

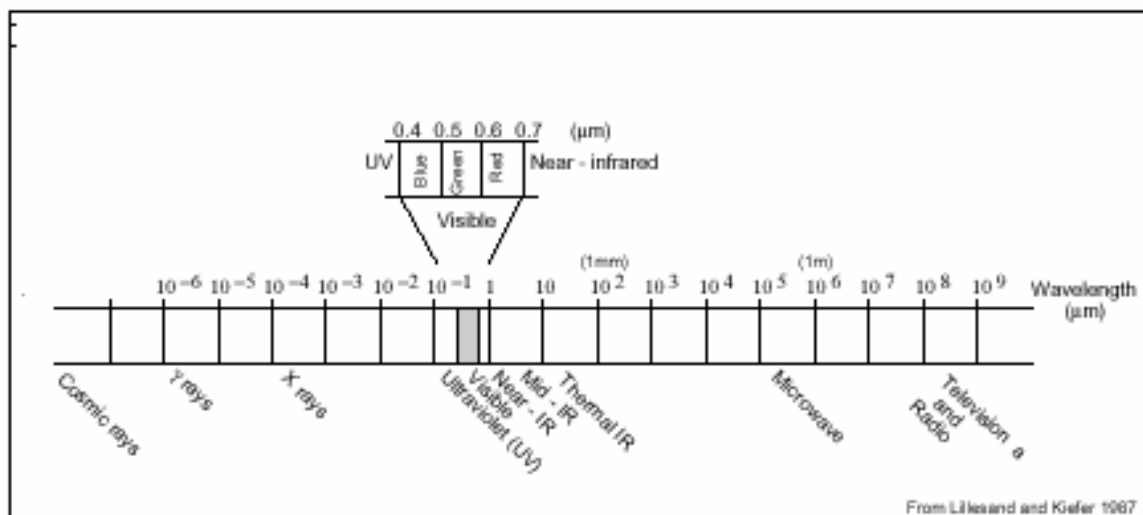
## Teledetekcja

Teledetekcję zdefiniować można jako proces zdalnego pozyskiwania informacji o obiektach lub zjawiskach. Pozyskiwanie informacji w sposób zdalny oznacza, iż badany obiekt i badający go sensor nie wchodzi z sobą w bezpośredni kontakt. Przykładem takiego sensora mogą być ... ludzkie oczy. Za ich pomocą każdy z nas pozyskuje informację o otoczeniu rejestrując widzialne promieniowanie elektromagnetyczne odbijane od znajdujących się w polu widzenia obiektów. Przykład sensora nie teledetekcyjnego stanowić może natomiast termometr – żeby uzyskać za jego pomocą informację o temperaturze musimy dotknąć nim badanego obiektu, czyli wejść z nim w kontakt.

Teledetekcja koncentruje się przede wszystkim na określaniu cech jakościowych badanych obiektów, a więc na odpowiedzi na pytania w rodzaju: co to jest?, jakie ma własności?. Dane pozyskane w wyniku badania teledetekcyjnego posiadać mogą charakter punktowy lub przestrzenny. Dane o charakterze przestrzennym posiadają zazwyczaj postać obrazu cyfrowego. Mamy wówczas do czynienia z tzw. teledetekcją obrazową.

Ogromna większość sensorów teledetekcyjnych jako nośnik informacji o badanym obiekcie wykorzystuje promieniowanie elektromagnetyczne. Dla porządku należy w tym miejscu zaznaczyć, iż istnieją również sensory działające na innej zasadzie (np. sonary rejestrujące fale dźwiękowe). Ze względu na źródło pochodzenia rejestrowanego promieniowania sensory dzieli się na dwie grupy: pasywne i aktywne. Sensory pasywne rejestrują promieniowanie pochodzące od istniejących w środowisku źródeł energii (np. Słońca). Sensory aktywne emitują własną energię, która wchodzi w interakcję z badanymi obiektami i powraca z powrotem do sensora.

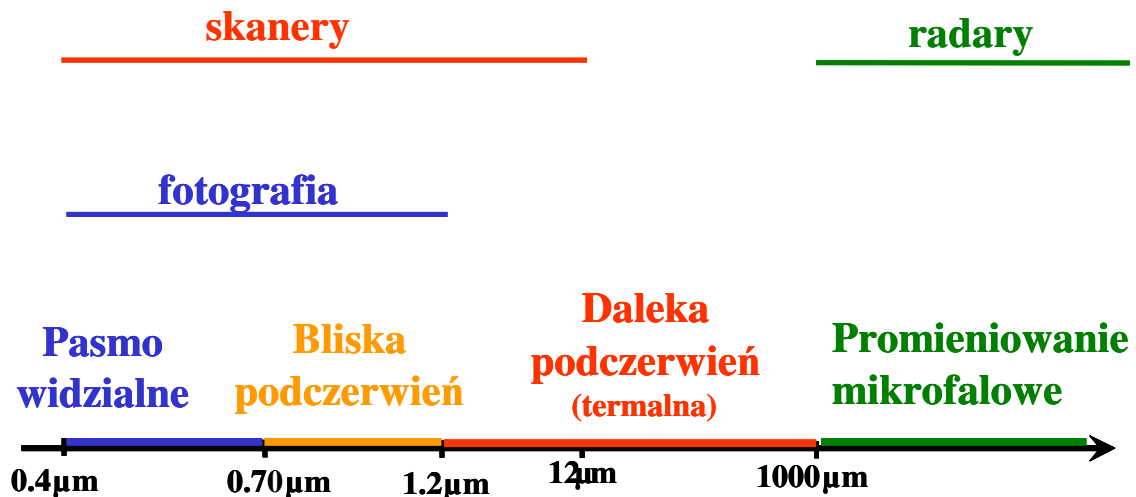
Termin promieniowanie elektromagnetyczne odnosi się do poruszających się z prędkością światła fal elektromagnetycznych o różnej długości.



Spektrum promieniowania elektromagnetycznego

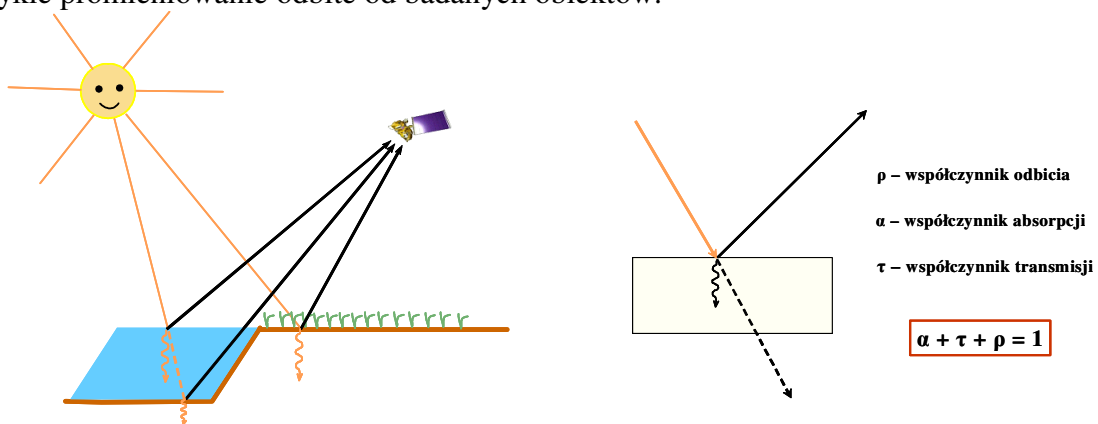
Jednak nie wszystkie długości fal znajdują zastosowanie w teledetekcji. Po pierwsze dlatego, iż nie wszystkie niosą interesującą nas informację o obiektach. Ale również dlatego,

iż dla niektórych długości fal znaczna część promieniowania ulega absorpcji i/lub rozproszeniu w atmosferze. Zakres promieniowania użytecznego z punktu widzenia teledetekcji zaczyna się wraz z pasmem promieniowania widzialnego i rozciąga poprzez bliską i średnią podczerwień, aż do podczerwieni termalnej i dalej do zakresu promieniowania mikrofalowego. Jednak i w tych zakresach stosowanie niektórych długości fal jest ograniczone ze względu na zakłócający wpływ atmosfery.

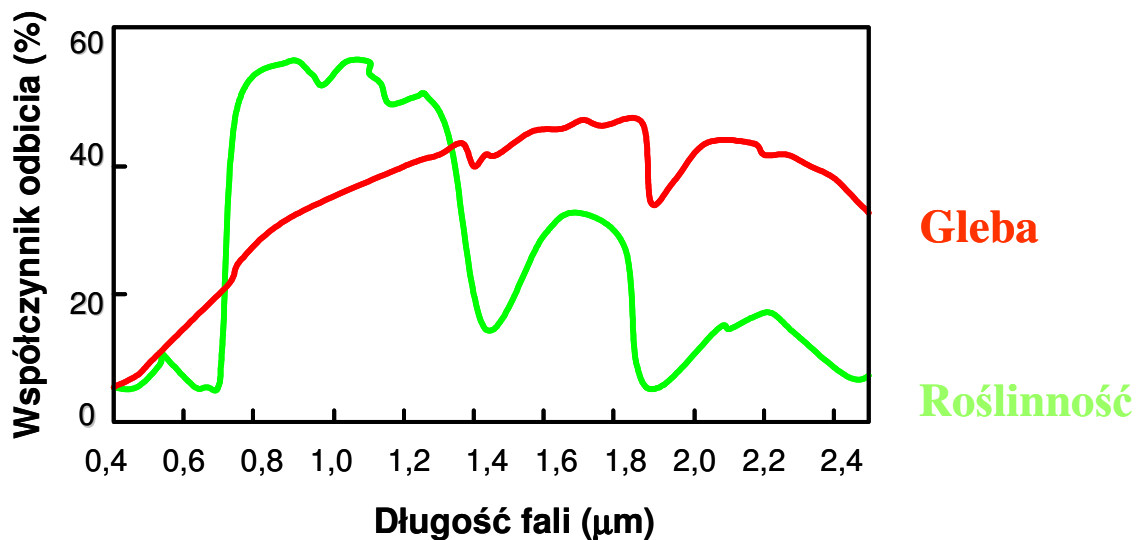


Zakresy spektralne promieniowania elektromagnetycznego wykorzystywane w teledetekcji

Promieniowanie elektromagnetyczne docierające do obiektu wchodzi z nim w trzy rodzaje interakcji – ulega odbiciu, absorpcji lub transmisji. Sensory teledetekcyjne rejestrują zwykle promieniowanie odbite od badanych obiektów.

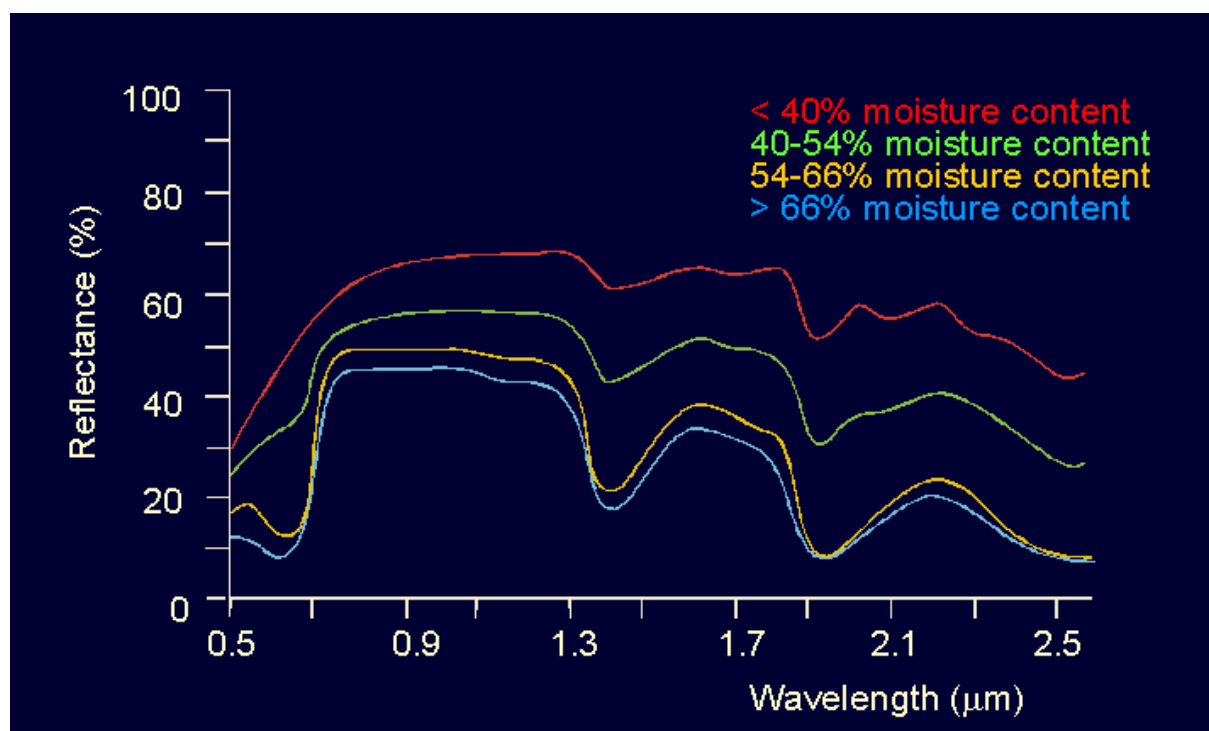


To, jaka część promieniowania ulega odbiciu, jaka absorpcji, a jaka transmisji zależy od właściwości obiektu i długości fali promieniowania. Charakterystyka współczynnika odbicia w zależności od długości fali stanowi tzw. krzywą spektralną.

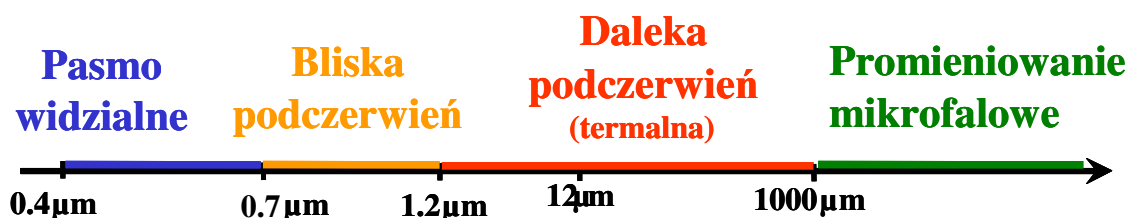


Przykłady krzywych spektralnych

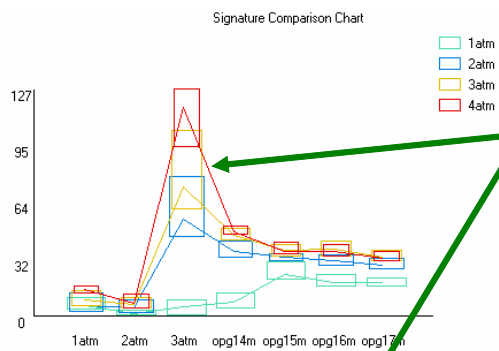
U podstaw teledetekcji leży założenie, iż charakterystyki odbicia promieniowania (krzywe spektralne) poszczególnych badanych obiektów wykazują różnice wystarczające by dokonać ich rozróżnienia. W praktyce jednak zagadnienie to okazało się nieco bardziej złożone, gdyż na charakter odpowiedzi spektralnych (odbicia promieniowania w poszczególnych zakresach długości fal) badanych obiektów wpływają różne czynniki. I tak np. krzywe spektralne poszczególnych gatunków roślin różnić się mogą w różnych fazach fenologicznych ich rozwoju czy różnych porach roku, na krzywe spektralne gleby wpływa stopień jej uwilgocenia, itp. Krzywe spektralne poszczególnych obiektów (materiałów, substancji, itd.) oraz ich zmiany następujące pod wpływem różnych czynników możemy dokładnie badać w laboratorium lub w terenie przy użyciu przyrządów zwanych spektrometrami.



Różnice krzywej spektralnej gleby spowodowane różnym stopniem jej uwilgocenia

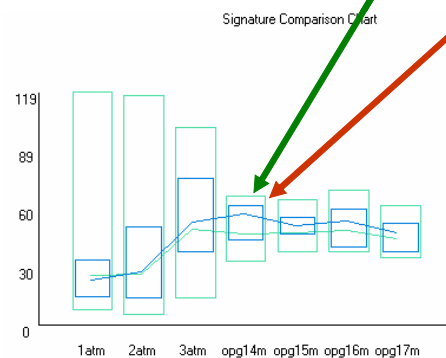


Wielkość promieniowania docierającego do sensora może być rejestrowana na przestrzeni różnych fragmentów spektrum elektromagnetycznego. Obraz jaki otrzymamy zależy od sposobu tej rejestracji. Możemy np. otrzymać obraz panchromatyczny rejestrując całość promieniowania z zakresu widzialnego. Zróżnicowanie promieniowania zwizualizować możemy w takim przypadku przy użyciu skali szarości. Jeśli jednak zastosujemy odpowiednie filtry, to to samo promieniowanie rozdzielić możemy np. na trzy składowe: niebieską, zieloną i czerwoną. W takim przypadku otrzymamy obraz kolorowy, który de facto składał się będzie z trzech obrazów odpowiadających poszczególnym zakresom spektrum. Obraz taki możemy już nazwać obrazem wielospektralnym. Nazwa ta oznacza, iż składa się on z wielu (w tym przypadku trzech) obrazów składowych zarejestrowanych w różnych fragmentach spektrum elektromagnetycznego. Ilość obrazów składających się na obraz wielospektralny może być różna w zależności od rodzaju sensora (skanera wielospektralnego). Poszczególne obrazy składające się na obraz wielospektralny, jak również zakresy promieniowania, w których zostały one zarejestrowane, noszą nazwę kanałów.

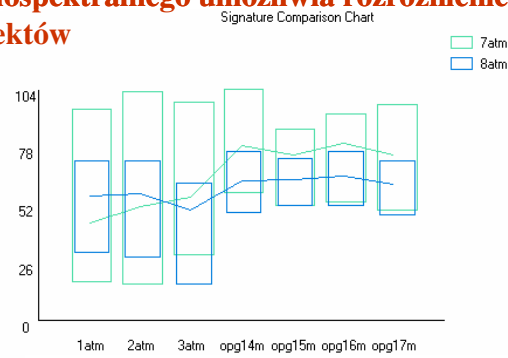


**Przyczyna stosowania obrazów wielospektralnych: charakterystyki spektralne niektórych obiektów (np. różnych gatunków drzew) różnią się czasem jedynie w niektórych (małych) fragmentach spektrum (kanałach).**

**Odróżnienie tych obiektów na obrazie panchromatycznym lub nawet kolorowym jest w zasadzie niemożliwe.**



**Wykrycie różnicy w tym jednym kanale obrazu wielospektralnego umożliwia rozróżnienie obiektów**



Obrazy hiperspektralne, tak jak wielospektralne, składają się z obrazów zarejestrowanych w różnych fragmentach spektrum. Różnica polega na tym, iż w przypadku obrazu hiperspektralnego mamy do czynienia ze zdecydowanie większą ilością kanałów (od kilkudziesięciu do kilkuset). Poszczególne kanały są znacznie gęściej rozmieszczone i obejmują niewielkie fragmenty spektrum elektromagnetycznego (10-20 nm).

Idea zobrazowań hiperspektralnych przedstawia się następująco. Im więcej zarejestrujemy kanałów tym więcej będziemy mieć możliwości wykrycia różnic w charakterze odbicia spektralnego badanych przez nas obiektów. Jednocześnie coraz bardziej zbliżać się będziemy do kształtu rzeczywistych krzywych spektralnych tych obiektów. Jeśli bylibyśmy w stanie zarejestrować odpowiednio wiele odpowiednio wąskich fragmentów spektrum, to moglibyśmy rozpoznawać obiekty poprzez porównanie zarejestrowanych odpowiedzi spektralnych z krzywymi spektralnymi uzyskanymi z pomiarów spektrometrycznych. Krzywe takie publikowane są w formie tzw. bibliotek spektralnych.

Dane teledetekcyjne pozyskane przez sensory obrazujące poddawane są różnorodnym operacjom komputerowym, które określane są jako cyfrowe przetwarzanie obrazów. W cyfrowym przetwarzaniu obrazów teledetekcyjnych wydzielić można cztery grupy działań:

- korekcje wstępne,
- wzmocnienie odwzorowania,
- klasyfikację,
- transformacje.

Korekcje wstępne mają na celu usunięcie zniekształceń i zakłóceń oraz kalibrację obrazu. Operacje te zmierzają do uzyskania obrazu stanowiącego możliwie najwierniejsze odwzorowanie obiektów na powierzchni Ziemi. Wzmocnienie odwzorowania polega na przetwarzaniu obrazów w taki sposób, by zwiększyć ich wizualne walory interpretacyjne.

Klasyfikacja jest procesem, w którym interpretacja obrazów jest dokonywana w sposób częściowo zautomatyzowany przy pomocy systemu komputerowego. I wreszcie transformacje obrazu polegają na poddaniu obrazów teledetekcyjnych przekształceniom przy użyciu formuł matematycznych. W efekcie transformacji uzyskujemy nowy obraz lub zestaw obrazów, zwykle o lepszych walorach interpretacyjnych dla jakiegoś określonego celu.

Wstępne korekcje obrazu podzielić można na korekcje radiometryczne i geometryczne. Korekcje radiometryczne mają na celu zniwelowanie zakłóceń wpływających na wartość poziomu zarejestrowanej przez detektory energii promieniowania i usunięcie tych zniekształceń. Przede wszystkim chodzi w tym przypadku o zniekształcenia wartości rejestrowanego przez sensor promieniowania odbitego od obiektów na powierzchni Ziemi wywołane istnieniem warstwy atmosfery pomiędzy powierzchnią Ziemi i sensorem. W grupie korekcji radiometrycznych mieszczą się również operacje polegające na usunięciu błędów rejestracji wprowadzanych do zobrazowania przez poszczególne detektory skanera. Do grupy tej zaliczyć możemy także procedury kalibracyjne polegające na zamianie wartości jasności poszczególnych pikseli obrazu (będących w istocie bezwymiarowymi relatywnymi wartościami obijalności obiektów na powierzchni Ziemi) na wartości wielkości promieniowania (radiancji).

Korekcje geometryczne polegają na usunięciu zniekształceń obrazu wywołanych ruchem sensora obrazującego oraz wpasowaniu obrazu w pożądaną z punktu widzenia użytkownika układ współrzędnych. Do grupy tej zalicza się również ortorektyfikację – proces, w którym usuwane są dodatkowo zniekształcenia powodowane zmienną wysokością terenu oraz wynikające z geometrii odwzorowania.

Niezależnie od wprowadzania różnorodnych technik cyfrowych fundamentalną rolę w opracowywaniu zobrazowań teledetekcyjnych odgrywa wciąż interpretacja wizualna. Dlatego dużego znaczenia nabierają techniki przetwarzania obrazów polepszające ich wizualne wartości interpretacyjne. Do podstawowych operacji tego rodzaju (czyli technik wzmacniania odwzorowania) należą: wzmacnianie kontrastu, tworzenie kompozycji barwnych oraz filtracja cyfrowa.

Satelitarne obrazy teledetekcyjne charakteryzuje zwykle niski kontrast. Wynika to z faktu, iż sensory teledetekcyjne projektuje się w taki sposób, by były zdolne obrazować obiekty o krańcowo odmiennych jasnościach (np. bardzo ciemne duże obszary wodne i bardzo jasne lodowce). W typowej scenie satelitarnej zwykle mamy do czynienia z o wiele mniej dramatycznymi różnicami jasności – stąd niski kontrast. Wzmocnienie kontrastu obrazu zwiększa jego wizualną interpretacyjność, ponieważ jednak wiąże się z modyfikacją oryginalnych zarejestrowanych jasności pikseli, obraz po tej operacji nie może być używany w procesie klasyfikacji.

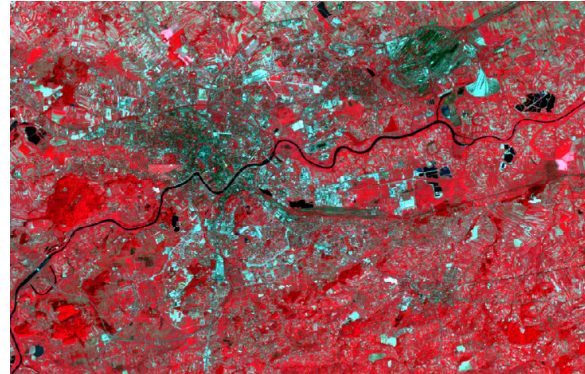


Obraz panchromatyczny z satelity Landsat7 przed i po operacji wzmocnienia kontrastu.

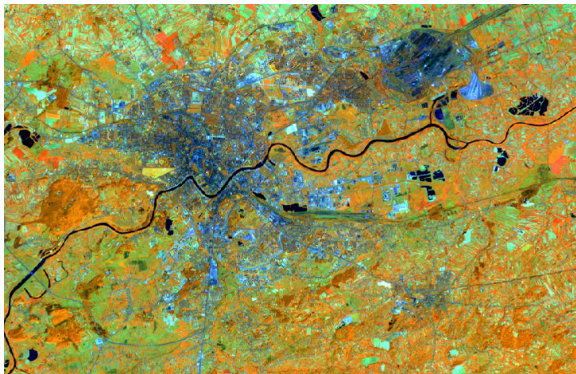
Z punktu widzenia interpretacji wizualnej obraz kolorowy niesie znacznie więcej informacji niż obrazy w skali szarości. Dlatego w teledetekcji stosuje się technikę kompozycji barwnych. Polega ona na tworzeniu obrazu kolorowego (RGB) z dowolnych trzech składowych (kanałów) obrazu wielospektralnego. Kompozycja w barwach zbliżonych do naturalnych uzyskana zostanie jedynie w przypadku, gdy za czerwoną składową RGB podstawimy kanał czerwony obrazu wielospektralnego, za zieloną – zielony i za niebieską – niebieski. W pozostałych przypadkach uzyskamy kompozycje w barwach fałszywych. Zawsze jednak wizualizacja w kolorze ułatwi interpretację obrazu wielospektralnego oraz wychwycenie różnic pomiędzy poszczególnymi kanałami.



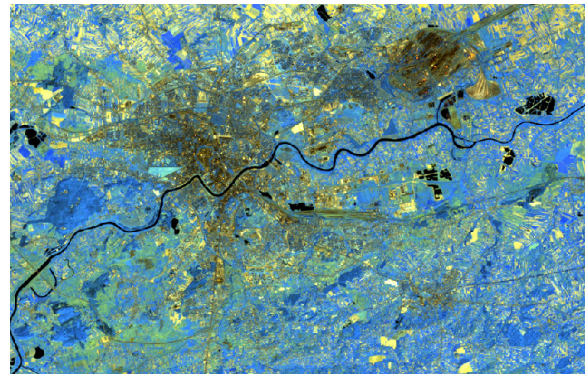
Landsat7 – kompozycja z kanałów 123



Landsat7 – kompozycja z kanałów 234



Landsat7 – kompozycja z kanałów 154



Landsat7 – kompozycja z kanałów 457

Cyfrowe techniki filtracyjne mogą być stosowane w odniesieniu do obrazów teledetekcyjnych w różnych celach, np. usunięcia nieostrości, wykrycia i podkreślenia krawędzi.



Landsat7 – obraz panchromatyczny i efekt filtracji filtrem wzmacniającym krawędzie

Klasyfikacja jest procesem, w którym interpretacja obrazów jest dokonywana w sposób częściowo zautomatyzowany, przy pomocy systemu komputerowego. Większość procedur klasyfikacyjnych oparta jest wyłącznie o cechy spektralne obrazu wielospektralnego, tzn. o wartości pikseli poszczególnych kanałów spektralnych. Istnieją dwie główne metody klasyfikacji: nadzorowana i nienadzorowana. W klasyfikacji nadzorowanej system komputerowy wydziela poszczególne obiekty (klasy pokrycia terenu) na podstawie parametrów statystycznych pochodzących ze wskazanych przez operatora fragmentów obrazu stanowiących wzorce wydzielanych klas (tzw. pól treningowych). W przypadku klasyfikacji nienadzorowanej system komputerowy określa piksele obrazu, które są podobne do siebie we wszystkich kanałach spektralnych, natomiast zadaniem operatora jest dokonanie interpretacji wydzielonych klas poprzez przypisanie im odpowiednich klas użytkowania terenu.

W klasyfikacji nadzorowanej pierwszym etapem jest określenie przez operatora pól treningowych – fragmentów obrazu stanowiących wzorce klas, jakie system ma wydzielić (klasami tymi są zwykle typy pokrycia/użytkowania terenu). Wzorce te powinny zostać określone przez operatora w taki sposób by były reprezentatywne dla wydzielanej klasy (tzn. by były to fragmenty pokrycia terenu typowe dla danej klasy i zawierały próbkę pikseli odpowiednio liczną dla uzyskania wiarygodnej informacji statystycznej) oraz homogeniczne (tzn. by nie zawierały pikseli należących do innych wydzielanych w procesie klasyfikacji klas). System komputerowy analizuje następnie te wskazane fragmenty obrazu. Efektem tej analizy są tzw. sygnatury klas – zestaw parametrów statystycznych charakteryzujących piksele należące do wzorców poszczególnych klas. Określone parametry różnią się w zależności od wybranej metody klasyfikacji nadzorowanej. W najprostszych metodach określana jest np. tylko średnia odpowiedź spektralna lub zakres odpowiedzi spektralnych w poszczególnych kanałach. W przypadku metod bardziej zaawansowanych dokonywana może być np. szczegółowa analiza średniej, wariancji i kowariancji pomiędzy poszczególnymi kanałami spektralnymi obrazu wielospektralnego. Po sporządzeniu sygnatur klas system komputerowy dokonuje klasyfikacji obrazu badając odpowiedzi spektralne każdego z pikseli w poszczególnych kanałach i podejmując decyzję, do jakiego z analizowanych wzorców klas piksel ten jest najbardziej podobny. Używana reguła decyzyjna zależy od wybranej metody klasyfikacji. Metodą najczęściej stosowaną jest metoda największego prawdopodobieństwa.

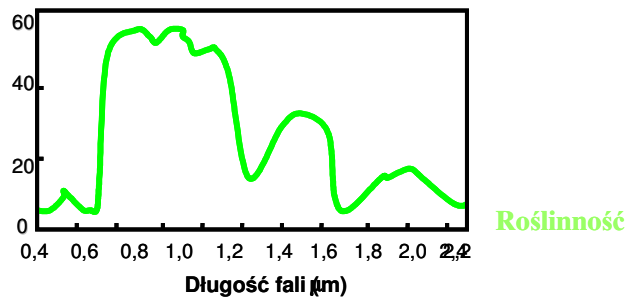
W przypadku klasyfikacji nienadzorowanej nie jest konieczne dostarczenie systemowi przez operatora żadnych informacji wstępnych. System analizuje obrazy wielospektralne poszukując grup pikseli o podobnych właściwościach spektralnych, tzn. podobnych wartościach we wszystkich kanałach. Wydzielane grupy pikseli noszą nazwę klastrow. Następnie operator przypisuje klastrom odpowiednie klasy pokrycia terenu. Interpretacja taka wymaga oczywiście od operatora znajomości analizowanego terenu lub wizyt w terenie w celu identyfikacji klas użytkowania odpowiadających poszczególnym klastrom. Różnica pomiędzy klasyfikacją nadzorowaną i nienadzorowaną polega m.in. na tym, że w przypadku pierwszej system jest w stanie wydzielić jedynie takie klasy, dla jakich operator dostarczy wzorce.

Ważnym etapem klasyfikacji, zarówno nadzorowanej jak i nienadzorowanej, jest ocena dokładności. Polega ona na określeniu zestawu punktów kontrolnych, w których sprawdza się w terenie istniejący sposób użytkowania. Informacja uzyskana w terenie jest następnie porównywana z wynikiem klasyfikacji. Może być ona następnie użyta w celu poprawy procesu klasyfikacji, np. ponownego określenia niektórych pól treningowych.

Przykładem operacji z grupy transformacji obrazu mogą być przekształcenia zwane indeksami wegetacji. Opierają się one na wielkości odbicia spektralnego w kanałach czerwonym i podczerwonym. W tych dwóch kanałach następuje szczególne oddziaływanie pomiędzy wegetacją a promieniowaniem elektromagnetycznym.



### Współczynnik odbicia (%)



Odbicie w kanale czerwonym jest niskie ze względu na absorpcję promieniowania w cząsteczkach chlorofilu. W kanale podczerwonym natomiast wartość współczynnika odbicia jest wysoka, ze względu na strukturę liści.

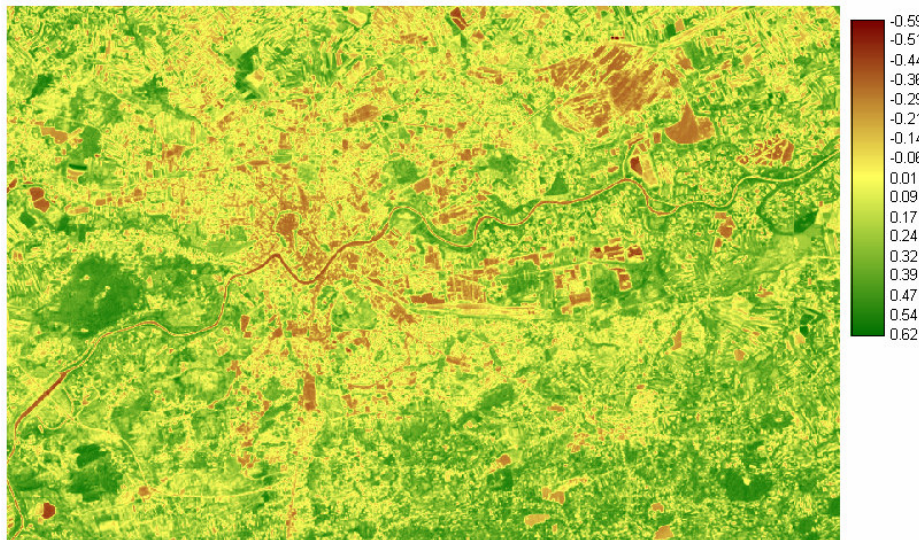
Jednym z najczęściej stosowanych indeksów wegetacji jest NDVI (Normalized Difference Vegetation Index – Znormalizowany Różnicowy Indeks Wegetacji). Posiada on następującą postać:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED}), \text{ gdzie}$$

NIR – kanał podczerwony,

RED – kanał czerwony.

Obraz indeksu wegetacji interpretować możemy w ten sposób, że im wyższa wartość tego indeksu tym większa istniejąca w danym miejscu biomasa. Wartości ujemne odpowiadają terenom pozbawionym roślinności – odkrytej glebie, wodzie, terenom wybetonowanym, itp.



Indeks wegetacji NDVI

## WYBRANE SATELITY TELEDETEKCYJNE

### NOAA

NOAA to seria satelitów przeznaczonych do celów meteorologicznych i monitoringu środowiska w skali globalnej. Wysokość orbity wynosi ok. 833 km. Na ich pokładzie znajduje się skaner AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) obrazujący w zakresie promieniowania czerwonego, bliskiej i średniej podczerwieni oraz dwóch zakresach podczerwieni termalnej. Rozdzielczość przestrzenna obrazów AVHRR wynosi 1,1x1,1 km. Każdy fragment powierzchni Ziemi obrazowany jest przez jeden z sensorów AVHRR dwukrotnie w ciągu dnia. Skaner przeznaczony jest do badania pokrycia terenu oraz dziennego i nocnego badania chmur, śniegu, lodu i temperatury powierzchni Ziemi. Obrazy AVHRR wykorzystuje się m.in. do monitorowania upraw i prognozowania plonów, monitorowania lasów tropikalnych oraz terenów zagrożonych pustynnieniem.

### LANDSAT

Od umieszczenia na orbicie w roku 1972 pierwszego satelity z tej serii rozpoczęła się era gospodarczej teledetekcji satelitarnej. Obecnie na orbicie znajdują się dwa satelity z tej serii: Landsat 5 i Landsat 7. Wysokość orbity dla obu tych satelitów jest jednakowa i wynosi 705 km. Każdy z satelitów obrazuje dany fragment powierzchni Ziemi co 16 dni.

Skaner TM (Thematic Mapper) satelity Landsat 5 obrazuje w trzech kanałach widzialnych (niebieskim: 0,45-0,52  $\mu\text{m}$ ; zielonym: 0,52-0,60  $\mu\text{m}$ ; czerwonym: 0,63-0,69  $\mu\text{m}$ ), bliskiej podczerwieni (0,76-0,90  $\mu\text{m}$ ), dwóch kanałach z zakresu średniej podczerwieni (1,55-1,75 oraz 2,08-2,35  $\mu\text{m}$ ) oraz w kanale termalnym (10,40-12,50  $\mu\text{m}$ ). Kanał z zakresu podczerwieni termalnej posiada rozdzielczość przestrzenną 120x120 m, natomiast pozostałe kanały rozdzielczość 30x30 m.

Satelita Landsat 7 posiada na pokładzie unowocześniony skaner ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus). Obrazuje on w tych samych zakresach spektralnych, co skaner TM Landsata 5, przy czym zwiększono rozdzielczość kanału termalnego do 60x60 m. Dodatkowo Landsat 7 rejestruje również obrazy panchromatyczne (0,52-0,90  $\mu\text{m}$ ) o rozdzielczości 15 m.

Obrazy rejestrowane przez satelity serii Landsat należą do najpowszechniej wykorzystywanych materiałów teledetekcyjnych. Kanały spektralne skanerów TM i ETM+ zostały zaprojektowane pod kątem pozyskiwania informacji o środowisku. Kanał niebieski stosowany jest do badania wód (promieniowanie z tego zakresu częściowo przenika przez czystą wodę) oraz analiz pokrycia terenu, gleb i wegetacji. Promieniowanie rejestrowane w kanale zielonym odpowiada zakresowi zwiększonej odbijalności dla zdrowej roślinności. Kanał czerwony pokrywa się z zakresem absorpcji promieniowania dla chlorofilu. Kanał ten używany jest również w kartografii gleb i geologii. Kanał bliskiej podczerwieni umożliwia ocenę ilości biomasy. Wykorzystuje się go m.in. w monitorowaniu upraw. Promieniowanie rejestrowane w zakresie 1,55-1,75  $\mu\text{m}$  pozwala m.in. na ocenę zawartości wody w roślinach (ważne np. w monitorowaniu upraw i ocenie zagrożenia suszami). Ponadto jest to jeden z niewielu zakresów promieniowania, w którym możliwe jest rozróżnianie pomiędzy chmurami, śniegiem i lodem, co czyni go niezwykle ważnym w badaniach hydrologicznych. Drugi z zakresów średniej podczerwieni wykorzystywany jest dla rozpoznawania utworów geologicznych. Kanał termalny umożliwia pomiar temperatury powierzchni Ziemi. Znajduje on zastosowanie w lokalizowaniu i monitorowaniu obszarów aktywności geotermalnej, badaniach geologicznych, ocenie wilgotności gleby oraz monitorowaniu roślinności.

## SPOT

SPOT to seria satelitów europejskich (powstała we współpracy Francji, Belgii i Szwecji). Pierwszy z satelitów tej serii umieszczony został na orbicie w roku 1986. Obecnie na orbicie znajdują się satelity SPOT4 i SPOT5.

Na pokładzie satelity SPOT 4 znajdują się sensory HRVIR oraz Vegetation. Skaner HRVIR pozyskuje obrazy w kanale zielonym (0,50-0,59  $\mu\text{m}$ ), czerwonym (0,61-0,68  $\mu\text{m}$ ), bliskiej podczerwieni (0,79-0,89) oraz średniej podczerwieni (1,58-1,75  $\mu\text{m}$ ). Obrazy w tych kanałach pozyskiwane są z rozdzielczością przestrzenną wynoszącą 20 m. Skaner ten pozyskiwać może również obrazy w trybie panchromatycznym o rozdzielczości 10 m. Rewizyta następuje co 26 dni, jednak dzięki możliwości rejestracji nienadirowej (tzn. w obszarze innym niż znajdujący się bezpośrednio pod satelitą) ten sam fragment terenu może być rejestrowany w odstępach jednodniowym. Rozwiązanie to umożliwia również pozyskiwanie obrazów stereoskopowych, umożliwiających pomiar wysokości terenu.

Skaner Vegetation posiada rozdzielczość 1,15 km. Rejestruje obrazy w zakresie promieniowania niebieskiego, czerwonego, oraz bliskiej i średniej podczerwieni. Skaner Vegetation rejestruje obrazy tego samego fragmentu Ziemi raz dziennie.

SPOT5 rejestruje obrazy w zakresie panchromatycznym (0,51-0,73  $\mu\text{m}$ ) z rozdzielczością 5 m, która może być również zwiększona do 2,5 m. Ponadto skaner tego satelity posiada 3 kanały spektralne (0.50-0.59; 0.61-0.68; 0.79-0.89  $\mu\text{m}$ ) o rozdzielczości 20 m. Podobnie jak jego poprzednik satelita ten posiada możliwość pozyskiwania obrazów stereoskopowych.

## IRS

IRS jest satelitą indyjskim. Obrazuje w kanale panchromatycznym z rozdzielczością 5,8 m, kanałach zielonym, czerwonym i bliskiej podczerwieni z rozdzielczością 23 m oraz w kanale z zakresu średniej podczerwieni (1,55-1,70  $\mu\text{m}$ ) o rozdzielczości 70 m. Czas rewizyty wynosi 24 dni. Na pokładzie tego satelity znajduje się również sensor WiFS (Wide Field Sensor) o rozdzielczości przestrzennej 188 m, obrazujący w kanale czerwonym i bliskiej podczerwieni. Sensor ten obrazuje z rozdzielczością czasową wynoszącą 5 dni.

## ASTER

ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) jest jednym z instrumentów obrazujących umieszczonych na pokładzie amerykańsko-japońskiego satelity Terra. Pozyskuje on obrazy w zakresie promieniowania zielonego, czerwonego i bliskiej podczerwieni z rozdzielczością spektralną wynoszącą 15 m. Instrument ten posiada również sześć kanałów z zakresu średniej podczerwieni (1,600-1,700; 2,145-2,185; 2,185-2,225; 2,235-2,285; 2,295-2,365; 2,360-2,430  $\mu\text{m}$ ) o rozdzielczości 30 m oraz 5 kanałów z zakresu podczerwieni termalnej (8,125-8,475; 8,475-8,825; 8,925-9,275; 10,25-10,95 i 10,95-11,65  $\mu\text{m}$ ) o rozdzielczości 90 m. Satelita ten nie obrazuje powierzchni Ziemi w sposób ciągły – rejestracja następuje na zamówienie. Dostępne są również obrazy już zarejestrowane. Wielospektralność w zakresie średniej podczerwieni oraz podczerwieni termalnej czyni ASTER-a niezwykle użytecznym w zastosowaniach geologicznych. W kanale bliskiej podczerwieni ASTER pozyskuje obrazy w położeniu nadirowym (czyli „pod satelitą”) oraz w położeniu *backward* (czyli „za satelitą”), co umożliwia obserwację stereoskopową.

## EO-1

ASTER jest krokiem w kierunku satelitarnej teledetekcji hiperspektralnej, jednak pierwszym satelitą hiperspektralnym jest EO-1. Na jego pokładzie znajduje się skaner hiperspektralny Hyperion. Posiada on zdolność rejestracji obrazów o rozdzielczości 30 m w 220 kanałach w zakresie od 0,4 do 2,4  $\mu\text{m}$ . LAC (LEISA Atmospheric Corrector) rejestruje obrazy w 256 kanałach z zakresu od 0,9 do 1,6  $\mu\text{m}$  z rozdzielczością 250 m. Służą one przede wszystkim do korekcji atmosferycznej obrazów hiperspektralnych. Na pokładzie EO-1 znajduje się również skaner ALI (Advanced Land Imager) będący niejako następcą skanera ETM7+. Obrazuje on z rozdzielczością 30 m w kanałach zbliżonych do tych, jakie wykorzystywane są w satelitach serii Landsat (0,433-0,453; 0,450-0,510; 0,525-0,605; 0,630-0,690; 0,775-0,805; 0,845-0,890; 1,20-1,30; 1,55-1,75 oraz 2,08-2,35  $\mu\text{m}$ ) oraz z rozdzielczością 10 m w zakresie panchromatycznym. Satelita EO-1 porusza się po tej samej orbicie co Landsat7. Podobnie jak w przypadku ASTER-a obrazy z satelity EO-1 rejestrowane są na zamówienie.

## IKONOS

Satelitę IKONOS umieszczono na orbicie w roku 1999. Było to wydarzenie otwierające nowy rozdział teledetekcji satelitarnej. IKONOS jest bowiem pierwszym cywilnym satelitą wysokorozdzielczym. Co więcej był pierwszym satelitą całkowicie komercyjnym. Może pozyskiwać obrazy panchromatyczne z rozdzielczością 1 metra oraz obrazy wielospektralne (0.45-0.52; 0.52-0.60; 0.63-0.69; 0.76-0.90  $\mu\text{m}$ ) o rozdzielczości 4 m. Posiada zdolność pozyskiwania obrazów tego samego obszaru z różnych orbit (obrazy stereoskopowe). Dzięki wysokiej rozdzielczości przestrzennej obrazy z tego satelity (i innych satelitów wysokorozdzielczych) znajdują szereg nowych zastosowań w obszarach zarezerwowanych dotąd dla zdjęć lotniczych (m.in. w planowaniu przestrzennym i sporządzaniu map topograficznych). Firma operująca Ikonosem zapowiada umieszczenie na orbicie nowego satelity, w którym rozdzielczość przestrzenna kanału panchromatycznego wyniesie ma 50 cm.

## QuickBird

QuickBird jest obecnie satelitą o największej rozdzielczości przestrzennej. Obrazuje w kanałach o tych samych własnościach spektralnych co Ikonos, przy czym rozdzielczość przestrzenna wynosi 60 cm w kanale panchromatycznym i 2,4 m w kanałach spektralnych.