

Stanisław C. Mularz
Jacek Rutkowski

Zastosowanie teledetekcji w ochronie środowiska

1. Wprowadzenie

Termin **teledetekcja** (*ang. remote sensing*) określa zdalne badanie powierzchni Ziemi na podstawie **zdjęć lotniczych i obrazów satelitarnych**. W Polsce używana bywa jeszcze tradycyjna nazwa - **fotointerpretacja**. Może być ona prowadzona dla różnych celów, np. geologicznych (fotogeologia), zoologicznych, rolnych, leśnych, wywiadowczych, wojskowych itp. Dla optymalnego wykorzystania materiałów teledetekcyjnych konieczna jest:

- ◆ **Znajomość technik rejestracji** obrazów pozyskiwanych drogą fotograficzną i elektroniczną, zarówno z samolotów, śmigłowców czy satelitów.
- ◆ **Świadomość czym różnią się te obrazy** w stosunku do odwzorowania terenu, jaki daje **mapa topograficzna**.
- ◆ **Umiejętność interpretacji** obrazów, to znaczy kojarzenia obrazu zarejestrowanego na zdjęciach lotniczych i satelitarnych z obiektami znajdującymi się w terenie, oraz odczytania treści tematycznej tych zdjęć.

2. Podstawowe techniki rejestracji

2.1. Rejestracja fotograficzna

Fotografie czarno-białe są w teledetekcji najczęściej stosowanym materiałem. Są to zdjęcia panchromatyczne, wykonywane przede wszystkim w widzialnym zakresie widma elektromagnetycznego. Stanowią one podstawowy materiał wykorzystywany w analizie środowiska, geologii, planowaniu przestrzennym itp. W Polsce z istniejących negatywów można uzyskać zdjęcia wykonane po 1945r., w różnych latach i skalach.

Manierę czarno-białą mają też zdjęcia wykonywane w zakresie *bliskiej (fotograficznej) podczerwieni*. W technice tej, wody odfotografowują się jako czarne, lasy szpilkowe jako ciemne, a lasy liściaste i inna żywa roślinność jako bardzo jasne. Zdjęcia podczerwone są pozbawione w pewnym stopniu tzw. mgiełki atmosferycznej.

Wykonuje się również czarno-białe *zdjęcia wielospektralne*. Polega to na fotografowaniu specjalną kamerą lub równocześnie kilkoma sprzężonymi aparatami, z których każdy pracuje w innym zakresie widma (kanale). Zwykle jeden z nich fotografuje w zakresie bliskiej podczerwieni. Ze zdjęć wielospektralnych, za pomocą odpowiedniego rzutnika (przełączarki addytywnej), poprzez projekcję kilku (zazwyczaj trzech) wyciągów spektralnych przez barwne filtry, można otrzymać zdjęcia kolorowe, tzw. kompozycje barwne, bardzo przydatne w interpretacji.

Fotografie kolorowe wykonuje się w *barwach rzeczywistych*, analogicznie jak w fotografii amatorskiej lub w *kolorach fałszywych*. Te ostatnie zwane są niekiedy *spektrostrefowymi*. W materiałach tego typu jedna warstwa jest uczulona na podczerwień. Przykładowo film Kodak Infrared 2443 jest trójwarstwowy. Warstwa czuła na światło zielone zabarwia się na kolor niebieski, czuła na czerwień na kolor zielony, a uczulona na podczerwień na kolor czerwony. Fotografie te są szczególnie cenne dla analizy zdrowotności lasów, stanu środowiska, stanu i struktury zasiewów itp.

Należy dodać, że zdjęcia fotograficzne wszystkich typów mogą być, przy użyciu skanera, zamienione na postać cyfrową, a następnie analizowane komputerowo, podobnie jak to się czyni z obrazami rejestrowanymi drogą niefotograficzną.

2.2. Rejestracja niefotograficzna

Obrazy skanerowe uzyskuje się rejestrując energię elektromagnetyczną odbitą lub emitowaną z powierzchni terenu w następujących po sobie liniach. Każda linia dzielona jest na pola pomiarowe zwane **pikselami** (*ang. picture element*), których wielkość wyraża naziemną rozdzielczość systemu, w skali obrazu. Ich wymiary terenowe, w zależności od stosowanego skanera i wysokości obrazowania wynoszą od 10 metrów (satelita SPOT) do kilkuset metrów, a nawet kilku kilometrów (Tab.1). W przyszłości wielkości te będą znacznie mniejsze.

Dla każdego piksela skaner rejestruje ilość energii w umownej skali o wielu poziomach, (w przypadku satelity Landsat TM jest to 256 poziomów), i w kilku zakresach widma, począwszy od światła widzialnego, aż do długofalowej podczerwieni. Wyniki, przekazywane w formie cyfrowej do naziemnej stacji odbioru, mogą być zamieniane na obrazy fotograficzne (wizualizowane) lub analizowane komputerowo. Skanery stanowią podstawowe wyposażenie sztucznych satelitów (Tab.1). Mogą one być także umieszczane na samolotach.

Tabela 1. Satelitarne systemy teledetekcyjne

Nazwa satelity (właściciel)	Nazwa sensora (rodzaj)	Kod kanałów	Zakres spektralny [μm]	Rozdzielczość terenowa [m]	Rozmiar sceny [km]	Charakterystyka systemu		
LANDSAT 1 i 2 (USA-NASA)	RBV (kamery TV)	1	0.475-0.575	80x80	185x185	Orbita: kołowa, okołobiegunowa (99°) heliosynchroniczna Wysokość: 918 km Czas obiegu: 103 min Cykl powrotu: 18 dni		
		2	0.580-0.680					
		3	0.690-0.830					
	MSS (skaner multispektralny)	4	0.50-0.60	79x79				
		5	0.60-0.70					
		6	0.70-0.80					
		7	0.80-1.10					
LANDSAT 3 (USA-NASA)	RBV	1	0.505-0.750	40x40	185x185 (2x90)	Analogicznie jak dla satelity LANDSAT 1 i 2		
		2	0.60-0.70					
	MSS	4	0.50-0.60	79x79				
		5	0.60-0.70					
		6	0.70-0.80					
7	0.80-1.10	240x240						
8	10.40-12.60							
LANDSAT 4 i 5 (USA-EOSAT)	MSS	1	0.50-0.60	79x79	185x185	Orbita: kołowa, okołobiegunowa (99°), heliosynchroniczna Wysokość: 705 km Czas obiegu: 99 min. Cykl powrotu: 16 dni.		
		2	0.60-0.70					
		3	0.70-0.80					
		4	0.80-1.10					
	TM (skaner multi-spektralny - kartograf tematyczny)	1	0.45-0.52	30x30	185x185			
		2	0.52-0.60					
		3	0.63-0.69					
		4	0.76-0.90					
		5	1.55-1.75					
		6	10.4-12.5				120x120	
		7	2.80/2.35				30x30	
	SPOT 1 i 2 (FRANCJA)	HVR (skaner wysokiej rozdzielczości)	XS1	0.50-0.59	20x20		117x117 (60x60 do 80x80)	Orbita: kołowa, okołobiegunowa (98.7°), heliosynchroniczna Wysokość: 832 km Cykl powrotu: 26 dni
			XS2	0.61-0.68				
XS3			0.79-0.89					
PAN		0.51-0.73	10x10					
ERS-1 (ESA)	AMI SAR (system radarowy) (IM) (WM) (WSM) (ASTR)		5.3 Ghz (56.6 cm)	30x30	100x1000 5000 km	Orbita: kołowa, okołobiegunowa, heliosynchroniczna Wysokość: 785 km Czas obiegu: 100 min. Cykl powrotu: 35 dni (od 3 do 176)		
				50 km	500 km			
			1.6; 3.7	1000 m	500 km			
			11.0; 12.0					
SEASAT 1 (USA)	VIRR SAR (system radarowy)	1	0.49-0.94	2000	2200	Orbita: kołowa (108°) Wysokość: 800 km Czas obiegu: 100 min.		
		2	10.5-12.5 23.5 cm	4000 25	100			
JERS 1 (JAPONIA)	OPS VNIR (skaner multi-spektralny)	1	0.52-0.60	18.3x24.2	75	Orbita: heliosynchroniczna okołobiegunowa (98°) Wysokość: 570 km Czas obiegu: 96 min. Cykl powrotu: 44 dni 4 kanał do rejestracji stereoskopowej		
		2	0.63-0.69					
		3	0.76-0.86					
		4	0.76-0.86					
		5	1.60-1.71					
	(skaner multi-spektralny) SAR (system radarowy)	6	2.01-2.12	18x18				
		7	2.13-2.25					
		8	2.27-2.40					
	1275 MHz		75					

Na ogół, przy wizualizacji (fotograficznej lub komputerowej) obrazów skanerowych nie stosuje się powiększeń, przy których ujawnia się już pikselowa struktura obrazu. W przypadku LANDSAT MSS jest to skala około 1:500 000, zaś dla SPOT PAN - 1:50 000.

Obrazy termalne przedstawiają temperaturę powierzchni terenu, a ściślej iloczyn temperatury i zdolności emisyjnej tworzących ją materiałów [$T_{\text{rad}} = \sqrt[4]{\varepsilon} \cdot T_{\text{kin}}$]. Są one szczególnie przydatne przy analizie skażeń termalnych terenu, rozprzestrzeniania się ogrzanych wód, izolacji termalnej budynków i rurociągów, w hydrogeologii itp.

Obrazy mikrofalowe uzyskuje się wykorzystując promieniowanie o długości fali od 3 mm do 30 cm emitowane przez powierzchnię terenu. Ze względu na niską rozdzielczość (pułap lotniczy 20 - 50 m. pułap satelitarny 15 - 50 km) i małą wrażliwość na warunki pogodowe są one stosowane w meteorologii i badaniach mórz (głównie zjawisk lodowych). Technika ta jest przydatna do wykrywania obiektów o zbliżonej temperaturze i stref o zróżnicowanej wilgotności gruntów.

Obrazy radarowe uzyskuje się wykorzystując mikrofałe i fale radiowe o długości 0,75-100 cm. Rejestracja obrazu powierzchni Ziemi jest niezależna od pory dnia i nocy i prawie niezależna od warunków atmosferycznych. Wykonuje się je zarówno z samolotów, jak i satelitów (Tab.1). Intensywność odbitej od powierzchni terenu wiązki radarowej (*echo radarowe*) zależy od cech systemu (polaryzacja, kąt depresji, rodzaj pasma), oraz od cech powierzchni terenu (stała dielektryczna, szorstkość). Ukształtowanie powierzchni terenu, przy określonym kierunku "iluminacji" wiązką promieniowania powoduje powstanie stref tzw. *cienia radarowego*, który stwarza wrażenie plastyki w odwzorowaniu rzeźby. Szorstkość powierzchni wynikająca z cech strukturalno-teksturalnych (roślinność, ziarnista budowa itp.) powoduje różny stopień rozpraszania sygnału powrotnego. Przykładowo, dla pasma X ($\lambda=3$ cm), powierzchnie gładkie o nierównościach poniżej 0,17 cm nie dają tzw. echa powrotnego. Silne echo dają dopiero powierzchnie o nierównościach powyżej 0,96 cm.

Czytelność obiektów zależy między innymi od ich stałej dielektrycznej. Radary wykorzystujące długie fale mają zdolność częściowej penetracji w podłoże. Jest ona odwrotnie proporcjonalna do wielkości stałych dielektrycznych, a wprost proporcjonalna do długości pasma radarowego. Dla fal radarowych stałe dielektryczne suchych skał i gleb wahają się od 3-8, zaś woda ma wartość 80. Wzrost stałej dielektrycznej powoduje zwiększenie odbijalności fal radarowych, stąd też wilgotne podłoże odbija bardziej czytelnie wiązkę padającego promieniowania, niż podłoże suche.

Obrazy sonarowe stosuje się w badaniach podwodnych. Przypominają wyglądem obrazy radarowe. Wykorzystuje się tu fale sprężyste o częstotliwości 6,5-30,0 kHz emitowane przez urządzenie i następnie odbite od dna. Obraz zależy od cech sprężystych materiałów budujących dno. Pozwala to na rozpoznanie jego morfologii i litologii oraz lokalizację wraków, podmorskich rurociągów itp. Urządzenie jest niewrażliwe na zmącenie wody. Zakłócenia powodują np. ławice ryb czy delfiny.

3. Główne cechy zdjęć lotniczych.

Do głównych zalet zdjęć lotniczych należy duża rozdzielczość oraz możliwość uzyskania obrazu stereoskopowego. Z punktu widzenia interpretatora, rozdzielczość zdjęć lotniczych można określić jako wymiary najmniejszych obiektów, jakie udaje się na nich wyróżnić. Dla zdjęć oglądanych gołym okiem jest to około 0.2 mm, a w przypadku niektórych obiektów liniowych, znacznie mniej. Na zdjęciach w skali 1:10 000 będzie to odpowiadało wielkości około 1-2 m. Zastosowanie układów powiększających powoduje znaczne zwiększenie czytelności materiałów fotolotniczych. Drugą ważną cechą zdjęć lotniczych jest możliwość uzyskania plastycznego obrazu terenu (modelu stereoskopowego), co bardzo ułatwia interpretację.

W porównaniu z mapą, obraz terenu na zdjęciach lotniczych jest jednak w pewnym stopniu zniekształcony. Mapy topograficzne wykonuje się bowiem, poprzez ortogonalne rzutowanie wybranego fragmentu powierzchni Ziemi na płaszczyznę poziomą, lub inną powierzchnię rozwijalną (Rys. 1 C). Natomiast zdjęcia fotograficzne wykonywane są w rzucie środkowym, gdzie promienie rzutujące wychodzą z jednego punktu, jakim jest środek rzutów, (w przybliżeniu obiektyw kamery, Rys. 1 A). Usuwaniem tych zniekształceń, w zakresie koniecznym do sporządzania map topograficznych i planów, zajmuje się fotogrametria. Dla interesujących nas celów wystarczająca jest świadomość podstawowych różnic, (pomiędzy zdjęciem i mapą), wpływających na wyniki interpretacji wizualno-manualnej i umiejętność ich usuwania poprzez optyczne wpasowanie opracowywanego zdjęcia lotniczego w mapę topograficzną, przy użyciu np. przetwornika LUZ, produkcji Zeiss Jena.

Ze względu na deniwelację terenu, mierzone na zdjęciu punkty należy przesunąć o wielkość (Δ_R) wzdłuż promieni radialnych, wychodzących z punktu głównego zdjęcia (w przybliżeniu z jego środka, Rys. 1). Przesunięcia te są tym większe, im większe są różnice wysokości (Δ_H), określane w stosunku do przyjętej płaszczyzny odniesienia, im dalej od środka zdjęcia znajdują się mierzone punkty (długość promienia R), oraz im wysokość fotografowania (H) jest mniejsza (Rys. 2). Położenie punktów znajdujących się na płaszczyźnie odniesienia (zazwyczaj jest to średnia wysokość fotografowania) nie

ulega zmianie. Wielkości przesunięć radialnych można określić na podstawie zależności:

$$\Delta_R = \frac{\Delta_H \cdot R}{H} \quad (1)$$

Na zdjęciach terenu o urozmaiconej morfologii, zbocza dolin eksponowane ku centrum zdjęcia wydają się być mniej nachylone, natomiast zbocza eksponowane w kierunku przeciwnym robią wrażenie bardziej stromych niż są w istocie. Innym przykładem są wysokie budynki, które gdy znajdują się w brzeżnych partiach zdjęcia, robią wrażenie odchylonych na zewnątrz. Ponadto zniekształceniu ulegają kierunki obiektów liniowych położonych na różnych wysokościach (Rys. 2).

Skala zdjęcia zależy od wysokości fotografowania (H) i ogniskowej kamery (c). Mianownik skali zdjęcia wyraża się wzorem:

$$m = \frac{H}{c} \quad (2)$$

Wynika stąd, że w terenach o dużych różnicach wysokości dna dolin odfotografowane są w skalach mniejszych, a wzniesienia w większych (Rys.3). W takich przypadkach skalę zdjęcia oblicza się dla poszczególnych jego części, porównując długość tego samego odcinka zmierzonego na zdjęciu (l) i na mapie (l_m) wedle wzoru (3), w którym „m” oznacza mianownik skali zdjęcia, a „ m_m ” - mianownik skali mapy:

$$m = \frac{l_m \cdot m_m}{l} \quad (3)$$

4. Przetwarzanie obrazów cyfrowych

Obrazy satelitarne i inne materiały teledetekcyjne zarejestrowane w sposób cyfrowy można traktować jako dwuwymiarową macierz pikseli. Każdemu pikselowi przyporządkowana jest liczba całkowita, najczęściej z przedziału 0 - 255 (*skala 8-bitowa*), odpowiadająca ilości zarejestrowanej energii elektromagnetycznej. Przykładowo, w systemie LANDSAT TM scena o wymiarach 185x185 km zawiera około 38 mln pikseli w sześciu kanałach odbijalnych, o rozdzielczości naziemnej 30x30 m, i dodatkowo 2,37 mln pikseli w paśmie termalnym, którego rozdzielczość powierzchniowa wynosi 120x120 m. Zapis jednej kompletnej sceny rejestrowanej

skanerem TM wymaga około 240 MB pamięci komputera. Taka ilość informacji nie może być analizowana metodą wizualno-manualną, stąd też koniecznym jest automatyczne przetwarzanie obrazów cyfrowych przy użyciu szybkich komputerów, typu stacje robocze (*ang. Work Station*), lub odpowiednio skonfigurowanych, komputerów osobistych, (*ang. PC: Personal Computers*), z możliwością magazynowania danych cyfrowych na zewnętrznych nośnikach magnetycznych lub magneto-optycznych. Metodyka, wspomaganej komputerowo, interpretacji cyfrowych danych teledetekcyjnych obejmuje trzy główne segmenty: 1) *przetwarzanie wstępne*, 2) *wzmacnianie odwzorowania radiometrycznego*, 3) *ekstrakcję informacji tematycznej*.

1). Przetwarzanie wstępne, nazywane też odtworzeniem obrazu, ma na celu usunięcie szumów radiometrycznych oraz zniekształceń geometrycznych, powstałych w trakcie rejestracji i transmisji danych do naziemnej stacji odbioru. Obejmuje ono również transformację obrazu do określonego układu współrzędnych terenowych (*ang. georeferencing*), usuwanie tzw. efektu atmosferycznego i generowanie syntetycznych obrazów (stereokomponentów), szczególnie przydatnych do prowadzenia interpretacji przyrodniczej na modelu przestrzennym terenu.

2). Wzmacnianie odwzorowania elementów treści obrazu (*ang. image enhancement*), polega na uwydatnieniu cech, ważnych z punktu widzenia potrzeb interpretacji. Wykorzystuje się do tego celu poniżej omówione procedury.

Wzmacnianie kontrastu polega na przekształceniu pierwotnej („surowej”) wersji obrazu cyfrowego w bardziej wyrazistą, łatwiejszą do interpretacji, postać. Stosuje się najczęściej dwie metody:

⇒ **liniowe rozciągnięcie kontrastu**, (*ang. contrast stretching*) które polega na rozszerzeniu przedziału wartości pikseli obrazu oryginalnego w taki sposób, aby zajęły cały dynamiczny zakres skali, w jakiej został zapisany obraz. Przykładowo, jeśli jasność pikseli obrazu nieprzetworzonego zawiera się w przedziale 16-50, co stanowi zaledwie 13% w ośmiobitowej skali zapisu, to w wyniku liniowego rozciągnięcia kontrastu, pikselom o wartości 15 przyporządkowana zostanie wartość 0, a piksele o jasności 80 otrzymają wartość maksymalną, tzn. 255. Wszystkie pośrednie wartości zostaną przeskalowane wg funkcji liniowej (Rys. 4). Można również dokonać eliminacji części pikseli na obu końcach skali, określając odpowiedni przedział użytkowy histogramu („obcięcie histogramu”). Słabą stroną metody liniowego rozciągania kontrastu jest to, iż przeznacza ona tyle samo poziomów tonalnych rzadko występującym wartościom pikseli, jak i tym, które w obrazie występują najczęściej. Modyfikacja tej metody polega na zastąpieniu funkcji liniowej inną, np. wykładniczą, logarytmiczną itp.

⇒ **wyrównanie histogramu**, (*ang. histogram equalization*) gdzie pikselom obrazu przetworzonego nadaje się wartości zależnie od częstości ich występowania w obrazie oryginalnym. Jeśli pikseli o danym poziomie jasności jest niewiele, to wówczas skupione zostają w niewielkim zakresie skali, jeśli natomiast jest ich dużo - przeznaczają się dla nich większy przedział skali jasności. Powoduje to zwiększenie kontrastu dla klas o wysokiej częstości występowania pikseli i zredukowanie kontrastu w klasach o relatywnie małej liczebności.

Kwantowanie obrazu (*ang. density slicing*) pozwala zamieniać ciągłą skalę jasności obrazu na szereg przedziałów (plastrów) o określonym zakresie poziomów szarości, co umożliwia zredukowanie szumów i prowadzi do pewnej segmentacji obrazu, a nawet do wydzielenia w obrazie okonturowanych stref, przy odpowiednio dobranych przez użytkownika zakresach gęstości. Dla podniesienia walorów interpretacyjnych, przetworzonego w ten sposób obrazu, stosuje się zabieg pseudokolorowania.

Progowanie (*ang. thresholding*) jest to rodzaj modyfikacji kontrastu, umożliwiający rozdzielenie treści obrazu na dwie klasy, zdefiniowane jednym progiem szarości. Procedurę tę, stosuje się zazwyczaj do maskowania, wyraźnie rozgraniczonych stref, (np. granica lądu i morza), w celu prowadzenia dalszego przetwarzania i interpretacji obrazu, osobno dla każdej wydzielonej strefy.

Wzmacnianie linii krawędziowych (*ang. edge enhancement*) służy do podkreślenia cech geometrycznych obrazu, poprzez wykrywanie miejsc, gdzie następuje w obrazie raptowna zmiana jasności. Zabieg wzmacniania krawędzi wykorzystywany jest m.in., do wykrywania i interpretacji elementów geologiczno-strukturalnych na zdjęciach satelitarnych.

Techniki filtracyjne, stosuje się w celu „wygładzenia” obrazu, zwiększenia kontrastu, usunięcia szumów lub podkreślenia cech geometrycznych odwzorowania cyfrowego. Filtracja obrazów może być prowadzona wg zasad analizy Fouriera (metoda skomplikowana i kosztowna), lub za pomocą tzw. ruchomego okna (np. 3x3; 5x5 lub 7x7 pikseli), które przesuwane jest automatycznie piksel po pikselu wzdłuż wszystkich wierszy lub kolumn matrycy obrazowej. W kolejnych położeniach okna obliczana jest, dla środkowego piksela, nowa wartość, np. średnia arytmetyczna jasności pikseli sąsiednich, lub jako wartość odpowiednio wagowana, zależnie od rodzaju zastosowanego filtra. Zazwyczaj stosuje się filtry tzw., *dolnoprzepustowe*, *średnio- i górnoprzepustowe*. Pierwsze tłumią wysokie częstotliwości przestrzenne, co prowadzi do wygładzania szczegółów w obrazie, natomiast ostatnie podkreślają wysokie częstotliwości, i przez to uwypuklają szczegóły, zwiększając kontrast między nimi a tłem.

Filtracja obrazów cyfrowych jest szeroko wykorzystywana do rozpoznawania cech geologiczno-strukturalnych (struktury fałdowe, uskoki, spękania itp.), oraz liniowych form antropogenicznych. Detekcja tych cech zależy, w znacznym stopniu, od rodzaju i kierunku filtracji. Elementy zorientowane poprzecznie do kierunku przesuwania się filtra ulegają wzmocnieniu, podczas gdy przebiegające równoległe, podlegają osłabieniu.

3). Ekstrakcja informacji tematycznej polega na wydobywaniu z cyfrowych obrazów multispektralnych, pożądanej porcji informacji. Omówione powyżej procedury odnosiły się do pojedynczego zakresu (kanału) spektralnego, podczas gdy ekstrakcja informacji tematycznej dokonywana jest poprzez równoczesną analizę dwóch lub więcej kanałów spektralnych. W interpretacji geologicznej wielospektralnych obrazów cyfrowych stosuje się najczęściej następujące metody: *dzielenie międzykanałowe, tworzenie kompozycji barwnych, klasyfikację danych wielospektralnych i analizy multitemporalne.*

Dzielenie międzykanałowe (wagowanie obrazów) sprowadza się do obliczenia dla każdego piksela stosunku jasności spektralnych dla dwóch lub większej liczby kanałów. Podstawowy problem stanowi tutaj odpowiedni dobór zakresów spektralnych w celu uzyskania, przydatnego dla interpretacji, wyniku. Często właściwy efekt uzyskuje się dopiero po wielokrotnym testowaniu różnych kombinacji kanałów. Bowiem, w ciągu ponad 20-letnich badań udało się opracować relatywnie mało tzw. standardowych zestawów, głównie dla systemów LANDSAT MSS i TM. Do najpowszechniej stosowanych w badaniach przyrodniczych należą formuły tzw. wskaźników roślinności, w których wykorzystuje się rejestrację w kanale czerwonym i bliskiej podczerwieni, bądź jako stosunek tych kanałów **VI** (ang. *Vegetation Index*), bądź jako wskaźnik znormalizowanych różnic **NDVI** (ang. *Normalized Differential Vegetation Index*). Przykładowo dla systemu LANDSAT MSS i TM formuły powyższe mają postać: $VI = (MSS5 : MSS7)$; $VI = (TM3 : TM4)$ oraz $NDVI = (MSS7 - MSS5) : (MSS7 + MSS5)$; $NDVI = (TM4 - TM3) : (TM4 + TM3)$. Wszystkie te procedury mają na celu zwiększenie kontrastu, na zdjęciu wagowanym, obrazu roślinności, i wykorzystanie tego obrazu, m.in. jako indykatora cech podłoża, głównie zmian warunków gruntowo-wodnych. Wskaźniki roślinności są także szeroko wykorzystywane do szacowania i przyrostu biomasy, na obszarach upraw i w obrębie naturalnych siedlisk roślinności, oraz do monitorowania stanu zdrowotnego, zwłaszcza lasów iglastych.

Z kolei, do zminimalizowania wpływu roślinności na odwzorowanie innych elementów środowiska wykorzystuje się stosunek kanałów: $(MSS6 : MSS7)$, zaś wagowanie: $(MSS4 : MSS5)$ lub $(TM2 : TM3)$ służy do usuwania tzw. *efektu topografii*, czyli wyrównania różnic jasności tych samych obiektów, spowodowanych rzeźbą terenu, zacienieniem lub sezonowymi zmianami oświetlenia. Dla ekstrakcji cech litologicznych zaleca się stosowanie następujących formuł dzielenia międzykanałowego, dla danych systemu LANDSAT: $(MSS 4:6, 4:7, 5:7)$; $(TM 2:4, 2:5, 3:5)$.

Kompozycje barwne stanowią efekt scalenia zapisu cyfrowego z trzech kanałów spektralnych w jeden barwny obraz, uzyskując efekt podobny do tego, jaki uzyskuje się za pomocą przeglądarki addytywnej ze zdjęć wielospektralnych. Procedura ta służy do wykrycia i uwypuklenia, istotnej dla interpretatora informacji tematycznej, której często nie zawierają pojedyncze wyciągi spektralne. Do projekcji kompozycji barwnych wykorzystuje się ideę addytywnej syntezy trzech barw podstawowych: czerwonej, zielonej i niebieskiej, czyli tzw. system RGB (*ang. Red, Green, Blue*). Każdy piksel kompozycji barwnej jest wyświetlany na ekranie monitora w kolorze odpowiadającym udziałowi trzech barw RGB, proporcjonalnie do jasności pikseli w kanałach, z których tworzona jest kompozycja. Przykładowo, jeśli kompozycja generowana jest z trzech kanałów LANDSAT TM, czerwonego (TM3), zielonego (TM2), i niebieskiego (TM1), to wyświetlenie jej w systemie RGB umożliwia odtworzenie wyglądu terenu w barwach zbliżonych do rzeczywistych.

Cyfrowe kompozycje barwne mogą stanowić kombinację trzech dowolnych zakresów spektralnych, dobieranych zależnie od rodzaju prowadzonych analiz. Dla studiów przyrodniczych szczególnie przydatna jest kompozycja złożona z kanału IR (bliska podczerwień) i dwóch kanałów widzialnych, czerwonego i zielonego, wizualizowanych jako odpowiednie składowe RGB. Charakterystyczną cechą tej kompozycji, (uznanej jako jeden ze standardów, tzw. FCC, (*ang. False Colour Composite*), jest odwzorowywanie się zielonej roślinności w różnych odcieniach koloru czerwonego, podobnie jak na zdjęciach spektrostrefowych.

W interpretacji geologicznej wykorzystuje się również kompozycje, których poszczególne składowe są wynikiem operacji dzielenia międzykanałowego, wyświetlanych następnie w systemie RGB. Zaleca się m.in. następujące kombinacje: MSS 5:7 (R), 5:7 (G), 7:4 (B) lub TM 3:4 (R), 2:3 (G), 4:2 (B).

Klasyfikacja danych wielospektralnych jest to technika ilościowej analizy obrazów cyfrowych, wykorzystywaną do automatycznego kartowania tematycznego, czyli generowania cyfrowych map tematycznych np., użytkowania ziemi, stanu i zmian środowiska przyrodniczego itp.

Satelitarne obrazy skanerowe można rozpatrywać jako odwzorowania w wielowymiarowej przestrzeni spektralnej, w której obiekty, o zbliżonej wielkości odbicia promieniowania elektromagnetycznego, reprezentowane są przez skupienia (gromady) pikseli, tzw. klastry (*ang. cluster*), przedstawione schematycznie na Rys.5. Ze względu na rodzaj i rozdzielczość skanera, zmienność warunków przyrodniczych, ukształtowanie powierzchni, warunki oświetlenia, pokrycie terenu itp., różne obiekty mogą charakteryzować się podobną wielkością odbicia w określonych zakresach spektralnych, i w związku z tym ich klastry będą się częściowo przenikać, zwłaszcza w

brzeżnych partiach. Dlatego też, istotą procedur klasyfikacyjnych jest odpowiednio precyzyjne rozdzielanie poszczególnych klastrów, w oparciu o decyzje, zasadne statystycznie. Ogólnie biorąc, wyróżnia się dwie metody klasyfikacji obrazów: *klasyfikację nadzorowaną i klasyfikację nienadzorowaną*.

Klasyfikacja nadzorowana (*ang. supervised classification*) wykorzystuje zbiory niezależnych danych, w postaci tzw. pól treningowych, czyli niewielkich fragmentów obrazu, które można uznać za reprezentatywne dla wydzielanych kategorii. Dzięki temu, interpretator może „nadzorować” przebieg automatycznego procesu klasyfikacji, w oparciu o wszystkie dostępne informacje, pozyskiwane nie tylko z treści obrazu, ale także z innych źródeł (materiały kartograficzne, zdjęcia lotnicze, opisy tekstowe, obserwacje terenowe itp.). Na podstawie statystycznej analizy jasności pikseli tworzących dane pole treningowe, (w wykorzystywanych kanałach spektralnych), komputer dokonuje weryfikacji wszystkich pikseli w obrazie, pod kątem ich przynależności do jednej z wydzielanych klas.

Do prowadzenia klasyfikacji nadzorowanej stosuje się różnego rodzaju „klasyfikatory”, czyli odpowiednie kryteria np., *największego prawdopodobieństwa, najmniejszej odległości od średniej, środka ciężkości klastra, równoległościanu*, oraz metody hybrydowe i metody drzewa decyzyjnego. Stosując np. kryterium największego prawdopodobieństwa można przydzielić każdy piksel obrazu do jednej z klas, bądź też pozostawić część pikseli nie sklasyfikowanych, nakładając stosowny warunek dla tego kryterium. Dokładność rozpoznania i wydzielenia pożądaných kategorii interpretacyjnych zależy przede wszystkim od trafności doboru pól treningowych, a także od rodzaju przejętego klasyfikatora. Powszechnie przyjmuje się, iż najlepsze rezultaty daje kryterium największego prawdopodobieństwa.

Klasyfikacja nienadzorowana (*ang. unsupervised classification*) uwzględnia jedynie podobieństwo spektralne grup pikseli w obrazie, z których tworzy się określoną ilość klastrów, niezależnie od ich rzeczywistego, przestrzennego przyporządkowania. Wykorzystuje się tutaj kilka kryteriów przydziału piksela do danego klastra, definiując tym samym rodzaj analizy, albo przybliżonej, albo szczegółowej. Klasyfikacja nienadzorowana jest metodą mało dokładną i mało efektywną. Jej stosowanie ogranicza się zazwyczaj do klasyfikacji treści zobrazowań teledetekcyjnych, mało znanych lub niedostępnych, rejonów.

Dla wielu aplikacji przyrodniczych, w tym także geologicznych, metody klasyfikacji obrazów cyfrowych, oparte jedynie na różnicach spektralnych obiektów, mogą niekiedy prowadzić do błędnej interpretacji treści tematycznej tych zobrazowań. Dlatego też, podejmowane są próby włączenia do procedur klasyfikacyjnych, poza spektralnych cech rozpoznawczych, takich jak struktura czy tekstura obrazu. Zagadnienia te są

dopiero przedmiotem intensywnych badań w wielu ośrodkach na świecie i brak jeszcze na rynku bardziej zaawansowanych procedur, dostępnych dla cywilnych zastosowań.

5. Interpretacja wyników

Interpretacja materiałów teledetekcyjnych może odbywać się *metodą wizualno-manualną* lub ze *wspomaganiem komputerowym*. Może ona dotyczyć, zarówno analizy stanu panującego w momencie obrazowania, jak i porównania obrazów uzyskanych w różnym czasie (*analizy multitemporalne*).

Interpretacja wizualno-manualna polega na szczegółowej analizie obrazów uzyskanych dowolnymi technikami, łącznie z obrazami przetworzonymi komputerowo, zarówno gołym okiem jak i przy użyciu układów powiększających. Ogólnie biorąc, proces interpretacji polega na wykrywaniu i rozpoznawaniu interesujących nas obiektów i zjawisk na podstawie *bezpośrednich i pośrednich cech rozpoznawczych* (wielkość, kształt, ton lub barwa, struktura i tekstura obrazu, cień, wzajemne powiązanie obiektów itp.). Drogą dedukcji można również stwierdzić obecność i określić właściwości obiektów (zjawisk, procesów), które nie odwzorowały się bezpośrednio na zdjęciu. Przy pracy korzystnym jest posługiwać się "*kluczami fotointerpretacyjnymi*", zawierającymi wzorce analizowanych obiektów i zjawisk. Wyniki wydzieleni interpretacyjnych należy zaznaczyć wybranymi sygnaturami na samym zdjęciu, czy też na położonej na nim folii, a następnie przenieść je na podkład topograficzny prostymi metodami graficznymi lub optycznymi, np. za pomocą przetwornika LUZ. Przy analizie zdjęć lotniczych należy posługiwać się stereoskopem, pozwalającym na uzyskanie plastycznego obrazu terenu ze zdjęć szeregowych.

Analizy multitemporalne umożliwiają określenie zmian zachodzących na danym obszarze w czasie. Do tego celu wykorzystuje się zarówno obrazy cyfrowe jak i obrazy analogowe (np. zdjęcia lotnicze). Muszą być one sprowadzone do jednolitej skali i układu współrzędnych. Analiza może być wykonywana przy użyciu komputera lub metodą wizualno-manualną, np. przez równoczesne oglądanie zdjęć z różnych okresów czasu pod stereoskopem. W pierwszym przypadku sprowadza się to do wykazywania różnic pomiędzy poszczególnymi pikselami. Przedmiotem interpretacji jest wyjaśnienie genezy powstałych zmian i ich powiązanie z terenem. Analizy multitemporalne mogą być wykonywane automatycznie.

Wyniki interpretacji zależą od zdolności kojarzenia zjawisk przez interpretatora oraz od jego doświadczenia.

Interpretację materiałów teledetekcyjnych otrzymywanych zarówno z bezpośredniej rejestracji, drogą komputerowego wspomaganie czy GIS-u należy, w miarę możliwości, prowadzić w *kilku etapach*. Pierwszy, obejmuje **wstępną analizę** najważniejszych, najbardziej typowych obiektów i zjawisk. Kolejnym, o ile jest to możliwe, jest **terenowa weryfikacja** uzyskanych wyników. Dopiero potem wykonuje się **właściwe opracowanie** zawierające rezultaty, zarówno studiów kameralnych, jak i badań terenowych.

6. Podsumowanie

Wyniki pracy w zakresie teledetekcji zależą przede wszystkim od kwalifikacji interpretatora, który zawsze podejmuje podstawowe decyzje w procesie interpretacji, gdyż nawet najlepsze programy komputerowe mogą okazać się niewystarczające. Powinien on znać analizowane zjawiska i mieć doświadczenie w posługiwaniu się materiałami teledetekcyjnymi, technikami komputerowego wspomaganie i GIS-em. Metody te, powszechnie stosowane w świecie i w wielu ośrodkach w Polsce, są w niektórych przypadkach niezastąpione (np. kartografia geologiczna i geomorfologiczna, analiza i monitoring środowiska itp.). Należy przestrzec przed skrajnymi poglądami na temat wykorzystania technik teledetekcyjnych; że są one w ogóle nieprzydatne, oraz że można z nich otrzymać wszystko, a stosowanie innych metod jest nieuzasadnione.

7. Literatura podstawowa

1. Ciołkosz A., Miszański J., Ołędzki J. R., 1986: Interpretacja zdjęć lotniczych. Wyd.2, PWN, Warszawa
2. Ciołkosz A., Kęsik A., 1989: Teledetekcja satelitarna. PWN, Warszawa
3. Linsenbarth A., 1987: Satelitarne systemy teledetekcyjne. Wyd. Politechniki Warszawskiej
4. Mather P. M., 1987: Computer Processing of Remotely-Sensed Images (An Introduction). John Wiley & Sons, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore
5. Miller V. C., Miller C. F., 1961: Photogeology. McGraw-Hill Cmp., N.York, Toronto, London
6. Reeves R., (Editor in Chief), 1975: Manual of Remote Sensing. Am. Soc. for Photogram. And Remote Sensing, Washington

7. Sitek Z.,(red.), 1988: Słownik terminologiczny (pięciojęzyczny) z zakresu fotogrametrii i teledetekcji. Tom I i II, Wyd. AGH, Kraków (Wyd. drugie:1992)

8. Sitek Z., 1992: Zarys teledetekcji lotniczej i satelitarnej. Wyd. AGH, Skrypt 1239, Kraków

Wprowadzenie do GIS.

Systemy Informacji Geograficznej **GIS**, (ang. *Geographic Information Systems*), stanowią rodzaj zaawansowanego narzędzia komputerowego służącego do pozyskiwania (wprowadzania), magazynowania, przetwarzania, wizualizacji, analizy i interpretacji zespołu danych przestrzennych tworzących bazę danych GIS. Celem tych operacji jest dostarczenie użytkownikowi pożądaných, z punktu widzenia postawionego zadania (problemu), informacji, w najbardziej przydatnej dla niego postaci. Nieodłączną cechą różnych wersji GIS*¹ jest ich zorientowanie na analizę danych o *lokalizacji oraz cechach* obiektów a także zjawisk i procesów kształtujących środowisko geograficzne.

Rdzeń systemu stanowi baza danych GIS mająca z reguły zintegrowany charakter i składająca się z dwóch elementów:

⇒ *bazy przestrzennej*, zawierającej dane o przestrzeni ogólnogeograficznej (kształt obiektów i ich lokalizacja),

⇒ *bazy atrybutów nieprzestrzennych*, opisujących cechy i jakość elementów środowiska geograficznego.

¹ Z formalnego punktu widzenia można wyróżnić co najmniej kilkanaście dziedzin, w obrębie których poszczególne segmenty GIS realizują swoje funkcje, np. **wspomaganie komputerowe projektowania** (ang. *GIS/CAD: Computer Aided Design*), **zautomatyzowane kartowanie** (ang. *GIS/AM: Automated Mapping*), **przetwarzania informacji z dokumentów źródłowych**: mapy zdjęcia, obrazy satelitarne, dane statystyczne itp. (ang. *GIS/DOC: Document Processing*), **systemy wsparcia decyzyjnego** (ang. *GIS/DSS: Decision Support Systems*), **kataster i problemy prawno-administracyjne** (ang. *GIS/LIS: Land Information Systems*) itd.

Otoczenie bazy danych GIS stanowią poszczególne segmenty systemu realizujące następujące główne funkcje:

- ◆ *wprowadzanie i weryfikacja danych wejściowych,*
- ◆ *zarządzanie i przetwarzanie danych w obrębie bazy,*
- ◆ *przetwarzanie i analizy przestrzenne danych,*
- ◆ *procedury wyjścia: prezentacja danych graficznych , kartograficznych i tekstowych*

Danymi wejściowymi do systemu mogą być informacje źródłowe w postaci map (topograficznych i tematycznych), zobrażeń teledetekcyjnych (zdjęcia lotnicze i obrazy satelitarne), geodezyjne dokumenty pomiarowe, ankiety statystyczne oraz inne rodzaje informacji w postaci liczbowej i tekstowej. Systemy digitalizacji, przetwarzania obrazów oraz statystycznej analizy danych pozwalają zamienić analogową postać danych źródłowych na format cyfrowy. Dopiero bowiem zapis cyfrowy, w postaci pliku, czyli zbioru, uporządkowanej w określony sposób informacji, staje się częścią bazy danych GIS. Dostęp do niej zapewnia system zarządzania bazą danych (*ang. DBMS: DataBase Management System*), który realizuje przede wszystkim funkcje porządkujące - sortujące w obrębie bazy danych, ale dedykowany jest również do nadzorowania analiz przestrzennych, zwłaszcza w nowszych rozwiązaniach.

Baza danych może być zorganizowana jako *baza relacyjna, hierarchiczna lub zorientowana obiektowo.*

Przetwarzanie i analizy geograficzne (*ang. Geographic Analysis System*) wykonywane są zarówno w oparciu o atrybuty nieprzestrzenne, jak i dane dotyczące lokalizacji. Mogą to być działania oddzielne lub odpowiednio zespolone. W efekcie powstają nowe mapy. których przedtem nie zawierała baza danych GIS, chociaż do ich wygenerowania posłużyły zasoby danych przestrzennych w niej zawarte.

Przykładem może tu być cyfrowa mapa zagrożenia gleb erozją wodną opracowana dla obszaru testowego w rejonie Krakowa (Rys.1). Do wygenerowania tej mapy wykorzystano ideę modelu USLE (*Universal Soil Loss Equation*), jako formułę iloczynu logicznego 5 warstw tematycznych, tworzących cyfrową bazę danych GIS. Były to następujące warstwy: mapy spadków i ekspozycji powierzchni terenu, głównych rodzajów i gatunków gleb, rozkładu opadów i sposobu użytkowania ziemi. Uzyskano je poprzez digitalizację i odpowiednie przetworzenie materiałów kartograficznych (*mapy topograficzne, mapa glebowo-rolnicza*) i danych teledetekcyjnych (*multispektralny obraz systemu LANDSAT TM*). Wyniki badań potwierdzają tezę, iż GIS stanowi efektywne narzędzie do prowadzenia analiz przestrzennych, zwłaszcza do modelowania procesów przyrodniczych.

Procedury prezentacji graficznej, (mapy, wykresy, zestawienia, raporty) zależą przede wszystkim od posiadanego systemu i zestawu urządzeń wyjścia wraz z odpowiednim oprogramowaniem, i mogą mieć postać tzw. „kopii miękkich” (*ang. softcopy*) wizualizowanych na ekranie monitora, lub tzw. „kopii twardych” (*ang. hardcopy*), czyli wydruku, rysunku czy mapy sporządzonych w formie tradycyjnego, trwałego dokumentu.

Mapa cyfrowa może być zapisana w bazie danych GIS w formacie: *wektorowym, rastrowym lub macierzowym*.

Format wektorowy powstaje w wyniku kodowania, w postaci współrzędnych kartezjańskich (x, y), geometrii i topologii mapy, tj. przestrzennego rozmieszczenia linii, punktów oraz zamkniętych figur (wydzielen), tworzących jej treść topograficzną lub tematyczną. Reprezentacja wektorowa zakłada ciągłość przestrzeni, definiując precyzyjnie lokalizację obiektów, ich długość i wymiary. Równocześnie z kodowaniem współrzędnych buduje się w bazie danych, obok geometrii, obraz topologiczny, który wyraża wzajemne, względne rozmieszczenie punktów (węzłów), linii (krawędzi), i pól (poligonów). Każdy węzeł, krawędź i poligon posiadają unikalne identyfikatory, które pozwalają nie tylko na poprawną graficzną syntezę treści mapy ale również na dokonywanie analiz przestrzennych.

Format rastrowy wykorzystuje, zazwyczaj regularną, siatkę pól podstawowych, o odpowiednio dobranych oczkach, (*ang. raster, grid, cell*), związaną, poprzez punkty kontrolne, z układem odniesienia mapy źródłowej (siatka kartograficzna, kilometrowa). Każdemu polu przypisuje się tylko trzy wartości, współrzędną poziomą (X), pionową (Y) i liczbę, która może być identyfikatorem: określonej cechy: kodem atrybutu jakościowego (np. typ gleby), lub atrybutu ilościowego, (np. wysokość n.p.m.). Format rastrowy jest naturalną reprezentacją cyfrowych danych teledetekcyjnych, np. skanerowych obrazów satelitarnych.. Format rastrowy jest atrakcyjny z punktu widzenia analiz przestrzennych, zwłaszcza w odniesieniu do aplikacji przyrodniczych (modelowanie procesów, zmiany środowiska).

Format macierzowy różni się od formatu wektorowego przyporządkowaniem określonej cechy węzłom regularnej siatki, a nie całej powierzchni pola elementarnego (piksela). Umożliwia to interpolowanie wartości pośrednich pomiędzy węzłami siatki, co ma istotne znaczenie np. dla generowania cyfrowej mapy wysokościowej, czyli tzw. cyfrowego modelu terenu.

Cyfrowy Model Terenu CMT (*ang. DTM: Digital Terrain Model lub DEM: Digital Elevation Model*) stanowi macierzową lub rastrową reprezentację pionowego ukształtowania powierzchni terenu, jako jednej z najbardziej istotnych cech środowiska geograficznego. Generowanie CMT polega na obliczeniu wysokości dla każdego węzła

siatki lub elementarnej pola, w oparciu o zestaw danych cyfrowych, otrzymywanych najczęściej poprzez digitalizację map (warstwice i punkty wysokościowe), a także w wyniku bezpośrednich pomiarów geodezyjnych lub fotogrametrycznych. CMT stanowi kanwę dla większości analiz przestrzennych, w tym również generowania map pochodnych, (np. map nachyleń i ekspozycji), oraz dla uzyskiwania specjalnych efektów prezentacji danych (rzuty aksonometryczne, cieniowanie itp.).

W systemach GIS, wybrany fragment powierzchni Ziemi jest rzutowany na płaszczyznę odniesienia, i traktowany jest jako obiekt dwuwymiarowy z dowolną ilością atrybutów w postaci **nakładek** (*ang. coverages*) lub **warstw informacyjnych** (*ang. layers*). Nakładki i warstwy reprezentują jakby monotematyczne wyciągi z treści mapy (np. sieć drogowa, sieć rzeczna, lasy, gleby, sposób użytkowania terenu, budowa geologiczna itp.).

Cyfrowa baza danych o dwudzielnym charakterze (dane przestrzenne i atrybuty nieprzestrzenne) i organizacji w postaci warstw informacyjnych, oraz zestaw specjalnych procedur opartych na rozwiązaniach metodologicznych nauk przyrodniczych, w tym przede wszystkim geografii, to główne wyróżniki Systemów Informacji Geograficznej (GIS).

Systemy GIS znajdują szerokie zastosowanie w problematyce dotyczącej m. in. monitoringu, kształtowania i ochrony środowiska, modelowania procesów naturalnych i antropogenicznych oraz zarządzania szeroko rozumianymi zasobami przyrodniczymi. Wykorzystuje się do tego celu różne koncepcje integracji, odpowiednio przetworzonych ,zobrazowań teledetekcyjnych z cyfrowymi mapami tematycznymi i innymi elementami wielowarstwowej bazy danych GIS. Główne obszary zastosowań to:

- ◇ generowanie różnego rodzaju map przydatności dla określonych potrzeb (gospodarczych, administracyjnych, badawczych itp.) z uwzględnieniem kompleksu obiektywnych uwarunkowań przyrodniczych, ekonomicznych a także subiektywnych kryteriów i wymagań odbiorcy;
- ◇ optymalizacja lokalizacji obiektów z uwzględnieniem kryteriów ekologicznych, ekonomicznych i zmiennych uwarunkowań, np. eksploatacyjnych danej inwestycji (lokalizacja zakładów przemysłowych, składowisk odpadów, budowli i stref o specjalnym przeznaczeniu itp.)
- ◇ wykonywanie kompleksowych analiz tzw. wsparcia decyzyjnego (*ang. decision support*) w oparciu o formuły oceny wielopodmiotowej (*ang. multi-objective*) i wielokryteryjnej (*ang. multi-criteria*).

Systemy Informacji Geograficznej (GIS) stanowią doskonałe narzędzie, które pozwala użytkownikowi niepomiarze zwiększyć efektywność jego działania i analitycznego myślenia. Inwestowanie w GIS oznacza daleko więcej niż zakup systemu, oznacza bowiem kosztowne i żmudne wypełnianie wielowarstwowej bazy danych, jej późniejszą aktualizację, ale przede wszystkim oznacza inwestowanie w interpretatora, który będzie ten system ożywiał

Literatura

1. *Sitek Z.*, 1992: Zarys teledetekcji lotniczej i satelitarnej. Wyd. AGH, Skrypt 1239, Kraków
2. *Tomlin Dana C.*, 1990: Geographic Information Systems and Cartographic Modeling. Prentice Hall, Englewood Cliffs. N.Jerssy. 07632
3. *Werner P.*, 1992: Wprowadzenie do Geograficznych Systemów Informacyjnych, Warszawa