano się utworzyć kombinacje kanałów o możliwie małym stopniu wzajemnej korelacji, czyli o dużej pojemności informacyjnej. W tym celu posłużono się współczynnikami korelacji obliczonymi dla poszczególnych kanałów spektralnych oraz wskaźnika NDVI. Wartości współczynników zamieszczone są w tabeli 9.

Tabela 9. Współczynniki korelacji między 1, 2, 4 i 5 kanałem spektralnym oraz wskaźnikiem NDVI obliczone na podstawie fragmentu obrazu NOAA zarejestrowanego w dniu 16 maja 1989 r.

Kanał spektralny	Kanał spektralny obrazu AVHRR/NOAA			
	1	2	4	5
1				
2	0.702			
4	-0.402	-0.016		
5	-0.464	-0.055	0.924	
NDVI	-0.115	0.607	0.399	0.410

Najmocniej są ze sobą skorelowane kanały 4 i 5, wartość współczynnika korelacji wynosi 0,92. Stosunkowo dobra zależność istnieje między kanałem 1 i 2 (0,70) oraz kanałem 2 i NDVI (0,61). Najmniejsze wartości współczynników korelacji występują między kanałem 2 i 4 oraz 2 i 5. Niski poziom korelacji jest również między NDVI a kanałami 1 i 4.



Opracował: St. Lewiński

- | | |
|--|---|
|  Wody |  Las liściasty |
|  Grunty orne |  Las mieszany |
|  Użytki kompleksowe |  Zabudowa zwarta |
|  Użytki zielone |  Zabudowa luźna |
|  Las iglasty |  Granica poligonu badawczego |

Do sklasyfikowania 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 wykonano w oparciu o identyczne pola treningowe.

Klasyfikację kanałów 1, NDVI, 4 obrazu NOAA przedstawiono w załączniku 2.

6. OCENA DOKŁADNOŚCI KLASYFIKACJI OBRAZU NOAA.

Ocenę wykonania klasyfikacji dokonano analizując wszystkie piksele obrazu NOAA związane z poligonem badawczym. Wykorzystano do tego celu specjalnie przygotowaną bazę danych, utworzoną na podstawie zbioru PAT (Polygon Attribute Table) warstwy informacyjnej LANDNOAA (rys. 4). Zawiera ona informacje o klasach użytkowania ziemi dominujących w pikselach obrazu satelitarnego oraz o zajmowanych przez nie powierzchniach.

Do bazy danych wprowadzono wyniki klasyfikacji, a następnie porównano kody klas dominujących z kodami obrazu klasyfikacyjnego. Jeżeli były one jednakowe to piksel był uznawany jako poprawnie sklasyfikowany. Informacje o powierzchni klasy dominującej zostały również wykorzystane do selekcji pikseli o różnym stopniu jednorodności. Tabela 10 przedstawia uzyskane wyniki.

W tabeli 10 podany jest procent pikseli poprawnie sklasyfikowanych w przypadku całkowicie jednorodnych oraz takich, w których klasa dominująca zajmuje więcej niż 90%, 70% i 50% powierzchni. W ostatniej kolumnie podany jest wynik obliczony na podstawie wszystkich pikseli poligonu badawczego, bez względu na stopień ich jednorodności.

Tabela 10. Dokładność klasyfikacji fragmentu obrazu NOAA zarejestrowanego w dniu 16 maja 1989 r.

Klasyfikacja zdjęć utworzonych z kanałów	Stopień jednorodności pikseli [%]				
	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%

Najlepszy wynik otrzymano dla obrazu utworzonego z kanałów 1, NDVI, 4; w tym przypadku aż 80,4% pikseli jednorodnych zostało rozpoznanych prawidłowo. W klasyfikacji [1, 2, 4] oraz [NDVI, 4] piksele jednorodne zostały rozpoznane z mniejszą dokładnością wynoszącą odpowiednio 72,1% i 68,7%.

Zdecydowanie najgorsze wyniki uzyskano w klasyfikacji dwukanałowej [1, 2]. Dokładność jej, nawet dla pikseli jednorodnych, nie przekracza 30%.

Jeżeli w ocenie klasyfikacji uwzględnimy miksele, to procent pikseli obrazu rozpoznanych prawidłowo maleje. Wartości ich są wypadkową odbić spektralnych różnych typów pokrycia terenu i zależą od stopnia „wymieszania”. W najlepszym zestawie kanałów [1, NDVI, 4] procent pikseli poprawnie sklasyfikowanych wynosi 53,9%.

Tabela 11. Porównanie powierzchni klas użytkowania ziemi na numerycznej mapie poligonu badawczego i w klasyfikacji [1, NDVI, 4] obrazu NOAA

Klasa użytkowania ziemi	Powierzchnia klasy [ha]		Mapa / klasyfikacja [%]
	Mapa użytkowania ziemi	Klasyfikacja obrazu NOAA	
Grunty orne	397609	368203	92.6
Użytki kompleksowe	76419	77561	101.5
Użytki zielone	95954	39809	41.5
Zabudowa zwarta	1239	3146	253.9
Zabudowa luźna	24198	14641	60.5
Las iglasty	157014	134431	85.6
Las liściasty	21248	51304	241.4
Las mieszany	36840	124025	336.6
Wody	12416*	1815	14.6
Inne klasy	8197	-	-

Do dalszej oceny poprawności klasyfikacji z czterech wykonanych wybrano najlepszą (tabela 10) powstałą z kanałów 1, NDVI, 4. W tabeli 11 przedstawiono porównanie powierzchni klas użytkowania ziemi, określonych na podstawie numerycznej mapy poligonu badawczego oraz klasyfikacji [1, NDVI, 4] obrazu NOAA. Duża zgodność co do powierzchni występuje w przypadku gruntów ornych, użytków kompleksowych i lasu

* suma powierzchni jezior i rzek

iglastego. Mając na uwadze rozdzielczość 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. Obszar badań charakteryzuje duża liczba małych i średnich jezior, które są „niewidoczne” dla skanera AVHRR. Na obrazie klasyfikacyjnym rozpoznano 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.

Tabela 12. Wynik klasyfikacji [1,NDVI,4] klas użytkowania ziemi, dla których nie zostały określone pola treningowe (liczba pikseli)

Klasa klasyfikacji obrazu NOAA	Kod klasy użytkowania ziemi				
	3	7	9	40	56
Grunty orne	1	6	1	2	3
Użytki kompleksowe		5	3		
Użytki zielone		1		1	
Zabudowa zwarta			4		
Zabudowa luźna		1		1	
Las iglasty		4	1	2	1
Las liściasty		1			2
Las mieszany	1	3			1
Wody					

W klasyfikacji obrazu NOAA wydzielonych zostało 9 klas użytkowania, spośród 14 zdefiniowanych w numerycznej mapie użytkowania ziemi (tabela 5). Pominięte zostały klasy nielicznie reprezentowane przez niewielkie powierzchnie, dla których nie można było utworzyć pól treningowych. Są to „nieużytki” (kod 7), „tereny komunikacyjne” (kod 9), „tereny niesklasyfikowane” (kod 3), „przemysł” (kod 40) i „nieużytki leśne” (kod 56). Na podstawie bazy danych powstałej przez połączenie danych obrazowych z numeryczną mapą użytkowania ziemi można prześledzić, jak zostały sklasyfikowane pojedyncze piksele, w których te klasy dominują. Jest to przedstawione w tabeli 12. Przykładowo: klasa „przemysł” oznaczona kodem 40 reprezentowana jest przez 9 pikseli, przy czym tylko jeden z

nich jest jednorodny (tabela 7). Cztery piksele tej klasy zostały sklasyfikowane jako „zabudowa zwarta”, 1 jako „zabudowa luźna”, 2 jako „las iglasty” oraz 2 zostały rozpoznane jako „grunty orne”. Wyniki zamieszczone w tabeli 12 nie mają istotnego wpływu na końcowy rezultat klasyfikacji. Jest to przykład możliwości analizy obrazu klasyfikacyjnego.

7. PODSUMOWANIE

Jednym z podstawowych problemów związanych z klasyfikacją obrazów NOAA jest mała rozdzielczość zdjęć meteorologicznych. W warunkach polskiego gospodarowania gruntami tylko część pikseli o rozmiarach 1100 m x 1100 m reprezentuje jeden typ użytkowania ziemi. Większość z nich jest mikselami, których wartości spektralne charakteryzuje nie jedna lecz kilka form użytkowania ziemi.

Przedstawiona metoda klasyfikacji niskorozdzielczego obrazu NOAA jest oparta na algorytmie klasyfikacji nadzorowanej. Jej oryginalność polega na wyborze w środowisku systemu ARC/INFO pól treningowych, składających się z pikseli reprezentujących teren o możliwie jak najwyższym stopniu jednorodności. W klasyfikacji obrazu NOAA wykorzystana została szczegółowa, numeryczna mapa użytkowania ziemi poligonu badawczego, pełniąca rolę poziomu odniesienia. Mapa ta powstała w wyniku interpretacji zdjęć satelitarnych LANDSAT TM.

Na podstawie wykonanych analiz określono na poligonie badawczym 9 klas użytkowania ziemi, które mogą zostać sklasyfikowane przy wykorzystaniu obrazu satelitarnego NOAA. Są to: grunty orne, las iglasty, użytki kompleksowe, las liściasty, użytki zielone, las mieszany, zabudowa luźna, wody oraz zabudowa zwarta.

Klasyfikacja obrazu NOAA została wykonana dla czterech zestawów kanałów spektralnych: [1, 2, 4], [1, 2], [1, NDVI, 4], [NDVI, 4]. Najlepsze wyniki uzyskano dla kanałów [1, NDVI, 4]. Z największą dokładnością są sklasyfikowane piksele jednorodne, reprezentujące na powierzchni ziemi tylko jedną klasę jej użytkowania. W klasyfikacji [1, NDVI, 4] 80,4% pikseli jednorodnych zostało sklasyfikowanych poprawnie. Niestety, stanowią one jedynie 16,2% pikseli poligonu badawczego. Tak więc ocena klasyfikacji całego obrazu NOAA zależy od klasyfikacji mikseli. Przyjęto, że miksel jest poprawnie sklasyfikowany, jeżeli odpowiada klasie użytkowania ziemi w nim dominującej.

Za zadowalające można uznać wyniki klasyfikacji w czterech następujących klasach: grunty orne, użytki kompleksowe, zabudowa luźna, las iglasty. Stanowią one ponad 70% powierzchni poligonu badawczego. Również jako dobrze sklasyfikowaną należy uznać klasę wody, mimo dużych

różnic w powierzchni tej klasy zauważalnej przy porównaniu klasyfikacji z mapą użytkowania ziemi.

Niski poziom klasyfikacji takich klas, jak użytki zielone oraz las liściasty i mieszany jest spowodowany wyborem pól treningowych o obniżonej jednorodności (90%, 80%) oraz wiosennym terminem zdjęcia satelitarnego. Okres wiosenny nie jest szczególnie sprzyjający w rozróżnianiu klas pokrycia terenu, zwłaszcza w przypadku tzw. klas zielonych (przystępując do pracy nie dysponowano odpowiednim obrazem satelitarnym, zarejestrowanym w innym terminie). Tak więc, przedstawione rezultaty nie mogą być traktowane jako ostateczne podsumowanie możliwości klasyfikacji obrazu NOAA. Bardziej poprawnych wyników należy oczekiwać w klasyfikacji zdjęć z letniego i jesiennego okresu wegetacji.

Klasyfikacja obrazu NOAA wykonana na podstawie kanałów [1, NDVI, 4] przedstawiona jest w zał. 2, w postaci mapy użytkowania ziemi. W załączniku 1 zamieszczono mapę użytkowania ziemi, pełniącą rolę poziomu odniesienia w prezentowanej metodzie, powstałą w systemie ARC/INFO w wyniku interpretacji zdjęcia satelitarnego LANDSAT TM. Jednakowa skala pozwala na bezpośrednie porównanie treści obu map.

Klasyfikacja zdjęcia 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, że kompleksy lasu iglastego otoczone są pikselami sklasyfikowanymi jako las mieszany. W rzeczywistości są to piksele reprezentujące las oraz przyległe tereny, najczęściej związane z rolnictwem.

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. W opracowaniu w skali np. całego kraju numeryczna mapa powinna być przygotowana tylko dla terenów wytypowanych do określenia pól treningowych, dla których niezbędne jest wykonanie oceny jednorodności pikseli obrazu NOAA.

PODZIĘKOWANIE

Bardzo dziękuję Pani mgr inż. Marii Gruszczyńskiej za wykonanie szczegółowej interpretacji zdjęć satelitarnych Landsat TM.

LITERATURA

- [1] Barton I.J.: Transmission model and ground - truth investigation of satellite - derived sea surface temperatures. *J. Clim. Appl. Meteorol.* Vol. 24, 1985, p. 508-516.
- [2] Bellec B., Legleau H.: Nephanalyse par composition coloree multispectrale. *Meteorologie.* 1989, No 28.
- [3] Bochenek Z.: Use of AVHRR data supported with LANDSAT TM imagery for biomass estimates. 5th AVHRR data users meeting. Tromso, Norway, 25-28 June 1991.
- [4] Cicone R.C., Metzler M.D.: Comparison of Landsat MSS, Nimbus-7 CZCS, and NOAA-7 AVHRR features for land-use analysis. *Remote Sensing of Environment.* 1984, No 14, p. 257-265.
- [5] Ciolkosz A., Kęsik A.: Teledetekcja satelitarna. Warszawa 1989, PWN.
- [6] Colwell N.: Manual of remote sensing. American Society of Photogrammetry, 1983.
- [7] Conese C., Maracchi G., Maselli F., Bindi M.: Environmental monitoring in the Sahel by means of advanced methods of NOAA AVHRR data processing. *EARSeL Proc. of the 11th EARSeL Symposium.* Graz, Austria, 3-5 July 1991, p. 325-333.
- [8] Dąbrowska-Zielińska K.: Określenie ewapotranspiracji i wilgotności gleby w strefie korzeniowej roślin metodami teledetekcyjnymi. *Prace IGiK.* Tom XXXVI, 1989, z.1-2, s. 5-39.
- [9] Dąbrowska-Zielińska K., Ciolkosz A., Gruszczyńska M., Lewiński St.: Assessment of grassland production using information from satellite remote sensing. *Proc. of XVII Congress of International Society for Photogrammetry and Remote Sensing,* Washington D.C. Vol 29, 1992, part B7, commission 7, p. 150-152.
- [10] Dąbrowska-Zielińska K., Gruszczyńska M., Lewiński St.: From evapotranspiration to soil moisture investigation based on NOAA thermal infrared data, case study -

- Poland. Proc. of the 5th Int. Colloquium - Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, Courchevel, France, 14-18 January. Vol. 2, 1991, p. 675-678.
- [11] Domański J.: Metody analizy cyfrowej wielospektralnych danych teledetekcyjnych. *Przegląd Geodezyjny*. 1980, Nr 3, s. 88-91.
- [12] Dyras I., Serafin D., Łapeta B.: Sprawozdanie z wykonania tematu CPBC 01.20.6.2.8., Opracowanie metody zastosowania obrazów AVHRR do prognoz. IMiGW Kraków, 1989, maszynopis.
- [13] ERDAS Field Guide, 1991. Ver. 7.5, 2nd Edition, ERDAS Inc.
- [14] Jackson R.D.: Remote sensing of biotic and abiotic plant stress. *Ann. Rev. Phytopathol.* Vol 24, 1986, p. 265-87.
- [15] Justice C.O., Holben B.N., Gwynne M.D.: Monitoring East African vegetation using AVHRR data. *Int. J. of Remote Sensing*. Vol 7, 1986, No 11, p. 1453-1474.
- [16] Kogan F., Carey R.M.: New applications of NOAA AVHRR data for environmental monitoring. Proc. of 5th AVHRR data users meeting. Tromsø, Norway, 25-28 June 1991.
- [17] van der Laan F.: Raster GIS allows agricultural suitability modeling at continental scale. *GIS World*. Vol 5, 1992, No 8, p 42-50.
- [18] Lewiński St.: The look into the inside of the AVHRR/NOAA pixel. Proc. of the 12th Annual ESRI User Conference, Palm Springs, 8-12 June 1992, Vol III, p. 63-69.
- [19] Lewiński St., Gruszczyńska M.: Badanie zależności między temperaturą radiacyjną mierzoną z pulpitu lotniczego i satelitarnego a LAI biomasa i wilgotnością gleby użytków zielonych. *Prace IGiK*. Tom XXXIX, 1992, z. 1, s. 127-134.
- [20] Lillesand T.M., Kiefer R.W.: Remote Sensing and Image Interpretation. New York, 1979, John Wiley & Son.
- [21] Linsenbarth A.: Satelitarne systemy teledetekcyjne. Warszawa 1987, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej.
- [22] Schnapf A.: 20 years of weather satellites - where we have been and where we are going. Proc. of 17th Space Congress. Cocoa Beach, Florida, 1980.
- [23] Schneider S.R., McGinnis D.F., Gatlin J.A.: Use of NOAA AVHRR visible data for land remote sensing. National and Atmospheric Administration, NOAA Technical Memorandum NESS 84. Washington D.C., 1981.
- [24] Singh S.M.: Lowest order correction for solar zenith angle to Global Vegetation

- [24] Singh S.M.: Lowest order correction for solar zenith angle to Global Vegetation Index (GVI) data. Int. J. of Remote Sensing. Vol. 9, 1988, p. 1565-1572.
- [25] Sparkman J.K. Jr.: NOAA polar orbiting sensor systems, today and tomorrow. Int. J. Remote Sensing. Vol. 10, 1989, p. 609-612.
- [26] Stachlewski W., Zubek A.: Satelitarne badania ziemi. Warszawa 1985, PWN.

Przyjęto do opublikowania w styczniu 1995

Recenzent: prof. dr hab. A. Ciołkosz

STANISŁAW LEWIŃSKI

LAND USE CLASSIFICATION ON THE BASIS OF AVHRR/NOAA SATELLITE IMAGES

Summary

Increased interest in using AVHRR/NOAA meteorological images can be observed recently. Due to low ground resolution they can be particularly predestined for small-scale mapping. NOAA images can be classified applying methods used for other types of satellite images. However, considering size of NOAA pixel - 1100x1100 m it is soundful to prepare special method, which could give results with high degree of reliability.

The presented algorithm of land use classification on the basis of low-resolution NOAA images is based on supervised method. It differs from standard method in defining training areas. Pixels of training areas are determined automatically and their homogeneity is controlled. Those pixels are only selected, which are filled with one land use class or this class is dominant with the assumed percentage. Such an approach is possible to apply through overlaying of NOAA image and digital land use map prepared for fragment of the analysed area.

ERDAS image processing system and ARC/INFO GIS system were used for classifying NOAA image. Analysis of filling NOAA pixels with land use classes is done within ARC/INFO environment. Next the selected pixels of training areas are sent to ERDAS system in order to perform supervised classification.

Translation: Zbigniew Bochenek

*СТАНИСЛАВ ЛЕВИНСКИ***КЛАССИФИКАЦИЯ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ
СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ AVHRR/NOAA.****Р е з ю м е**

В последние годы наступил рост заинтересованности метеорологическими изображениями AVHRR/NOAA. Ввиду небольшой разрешающей территориальной способности имеют они особое предрасположение для использования их при разработках в обзорных масштабах. Изображения NOAA можно классифицировать так, как другие спутниковые изображения. Однако, учитывая величину пикселя NOAA, составляющую 1100 x 1100 м, целесообразной кажется разработка специального метода, разрешающего получать результаты с возможно высокой степенью правильности.

Представленный алгоритм классификации форм землепользования на изображениях NOAA с малой разрешающей способностью базируется на методе классификации "с учителем". Его отличие заключается в способе дефиниции тренировочных полей. Пиксели тренировочных полей определяются автоматически и контролируются с точки зрения однородности. Избираются пиксели, которые заполнены целиком только одним классом землепользования или также те, в которых доминирующий класс занимает заранее предположенный процент поверхности. Такой способ действия возможен путём соединения (накладки) изображения NOAA с цифровой картой землепользования, составленной для фрагмента анализируемой территории.

При классификации изображения NOAA была использована система обработки изображений ERDAS и система географической информации ARC/INFO. В среде системы ARC/INFO наступает анализ заполнения пикселей NOAA классами землепользования. Избираются пиксели тренировочных полей, которые затем высылаются в систему ERDAS с целью проведения классификации.

Перевод: Róża Tołstikowa

