

Katarzyna Osińska-Skotak

Przetwarzanie i interpretacja zdjęć satelitarnych

W ramach zadania 27 Programu Rozwojowego Politechniki Warszawskiej:
*Rozszerzenie oferty edukacyjnej na Wydziale Geodezji i Kartografii o drugi stopień kształcenia
na kierunku Gospodarka Przestrzenna*



KAPITAŁ LUDZKI
CZŁOWIEK – NAJLEPSZA INWESTYCJA!

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

*Słyszę i zapominam.
Widzę i pamiętam.
Robię i rozumiem.*

Konfucjusz

Spis treści

1	Ogólna charakterystyka cyfrowych danych teledetekcyjnych	8
1.1	Struktura obrazu cyfrowego	8
1.2	Formaty zapisu danych rastrowych	10
1.2.1	BIP - Band Interleaved by Pixel	10
1.2.2	BIL - Band Interleaved by Line	11
1.2.3	BSQ - Band Sequential	11
1.3	Przykład zapisów obrazu w różnych formatach	11
1.4	Ćwiczenie – formaty zapisu obrazów cyfrowych	12
1.5	Ćwiczenie – wyszukiwanie danych satelitarnych w katalogach zdjęć satelitarnych	13
1.5.1	Dane udostępniane przez Europejską Agencję Kosmiczną - ESA	13
1.5.2	Dane z satelitów LANDSAT	15
1.5.3	Dane satelitarne SPOT	17
1.5.4	Dane satelitarne QuickBird i WorldView	19
1.5.5	Dane satelitarne IKONOS i GeoEye	22
2	Przetwarzanie wstępne obrazów satelitarnych - analizy statystyczne dla poszczególnych zakresów spektralnych	24
2.1	Histogram - podstawowa charakterystyka obrazu cyfrowego	24
2.2	Wzmacnianie kontrastu	25
2.2.1	Rozciągnięcie kontrastu funkcją liniową	25
2.2.2	Rozciągnięcie kontrastu innymi funkcjami	27
2.2.3	Rozciągnięcie kontrastu poprzez tzw. wyrównanie histogramem	28
2.3	Ćwiczenie - analiza statystyczna obrazu i rozciąganie kontrastu	30
2.4	Ćwiczenie - przetwarzanie wstępne obrazów cyfrowych w programie IDRISI	31
2.4.1	Analizy statystyczne dla poszczególnych zakresów spektralnych. Rozciąganie kontrastu funkcjami wbudowanymi w oprogramowanie.	31
2.4.2	Rozciąganie kontrastu dowolną funkcją – opcja Image Calculator	33
2.4.3	Charakterystyki spektralne obiektów na podstawie danych satelitarnych	34
3	Tworzenie kompozycji barwnych	36
3.1	Podstawy teoretyczne	36
3.2	Ćwiczenie - tworzenie kompozycji barwnych w programie IDRISI	41
3.3	Ćwiczenie - przygotowanie map do wydruku w systemie IDRISI	42

4 Klasyfikacja cyfrowa obrazów wielospektralnych	46
4.1 Podstawy teoretyczne	46
4.1.1 Wprowadzenie	46
4.1.2 Klasyfikacja nienadzorowana	47
4.1.3 Klasyfikacja nadzorowana	47
4.1.4 Etapy tworzenia mapy pokrycia terenu	50
4.1.5 Ocena dokładności klasyfikacji	51
4.2 Ćwiczenie - klasyfikacja cyfrowa obrazów wielospektralnych w IDRISI	52

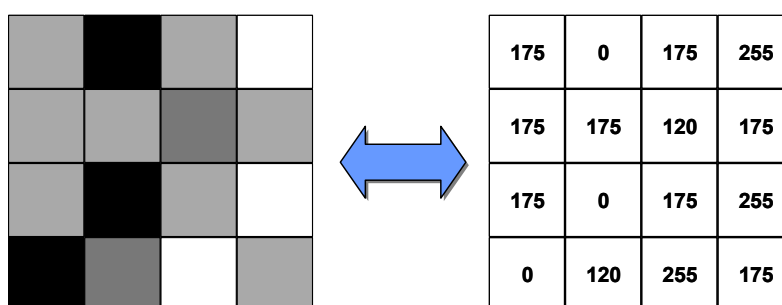
Spis rycin

Ryc. 1. Struktura obrazu cyfrowego.....	8
Ryc. 2. Zapis danych cyfrowych na 8 i 11 bitach.	8
Ryc. 3. Poszczególne kanały spektralne zarejestrowane przez skaner LANDSAT TM.	9
Ryc. 4. Struktura sceny satelitarnej.	9
Ryc. 5. Histogram jednowymiarowy.....	24
Ryc. 6. Histogram skumulowany.	24
Ryc. 7. Idea rozciągania kontrastu obrazu przy pomocy dowolnej funkcji postaci $y=f(x)$	25
Ryc. 8. Rozciąganie kontrastu przy pomocy funkcji liniowej.....	26
Ryc. 9. Rozciąganie kontrastu przy pomocy funkcji kwadratowej.....	27
Ryc. 10. Rozciąganie kontrastu przy pomocy funkcji logarytmicznej.....	28
Ryc. 11. Rozciąganie kontrastu metodą wyrównania histogramu	29
Ryc. 12. Porównanie wyników uzyskiwanych przy pomocy różnych metod wzmacniania kontrastu	30
Ryc. 13. System addytywny.....	36
Ryc. 14. System subtraktywny.	36
Ryc. 15. Model tworzenia barw RGB.	36
Ryc. 16. Idea tworzenia kompozycji barwnych RGB.	37
Ryc. 17. Charakterystyki spektralne wybranych obiektów na tle zakresów spektralnych rejestrowanych przez skaner Thematic Mapper.	38
Ryc. 18. Charakterystyki spektralne wybranych obiektów na tle zakresów spektralnych rejestrowanych przez skaner TM - idea rozciągania kontrastu.	39
Ryc. 19. Standardowa kompozycja barwna RGB 432 dla danych TM - przykłady działań różnych funkcji rozciągania kontrastu.....	40
Ryc. 20. Mapa satelitarna - przykładowe opracowanie.....	45
Ryc. 21. Dwuwymiarowa przestrzeń spektralna utworzona z dwóch zakresów spektralnych TM3 i TM4 oraz usytuowanie podstawowych typów pokrycia terenu w tej przestrzeni.	46
Ryc. 22. Idea działania algorytmu równoległościaków.....	48
Ryc. 23. Idea działania algorytmu najmniejszej odległości.	48
Ryc. 24. Idea działania algorytmu największego prawdopodobieństwa.	49
Ryc. 25. Przykładowa macierz błędów	51
Ryc. 26. Mapa pokrycia terenu - przykładowe opracowanie	58

1 Ogólna charakterystyka cyfrowych danych teledetekcyjnych

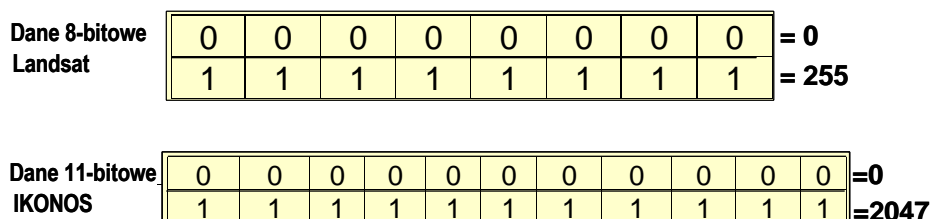
1.1 Struktura obrazu cyfrowego

W zapisie cyfrowym obraz powierzchni Ziemi podzielony jest na skończony zbiór wewnętrznie jednorodnych powierzchni elementarnych, które nazywane są pikselami. Skaner rejestrujący obraz terenu zamienia ciągły strumień promieniowania elektromagnetycznego na dyskretne poziomy jaskrawości (wartości radiometryczne oznaczane najczęściej jako DN od ang. Digital Number). Każdy piksel ma więc przyporządkowaną jedną wartość radiometryczną charakteryzującą bądź jego właściwości odbijające, bądź też emisyjne (np. LANDSAT TM 6).



Ryc. 1. Struktura obrazu cyfrowego.

Dane cyfrowe zapisywane są w formacie binarnym. Każdy bit zawiera wartość 1 lub 0. Dane satelitarne najczęściej rejestrowane są w postaci 8-bitowej. W zapisie 8-bitowym wartości radiometryczne zmieniają się od wartości 0 (czarny) do 255 (biały). Wraz z pojawieniem się danych satelitarnych o bardzo wysokiej rozdzielczości przestrzennej stosowany jest również zapis 11-bitowy, który pozwala na zapisanie 2048 odcieni szarości.



Ryc. 2. Zapis danych cyfrowych na 8 i 11 bitach.

Piksele w obrazie cyfrowym ułożone są w linie (wiersze). Obraz cyfrowy charakteryzuje się określoną liczbą kolumn i wierszy. Z kolei każdy piksel charakteryzują trzy cechy: położenie w kolumnie i wierszu macierzy obrazu oraz wartość radiometryczna. Każdy piksel może być jednorodny, czyli zarejestrowane przez skaner promieniowania jest odbite/emisowane z jednorodnej powierzchni Ziemi, bądź też niejednorodny czyli może obejmować pole składające się w różnym stopniu z różnych typów pokrycia terenu. Jeśli piksel jest jednorodny to jego wartość radiometryczna w sposób prawdziwy oddaje właściwości obiektu. Jeżeli zaś piksel składa się w różnych częściach z różnych elementów pokrycia terenu to promieniowanie rejestrowane przez

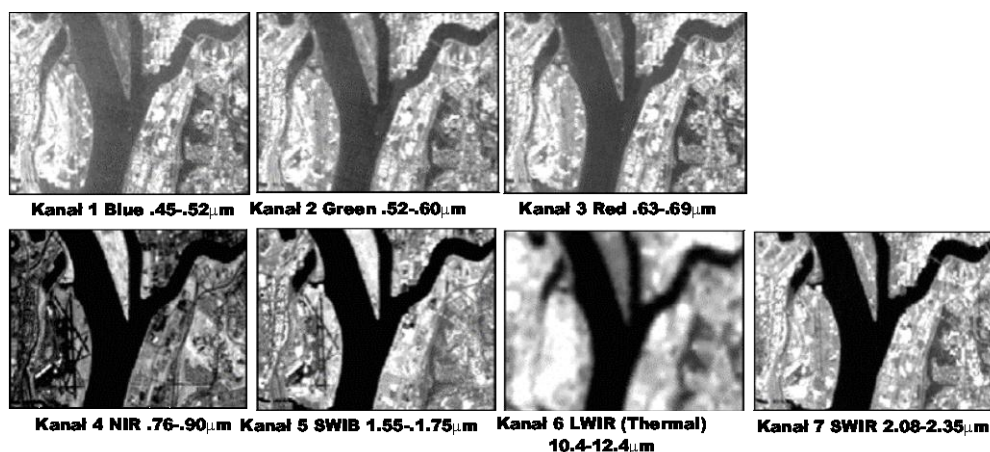
skaner jest wielkością wypadkową i nie można w sposób jednoznaczny określić właściwości odwzorowanego na obrazie obiektu.

Terenowe wymiary piksela zależą od:

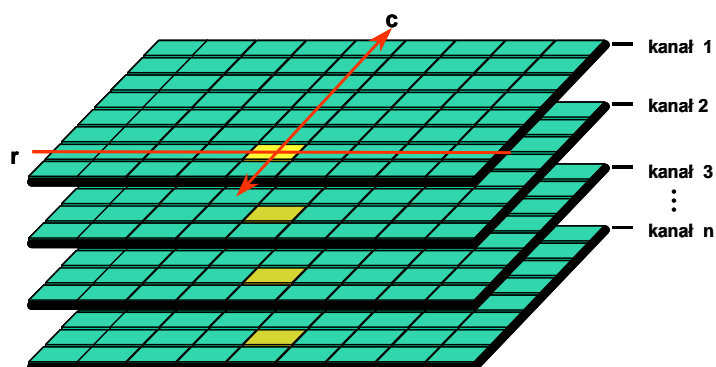
- kątowej wielkości chwilowego pola widzenia skanera;
- od wysokości, z której następuje rejestracja danych;
- od próbkowania sygnału, np. dla skanera MSS.

Ponieważ piksel ma ściśle określone wymiary terenowe, skala do jakiej może być powiększony obraz cyfrowy jest ograniczona. Powiększanie obrazu ma sens do momentu, gdy piksel staje się zbyt widoczny. Nadmierne powiększanie obrazu cyfrowego prowadzi do zaniku czytelności obrazu.

Dane satelitarne najczęściej rejestrowane są w dwóch trybach: panchromatycznym i wielospektralnym. W trybie panchromatycznym rejestrowany jest pojedynczy obraz w zakresie promieniowania widzialnego, natomiast w trybie wielospektralnym rejestrowanych jest kilka obrazów, z których każdy zarejestrowany jest w innym zakresie promieniowania elektromagnetycznego. Pojedynczy obraz zarejestrowany w trybie wielospektralnym nazywany jest kanałem albo zakresem spektralnym. Wszystkie kanały spektralne tworzą tzw. scenę satelitarną.



Ryc. 3. Poszczególne kanały spektralne zarejestrowane przez skaner LANDSAT TM.



Ryc. 4. Struktura sceny satelitarnej.

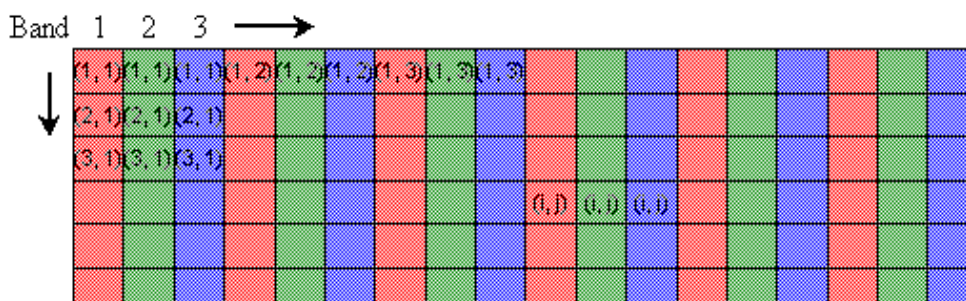
1.2 Formaty zapisu danych rastrowych

Istnieje wiele formatów zapisu danych rastrowych. Do najpopularniejszych należą: JPG, GIF, BMP, PNG i TIFF. Obecnie, dane satelitarne najczęściej zapisywane są w formacie TIFF lub HDF. Są to pliki „wielowarstwowe”, w których zapisane są wszystkie zakresy spektralne. Standardowy format zapisu TIFF składa się maksymalnie z trzech warstw (RGB), natomiast w przypadku satelitarnych scen wielospektralnych w formacie tym zapisane zostają w jednym pliku wszystkie rejestrowane kanały spektralne. Dane obrazowe mogą zostać zapisane również z dodatkowym nagłówkiem, poprzedzającym dane obrazowe, w którym znajdują się podstawowe informacje na temat zarejestrowanych danych (np. data rejestracji, nazwa systemu satelitarnego, wielkość obrazu, format zapisu, wielkość piksela).

Na początku rozwoju technik satelitarnych powstały trzy formaty zapisu danych rastrowych: BIP, BIL i BSQ. Stanowią one w obecnej chwili uniwersalny format wymiany danych pomiędzy różnymi systemami służącymi do przetwarzania danych cyfrowych, ale niegdyś były to jedyne formaty zapisu danych satelitarnych.

1.2.1 BIP - Band Interleaved by Pixel

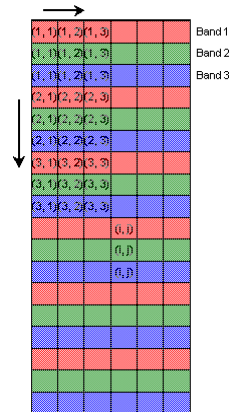
Format zapisu BIP polega na tym, że w pierwszym rekordzie jako pierwszy zapisywany jest piksel z pierwszej kolumny i pierwszego wiersza z pierwszego kanału, następnie piksel z pierwszej kolumny i pierwszego wiersza z drugiego kanału, ... , piksel z pierwszej kolumny i pierwszego wiersza z n-tego kanału. Następnie piksel z drugiej kolumny i pierwszego wiersza z pierwszego kanału, piksel z drugiej kolumny i pierwszego wiersza z drugiego kanału, ... , piksel z drugiej kolumny i pierwszego wiersza z n-tego kanału itd. aż do ostatniej kolumny.



W drugim rekordzie jako pierwszy zapisywany jest piksel z pierwszej kolumny i drugiego wiersza z pierwszego kanału, następnie piksel z pierwszej kolumny i drugiego wiersza z drugiego kanału, ... , piksel z pierwszej kolumny i drugiego wiersza z n-tego kanału. Następnie piksel z drugiej kolumny i drugiego wiersza z pierwszego kanału, piksel z drugiej kolumny i drugiego wiersza z drugiego kanału, ... , piksel z drugiej kolumny i drugiego wiersza z n-tego kanału itd. aż do ostatniej kolumny... itd.

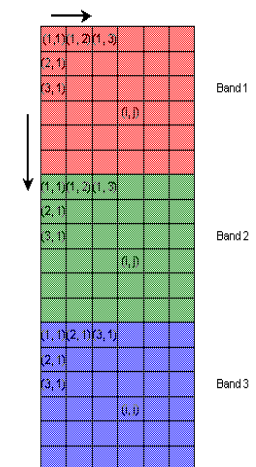
1.2.2 BIL - Band Interleaved by Line

Zapis obrazu cyfrowego w formacie BIL polega na tym, że w pierwszym rekordzie zapisywana jest cała pierwsza wiersz pierwszego kanału, w drugim rekordzie zapisywany jest cały pierwszy wiersz drugiego kanału, ... , w n-tym rekordzie zapisywany jest cały pierwszy wiersz n-tego kanału, dalej w n+1 rekordzie zapisywany jest drugi wiersz pierwszego kanału, w n+2 rekordzie zapisywany jest drugi wiersz drugiego kanału, ... itd.



1.2.3 BSQ - Band Sequential

W formacie zapisu BSQ w pierwszym rekordzie zapisywany jest pierwszy wiersz pierwszego kanału, w drugim rekordzie drugi wiersz pierwszego kanału, ... , w n-tym rekordzie n-ty wiersz pierwszego kanału, w rekordzie n+1 zapisywany jest pierwszy wiersz drugiego kanału, w rekordzie n+2 zapisywany jest drugi wiersz drugiego kanału, ... , w rekordzie 2n zapisywany jest n-ty wiersz drugiego kanału, ... itd.



1.3 Przykład zapisów obrazu w różnych formatach

Scena satelitarna składa się z trzech kanałów spektralnych, których macierze obrazu cyfrowego mają postać:

kanal 1:

5	5	5	5
0	0	4	4
2	0	0	0
2	2	2	0

kanal 2

1	1	9	9
2	1	1	1
2	3	1	1
2	3	3	1

kanal 3

10	10	0	0
0	0	10	1
5	0	1	1
5	0	5	5

BIP - Band Interleaved by Pixel

record #	line #	pixel #											
		1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4
1	1	5	1	10	5	1	10	5	9	0	5	9	0
2	2	0	2	0	0	1	0	4	1	10	4	1	1
3	3	2	2	5	0	3	0	0	1	1	0	1	1
4	4	2	2	5	2	3	0	2	3	5	0	1	5

BIL - Band Interleaved by Line

record #	line #	pixel #			
		1	2	3	4
1	1	5	5	5	5
2	1	1	1	9	9
3	1	10	10	0	0
4	2	0	0	4	4
5	2	2	1	1	1
6	2	0	0	10	1
7	3	2	0	0	0
8	3	2	3	1	1
9	3	5	0	1	1
10	4	2	2	2	0
11	4	2	3	1	1
12	4	5	0	5	5

BSQ - Band Sequential

record #	line #	pixel #			
		1	2	3	4
1	1	5	5	5	5
2	2	0	0	4	4
3	3	2	0	0	0
4	4	2	2	2	0
5	1	1	1	9	9
6	2	2	1	1	1
7	3	2	3	1	1
8	4	2	3	3	1
9	1	10	10	0	0
10	2	0	0	10	1
11	3	5	0	1	1
12	4	5	0	5	5

1.4 Ćwiczenie – formaty zapisu obrazów cyfrowych

Fragmenc sceny satelitarnej w postaci cyfrowej ma postać:

kanal 1

255	255	0	0	20
250	200	0	0	20
150	200	0	0	20
75	70	200	0	30
70	54	55	55	55
70	50	52	53	55

kanal 2

21	20	5	5	10
5	35	35	0	0
5	5	4	35	0
5	5	4	3	35
4	5	5	2	10
4	4	6	6	6

kanal 3

1	1	1	5	5
5	1	1	0	0
5	1	1	0	0
5	5	10	4	25
2	10	2	0	15
2	2	2	2	2

kanal 4

10	0	10	10	15
0	0	0	15	15
0	0	0	20	15
5	5	5	25	20
0	5	5	20	20
0	5	5	10	10

1. Zapisz powyższy obraz cyfrowy w formatach BIP, BIL, BSQ.
2. Co oznaczają poszczególne wartości liczbowe w macierzy obrazu ?
3. Jakie wielkości jednoznacznie opisują piksel konkretnego obrazu cyfrowego ?
4. Jaka liczbę wartości radiometrycznych można zapisać w zapisie 1-bitowym, 8-bitowym, 11-bitowym?

1.5 Ćwiczenie – wyszukiwanie danych satelitarnych w katalogach zdjęć satelitarnych

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z funkcjonowaniem wybranych internetowych katalogów zdjęć satelitarnych. Zadaniem studenta jest wyszukanie danych satelitarnych na obszar swojego miasta, gminy bądź województwa, tak aby było możliwe opracowanie na ich podstawie najbardziej aktualnej mapy obrazowej.

1.5.1 Dane udostępniane przez Europejską Agencję Kosmiczną - ESA

Aplikacja EOLI znajdująca się na stronie <http://earth.esa.int/services/catalogues.html> umożliwia wyszukiwanie danych satelitarnych dystrybuowanych przez Europejską Agencję Kosmiczną.

The screenshot shows the EOLI-Web interface in a Microsoft Internet Explorer browser. The browser address bar shows <http://eoli.esa.int/servlets/template/welcome/entryPage2.vm>. The interface includes a navigation bar with 'Home', 'Login', 'Catalogue', and 'Logout'. A sidebar on the left lists satellite sensors under 'Collections', with 'Landsat' expanded to show 'Landsat TM: RAW,SCAS', 'Landsat MSS: RAW,SCAS', 'Landsat RBV', and 'Landsat Cat-1'. The main area features a globe and search parameters: 'Date' (From: 2005-03-09 00:00:00, To: 2007-03-09 23:59:59) and 'Area' (Rectangle, Center Lat/Long: 52.00, 21.00, Extension Lat/Long: 0:30, 0:30). A 'Submit' button is at the bottom left.

Annotations in red boxes provide instructions:

- Wybór sensora satelitarnego. Należy rozwinąć wybrane menu i wybrać jeden lub więcej typ danych.** (Points to the Landsat menu in the sidebar)
- Definicja obszaru możliwa jest również poprzez zaznaczenie poligonu w oknie z podglądem mapy.** (Points to the 'Set Area' button)
- Definicja środka obszaru.** (Points to the 'Center Lat/Long' input fields)
- Definicja rozpiętości obszaru w stopniach i minutach.** (Points to the 'Extension Lat/Long' input fields)

Uruchomienie procesu wyszukiwania, w wyniku którego pojawia się okno z rezultatami wyszukiwania. Należy wybrać zbiór lub zbiory, które zostaną wyświetlone a następnie zaakceptować naciskając klawisz *Append*.

The screenshot shows a 'Search results (77 items in total)' window. It lists two data sets for 'Landsat TM: RAW,SCAS':

- from 2005-03-10 09:18:45.70 to 2006-07-03 09:25:07.59 (50 items)
- from 2006-07-12 09:18:40.80 to 2007-02-28 09:27:15.59 (27 items)

Buttons for 'Replace', 'Append', and 'Close' are visible at the bottom of the window.

W tabeli pojawia się informacja o danych satelitarnych wraz z podglądem obrazów satelitarnych (po prawej stronie okna). Informacja dotyczy:

- nazwy skanera i misji satelitarnej,
- data i godzina rozpoczęcia i zakończenia rejestracji obrazu satelitarnego,
- przebieg dzienny (D) czy nocny (N),
- numer orbity,
- numer pasa (Track) oraz numer rzędu (Frame).

Id#	Product	Mission	Sensor	Start	Stop	Pass	Orbit	Track	Frame
1 TM	LS-5	TM		2006-07-18 09:18:30.80	2006-07-18 09:19:04.69	D	118945	187	24
2 TM	LS-5	TM		2006-07-19 09:24:56.70	2006-07-19 09:25:20.59	D	119041	188	24
3 TM	LS-5	TM		2006-07-28 09:18:52.80	2006-07-28 09:19:16.69	D	119178	187	24
4 TM	LS-5	TM		2006-08-04 09:25:08.70	2006-08-04 09:25:32.59	D	119280	188	24
5 TM	LS-5	TM		2006-08-13 09:19:02.80	2006-08-13 09:19:27.69	D	119411	187	24
6 TM	LS-5	TM		2006-08-20 09:25:20.70	2006-08-20 09:25:44.59	D	119513	188	24
7 TM	LS-5	TM		2006-08-29 09:19:15.80	2006-08-29 09:19:39.69	D	119644	187	24
8 TM	LS-5	TM		2006-09-05 09:25:31.70	2006-09-05 09:25:55.59	D	119746	188	24
9 TM	LS-5	TM		2006-09-14 09:19:27.80	2006-09-14 09:19:51.69	D	119877	187	24
10 TM	LS-5	TM		2006-09-21 09:25:43.70	2006-09-21 09:26:07.59	D	119979	188	24
11 TM	LS-5	TM		2006-09-30 09:19:38.80	2006-09-30 09:20:02.69	D	120110	187	24
12 TM	LS-5	TM		2006-10-07 09:25:56.70	2006-10-07 09:26:20.59	D	120212	188	24
13 TM	LS-5	TM		2006-10-16 09:19:49.80	2006-10-16 09:20:13.69	D	120343	187	24
14 TM	LS-5	TM		2006-10-23 09:26:04.70	2006-10-23 09:26:28.59	D	120445	188	24
15 TM	LS-5	TM		2006-11-01 09:19:59.80	2006-11-01 09:20:23.69	D	120576	187	24
16 TM	LS-5	TM		2006-11-08 09:26:12.70	2006-11-08 09:26:36.59	D	120678	188	24
17 TM	LS-5	TM		2006-11-17 09:20:07.80	2006-11-17 09:20:31.69	D	120809	187	24
18 TM	LS-5	TM		2006-11-24 09:26:22.70	2006-11-24 09:26:46.59	D	120911	188	24
19 TM	LS-5	TM		2006-12-03 09:20:19.80	2006-12-03 09:20:43.69	D	121042	187	24
20 TM	LS-5	TM		2006-12-10 09:26:27.70	2006-12-10 09:26:51.59	D	121144	188	24
21 TM	LS-5	TM		2006-12-19 09:20:31.80	2006-12-19 09:20:55.69	D	121275	187	24

Product Details
Landsat TM image
(2006-09-21 09:25:43.70 | 2006-09-21 09:26:07.59)

Product Type Code : Landsat TM image
Mission : Landsat5
Sensor/Instrument : Landsat Thematic Mapper
Acquisition Station : Matera (Italy)
Kiruna (Sweden)

Scene Centre :
SceneCentre.Latitude : +51.42'
SceneCentre.Longitude : +20.16'

Pass Type : D
Orbit : 119979
Track Number : 188
Frame Number : 24
Product Status : Acquisition Archived

Zaznaczając w tabeli konkretną scenę satelitarną i naciskając klawisz z lupą uzyskuje się **informacje szczegółową** dotyczącą wybranej sceny satelitarnej oraz jej podgląd.

Klawisz, który pozwala na przygotowanie informacji o wybranej scenie do wydruku

Dalszym etapem jest zamówienie wybranego zestawu danych. W tym celu należy się zalogować na swoje konto (wymaga dokonania rejestracji w ESA).

1.5.2 Dane z satelitów LANDSAT

Poprzez stronę www.landsat.org można wyszukać i dokonać zakupu danych satelitarnych LANDSAT MSS, TM i ETM+. Ponadto możliwe jest pobranie nieodpłatnych ortofotomap satelitarnych opracowanych na podstawie zdjęć satelitarnych LANDSAT MSS (lata 1976-1980), LANDSAT TM (lata 90' XX w.) oraz LANDSAT ETM+ (lata 1999-2002).

The screenshot shows the Landsat.org website in a Microsoft Internet Explorer browser. The main navigation menu includes 'Data Hosting & Services', 'Search for Imagery', and 'About'. Under 'Search for Imagery', there are links for 'Landsat (ETM+)', 'Landsat 4/5 (TM)', and 'Landsat Ortho (FREE)'. A red box highlights these links with the text: 'Możliwe jest uruchomienie katalogów ze zdjęciami satelitarnymi: - LANDSAT 7 ETM+, - LANDSATY 4/5 TM, - ortofotoobrazami LANDSAT MSS, TM i ETM+ dostępnymi nieodpłatnie.'

Below the navigation menu, there is a 'NEWS' section with several articles and an 'Announcements' section. A red box highlights the search engine interface, which includes a search bar and a 'Search' button. The search engine parameters are: Path: [dropdown], Row: [dropdown], OR, List (60), Len (60). The search criteria are: From: Jan 1999, To: Dec 2011, Cloud Cover: < 10%. A red box highlights the search engine interface with the text: 'Po uruchomieniu katalogu LANDSAT 7 lub LANDSAT 4/5 pojawia się okno umożliwiające zdefiniowanie parametrów wyszukiwania obrazów satelitarnych. Zdefiniować należy: - obszar zainteresowania poprzez zdefiniowanie współrzędnych geograficznych lub numeru katalogowego (wpisując je bezpośrednio w okienka Path i Row lub poprzez dwukrotne kliknięcie w obszar zainteresowania), - zakres dat wyszukiwania, - stopień pokrycia chmurami. Po zdefiniowaniu wszystkich parametrów można uruchomić proces wyszukiwania danych poprzez kliknięcie w Search landrat.org.'

The bottom part of the screenshot shows a map of Poland with a red box highlighting a search area. A speech bubble says: 'You selected Path 167 and Row 24. Search landsat.org for imagery at this location.'

Path: 187 Row: 024 Cloud Cover: 0 - 10%
Latitude: 40.3631 Longitude: -84.0824
January 2004 to February 2007
Database Records Searched: 507907

Date	Scene ID	Cost
July 20, 2006 (201)		\$275
July 04, 2006 (185)		\$275
May 30, 2005 (150)		\$275
August 15, 2004 (228)		\$275

February 21, 2004 (052) \$275

Path: 188 Row: 024 Cloud Cover: 0 - 10%
Latitude: 40.3631 Longitude: -84.0824
January 2004 to February 2007
Database Records Searched: 507907

Efekt wyszukiwania wyświetlany jest w oddzielnym oknie. Klikając na podgląd obrazu satelitarnego uzyskuje się dodatkową informację o zdjęciu. Następnym krokiem jest zamówienie obrazu lub obrazów satelitarnego, gdzie należy m.in. zdefiniować format zamawianego obrazu lub obrazów.

Wskazując na miniaturkę sceny satelitarnej uzyskujemy dostęp do podglądu sceny satelitarnej lepszej jakości.

Zamówienie zdjęcia

Scene ID	Path	Row	Date Acquired	Sensor	Cloud Cover	User Cost
7187024000422850	187	24	2004-08-15	ETM+	0	275

Total Imagery Cost: \$275 USD

Close Window: Close the current window and return to catalog.
Cancel Order: Quit the ordering process and remove all selected data.
Order: Place an order with TRFIC for the above data listing.

Please Note: This window may be closed to add additional data products to the list. A single order can contain multiple products.

1.5.3 Dane satelitarne SPOT

Zdjęcia satelitarne SPOT udostępniane są przez SPOTIMAge za pośrednictwem katalogu internetowego znajdującego się pod adresem: <http://sirius.spotimage.fr/anglais/welcome.htm>.

Panel nawigacji

Definiowanie kolejnych parametrów wyszukiwania odbywa się poprzez rozwijanie kolejnych zakładek i wpisywanie niezbędnych danych.

Definiowanie obszaru zainteresowania możliwe jest albo poprzez zakreślenie poligonu na mapie z wykorzystaniem przycisków z panelu nawigacji, albo poprzez wpisanie współrzędnych, albo wczytanie pliku z zasięgiem obszaru (plik w formacie SHP) lub poprzez wpisanie nazwy miasta.

The screenshot shows the SPOTCatalog search interface. On the left is a map of Warsaw. On the right is a search configuration panel with the following sections:

- PRODUCT:** Includes a sensor selection dropdown (currently set to SPOT) and a resolution selection dropdown (currently set to 2.5 m C).
- ACQUISITION DATE:** Includes start and end date fields (currently set to 2011-03-31) and a period selection dropdown (currently set to One-time).
- CLOUD COVER:** Includes a max. cloud cover selection dropdown (currently set to 28%).
- ANGLE OF INCIDENCE:** Includes an angle of incidence selection dropdown (currently set to 31.89°).

Annotations with red arrows point to these sections:

- "Wybór sensora i rodzaju danych" points to the PRODUCT section.
- "Definicja zakresu dat wyszukiwania" points to the ACQUISITION DATE section.
- "Definicja stopnia pokrycia chmurami i kąt odchylenia od nadiru" points to the CLOUD COVER and ANGLE OF INCIDENCE sections.

A "Search" button is located at the bottom right of the search panel.

Po zdefiniowaniu wszystkich parametrów wyszukiwania należy nacisnąć przycisk **Search**. W wyniku uzyskujemy tabelę z rezultatami wyszukiwania.

The screenshot shows the SPOTCatalog search results interface. On the left is a map of Warsaw with a red box highlighting a specific area. On the right is a table of search results.

Annotations with red arrows point to:

- The red box on the map, with the text: "Po zaznaczeniu „oka” podgląd wskazanego obrazu wyświetla się w oknie głównym. Wskazując zasięg sceny w oknie mapy w tabeli podświetlona zostaje wybrana scena." (After marking the "eye", the view of the indicated image is displayed in the main window. By indicating the scene range in the map window, the selected scene in the table is highlighted.)
- The "Add to my card" button at the bottom right of the table.

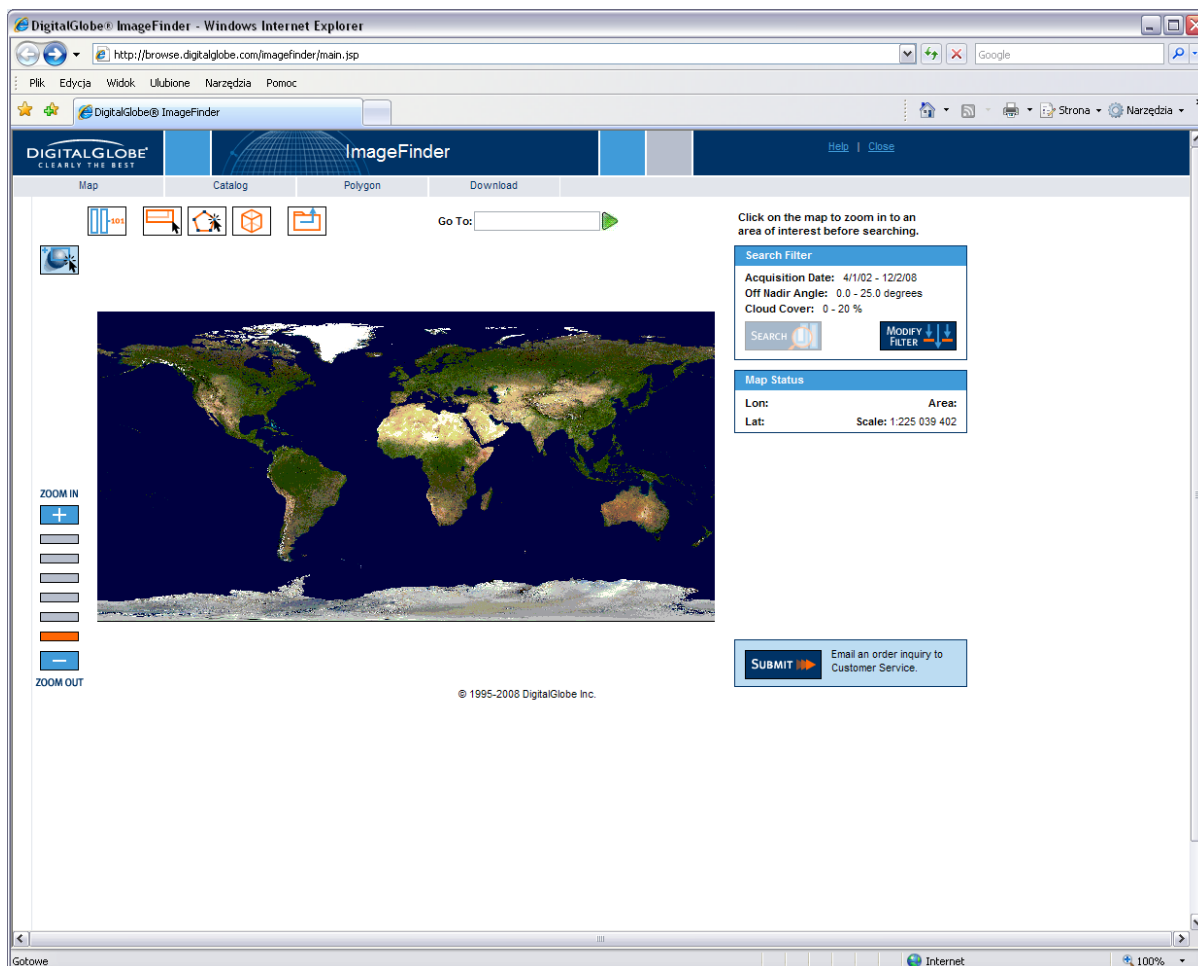
The table of search results is as follows:



Product	Lat	K/3	Date	Cloud	Angle	Shift
10 m C	Spot5	78/244	2010-05-22	7%	-24.59°	1
10 m C	Spot5	78/244	2010-05-22	7%	-24.59°	1
10 m C	Spot5	78/243	2010-06-10	1%	14.69°	8
10 m C	Spot5	78/244	2010-06-10	3%	14.69°	8
10 m C	Spot5	78/244	2010-06-10	4%	14.69°	7
10 m C	Spot5	78/244	2010-07-23	1%	-15.49°	8
10 m C	Spot5	78/245	2010-07-23	5%	-15.49°	8
2.5 m BW	Spot5	78/244	2010-05-22	5%	-24.60°	8
2.5 m BW	Spot5	78/244	2010-05-22	7%	-24.60°	8
2.5 m BW	Spot5	74/241	2010-06-04	0%	23.93°	1
2.5 m BW	Spot5	74/241	2010-06-04	0%	23.93°	1
2.5 m BW	Spot5	77/242	2010-06-05	0%	5.78°	8
2.5 m BW	Spot5	77/243	2010-06-05	2%	5.78°	8
2.5 m BW	Spot5	77/244	2010-06-05	0%	5.78°	8
2.5 m BW	Spot5	77/245	2010-06-05	0%	5.78°	8
2.5 m BW	Spot5	76/246	2010-06-05	0%	5.78°	8
2.5 m BW	Spot5	74/243	2010-06-05	0%	1.99°	8
2.5 m BW	Spot5	74/244	2010-06-05	0%	1.99°	8
2.5 m BW	Spot5	74/245	2010-06-05	1%	1.99°	8
2.5 m BW	Spot5	74/246	2010-06-05	2%	1.99°	8
2.5 m BW	Spot5	78/244	2010-04-06	2%	-11.05°	1
2.5 m BW	Spot5	78/245	2010-04-06	2%	-11.05°	1

W tabeli znajduje się informacja na temat scen satelitarnych spełniających kryteria wyszukiwania. Zaznaczając kwadrat przy konkretnej scenie dokonuje się jej wybór a poprzez klawisz **Add to my card** dodajemy kolejne sceny do karty zamówienia.

1.5.4 Dane satelitarne QuickBird i WorldView

Dystrybutorem zdjęć satelitarnych QuickBird i World View jest firma Digital Globe a katalog tych zdjęć dostępny jest pod adresem <http://browse.digitalglobe.com/imagefinder/>.



Obszar zainteresowania wskazujemy na mapie (zakreślając go myszką po zaznaczeniu w górnym panelu nawigacyjnym przycisku nawigacji  lub ) a następnie definiujemy kryteria wyszukiwania (**Modify filter**):

- typ danych,
- zakres dat wyszukiwania zdjęć,
- stopień pokrycia chmurami,
- minimalna jakość zdjęć,
- maksymalne odchylenie kątowe od nadiru,
- wysokość Słońca,
- wybór wariantu ze stereoparą zdjęć.

W opcji *Modify filter* definiujemy parametry wyszukiwania danych, czyli m.in.: rodzaj danych, zakres dat wyszukiwania, stopień pokrycia chmurami, kąt rejestracji i wysokość Słońca.

Po zdefiniowaniu wszystkich parametrów wyszukiwania uruchamia się klawisz **Search**, w wyniku czego pojawia się kolejne okno z wynikami wyszukiwania.

DigitalGlobe ImageFinder - Windows Internet Explorer

http://browse.digitalglobe.com/imagefinder/catalogMapDisplay.do

PIK Edycja Widok Ulubione Narzędzia Pomoc

DigitalGlobe ImageFinder

Map Catalog Polygon Download

Go To:

Search Filter

Acquisition Date: 4/1/02 - 12/2/08
Off Nadir Angle: 0.0 - 25.0 degrees
Cloud Cover: 0 - 20 %

SEARCH MODIFY FILTER

Map Status

Lon: 65.7 Area: 1046 km²
Lat: 21.8 Scale: 1:1 277 902

W tabeli znajdują się informacje o wyszukanych zdjęciach:

- numer katalogowy zdjęcia
- system rejestrujący,
- data pozyskania zdjęć,
- wychylenie od nadiru,
- położenie Słońca,
- pokrycie chmurami,

Odnaczenie powoduje wyświetlenie obrazu w oknie głównym.

25 images meet your filter criteria

Select	Browse Image	Catalog Id	Sensor Vehicle	Acquisition Date	Total Max Off Nadir Angle	Area Max Off Nadir Angle	Area Min Sun Elevation	Total Cloud Cover Pct	Area Cloud Cover Pct	Imaging Bands
<input type="checkbox"/>	View	101001000543B000	QB02	2006/10/18	25.71°	21.39°	28.14°	0%	0%	Pan+MS1
<input type="checkbox"/>	View	101001000053B300	QB02	2002/04/18	19.09°	19.02°	47.61°	27%	0%	Pan+MS1
<input type="checkbox"/>	View	10100100044E6E00	QB02	2005/06/14	14.55°	14.55°	59.76°	4%	4%	Pan+MS1
<input type="checkbox"/>	View	1010010001D08A00	QB02	2003/04/16	5.27°	5.27°	46.22°	12%	14%	Pan+MS1
<input type="checkbox"/>	View	101001000117A000	QB02	2002/08/30	6.01°	5.20°	45.45°	2%	1%	Pan+MS1
<input type="checkbox"/>	View	101001000586A200	QB02	2007/03/27	11.98°	11.98°	39.54°	0%	0%	Pan+MS1
<input type="checkbox"/>	View	101001000547A700	QB02	2006/10/26	17.16°	16.66°	25.23°	21%	8%	Pan+MS1
<input type="checkbox"/>	View	10100100006D5800	QB02	2002/05/09	18.43°	17.41°	53.52°	0%	0%	Pan+MS1
<input type="checkbox"/>	View	1010010001DE1100	QB02	2003/05/04	5.78°	5.78°	52.08°	5%	6%	Pan+MS1
<input type="checkbox"/>	View	101001000792BE00	QB02	2008/01/14	11.13°	9.89°	52.08°	5%	6%	Pan+MS1
<input type="checkbox"/>	View	10100100049D5700	QB02	2005/10/28	19.16°	18.06°	52.08°	5%	6%	Pan+MS1
<input type="checkbox"/>	View	10100100005B5B000								
<input type="checkbox"/>	View	101001000833D100								
<input type="checkbox"/>	View	1010010004936400								
<input type="checkbox"/>	View	1010010000434600								
<input type="checkbox"/>	View	1010010001B4BD00	QB02	2003/03/11	6.56°	6.56°				
<input type="checkbox"/>	View	1010010001A41500	QB02	2003/02/16	9.11°	9.11°				
<input type="checkbox"/>	View	101001000056AC00	QB02	2002/04/21	19.04°	18.00°				
<input type="checkbox"/>	View	1020010003E85B00	WV01	2008/08/19	3.20°	3.20°				
<input type="checkbox"/>	View	101001000836FB00	QB02	2008/06/27	19.01°	19.01°				
<input type="checkbox"/>	View	1010010004140D00	QB02	2005/03/03	4.49°	4.49°				
<input type="checkbox"/>	View	1010010000622900	QB02	2002/05/01	18.45°	18.45°				
<input type="checkbox"/>	View	1010010008AAFE00	QB02	2008/10/08	18.92°	16.36°				
<input type="checkbox"/>	View	10100100083C2800	QB02	2008/07/02	19.22°	4.47°				
<input type="checkbox"/>	View	101001000073F500	QB02	2002/05/14	14.38°	13.23°				

Metadata for catalog item 101001000543B000 - Windows Internet Explorer

http://browse.digitalglobe.com/imagefinder/show/browseMetadata?catalogId=101001000543B000

Catalog ID: 101001000543B000 Acq Date: Oct 18, 2006 Center Lat/Lon: 20.818°/51.999°
Avg Off Nadir Angle: 23° Avg Target Azimuth: 113° Sensor: QB02 Band Info:

Image Resize: 512x512

Map Zoom Level

DIGITALGLOBE CLEARLY THE BEST

To Order Call: 303-684-4561 or 800-496-1225
Email: orders@digitalglobe.com
Or Contact Your DigitalGlobe Reseller

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

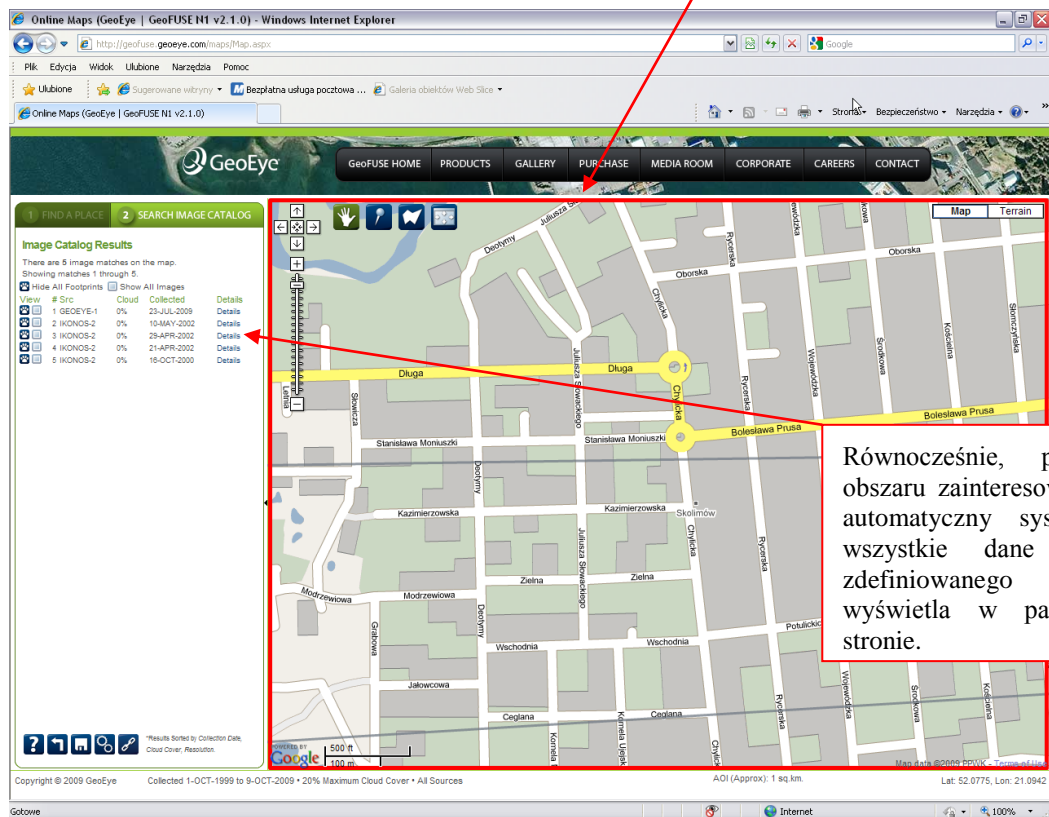
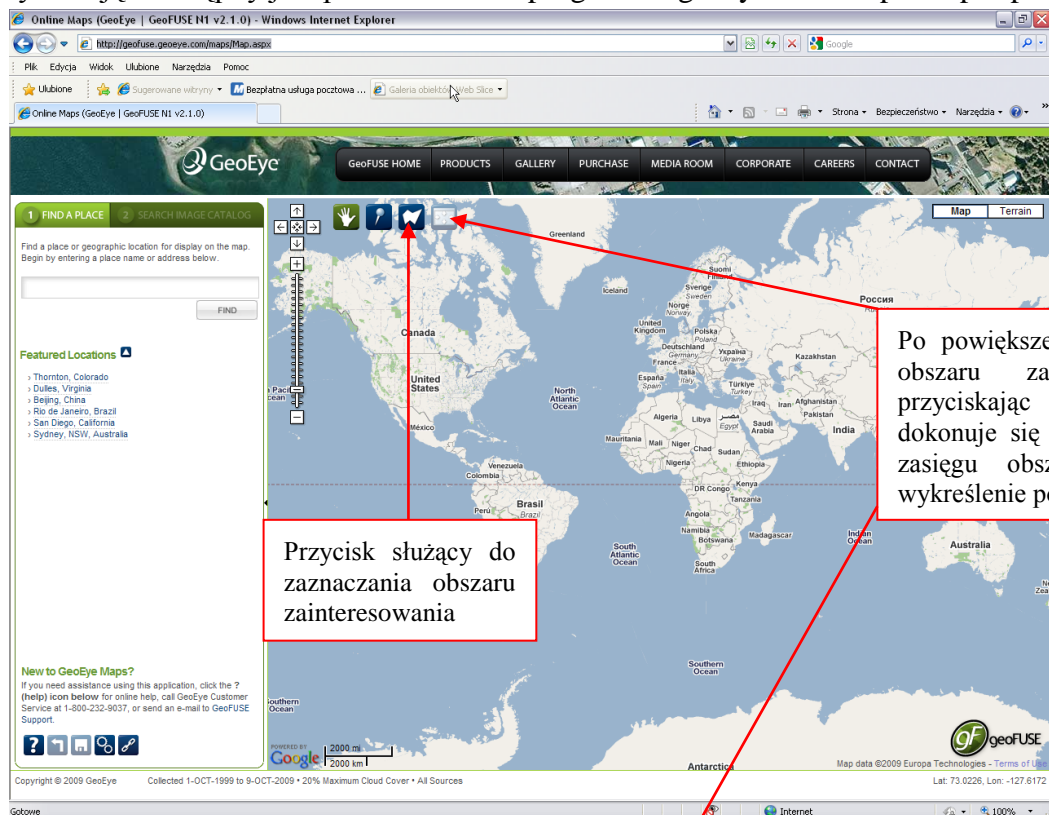
UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

21

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

1.5.5 Dane satelitarne IKONOS i GeoEye

Dystrybutorem zdjęć satelitarnych QuickBird i World View jest firma Digital Globe a katalog tych zdjęć dostępny jest pod adresem <http://geofuse.geoeeye.com/maps/Map.aspx>.



The screenshot shows the GeoEye website interface. On the left, there is a table titled "Image Catalog Results" with columns for "View", "#", "Src", "Cloud", "Collected", and "Details". The first row is highlighted, showing "1 GEOEYE-1" with a "View" button. A red arrow points from this button to a text box below. Another red arrow points from the "Details" link in the first row to a "Search Result 1" popup window. This popup displays metadata for a satellite image collected on 23-JUL-2009. A red box highlights the "View full image metadata" link in the popup, with a red arrow pointing to another text box below. The main map area shows a satellite view of a landscape with a river and fields.

View	#	Src	Cloud	Collected	Details
<input checked="" type="checkbox"/>	1	GEOEYE-1	0%	23-JUL-2009	Details
<input checked="" type="checkbox"/>	2	IKONOS-2	0%	10-MAY-2002	Details
<input checked="" type="checkbox"/>	3	IKONOS-2	0%	29-APR-2002	Details
<input checked="" type="checkbox"/>	4	IKONOS-2	0%	21-APR-2002	Details
<input checked="" type="checkbox"/>	5	IKONOS-2	0%	16-OCT-2000	Details

Search Result 1

- Collection Date: 23-JUL-2009
- Cloud Cover: Sunny (0%)
- Imagery Source: GEOEYE-1
- Elevation Angle: 74.5597
- Ground Sample Distance: 0.43830999
- Data Owner: GEOY
- Ordering Identifier: 312573 (MG_SC_CO_BPM_0019793_42058_CPS_0)

Full image data will be included in your download file.
[Hide image on map](#)
[View full image metadata](#)
[GeoEye product information](#)

Wskazując na *Details* uzyskujemy dostęp do informacji na temat podstawowych meta-danych sceny satelitarnej

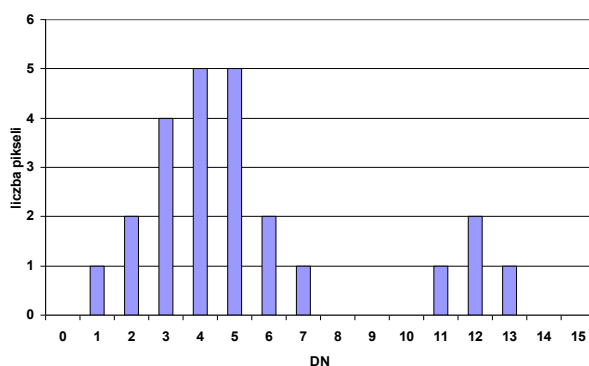
Zaznaczenie pola „View” przy interesujących nas danych powoduje wyświetlenie podglądu sceny satelitarnej w oknie głównym. Wyświetlane dane są zdegradowane pod względem jakości geometrycznej.

Dostęp do pełnej metainformacji sceny satelitarnej.

2 Przetwarzanie wstępne obrazów satelitarnych - analizy statystyczne dla poszczególnych zakresów spektralnych

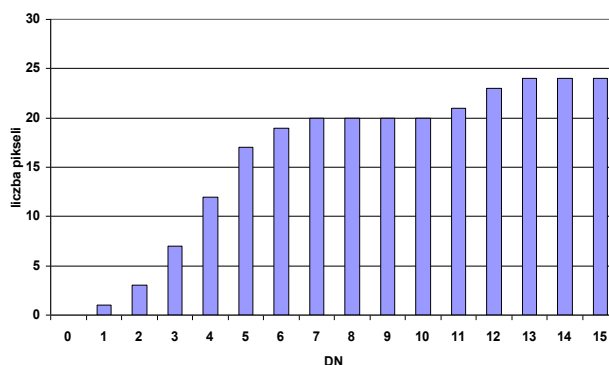
2.1 Histogram - podstawowa charakterystyka obrazu cyfrowego

Histogram jednowymiarowy jest to funkcja (wykres lub tablica) przedstawiający częstość występowania w zbiorze obrazu pikseli o określonej wartości radiometrycznej. Pomiedzy pojęciem histogram a funkcją gęstości prawdopodobieństwa w statystyce występuje pewna analogia. Jeżeli obraz cyfrowy potraktowany zostanie jako próbka losowa o wartościach dyskretnych to histogram tego obrazu jest funkcją gęstości prawdopodobieństwa zmiennej losowej skokowej (dyskretnej).



Ryc. 5. Histogram jednowymiarowy

Podobnie występuje analogia pomiędzy pojęciami: histogram skumulowany oraz dystrybuanta. Histogram skumulowany określa częstość występowania pikseli o wartości radiometrycznej mniejszej bądź równej danej wartości.



Ryc. 6. Histogram skumulowany.

Dystrybuanta ma zaś postać:

$$F(x) = \int_{-\infty}^{x_0} f(x) dx$$

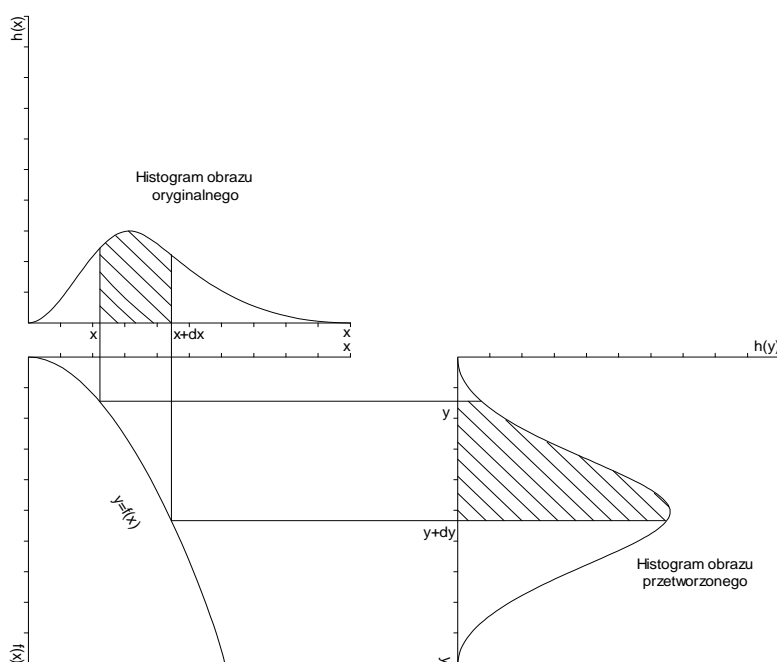
i określa prawdopodobieństwo, że zmienna losowa przyjmie wartość mniejszą lub równą x_0 .

Na podstawie histogramu skumulowanego można więc określić prawdopodobieństwo, że rozpatrywany piksel obrazu ma wartość radiometryczną mniejszą/większą bądź równą jakiejś wartości.

2.2 Wzmacnianie kontrastu

Wartości radiometryczne pikseli w źródłowych obrazach satelitarnych praktycznie zawsze nie wyczerpują całego zakresu wartości 0-255. Najczęściej obraz jest rejestrowany w znacznie węższym przedziale wartości radiometrycznych co powoduje, że obraz jest małokontrastowy. Wówczas na histogramie piksele zawierają się w niewielkiej części zakresu wartości. W celu maksymalnego podniesienia kontrastu, a co za tym idzie polepszenia czytelności obrazu, należy rozciągnąć zakres odcieni na obrazie źródłowym do zakresu 256 poziomów szarości.

W sposób poglądowy rozciąganie kontrastu obrazu cyfrowego przedstawiono na poniższym rysunku.



Ryc. 7. Idea rozciągania kontrastu obrazu przy pomocy dowolnej funkcji postaci $y=f(x)$.

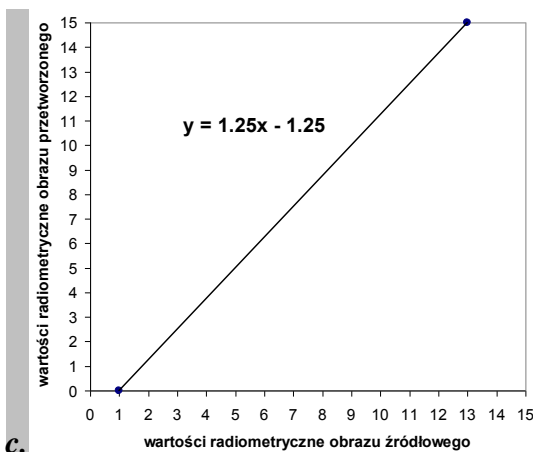
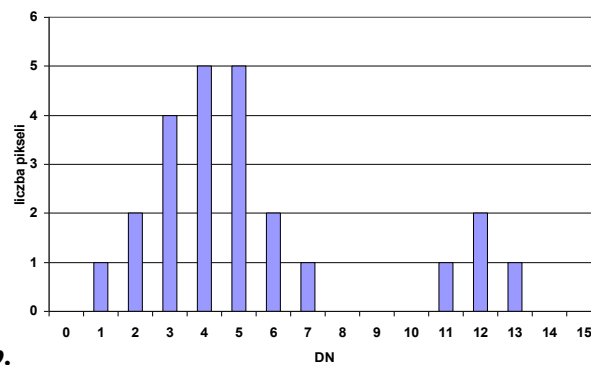
Do poprawienia kontrastu obrazu cyfrowego można zastosować kilka metod, z których najpopularniejsze zostaną poniżej omówione.

2.2.1 Rozciągnięcie kontrastu funkcją liniową

Funkcja liniowa rozciąga kontrast przeznaczając tyle samo poziomów szarości dla wszystkich wartości występujących na obrazie oryginalnym (również dla wartości pikseli rzadko występujących na rozważanym obrazie cyfrowym). Przeanalizujemy działanie tej funkcji na poniższym przykładzie. Zakładamy zapis 4-bitowy, co oznacza, że obraz cyfrowy został zarejestrowany w 16 odcieniach szarości (0-15). Wartość minimalna zarejestrowana w obrazie źródłowym to 1 a maksymalna 13. Aby wykorzystać cały zakres odcieni szarości 0-15, należy znaleźć funkcję przekształcającą zakres wartości 1-13 na zakres 0-15.

a.

6	2	4	4	13	12
2	1	4	4	7	12
3	3	4	5	5	11
3	3	5	5	5	6



$$DN_{new} = a \cdot DN + b$$

$$15 = a \cdot 13 + b$$

$$- \quad 0 = a \cdot 1 + b$$

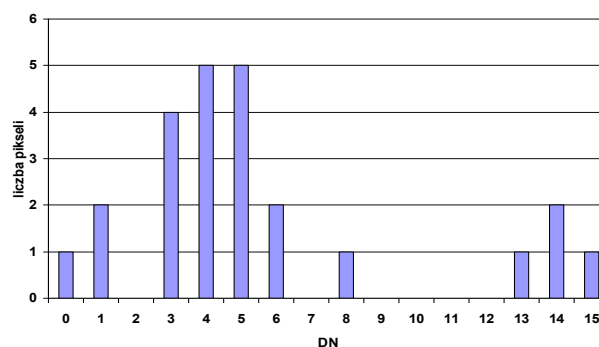
$$15 = 12 \cdot a \Rightarrow a = 1.25$$

$$b = -a \Rightarrow b = -1.25$$

$$DN_{new} = 1.25 \cdot DN - 1.25$$

d.

6	1	4	4	15	14
1	0	4	4	8	14
3	3	4	5	5	12
3	3	5	5	5	6

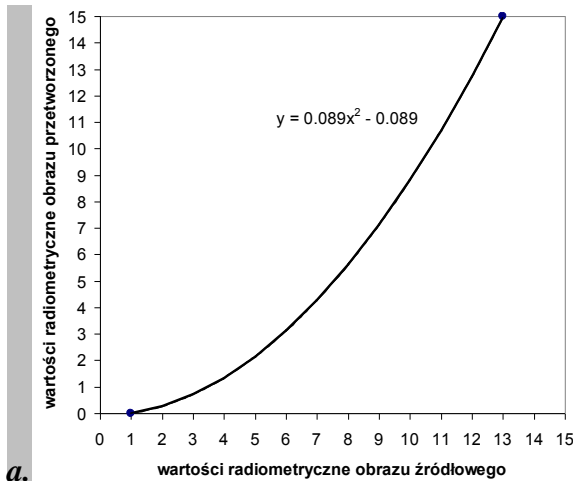


Ryc. 8. Rozciąganie kontrastu przy pomocy funkcji liniowej: a. obraz źródłowy, b. histogram jednowymiarowy obrazu źródłowego, c. postać funkcji liniowej, d. obraz przetworzony przy pomocy funkcji liniowej, e. histogram jednowymiarowy obrazu przetworzonego przy pomocy funkcji liniowej.

Powyższy rysunek ilustruje sposób określenia współczynników a i b poszukiwanej funkcji liniowej. Porównując histogramy obrazu źródłowego i obrazu uzyskanego w wyniku wzmocnienia kontrastu metodą liniową można stwierdzić, iż w przypadku obiektów najjaśniejszych zastosowanie funkcji liniowej powoduje że stają się one jeszcze bardziej jasne, zaś obiekty ciemne stają się jeszcze bardziej ciemne. W zależności od położenia histogramu obrazu źródłowego mogą nastąpić różne sytuacje. Jeśli histogram położony jest w części wysokich wartości radiometrycznych, to po rozciągnięciu kontrastu okaże się, że wszystkie obiekty stały się ciemniejsze, zaś jeśli histogram znajduje się w zakresie niskich wartości radiometrycznych, czyli ciemnych tonów szarości, to wszystkie obiekty, po rozciągnięciu kontrastu funkcją liniową, będą jaśniejsze.

2.2.2 Rozciągnięcie kontrastu innymi funkcjami

W zależności od funkcji zastosowanej do rozciągnięcia kontrastu można uzyskać bądź większe zróżnicowanie w zakresie tonów jasnych (np. funkcja wykładnicza), bądź też w zakresie tonów ciemnych (np. funkcja logarytmiczna). Poniżej przedstawiono przebieg wzmacniania kontrastu z wykorzystaniem funkcji kwadratowej oraz przy zastosowaniu funkcji logarytmicznej. W wyniku zastosowania funkcji kwadratowej jasne tony zostały silniej zróżnicowane, natomiast stosując funkcję logarytmiczną większe zróżnicowanie uzyskuje się w przypadku tonów ciemnych.



$$DN_{new} = a \cdot DN^2 + b$$

$$15 = a \cdot 13^2 + b$$

$$- \quad 0 = a \cdot 1^2 + b$$

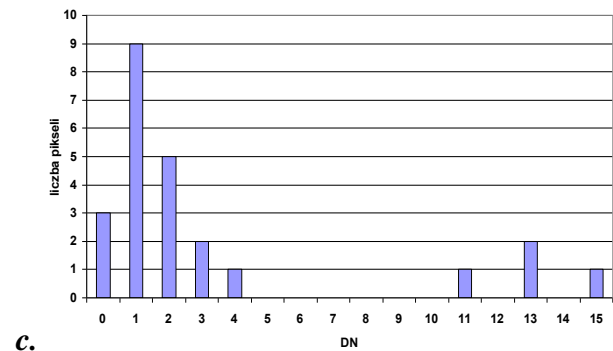
$$15 = 168 \cdot a \Rightarrow a = 0.089$$

$$b = -a \Rightarrow b = -0.089$$

$$DN_{new} = 0.089 \cdot DN^2 - 0.089$$

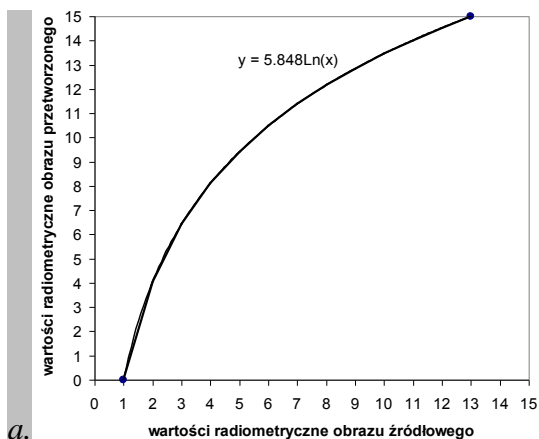
b.

3	0	1	1	15	13
0	0	1	1	9	13
1	1	1	2	2	11
1	1	2	2	2	3



Ryc. 9. Rozciąganie kontrastu przy pomocy funkcji kwadratowej: a. postać funkcji kwadratowej, b. obraz przetworzony przy pomocy funkcji kwadratowej c. histogram jednowymiarowy obrazu przetworzonego przy pomocy funkcji kwadratowej.

Przedstawione powyżej i poniżej przykłady prezentują funkcje najczęściej stosowane stosowanymi w praktyce. Ciekawe efekty daje także zastosowanie rozciągania kontrastu przedziałami, tzn. w każdym zakresie wartości tonalnych można zastosować inną funkcję do rozciągnięcia kontrastu. Przy pewnym doświadczeniu można tak wykorzystywać funkcje, aby osiągnąć maksymalne zróżnicowanie dla konkretnego typu obiektów (np. lasów). Niektóre pakiety oprogramowania umożliwiają również tworzenie dowolnej funkcji ciągłej.



$$DN_{new} = a \cdot \ln(DN) + b$$

$$15 = a \cdot \ln(13) + b$$

$$- \quad 0 = a \cdot \ln(1) + b$$

$$15 = 1.114 \cdot a \Rightarrow a = 5.848$$

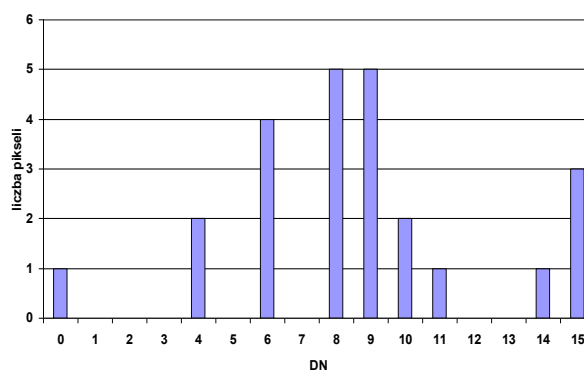
$$b = 0$$

$$DN_{new} = 5.848 \cdot \ln(DN)$$

a.

10	4	8	8	15	15
4	0	8	8	11	15
6	6	8	9	9	14
6	6	9	9	9	10

b.



c.

Ryc. 10. Rozciąganie kontrastu przy pomocy funkcji logarytmicznej: a. postać funkcji logarytmicznej, b. obraz przetworzony przy pomocy funkcji logarytmicznej, c. histogram jednowymiarowy obrazu przetworzonego przy pomocy funkcji logarytmicznej.

2.2.3 Rozciąganie kontrastu poprzez tzw. wyrównanie histogramem

Przetwarzając obraz metodą wyrównania histogramu pikselom na obrazie przetworzonym nadaje się wartości radiometryczne w zależności od częstości ich występowania na obrazie źródłowym. W przypadku, gdy pikseli o konkretnej wartości tonalnej jest niewiele są one przedstawione na obrazie przetworzonym w wąskim zakresie wartości tonalnych, natomiast piksele, których reprezentacja jest liczna przedstawione są w szerszym przedziale wartości. Ten typ rozciągnięcia nie jest równomierny, ale zdjęcie przetworzone tą metodą zyskuje informację szczegółową.

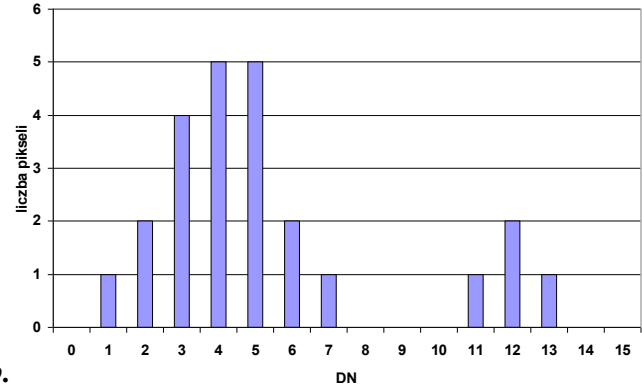
Do rozciągnięcia metodą wyrównania histogramu wykorzystuje się histogram skumulowany. Polega ona na tym, że nowa wartość y (wartość radiometryczna dla obrazu przetworzonego) powstaje z przeskalowania wartości $h_i(x)$ histogramu skumulowanego obrazu źródłowego w następujący sposób:

$$y = \frac{L-1}{N} \int h_i(x) dx$$

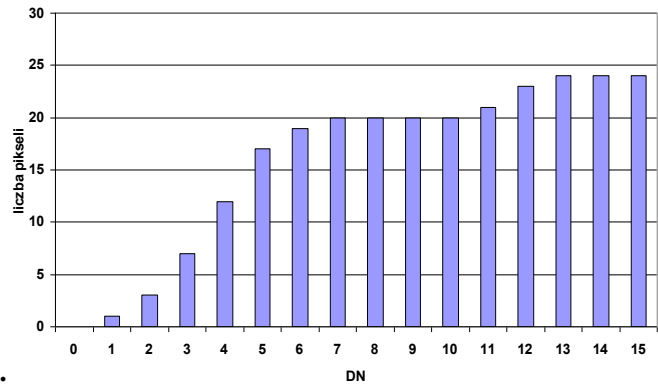
gdzie: N - liczba pikseli obrazu cyfrowego, L - liczba rejestrowanych wartości radiometrycznych, $h_i(x)$ - liczba pikseli o wartości mniejszej od x z histogramu skumulowanego.

a.

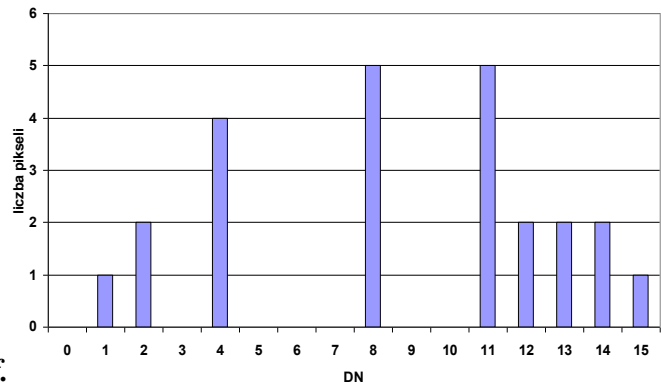
6	2	4	4	13	12
2	1	4	4	7	12
3	3	4	5	5	11
3	3	5	5	5	6



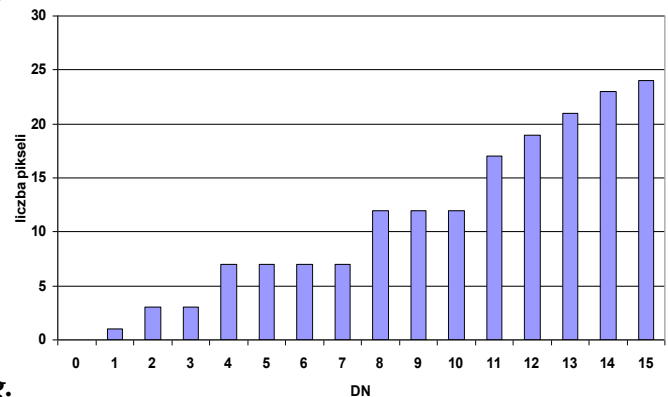
b.



c.



f.



g.

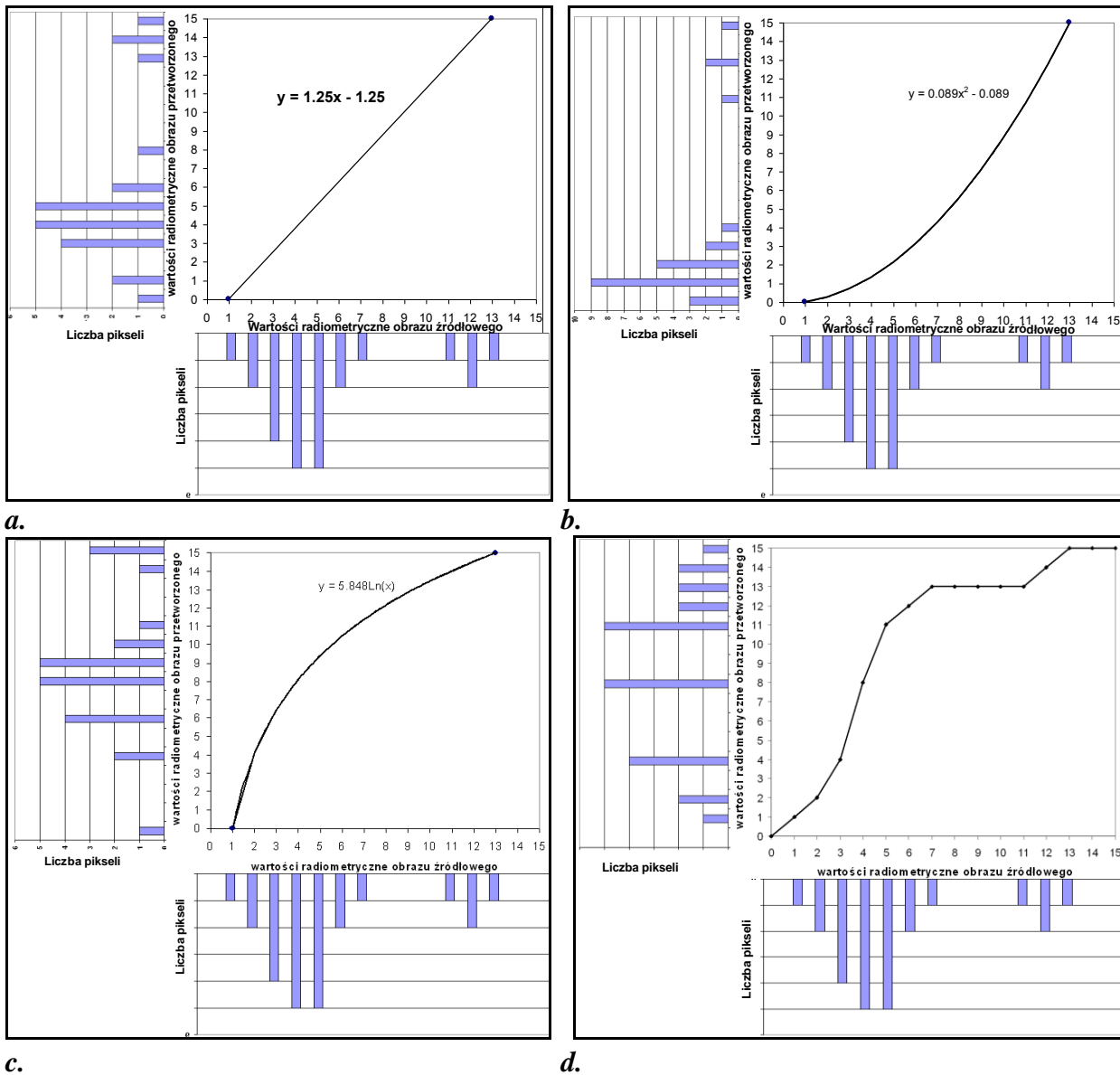
d.

$$SF = \frac{L-1}{N} = \frac{15}{24} = 0.625$$

e.

12	2	8	8	15	14
2	1	8	8	13	14
4	4	8	11	11	13
4	4	11	11	11	12

Ryc. 11. Rozciąganie kontrastu metodą wyrównania histogramu: a. obraz źródłowy, b. histogram jednowymiarowy obrazu źródłowego, c. histogram skumulowany obrazu źródłowego, d. tabela przedstawiająca proces rozciągania kontrastu metodą wyrównania histogramu, e. obraz przetworzony metodą wyrównania histogramu, f. histogram jednowymiarowy obrazu przetworzonego metodą wyrównania histogramu, g. histogram skumulowany obrazu przetworzonego metodą wyrównania histogramu.



Ryc. 12. Porównanie wyników uzyskiwanych przy pomocy różnych metod wzmacniania kontrastu: a. funkcja liniowa, b. funkcja kwadratowa, c. funkcja logarytmiczna, d. metoda wyrównania histogramu.

2.3 Ćwiczenie - analiza statystyczna obrazu i rozciąganie kontrastu


Przedstawiony poniżej fragment sceny satelitarnej został zarejestrowany w trybie 4-bitowym. Dokonaj analizy statystycznej tego obrazu. Rozciągnij kontrast przedstawionego obrazu cyfrowego przy pomocy funkcji liniowej, kwadratowej oraz metodą wyrównania histogramu.

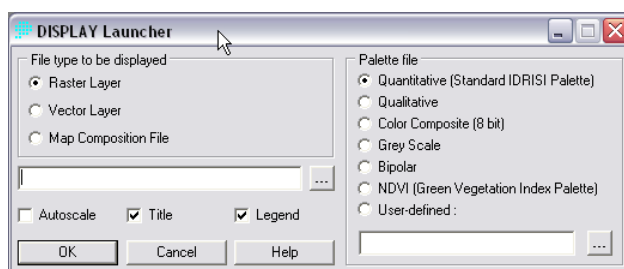
10	10	10	11	4
5	10	10	9	8
5	5	9	9	6
5	5	6	6	6
3	5	4	4	2
3	3	4	4	2

2.4 Ćwiczenie - przetwarzanie wstępne obrazów cyfrowych w programie IDRISI

2.4.1 Analizy statystyczne dla poszczególnych zakresów spektralnych. Rozciąganie kontrastu funkcjami wbudowanymi w oprogramowanie.

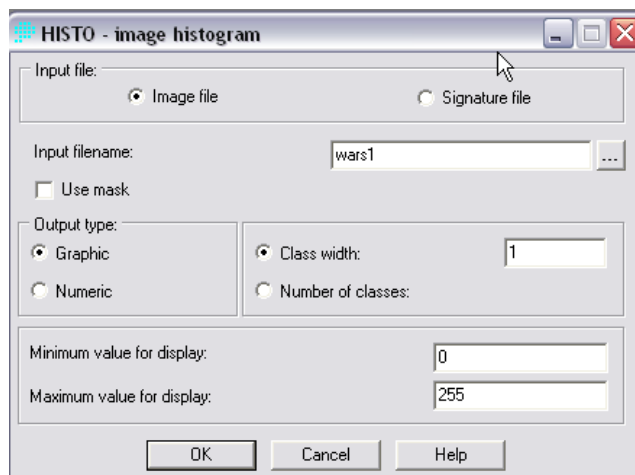
Ćwiczenie ma na celu zapoznanie się ze wstępnym etapem przetwarzania zdjęć satelitarnych oraz z właściwościami poszczególnych zakresów spektralnych. Ocena przydatności różnych funkcji rozciągania kontrastu do interpretacji wybranego zjawiska (obiektu) na wielospektralnych obrazach satelitarnych.

1. Wyświetl poszczególne zakresy spektralne sceny satelitarnej LANDSAT TM uruchamiając opcję **DISPLAY**  w menu **DISPLAY** lub przyciskając przycisk mapy z menu podręcznego.




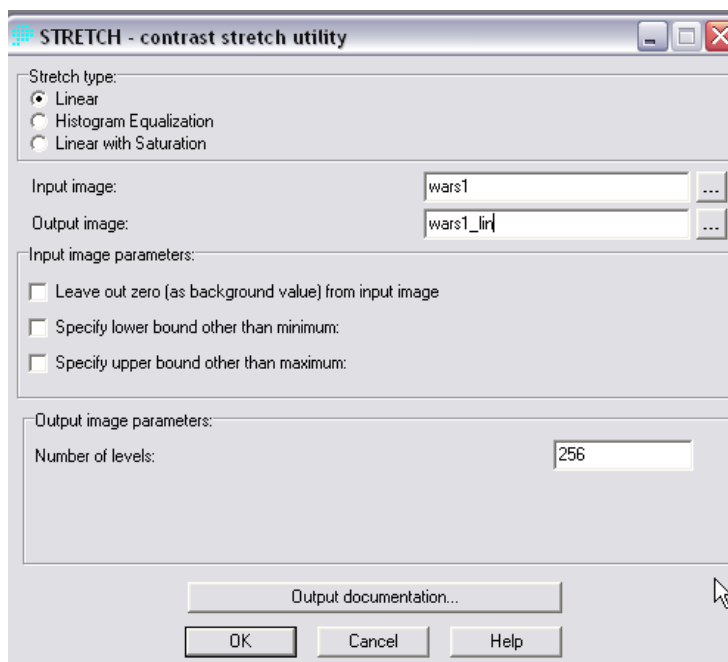
Przeanalizuj czytelność różnych typów pokrycia terenu w poszczególnych zakresach spektralnych oryginalnej sceny satelitarnej. Oceń kontrast źródłowych kanałów spektralnych w sposób wizualny.

2. Uruchom opcję **HISTO**  w menu **DISPLAY**. Wykonaj histogram w postaci graficznej i numerycznej dla kanału 1 sceny satelitarnej.



Uruchamiając opcję **HISTO** w menu **DISPLAY** można wyświetlić histogram dowolnego kanału spektralnego. Histogram można wyświetlić w formie graficznej (opcja: **Graphic**) bądź tabelarycznej (opcja: **Numeric**). Dodatkowo otrzymujemy informację na temat podstawowych parametrów statystycznych charakteryzujących dany obraz cyfrowy (m.in. minimalna zarejestrowana wartość radiometryczna, maksymalna zarejestrowana wartość radiometryczna, średnia wartość radiometryczna, odchylenie standardowe).


- Przeanalizuj szczegółowo histogramy poszczególnych zakresów spektralnych porównując je z wyglądem obrazu. Czy jeśli obraz jest kontrastowy to histogram jest szeroki czy wąski?
3. Przećwicz wszystkie możliwe warianty wzmacniania kontrastu obrazu cyfrowego dla wybranego kanału spektralnego.
- a) Uruchom opcję **STRETCH** . Wykonaj rozciągnięcie kontrastu metodą liniową (*linear*) dla wybranego kanału spektralnego.

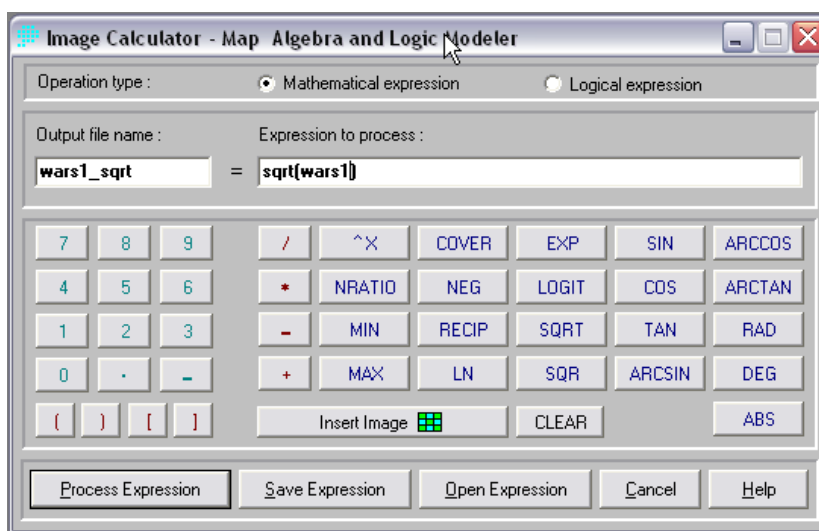


- b) W opcji STRECH można dokona rozciągnięcia kontrastu metodami:
- liniową - **Linear**, która może rozciągnąć kontrast w sposób automatyczny poprzez wyszukanie wartości minimum i maksimum zarejestrowanych w danym kanale spektralnym albo poprzez zdefiniowane przez użytkownika wartości,
 - liniową z nasyceniem – **Linear with saturation**, definiując procent nasycenia,
 - wyrównania histogramu – **Histogram equalization**.
- c) Wyświetl histogramy dla obrazów przed i po wykonaniu rozciągnięcia kontrastu metodą liniową. Porównaj histogram obrazu źródłowego z histogramem obrazu przetworzonego funkcją liniową. Oceń wynik rozciągnięcia kontrastu również w sposób wizualny.
- d) Przeanalizuj histogram obrazu źródłowego pod kątem wykonania wzmocnienia obrazu metodą liniową → wytyczne dla opcji **STRETCH**. Określ wartości DN_{min} , DN_{max} przedziału, dla którego zastosowana zostanie metoda rozciągnięcia kontrastu przy pomocy funkcji liniowej.
- e) Ponownie uruchom opcję **STRETCH** i wykonaj rozciąganie kontrastu przy pomocy funkcji liniowej ale z samodzielnie zdefiniowanymi wartościami DN_{min} i DN_{max} .
- f) Wyświetl histogramy dla obrazów przed i po wykonaniu rozciągnięcia kontrastu metodą liniową. Porównaj histogram obrazu źródłowego z histogramem obrazu przetworzonego funkcją liniową w sposób automatyczny oraz z histogramem obrazu przetworzonego funkcją liniową ale z samodzielnie zdefiniowanymi wartościami DN_{min} i DN_{max} . Oceń jakość uzyskanych obrazów.

- g) Ponownie uruchom opcję **STRETCH** i wykonaj rozciąganie kontrastu przy pomocy funkcji liniowej z nasyceniem (*linear with saturation*).
 - h) Na podstawie histogramu skumulowanego dla tego obrazu określić progi procentowe nasycenia dla procedury wzmacniania kontrastu metodą liniową z nasyceniem.
 - i) Ponownie uruchom opcję **STRETCH** i wykonaj rozciąganie kontrastu metodą wyrównania histogramu. Wyświetl histogram obrazu przetworzonego tą funkcją. Porównaj ten histogram z histogramem obrazu źródłowego i obrazów przetworzonych pozostałymi metodami.
 - j) Przeanalizuj uzyskane wyniki i wskaż optymalną funkcję do uwypuklenia różnych obiektów. Przeanalizuj obraz pod kątem czytelności szczegółów i ilości informacji zawartej przed i po wykonaniu operacji wzmocnienia kontrastu. Czy obszar lasu stał się bardziej czytelny? Czy widoczne jest zróżnicowanie w drzewostanach leśnych? Czy na obszarze miasta potrafisz wyróżnić parki, zabudowę zwartą, zabudowę luźną lub ulice? Czy obszary gruntów ornych są dobrze zróżnicowane? Itp.
4. Wykonaj te same operacje dla innych kanałów spektralnych. Porównaj czytelność różnych elementów środowiska geograficznego na obrazach w różnych kanałach spektralnych oraz ilość zawartej informacji (np. lasy - w którym kanale można zdobyć o nich najwięcej informacji, w którym kanale widać najwięcej szczegółów na obszarach zabudowanych, które zakresy spektralne dają najwięcej możliwości pod względem uwypuklenia obszarów antropogenicznych, terenów zielonych, lasów itd.).

2.4.2 Rozciąganie kontrastu dowolną funkcją – opcja Image Calculator

1. Uruchom **Image Calculator** . Opcja ta pozwala na zdefiniowanie dowolnej funkcji rozciągania kontrastu. Funkcja definiowana jest w okienku **Expression to process**.



2. Przetestuj dostępne w opcji **Image Calculator** funkcje. Wykonaj operacje wzmocnienia kontrastu tak dobraną funkcją, aby uwypuklić zróżnicowanie:
 - lasów;
 - łąk,
 - wód;

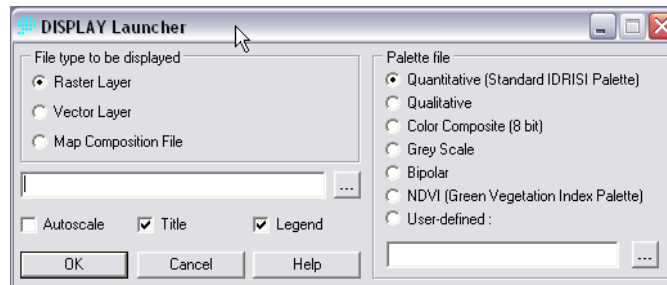
- terenów zurbanizowanych i antropogenicznych.

W tym celu dokładnie przeanalizuj charakterystyki spektralne tych obiektów, a następnie wybierz odpowiedni zakres spektralny i określ w jakim miejscu histogramu (w jakim zakresie) znajdują się piksele tego rodzaju użytkowania terenu. Potem wykonaj odpowiedniego przetworzenia. Spróbuj innych funkcji. Jakie dają efekty ?

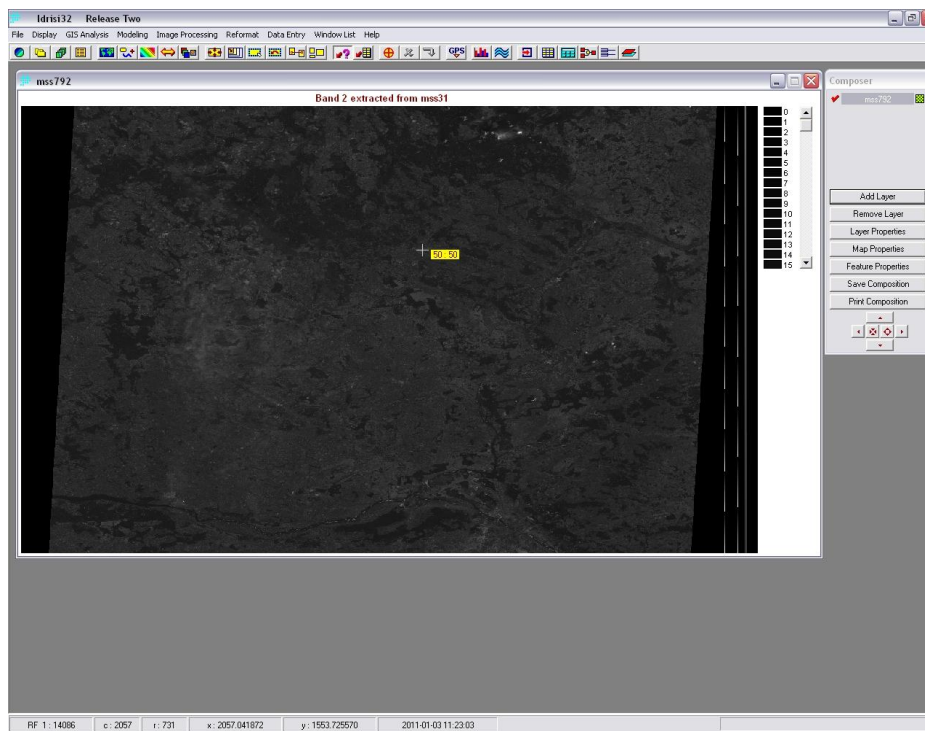
3. Opisz wyniki swoich analiz oraz wnioski dotyczące doboru najwłaściwszych funkcji dla wyodrębnienia maksymalnej ilości informacji o powyżej wymienionych rodzajach pokrycia terenu.


2.4.3 Charakterystyki spektralne obiektów na podstawie danych satelitarnych

1. Wyświetl poszczególne zakresy spektralne sceny satelitarnej LANDSAT TM uruchamiając opcję **DISPLAY** w menu **DISPLAY** lub przyciskając przycisk mapy z menu podręcznego.

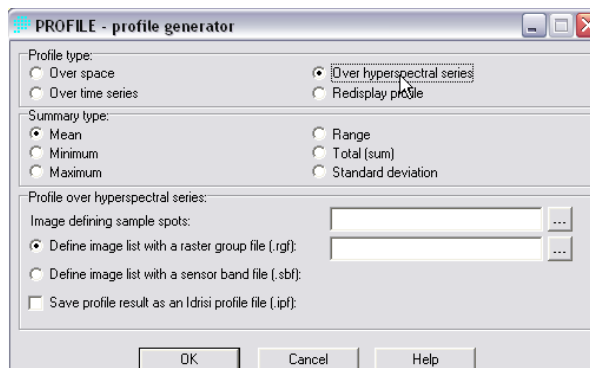


2. Dla poszczególnych zakresów spektralnych, korzystając z odpowiedniej funkcji dokonać odczytów wartości radiometrycznych dla pikseli odpowiadających różnym typom pokrycia terenu (lasy, woda, odkryta gleba, roślinność łąkowa, drogi, tereny zbudowane itd.) w celu wykonania charakterystyk spektralnych. Następnie stworzyć wykresy charakterystyk spektralnych poszczególnych obiektów.



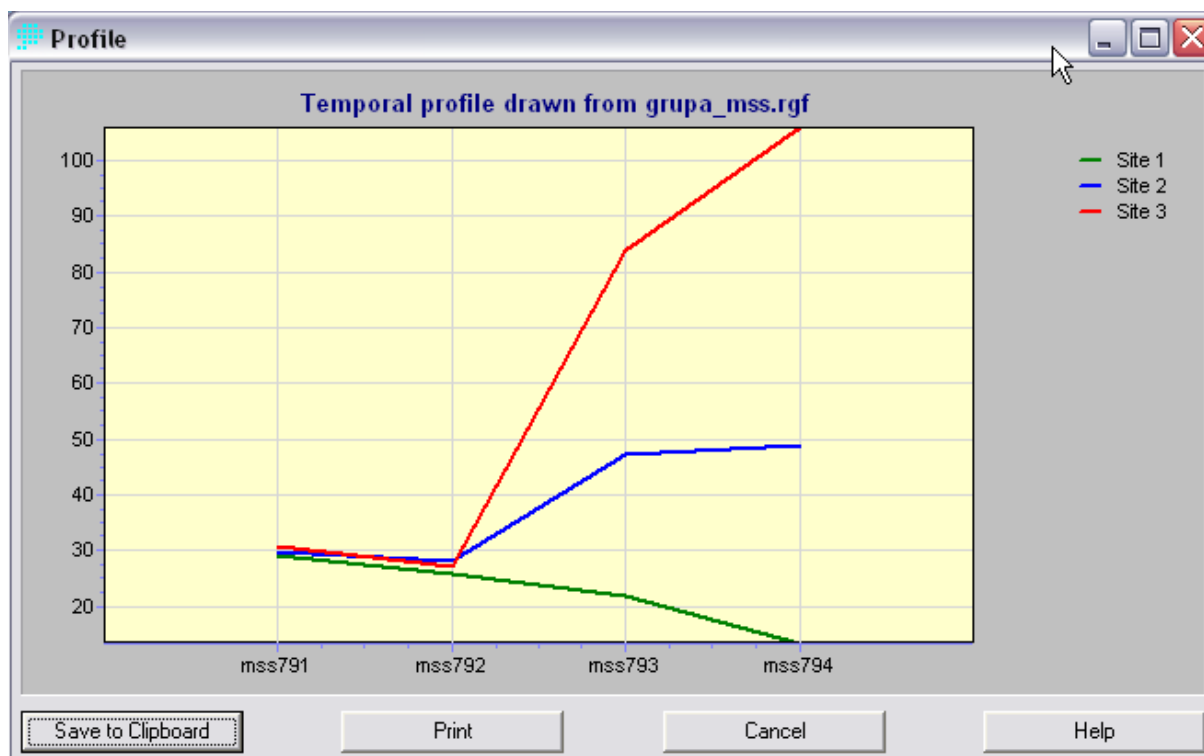
W tym celu należy włączyć przycisk *Cursor inquiry mode* (różowy znak zapytania ze strzałką ) i kliknąć na wybrany piksel. Wówczas ukáže się wartość radiometryczna dla wybranego piksela. Na dole ekranu można odczytać współrzędne położenia piksela.

3. Charakterystyki spektralne można opracować przy wykorzystaniu opcji **PROFILE**.



Aby wykonać charakterystykę spektralną należy najpierw stworzyć grupę kanałów (*Raster group* w opcji *Collection Editor*) oraz zdefiniować próbki (*Sample spots* poprzez digitalizację a następnie konwersję pliku wektorowego do postaci rastrowej za pomocą funkcji *Raster / Vector Conversion*) a następnie zaznaczyć opcję *over hyperspectral series*.

4. Funkcja **PROFILE** dla opcji *Over hyperspectral series* w wyniku działania wyświetla wykres, na którym na osi X są poszczególne zakresy spektralne (nazwy plików) a na osi Y wartości radiometryczne.



3 Tworzenie kompozycji barwnych

3.1 Podstawy teoretyczne

Scena satelitarna składa się na ogół z kilku bądź kilkunastu monochromatycznych obrazów – tzw. kanałów spektralnych, z których każdy został zarejestrowany w innym zakresie promieniowania elektromagnetycznego. W przypadku systemu LANDSAT TM rejestrowanych jest siedem zakresów spektralnych. Aby przedstawić powierzchnię terenu w formie obrazu barwnego, tzw. kompozycji barwnej, należy wykorzystać określony system tworzenia barw.

W teorii tworzenia barw można wyróżnić system addytywny i subtraktywny. Addytywna teoria kolorów mówi o tym co się stanie jeżeli zmieszamy światło (Ryc. 13). Mieszanie barwników dotyczy zaś subtraktywnej metody tworzenia barw (Ryc. 14). Na przykład w addytywnej teorii tworzenia barw zmieszanie barw czerwonej, zielonej i niebieskiej w jednakowych proporcjach daje w efekcie barwę białą. Zaś przy zastosowaniu metody subtraktywnej mieszając w jednakowych proporcjach barwniki (farby): czerwony, zielony i niebieski otrzymamy kolor czarny.



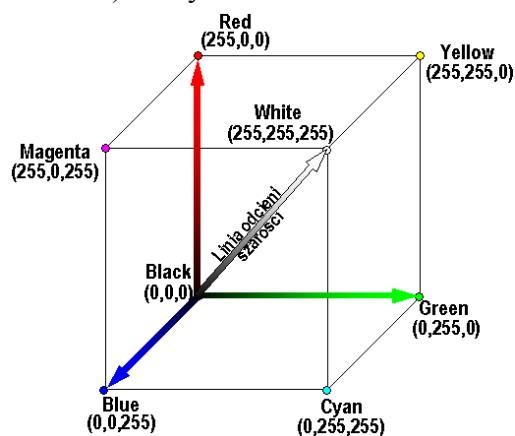
Ryc. 13. System addytywny.



Ryc. 14. System subtraktywny.

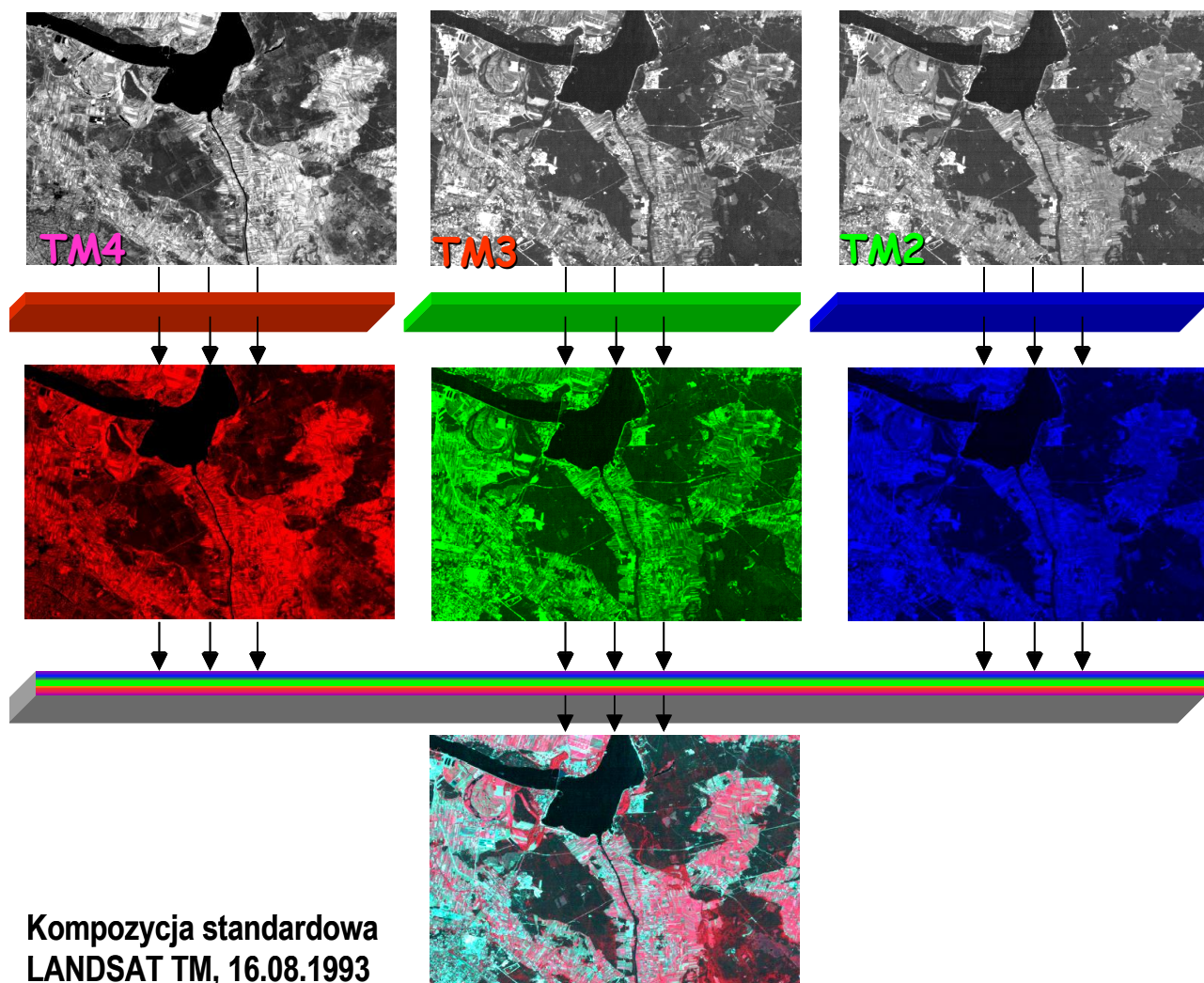
System RGB, wykorzystywany do tworzenia kompozycji barwnych, bazuje na teorii addytywnej tworzenia barw a kolorami podstawowymi są tu: czerwony (Red), zielony (Green) i niebieski (Blue). Kolorami dopełniającymi są zaś: niebiesko zielony (Cyan), żółty (Yellow), purpurowy (Magenta). Stosując trzy 8-bitowe obrazy rastrowe, które „przepuszczamy” odpowiednio przez filtry RGB możemy uzyskać 224 (16 777 216) różnych kolorów.

Jeden z modeli definiuje system RGB jako sześcian barw (Ryc. 15), którego narożniki stanowią barwy podstawowe Red (255, 0, 0), Green (0, 255, 0), Blue (0, 0, 255) oraz dopełniające Cyan (255,0,255), Yellow (255, 255, 0), Magenta (0, 255, 255). Pixel mający wartości RGB (255, 255, 255) będzie miał barwę białą, zaś RGB (0, 0, 0) barwę czarną. Odcienie szarości tworzone są w tym systemie poprzez zmieszanie w równej proporcji barw RGB (np. 127, 127, 127 – odcień szary, 200, 200, 200 – ciemno szary).



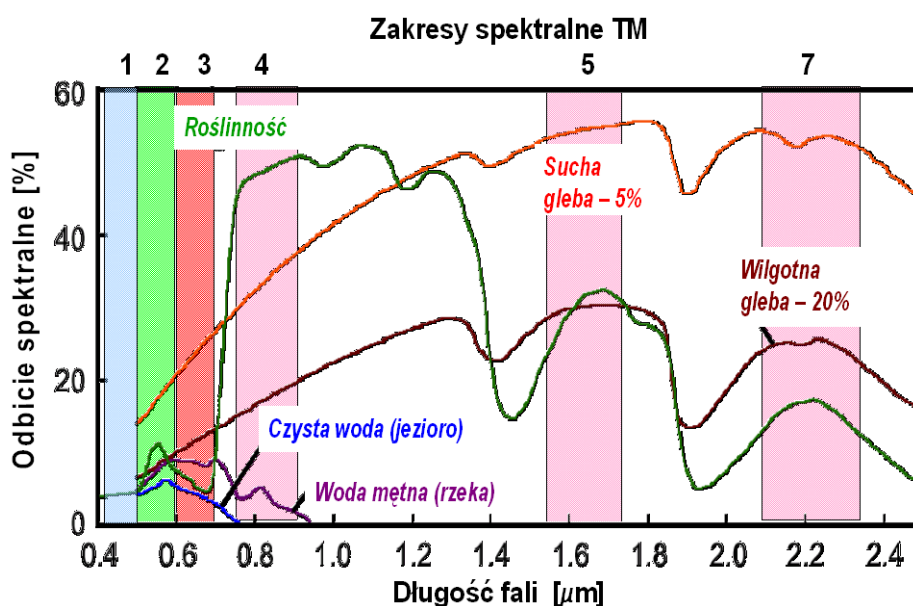
Ryc. 15. Model tworzenia barw RGB.

Kompozycja barwna w ujęciu cyfrowym jest złożeniem trzech obrazów (kanałów spektralnych) zarejestrowanych w różnych zakresach spektralnych, gdzie w trakcie łączenia każdemu z kanałów spektralnych przyporządkowuje się jedną z trzech barw podstawowych (w systemie addytywnym) RGB. Aby utworzyć kompozycję barwną na podstawie monochromatycznych zakresów spektralnych należy trzem różnym zakresom spektralnym przyporządkować filtry barwne R, G i B. Zrzutowane następnie na wspólny ekran dają w efekcie obraz barwny – kompozycję barwną (Ryc. 16). Omówmy przykład tworzenia tzw. standardowej kompozycji barwnej na podstawie danych LANDSAT TM. Jeśli obraz zarejestrowany w zakresie bliskiej podczerwieni (TM4) przepuścimy przez filtr czerwony R, obraz zarejestrowany w zakresie promieniowania czerwonego przez filtr zielony G, obraz zarejestrowany w zakresie promieniowania zielonego przez filtr B, to jako wynik uzyskamy kompozycję barwną określaną jako kompozycja standardowa. W tej konwencji barwniej roślinność zielona przybiera odcienie czerwieni, gleby odkryte i tereny antropogeniczne barwny niebiesko-zielone.



Ryc. 16. Idea tworzenia kompozycji barwnych RGB.

Uzyskiwana na kompozycji barwnej różnorodna gama kolorów wynika ze zróżnicowanego charakteru odbicia spektralnego różnych obiektów. Wychodząc ze znajomości charakterystyk spektralnych tychże obiektów można dostrzec istniejący logiczny związek między doбором kanałów kompozycji barwnej, kolejnością przyporządkowania im barw RGB, a wynikową kolorystyką poszczególnych obiektów na utworzonej kompozycji. Przeanalizujemy przytoczony powyżej przykład kompozycji standardowej, utworzonej na podstawie sceny satelitarnej LANDSAT TM (RGB 432) i określmy w jakich barwach odwzorują się na tej kompozycji obszary pokryte roślinnością.

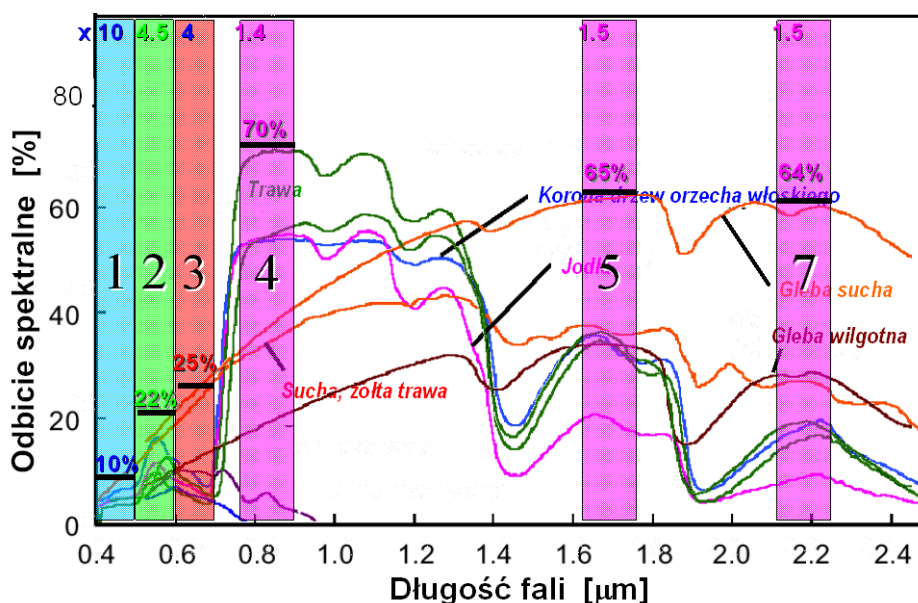


Ryc. 17. Charakterystyki spektralne wybranych obiektów na tle zakresów spektralnych rejestrowanych przez skaner Thematic Mapper.

Analizując charakterystykę spektralną bujnie rozwiniętej roślinności liściastej (Ryc. 17) możemy stwierdzić, że odbicie promieniowania podczerwonego (zakres spektralny TM4) wynosi ok. 50-60%. Promieniowanie czerwone (TM3) odbijane jest w ok. 5% a promieniowanie zielone (TM2) w ok. 10%. Oznacza to, że udział barw R : G : B jest jak 60 : 5 : 10, czyli w wypadkowej barwie dominuje barwa czerwona i w tej właśnie barwie odwzorowana jest roślinność na kompozycji standardowej.

Tworzenie kompozycji barwnych jest nierozdzielnie związane ze wzmacnianiem kontrastu każdego z kanałów spektralnych i stąd często występuje niezgodność barw uzyskiwanych na podstawie analizy charakterystyk spektralnych i barw uzyskiwanych na kompozycji barwnej. Wynika to z faktu, że w przypadku zakresów promieniowania widzialnego mamy do czynienia z mocniejszym wzmocnieniem kontrastu niż w przypadku danych rejestrowanych w zakresach podczerwonych. Działanie funkcji liniowej rozciągania kontrastu przedstawimy na przykładzie gleb odkrytych. Analizując charakterystykę spektralną suchej gleby okazuje się, że odbija ona ok. 18% promieniowania zielonego, ok. 23% promieniowania czerwonego i ok. 32% promieniowania podczerwonego. Oznacza to, że w przypadku kompozycji standardowej udział barw R : G : B jest jak 35 : 23 : 17, czyli w wyniku uzyskamy barwę brązową (Tab. 1). Jednak na standardowej kompozycji barwnej widzimy, że gleby odkryte zobrazowane są w odcieniach niebiesko-zielonych. Wynika to z zastosowania funkcji rozciągania kontrastu oddzielnie dla każdego zakresu spektralnego. Dlaczego w ogóle stosujemy funkcje rozciągania kontrastu? Otóż w każdym zakresie

spektralnym minimalna i maksymalna wartość odbicia spektralnego możliwa do zarejestrowania jest inna i nie wyczerpuje pełnego zakresu 0-100%. Co więcej każda zarejestrowana scena satelitarna charakteryzuje się innymi minimalnymi i maksymalnymi wartościami. Przeanalizujmy przykład dla typowego w Polsce obszaru rolniczo-leśnego. Analizując charakterystyki typowych obiektów występujących w krajobrazie rolniczo-leśnym (Ryc. 18) można stwierdzić, że maksymalną wartość odbicia spektralnego w zakresach: niebieskim (TM1), zielonym (TM2) i czerwonym (TM3) ma gleba sucha (piaszczysta, np. bielica) i są to odpowiednio wartości ok. 10%, 22% oraz 25%. W zakresie bliskiej podczerwieni (TM4) maksymalne odbicie występuje dla bujnie rozwiniętej roślinności zielonej i wynosi ok. 70%. Z kolei w zakresie podczerwieni średniej (TM5, TM7) maksymalne odbicie obserwuje się dla gleb suchych (lekkich, piaszczystych). Wynosi ono ok. 65%. Widać więc wyraźnie, że zdjęcia rejestrowane w poszczególnych zakresach spektralnych nie wyczerpią w 100% odcieni szarości możliwych do zarejestrowania. Kompozycje barwne utworzone z oryginalnie zarejestrowanych zakresów spektralnych są więc ciemne i mało kontrastowe, przez co mało czytelne. Aby zwiększyć kontrast należy więc zastosować funkcję wzmacniającą kontrast a najprostszą funkcją jest funkcja liniowa przeskalowująca zakres zarejestrowanych odcieni szarości do maksymalnej liczby odcieni szarości możliwych do wykorzystania (0-255 w zapisie 8-bitowym).



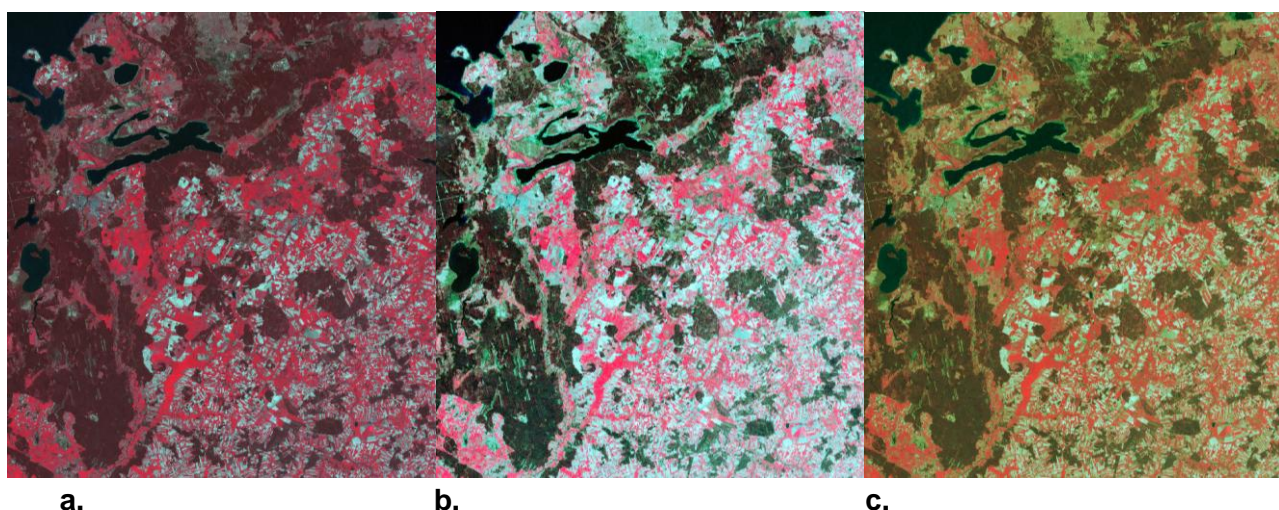
Ryc. 18. Charakterystyki spektralne wybranych obiektów na tle zakresów spektralnych rejestrowanych przez skaner TM - idea rozciągnięcia kontrastu.

W prezentowanym przykładzie, aby w pełni wykorzystać 100% wartości, zakres promieniowania niebieskiego (TM1) należy przeskalować stosując mnożnik 10 (Ryc. 18). Dla zakresu zielonego (TM2) mnożnik wyniesie 4.5, dla zakresu czerwonego (TM3) - 4, dla bliskiej podczerwieni (TM4) - 1.4 a dla podczerwieni średniej (TM5 i TM7) - 1.5. Po przeskalowaniu dla suchej gleby w przypadku kompozycji standardowej udział barw R : G : B będzie jak 52 : 92 : 82, czyli w wyniku uzyskamy barwę niebiesko-zieloną (Tab. 1).

Tab. 1. Określenie barw typowych obiektów terenowych na standardowej kompozycji barwnej a. na podstawie wartości odbicia spektralnego oraz b. po zastosowaniu najprostszej funkcji rozciągania kontrastu (liniowe przeskalowanie).

	OBIEKT							
	trawa		drzewa iglaste		gleba sucha		gleba wilgotna	
	a. Odbicie spektralne							
	% odbicia	barwa	% odbicia	barwa	% odbicia	barwa	% odbicia	barwa
R 4	70		40		32		20	
G 3	7		7		23		10	
B 2	15		10		18		7	
barwa wypadkowa								
	b. Rozciągnięcie kontrastu przy pomocy funkcji liniowej (przeskalowanie)							
	% odbicia po przeskal.	barwa	% odbicia po przeskal.	barwa	% odbicia po przeskal.	barwa	% odbicia po przeskal.	barwa
R 4	100		56		52		28	
G 3	28		28		92		40	
B 2	67		45		82		32	
barwa wypadkowa								


Powyższy wywód prezentuje ideę rozciągania kontrastu, ale należy pamiętać, że kontrast można rozciągnąć stosując dowolną, również nieliniową, funkcję. A od zastosowanej funkcji zależy jaką uzyskamy wynikową kompozycję barwną. Ryc. 19 prezentuje standardową kompozycję barwną uzyskaną przy zastosowaniu różnych funkcji rozciągania kontrastu. Widać wyraźnie, że nasycenie poszczególnych barw ulega zmianie w zależności od zastosowanej funkcji.

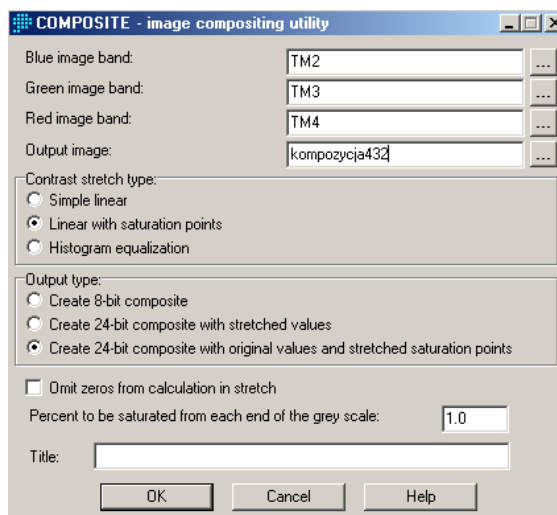


Ryc. 19. Standardowa kompozycja barwna RGB 432 dla danych TM - przykłady działań różnych funkcji rozciągania kontrastu: a. funkcja liniowa, b. metoda wyrównania histogramu, c. rozciąganie kontrastu przedziałami z wykorzystaniem różnych funkcji liniowych.

3.2 Ćwiczenie - tworzenie kompozycji barwnych w programie IDRISI

Celem ćwiczenia jest opracowanie barwnej mapy obrazowej na podstawie zdjęcia satelitarnego LANDSAT TM.

Odpowiednia funkcja do tworzenia kompozycji barwnych znajduje się w menu: **DISPLAY/Composite** . W opcji tej możliwe jest stworzenie kompozycji barwnych przy wykorzystaniu jednakowych, standardowych funkcji rozciągania kontrastu do wszystkich trzech zakresów spektralnych składających się na kompozycję barwną (np. funkcja liniowa - opcja **Linear**, funkcja liniowa z nasyceniem - opcja **Linear with saturation**, metoda wyrównania histogramu - opcja **Histogram equalization**). W przypadku, gdy chcemy stworzyć kompozycje barwne, w których każdy kanał rozciągnięty jest inną funkcją, należy wcześniej przetworzyć oddzielnie każdy z zakresów spektralnych odpowiednimi funkcjami (np. TM2 – funkcja liniowa z nasyceniem, TM3 – funkcja logarymiczna, TM4 – funkcja potęgowa) za pomocą opcji **STRECH** albo **IMAGE CALCULATOR**.

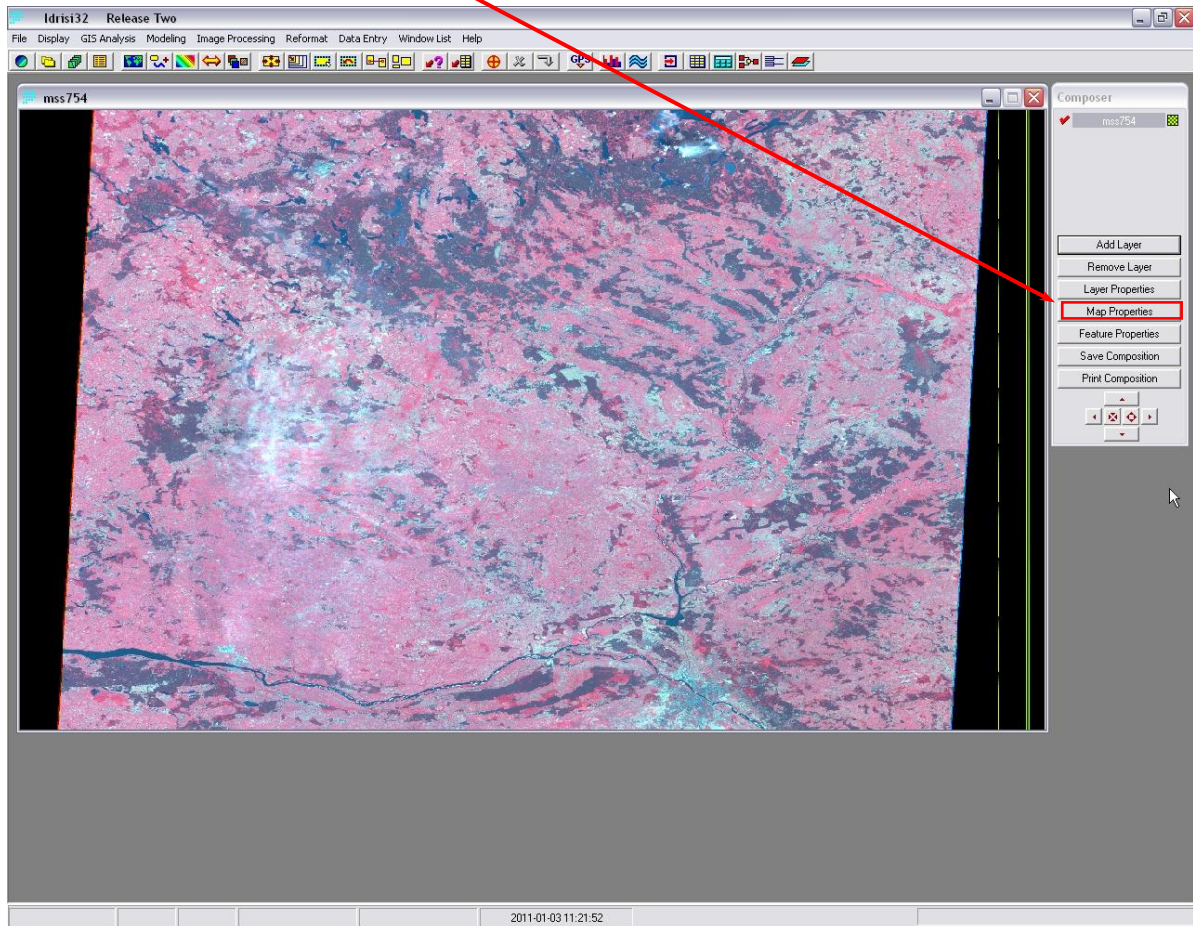


1. Stwórz kompozycję barwną w barwach naturalnych przy wykorzystaniu trzech standardowych funkcji rozciągania kontrastu. Porównaj jakość poszczególnych kompozycji barwnych, oceń która funkcja rozciągania kontrastu daje najlepsze rezultaty?
2. Stwórz standardową kompozycję barwną i porównaj zawartość interpretacyjną tej kompozycji w porównaniu z kompozycją barwną w barwach naturalnych.
3. Z tych samych zakresów spektralnych stwórz wszystkie możliwe kompozycje barwne zmieniając przypisanie filtrów barwnych poszczególnym zakresom spektralnym (np. RGB 432, RGB 234, RGB 342 itd.). Oceń jakość uzyskanych kompozycji barwnych. Dokonaj analizy wyników i odpowiedź na pytanie czy przypisanie filtrów barwnych R G B ma wpływ na czytelność różnych obiektów terenowych? Które kompozycje są najbardziej przydatne do interpretacji pokrycia terenu?
4. Przetestuj możliwości tworzenia kompozycji barwnych na podstawie danych LANDSAT TM z wykorzystaniem różnych funkcji rozciągania kontrastu. LANDSAT TM rejestruje 7 zakresów spektralnych, co pozwala na uzyskanie 210 kompozycji barwnych.
5. Po wykonaniu kilku / kilkunastu różnych kompozycji barwnych oceń ich potencjał interpretacyjny. Jakie obiekty na jakich kompozycjach są dobrze zróżnicowane a jakie słabo? Jakie kompozycje są najbardziej przydatne do podkreślenia zróżnicowania lasów, stopnia rozwoju roślinności, a jakie różnicują cechy terenów zabudowanych, gruntów ornych, gleby, itp.? Przeanalizuj z czego wynikają takie różnice. Odwołaj się do charakterystyk spektralnych typowych obiektów oraz do przypisania barw poszczególnym zakresom spektralnym. Znajdują się one m.in. w podręczniku A. Ciołkosz, J. Miszalski, J.R. Olędzki, „Interpretacja zdjęć lotniczych”.

3.3 Ćwiczenie - przygotowanie map do wydruku w systemie IDRISI

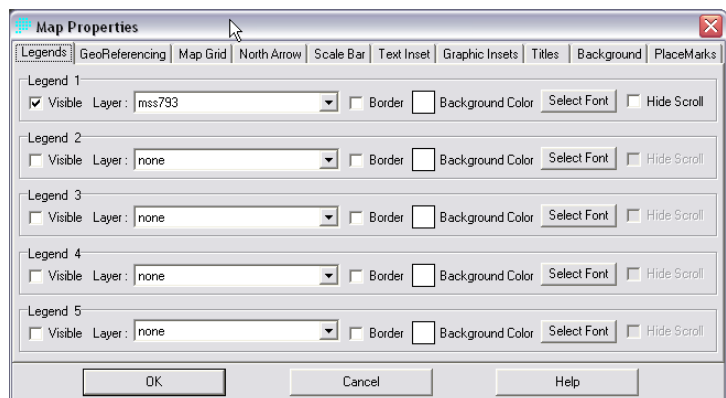
Celem ćwiczenia jest przygotowanie do druku barwnej mapy obrazowej opracowanej na podstawie zdjęcia satelitarnego LANDSAT TM.

1. Uruchom opcję **Map Properties**, znajdującą się w menu **COMPOSER**, które towarzyszy każdemu wyświetlanemu obrazowi i **przygotuj wybraną kompozycję barwą jako mapę obrazową do wydruku**.

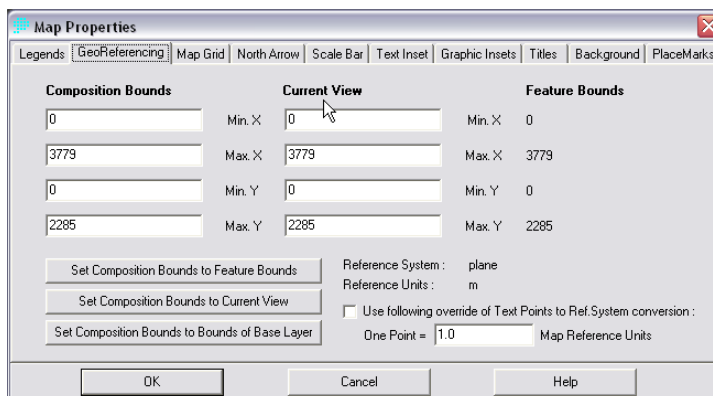


W **Map Properties** znajduje się szereg zakładek, które pozwalają m.in. na zdefiniowanie siatki kilometrowej, legendy, opisów tekstowych itp. Wykorzystując te opcje proszę przygotować barwną mapę obrazową.

1. **Formatowanie legendy** – **LEGENDS** – stosowane tylko przy mapach tematycznych (np. pokrycie terenu) oraz w przypadku warstw wektorowych. Aby rozpocząć formatowanie legendy, należy zaznaczyć kwadrat **Visible**. Następnie można zdefiniować obramowanie (**Border**), kolor tła (**Background Color**), rodzaj i kolor czcionki (**Select Font**).

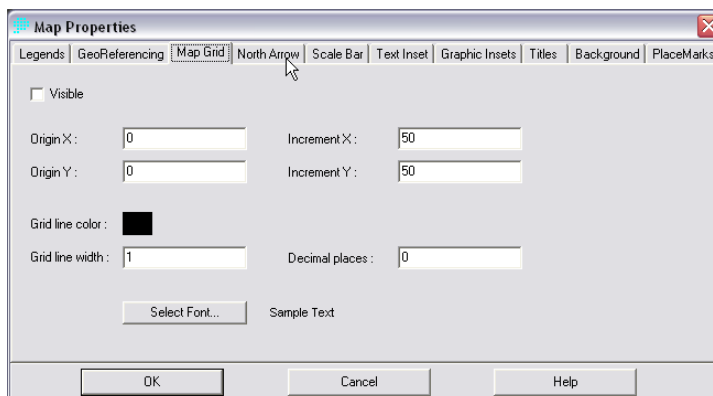


2. Definiowanie wielkości obszaru oraz układu współrzędnych – **GEOREFERENCING** – pozwala na wybór obszaru, dla którego tworzona jest mapa.



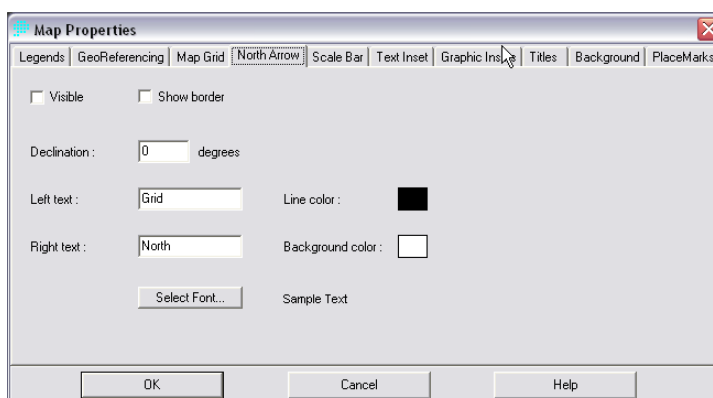
3. Definiowanie siatki kilometrowej – **MAP GRID**.

Zaznaczając kwadrat **Visible** mamy możliwość zdefiniowania siatki kilometrowej lub geograficznej (w zależności od układu współrzędnych). Określa się m.in. krok siatki (**Increment X**, **Increment Y**), grubość linii (**Grid line width**) oraz liczbę wyświetlanych miejsc po przecinku (**Decimal places**).



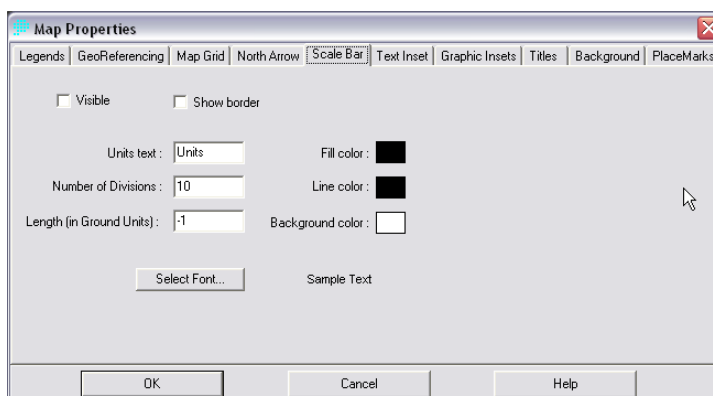
4. Definiowanie kierunku północy – **NORTH ARROW**.

Zaznaczając kwadrat **Visible** mamy możliwość zdefiniowania formatu wyświetlania kierunku północy. Określa się tu: format ramki (**Line color**), tło (**Background color**), tekst, który ma być wyświetlany (**Left text**, **Right text**), format czcionki (**Select font**) oraz zboczenie magnetyczne (**Declination**).



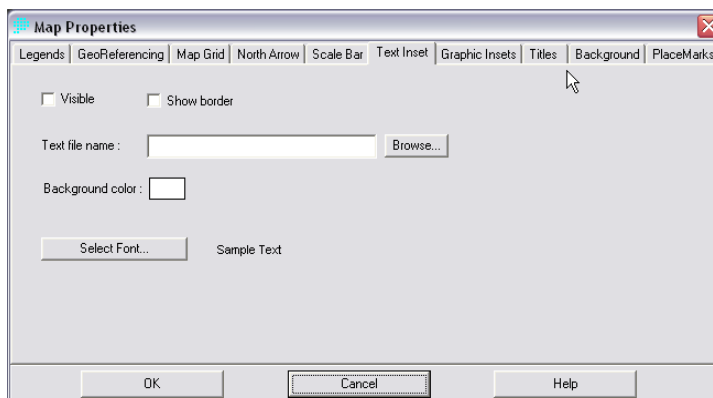
5. Definiowanie podziałki – **SCALE BAR**.

Zaznaczając kwadrat **Visible** mamy możliwość zdefiniowania podziałki. Definiuje się jednostki (**Units text**), wielkość w terenie (**Length**), liczbę wyświetlanych przedziałów/jednostek (**Number of divisions**), format wyświetlania (kolor wypełnienia – **Fill color**, linii – **Line color**, tła – **Background color**) oraz czcionki (**Select Font**).



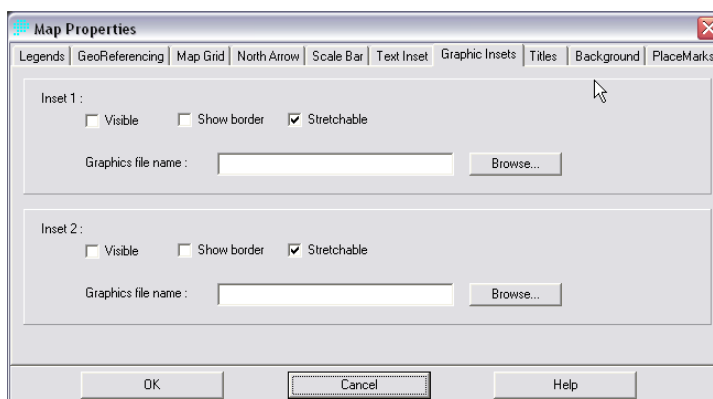
6. Definiowanie opisu – **TEXT INSERT**.

Zaznaczając kwadrat **Visible** mamy możliwość zdefiniowania dodatkowego opisu/tekstu. Tekst ten można napisać np. w aplikacjach takich jak: Notatnik czy WordPad a następnie należy zdefiniować format czcionki (**Select font**) i tło (**Background color**).



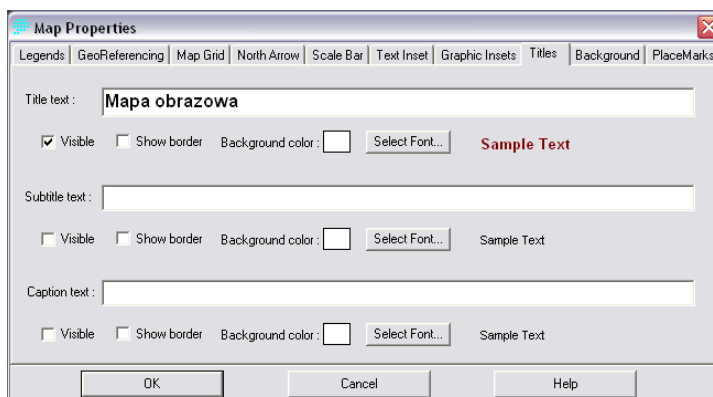
7. Definiowanie dodatkowej grafiki – **GRAPHIC INSERT**.

Zaznaczając kwadraty **Visible** mamy możliwość dodania dwóch dowolnych obrazów / grafiki (np. logo firmy albo legendy opracowanej w programie graficznym), które znajdują się w oddzielnych plikach (najlepiej formacie BMP).

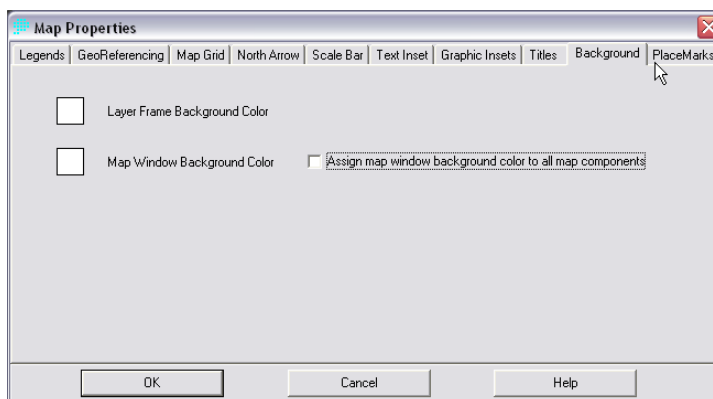


8. Definiowanie tytułu – **TITELS**.

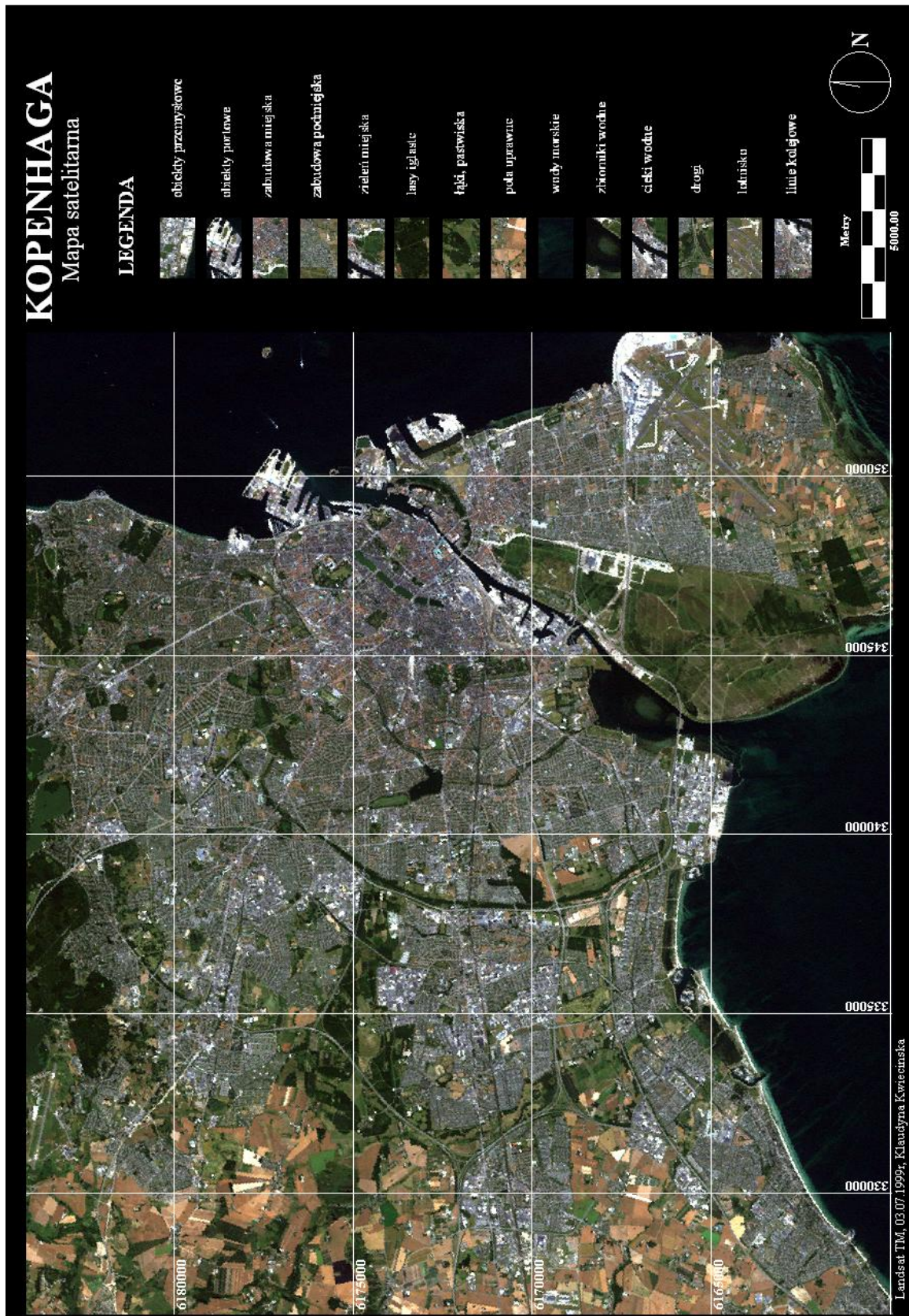
Zaznaczając kwadrat **Visible** mamy możliwość zdefiniowania tytułu opracowywanej mapy oraz dodatkowych podtytułów czy nagłówek (**Subtitle text**, **Caption text**). Dodatkowo istnieje możliwość sformatowania każdego z tytułów oddzielnie (rodzaj oraz kolor czcionki – **Select font**, obramowanie – **Show border**, kolor tła – **Background color**).



9. Definiowanie formatu tła – **BACKGROUND**, czyli koloru tła i obramowania.



10. Wynik opracowania – przygotowaną mapę obrazową zapisz jako **Map composition** (**Save composition**) a także obraz w formacie **BMP**.



Ryc. 20. Mapa satelitarna - przykładowe opracowanie.

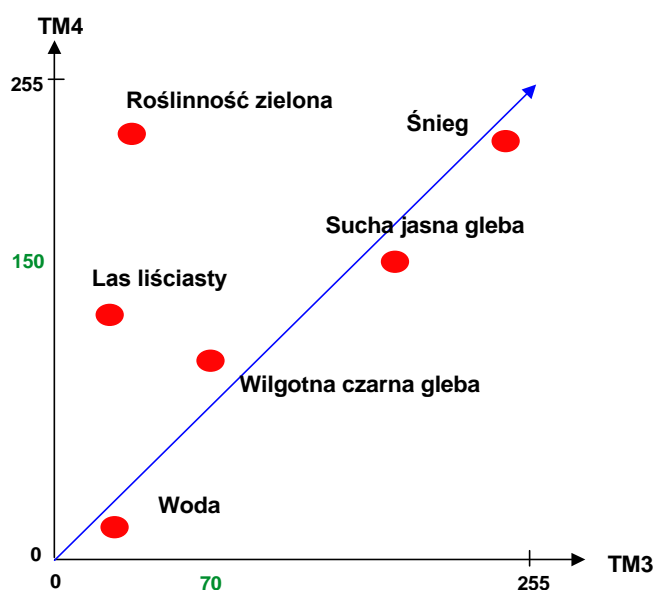
4 Klasyfikacja cyfrowa obrazów wielospektralnych

4.1 Podstawy teoretyczne

4.1.1 Wprowadzenie

Dane teledetekcyjne mogą być analizowane w celu wydobywania istotnych informacji tematycznych. Dane te są więc przekształcane w informację o charakterze tematycznym. Klasyfikacja wielospektralna jest jedną z częściej stosowanych metod ekstrakcji informacji tematycznej.

U podstaw klasyfikacji wielospektralnej leży założenie, że piksele reprezentujące podobne obiekty mają zbliżone właściwości spektralne, czyli w n -wymiarowej przestrzeni spektralnej (zbudowanej z osi reprezentujących poszczególne zakresy spektralne, Ryc. 20) grupują się w naturalne skupiska (zwane klastrami) o posobnych właściwościach spektralnych. Definiując określone kryteria można więc rozdzielić grupy pikseli na podstawie ich właściwości spektralnych.



Ryc. 21. Dwuwymiarowa przestrzeń spektralna utworzona z dwóch zakresów spektralnych TM3 i TM4 oraz usytuowanie podstawowych typów pokrycia terenu w tej przestrzeni.

Obecnie, klasyfikacja wielospektralna może być wykonywana przy użyciu różnych algorytmów włączając w to: klasyfikację tzw. twardą z metodą nadzorowaną i nienadzorowaną, klasyfikację miękką wykorzystującą logikę rozmytą (z ang. *fuzzy logic*), rozwiązania hybrydowe stosowane często pomocniczo, jak również klasyfikacje obiektowe czy eksperckie. Najczęściej stosowanym podejściem do wydobywania informacji tematycznej na podstawie danych wielospektralnych jest klasyfikacja nadzorowana.

4.1.2 Klasyfikacja nienadzorowana

W klasyfikacji nienadzorowanej, identyfikacja typów pokrycia terenu do ściśle wyspecyfikowanych klas dla danej sceny nie jest znana *a priori*. Komputer przypisuje piksele o podobnych właściwościach spektralnych do klastrów na podstawie statystyk określających kryteria.

W przeciwieństwie do klasyfikacji nadzorowanej, klasyfikacja nienadzorowana wymaga jedynie minimalnych założeń ze strony analityka. Jest to proces, gdzie za pomocą operacji numerycznych poszukiwane są naturalne grupy/skupiska pikseli o podobnych właściwościach spektralnych w wielowymiarowej przestrzeni spektralnej. Użytkownik pozwala komputerowi na wybór wartości średnich klastrów potrzebnych w procesie klasyfikacji. Dane zostają sklasyfikowane, a analityk po całym procesie próbuje zinterpretować / nazwać poszczególne klasy *a posteriori*. To może być niestety dość trudne. Część klastrów może być bez konkretnego znaczenia, ponieważ będą reprezentowały mieszaną klas występujących na powierzchni Ziemi. To pokazuje dokładnie problem interpretatora, który musi rozwikłać takie kwestie. Powinien on rozumieć wystarczająco dobrze charakterystyki spektralne obiektów, aby zdefiniować klasę, którą one reprezentują.

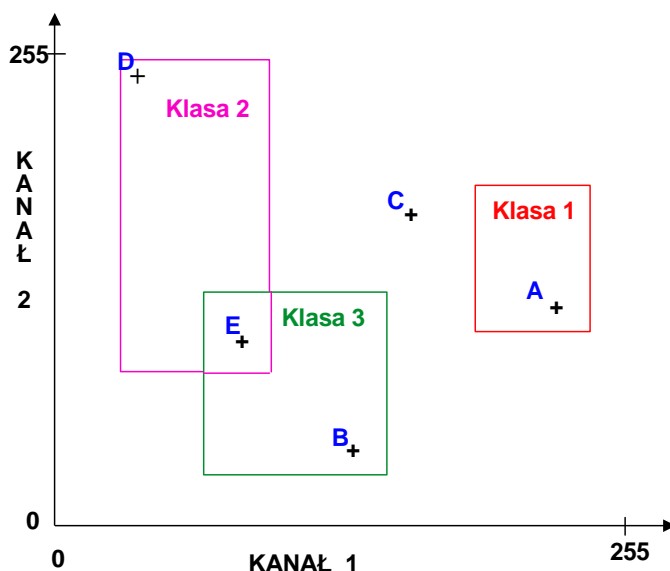
4.1.3 Klasyfikacja nadzorowana

W klasyfikacji nadzorowanej, identyfikacja i lokalizacja niektórych typów pokrycia, takich jak: obszary miejskie, grunty rolne, łąki czy lasy są znane *a priori* (przed faktem) poprzez różnego rodzaju prace terenowe, analizy fotointerpretacyjne (fotografia lotnicza), analizę map lub doświadczenia osobiste. Analiza ogranicza się do zlokalizowania konkretnych miejsc, które dla danych teledetekcyjnych stanowić będą homogeniczne, jednorodnie próbki znanych typów pokrycia terenu. Obszary te zwane są polami treningowymi, ponieważ charakterystyki spektralne tych próbek będą użyte do trenowania algorytmu klasyfikacyjnego do ewentualnego wykonania mapy pokrycia terenu na podstawie obrazów wielospektralnych. Wiele zmiennych parametrów statystycznych (średnia, odchylenie standardowe, macierz kowariancji, macierz korelacji, itp.) jest obliczanych dla każdego z pól treningowych. Każdy piksel zarówno wewnątrz jak i poza obszarem pola treningowego zostaje oceniony i przydzielony do klasy, której jest najbliższym lub, której jest najbardziej prawdopodobnym członkiem. Często o tym typie klasyfikacji mówi się, że jest to klasyfikacja twarda bo każdy piksel jest przydzielany tylko do jednej klasy, podczas gdy sam sposób pozyskiwanych danych powoduje niejednoznaczność określanych klas (na obszarze jednego piksela może znajdować się np. 10% gleby odkrytej, 20% krzewów oraz 70 % lasu).

Klasyfikację metodą nadzorowaną można wykonać m.in. przy pomocy algorytmów: prostopadłościaków, minimalnej odległości i największego prawdopodobieństwa.

Algorytm równoległościaków jest metodą szybką i bardzo prostą, ponieważ wartości radiometryczne poszczególnych pikseli porównywane są jedynie z granicą dolną i górną sygnatury danej klasy w każdym z zakresów spektralnych (Ryc.21). Jeśli wartości radiometryczne rozważanego piksela mieszczą się w granicach sygnatury danej klasy dla każdego zakresu spektralnego, to wówczas piksel zostaje zaklasyfikowany do tej klasy. Jeśli choć w jednym zakresie spektralnym kryterium przynależności nie zostało spełnione, wówczas piksel nie może zostać zaliczony do danej klasy. W przypadku tej metody mogą pozostać piksele niesklasyfikowane (piksel C na Ryc. 21). Może także wystąpić sytuacja, że piksel zostanie zaklasyfikowany do danej klasy mimo, że leży daleko od środka klasy i nie powinien do tej klasy należeć (piksel D na Ryc. 21). Występuje również problem z pikselami, które „należą” do dwóch lub więcej

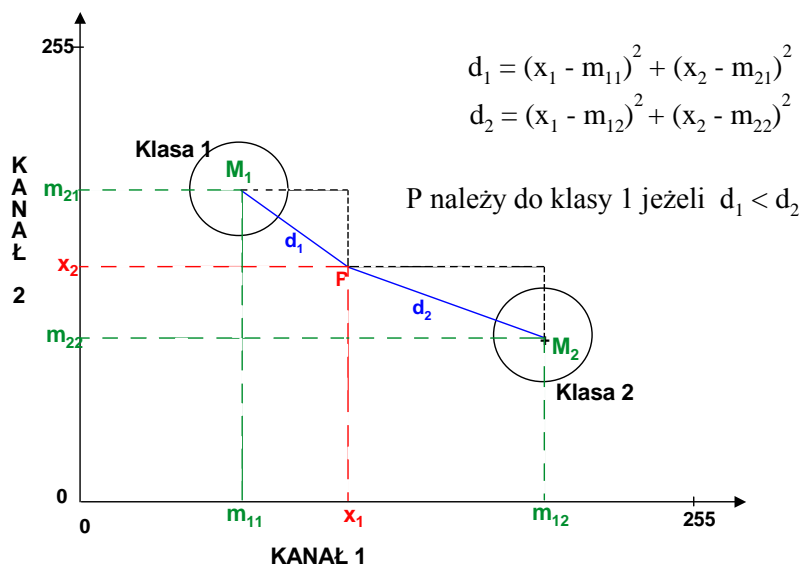
równoległością (piksel E na Ryc. 21), gdyż bez dodatkowych kryteriów nie możliwe jest uzyskanie dobrego rozwiązania tego problemu.



Ryc. 22. Idea działania algorytmu równoległości.

Algorytm ten nie zależy od rozkładu normalnego danych wejściowych, co oznacza, że definiowane klasy nie muszą spełniać warunku rozkładu normalnego dla pól treningowych. Algorytm równoległości stosowany jest na ogół do zgrubej, wstępnej klasyfikacji.

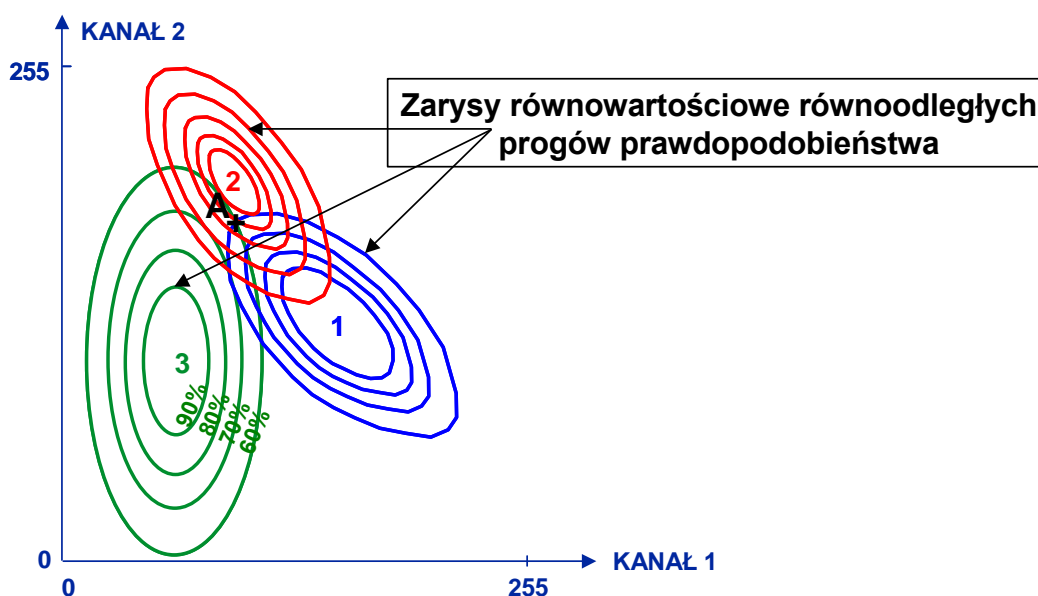
Algorytm najmniejszej odległości polega z kolei na obliczeniu dla każdego piksela obrazu jego odległości spektralnej od każdej ze zdefiniowanych klas (Ryc. 22). W przypadku tego algorytmu wszystkie piksele obrazu zostają sklasyfikowane, bo zawsze piksel jest bliższy jakiejś klasie. Mogą natomiast wystąpić sytuacje, że do danej klasy zostaną sklasyfikowane piksele, które nie powinny być sklasyfikowane, gdyż są bardzo odległe od wartości średniej próbki klasy, ale są najbliższe tej właśnie klasy.



Ryc. 23. Idea działania algorytmu najmniejszej odległości.

Algorytm najmniejszej odległości, podobnie jak i algorytm równoległości, nie zależy od rozkładu normalnego danych wejściowych i nie uwzględnia zmienności występującej w klasach (np. wody są klasą o małej zmienności a np. zabudowa jest klasą o bardzo dużej zmienności – dużej wariancji danych) w wyniku czego klasy o małej zmienności mogą zostać przeszacowane a klasy o dużej zmienności pozostaną niedoszacowane.

Algorytm największego prawdopodobieństwa jest najbardziej pracochłonnym algorytmem ale również algorytmem najbardziej dokładnym – pod warunkiem, że próbki treningowe mają rozkład normalny – bo uwzględnia najwięcej zmiennych. W przypadku tego algorytmu obliczane jest prawdopodobieństwo przynależności danego piksela do każdej klasy. Piksel zostaje zaklasyfikowany do tej klasy, dla której prawdopodobieństwo jego przynależności jest najwyższe. W przypadku piksela A (Ryc. 23) można stwierdzić, że należy do do klasy 2, gdyż leży on na izolinii prawdopodobieństwa przynależności



Ryc. 24. Idea działania algorytmu największego prawdopodobieństwa.

Przy zastosowaniu tej metody wszystkie piksele obrazu zostają sklasyfikowane, bo dla każdego piksela zawsze jest możliwe obliczenie prawdopodobieństwa $p(x/c_i)$ w stosunku do każdej z klas. Jako jedyna z przedstawianych tu metod uwzględnia zmienność klas poprzez uwzględnienie macierzy kowariancji. W przypadku tego algorytmu trzeba zadbać szczególnie o dobre zdefiniowanie pól treningowych, gdyż jest to metoda silnie uzależniona od rozkładu normalnego danych wejściowych. W zależności od doboru pól treningowych może klasyfikować z nadmiarem klasy o stosunkowo wysokich wartościach w macierzy kowariancji, czyli klasy o dużej zmienności. Jest to metoda czasochłonna a czas obliczeń wzrasta wraz z liczbą zakresów spektralnych i liczbą obliczanych klas.

4.1.4 Etapy tworzenia mapy pokrycia terenu

Główne etapy tworzenia mapy pokrycia terenu z wykorzystaniem metody klasyfikacji nadzorowanej na podstawie danych satelitarnych powinny obejmować:

1. Rozpoznanie natury klasyfikowanego problemu:
 - a) zdefiniowanie obszaru zainteresowania;
 - b) identyfikacja klas istotnych dla klasyfikowanego problemu;
2. Pozyskanie danych teledetekcyjnych i rozpoznanie obszaru badań:
 - a) wybór danych teledetekcyjnych:
 - rozważenie systemu teledetekcyjnego (rozdzielczość przestrzenna, spektralna, czasowa i radiometryczna);
 - analiza środowiska badanego obszaru (cykle fenologiczne, atmosfera, wilgotność gleby, itp.);
3. Przetwarzanie cyfrowe danych teledetekcyjnych dla uzyskania informacji tematycznej:
 - a) korekcja radiometryczna;
 - b) korekcja geometryczna – czasami konieczne jest jej wykonanie przed procesem klasyfikacji, ale zalecane jest, aby wykonywać ją po wykonaniu klasyfikacji ze względu na konieczność ponownego próbkowania obrazu, która zmienia wartości radiometryczne;
 - c) wybór metody klasyfikacji i/lub algorytmów (prostopadłościanów, minimalnej odległości, największego prawdopodobieństwa itd.);
 - d) określenie wzorców klas – digitalizacja na ekranie poligonów reprezentujących pola treningowe na podstawie wiedzy *a priori*;
 - e) obliczenie sygnatur, czyli wydobycie informacji statystycznej (wartość minimalna, maksymalna, wartość średnia, odchylenie standardowe, histogram jednowymiarowy, macierz wariancyjno-kowariancyjna, macierz korelacji międzykanałowej itp.), dla pól treningowych dla każdego zakresu spektralnego;
 - f) analiza sygnatur pól treningowych pod względem ich jednorodności i rozłączności (analiza parametrów statystycznych, histogramów jednowymiarowych, wykresów dwuwymiarowych - skaterogramów);
 - g) wybór najbardziej odpowiednich zakresów spektralnych (np. dywergencja, korelacja międzykanałowa);
 - h) klasyfikacja - wydobycie informacji tematycznej na podstawie zdefiniowanych pól treningowych;
4. Ocena dokładności klasyfikacji:
 - a) określenie danych testowych (a priori lub poprzez wybór losowy);
 - b) określenie dokładności statystycznej sklasyfikowanej mapy (dokładność producenta, dokładność użytkownika, błędy z tytułu pominięcia i nadmiaru);
5. Dystrybucja wyników klasyfikacji (produkty cyfrowe, produkty analogowe – wydruki, raporty błędów, itp.).

4.1.5 Ocena dokładności klasyfikacji

Ocenę dokładności wykonanej klasyfikacji można wykonać poprzez porównanie klasyfikacji z istniejącymi już materiałami (zdjęcia lotnicze, aktualne mapy tematyczne, istniejące mapy pokrycia terenu) lub wykorzystując tzw. pola testowe. Pola testowe to próbki terenu o znanej charakterystyce. Muszą to być tereny, dla których znamy typ pokrycia terenu, ale nie mogą to być te same obszary, które wybrane zostały jako pola treningowe. Pola testowe można zdefiniować na podstawie własnego wyboru użytkownika / interpretatora lub na podstawie wyboru losowo przeprowadzonego przez oprogramowanie. Pierwsza metoda jest dość subiektywna, ale umożliwia szczegółowe sprawdzenie obszaru, na którym nam zależy w sposób szczególny. Ponadto subiektywny sposób wyboru pól testowych daje gwarancję, że znamy typ pokrycia terenu poszczególnych pól testowych, czego nie można zapewnić w przypadku całkowicie losowego wyboru pól testowych. Druga metoda jest obiektywna, ale kosztowna i czasochłonna. Można tu zastosować wybór: całkowicie losowy, proporcjonalny do liczby klas lub proporcjonalny do pola powierzchni zajmowanego przez poszczególne klasy. Przy zastosowaniu całkowicie losowego wyboru pól testowych może okazać się, że w przypadku niektórych klas, szczególnie klas mało licznych, ocena ich dokładności zostanie pominięta. Pozostałe dwie metody wyboru losowego dają gwarancję sprawdzenia wszystkich klas z tym, że wybór liczby pól / pikseli testowych proporcjonalnie do pola powierzchni zajmowanego przez poszczególne klasy umożliwia jednakowo dokładne sprawdzenie klas o różnej liczebności.

W wyniku porównania klasyfikacji i pól testowych otrzymujemy macierz błędów (Ryc. 24), która przedstawia liczbę pikseli poprawnie oraz niepoprawnie zaklasyfikowanych do poszczególnych klas. Poniżej przedstawiony przykład posłuży do wyjaśnienia poszczególnych pojęć związanych z oceną dokładności klasyfikacji, takich jak dokładność producenta, dokładność użytkownika, błędy z tytułu pominięcia i nadmiaru.

→ ↓ KLASYFIKACJA

POWIERZCHNIA ZIEMI	Pszenica	Owies	Buraki	Woda	Las	Non classified	Total
Pszenica	310	50	40	0	0	0	400
Owies	80	150	20	0	20	0	270
Buraki	0	5	130	0	10	5	150
Woda	3	2	0	10	5	0	20
Las	5	5	10	0	150	10	180
Total	398	212	200	10	185	15	1020

Ryc. 25. Przykładowa macierz błędów

Na przekątnej macierzy błędów znajduje się informacja o liczbie pikseli poprawnie sklasyfikowanych, czyli o pikselach, które zarówno w klasyfikacji jak i w terenie stanowią daną klasę. Poza przekątną mamy zaś informację o liczbie pikseli sklasyfikowanych niepoprawnie. W przytoczonym tu przykładzie (Ryc. 24), 400 pikseli składa się w terenie na klasę „pszenica”, 270 pikseli na klasę „owies”, 145 pikseli na klasę „buraki”, 20 pikseli na klasę „woda” oraz 180 pikseli na klasę „las”. W wyniku klasyfikacji do klasy „pszenica” zaklasyfikowano 398 pikseli, do klasy


„owies” 212 pikseli, do klasy „buraki” 200 pikseli, do klasy „woda” 10 pikseli i do klasy „las” 185 pikseli. 15 pikseli nie zostało w ogóle sklasyfikowanych.

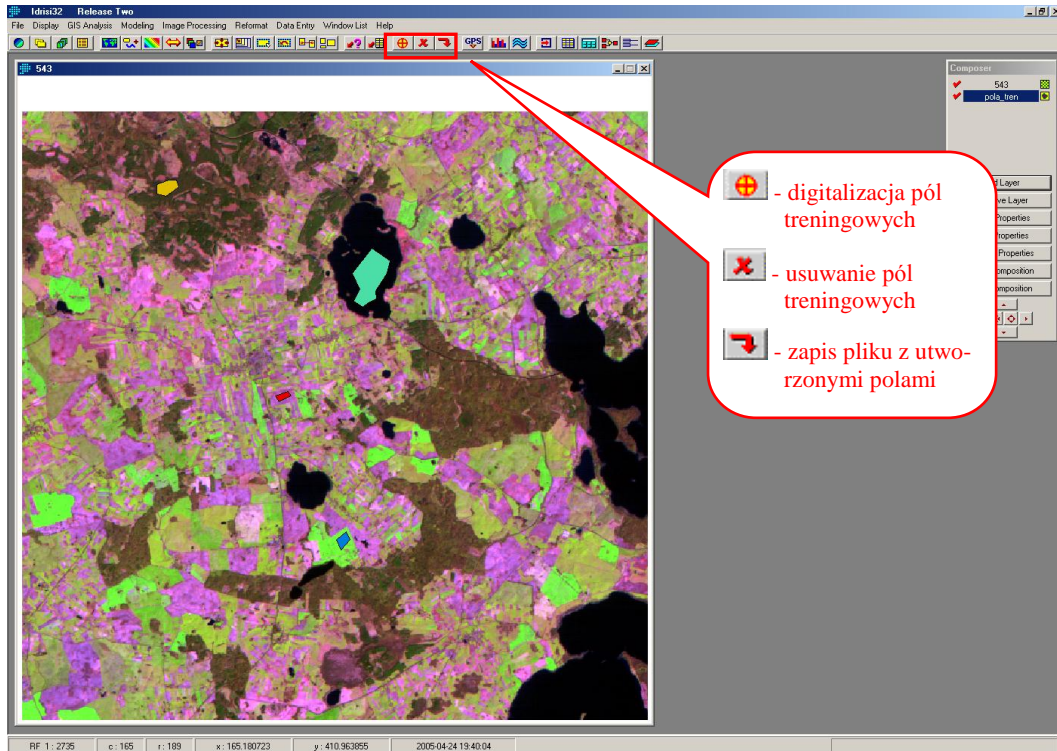
Dokładność użytkownika jest zdefiniowana poprzez liczbę pikseli sklasyfikowanych poprawnie w stosunku do liczby pikseli będących faktycznie danym typem pokrycia terenu (w terenie). Czyli w przypadku klasy „pszenica” będzie to iloraz $310/400$, czyli 77.50%. Z kolei liczba pikseli sklasyfikowanych poprawnie w stosunku do liczby pikseli sklasyfikowanych jako dana klasa określana jest mianem **dokładności producenta**. W odniesieniu do klasy „pszenica” będzie to $310/398$, czyli 77.89%. Piksele, które sklasyfikowano jako daną klasę a w rzeczywistości (w terenie) nią nie są mówią o **błędzie z tytułu nadmiaru**. Piksele te zostały przypisane do tej klasy nadmiarowo. Dla klasy „pszenica” jest to wartość $88/398$, co daje 22.11%. Z kolei piksele nie zaklasyfikowane do danej klasy, mimo iż do niej powinny należeć mówią o **błędzie z tytułu pominięcia**. W przypadku klasy „pszenica” 90 pikseli zostało nie zaklasyfikowanych do tej klasy, mimo iż w terenie są one tą właśnie klasą. Błąd z tytułu pominięcia w przypadku klasy „pszenica” wyniesie więc $90/400$, czyli 22.50%

W sensie globalnym, określenia średniej dokładności klasyfikacji, interesuje nas ile pikseli obrazu cyfrowego zostało poprawnie sklasyfikowanych. Średnia dokładność klasyfikacji zdefiniowana jest przez stosunek liczby pikseli sklasyfikowanych poprawnie do liczby wszystkich pikseli w klasyfikowanym obrazie. W przypadku analizowanego tu przykładu będzie to $(310+150+130+10+150)/1020$, co daje dokładność wynoszącą 73.53%.

4.2 Ćwiczenie - klasyfikacja cyfrowa obrazów wielospektralnych w IDRISI

Celem ćwiczenia jest opracowanie mapy pokrycia terenu na podstawie wielospektralnych zdjęć satelitarnych LANDSAT TM. W tym celu należy kolejno wykonać następujące operacje:

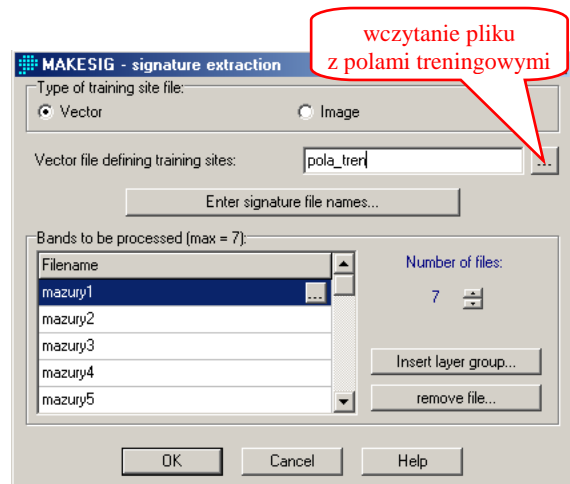
1. Wyświetlenie kompozycji barwnej (**Display Launcher**), która umożliwi dobrą identyfikację różnego rodzaju pokrycia terenu. Wybór kompozycji jest bardzo ważnym etapem i należy dobrze przemyśleć tę decyzję.
2. Zdefiniowanie klas pokrycia terenu, które znajdują się na analizowanym obszarze i które będą przedstawione na mapie pokrycia terenu:
 - lasy (np. liściaste, iglaste, mieszane),
 - gleba odkryta (np. grunt orny, wydmy),
 - roślinność zielona (np. łąki, pastwiska),
 - wody,
 - zabudowa (np. luźna, zwarta, przemysłowa),
 - itd.
3. Przy pomocy opcji **On-screen Digitizing**  digitalizacja pól treningowych (jak najbardziej jednorodnych), reprezentujących wzorzec klasy dla każdego z poszczególnych typów pokrycia terenu. Pola treningowe muszą być jak najbardziej jednorodne, nie powinny więc zawierać np. pikseli brzegowych, które są na ogół mikselami, czyli pikselami mieszanymi, reprezentującymi niejednorodne pokrycie terenu. Funkcja **On-screen Digitizing** umożliwia digitalizowanie obiektów typu: punkt, linia, poligon. Pola treningowe stanowią poligony, więc należy dokonać wyboru „polygon”. Numer w polu ID oznacza identyfikator pola treningowego. W przypadku digitalizacji dwóch pól treningowych dla tej samej klasy, numer ID musi być taki sam dla obu pól.



UWAGA!!! Podczas digitalizacji poligonu **nie wolno** używać przycisków z głównego menu. Możliwe jest jedynie korzystanie z klawiszy nawigacyjnych w menu **Composer**. Użycie przycisków z głównego menu powoduje zawieszenie programu.

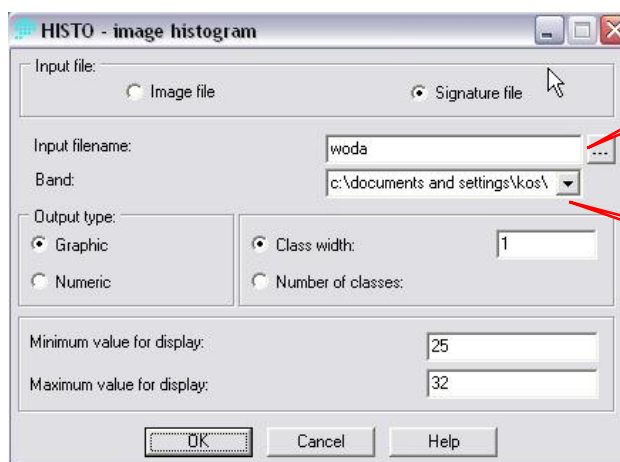
Zapisu pól treningowych dokonuje się poprzez naciśnięcie przycisku . Usunięcie wybranego pola treningowego możliwe jest po dokonaniu zapisu. Aby usunąć wybrane pole trzeba nacisnąć przycisk a następnie postępować zgodnie z podświetloną instrukcją.

4. Następnie należy obliczyć sygnatury (czyli zestawy parametrów statystycznych, charakteryzujących poszczególne pola treningowe) do wykonania klasyfikacji. Opcja **Makesig** (w menu **Image Processing/Signature Development**) służy do obliczenia sygnatur, czyli „wyciągnięcia” informacji statystycznej dla każdego pola treningowego w każdym zakresie spektralnym (**Bands to be processed**). W opcji „**Enter signature file names...**” należy wpisać nazwy poszczególnych pól treningowych (bez polskich liter, znaków przestankowych i spacji).



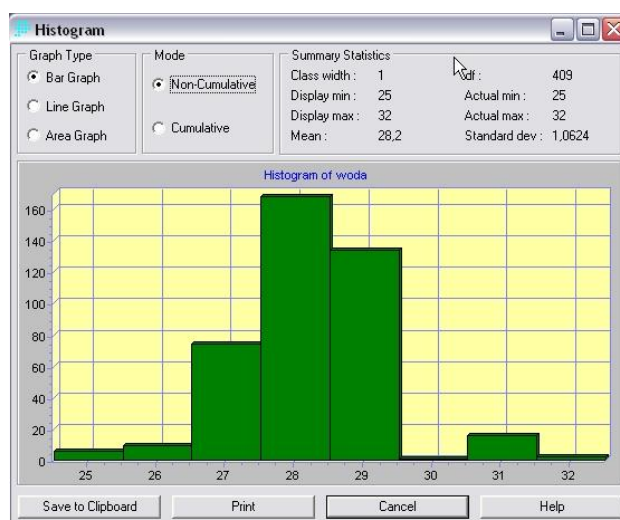
5. Funkcje **Histo** (w menu **Display**), **Sigcom**, **Sepsig** oraz **Scatter** (w menu **Image Processing / Signature Development**) służą do przeglądania i oceny sygnatur obliczonych na podstawie pól treningowych. Jest to następny bardzo ważny etap klasyfikacji. Można na jej podstawie ocenić m.in. jednorodność pól treningowych, sprawdzić czy mają one rozkład normalny, czy sygnatury są rozłączne oraz można wybrać najwłaściwsze zakresy spektralne do wykonania klasyfikacji.

- **HISTO** – ocena jednorodności pól treningowych, wielkości odchylenia standardowego (*Standard dev.*) w próbce (zalecane jest osiągnięcie wartości max. 3-5), zgodności rozkładu z rozkładem normalnym, sprawdzenie liczby pikseli pola treningowego (*df*).

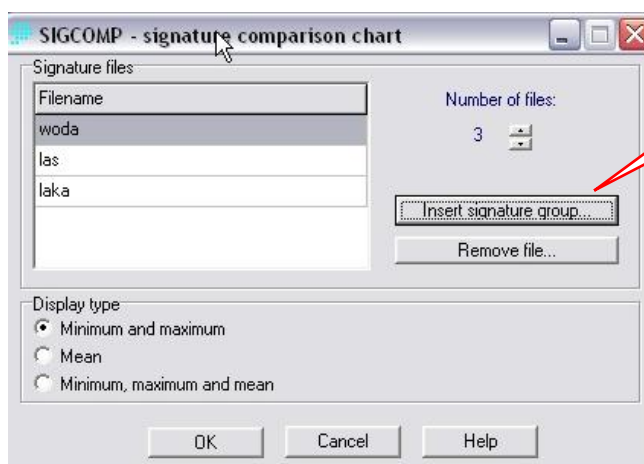


wczytanie sygnatury

wybór zakresu spektralnego

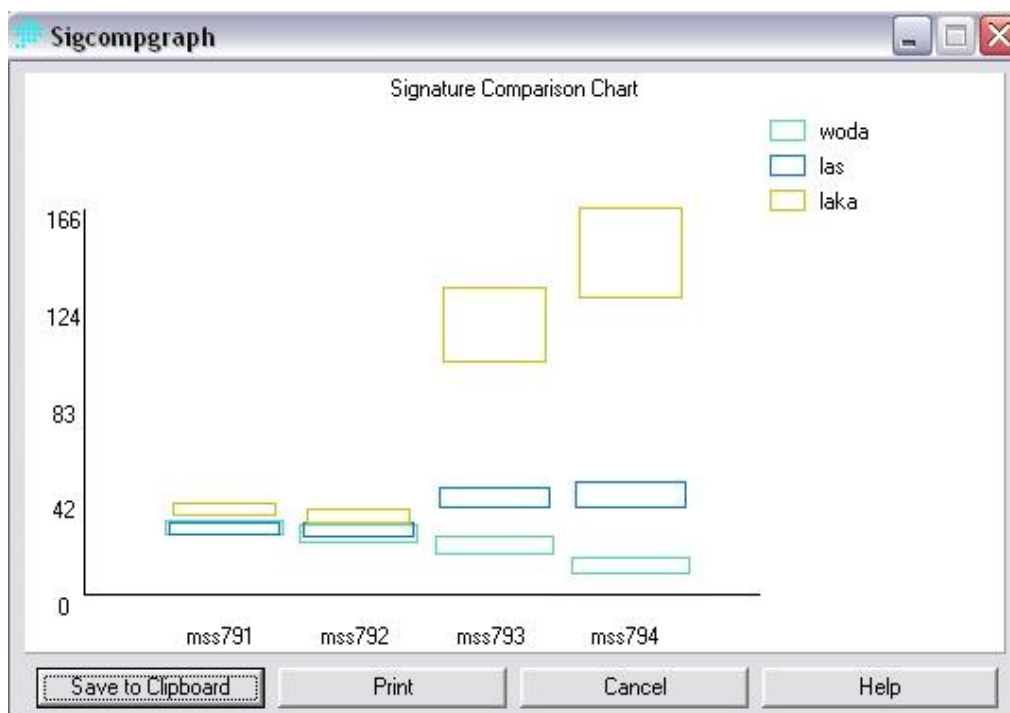


- **SIGCOMP** – ocena rozłączności / zachodzenia sygnatur na siebie.

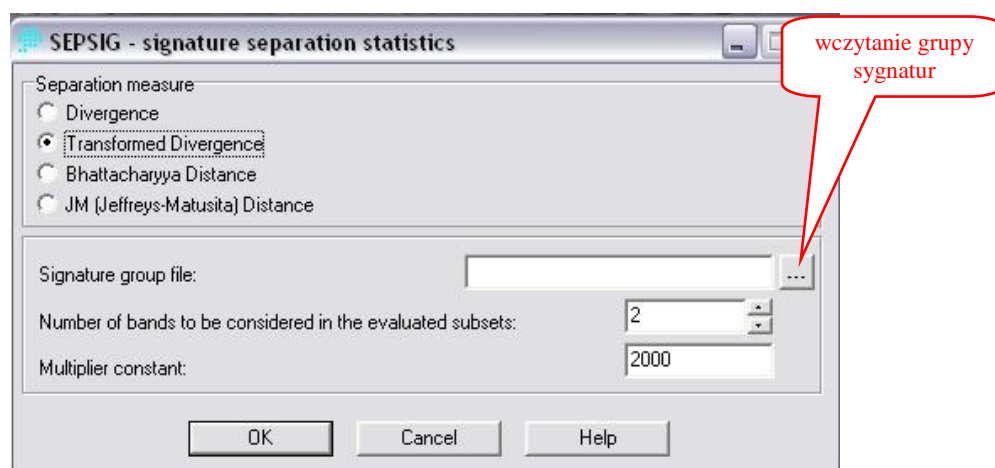


wczytanie grupy sygnatur

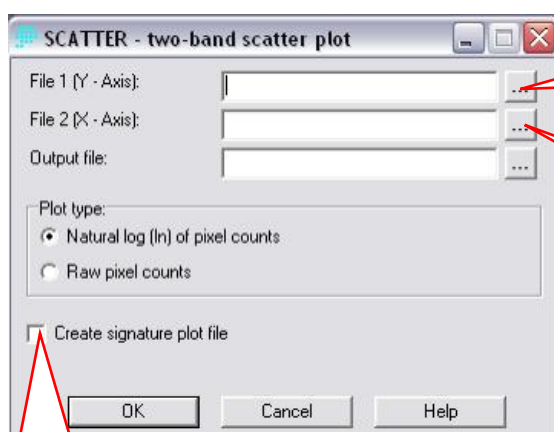
Wykres, jaki uzyskuje się (przykład poniżej) w wyniku działania funkcji **SIGCOMP**, przedstawia przedział wartości radiometrycznych (oś Y) dla poszczególnych sygnatur w poszczególnych zakresach spektralnych (oś X). Funkcja ta przydatna jest także do wyboru zakresów spektralnych wykorzystywanych następnie do klasyfikacji. Zakresy spektralne, w których sygnatury nie pokrywają się będą korzystne do klasyfikacji. Na przedstawionym poniżej przykładzie widać, że wszystkie klasy są rozłączne w dwóch ostatnich kanałach spektralnych i te dwa zakresy są korzystne do rozróżnienia poszczególnych klas.



- **SEPSIG** – ocena statystyczna rozłączności / zachodzenia sygnatur na siebie. Do oceny rozłączności można wykorzystać dywergencję, dywergencję transformowaną, odległość Bhattacharyya i odległość Jeffreys-Matusita. W wyniku uzyskujemy raport tekstowy z oceną rozłączności par sygnatur. Wartości, jakie pojawiają się w raporcie mówią o sile rozłączności pomiędzy poszczególnymi sygnaturami.



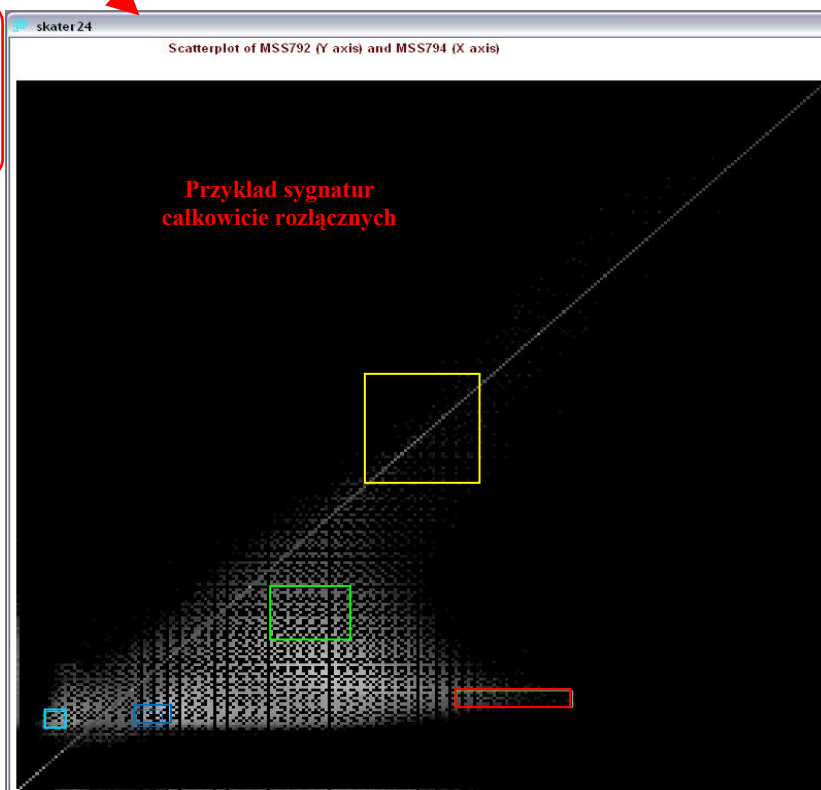
- SCATTER** – ocena rozłączności / zachodzenia sygnatur na siebie w dwuwymiarowej przestrzeni spektralnej, w której osie tworzą wartości radiometryczne z dwóch kanałów spektralnych (np. TM3 i TM4). W wyniku działania opcji SCATTER uzyskane zostają dwa pliki: rastrowy prezentujący rozkład wartości radiometrycznych w dwuwymiarowej przestrzeni spektralnej oraz wektorowy, prezentujący zasięg poszczególnych sygnatur (w postaci prostokątów). Klasy, w przypadku których sygnatury zachodzą na siebie we wszystkich parach zakresów spektralnych nie będą prawidłowo sklasyfikowane. Jeśli choć w jednym zakresie spektralnym sygnatury będą rozłączne, będzie możliwe prawidłowe sklasyfikowanie klas, które one reprezentują.



wczytanie drugiego kanału, np. TM3, którego wartości będą tworzyć oś X wykresu

wczytanie pierwszego kanału, np. TM4, którego wartości będą tworzyć oś Y wykresu

Zaznaczając tę opcję istnieje możliwość wczytania pliku z sygnaturami (grupy sygnatur), które zostaną zwizualizowane w dwuwymiarowej przestrzeni spektralnej.

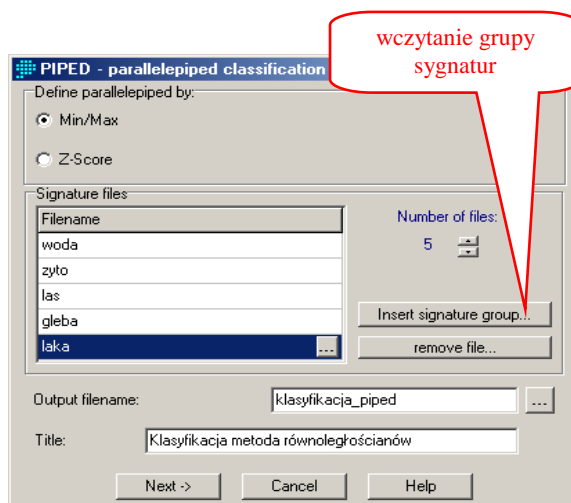


6. Dokonanie wyboru algorytm klasyfikacji (menu *Image Processing / Hard Classifiers/*):

- metoda równoległości: **Piped**,
- metoda najmniejszych odległości: **Mindist**,
- metoda maksymalnego prawdopodobieństwa: **Maxlike**.

Po podaniu wybraniu pliku z sygnaturami i zdefiniowaniu pliku wyjściowego należy nacisnąć klawisz **Next ->**. Pojawia się wówczas okienko, w którym można dokonać wyboru kanałów do klasyfikacji. Użytkownik może również wybrać dowolną liczbę zakresów wykorzystywanych do klasyfikacji.

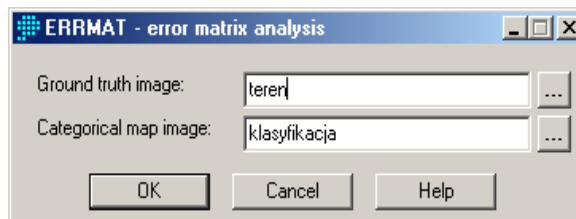
Przy doborze kanałów do klasyfikacji pomocne może być badanie korelacji międzykanałowej z wykorzystaniem opcji **PCA**. Kanały, które są silnie skorelowane zawierają podobne informacje, zaś te o najniższej korelacji zawierają odmienne informacje.



7. Wykonanie klasyfikacji przy użyciu różnych algorytmów i przy wykorzystaniu różnych zakresów spektralnych. Następnie należy porównać wyniki uzyskane przy pomocy różnych algorytmów i przy różnych zestawach zakresów spektralnych. Wyniki klasyfikacji najpierw oceniamy wizualnie porównując z obrazem satelitarnym, na podstawie którego wykonywana jest klasyfikacja. Ocena ta służy m.in. wstępnemu określeniu przy pomocy którego algorytmu i dla którego zestawu zakresów spektralnych uzyskano najlepsze wyniki?

8. **Jeśli wyniki klasyfikacji są niezadowolające** należy przeprowadzić stosowane korekty. Konieczne może okazać się pozyskanie nowych pól treningowych w przypadku niektórych klas lub zdefiniowanie dodatkowych klas pokrycia terenu.

9. Ocena dokładności klasyfikacji wykonywana jest dla zestawu nowo pozyskanych pól testowych, za pomocą funkcji **ERRMAT** (w menu *Image Processing / Accuracy Assessment/*). W tym celu wcześniej należy utworzyć pola testowe w analogiczny sposób, jak miało to miejsce w przypadku pól treningowych. **Pola testowe nie mogą pokrywać się z polami treningowymi!** Po utworzeniu pól testowych należy je przekonwertować do postaci rastrowej wykorzystując do tego celu opcję **Raster / Vector Conversion**.

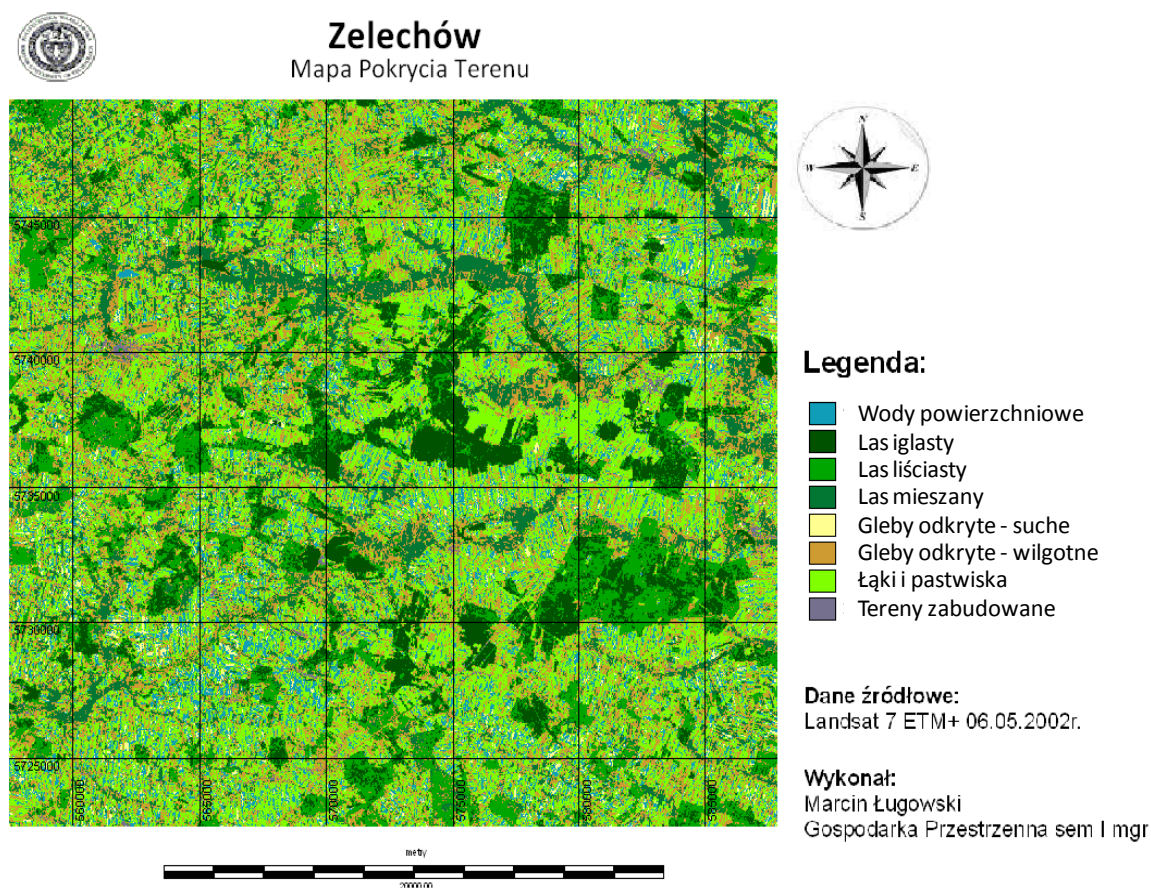


Po uruchomieniu opcji **ERRMAT** należy odpowiednio wczytać pola testowe (**Ground truth image**) i oceniany wynik klasyfikacji (**Categorical map image**). W wyniku zastosowania opcji **ERRMAT** otrzymywana jest macierz błędów, którą należy dokładnie przeanalizować. Sprawdź jakie błędy z tytułu pominięcia a jakie z tytułu nadmiaru występują dla każdej z klas, oblicz dokładność użytkownika i wykonawcy oraz średnią dokładność klasyfikacji.

Przy wykorzystaniu tej opcji można również porównać dowolne dwie klasyfikacje.

10. Jakie mogą być ewentualne przyczyny błędów. Na którym z etapów popełniono błąd? Który etap realizacji klasyfikacji ma kluczowe znaczenie?

11. Końcowym etapem ćwiczenia jest przygotowanie mapy pokrycia terenu do wydruku. W tym celu należy wyświetlić wynik najlepszej klasyfikacji i w sposób interaktywny stworzyć paletę barwną (opcja *Symbol Workshop*) dla tego obrazu. Należy również przygotować legendę dla tego obrazu (Zakładka *Legend* w opcji *Metadata*) a następnie zdefiniować pozostałe elementy kartograficzne mapy. Przygotowaną do druku mapę zapisujemy jako *Map composition* (*Save composition*) oraz obraz w formacie **BMP**.



Ryc. 26. Mapa pokrycia terenu - przykładowe opracowanie