

Land Information System

PL. 9206-02-04/II

# KOMPLEKSOWE WYKORZYSTANIE INFORMACJI ZE ZDJĘĆ LOTNICZYCH

## Część I

Wprowadzenie do zdjęć lotniczych i ich wykorzystania

Skrypt został przygotowany na zamówienie Głównego Geodety Kraju, w ramach projektu PHARE PL. 9206-02-04/II, przez:

- ☛ Zakład Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej AGH w Krakowie;
- ☛ Wojewódzki Ośrodek Dokumentacji Geodezyjno-Kartograficznej w Sieradzu wchodzące w skład Konsorcjum „AEROFOTO 97”.

**Kraków - Sieradz, luty 1998**

**SPIS TREŚCI:****Część I**

<b>1. Realizacja programu PHARE dotyczącego wykonania zdjęć lotniczych dla terenu całej Polski .....</b>	<b>1-1</b>
1.1 Wstęp .....	1-1
1.2 Ogólnopolski Program Szkoleń z zakresu wykorzystania informacji zawartych w zdjęciach lotniczych .....	1-1
1.3 Zdjęcia lotnicze terenu Polski w barwach naturalnych .....	1-3
1.4 Źródła wykorzystane .....	1-7
<b>2. Przegląd rodzajów zdjęć lotniczych i satelitarnych.....</b>	<b>2-1</b>
2.1 Wstęp .....	2-1
2.2 Zdjęcie fotograficzne - uwagi ogólne .....	2-4
2.3 Spektralna światłoczułość i rodzaje emulsji .....	2-5
2.4 Fotograficzne zdjęcia lotnicze .....	2-8
2.5 Fotograficzne zdjęcia metryczne i niemetryczne .....	2-9
2.6 Fotograficzne zdjęcia satelitarne .....	2-10
2.7 Literatura .....	2-11
<b>3. Obrazy cyfrowe i produkty ich przetwarzania.....</b>	<b>3-1</b>
3.1 Wprowadzenie .....	3-1
3.2 Definicja obrazu cyfrowego .....	3-1
3.3 Pozyskiwanie obrazów cyfrowych ze zdjęć fotograficznych .....	3-3
3.4 Rejestracja bezpośrednia .....	3-3
3.5 Obrazy telewizyjne .....	3-4
3.6 Obrazy radarowe .....	3-4
3.7 Przekształcenie obrazów cyfrowych w zestawy informacji i produkty kserograficzne .....	3-6
3.8 Ćwiczenie .....	3-10
<b>4. Przegląd produktów przetwarzania zdjęć lotniczych Polski wykonanych w ramach programu PHARE i innych, przydatnych do celów fotointerpretacji dla potrzeb administracji, organów samorządowych i poszczególnych dziedzin gospodarki narodowej.....</b>	<b>4-1</b>
4.1 Wprowadzenie .....	4-1
4.2 Potrzeba przetwarzania zdjęć lotniczych .....	4-1
4.3 Najprostsze produkty uzyskiwane ze zdjęć lotniczych .....	4-2
4.3.1 Odbitki stykowe .....	4-2
4.3.2 Fotoszkie .....	4-2
4.3.3 Fotoszkie ulepszone .....	4-2
4.3.4 Powiększenia zdjęć lotniczych .....	4-4
4.4 Rezultaty zaawansowanych technik przetwarzania .....	4-4
4.4.1 Fotomapy (fotoplany) .....	4-4
4.4.2 Ortofotomapa .....	4-4
4.4.3 Mapy kreskowe .....	4-6
4.4.4 Numeryczny model terenu .....	4-6
4.5 Ćwiczenia .....	4-7
<b>5. Potencjalne możliwości wykorzystania zdjęć lotniczych i satelitarnych .....</b>	<b>5-1</b>
5.1 O metodach nowoczesnego uczenia się .....	5-1
5.2 Skala zdjęć lotniczych i satelitarnych .....	5-5
5.2.1 Zdjęcia pionowe, teren płaski i poziomy ( $\Delta H = 0$ ) .....	5-5
5.2.2 Zdjęcia nachylone, teren płaski .....	5-5
5.2.3 Teren niepłaski .....	5-6
5.3 Podziałka zdjęcia .....	5-6
5.4 Złudzenia optyczne .....	5-6
5.5 Leitz Elcovision 10 .....	5-8
5.6 Wideo fotogrametria .....	5-10
5.7 Zdjęcia i zobrazowania Ziemi z przestrzeni kosmicznej .....	5-10

5.8 Rosyjskie zdjęcia satelitarne .....	5-16
5.9 Numeryczny model terenu (NMT) .....	5-18
5.10 Holografia, hologrametria, automatyczna interpretacja.....	5-19
5.10.1 Właściwości hologramu .....	5-19
5.10.2 Zastosowanie fotogrametryczne.....	5-19
5.10.3 Wykorzystanie światła spójnego i filtrów dopasowanych w fotointerpretacji.....	5-20
5.11 Zakończenie.....	5-21
5.12 Ćwiczenie I: graficzne przenoszenie sytuacji ze zdjęć na mapę metodą siatek perspektywicznych .....	5-22
5.12.1 Wprowadzenie .....	5-22
5.12.2 Cel ćwiczenia .....	5-22
5.12.3 Konstrukcja siatek perspektywicznych .....	5-22
5.12.4 Kolejność czynności .....	5-22
5.12.5 Zalety i wady metody siatek perspektywicznych.....	5-22
5.12.5.1 Kryterium terenu płaskiego .....	5-23
5.13 Ćwiczenie II: automatyczna interpretacja zdjęć lotniczych i zobrazowań satelitarnych .....	5-26
5.13.1 Wprowadzenie .....	5-26
5.13.2 Cel ćwiczenia .....	5-26
5.14 Ćwiczenie III: obserwacje stereoskopowe okiem nieuzbrojonym.....	5-27
5.14.1 Wprowadzenie .....	5-27
5.14.2 Cel ćwiczenia .....	5-28
5.14.3 Wzory do wykorzystania .....	5-28
5.14.4 Przykłady .....	5-28
<b>6. Wykonywanie zdjęć lotniczych, podstawy fotografii i fotogrametrii.....</b>	<b>6-1</b>
6.1 Elementy fotografii i fotochemii, materiały światłoczułe, reprodukcja fotograficzna.....	6-1
6.1.1 Zasada powstawania obrazu w kamerze fotograficznej.....	6-1
6.1.2 Rejestracja fotograficzna.....	6-4
6.1.3 Reprodukcja fotograficzna.....	6-8
6.2 Podstawy fotogrametrii lotniczej .....	6-9
6.2.1 Zdjęcie fotograficzne jako rzut środkowy.....	6-9
6.2.2 Elementy orientacji zdjęcia lotniczego .....	6-10
6.2.3 Zniekształcenia na zdjęciach spowodowane deniwelacją terenu i nachyleniem zdjęcia .....	6-13
6.2.4 Opracowanie mapy metodami fotogrametrii lotniczej .....	6-14
6.3 Wykonywanie zdjęć lotniczych.....	6-16
6.3.1 Fotogrametryczne kamery lotnicze .....	6-16
6.3.2 Zasady wykonywania fotogrametrycznych zdjęć lotniczych.....	6-19
6.3.3 Projekt lotu fotogrametrycznego.....	6-20
6.3.4 Ćwiczenia z opracowania planu lotu i analizy wykonanych zdjęć .....	6-23
6.3.4.1 Ćwiczenie 1 - Opracowanie planu lotu .....	6-23
6.3.4.2 Ćwiczenie 2 - Sprawdzenie realizacji parametrów lotu fotogrametrycznego na podstawie wykonanych zdjęć .....	6-27
6.4 Stereoscopia.....	6-28
6.4.1 Widzenie przestrzenne naturalne .....	6-28
6.4.2 Sztuczny efekt stereoskopowy .....	6-28
6.4.3 Stereogram .....	6-28
6.4.4 Sposoby obserwacji stereoskopowej.....	6-29
6.4.5 Rodzaje sztucznego efektu stereoskopowego .....	6-32
6.4.6 Przestrzenny znaczek pomiarowy .....	6-33
6.4.7 Ćwiczenia ze stereoskopii .....	6-33
6.5 Literatura.....	6-34
<b>7. Charakterystyka zdjęć lotniczych i obrazów satelitarnych pod względem ich treści informacyjnej oraz ich charakterystyka kartometryczna .....</b>	<b>7-1</b>
7.1 Ogólny model zdalnej rejestracji powierzchni Ziemi .....	7-1
7.2 Przegląd zdalnych metod w aspekcie pozyskiwania informacji tematycznej o powierzchni Ziemi.....	7-4
7.2.1 Rejestracja fotograficzna.....	7-4
7.2.2 Rejestracja niefotograficzna.....	7-5
7.3 Cechy charakterystyczne obrazu z punktu widzenia potrzeb interpretacji .....	7-8

7.4 Podstawy odczytywania treści topograficznej i tematycznej zdalnych zobrazowań.....	7-12
7.4.1 Struktura procesu interpretacji obrazów .....	7-12
7.4.2 Ogólny schemat postępowania interpretacyjnego.....	7-15
7.4.3 Rola cech rozpoznawczych, działki kluczowe i jednostki fotomorficzne .....	7-16
7.4.4 Charakterystyka spektralna głównych komponentów naturalnych i antropogenicznych tworzących obraz terenu oraz jej wykorzystanie w praktyce interpretacji zdalnych zobrazowań.....	7-21
7.5 Zasady rozpoznawania głównych elementów środowiska geograficznego na zdjęciach lotniczych i obrazach satelitarnych .....	7-23
7.5.1 Ukształtowanie powierzchni terenu .....	7-23
7.5.2 Wody powierzchniowe (cieki, kanały, jeziora, zbiorniki naturalne i sztuczne, strefy przybrzeżne akwenów morskich) .....	7-25
7.5.3 Szata roślinna (kompleksy upraw rolnych i leśnych, zbiorowiska naturalne).....	7-26
7.5.4 Elementy infrastruktury komunikacyjnej, zabudowa, jej rodzaje i funkcje.....	7-27
7.6 Kartometryczność zdjęć lotniczych i zobrazowań satelitarnych .....	7-28
7.6.1 Kryteria kartometryczności w aspekcie tematycznej interpretacji zdalnych zobrazowań .....	7-28
7.6.2 Zniekształcenia geometryczne zdjęć lotniczych i satelitarnych.....	7-29
7.7 Bibliografia.....	7-30
7.8 Konspekt.....	7-31
<b>8. Proste metody odczytywania i pomiaru na zdjęciach lotniczych z wykorzystaniem stereoskopii oraz na ortofotomapie .....</b>	<b>8-1</b>
8.1 Określanie elementów geometrii zdjęcia lotniczego .....	8-1
8.1.1 Wykorzystanie informacji z ramki zdjęcia lotniczego.....	8-1
8.1.2 Wyznaczanie punktów i linii charakterystycznych zdjęcia lotniczego w aspekcie ich wykorzystania w prostych pomiarach na zdjęciu.....	8-4
8.1.3 Wyznaczenie kąta nachylenia zdjęcia w przypadku braku obrazu libeli na ramce tłowej.....	8-4
8.1.4 Określanie wielkości zniekształceń geometrycznych obrazu na zdjęciu lotniczym .....	8-5
8.1.5 Określanie skali zdjęcia .....	8-7
8.1.5.1 Skala zdjęcia pionowego, $v = 0$ .....	8-7
8.1.5.2 Określanie zmienności skali dla zdjęcia nachylonego .....	8-7
8.2 Ćwiczenie I - Ocena geometrii zdjęcia .....	8-9
8.3 Proste, przybliżone pomiary na pojedynczym zdjęciu lotniczym.....	8-13
8.4 Ćwiczenie II - Proste pomiary na pojedynczym zdjęciu lotniczym.....	8-16
8.5 Proste pomiary z wykorzystaniem stereogramu .....	8-17
8.5.1 Pomiar różnic wysokości .....	8-17
8.5.2 Pomiar kąta nachylenia terenu .....	8-18
8.5.3 Wykonywanie profilu terenu .....	8-19
8.6 Ćwiczenie III - Proste pomiary przy użyciu stereogramu .....	8-20
8.7 Przenoszenie elementów treści zdjęcia na mapę, przetwarzanie zdjęć lotniczych .....	8-21
8.7.1 Metoda graficzna .....	8-21
8.7.2 Metoda analityczna .....	8-21
8.8 Ćwiczenie IV - Wnoszenie treści zdjęcia na mapę.....	8-22
8.9 Bibliografia.....	8-22

## 7. CHARAKTERYSTYKA ZDJĘĆ LOTNICZYCH I OBRAZÓW SATELITARNYCH POD WZGLĘDEM ICH TREŚCI INFORMACYJNEJ ORAZ ICH CHARAKTERYSTYKA KARTOMETRYCZNA

Stanisław Mularz

### 7.1 OGÓLNY MODEL ZDALNEJ REJESTRACJI POWIERZCHNI ZIEMI

Zdalne metody (teledetekcję) można w szerokim pojęciu zdefiniować jako gromadzenie informacji o obiekcie bez fizycznego kontaktu z badanym obiektem.

W tym ujęciu teledetekcja jest ograniczona do metod, które wykorzystują spektrum elektromagnetyczne dla wykrywania, pomiaru i charakterystyki badanych obiektów. Wyklucza się tym samym metody elektryczne, grawimetryczne, magnetyczne bazujące na pomiarach pola sił, tradycyjnie zaliczane do metod geofizycznych.

Dla optymalnego wykorzystania materiałów teledetekcyjnych konieczna jest:

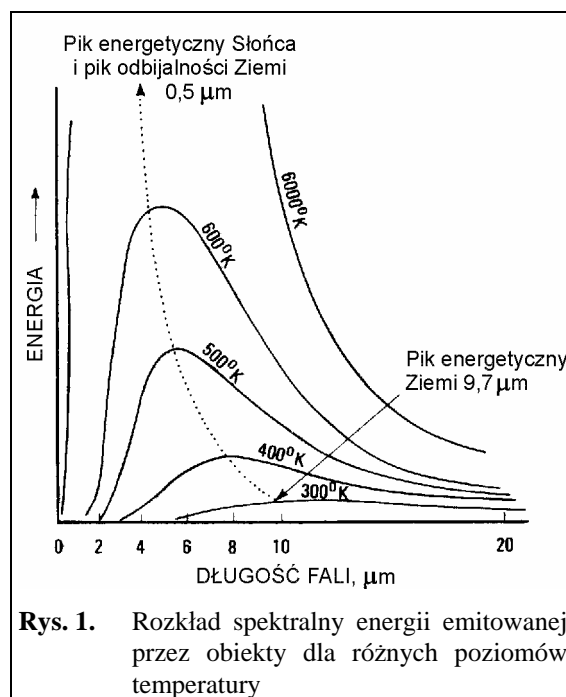
- znajomość technik zdalnej rejestracji obrazów,
- świadomość, czym różnią się te obrazy w stosunku do odwzorowania terenu jakie daje mapa topograficzna,
- umiejętność ich interpretacji, to znaczy właściwego kojarzenia obrazu zarejestrowanego na zdjęciach lotniczych i satelitarnych z obiektami znajdującymi się w terenie oraz odczytania treści tematycznej zdalnych zobrazowań.

Słońce jest podstawowym źródłem energii dochodzącej do powierzchni Ziemi w postaci promieniowania elektromagnetycznego jako jedynej formy przepływu energii poprzez próżnię. Koncepcja falowej natury energii elektromagnetycznej wyjaśnia sposób propagacji tej energii, ale staje się ona wykrywalna jedynie poprzez interakcję z materią. Zdalna rejestracja odbicia, emisji bądź efektu rozpraszania fal elektromagnetycznych poprzez różne obiekty terenowe staje się źródłem informacji o tych obiektach w postaci obrazu.

#### Rozkład energii

Słońce, o temperaturze na powierzchni rzędu  $6000^{\circ}\text{K}$ , promieniuje niezwykle dużą porcję energii elektromagnetycznej we wszystkich długościach fali wykorzystywanych w tzw. pasywnych technikach rejestracji od ultrafioletu poprzez zakres widzialny do regionu podczerwieni. Maksymalna koncentracja energii następuje przy długości fali  $0,5\ \mu\text{m}$  odpowiadającej zielonej części regionu widzialnego. Stąd też, w ciągu dnia maximum promieniowania padającego na powierzchnię Ziemi i odbitego od niej przypada na zakres widzialny a pik energetyczny przypada na długość fali  $0,5\ \mu\text{m}$  (rys. 1).

Pik energetyczny powierzchni Ziemi, której temperatura wynosi średnio  $290^{\circ}\text{K}$  ( $17^{\circ}\text{C}$ ) przypada na region podczerwieni o długości fali  $9,7\ \mu\text{m}$ . Ten poziom energii promienistej jest znikomo mały w porównaniu z odbitą energią Słońca ale dominuje w nocy umożliwiając obserwacje powierzchni Ziemi w paśmie podczerwieni termalnej (TIR, ang. *Thermal Infrared*) (rys. 1).



## Mechanizmy interakcyjne

Wiele rodzajów interakcji jest możliwych, gdy energia elektromagnetyczna dociera do materii będącej zarówno w stanie stałym jak i ciekłym czy gazowym.

Interakcje zachodzące na powierzchni substancji są nazywane zjawiskami powierzchniowymi.

Penetracja energii elektromagnetycznej w głąb ciała wywołuje interakcje nazwane zjawiskami objętościowymi.

Mechanizmy interakcyjne powierzchniowe i objętościowe energii z materią wywołują wiele zmian w padającym promieniowaniu elektromagnetycznym, przede wszystkim zmiany w natężeniu, kierunku, długości fali, polaryzacji i fazie. Teledetekcyjnie wykrywa się i rejestruje te zmiany w postaci obrazów lub zespołu danych nieobrazowych, które następnie poddawane są interpretacji celem dokonania zdalnej identyfikacji i charakterystyki materii, która wywołuje zmiany padającego nań promieniowania.

Podczas interakcji promieniowania elektromagnetycznego z materią masa i energia są zachowane zgodnie z podstawowymi prawami fizyki. Mogą pojawić się następujące mechanizmy interakcyjne:

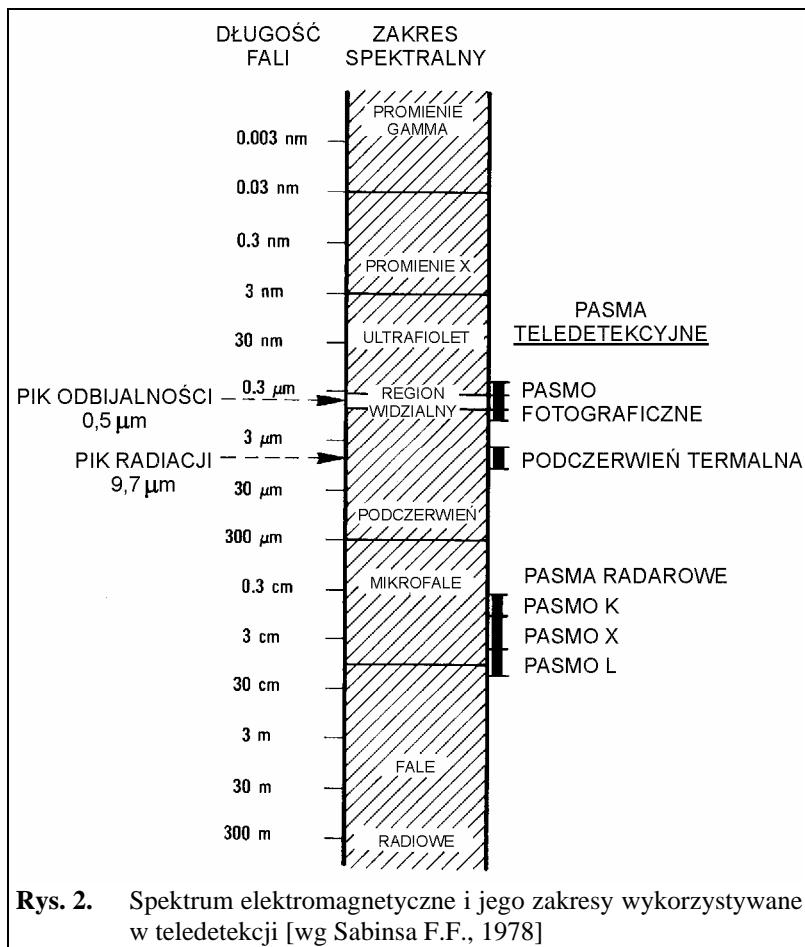
1. Transmisja promieniowania polegająca na przejściu promieniowania przez daną substancję. Prędkość i kierunek promieniowania zmienia się podczas jego transmisji z powietrza lub próżni do wnętrza innych substancji.
2. Absorpcja promieniowania wywołuje z reguły zamianę energii promienistej na ciepło powodując tym samym podwyższenie temperatury ciała absorbującego energię elektromagnetyczną.
3. Emisja promieniowania jest funkcją struktury danego ciała i jego temperatury. Wszystkie ciała, których temperatura jest wyższa od zera absolutnego ( $0^0\text{K}$ ) emitują energię promienistą.
4. Rozpraszanie promieniowania następuje we wszystkich kierunkach i powoduje straty energii padającej w rezultacie absorpcji lub dalszego rozproszenia. Przykładem może być rozpraszanie światła w atmosferze ziemskiej.
5. Odbicie promieniowania, które jest zmianą kierunku promieniowania w tej samej postaci od danego ciała pod kątem odbicia równym, ale przeciwnym kątowi padania.

Wymienione rodzaje interakcji energii elektromagnetycznej z jakąś szczególną formą materii przebiegają selektywnie, zwłaszcza w odniesieniu do długości fali padającego promieniowania i są specyficzne dla tej postaci materii. Zależne jest to w pierwszym rzędzie od własności powierzchni oraz struktury atomowej i molekularnej badanego obiektu. Mechanizmy interakcyjne energii z materią stanowią bazę metod teledetekcyjnych.

Spektrum elektromagnetyczne - jest *continuum* energii o zakresie długości fali od kilometrów do nanometrów, biegnącej w przestrzeni z prędkością  $3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ . Spektrum elektromagnetyczne zostało podzielone na szereg przedziałów, których granice są umowne, przechodząc stopniowo jedno w drugie (rys.2).

Z punktu widzenia stosowanych sensorów czyli urządzeń do zdalnej rejestracji obrazów powierzchni Ziemi (np. kamery, skanery) wyróżnia się następujące zakresy spektralne:

- a) spektrum fotograficzne - obejmujące długofalowe promieniowanie ultrafioletowe (UV) region widzialny (VIS) i krótkofalowe promieniowanie podczerwone, tzw. bliską podczerwień (IR). Zakres fotograficzny jest rejestrowany na materiałach fotograficznych i skanerami multispektralnymi.



- b) spektrum termalne - obejmujące dwa okna atmosferyczne regionu długofalowej podczerwieni - bliższe (3-5 μm) i dalsze (8-14 μm). Rejestracja skanerami termalnymi i skanerami multispektralnymi.
- c) spektrum mikrofalowe - obejmujący aktywne systemy radarowe z podziałem na kanały K, X, L oraz pasywne systemy mikrofalowe.

### Efekty atmosferyczne

Gazy stanowiące główne i drugorzędne składniki atmosfery ziemskiej oraz zawarta w niej para wodna powodują selektywne rozpraszanie a także absorpcję przechodzącego przez nie promieniowania elektromagnetycznego (rys.3).

Promieniowanie krótsze niż 0,3 μm jest całkowicie absorbowane przez warstwę ozonu (O<sub>3</sub>) znajdującą się w górnej części atmosfery. Absorpcja tej części promieniowania jest niezwykle istotna dla rozwoju życia na Ziemi, gdyż ekspozycja żywych organizmów na te zakresy promieniowania jest dla nich zabójcza.

Chmury, które składają się z aerozolowych cząsteczek wody w większej części, niż pary wodnej lub kryształków lodu, są nieprzenikliwe dla promieniowania o długości fali krótszej niż 0,3 cm. Jedynie mikrofały i fale dłuższe mogą penetrować tego rodzaju przeszkody nie podlegając rozproszeniu, odbiciu lub absorpcji.

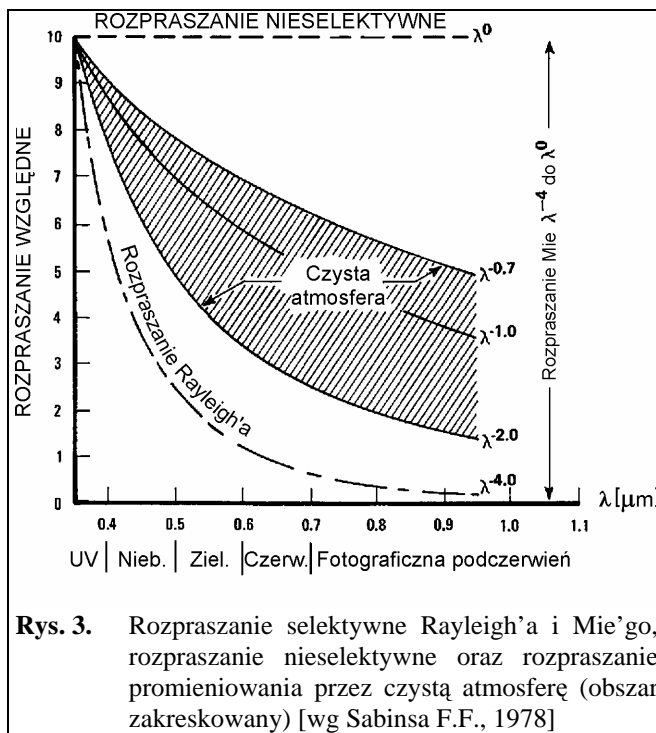


Tabela 1

Zakres	Długość fali	Charakterystyka
Promienie Gamma	< 0,03 nm	Ten zakres pochodzący od Słońca nie jest wykorzystywany w teledetekcji, gdyż jest całkowicie absorbowany przez górne warstwy atmosfery. Promieniowanie gamma pochodzące od minerałów radioaktywnych jest wykrywane z niskich pułapów lotniczych
Promienie X (Roentgena)	0,03 - 3,0 nm	Promieniowanie słoneczne tego zakresu podlega całkowitej absorpcji w atmosferze ziemskiej
Ultrafiolet (UV)	3 nm - 0,4 $\mu\text{m}$	Promieniowanie przychodzące o długości fali <0,3 $\mu\text{m}$ jest całkowicie absorbowane przez warstwę ozonu
Fotograficzny ultrafiolet	0,3 $\mu\text{m}$ - 0,4 $\mu\text{m}$	Transmitowane przez atmosferę. Rejestrowalne na filmie i przez fotodetektory, chociaż rozpraszanie jest znaczne
Widzialne (VIS)	0,4 $\mu\text{m}$ - 0,7 $\mu\text{m}$	Transmitowane z niewielkimi stratami przez atmosferę. Rejestrowane technikami fotograficznymi i przez fotodetektory
Podczerwień (IR)	0,7 $\mu\text{m}$ - 300 $\mu\text{m}$	Interakcja z materią zależna od długości fali. Okna atmosferyczne przedzielone zakresami absorpcji
Odbijalna podczerwień bliska (IR) i średnia (MIR)	0,7 $\mu\text{m}$ - 3 $\mu\text{m}$	Ten zakres ulega przede wszystkim odbiciu i nie zawiera informacji o właściwościach termalnych materiałów. Zakres 0,7-0,9 $\mu\text{m}$ wykrywalny fotograficznie (podczerwień fotograficzna)
Termalna podczerwień (TIR)	3 - 5 $\mu\text{m}$ 8 - 14 $\mu\text{m}$	Główne okna atmosferyczne w regionie podczerwonym. Zobrazowania przy użyciu kamer termalnych i skanerów termalnych
Mikrofale	0,3 cm - 300 cm	Dłuższe promieniowanie tego zakresu przechodzi poprzez gęste pokrywy chmur, roślinności a także warstwy gleby i rumoszu, zwietrzliny. Mogą być dokonywane zobrazowania systemem aktywnym (Radar) i pasywnie.

## 7.2 PRZEGLĄD ZDALNYCH METOD W ASPEKcie POZYSKIWANIA INFORMACJI TEMATYCZNEJ O POWIERZCHNI ZIEMI

### 7.2.1 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 1945 r., w różnych latach i skalach.

W przypadku fotografii lotniczej film panchromatyczny używa się najczęściej w kombinacji z żółtym filtrem, który nie przepuszcza promieni ultrafioletowych oraz znaczną część promieni niebieskich rozproszonych w atmosferze ziemskiej. Ten fakt wpływa wybitnie ko-



rzystnie na fotograficzną jakość panchromatycznych zdjęć lotniczych. Film panchromatyczny rejestruje stosunkowo szeroki zakres widma i z tego względu, dla pewnych celów, jest zbyt mało selektywny. Znaczna ilość różnych obiektów wychodzi na zdjęciach panchromatycznych w podobnym odcieniu szarości, zwanym fototonem. Stąd też niekiedy w fotografii lotniczej można się spotkać z zastosowaniem filmu czarno-białego ale uczulonego na węższy zakres widma, a więc np. film ortochromatyczny.

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.

### 7.2.2 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. 2). 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. 2). Mogą one być także umieszczane na samolotach.

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

**Obrazy termalne** przedstawiają rozkład temperatury radiacyjnej [ $T_{\text{rad}}$ ] powierzchni terenu, a ściślej iloczyn temperatury [ $T_{\text{kin}}$ ] i zdolności emisyjnej [ $\varepsilon$ ] tworzących ją materiałów [ $T_{\text{rad}} = \sqrt[4]{\varepsilon} \cdot T_{\text{kin}}$ ]. Są one szczególnie przydatne przy analizie skażeń termalnych terenu,

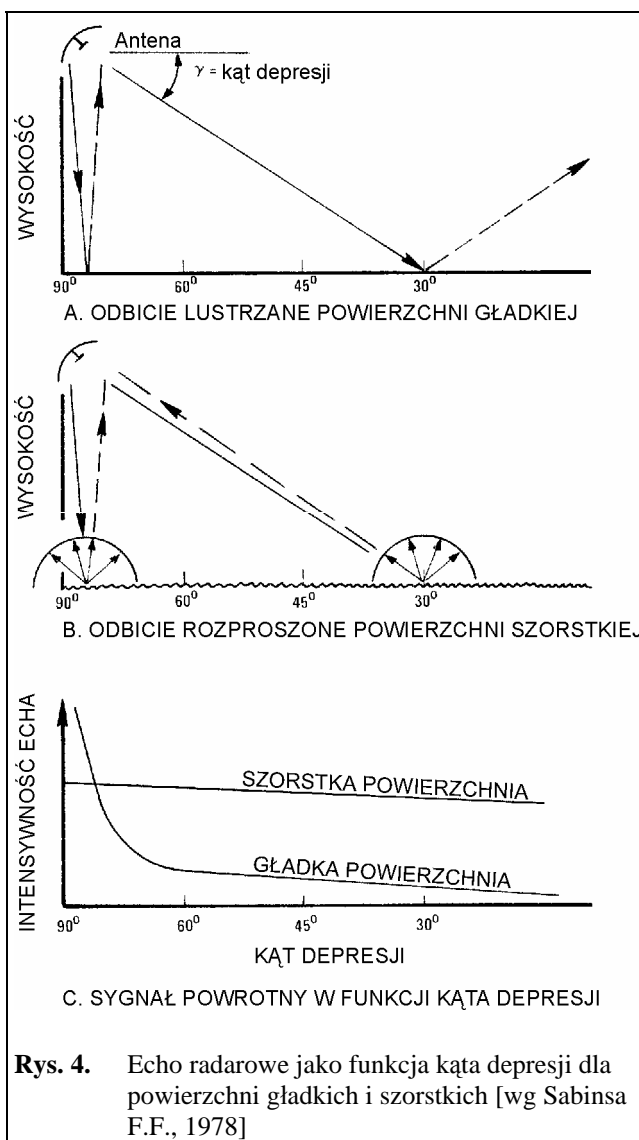
rozprzestrzeniania się ogrzanych wód, izolacji termalnej budynków i rurociągów, w hydrogeologii itp.

**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.

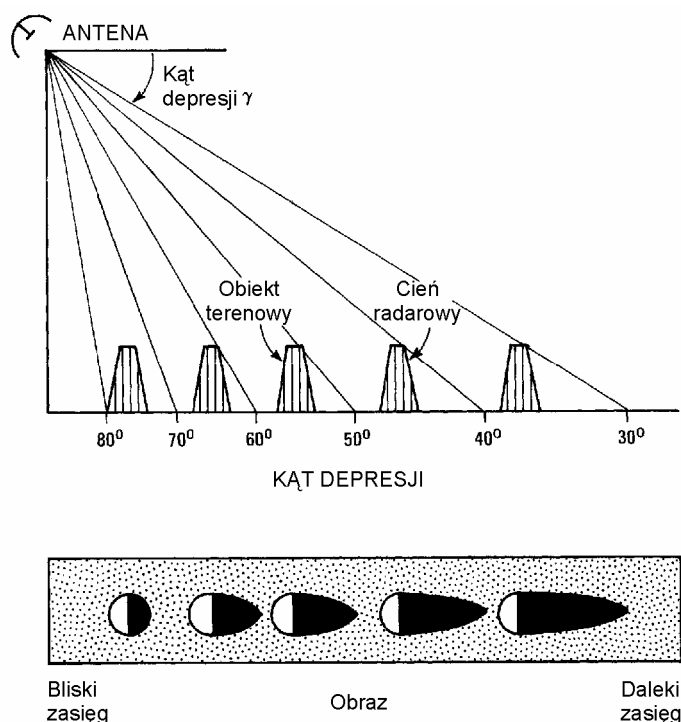
**Obrazy radarowe** uzyskuje się wykorzystując mikrofałe i fale radiowe o długości 0,75-100 cm. Rejestracja obrazu powierzchni Ziemi jest niezależna od pory dnia i nocy i prawie niezależna od warunków atmosferycznych. Wykonuje się je zarówno z samolotów, jak i satelitów (tab. 2). Intensywność odbitej od powierzchni terenu wiązki radarowej (*echo radarowe*) zależy od cech systemu (polaryzacja, kąt depresji, rodzaj pasma), oraz od cech powierzchni terenu (stała dielektryczna, szorstkość) (rys. 4). Ukształtowanie powierzchni terenu, przy określonym kierunku "iluminacji" wiązką promieniowania powoduje powstanie stref tzw. *cienia radarowego* (rys. 5), 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 nadawcze i następnie odbite od dna. Obraz zależy od cech sprężystych materiałów budujących dno. Pozwala to na rozpoznanie jego morfologii i litologii oraz lokaliza-



cję wraków, podmorskich rurociągów itp. Urządzenie jest niewrażliwe na zamięcenie wody. Zakłócenia powodują np. ławice ryb czy delfiny.



Rys. 5. Efekt cienia radarowego dla identycznych obiektów przy różnych kątach depresji [wg Sabinsa F.F., 1978]

Tabela 1  
Satelitarne systemy teledetekcyjne

Nazwa satelity (właściciel)	Nazwa sensora (rodzaj)	Kod kanałów	Zakres spektralny [ $\mu\text{m}$ ]	Rozdzielczość terenowa [m]	Rozmiar sceny [km]	Charakterystyka systemu
LANDSAT 1 i 2 (USA - NASA)	RBV (kamery TV)	1	0,475-0,575	80 × 80	185 × 185	Orbita: kołowa, okołobiegunowa (99°), heliosynchroniczna Wysokość: 918 km Czas obiegu: 103 min. Cykl powrotu: 18 dni
		2	0,580-0,680	79 × 79		
		3	0,690-0,830			
	MSS (skaner multi-spektralny)	4	0,50-0,60	79 × 79		
		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	40 × 40	185 × 185	Orbita: kołowa, okołobiegunowa (99°), heliosynchroniczna Wysokość: 918 km Czas obiegu: 103 min. Cykl powrotu: 18 dni
	MSS	4	0,50-0,60	79 × 79	185 × 185	
		5	0,60-0,70			
		6	0,70-0,80			
		7	0,80-1,10			
8	10,40-12,60	240 × 240				
LANDSAT 4 i 5 (USA - EOSAT)	MSS	1	0,50-0,60	79 × 79	185 × 185	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	30 × 30	185 × 185	
		2	0,52-0,60			
		3	0,63-0,69			
		4	0,76-0,90			
		5	1,55-1,75			
		6	2,80-2,35			
		10,4-12,5	120 × 120			

Tabela 1 - c. d.

Nazwa satelity (właściciel)	Nazwa sensora (rodzaj)	Kod kanałów	Zakres spektralny [ $\mu\text{m}$ ]	Rozdzielczość terenowa [m]	Rozmiar sceny [km]	Charakterystyka systemu
SPOT 1 i 2 (FRANCJA)	HRV (skaner wysokiej rozdzielczości)	XS1 XS2 XS3 PAN	0,50-0,59 0,61-0,68 0,79-0,89 0,51-0,73	20 × 20  10 × 10	117 × 117 (60 × 60 do 80 × 80)	Orbita: kołowa, okołobiegunowa (98,7°), heliosynchroniczna Czas obiegu: 100 min. Wysokość: 832 km Cykl powrotu: 26 dni
ERS-1, 2 (ESA)	AMI SAR (system radarowy) (IM) (WM) (WSM) (ASTR)		5,3 Ghz (56,6 cm)  1,6; 3,7 11,0; 12,0	30 × 30 50 km 1000 m	100 × 100 500 500	Orbita: kołowa, okołobiegunowa, heliosynchroniczna Wysokość: 785 km Czas obiegu: 100 min. Cykl powrotu: 35 dni (od 3 do 176)
SEASAT 1 (USA)	VIRR SAR (system radarowy)	1 2	0,49-0,94 10,5-12,5 23,5 cm	2000 4000 25	2200  100	Orbita: kołowa (108°), Wysokość: 800 km Czas obiegu: 100 min.
JERS-1, 2 (JAPONIA)	OPS VNIR (skaner multispektralny) SWIR  (skaner multispektralny) SAR (system radarowy)	1 2 3 4 5  6 7 8	0,52-0,60 0,63-0,69 0,76-0,86 0,76-0,86 1,60-1,71  2,01-2,12 1,13-2,25 2,27-2,40 1275 MHz	18,3 × 24,2      18 × 18	75      75	Orbita: okołobiegunowa (98°), heliosynchroniczna Wysokość: 570 km Czas obiegu: 96 min. Cykl powrotu: 44 dni 4 kanał do rejestracji stereoskopowej

### 7.3 CECHY CHARAKTERYSTYCZNE OBRAZU Z PUNKTU WIDZENIA POTRZEB INTERPRETACJI

#### Charakterystyka obrazu

Obraz - jest ogólnym terminem dotyczącym wizualnego odwzorowania rzeczywistych obiektów a także zjawisk i procesów, niezależnie od pasma spektrum elektromagnetycznego jak też urządzenia wykorzystanego do wytworzenia obrazu.

Chociaż obraz jest pojęciem szerszym, zwyczajowo używa się go dla określenia niefotograficznych rejestracji. Większość obrazów posiada fotograficzną postać, chociaż pierwotna postać zapisu dokonana została przy użyciu systemów niefotograficznych, np. skanerami multispektralnymi, radarem itp.

Zdjęcie (fotografia) - jest obrazem formowanym przy pomocy odbitego promieniowania elektromagnetycznego uzyskanym w wyniku obróbki fotochemicznej materiałów uczulonych na odpowiednie pasmo spektrum fotograficznego od 0,3 do 0,9  $\mu\text{m}$ .

Wszystkie typy obrazów mogą być scharakteryzowane przez zespół cech niezależnych od zakresu spektrum wykorzystanego do ich formowania. Te fundamentalne cechy to: skala, jasność (ton), kontrastowość, rozdzielczość.

Ton i tekstura obrazu to pochodne tych właściwości.

Skala - jest to stosunek odległości pomiędzy dwoma punktami na obrazie lub mapie do odpowiadającego dystansu w terenie. Skala obrazu determinowana jest przez:

- kątowne pole widzenia urządzenia obrazującego,
- wysokość, z której obraz został zarejestrowany,
- wskaźnik powiększenia zastosowany przy reprodukcji obrazu.

Zakres skal uległ przesunięciu po uzyskaniu pierwszych obrazów satelitarnych. Niegdyś (35 lat temu) skala  $\cong 1 : 60\ 000$  uważana była za bardzo drobną skalę dla zdjęć wykonywanych z wysokiego pułapu lotniczego. Obecnie przyjmuje się następującą gradację skal, wspólną do zobrazowań lotniczych i satelitarnych.

skala mała  $< 1 : 500\ 000$  (1 cm = 5 km lub więcej)

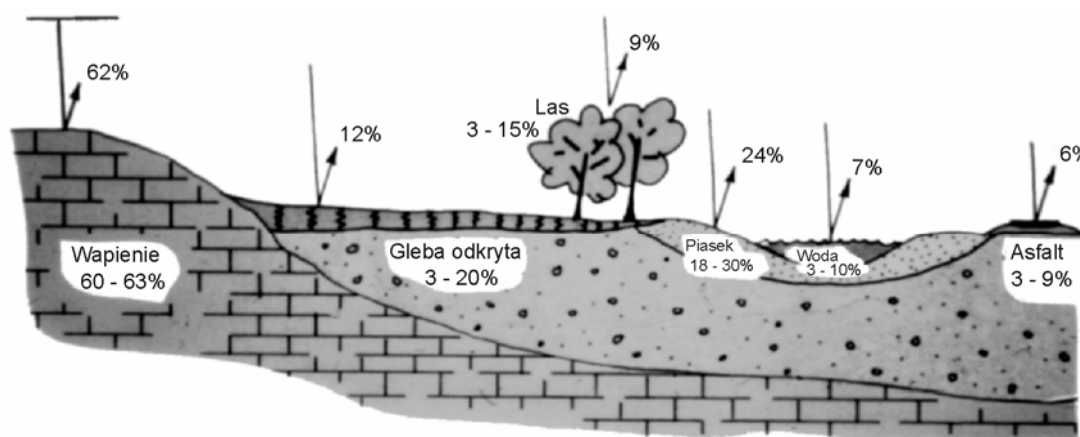
skala średnia  $1 : 500\ 000 \div 1 : 50\ 000$  (1 cm = 5 km - 0,5 km)

skala duża  $> 1 : 50\ 000$  (1 cm = 0,5 km lub mniej)

Optymalna skala obrazów jest determinowana przez charakter i cel interpretacji. Przykładowo, obrazy i zdjęcia satelitarne charakteryzuje olbrzymia pojemność informacyjna, mimo relatywnie małych skal rejestracji.

### Jasność obrazu i ton

Promieniowanie elektromagnetyczne odbite, emitowane lub rozpraszane przez obiekt jest rejestrowane przez systemy teledetekcyjne w stosowanych zakresach spektralnych (zakres fotograficzny, termalny, mikrofalowy). Zróżnicowanie natężenia promieniowania rejestrowane jest zazwyczaj jako zmiany jasności czarno-białych obrazów. Na obrazach pozytywnych jasność obiektów jest proporcjonalna do natężenia promieniowania, które zdalnie rejestruje sensor obrazujący (rys.6).



**Rys. 6.** Odbita porcja spektrum elektromagnetycznego jako źródło informacji o obiektach terenowych na zdjęciach lotniczych i obrazach satelitarnych

Jasność jest sposobem reakcji ludzkiego oka na światło. Jest wrażeniem subiektywnym i może być określone tylko w przybliżeniu. Zróżnicowanie jasności może być skalibrowane w postaci skali szarości.

Ton obrazu (fototon) - jest terminem używanym w odniesieniu do każdego możliwego do wyróżnienia odcienia szarości od bieli do czerni. W praktyce interpretacyjnej dla scharakteryzowania tonu obrazu używa się pojęć: jasny, średni, ciemny.

Na zdjęciach lotniczych ton obiektu jest w pierwszym rzędzie determinowany zdolnością odbijającą padającego nań promieniowania, chociaż należałoby uwzględnić również takie czynniki jak czułość spektralna filmu i efekty atmosferyczne.

Na innych zdalnie otrzymywanych obrazach znaczenie tonu jest inne. Na obrazach termalnych jasność obiektu jest proporcjonalna do ciepła emitowanego przez obiekt natomiast jasność obrazów radarowych jest determinowana przez wielkość echa radarowego odbieranego przez antenę systemu.

## Kontrast obrazu

Jedną z możliwych definicji stanowi, iż kontrast jest to stosunek pomiędzy najjaśniejszymi i najciemniejszymi partiami obrazu (rys. 7).

Dla wyrażenia stopnia kontrastu używanych jest wiele formuł. Szeroko używany jest termin - stopień kontrastu ( $C_r$ )

$$C_r = \frac{B_{\max}}{B_{\min}} \quad (\text{wzór 1})$$

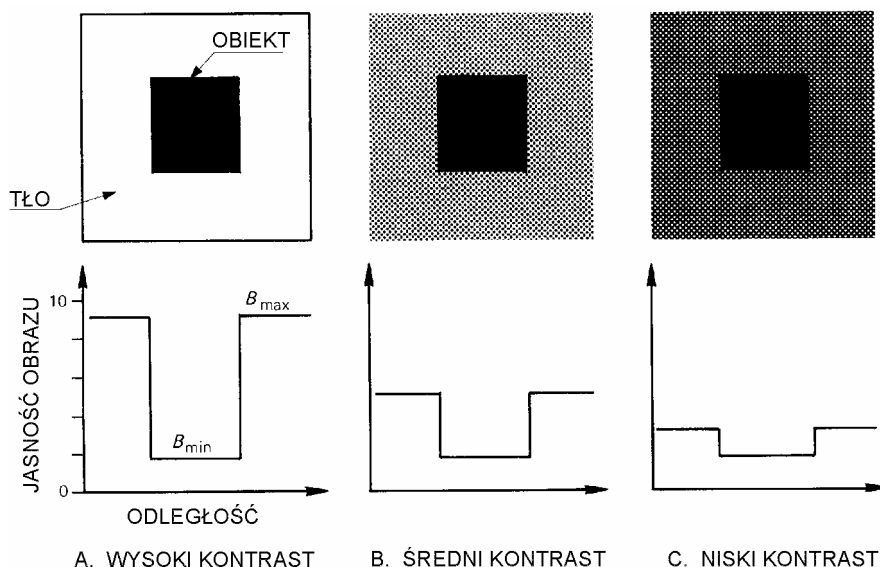
gdzie:

$B_{\max}$  - maksimum jasności

$B_{\min}$  - minimum jasności

Gdy:  $B_{\min} = 0 \quad C_r = \infty$   
 $B_{\min} = B_{\max} \quad C_r = 1$

Termin - kontrast obrazu może również dotyczyć stosunku jasności obiektu do jasności tła (rys. 7).



Rys. 7. Schemat obrazu o różnym stopniu kontrastu [wg Sabinsa F.F., 1978]

Stopień kontrastu jest znaczącym czynnikiem dla wydzielenia interpretacyjnych oraz w ogóle stwierdzenia istnienia obiektu. Obrazy o małym stopniu kontrastowości określane są jako „rozmyte” o monotonnym, niemal jednakowym stopniu szarości.

Niski kontrast może być rezultatem następujących czynników:

1. Indywidualne obiekty i tło tworzące powierzchnię terenu mogą posiadać zbliżoną odpowiedź spektralną w zakresie, który został wykorzystany do zdalnej rejestracji. Innymi słowy, scena sama w sobie charakteryzuje się niskim stosunkiem kontrastowości.
2. Rozproszenie energii elektromagnetycznej przez atmosferę może zredukować kontrast danej sceny. Efekt ten jest bardziej znaczący dla krótszych zakresów spektrum fotograficznego.
3. Niewłaściwy dobór teledetekcyjnej metody rejestracji, ze względu na niewystarczającą czułość systemu, pozwalającą na wykrycie i zarejestrowanie obrazu terenu z właściwym

stopniem skonstrastowania. Taka niewłaściwa metoda rejestracji może dać wynik zobrazowania o niskim kontraście chociaż scena ma wystarczająco wysoki kontrast.

Obrazy o niskim stopniu kontrastu, niezależnie od powodu, można poprawić drogą fotograficzną lub sposobem numerycznym.

### **Rozdzielczość i zdolność rozdzielcza**

Termin zdolność rozdzielcza stosuje się do systemu obrazującego lub jego części składowej, podczas gdy rozdzielczość odnosi się do obrazu, który ten system wytworzył.

I tak np. obiektyw i film w kamerze fotograficznej, każde oddzielnie cechuje odpowiednia zdolność rozdzielcza, która (łącznie z innymi czynnikami) decyduje o rozdzielczości zdjęcia.

Rozdzielczość, tak jak jest rozumiana w teledetekcji, jest to zdolność rozróżnienia dwóch blisko siebie leżących elementów obrazu, jako dwóch oddzielnych obiektów, czyli inaczej jest to minimum rozdzielania (separacji) niezbędnego do oddzielnego odwzorowania się tych obiektów. Obiekty, które są odległe od siebie o mniejszy dystans niż rozdzielczość zostaną zarejestrowane jako jeden obiekt.

W fotografii rozdzielczość i zdolność rozdzielcza są użytkowo definiowane jako różnialna wizualnie liczba par linii na jednostkę długości, zdjęcia planszy testowej, przy odpowiednio normowanym oświetleniu i powiększeniu.

Wizualna charakterystyka rozdzielczości jest subiektywna i mało dokładna, a co najważniejsze w małym stopniu powtarzalna. Rozdzielczość jest różna dla obiektów o zróżnicowanym kształcie, wielkości, przestrzennym usytuowaniu oraz stopniu kontrastu. Dlatego bardziej kompletną standaryzację można otrzymać stosując MTF (*Modulation Transfer Function*).

Zdolność rozdzielcza może być także zdefiniowana jako kąt wyrażony w mierze łukowej określający możliwość zarejestrowania danym systemem dwóch obiektów leżących w minimalnej, dla ich rozróżnienia, odległości. Nosi ona nazwę kątowej zdolności rozdzielczej.

W odniesieniu do zdjęć oraz cyfrowych zobrazowań pozyskiwanych zwłaszcza za pomocą systemów satelitarnych, stosuje się również następujące pojęcia:

- rozdzielczość przestrzenna, wyrażająca rzeczywistą wielkość elementu obrazowego (piksel) na powierzchni terenu (np.  $30 \times 30$  m w systemie LANDSAT TM w paśmie odbijalnym lub  $120 \times 120$  m w paśmie termalnym);
- rozdzielczość spektralna, odpowiadająca liczbie i zakresowi kanałów spektralnych (np. w systemie LANDSAT TM: 3 kanały w zakresie widzialnym, 3 kanały w bliskiej i środkowej podczerwieni, 1 kanał w paśmie termalnym);
- rozdzielczość radiometryczna, która charakteryzuje skalę zapisu obrazu cyfrowego (np. 8-bitowa skala oznacza 256 poziomów szarości od 0 do 255).

### **Efekt stereoskopowy**

Niezwykle cennym walorem materiałów fotolotniczych, a obecnie także niektórych zobrazowań satelitarnych (np. systemy SPOT, IRS-1,2), jest możliwość uzyskiwania modelu stereoskopowego terenu. Wykorzystanie efektu stereoskopowego pozwala bowiem obserwatorowi na rekonstrukcję relacji przestrzennych odfotografowanego na zdjęciach terenu, a dodatkowo występujące przewyższenie skali pionowej modelu, umożliwia uchwycenie niewielkich nawet różnic wysokości i ich pomiar. Dotyczy to zarówno ukształtowania powierzchni terenu jak też elementów pokrycia topograficznego, takich jak obiekty budowlane, szata roślinna (piętrowość), linie napowietrzne itp. Stereoscopia w znaczący sposób wspomaga percepcję treści zdjęć lotniczych. Umożliwia m.in. prowadzenie kompleksowych studiów fotointerpretacyjnych, w tym przede wszystkim szeroko pojętych studiów przyrodniczych oraz pro-

jektowo-planistycznych. Efekt stereoskopowy ma kapitalne znaczenie dla interpretacji zdjęć lotniczych. W wielu przypadkach, zaledwie pobieżna analiza modelu stereoskopowego może zastąpić żmudne i mało efektywne procedury dedukcji dla odczytania np. morfologii powierzchni terenu na podstawie obserwacji pojedynczych zdjęć. Często natomiast poprawna interpretacja treści zdjęć lotniczych jest bardzo trudna lub wręcz nie jest możliwa do przeprowadzenia, bez wykorzystania efektu stereoskopowego. Dotyczy to zwłaszcza zobrażeń obszarów górskich, gdzie urozmaicona rzeźba generuje zazwyczaj zbyt duży kontrast tonalny pomiędzy bezpośrednio oświetlonymi i zacienionymi partiami terenu, dając niekiedy wrażenie inwersji morfologii tego rodzaju powierzchni (rys.8). Oprócz aspektów pomiarowych model stereoskopowy terenu odgrywa kluczową rolę zarówno przy prostym odczytywaniu treści topograficznej jak i podczas prowadzenia tematycznej interpretacji zdjęć lotniczych.



Rys. 8. Cień jako indykator rzeźby powierzchni terenu

## 7.4 PODSTAWY ODCZYTYWANIA TREŚCI TOPOGRAFICZNEJ I TEMATYCZNEJ ZDALNYCH ZOBRAZOWAŃ

### 7.4.1 Struktura procesu interpretacji obrazów

Pozyskiwanie przez człowieka informacji o Ziemi, przede wszystkim o obiektach tworzących jej powierzchnię oraz o zjawiskach i procesach, które ją przeobrażają, odbywa się za pomocą zmysłów.



Obraz tworzony za pomocą zdalnych technik stanowi mniej lub bardziej doskonały zbiór informacji o powierzchni Ziemi, które odpowiednio odczytane mogą być przydatne dla różnych celów. U podstaw interpretacji obrazów teledetekcyjnych leży postrzeganie - percepcja wzrokowa, polegająca na odbiciu w świadomości obserwatora obiektów i zjawisk świata zewnętrznego. Bodźce wzrokowe odbierane są bowiem za pomocą blisko 140 milionów receptorów oka ludzkiego, podczas gdy, np. wrażenia słuchowe odbierane są tylko za pomocą około 24 tysięcy receptorów ucha. Percepcja i notacja informacji za pomocą wzroku dokonuje się jednakże tylko w relatywnie wąskim paśmie widzialnego promieniowania elektromagnetycznego (380-760 nm). Ilość informacji dostarczana przez światło jest jednak znacznie ograniczona, gdyż nie wszystkie obiekty i zjawiska dają się zarejestrować w tym zakresie spektrum. W wielu przypadkach znacznie większe różnice odbicia, pochłaniania bądź emisji fal elektromagnetycznych zachodzą w pozawidzialnym zakresie promieniowania. Współczesne techniki teledetekcyjne pozwalają na znaczne rozszerzenie, upośledzonej w pewnym sensie, percepcji wzrokowej człowieka, poprzez wizualizację efektów odbicia, bądź emisji promieniowania elektromagnetycznego także w podfiolecie, bliskiej, środkowej i dalekiej podczerwieni a także w regionie mikrofal.

Wrażenie sztucznej plastyczności (efekt stereoskopowy) wywołują te same mechanizmy co przy trójwymiarowym postrzeganiu otaczającej nas przestrzeni a mianowicie różnice obrazów rzeczywistych oglądanego obiektu powstające na siatkówce lewego i prawego oka obserwatora.

Z formalnego punktu widzenia, w sensie psychologiczno-fizjologicznym w procesie interpretacji obrazów można wyróżnić następujące etapy:

- wykrywanie obiektów (zjawisk, procesów), które w najbardziej ogólnym sensie sprowadza się do stwierdzenia przez obserwatora istnienia, obecności „czegoś”, czyli spostrzeżenia cech zewnętrznych odwzorowanych obiektów, najczęściej poprzez różnice fototonu, barwy, kształtu, struktury itp.;
- rozpoznawanie obiektów czyli utwierdzenie się w przekonaniu o prawdziwości wstępnych spostrzeżeń i sądów prowadzące do zakwalifikowania obiektów do określonej kategorii poprzez nadanie im odpowiedniej nazwy. Rozpoznawania obiektów interpretator dokonuje na podstawie zespołu tzw. cech rozpoznawczych (bezpośrednich, pośrednich i kompleksowych);
- identyfikacja obiektów polega z reguły na określeniu znaczenia danego obiektu, jego funkcji lub genezy, czyli opatrzenia analizowanego obiektu swoistym identyfikatorem, jakby metryką, która wyróżnia dany obiekt spośród innych i stanowi o jego odrębności, indywidualnym piętnie.

Strukturę procesu interpretacji można zilustrować następującym, prostym przykładem. Na zdjęciu lotniczym (rys. 9) obserwator *wykrywa* istnienie obiektu o ciemnym jednolitym fototonie i regularnym wydłużonym, liniowym kształcie. Następnie interpretator *rozpoznaje*, że obiekt ten to duża rzeka o regularnym nurcie i zagospodarowanych brzegach, w postaci bulwarów. Fakty znane obserwatorowi takie jak obecność przeprawy mostowej oraz charakterystyczna monumentalna budowla przylegająca do zakola cieku, pozwalają dokonać *identyfikacji* analizowanego obiektu jako rzekę Wisłę, przepływającą przez śródmieście Krakowa, w rejonie Wawelu.

W identyfikacji obiektów dużą rolę odgrywają wywołane w świadomości obserwatora stereotypy myślowe i wyobrażeniowe, czyli obrazy obiektów, zjawisk i procesów oparte na wcześniejszych spostrzeżeniach, doświadczeniach, wiedzy i wyobraźni. Jednakże w wielu przypadkach proces interpretacji musi być zakończony na etapie rozpoznania obiektów bez ich szczegółowej identyfikacji. Ma to miejsce zwłaszcza wówczas, gdy rezultaty interpretacji nie mogą być zweryfikowane bądź bezpośrednio w terenie, bądź przynajmniej w oparciu o

informacje dostępne z innych źródeł niż analizowane dane teledetekcyjne (materiały kartograficzne, raporty, publikacje itp.). W toku analizy etapy wykrycia i rozpoznawania obiektów przebiegają niemal równocześnie, gdyż obserwator prawie natychmiast po zobaczeniu obrazu stara się odczytać jego treść, czyli odpowiedzieć na pytanie „co jest czym”? Natomiast identyfikacja obiektu wymaga od obserwatora zazwyczaj większego zaangażowania myślowego, rozpatrzenia istnienia obiektu w szerszym kontekście, odkrycia wzajemnych powiązań między różnymi grupami obiektów, czy wreszcie sięgnięcia do innych, niż teledetekcyjne, zasobów informacji o rozpatrywanym obszarze. Etap odczytywania szczegółowego występuje na przemian z kontrolą, podczas której interpretator sprawdza rezultaty odczytywania, uściśla i weryfikuje treść rozpoznanych obiektów i uzupełnia faktami pominiętymi wcześniej. Identyfikacja obiektów stanowi zakończenie etapu odczytywania treści obrazu i pozwala przejść do *interpretacji właściwej*.



**Rys. 9.** Zdjęcie panchromatyczne śródmieścia miasta Krakowa

Wypracowane w procesie myślowym wyobrażenia o obiektach (zjawiskach i procesach) stanowią przesłankę dalszego rozumowania, kojarzenia kompleksu informacji zaczerpniętych z treści obrazu oraz ich konfrontacji z wiedzą ogólną i tematyczną interpretatora. W konsekwencji po włączeniu także wnioskowania *dedukcyjnego* staje się możliwym uzyskanie pośrednio informacji o obiektach i faktach, które nie odwzorowały się bezpośrednio na zdjęciu czy obrazie. Na tym etapie interpretacji można nawet odstąpić od obserwacji materiałów teledetekcyjnych, gdyż sam obraz rozpoznanych wcześniej obiektów nie wnosi już nic nowego, nie dostarcza nowej informacji istotnej dla logicznego wnioskowania (dedukcyjnego, indukcyjnego) a także możliwości zastosowania metody analogii.

Złożony charakter procesu interpretacji danych obrazowych, z dużym udziałem czynnika fizjologiczno-psychologicznego, utrudnia jego automatyzację oraz wymaga odpowiedniego przygotowania w zakresie metodyki postępowania interpretacyjnego. Interpretator bo-

wiem formułuje hipotezy interpretacyjne, następnie uściśla je i weryfikuje, aby w końcu podjąć decyzję co do ostatecznych wyników wnioskania.

Zdalne zobrazowania pozwalają na zarejestrowanie w ściśle określonym czasie relacji przestrzennych poszczególnych elementów środowiska geograficznego. W zależności od stosowanych technik i skali zobrazowań można uzyskać odwzorowanie powierzchni terenu wraz z wszystkimi obiektami na niej się znajdującymi lub zarejestrować tylko niektóre elementy (grupy obiektów) charakteryzujące się określonymi właściwościami fizycznymi. Każde zdjęcie/obraz wykonane z pułapu lotniczego bądź satelitarnego zawiera pewien zasób informacji o odwzorowanym obszarze. Wydobycie tych informacji jest głównym celem procesu interpretacji.

Z formalnego punktu widzenia obraz zarejestrowany zdalnie można traktować jako zbiór oderwanych znaczeniowo elementów bez wnikania w ich sens i przydatność dla określonego celu. Podstawą formalnej oceny jest sposób i doskonałość zapisu informacji jako takiej a więc związku z rozdzielczością i skalą obrazu. Analiza formalna zobrazowań stanowi podstawę wyboru najodpowiedniejszego sposobu rejestracji (dobór najwłaściwszych materiałów, parametrów i pory zobrazowania) w zależności od celu, jakiemu mają służyć zobrazowania.

Analiza merytoryczna (znaczeniowa) skupia się na treści zdjęcia/obrazu i jest ona prowadzona w celu wyodrębnienia obiektów, zjawisk i procesów będących przedmiotem interpretacji.

#### **7.4.2 Ogólny schemat postępowania interpretacyjnego**

Uogólniona metodykę postępowania interpretacyjnego można zilustrować w postaci schematu (tab. 2).

Rzeczywistość (oryginał), czyli przestrzeń ogólnogeograficzna może być za pomocą różnych technik teledetekcyjnych odwzorowana w postaci obrazu, który stanowi model tej rzeczywistości o określonych właściwościach geometrycznych. Interpretator dokonuje najpierw prostego odczytania treści obrazu czyli rozpoznania obiektów w oparciu o zespół bezpośrednich cech rozpoznawczych. Wynik pracy na tym etapie zależy od predyspozycji psychofizjologicznych i doświadczenia intrerpretatora oraz wyposażenia instrumentalnego jego stanowiska pracy. Następuje teraz właściwa interpretacja obrazu, polegająca na analizie, a następnie uogólnianie uzyskanych poprzednio informacji o obiektach, zjawiskach i procesach, które stanowią przedmiot interpretacji. Interpretator wykorzystuje tutaj swoją wiedzę teoretyczną, umiejętności praktyczne oraz znajomość dziedziny, której dotyczy interpretacja. Pozwala to następnie, poprzez proces wnioskania na postawienie wstępnych hipotez interpretacyjnych, które po odpowiednim sprawdzeniu i weryfikacji pozwalają na stworzenie modelu skorygowanego. Weryfikację hipotez interpretacyjnych przeprowadza się w oparciu o informacje z dodatkowych źródeł takich jak: bezpośrednia obserwacja terenowa (interpretacja polowa), dostępne materiały kartograficzne i tekstowe, oraz inne dane teledetekcyjne np. zdjęcia archiwalne, zobrazowania badanego obszaru innymi technikami. Końcowy etap postępowania interpretacyjnego to wnioskanie praktyczne, formułowanie dyrektyw i wytycznych oraz postępowanie decyzyjne.

Realizacja decyzji w środowisku geograficznym stanowi bowiem klamrę spinającą modelowanie interpretacyjne z rzeczywistością. Jest to świadome oddziaływanie na rzeczywistość poprzez decyzje inicjujące odpowiednie zabiegi techniczne, planowanie, wdrażanie projektów itp.

Interpretacja jest zatem procesem modelowania rzeczywistości, przy czym model rzeczywistości przechodzi przez kolejne stadia: obraz terenu, model w świadomości interpretatora, model uogólniony - abstrakcyjny (na wyższym poziomie świadomości), model hipotetyczny, następnie zweryfikowany (skorygowany) i wreszcie model pragmatyczny (decyzyjny).

Pełny cykl modelowania interpretacyjnego nie zawsze jest konieczny a nawet możliwy do realizacji. W wielu przypadkach (np. szacowanie rozmiaru kłęsk żywiolowych, szybka ocena chwilowego natężenia ruchu drogowego itp.) możemy ograniczyć się do cyklu zredukowanego np. (1-2-3-9) lub (1-2-3-8-9). Przedstawiona metodyka postępowania interpretacyjnego nie jest uniwersalną formułą, uwypukla jedynie najistotniejsze stadia i wyniki wpływające na przebieg i rezultaty interpretacji zdalnych zobrazowań.

### **7.4.3 Rola cech rozpoznawczych, działki kluczowe i jednostki fotomorficzne**

Proste odczytywanie treści zdalnych zobrazowań sprowadza się do rozpoznania obiektów w oparciu o tzw. *bezpośrednie cechy rozpoznawcze* które są nieodzowną właściwością danego obiektu i charakteryzują go pod względem geometrii, struktury, właściwości optycznych i spektralnych, a więc: kształt, wielkość obiektu, ton lub barwa, jego struktura i tekstura.

Natomiast interpretacja obrazu, chociaż bazuje na procesie odczytywania wykorzystującym oznaki bezpośrednio, posługuje się również cechami pośrednimi, takimi jak: cień własny i cień rzucany, lokalizacja danego obiektu i jego powiązanie z innymi elementami terenowymi czyli tzw. asocjacje. Cechy pośrednie są oznakami logicznymi, wymagającymi od interpretatora odpowiedniej wiedzy oraz znajomości zjawisk i procesów, które na podstawie zdalnych zobrazowań chce się wykryć, zbadać, a wynik interpretacji wykorzystać w praktyce.

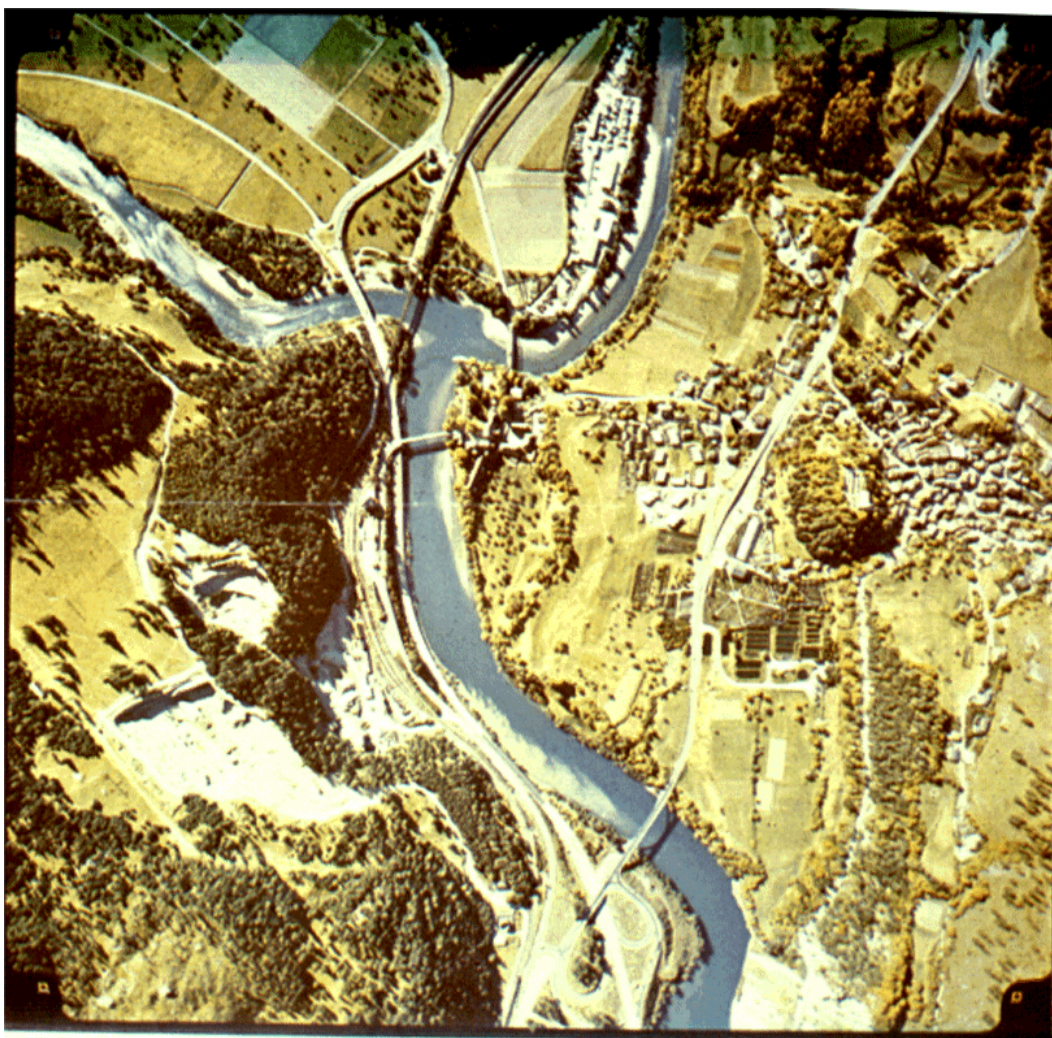
*Kształt* jest jedną z najważniejszych cech rozpoznawczych wykorzystywanych przy identyfikacji obiektów, gdyż oprócz prostych skojarzeń geometrycznych wskazuje na ich pochodzenie. Ogólnie można powiedzieć, iż obiekty o regularnej geometrii np. w postaci kwadratów, prostokątów, trójkątów itp. powstały z reguły w wyniku działalności człowieka. Regularny kształt budynków i budowli, sieci ulic i dróg, kanałów, mostów, pól uprawnych itp. wskazuje na antropogeniczną genezę tych obiektów. Natomiast obiekty naturalne charakteryzują się zazwyczaj nieregularnym kształtem np. rzeki, jeziora, elementy rzeźby terenu. Należy jednak pamiętać, iż takie obiekty jak drogi polne, ścieżki a niekiedy także uprawy mają również nieregularny kształt, a z kolei wśród tworów naturalnych zdarzają się niekiedy obiekty o regularnych, geometrycznych zarysach, np. kolisty lub rynnowy kształt niektórych jezior polodowcowych, trójkątny kształt stożków napływowych, delt itp. Kształt obiektów stanowi nie tylko bezpośrednią cechę rozpoznawczą ale także w sposób pośredni pozwala zinterpretować szereg zjawisk i właściwości obiektów, które nie znalazły bezpośredniego odwzorowania na zdjęciach. Np. kierunek biegu rzeki, widoczny na pionowym zdjęciu lotniczym (rys.10) może być określony na podstawie kształtu łąch piaszczysto-żwirowych, stanowiących efekt osadzenia materiału skalnego transportowanego przez rzekę poza jej głównym nurtem. Wykorzystując kształt jako cechę rozpoznawczą należy brać pod uwagę fakt, iż różne obiekty mogą mieć jednakowy kształt i odwrotnie, jednorodne obiekty, pod względem genezy, mogą mieć różne kształty. Stąd też nie we wszystkich przypadkach można ustalić istotę i pochodzenie obiektu na podstawie jego kształtu.

*Wielkość obrazu* badanego obiektu zależy od jego rzeczywistych rozmiarów, skali a także rozdzielczości zobrazowania. W wielu przypadkach rozdzielczość, zwłaszcza obrazów cyfrowych, jest zbyt mała aby dany obiekt, np. budynek, mógł się w całości odwzorować. Wówczas wielkość obiektu, jako cecha rozpoznawcza traci swój walor interpretacyjny. Wymiary obiektów określa się zazwyczaj wizualnie, przez porównanie łatwo rozpoznawalnych elementów obrazu, o znanej w przybliżeniu wielkości z obiektami o nieznannej wielkości. W przypadku gdy określenie względnej wielkości obiektu jest niewystarczające, rozmiary analizowanych obiektów uzyskuje się drogą prostych pomiarów, zwykle z wykorzystaniem modelu stereoskopowego terenu.

**Tabela 3**

Schemat postępowania (foto) interpretacyjnego [źródło: Ciołkosz A., Miszański J., Olędzki J.R., 1978]

*Ton (fototon)* obrazu rozpatrywanego obiektu stanowi bardzo ważną cechę rozpoznawczą. Zróżnicowanie tonalne czarno-białego obrazu jest funkcją odbijalności obiektów w określonym przedziale spektrum elektromagnetycznego. Zdjęcia czarno-białe (panchromatyczne i podczerwone) zawierają bogatą gamę tonów szarych od bieli do czerni i w zależności od stopnia kontrastu między danym obiektem a tłem umożliwiają odwzorowanie się obiektów o zbliżonej jasności. Jasność obiektu zależy w znacznym stopniu od kąta padania promieni słonecznych. Przy zróżnicowanym nachyleniu np. powierzchni terenu, najjaśniejszy ton będą miały zazwyczaj te jego partie, które są eksponowane prostopadle do padającego nań promieniowania. Na ton obrazu wpływa również charakter samej powierzchni obiektu, im bardziej gładka jest ta powierzchnia, tym jaśniejszy jest zazwyczaj jej fototon. Znaczący wpływ na różnice tonu w odwzorowaniu tych samych obiektów terenowych mają warunki rejestracji determinowane porą dnia, porą roku oraz chwilowym stanem pogody, zmianą wilgotności, np. powierzchni gleb, obecnością zawiesiny lub roślinności w wodach powierzchniowych itp. Należy również pamiętać, iż gradacja tonów obrazów cyfrowych zależy od zastosowanej skali zapisu. Np. 4-bitowa skala pozwala uzyskać dla określonego zakresu odbijalności tylko 16 tonów, podczas, gdy skala 8-bitowa ten sam zakres rejestruje w 256 poziomach szarości.



**Rys. 10.** Obraz rzeki i jej otoczenia na pionowym zdjęciu lotniczym

*Barwa* niepomrotnie ułatwia proces rozpoznawania obiektów i także wykrywania niekiedy subtelných różnic między podobnymi elementami obrazu. Stąd też jej znaczenie jako

cechy rozpoznawczej w procesie interpretacji zdalnych zobrazowań, jest daleko większe niż ton obrazu. Dotyczy to nie tylko rejestracji obiektów w barwach zbliżonych do rzeczywistych ale również ich odwzorowania w barwach umownych, tak jak to ma miejsce np. przy zastosowaniu filmów spektrostrefowych lub addytywnej projekcji obrazów wielospektralnych. Zdjęcia kolorowe charakteryzują się większą ilością barw w przypadku zmiany oświetlenia, niż zdjęcia panchromatyczne. Dla przykładu, obraz lasu porastającego południowe i północne stoki wzgórza będzie miał na zdjęciu panchromatycznym znacznie mniejszą rozpiętość tonów, niż zmiana w nasyceniu barwy zielonej dla tej samej sytuacji na zdjęciu barwnym. Barwy obrazu nie można jednak traktować jako uniwersalnej cechy rozpoznawczej, gdyż obiekty o różnym charakterze mogą mieć w rzeczywistości podobne zabarwienie, np. pożółkłe liście drzew, dojrzałe łany zbóż, dachówka i blaszany dach pomalowany na czerwono itp.

*Struktura i tekstura* są pojęciami ściśle ze sobą powiązanymi i trudno scharakteryzować obraz za pomocą jednego z tych terminów. Struktura (pokrój) jest odzwierciedleniem charakteru powierzchni i reprezentuje sposób wykształcenia różnych elementów tworzących obraz. Jest ona jedną z najbardziej stałych cech rozpoznawczych. Najczęściej strukturę obrazu określa się jako gładką (amorficzną), gruboziarnistą, drobnoziarnistą itp. Tekstura, określa przestrzenne ułożenie poszczególnych elementów obrazu, tworzących określony rysunek, odcień czy wzór. Przykładowo, teksturę plamistą może mieć obraz odkrytych gleb o zróżnicowanej lokalnie zawartości humusu i zmiennej wilgotności, tekstura mozaikowa (szachownicowa) charakteryzuje kompleksy uprawowe, tekstura lasów liściastych określana bywa jako barankowa, zaś obraz niektórych upraw okopowych ma teksturę rowkową lub kratową. Z kolei obszary osuwiskowe demaskuje tekstura girlandowo-wachlarzowa lub tekstura bezładna.

Zazwyczaj strukturę i teksturę określa się mianem cech strukturalno-teksturalnych obrazu. Można powiedzieć, że np. obraz upraw sadowniczych na zdjęciach lotniczych ma strukturę ziarnistą, gdyż okrągły pokrój drzew lub krzewów odwzorowuje się w postaci ciemniejszych, regularnych „ziaren” na amorficznym tle, zaś teksturę rzędową lub kratową ze względu na przestrzenny rozkład tych obiektów i znaczny zwykle stopień generalizacji.

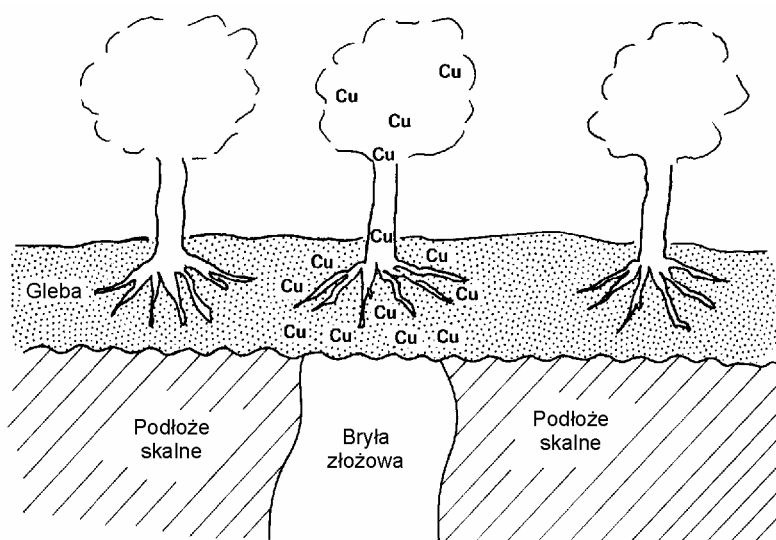
*Cień rzucany* jest ważną cechą rozpoznawczą, gdyż umożliwia odwzorowanie bryły obiektu jakby z profilu, przez co nasuwa obserwatorowi skojarzenia z jego wyglądem w terenie. Cień własny, to nieoświetlona bezpośrednio część obrazu danego obiektu charakteryzująca się zazwyczaj ciemniejszym tonem niż cień rzucany.

Kształt i długość cienia rzucanego zależy od wysokości słońca nad horyzontem i jego azymutu, a także od morfologii powierzchni terenu i położenia obiektu w stosunku do punktu głównego zdjęcia. Stąd też, te same obiekty mogą mieć różny cień. Cień wzmacnia wrażenie plastyczności w odwzorowaniu form terenowych, a także umożliwia określenie wysokości drzew, budynków itp. oraz wykrycie i rozpoznawanie obiektów słabo widocznych na zdjęciu.

Interpretowane obrazy należy zorientować w taki sposób, aby cienie obiektów terenowych biegingy ku obserwatorowi. W przeciwnym razie, przy obserwacji pojedynczych zdjęć następuje zafałszowanie odwzorowanych relacji przestrzennych (pseudoskopia). Natomiast negatywną funkcją cienia jest częściowe lub całkowite maskowanie zacienionych powierzchni, a tym samym ograniczenie w pewnym sensie pojemności informacyjnej danego zobrazowania.

*Lokalizacja* czyli usytuowanie (rozmieszczenie) topograficzne obiektów oraz ich wzajemne powiązanie w połączeniu z innymi elementami terenu, czyli tzw. asocjacje nie charakteryzują bezpośrednio sposobu odwzorowania się danego obiektu ale określają jego relacje przestrzenne z otoczeniem. Stwarza to możliwość dokonania interpretacji treści tematycznej obrazu, czyli rozszyfrowania cech obiektu, które nie mogą odwzorować się bezpośrednio np. jego funkcji. Cechy pośrednie, a zwłaszcza asocjacje, pozwalają na ustalenie np., zależności pomiędzy budową geologiczną a ukształtowaniem powierzchni terenu, pomiędzy glebami a

roślinnością, zbiorowiskami roślinnymi a warunkami gruntowo-wodnymi, np. w dolinie rzeki i poza jej konturem. Ten rodzaj interpretacji bywa nazywany wnioskowaniem. Wykorzystanie pewnych prawidłowości przyrodniczych i sposobów użytkowania terenu jako pośrednich cech rozpoznawczych leży u podstaw interpretacji zdalnych zobrazowań. Uwzględniając wzajemne powiązania (asocjacje) między elementami krajobrazu i charakter rozmieszczenia obiektów (lokalizacja) interpretator tworzy logiczny łańcuch rozumowania (dedukcja), prowadzący do identyfikacji (interpretacja) określonego procesu lub obiektu. Tak więc, interpretator wykorzystując bezpośrednio cechy rozpoznawcze rozpoznaje jakiś obiekt, czy zjawisko powstające w ścisłym związku z elementem poszukiwanym. Element ten nazywa się *indykatorem*. Wykorzystanie indykatorów stwarza szerokie możliwości w interpretacji zdalnych zobrazowań. Możemy bowiem zdefiniować jakiś wskaźnik za pomocą bezpośrednich cech rozpoznawczych, a następnie wykorzystując go określić inny obiekt, bezpośrednio niewidoczny, a ten z kolei może stać się wskaźnikiem do identyfikacji kolejnego obiektu, zjawiska lub procesu. Dzięki temu indykatory mogą być wielostopniowe, zależnie od tego czy oczywiste bądź ściśle związki są między nimi a odczytywanymi obiektami.



**Rys. 11.** Roślinność jako indykator anomalii geochemicznych podłoża, który jest wykorzystywany w poszukiwaniach złóż kopalin użytecznych

Jednym z najbardziej uniwersalnych indykatorów jest roślinność. Przypuśćmy, że obiektem interpretacji jest gleba. Ten utwór pozostaje w ścisłym związku z pokrywą roślinną i rzeźbą terenu. Roślinność oraz rzeźba, którą można zobaczyć w modelu przestrzennym są indykatorami służącymi do wnioskania o typie gleby. Z drugiej strony rzeźba jest wskaźnikiem dla pokrywy roślinnej, która może być zidentyfikowana dzięki charakterystycznym miejscom występowania a te z kolei mogą stanowić podstawę określenia warunków gruntowo-wodnych badanego obszaru, np. hydrofity dla detekcji obszarów podmokłych, zaś kserofity dla wykrywania stref suchych. Charakterystyczne zespoły roślinne towarzyszą także obszarom występowania złóż kopalin wskazując na zwiększoną koncentrację określonych składników mineralnych, ponad tzw. tło geochemiczne (rys. 11). W związku z tym wyróżnia się np. rośliny sololubne (halofity), ołowiolubne itd. Rozpoznanie i rejonizacja tego typu zbiorowisk roślinnych na zdjęciach lotniczych bądź zobrazowaniach satelitarnych stanowi podstawową przesłankę w metodyce poszukiwań złóż surowców mineralnych. Może się to wiązać zarówno z warunkami geochemicznymi, jak i szybko przebiegającymi procesami erozji. Np. w re-



jonach występowania złóż miedzi i żelaza roślinność albo ubożeje albo całkowicie zanika, ułatwiając tym samym rozwój procesów niszczących.

W interpretacji zdalnych zobrazowań często posługujemy się metodą analogii. Odpowiednio dobrane zdjęcie lub jego fragment uzupełnione syntetycznym opisem może bowiem stanowić rodzaj wzorca, nazywanego *kluczem fotointerpretacyjnym*, a w przypadku większych elementów, oddających wzajemne związki i strukturę środowiska geograficznego danego obszaru - wzorcem porównawczym. Klucz fotointerpretacyjny czy wzorec porównawczy ułatwiają rozpoznanie i ocenę podobnych (analogicznych) obiektów lub faktów zarejestrowanych na innych zdjęciach. Z jednej strony przyspiesza to proces interpretacji zdjęć, z drugiej zaś prowadzi często do zbytowego sformalizowania odczytywania ich treści, zmniejszając tym samym wiarygodność interpretacji. Żadna bowiem, nawet największa kolekcja kluczy i wzorców nie jest w stanie oddać bogactwa i zmienności zarejestrowanego zdalnie obrazu oraz zastąpić wiedzy i procesu myślowego interpretatora. Stąd też idea działki kluczowej (wzorca) może być z powodzeniem stosowana do prostego odczytywania, zwłaszcza treści topograficznej obrazu, natomiast wykorzystanie jej w procesie interpretacji właściwej jest raczej marginalne.

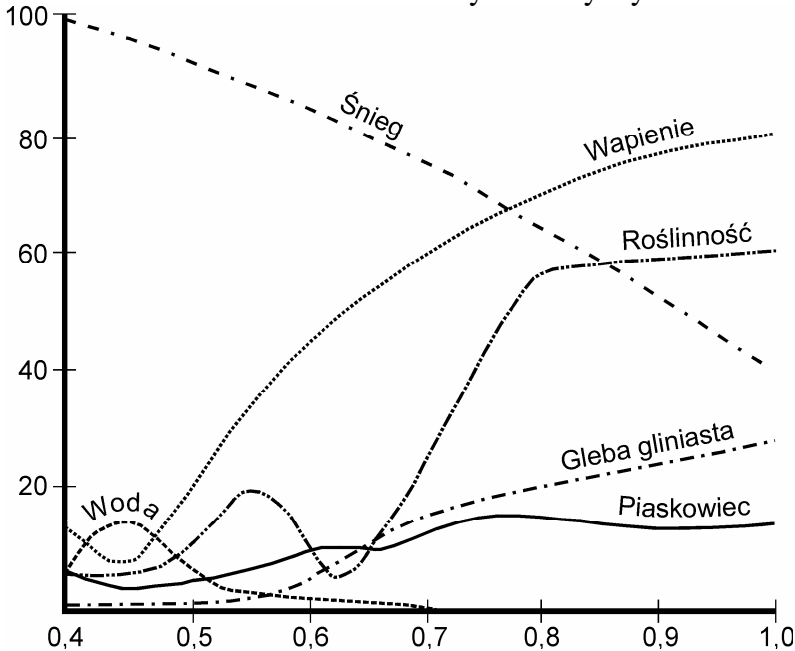
W ostatnich latach wraz z rozwojem teledetekcji satelitarnej oraz metodyki interpretacji tych zobrazowań upowszechnia się pojęcie *jednostki fotomorficznej*, jako swoistego wzorca interpretacyjnego stanowiącego scalenie trzech elementów: fototonu lub barwy, fotostruktury i fototekstury. Zgodnie z tymi pojęciami wszystkie inne cechy interpretacyjne są pochodną zapisu tych trzech elementów. Zgodnie z tą definicją, zdjęcia a zwłaszcza obrazy satelitarne przedstawiają kompozycje geometryczne działek, pól uprawnych, sieci hydrograficznej, wychodni skalnych, różnych rodzajów gleb, wilgotności gruntu i szaty roślinnej. Obiekty te tworzą, także dzięki pewnej generalizacji obrazów satelitarnych, określone, przestrzennie zróżnicowane terytorialne jednostki fototonalno-teksturalne, nazwane właśnie jednostkami fotomorficznymi. Charakteryzują się one określonymi cechami obrazu różniącymi daną jednostkę od powierzchni sąsiednich. Dla obszaru Polski, J.R. Olędzki w oparciu o analizę zobrazowań systemu LANDSAT-1, 2, 3, w skali 1 : 250 000 zaproponował podział na jednostki fotomorficzne (I, II i III-rzędu). Na tle innych podziałów, jednostki fotomorficzne charakteryzuje znaczna jednorodność, a więc bardziej precyzyjnie odzwierciedlają strukturę przestrzenną środowiska geograficznego Polski i mogą być traktowane jako jednostki przestrzenne o charakterze geosystemów bądź regionów. Większe jest przy tym podobieństwo do podziałów przyrodniczych niż do podziałów społeczno-ekonomicznych. Może to świadczyć o stosunkowo dobrym dostosowaniu, zagospodarowania powierzchni w skali kraju na przestrzeni wieków, do warunków środowiska przyrodniczego.

#### **7.4.4 Charakterystyka spektralna głównych komponentów naturalnych i antropogenicznych tworzących obraz terenu oraz jej wykorzystanie w praktyce interpretacji zdalnych zobrazowań**

Różne elementy tworzące powierzchnię terenu odbijają selektywnie padające nań promieniowanie elektromagnetyczne. Wielkość odbicia (odpowiedź spektralna) danego materiału, dla określonego zakresu spektrum, zależy od jego cech fizycznych, chemicznych, stanu skupienia oraz charakteru powierzchni. Krzywe charakterystyki spektralnej reprezentują stosunek promieniowania odbitego od powierzchni obiektu do promieniowania nań padającego, jako funkcji długości fali.

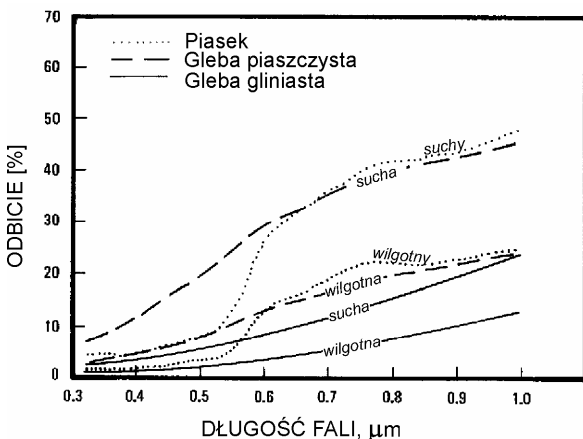
Rys. 12 ilustruje uogólnione krzywe charakterystyki spektralnej dla głównych komponentów naturalnych składających się na obraz powierzchni terenu, a mianowicie gleby, roślinności i wody w dwóch stanach skupienia.

Gleba charakteryzuje się średnim poziomem odbicia wzrastającym systematycznie, z niewielkimi ondulacjami, przez cały region widzialny do bliskiej podczerwieni, przy czym wielkość odbicia w świetle widzialnym zależy wyraźnie od wilgotności danej gleby.



Rys. 12. Krzywe spektralne różnych elementów powierzchni i pokrycia topograficznego terenu

Glebę suchą cechuje niekiedy wielokrotnie wyższa odpowiedź spektralna niż glebę zawodnioną. W tym przypadku zwiększają się również różnice odbijalności wraz ze wzrostem długości fali, co oznacza iż skontrastowanie gleby suchej i wilgotnej jest największe w czerwonym zakresie widma widzialnego oraz w bliskiej podczerwieni (rys. 13).



Rys. 13. Charakterystyka spektralna suchych i wilgotnych powierzchni różnych rodzajów gleb

Charakterystyka spektralna *szaty roślinnej* ujawnia maksimum odbicia w zielonym zakresie widma widzialnego na poziomie 10-15% oraz gwałtowny wzrost odpowiedzi spektralnej w bliskiej podczerwieni, gdzie w zależności od różnic gatunkowych, waha się od 30% do ponad 70%, a w przypadku niektórych gatunków traw przekracza 95%. Natomiast w niebieskiej i czerwonej części spektrum widzialnego poziom odbicia jest zbliżony i wynosi przeciętnie 5-8%. Poziom odbicia spektralnego zielonej szaty roślinnej zmienia się również w zależności od fazy fenologicznej. Ogólnie biorąc w pierwszej fazie wzrostu roślinność charakteryzuje się najwyższym współczynnikiem odbicia, który znacząco maleje w kolejnych okresach fenologicznych, aż do stadium dojrzałego.

Z powyższych ustaleń wynika, iż najlepszym materiałem dla interpretacji szaty roślinnej, a zwłaszcza wydzielenia gatunkowych, są zobrazowania wielospektralne z pasmem bliskiej podczerwieni wykonywane wiosną na przełomie maja i czerwca. Właściwości spektralne zie-

lonej szaty roślinnej, wyrażające się niezmienną relacją odbicia promieniowania w poszczególnych zakresach spektrum, powodują, iż roślinność wykorzystywana jest w procesie interpretacji jako indyktor wielu cech powierzchni terenu oraz zachodzących na niej zjawisk i procesów.

Woda stanowi medium, które w znacznym stopniu pochłania padające na jej powierzchnię promieniowanie elektromagnetyczne. Stąd, środowisko wód powierzchniowych charakteryzuje relatywnie niski poziom odbicia spektralnego, sukcesywnie malejący od ultrafioletu przez cały region widzialny spektrum aż do bliskiej podczerwieni. Promieniowanie podczerwone jest niemal w całości pochłaniane przez powierzchnię wód otwartych, o ile nie ma refleksu dna, obecności w wodzie zawiesiny oraz roślinności nawodnej lub podwodnej. Dzięki tej właściwości na zdjęciach w podczerwieni może ujawnić się również obecność zwierciadła wód gruntowych blisko powierzchni terenu, co w konsekwencji pozwala na detekcję obszarów o podwyższonej wilgotności gruntów, stref podmokłości, podtopień itp.

Woda w stałym stanie skupienia, w postaci pokryw śniegowo-lodowych, charakteryzuje się, ogólnie biorąc wysokim współczynnikiem odbicia spektralnego. Najwyższą wartość współczynnik ten osiąga w paśmie ultrafioletu, by sukcesywnie malejąc poprzez cały region widzialny osiągnąć, w paśmie bliskiej podczerwieni, wartość niższą niż np. niektóre odmiany drzew liściastych.

Elementy antropogeniczne cechuje duża różnorodność pod względem właściwości spektralnych. Obok nawierzchni asfaltowych dróg i ulic, które charakteryzuje niski poziom odbicia w całym zakresie spektrum widzialnego i bliskiej podczerwieni, mamy do czynienia z mozaiką spektralną różnych materiałów tworzących na zdjęciu obraz stref zabranizowanych, a w nich poszczególne budynki i budowle, różnorodne konstrukcje, obiekty przemysłowe itp. Odrębną grupę elementów antropogenicznych stanowią obszary eksploatacji, złóż kopalń użytecznych. Przekształcenia geomechaniczne pierwotnej powierzchni terenu, powstające zwłaszcza w trakcie eksploatacji odkrywkowej, powodują dużą zmienność odpowiedzi spektralnej tego rodzaju rejonów. Również obszary kultury rolnej cechuje duża niejednorodność odbicia spektralnego, w zależności od rodzaju gleb, ich wilgotności oraz struktury i stanu upraw. Ogólnie biorąc dla rozpoznawania elementów antropogenicznych nie można skonstruować uniwersalnego klucza wzorcowego opierając się na charakterystyce spektralnej obiektów lub ich zespołów.

Warto podkreślić, iż w procesie rozpoznawania i interpretacji zdalnych zobrazowań zasadnicze znaczenie ma nie tyle poziom jasności spektralnej obiektów, ile wzajemny kontrast między nimi. Dwa obiekty, których różnica jasności spektralnej jest niewielka będą trudne do wydzielenia na zdjęciu, chociaż obydwa będą posiadały wysoki współczynnik odbicia promieniowania.

## **7.5 ZASADY ROZPOZNAWANIA GŁÓWNYCH ELEMENTÓW ŚRODOWISKA GEOGRAFICZNEGO NA ZDJĘCIACH LOTNICZYCH I OBRAZACH SATELITARNYCH**

### **7.5.1 Ukształtowanie powierzchni terenu**

Na pojedynczych zdjęciach lotniczych i obrazach satelitarnych charakter rzeźby terenu jest najczęściej rozpoznawany na podstawie następujących cech:

- zmienność fototonu lub barwy,
- cień rzucany przez formy wyniesione,
- zmienność szaty roślinnej,
- zmiany wilgotności podłoża gruntowego,
- charakter sieci hydrograficznej oraz rodzaj wzorca sieci erozyjno-drenażowej (ang. *drainage pattern*),

- rodzaj użytkowania terenu,
- struktura i geometria upraw,
- charakter i przebieg sieci komunikacyjnej.

Tego rodzaju interpretacja może dotyczyć zarówno wydzielenia w obrębie zdjęcia (obrazu) dużych jednostek morfologicznych, jak też poszczególnych form terenowych, takich jak stoki, linie krawędziowe, załomy, progi terenowe itp. Wykorzystanie obserwacji stereoskopowej niepomrotnie zwiększa możliwość prawidłowego rozpoznania cech morfologicznych analizowanego obszaru. Stereoskopowy model terenu pozwala na jednoznaczne zdefiniowanie nie tylko ogólnych cech rzeźby ale również, w zależności od skali zobrazowania, pozwala na rozpoznanie elementów mezo- i mikroreliefu powierzchni. Dodatkową zaletą analizy stereoskopowej jest możliwość prowadzenia pomiarów, a więc w konsekwencji charakterystyka ilościowa form terenowych, jak na przykład określania wysokości względnej poszczególnych elementów rzeźby, nachylenia zboczy itp. Na zdjęciach lotniczych dobrze czytelne są na ogół różnego rodzaju formy erozyjne i akumulacyjne, takie jak doliny, wąwozy, erozyjne formy skalne, tarasy, stożki napływowe, piargi itp.

W krajobrazie wysokogórskim bez większych trudności można rozpoznawać formy związane z działalnością lodowców jak np. cyrki i rynny lodowcowe, ściany skalne oraz moreny czołowe, środkowe i boczne. Na przeważającym obszarze Polski mamy do czynienia z rzeźbą terenu związaną z akumulacją rzeczno-lodowcową. Spośród różnorodnych form tej rzeźby na uwagę zasługują wzgórza morenowe tworzące wydłużone wały o wysokości dochodzącej do kilkudziesięciu metrów, często o przebiegu łukowatym, zbudowane w przewadze z glin zwałowych z głazami i otoczakami. Często powierzchnia tych form jest porośnięta lasami. Na obszarach wysoczyzn morenowych występują niekiedy drumliny tworzące podłużne, koliste lub eliptyczne wzgórza o opływowym kształcie i długości do 1,5 km. Na zdjęciach lotniczych mają wygląd równoległe biegnących pręg.

Ozy na zdjęciach lotniczych mają postać wydłużonych wałów o szerokości około 60 m, stromych stokach i falistej linii grzbietowej. Przeciętna długość tych form wynosi od kilkuset metrów do półtora kilometra. Ozy ze względu na znaczne spadki i piaszczysty materiał porośnięte są zazwyczaj lasami lub sucholubnymi trawami.

Równiny sandrowe są to rozległe powierzchnie, prawie zupełnie płaskie lub nieznacznie nachylone, zbudowane z materiału piaszczysto żwirowego. Mają one jasny, dość jednolity fototon z ciemniejszymi smugami w miejscach, gdzie podłoże jest silniej nawodnione i gdzie występuje większe nagromadzenie materii organicznej. Sandry są, bądź terenami rolnymi, bądź też porośnięte są lasem.

Interpretacja ukształtowania powierzchni terenu, a zwłaszcza czwartorzędowej rzeźby glacialnej obszarów nizinnych obok wykorzystania bezpośrednich cech rozpoznawczych winna wykorzystywać również analizę krajobrazową uwzględniającą wszystkie komponenty środowiska geograficznego. Należy również uwzględnić związki jakie zachodzą między rzeźbą, roślinnością, glebami oraz różnymi elementami antropogenicznymi. Odzworowane na zdjęciach kompleksy leśne maskują w znacznym stopniu powierzchnię terenu. O jej ukształtowaniu możemy wnioskować na podstawie „morfologii” górnej powierzchni lasu. Interpretator musi wówczas ocenić stopień jednorodności drzewostanu oraz zmiany wysokości wynikające z różnic wiekowych i gatunkowych określonych partii lasu. Ważnym elementem dla prowadzenia tego rodzaju oceny jest wyznaczenie wysokości drzew na podstawie pomiaru paralaks podłużnych lub cienia rzucanego.

### **7.5.2 Wody powierzchniowe (cieki, kanały, jeziora, zbiorniki naturalne i sztuczne, strefy przybrzeżne akwenów morskich)**

Poszczególne elementy sieci hydrograficznej są na ogół łatwe do rozpoznania na zdjęciach lotniczych i obrazach satelitarnych, dzięki kontrastowi spektralnemu jaki tworzy powierzchnia wody z otaczającym terenem.

Cieki powierzchniowe (rzeki, potoki, strumienie itp.), mają wydłużony liniowy kształt oraz charakterystyczny meandrujący przebieg. System wałów przeciwpowodziowych stanowi, zwłaszcza dla większych rzek, dodatkową cechę rozpoznawczą. Mniejsze rzeki, kanały, rowy melioracyjne demaskują zazwyczaj strefy zadrzewień lub zakrzewień o wydłużonym, liniowym kształcie doskonale widoczne na zdjęciach lotniczych. Analiza obrazu fotograficznego wód płynących pozwala na określenie kierunku płynięcia wód, przebiegu głównego nurtu, określenia głębokości a także na śledzenie form akumulacji rzecznej w postaci ławic podwodnych, łąch oraz utworów deltowych.

Zbiorniki wodne, naturalne (jeziora) oraz sztuczne (zbiorniki retencyjne, hydroenergetyczne, stawy hodowlane itp.) są z reguły dobrze odwzorowane na zdjęciach lotniczych i obrazach satelitarnych. O jakości wody w zbiornikach oraz warunkach przyrodniczych można wnioskować na podstawie przezroczystości wody, jej barwy oraz obecności roślinności wodnej. Zbiorniki wodne są bardzo zróżnicowane pod względem wielkości i kształtu. Charakteryzuje je mniej lub bardziej urozmaicona linia brzegowa w zależności od morfologii otaczającego zbiornik terenu.

Wody zbiorników morskich stanowią również przedmiot interpretacji materiałów fotolotniczych a zwłaszcza zobrażeń satelitarnych. Zasadniczym celem tego rodzaju interpretacji jest preparowanie map morfologicznych dna w strefie przybrzeżnej i badania dynamiki, a w szczególności zjawisk interakcji lądu i morza oraz monitorowania środowiska wód morskich. Zdalne zobrażenia okazały się szczególnie przydatne do określania zasięgu, sposobu i charakteru rozptyłu zanieczyszczeń transportowanych przez uchodzące do morza rzeki, bądź też zrzuty ścieków z nadmorskich aglomeracji miejsko-przemysłowych. Woda zanieczyszczona zawiesiną mineralną bądź zrzutami komunalno-przemysłowymi charakteryzuje się o wiele wyższą odbijalnością niż woda klarowna pozbawiona zawiesiny. Stąd też, nawet na zdjęciach w podczerwieni można śledzić charakterystyczne strefy propagacji zanieczyszczeń wokół miejsc ich zrzutu. Najbardziej przydatne dla potrzeb monitoringu morskich wód przybrzeżnych okazały się zobrażenia wielospektralne systemu LANDSAT MSS przetworzone w postaci standardowej kompozycji barwnej FCC (*False Color Composite*). Obraz wody zanieczyszczonej na tego rodzaju materiałach ma barwę od jasnobłękitnej do szafirowej, w zależności od stopnia stężenia zawiesiny i jej składu.

Na zdjęciach lotniczych obraz wody umożliwia w wielu przypadkach pomiar głębokości części przybrzeżnej akwenu morskiego i konstruowanie na tej podstawie map batymetrycznych. Podobnie jak w przypadku określenia różnic wysokości powierzchni terenu, głębokość zbiornika i konfigurację dna można uzyskać za pomocą pomiarów stereofotogrametrycznych.

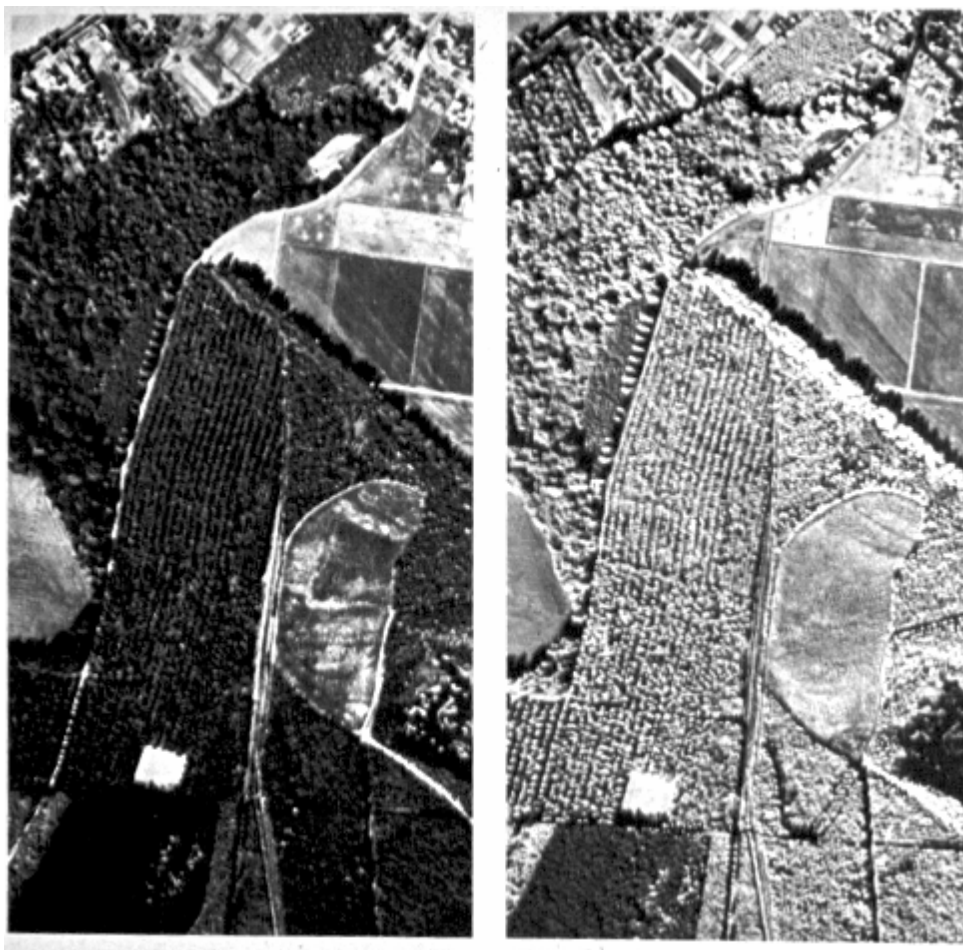
Inny sposób polega na wykorzystaniu zależności pomiędzy gęstością optyczną zdjęcia panchromatycznego a głębokością zbiornika. Zmiany fototonu można powiązać z grubością warstwy wody, przy założeniu jednorodności dna. Przy sprzyjających warunkach fotografowania można w ten sposób określać położenia dna do głębokości około 20 m.

Zdjęcia barwne a także wielospektralne i spektrostrefowe pozwalają na określenie przezroczystości wody za pomocą białego krążka Secchiego, zanurzanego na różną głębokość. Obraz wody morskiej na barwnych zdjęciach lotniczych może być przedmiotem interpretacji zarówno dla potrzeb kartografii podwodnej dna jak i monitorowania środowiska wodnego. Wówczas zróżnicowanie barwy staje się ekwiwalentem zmian fototonu na zdję-

ciach czarno-białych a kolor wody wykorzystywany jest jako podstawowa cecha rozpoznawcza.

### 7.5.3 Szata roślinna (kompleksy upraw rolnych i leśnych, zbiorowiska naturalne)

Szata roślinna - rozumiana jest tutaj jako uprawy rolne i leśne oraz enklawy zbiorowisk naturalnych lub quasi naturalnych. Zdrowa, zielona roślinność jest na ogół łatwo rozpoznawana na zdjęciach lotniczych (panchromatycznych, barwnych, spektrostrefowych, wielospektralnych), podobnie jak i na multispektralnych zobrazowaniach satelitarnych, ze względu na relacje odbijalności w poszczególnych zakresach spektrum widzialnego i bliskiej podczerwieni, niezależnie od różnic gatunkowych (rys.14).



**Rys. 14.** Przykład odwzorowania się kompleksu leśnego na zdjęciu panchromatycznym i zdjęciu w bliskiej podczerwieni

Podstawowymi cechami rozpoznawczymi dla kompleksów leśnych są barwa lub foton (w zależności od techniki rejestracji), struktura i tekstura obrazu, pokrój korony, kształt cienia rzucanego a także związki (asocjacje) z określonym środowiskiem determinującym warunki siedliskowe. Obraz lasu na zdjęciach lotniczych charakteryzuje się strukturą drobno-, średnio- lub gruboziarnistą, w zależności od skali zdjęcia oraz teksturą bezładną lub uporządkowaną (pasmową, kratową) dla upraw leśnych. Kształt korony drzew wpływa na strukturę fotograficznego obrazu lasu, gdyż znaczna różnica w odwzorowaniu oświetlonej części korony i części zacienionej podkreślają ziarnistość w odwzorowaniu górnej powierzchni lasu.

Cień rzucany umożliwia interpretację składu gatunkowego kompleksu leśnego a także daje podstawę do szacowania drzew.

Obszary o rolniczym zagospodarowaniu charakteryzuje „mozaikowa” (szachownicowa) tekstura obrazu fotograficznego, podkreślająca - zazwyczaj swoją geometrią ukształtowanie morfologiczne powierzchni terenu. Interpretacja roślinności uprawowej oraz określenie jej struktury jest zagadnieniem dość złożonym, zależnym od rodzaju i skali zdjęć, fazy fenologicznej, a przede wszystkim od doświadczenia interpretatora. Stosunkowo najłatwiej rozpoznać obszary zatrawione (łąki i trwałe użytki zielone). Charakteryzują się one zazwyczaj jednolitym fototonem (lub barwą) i amorficzną strukturą obrazu. Ważną cechą są również związki łąk z trwałymi elementami krajobrazu, takimi jak doliny rzek, polany śródleśne, lokalne obniżenia morfologiczne itp. Specyficzna tekstura pasiasta charakteryzuje obraz łąki w czasie sianokosów.

Zboża, w zależności od fazy fenologicznej, charakteryzuje zmienny fototon (lub barwa), z reguły amorficzna struktura obrazu oraz plamista tekstura, pojawiająca się zwłaszcza w późniejszej fazie wzrostu na skutek wylegania dojrzewających zbóż.

Uprawy roślin okopowych a także plantacje roślin przemysłowych, np. tytoniu, cechuje rzędowa (pasmowa) tekstura obrazu oraz ziarnista struktura obrazu. W zależności od charakteru uprawy oraz fazy fenologicznej uporządkowana tekstura obrazu bywa mniej lub bardziej wyrazista, bądź staje się nawet bezładną.

#### **7.5.4 Elementy infrastruktury komunikacyjnej, zabudowa, jej rodzaje i funkcje**

Szlaki komunikacyjne (sieć drogowa i kolejowa) demaskuje na zdjęciach lotniczych, a także zobrazowaniach satelitarnych, charakterystyczny liniowy kształt oraz powiązanie i współlistnienie z siecią osiedleńczą. Elementy infrastruktury komunikacyjnej kontrastują z reguły z otoczeniem barwą lub fototonem w zależności od charakteru nawierzchni i kategorii danej drogi. Bardzo często drogi o znaczeniu lokalnym maskowane są przez szpalery drzew przydrożnych, które tym samym stanowią cechę rozpoznawczą dla przebiegu drogi, niezwykle cenną, zwłaszcza przy interpretacji zdjęć zimowych. Kręty przebieg, na ogół jasny ton (barwa) oraz mała szerokość - te cechy deszyfrują drogi gruntowe lub polne. Autostrady, bądź drogi szybkiego ruchu charakteryzuje z reguły dwupasmowy układ, łagodne łuki, odpowiednie do skali zdjęcia wielkość, obecność rozjazdów, bezkolizyjne skrzyżowania itp.

Linie kolejowe można rozpoznać na podstawie prostoliniowego przebiegu, łagodnych łuków, zazwyczaj obecności nasypów oraz odfotografowania się torowiska na zdjęciach w większych skalach. Stacje kolejowe, dworce, które towarzyszą tym szlakom charakteryzuje obecność bocznic, rozjazdów powiązanych z lokalizacją charakterystycznych kolejowych obiektów budowlanych.

Sieć osiedleńcza doskonale geometryzuje się na zdalnych zobrazowaniach, praktycznie niezależnie od metody rejestracji. W zależności od skali zdjęć lotniczych można rozpoznawać układ urbanistyczny miast różnej wielkości osiedli, obiektów przemysłowych czy nawet dokonywać identyfikacji pojedynczych budynków i budowli łącznie z ich funkcją. Podstawowymi cechami rozpoznawczymi są tutaj kształt i wielkość obiektów ich lokalizacja i wzajemne związki z otaczającą przestrzenią, cień rzucany oraz możliwość obserwacji stereoskopowej.

Osadnictwo wiejskie może być bez trudu rozpoznawane, zwłaszcza na zdjęciach lotniczych w większych skalach, które umożliwiają nie tylko określenie cech typologicznych wsi, takich jak kształt osiedli, jego usytuowanie względem ciągów komunikacyjnych, stopień skupienia gospodarstw ale także identyfikację zabudowań gospodarczych, budynków mieszkalnych wraz z oceną zamożności jego właścicieli.

Osiedla typu miejskiego cechuje większa koncentracja zabudowy oraz mniej lub bardziej czytelne założenia urbanistyczne, zwłaszcza jego części centralnej. Rozmiary budynków

i budowli, obecność zabudowy wielopiętrowej świadczą o znaczeniu i funkcji danego osiedla miejskiego. Śledzenie tego zróżnicowania pozwala często zrekonstruować kolejność rozwoju miasta i jego przebudowy. Stereoskopowa analiza zdjęć lotniczych pozwala na jakościowe rozpoznanie stanu zabudowy, układu ulic, sieci komunikacyjnej, zespołów zabytkowych, obiektów handlowych, usługowych, dzielnic mieszkalnych oraz obszarów i obiektów rekreacyjno-sportowych (parki, skwery, zieleńce, boiska sportowe itp.).

Analiza zdjęć lotniczych umożliwia dokonanie strefowego podziału aglomeracji miejskiej wraz z obszarami podmiejskimi. Ze zdjęć wielkoskalowych można uzyskać informacje o poszczególnych obiektach, ich wysokości, kształcie, rodzaju pokryciu dachów, o stanie nawierzchni ulic oraz infrastrukturze nadziemnej i podziemnej miasta. Zdjęcia w skalach średnich i małych stwarzają możliwość ogólnego spojrzenia na organizm miejski, zgeneralizowaną strukturę jego części składowych, powiązanie z bliższym i dalszym otoczeniem wraz z oceną walorów krajobrazowych (morfologia powierzchni, rzeki, jeziora, kompleksy leśne itp.).

Obiekty przemysłowe oraz niekiedy całe sektory przemysłowe posiadają swoją specyfikę interpretacyjną. Charakterystyczne cechy tych obiektów to kształt, wielkość i z reguły szeregowy układ zabudowań i urządzeń przemysłowych, niekiedy obecność kominów i wież chłodniczych łatwych do zidentyfikowania w modelu stereoskopowym. Większym zakładom przetwórczym, zwłaszcza przemysłu ciężkiego towarzyszą hałdy surowca i zwałowiska odpadów przemysłowych.

## **7.6 KARTOMETRYCZNOŚĆ ZDJĘĆ LOTNICZYCH I ZOBRAZOWAŃ SATELITARNYCH**

### **7.6.1 Kryteria kartometryczności w aspekcie tematycznej interpretacji zdalnych obrazowań**

Rezultaty interpretacji treści tematycznej zdalnych obrazowań, o ile zachodzi taka konieczność, mogą być wniesione na podkład mapowy, którym jest zwykle mapa topograficzna, w odpowiedniej skali. Przy tego rodzaju podejściu kartometryczność samego nośnika informacji, jakim jest zdjęcie lub obraz niefotograficzny, nie ma praktycznie znaczenia, gdyż wydzielenia interpretacyjne są z użyciem różnych metod, transformowane do układu współrzędnych mapy podkładowej.

Podobne kryteria kartometryczności obowiązują przy opracowaniu tzw. map fotograficznych czyli fotomap, ortofotomap (stereoortofotomap), w których kanwę mapy stanowi odpowiednio przetworzone zdjęcie lub obraz. W wielu zastosowaniach tematycznych zdjęcie/obraz jest traktowane jako mapa, nazywana niekiedy mapą fotointerpretacyjną.

Dla wielu aplikacji, zwłaszcza przyrodniczych, ważniejsza jest przybliżona lokalizacja oraz relacje przestrzenne interpretowanych obiektów, zjawisk czy procesów, niż zachowanie instrukcyjnych kryteriów kartometryczności, tak jak w przypadku opracowywania map topograficznych<sup>1</sup>.

Interpretator powinien jednakże mieć świadomość jakie są konsekwencje tego rodzaju podejścia, tzn. powinien umieć oszacować wielkości popełnionych błędów czy nieścisłości. Wówczas może się okazać, iż zdjęcie/obraz w wersji oryginalnej („surowej”) są produktami w pełni kartometrycznymi, z interpretacyjnego punktu widzenia. Uzyskanie bezpośrednio ze zdjęć/obrazów pełnowartościowej informacji ilościowej jest niejednokrotnie możliwe po dokonaniu prostego przetworzenia (np. „wyprostowania” zdjęcia nachylonego), bądź też przy wykorzystaniu prostych metod pomiarowych.

<sup>1</sup> Kartometryczność mapy - właściwość mapy umożliwiająca mierzenie na niej długości, kątów lub pól.



### 7.6.2 Zniekształcenia geometryczne zdjęć lotniczych i satelitarnych

Pionowe lub prawie pionowe (odchylenie osi kamery od pionu  $< 2-3^0$ ) zdjęcie lotnicze terenu płaskiego można traktować jak fotomapę o jednorodnej skali, równą skali zdjęcia. Na takim zdjęciu lub jego powiększeniu można zatem dokonywać niezbędnych pomiarów długości kątów i powierzchni z dokładnością, którą determinuje skala i rozdzielczość zdjęcia i możliwość identyfikacji mierzonych szczegółów terenowych.

Przy analizie zdjęć nachylonych terenów płaskich należy pamiętać o zniekształceniach perspektywicznych, powodujących zmianę skali, odwzorowanej powierzchni terenu. Np., prostokątny w rzeczywistości układ pól uprawnych równinnego obszaru odwzorowuje się na zdjęciu nachylonym w postaci trapezów. Kształt trapezu będzie miał również odfotografowany wycinek terenu, którego powierzchnia będzie wzrastała w miarę zwiększenia kąta nachylenia zdjęcia, o ile wysokość fotografowania będzie identyczna. Obraz terenu o zróżnicowanej morfologii na pionowym zdjęciu lotniczym będzie zniekształcony, gdyż obszary wyniesione, znajdujące się bliżej kamery, odwzorują się w większej skali niż obniżenia terenowe, które były położone w większej odległości od kamery w chwili fotografowania. Dokonywanie pomiarów na takich zdjęciach może być obciążone znacznymi błędami, których wielkość uzależniona jest od deniwelacji terenu ( $\Delta h$ ), odległości mierzonych elementów od punktu głównego zdjęcia ( $r$ ) i wysokości fotografowania ( $H$ ), zgodnie z zależnością określającą tzw. przesunięcie radialne ( $\Delta r$ ):

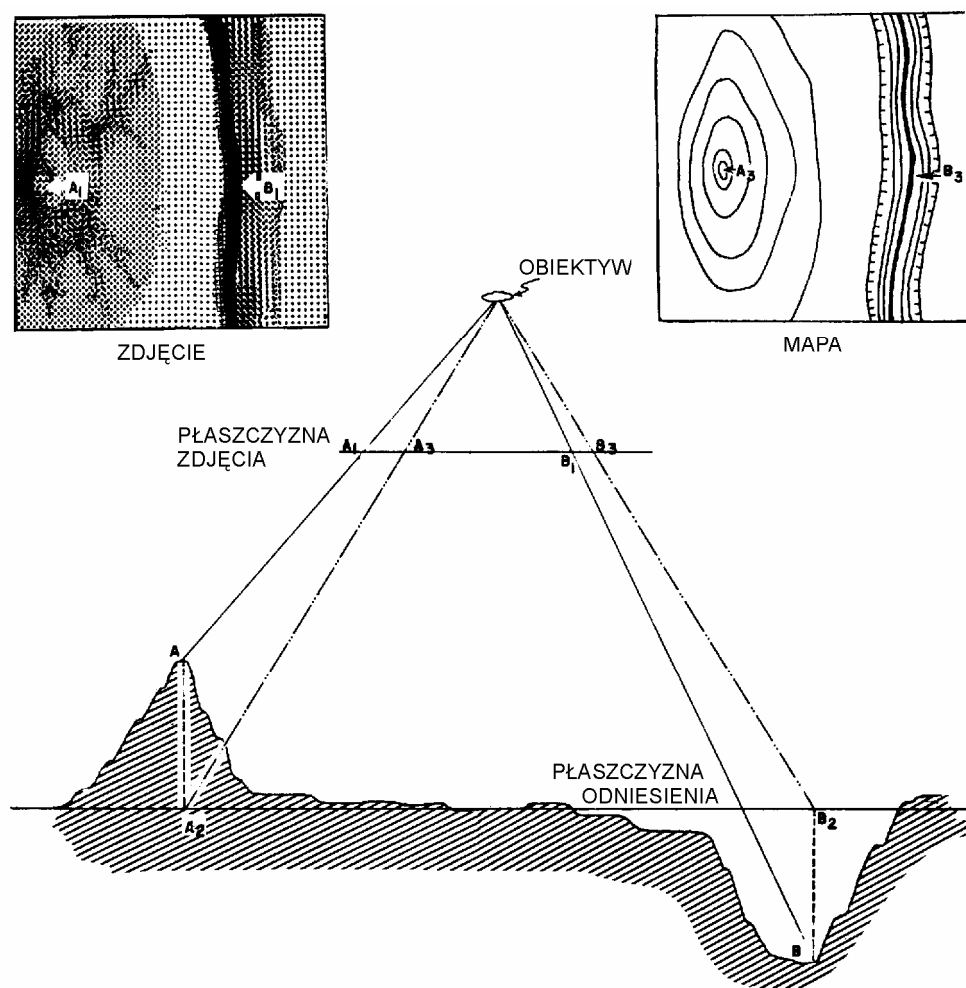
$$\Delta r = \frac{r \cdot \Delta h}{H} \quad (\text{wzór 2})$$

Z powyższej zależności wynika, iż deniwelacje terenu powodują radialne przesunięcia obrazu punktów, położonych powyżej lub poniżej płaszczyzny odniesienia, odpowiadającej zazwyczaj średniej wysokości terenu (rys. 15).

Ogólnie można powiedzieć, że zniekształcenia w odwzorowaniu powierzchni terenu o podobnych deniwelacjach są mniejsze w części środkowej zdjęcia niż w częściach brzeżnych kadru. Stąd też, w wielu przypadkach można zaniedbać wpływ deniwelacji terenu, jeśli pomiar ograniczamy do części środkowej zdjęcia, w promieniu, dla którego obliczone przesunięcia radialne interpretator uznaje za dopuszczalne.

W sytuacji, gdy zniekształcenia te są zbyt duże należy skorygować położenie mierzonych elementów o wielkość poprawki ( $\Delta r$ ), skracającej długość promienia radialnego ( $r$ ) dla punktów położonych powyżej płaszczyzny odniesienia i wydłużającej jego długość, dla punktów leżących poniżej tej płaszczyzny. Warto również zwrócić uwagę na fakt, iż wielkość przesunięć radialnych jest odwrotnie proporcjonalna do wysokości fotografowania. Oznacza to, iż dla danego obszaru, zniekształcenia w odwzorowaniu, zróżnicowanej morfologicznie, powierzchni terenu będą małe dla zdjęć wykonywanych tą samą kamerą, ale z wyższej wysokości. Stąd też na pionowych zdjęciach fotograficznych wykonywanych z pułapu satelitarnego, wpływ deniwelacji na odwzorowanie powierzchni terenu jest niewielki. Z wyjątkiem obszarów górzystych, zdjęcia takie można traktować jako materiał w pełni kartometryczny dla uzyskania ilościowej informacji tematycznej.

Pomiar różnic paralaks podłużnych dla określenia wysokości obiektu (np. drzewa, budynki itp.), którego podstawa i wierzchołek znajdują się mniej więcej w tym samym miejscu, jest w znacznym stopniu wolny od błędów nachylenia zdjęcia gdyż długość promienia radialnego ( $r$ ) jest podobna. W takim przypadku, wysokość obiektu może być określona z większą dokładnością.



Rys. 15. Schemat odwzorowania elementów morfologicznych na mapie i pionowym zdjęciu lotniczym [źródło: Manual of Photographic Interpretation, 1960]

## 7.7 BIBLIOGRAFIA

1. Ciołkosz A., Miszański J., Olędzki J.R., 1978: *Interpretacja zdjęć lotniczych*, PWN, Warszawa.
2. Ciołkosz A., Trafas K., 1971: *Przewodnik do ćwiczeń z geograficznej interpretacji zdjęć lotniczych*, Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego.
3. Furmańczyk K., 1972: *Zarys fotointerpretacji z elementami fotogrametrii*, Wyd. Ucz. Uniw. Gdańskiego, Gdańsk.
4. Gospodinow G.W.: *Odczytywanie zdjęć lotniczych*, Warszawa.
5. *Manual of Photographic Interpretation*, 1960, American Society of Photogrammetry.
6. Ostaficzuk S., 1978: *Fotogeologia*, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
7. Sabins F.F., JR., 1978: *Remote Sensing, Principles and Interpretation*, W.H. Freeman Company, San Francisco.
8. Smirnow L.J., 1970: *Teoretyczne podstawy fotointerpretacji*, Warszawa (przekład z j. ros. A. Ciołkosz, A. Kęsik).
9. Świątkiewicz A., 1979: *Fotogrametria*, PWN, Warszawa.

## 7.8 KONSPEKT

### Charakterystyka zdjęć lotniczych i obrazów satelitarnych pod względem ich treści informacyjnej oraz ich charakterystyka kartometryczna

#### Wykład [WY] (3g)

#### 1. Ogólny model zdalnej rejestracji powierzchni Ziemi:

- promieniowanie elektromagnetyczne (natura, właściwości, rozkład energii, mechanizmy interakcyjne);
- spektrum elektromagnetyczne (pasma fal, efekt atmosferyczny).

#### 2. Przegląd zdalnych metod w aspekcie pozyskiwania informacji tematycznej o powierzchni Ziemi.

#### 3. Cechy charakterystyczne obrazu z punktu widzenia potrzeb interpretacji;

- funkcja skali, problem generalizacji treści zdjęć lotniczych i satelitarnych;
- kontrast i jego rola w sposobie odwzorowania obiektów i powierzchni terenu;
- rozdzielczość zdjęć i zobrazowań skanerowych (*przestrzenna, spektralna, radiometryczna*);
- wykorzystanie efektu stereoskopowego w procesie interpretacji.

#### 4. Podstawy odczytywania treści topograficznej i tematycznej zdalnych zobrazowań.

##### 4.1. Podstawowe definicje i struktura procesu interpretacji obrazów.

##### 4.2. Rola cech rozpoznawczych, działki kluczowe, jednostki fotomorfoliczne.

##### 4.3. Ogólny schemat postępowania interpretacyjnego (metody i przebieg interpretacji).

##### 4.4. Charakterystyka spektralna głównych komponentów naturalnych i antropogenicznych tworzących obraz terenu oraz jej wykorzystanie w praktyce interpretacji zdalnych zobrazowań.

#### 5. Zasady rozpoznawania głównych elementów środowiska geograficznego na zdjęciach lotniczych i obrazach satelitarnych.

##### 5.1. Ukształtowanie powierzchni terenu [formy terenowe, linie szkieletowe, nieciągłości, problem maskowania (*roślinność, strefy zabudowy, obiekty inżynierskie, zacinienie*)].

##### 5.2. Wody powierzchniowe (cieki, kanały, jeziora, zbiorniki naturalne i sztuczne, strefy przybrzeżne akwenów morskich).

##### 5.3. Szata roślinna (zbiorniki naturalne, kompleksy upraw rolnych i leśnych).

##### 5.4. Elementy infrastruktury komunikacyjnej, zabudowa, jej rodzaje i funkcje.

#### 6. Kartometryczność zdjęć lotniczych i zobrazowań satelitarnych.

##### 6.1. Kryteria kartometryczności w aspekcie tematycznej interpretacji zdalnych zobrazowań.

##### 6.2. Podstawowe zniekształcenia geometryczne zdjęć lotniczych i satelitarnych

#### Ćwiczenia [ĆW] (3g)

### Temat 1 (1g)

#### **Definiowanie interpretacyjnych cech rozpoznawczych**

**Cel ćwiczenia:** zrozumienie istoty cech rozpoznawczych i ich praktyczne wykorzystanie w procesie interpretacji materiałów fotolotniczych. Waler dydaktyczny rozwiązania tematu polega na odwróceniu procedury postępowania interpretacyjnego

### Temat 2 (1g)

#### **Rekonstrukcja barw rzeczywistych pola testowego na podstawie fotografii wielospektralnej**

**Cel ćwiczenia:** praktyczne zaznajomienie się z pojęciem kontrastu spektralnego obiektów. Wprowadzenie do interpretacji zdjęć wielospektralnych poprzez wizualną analizę czarno-białych wyciągów kanałowych [kanały: N (niebieski), Z (zielony), C (czerwony), IR (podczerwony)]

### Temat 3 (1g)

#### **Analiza modelu stereoskopowego terenu**

**Cel ćwiczenia:** praktyczne sprawdzenie roli efektu hiperstereoskopowego w procesie odczytywania treści zdjęć lotniczych; próba określenia przybliżonych relacji przestrzennych, (wysokość, nachylenie), wybranych obiektów terenowych na podstawie oceny wizualnej oraz po uwzględnieniu przewyższenia jego skali pionowej modelu.

### Warsztaty [WA] (2g)

#### **Analiza porównawcza wybranego zakresu treści tematycznej zdjęcia lotniczego (lub/i ortofotomapy z mapą topograficzną)**

Przewiduje się pracę w zespołach 4-5-osobowych. Analiza będzie dotyczyć ściśle określonego zakresu treści mapy, odrębnego dla każdego zespołu a następnie dyskusję panelową z udziałem prowadzącego zajęcia. Przewiduje się sformalizowanie wyników analizy w postaci arkusza testowego, który po wypełnieniu będzie stanowił rodzaj raportu.

## **I. Pomoce dydaktyczne**

1. Wybrane stereogramy oraz ewentualnie dodatkowo ortofotomapy z materiałów szkoleniowych Zleceniodawcy (zdjęcia PHARE z woj. sieradzkiego):
  - strefa zapory zbiornika „*Jeziorsko*” -1 stereogram (15 kompletów);
  - miasto *Sieradz i okolice (?) lub Jura (?)* - 1 stereogram lub ortofotomapa (5 kompletów);
2. Fragment mapy topograficznej w skali 1 : 25 000 pokrywający obszar zdjęć (*vide* punkt 1).
3. Zdjęcie mutispektralne pola testowego (*wykonanie około 30 kopii formatu małej pocztówki z gotowego negatywu*).
4. Arkusze ćwiczeniowe (*wykonanie kserokopii z dostarczonych matryc - około 35 sztuk dla każdego kursu*).

## **II. Materiały szkoleniowe**

1. Wykonanie około 15 foliogramów z dostarczonych ilustracji i zdjęć.