

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

1. Realizacja programu PHARE dotyczącego wykonania zdjęć lotniczych dla terenu całej Polski.....	1-1
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
2. Przegląd rodzajów zdjęć lotniczych i satelitarnych	2-1
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
3. Obrazy cyfrowe i produkty ich przetwarzania	3-1
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
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.....	4-1
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 Fotoszkice	4-2
4.3.3 Fotoszkice 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
5. Potencjalne możliwości wykorzystania zdjęć lotniczych i satelitarnych.....	5-1
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 Zdjęcie 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
6.	Wykonywanie zdjęć lotniczych, podstawy fotografii i fotogrametrii.....	6-1
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	Stereoskopia.....	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
7.	Charakterystyka zdjęć lotniczych i obrazów satelitarnych pod względem ich treści informacyjnej oraz ich charakterystyka kartometryczna.....	7-1
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
8. Proste metody odczytywania i pomiaru na zdjęciach lotniczych z wykorzystaniem stereoskopii oraz na ortofotomapie	8-1
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

1. REALIZACJA PROGRAMU PHARE DOTYCZĄCEGO WYKONANIA ZDJĘĆ LOTNICZYCH DLA TERENU CAŁEJ POLSKI

Józef Jachimski, Wojciech Tokarski

Program Unii Europejskiej PHARE PL. 9206 Land Information System zarządzany przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii

1.1 WSTĘP

Unia Europejska, świadoma trudności zastępowania w krajach Europy Wschodniej i środkowej gospodarki centralnie planowanej gospodarką rynkową, stara się wspierać te procesy między innymi w formie dotacji pieniężnych, przeznaczonych na zdobywanie wiedzy.

W lipcu 1989 r. w czasie paryskiego szczytu siedmiu najbardziej uprzemysłowionych państw świata podjęto decyzję o przyznaniu pomocy ekonomicznej Polsce i Węgrom. Stąd nazwa programu PHARE: Poland - Hungary Assistance to the Reconstruction of the Economy. Koordynację tej pomocy powierzono Komisji Wspólnot Europejskich.

W miarę rozwoju sytuacji w krajach Europy Wschodniej i środkowej Rada Ministrów WE zadecydowała o rozszerzeniu programu na kolejne kraje: Albanie, Bułgarię, Czechy, Estonie, Litwę, Łotwę, Rumunię, Słowację i Słowenię.

PHARE to największy program pomocy finansowej Unii Europejskiej dla krajów Europy Wschodniej i Środkowej. Dzięki temu programowi krajom partnerskim udostępnia się wiedzę i technikę ułatwiającą przemiany gospodarcze w tych krajach, między innymi poprzez doradztwo z zakresu strategii działania oraz organizowanie szkoleń.

W latach 1990-1994 Unia Europejska przeznaczyła ze swojego budżetu 4284 mln ECU na finansowanie programu PHARE. W pierwszym roku działalności, kiedy z programu korzystało pięć państw, udostępnione środki wynosiły 500 mln ECU. W miarę dołączania do programu kolejnych krajów kwota ta w ciągu dwóch lat uległa podwojeniu.

Z krajów objętych projektem PHARE najwięcej środków otrzymują: Polska, Węgry i Rumunia, a najczęściej finansowane są projekty o znaczeniu systemowym, mające wpływ na całe sektory gospodarki i stwarzające w rezultacie warunki dla konkretnych przedsięwzięć ekonomicznych.

W ramach programu PHARE nr PL. 9206 p.t. „Land Information System” wyodrębniono 15 zadań, w tym zadania dotyczące wykonania kolorowych zdjęć lotniczych dla terenu całej Polski oraz zadania dotyczące ogólnopolskich szkoleń w zakresie wykorzystania informacji zawartych w zdjęciach lotniczych.

1.2 OGÓLNOPOLSKI PROGRAM SZKOLEŃ Z ZAKRESU WYKORZYSTANIA INFORMACJI ZAWARTYCH W ZDJĘCIACH LOTNICZYCH

W ramach Projektu No PL. 9206-02-04/II p.t.: „OGÓLNOPOLSKI PROGRAM SZKOLEŃ Z ZAKRESU WYKORZYSTANIA INFORMACJI ZAWARTYCH W ZDJĘCIACH LOTNICZYCH” realizowany będzie cykl kursów z zakresu wykorzystania fotogrametrycznych zdjęć lotniczych i produktów pochodnych.

Projekt ma na celu upowszechnienie korzystania ze zdjęć lotniczych oraz przetworzonych obrazów, jako pochodnych tych zdjęć, zarówno w postaci analogowej, jak i cyfrowej,

przy rejestrowaniu, inwentaryzowaniu, monitorowaniu oraz prognozowaniu zjawisk gospodarczych i przyrodniczych.

Dla osób zatrudnionych na stanowiskach decyzyjnych będących uczestnikami szkoleń i znających potrzeby wykorzystania informacji o terenie, przewiduje się przekazanie w skondensowanej formie wiedzy o sposobach i możliwościach wykorzystania zdjęć lotniczych w planowaniu przestrzennym, nadzorze budowlanym, gospodarce gruntami, rolnictwie i leśnictwie, ochronie środowiska, hydrografii oraz w zarządzaniu. Przekazana wiedza posłuży słuchaczom do wypracowania kierunków i metod działania w podległej im działalności publicznej, a także stawiania zadań uwzględniających wykorzystanie zasobów informacyjnych zdjęć lotniczych.

W dalszych etapach szkolenia słuchacze rekrutujący się spośród pracowników administracji na szczeblu gmin i miast, zajmujący się wyżej wymienionymi dziedzinami gospodarki, zapoznani zostaną w trakcie szkolenia z podstawowymi technikami pracy na zdjęciach fotogrametrycznych oraz metodami pozyskania i opracowywania informacji z tych zdjęć dla potrzeb zadań swojej specjalności.

Podjęto starania o zainteresowanie programem jak największej grupy potencjalnych użytkowników.

Celem szkoleń jest zapoznanie jak największej liczby pracowników administracji publicznej z prostymi metodami i narzędziami do odczytywania zdjęć lotniczych i ich pochodnych. Jednocześnie, obok metod bardzo prostych, zostaną zaprezentowane osiągnięcia najnowsze w tej dziedzinie, włącznie ze zdjęciami satelitarnymi, techniką pozycjonowania GPS i fotogrametrią cyfrową.

Na wszystkich kursach szkoleniowych przewidziana jest informacja o trybie nabywania zdjęć i produktów pochodnych z zasobu centralnego, rodzajach sprzedawanych zdjęć lotniczych, map, a także ich cen.

Centralne szkolenie z zakresu wykorzystania fotogrametrycznych zdjęć lotniczych i ortofotomap w ramach „OGÓLNOPOLSKIEGO PROGRAMU SZKOLEŃ Z ZAKRESU WYKORZYSTANIA INFORMACJI ZAWARTYCH W ZDJĘCIACH LOTNICZYCH” zapoczątkowane zostało w kwietniu 1997 roku 3 tygodniowym szkoleniem realizowanym jako Faza I Programu PL. 9206-02-04, przez konsorcjum w skład którego wchodziły: Politechnika Warszawska, Instytut Geodezji i Kartografii oraz ITC z Enschede w Holandii.

W I fazie przeszkolonych zostało około 25 osób z terenu całej Polski. Zamysłem organizatorów szkolenia było stworzenie spośród przeszkolonych centralnej i regionalnej kadry instruktorów do dalszych szkoleń realizowanych zarówno w ramach programu PHARE, jak i poza nim.

Druga część programu, zwana II Fazą, jest kontynuowana przez Konsorcjum „Aerofoto 97” utworzone przez Wojewódzki Ośrodek Dokumentacji Geodezyjno Kartograficznej w Sieradzu oraz Akademię Górniczo-Hutniczą w Krakowie, Zakład Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej. Podwykonawcą jest szwedzka firma SWEDESURVEY A.B., a fotogrametryczne materiały szkoleniowe wyprodukuje Okręgowe Przedsiębiorstwo Geodezyjno-Kartograficzne w Krakowie.

Ta część szkolenia, przewidziana w formie szkoleń ogólnych i w grupach tematycznych, trwać będzie 16 miesięcy, rozpocznie się w dniu 3.11.97 r. dwoma kursami pilotażowymi dla kadry kierowniczej administracji centralnej i wojewódzkiej, mającymi za zadanie przekonać uczestników szkolenia o zasadności stosowania zdjęć lotniczych w zaspokajaniu potrzeb

współczesnej gospodarki i działalności publicznej oraz przekazać skondensowaną wiedzę w tym zakresie.

II etap, przewidziany dla urzędników administracji lokalnej, działających w obrębie województw, gmin i rejonów, rozpocznie się 17.11.97 r. i będzie kontynuowany w cyklicznych kursach trzytygodniowych. Celem drugiego etapu jest wyszkolenie znacznej liczby specjalistów w zakresie wykorzystania zdjęć lotniczych i produktów pochodnych w wykonywaniu codziennych zadań w dziedzinie planowania przestrzennego i nadzoru budowlanego, gospodarki gruntami, rolnictwa i leśnictwa, ochrony środowiska, hydrografii i zarządzania.

Organizator szkoleń udostępnia materiały fotogrametryczne i kartograficzne potrzebne do prowadzenia szkoleń, a także pomocnicze materiały szkoleniowe w formie konspektów i skryptów. Ponadto wykorzystany będzie sprzęt fotogrametryczny i informatyczny.

Zajęcia prowadzić będzie kadra naukowa AGH oraz praktycy administracji publicznej. Szkolenie kończy się certyfikatem wydanym przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii.

Koszty organizacji i prowadzenia szkoleń oraz przygotowania materiałów i pomocy szkoleniowych są finansowane z funduszy Programu Pomocowego Unii Europejskiej PHARE. Uczestnicy pokryją jedynie koszty delegacji na szkolenie (dojazd, zakwaterowanie, wyżywienie). Cały program przewiduje przeszkolenie w tym zakresie ok. 450 osób, specjalnie dobranych z terenu całego kraju.

W dalszej perspektywie przewiduje się przeszkolenie, na odrębnych zasadach finansowych, w sumie około 2 500 osób.

1.3 ZDJĘCIA LOTNICZE TERENU POLSKI W BARWACH NATURALNYCH

Zadanie nr PHARE PL 9206-01-01 obejmuje wykonanie barwnych zdjęć lotniczych w skali około 1 : 26 000 (zdjęcia drobnoskalowe) dla obszaru całego kraju, oraz zdjęć w skali około 1 : 50 000 (zdjęcia wielkoskalowe) dla obszaru wybranych 17 miast.

Podstawowa skala zdjęć 1 : 26 000 została tak dobrana, aby umożliwić wykonanie map topograficznych w skali 1 : 10 000 i 1 : 50 000.

Zdjęcia drobnoskalowe wykonywane są jako zdjęcia celowane o pokryciu podłużnym ok. 60% i pokryciu poprzecznym ok. 30%, przy czym dla większości zdjęć przewidziano trasy lotów fotogrametrycznych w kierunku północ-południe. Wyjątek stanowią zdjęcia pagórkowatych i górzystych terenów południowych, poprzecinanych dolinami o orientacji równoleżnikowej. Dla tych terenów zastosowano loty fotogrametryczne w kierunku wschód-zachód, a zdjęcia celowane wykonywane są wobec tego w skali nieco mniejszej 1 : 29 000, co pociąga za sobą powiększenie pokrycia podłużnego do około 70%. Zdjęcia drobnoskalowe tak zaprojektowano, że co drugie zdjęcie wypada nad środkiem arkusza mapy topograficznej w skali 1 : 10 000 (układ współrzędnych „1942”), a co drugie nad środkiem ramki rozgraniczającej arkusze mapy (rys. 1 oraz tabela 1). Taki zasięg zdjęć bardzo ułatwia opracowanie map, szczególnie map obrazowo-półtonalnych (map fotograficznych, ortofotomap), pozwala bowiem uniknąć czynności mozaikowania, czyli łączenia na jednym arkuszu obrazów pochodzących z dwu różnych zdjęć.

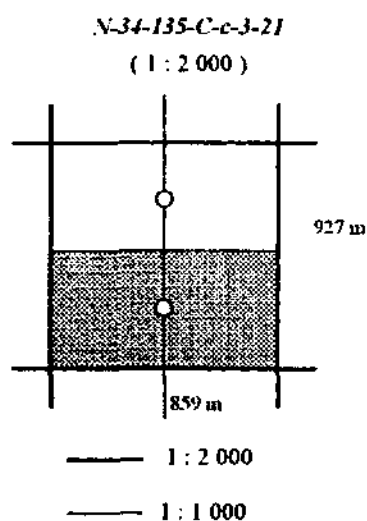
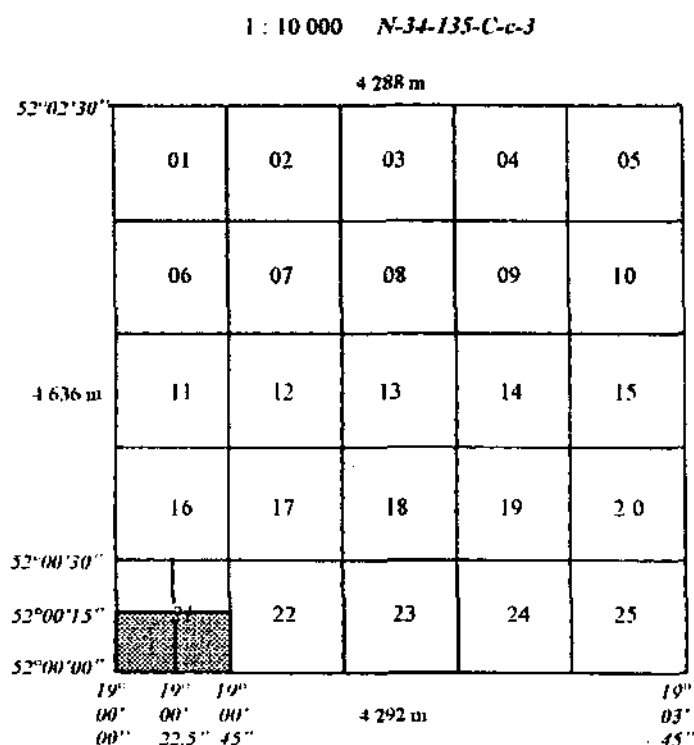
Tabela 1b
Parametry zdjęć w skali 1 : 5 000 [2, 3]

obszar	5 300 km ² (17 miast) <u>Faza I 1996:</u> Gdynia, Sopot, Gdańsk, Gorzów Wlk., Zielona Góra, Kalisz, Łódź, Katowice (35 %). <u>Faza I 1997:</u> Słupsk, Koszalin, Szczecin, Włocławek, Wałbrzych, Katowice (c.d.). <u>Faza II 1997:</u> Warszawa, Kraków, Tarnów, Rzeszów.
czas	1996 - 1997
skala	1 : 5 300 (południowa Polska) 1 : 5 150 (centralna Polska) 1 : 5 000 (północna Polska)
kamery	w 1996 r. normalnokątne ($c_k=300$ mm), w 1997 r. również inne ($c_k=210$ mm, oraz $c_k=150$ mm)
terenowy zasięg zdjęć	1,17 km × 1,17 km
pokrycie podłużne	1996 r.: 60 %; 1997 r., Faza I: 60 % Faza II: 80 % lub 60 % (dwie synchroniczne kamery)
pokrycie poprzeczne	26 % - 27 %
wysokość fotografowania	1 550 m nad terenem (dla $c_k=300$ mm i skali 1 : 5 150)
projekt lotu	zdjęcia celowane, synchronizacja z mapami 1 : 1 000 („1992”)
technologia dGPS	dla zdjęć w 1997 roku
kierunek lotu	północ - południe
nawigacja	CCNS - 4 (GPS)
pora wykonania	wiosna (przed wegetacją), wys. słońca >35°, dopuszczalne pełne pokrycie chmur
liczba zdjęć	15 100

Aby ograniczyć do minimum różnicę czasu wykonywania zdjęć w sąsiednich szeregach, a co za tym idzie – aby wykonywać zdjęcia w podobnych warunkach oświetlenia, w ramach jednego seansu realizuje się zdjęcia w rejonach o wymiarach odpowiadających dwóm arkuszom mapy w skali 1 : 100 000; w przypadku rejonów wydłużonych w kierunku równoległym do trasy lotów osiąga się różnicę czasu wykonywania zdjęć w sąsiednich szeregach nie przekraczającą pół godziny.

Na podobnych zasadach oparto planowanie zdjęć wielkoskalowych. W założeniach tego programu przewidziano, że na podstawie zdjęć w skali 1 : 5 000 można będzie opracować mapy odpowiadające zasobem treści i dokładnością mapom w skali 1 : 1 000.

Zdjęcia wielkoskalowe są również zdjęciami celowanymi. Nad jednym arkuszem mapy w skali 1 : 2 000 wykonuje się dwa zdjęcia o 60% pokryciu podłużnym, przy czym każde z tych zdjęć wypada na osi arkusza 1 : 2 000 (rys.2 i tab.1), nad środkiem równoległej do kierunku nalotu ramki mapy w skali 1 : 1 000 (układ „1992”).



Rys.2. Schemat rozmieszczenia zdjęć wielkoskalowych (1 : 5 000) na tle podziału sekcijnego arkusza mapy 1 : 10 000 [2, 3]

Dla zapewnienia dobrej czytelności zdjęć, zakłada się, że będą one wykonywane w porze wiosennej, zanim liście pokryją drzewa. Przewiduje się wykorzystywanie pogody bezsłonecznej (wysoki pułap chmur), lub pogodę słoneczną, ale przy wysokości słońca nad horyzontem nie mniejszej niż 35 stopni, aby zmniejszyć długość cieni. W roku 1996 zdjęcia wielkoskalowe wykonywano kamerami normalnokątnymi ($c_k = 300$ mm), ale od roku 1997 dopuszcza się też stosowanie kamer półnormalnokątnych i szerokokątnych. Wprowadza się też precyzyjne wyznaczanie współrzędnych środków rzutów kamer technologią satelitarnych pomiarów dGPS z wykorzystaniem odbiorników stacjonarnych w obserwatoriach astronomicznych w Józefosławiu koło Warszawy i w Borowcu koło Poznania. Dla miast przewiduje się od roku 1997 równoczesne wykonywanie dwóch kompletów zdjęć, aby zmniejszyć koszty i straty jakości związane z duplikowaniem zdjęć. Dwa komplety są wykonywane albo z wykorzystaniem

dwóch synchronicznie działających kamer, albo jedną kamerą przy pokryciu zwiększonym do 80%.

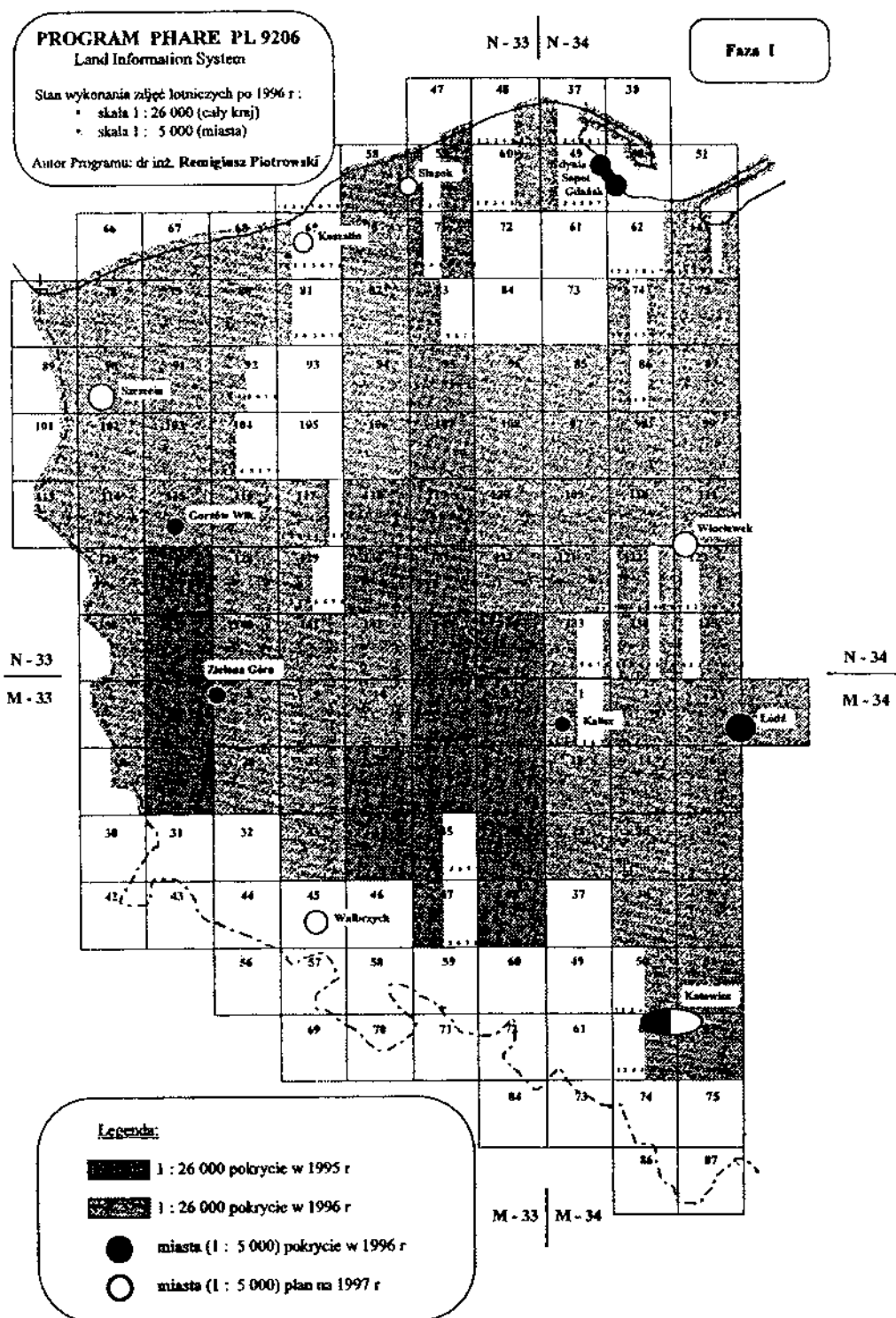
Wszystkie zdjęcia wykonywane są przez konsorcjum belgijskiej firmy EUROSENSE i polskiej firmy POLKART (pierwsza faza - rok 1995), oraz konsorcjum trzech firm: EUROSENSE/POLKART/GEOKART działające od 1996 r. Wykonawca zdjęć przeznaczył do realizacji kontraktów samoloty wyposażone w najnowocześniejsze kamery typu RC20, RC30, LMK2000 i LMK3000 (posiadające kompensatory rozmazania) oraz system precyzyjnej nawigacji CCNS-4 bazujący na pomiarach GPS wykonywanych w czasie rzeczywistym. Wszystkie zdjęcia wykonywane są na markowym filmie diapozytywowym KODAK Aerochrome MS 2448, rejestrującym obrazy w barwach naturalnych, a wywoływane są w wywoływarzu EA-5 w laboratorium Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej GUGiK w Warszawie z wykorzystaniem automatycznej linii wyposażonej w procesor HOSTERT Fotomata Aerial Film Processor.

Zaawansowanie pokrycia Polski zdjęciami pokazano na rys. 3.

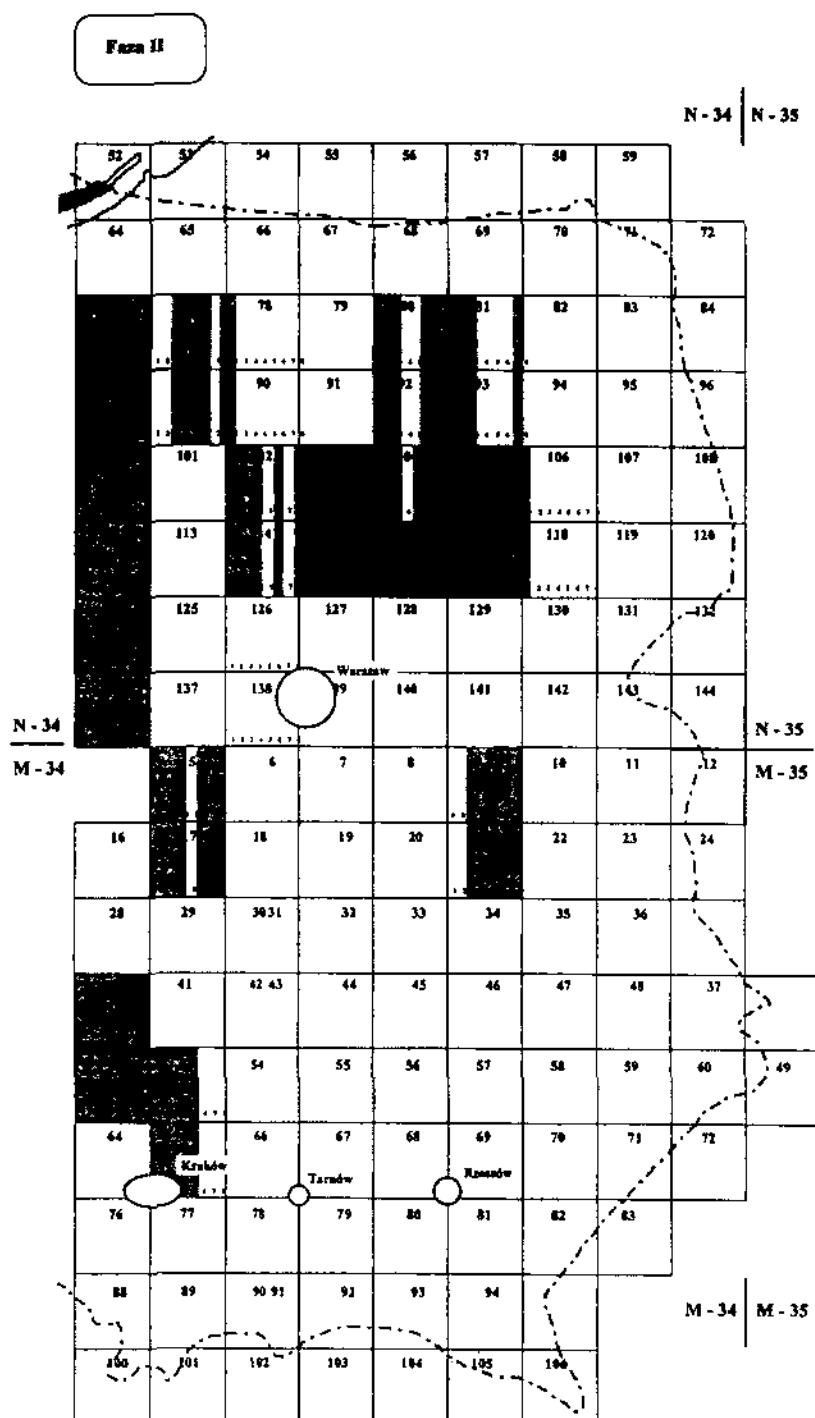
Na zakończenie opisu zdjęć fotogrametrycznych wykonywanych dla terenu całej Polski w ramach programu PHARE trzeba zauważyć, że zdjęcia drobnoskalowe, wykonywane kamerą szerokokątną z wysokości 4km, mogą mieć niebieskawy zafarb, spowodowany rozproszeniem światła w atmosferze.

1.4 ŹRÓDŁA WYKORZYSTANE

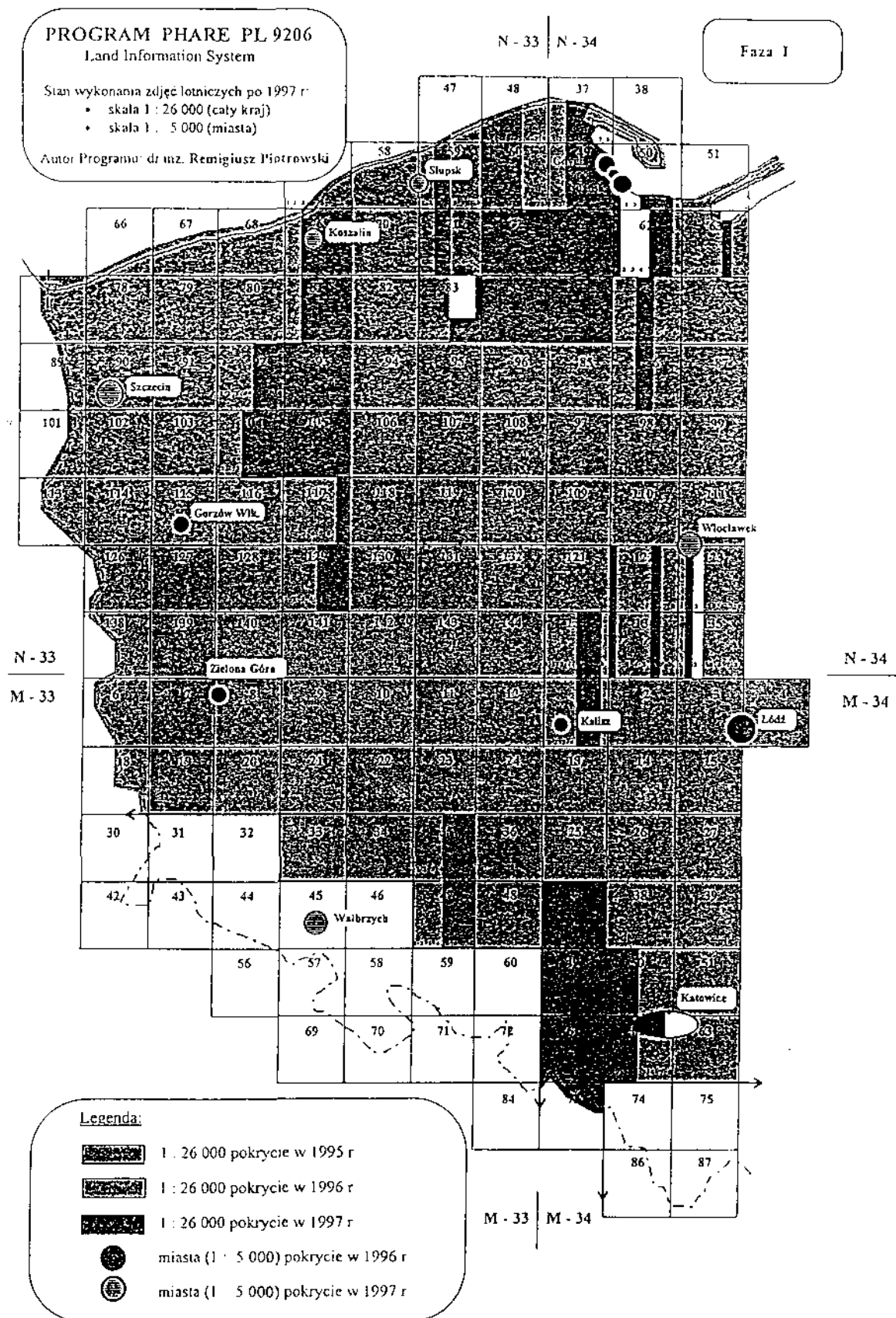
1. „Polska w kolorze – Geowywiad”. Geodeta nr 15/1996
2. Zdzisław Kurczyński „Zdjęcia lotnicze dla obszaru Polski realizowane w ramach programu modernizacji krajowego systemu informacji o terenie”, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol.6, Kraków 1997.
3. „PHARE – Poland Hungary Assistance to the Reconstruction of the Economy, Land Information System – Technical Assistance Programme in Poland (information in brief)”, PHARE PIU, Warsaw 1996 December



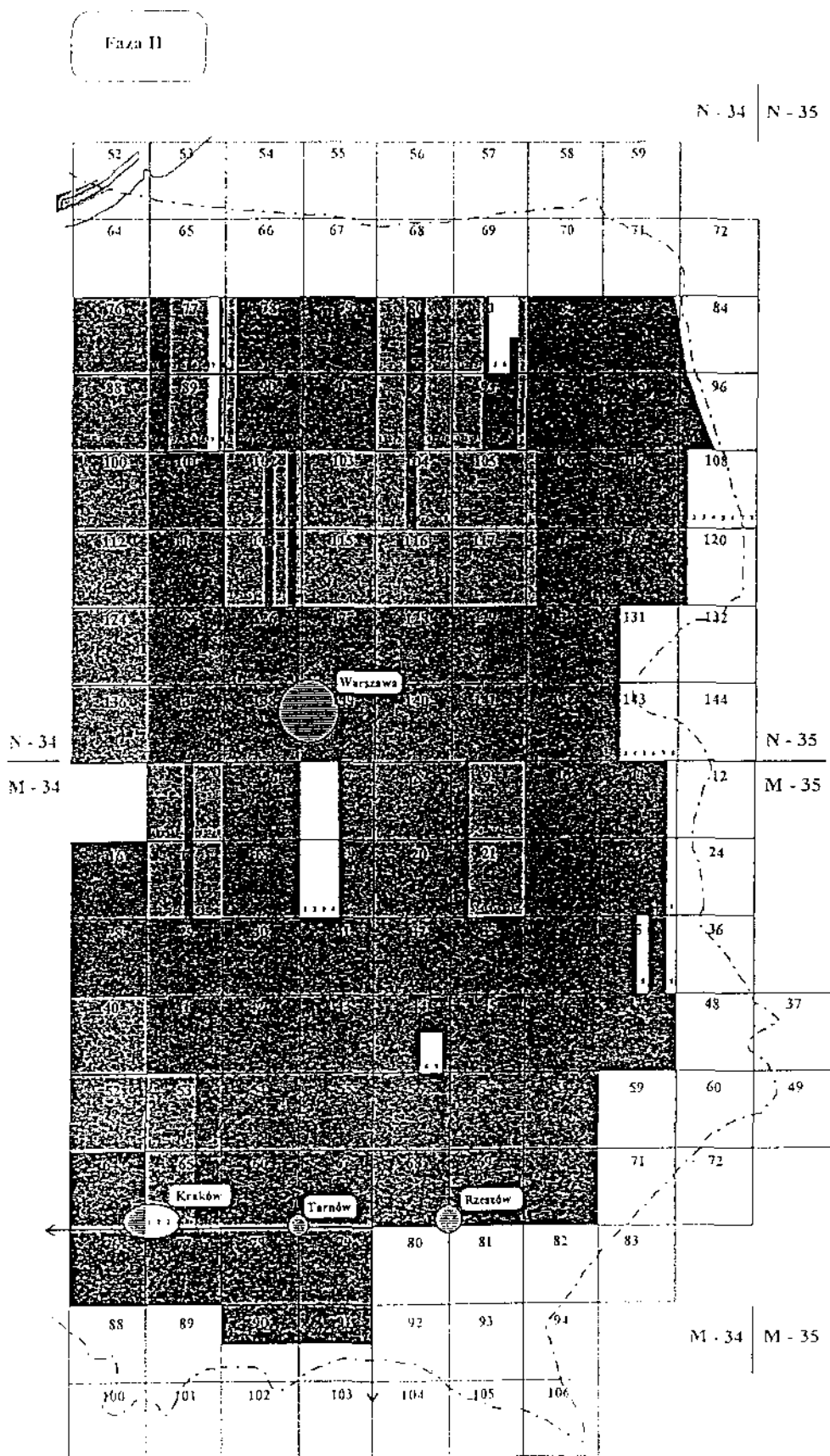
Rys. 3a. Pokrycie Polski zdjęciami lotniczymi wykonanymi w ramach programu PHARE do końca 1996 roku [2, 3]



Rys. 3b. Pokrycie Polski zdjęciami lotniczymi wykonanymi w ramach programu PHARE do końca 1996 roku [2, 3]



Rys. 3c. Pokrycie Polski zdjęciami lotniczymi wykonanymi w ramach programu PHARE do końca 1997 roku



Rys. 3d. Pokrycie Polski zdjęciami lotniczymi wykonanymi w ramach programu PHARE do końca 1997 roku

2. PRZEGLĄD RODZAJÓW ZDJĘĆ LOTNICZYCH I SATELITARNYCH

Zbigniew Sitek, Władysław Mierzwa

2.1 WSTĘP

Zdjęcia lotnicze, które są głównym przedmiotem zainteresowania na tym kursie znajdują obecnie szerokie zastosowanie w różnych dziedzinach nauki, techniki i gospodarki. Pokrycie w latach 1995-1997 całego obszaru Polski kolorowymi zdjęciami lotniczymi wykonanymi w ramach programu PHARE stworzyło niepowtarzalną szansę upowszechnienia ich stosowania przez specjalistów różnych dziedzin.

Dyscypliną, która zajmuje się wykonywaniem, interpretacją i opracowaniem zdjęć lotniczych jest **fotogrametria i teledetekcja** (ang. *photogrammetry and remote sensing*).

Fotogrametria i teledetekcja definiowana jest jako dziedzina nauk technicznych zajmująca się pozyskiwaniem wiarygodnych informacji o obiektach fizycznych i ich otoczeniu drogą rejestracji, pomiaru i interpretacji obrazów lub ich reprezentacji cyfrowych otrzymywanych z sensorów nie będących w bezpośrednim kontakcie z tymi obiektami.

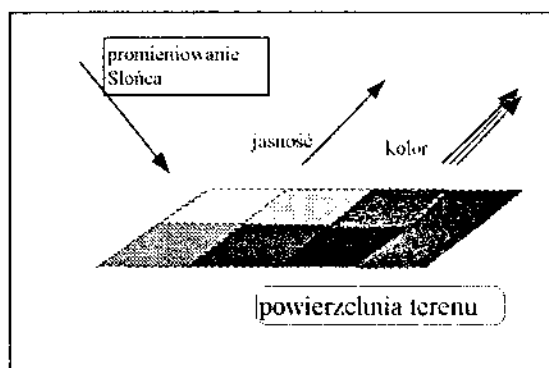
Zdjęcie lotnicze jest definiowane jako fotograficzny obraz powierzchni terenu wykonany kamerą metryczną z pokładu samolotu lub innego statku powietrznego.

Promienie Słońca odbite od powierzchni terenu zostają zarejestrowane na zdjęciu lotniczym w postaci różnych tonów na zdjęciu czarno-białym lub w postaci różnych barw na zdjęciu kolorowym.

Zdjęcia lotnicze zawierają dwa rodzaje informacji:

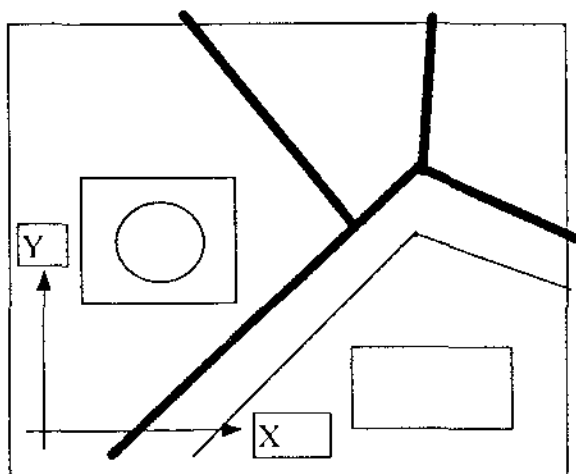
- ⇒ radiometryczną
- ⇒ geometryczną

Informacja radiometryczna



- ♦ określa sposób w jaki powierzchnia terenu odbija energię elektromagnetyczną;
- ♦ dla danego fragmentu terenu możemy rozważyć:
 - ilość odbitej energii wyrażonej w postaci np. jasności, a także
 - rozkład spektralny (widmo) odbitej energii.

Informacja geometryczna



♦ opisuje przestrzenne zależności pomiędzy obiektami na powierzchni terenu;

♦ informacja ta umożliwia określenie:

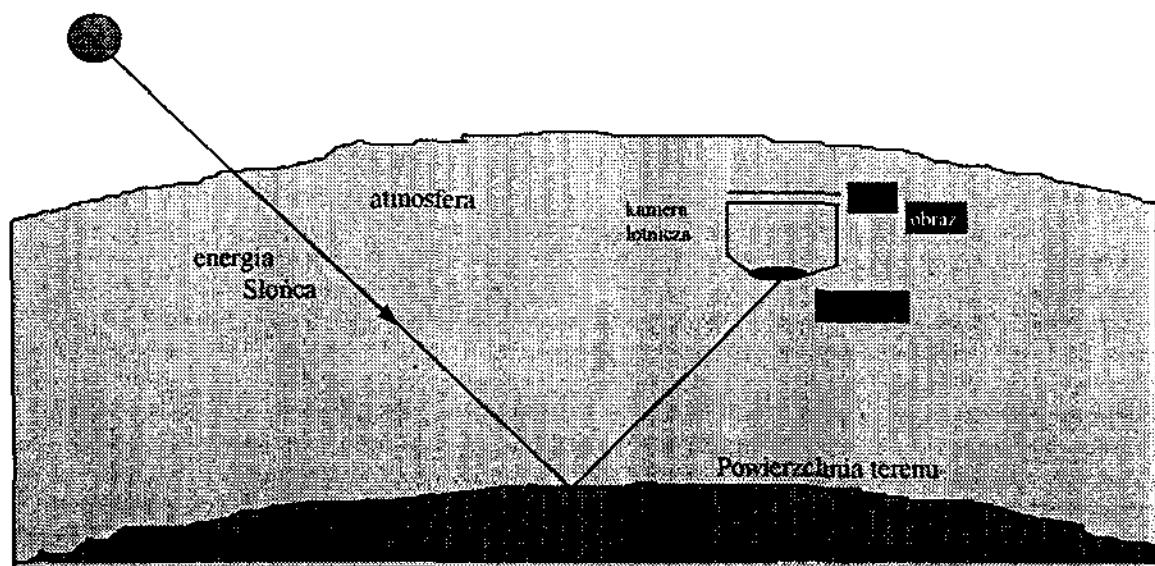
- kształtu,
- wymiarów,
- położenia

obiektów występujących na powierzchni terenu.

Tworzenie obrazu

Przy tworzeniu obrazu należy uwzględnić następujące czynniki:

1. napromienienie powierzchni terenu energią Słońca,
2. wpływ atmosfery,
3. własności odbijania powierzchni terenu,
4. charakterystykę układu optycznego kamery lotniczej.



Promieniowanie Słońca

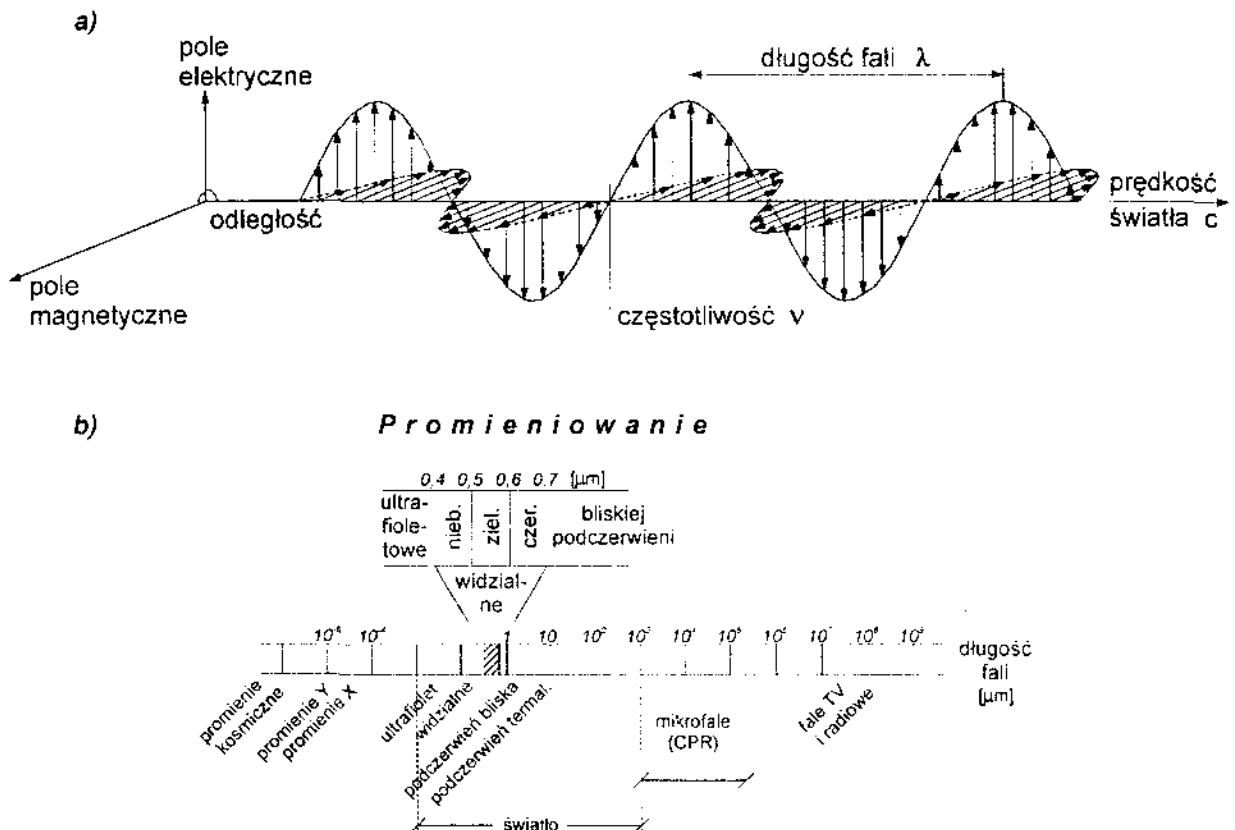
1. Słońce emituje energię elektromagnetyczną, która może być traktowana jako fale i strumień cząsteczek (fotonów).
2. Fale elektromagnetyczne poruszają się w przestrzeni ze stałą prędkością c i charakteryzują się częstotliwością ν (liczbę cykli, które w czasie sekundy przechodzą przez dany punkt) i długością fali λ (odległością pomiędzy kolejnymi maksymami lub minimami fali). Zależność pomiędzy tymi wielkościami określa wzór:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \quad (\text{wzór 1})$$

3. Energia elektromagnetyczna jest proporcjonalna do kwadratu amplitudy fali.
4. Energia fotonu (kwant promieniowania elektromagnetycznego) jest określona wzorem:

$$E = \nu \cdot \text{Stała Plancka} \quad (\text{wzór 2})$$

Energia fotonu jest wprost proporcjonalna do częstotliwości i odwrotnie proporcjonalna do długości fali.



Rys. 1. Zakresy fal promieniowania elektromagnetycznego; a) składowe, b) klasyfikacja; promieniowanie od ultrafioletu do mikrofal jest światłem; CPR - ciepłne promieniowanie radiowe

Energia elektromagnetyczna emitowana przez Słońce zawiera szeroki zakres spektralny różniący się znacznie długością fali i częstotliwością. Jednakże ilość energii emitowana w poszczególnych zakresach nie jest jednakowa. Spośród tego spektrum wyróżnić możemy część optyczną obejmującą ultrafiolet, promieniowanie widzialne i bliską podczerwień.

Ziemia i jej atmosfera podlega napromienieniu przez energię emitowaną przez Słońce. Część tej energii przechodzi przez atmosferę i dociera do powierzchni Ziemi, natomiast pozostała część jest albo: rozpraszana, absorbowana albo odbita. Proporcje pomiędzy tymi dwoma częściami są zmienne i zależą od długości fal.

Informacje radiometryczne i geometryczne charakteryzujące powierzchnię terenu aby mogły być w pełni wykorzystane muszą być zarejestrowane.

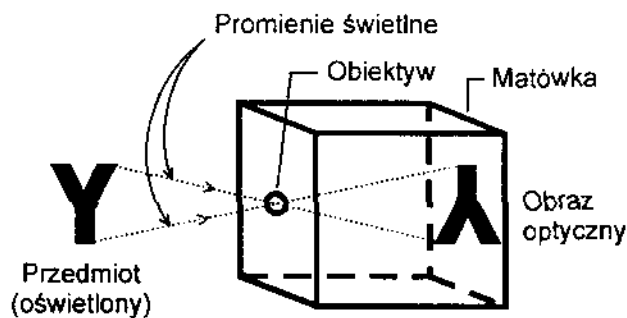
Mimo rozwoju techniki rejestracja metodą fotograficzną wciąż jest dominującą wśród różnych technik zapisu obrazu.

2.2 ZDJĘCIE FOTOGRAFICZNE - UWAGI OGÓLNE

W języku nie tylko polskim termin fotografia ma dwa znaczenia:

- jedno ujmuje całokształt umiejętności technicznych utrwalania rzeczywistych obrazów optycznych utworzonych w zakresie światła widzialnego i bliskiej podczerwieni spektrum promieniowania elektromagnetycznego;
- drugie oznacza obraz pozytywowy na podłożu papierowym otrzymywany metodą fotograficzną.

Obraz optyczny tworzą na płaszczyźnie lub powierzchni promienie świetlne (rys.1) pochodzące od obiektu (świecącego lub oświetlonego) po przejściu przez obiektyw. Można go obserwować na matówce (umieszczonej w światłoszczelnej skrzynce na ścianie przeciwległej do obiektywu - rys. 2). Można go zarejestrować na materiale fotograficznym (kliszy, błonie lub papierze). Klisze mają podłoże ze szkła, błony - z folii (rys.3) i są zazwyczaj stosowane do rejestrowania obrazów negatywowych. Podłoże papierowe jest stosowane do sporządzania obrazów pozytywowych. Warstwą rejestrującą obraz w materiale fotograficznym jest emulsja fotograficzna.



Rys. 2. Obraz optyczny (rzeczywisty i odwrócony) w kamerze skrzynkowej

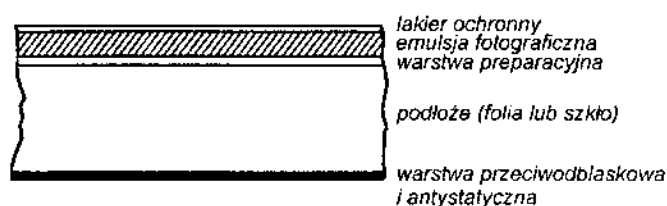
2.3 SPEKTRALNA ŚWIATŁOCZUŁOŚĆ I RODZAJE EMULSJI

W zakresie długości fal światła widzialnego oko ludzkie jest w stanie rozróżniać kolory. Kolory podstawowe są złożone z różniących się długości fal:

niebieski	0,4 do 0,5 μm ,
zielony	0,5 do 0,6 μm i
czerwony	0,6 do 0,7 μm .

Wszystkie inne odcienie kolorów są kombinacją kolorów podstawowych. Dla oka ludzkiego przedmiot pojawia się w pewnym kolorze, gdyż odbija on energię o długości fal, odpowiadającej danemu kolorowi. Jeśli odbija całe promieniowanie widzialne nań padające - to obiekt pojawi się jako biały. Kiedy absorbuje całe światło promieniowania widzialnego - obiekt będziemy oglądali jako czarny. Kiedy absorbuje zieleni i niebieski a odbija czerwień - pojawi się jako czerwony.

Związki srebrne służące do produkcji emulsji fotograficznych wykazują największą czułość w zakresie niebieskiej strefy promieniowania elektromagnetycznego a na pozostałe barwy praktycznie nie reagują. Dlatego aby rozszerzyć barwoczułość czarno-białych emulsji fotograficznych dodaje się do nich barwniki organiczne. Uzyskuje się przez to różnego rodzaju barwoczułe emulsje fotograficzne umożliwiające rejestrację obiektów zarówno w obrębie promieniowania widzialnego jak i podczerwieni. Zadaniem takich emulsji jest prawidłowe pokazanie w skali czarno-białej barw fotografowanego przedmiotu.

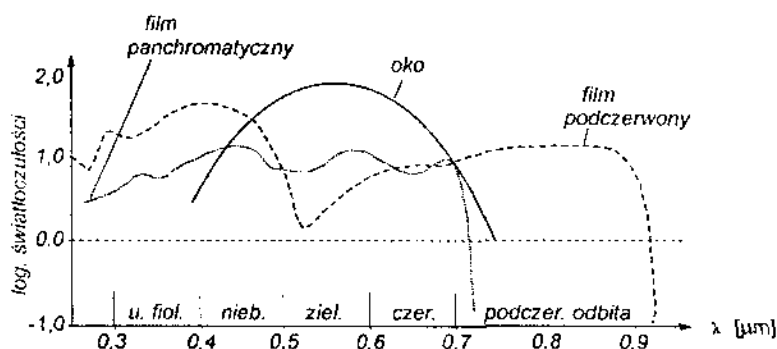


Rys. 3. Przekrój światłoczułego materiału negatywowego

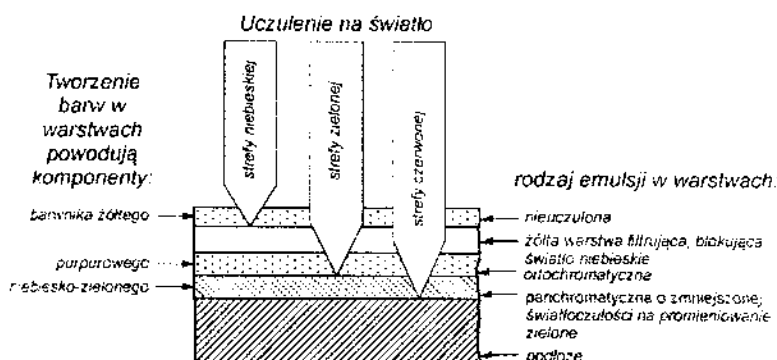
Czarno-białe materiały światłoczułe to materiały nieuczulone, ortochromatyczne, panchromatyczne i podczerwone - niebarwoczułe a także radiograficzne stosowane w medycynie i przemyśle.

Emulsje nieuczulone (barwoślepe) reagują jedynie na promieniowanie niebieskie i ultrafioletowe. Emulsje takie stosuje się głównie na podłożu papierowym do sporządzania odbitek pozytywowych, przy czym ich obróbka może być dokonywana przy świetle ochronnym czerwonym lub żółtym, gdyż nie reagują one na te barwy światła. Emulsje czarno-białe, srebrne uczulone sensybilizatorami (uczulaczami) optycznymi - grupa barwników cjaninowych (np. erytozyna) - mają zwiększony zakres barwoczułości. Gdy mogą reagować na barwy niebieskie i żółte, są nazywane ortochromatycznymi. Gdy ich barwoczułość jest rozszerzona do czerwieni włącznie, są nazywane panchromatycznymi i są produkowane w dwóch odmianach: jako ortopanchromatyczne o barwoczułości zbliżonej do oka ludzkiego (do zdjęć przy świetle dziennym) oraz jako superpanchromatyczne, nieco bardziej uczulone na światło czerwone (do zdjęć przy świetle sztucznym).

Emulsje podczerwone rejestrują niewidoczne dla oka promieniowanie. Początkowo były stosowane do rozpoznawania miejsc zakrytych ściętą zielenią, których nie mogło rozpoznać oko ludzkie, natomiast rozróżniała je emulsja podczerwona. Promienie podczerwone inaczej odbijają się od roślin ściętych, a inaczej od zieleni rosnącej. W obrazie pozytywowym nie uszkodzona roślinność liściasta pokazana jest w bardzo jasnym tonie. Zakresy światłoczułości widmowej emulsji srebrowej i oka człowieka pokazano na rysunku 4.



Rys. 4. Światłoczułość widmowa oka oraz czarno-białych filmów: panchromatycznego i podczerwonego



Rys. 5. Przekrój przez materiał do fotografii barwnej

Zdjęcia barwne stosuje się do celów fotogrametrycznych i fotointerpretacyjnych. Są to najczęściej zdjęcia lotnicze w barwach naturalnych rejestrujące promieniowanie widzialne (takie jak wykonuje się obecnie dla całego obszaru Polski w ramach projektu PHARE PL. 9206) albo zdjęcia spektrostrefowe w fałszywych barwach rejestrujące część promieniowania widzialnego oraz bliskiej podczerwieni (0,7 do 1,0 μm).

Budowę materiału do fotografii barwnej pokazano na rys. 5. W każdej z trzech warstw emulsji fotograficznej znajduje się inny komponent barwny. Komponenty te łączą się w procesie wywoływania z produktami utleniania niektórych substancji redukujących i tworzą barwne substancje nierozpuszczalne w wodzie w ilości proporcjonalnej do ilości wydzielonego w tym miejscu złoza srebrowego. Jak widać na rysunku, dobrano takie komponenty, które wytwarzają barwniki przydatne w subtraktywnej metodzie powstawania barw - czyli żółty, purpurowy i niebieskozielony. Na rysunku pokazano także, jak poszczególne warstwy oddziałują na światło: zewnętrzna niesensybilizowana reaguje na światło fioletowe i niebieskie; filtrująca i pochłaniająca promieniowanie fioletowe i niebieskie (które przeszło przez warstwę ze-

wnętrzną); ortochromatyczna uczulona na promieniowanie zielone i żółte oraz warstwa panchromatyczna - reagująca na promieniowanie czerwone.

Na rynku znajduje się wiele rodzajów filmów do fotografii barwnej. Wymagają one nieco odmiennego procesu obróbki fotolaboratoryjnej. W pierwszym etapie następuje, tak jak w fotografii czarno-białej, redukcja halogenków srebra do srebra metalicznego. Dalsze postępowanie zależy od tego, czy mamy do czynienia z filmem negatywowym czy odwracalnym (pozytywowym). W czasie wywoływania filmu negatywowego ilość komponentu barwnego, który zabarwia poszczególne warstwy emulsji jest proporcjonalna do ilości zredukowanego srebra. Komponenty barwne wprowadzone do warstwy światłoczułej w czasie wywoływania przyjmują barwy dopełniające do barwy promieni działających na odpowiednią warstwę. Powoduje to zabarwienie obrazu w górnej warstwie negatywu na kolor żółty, w środkowej na purpurowy, a w dolnej na niebieskozielony.

W kolejnym etapie obróbki srebro metaliczne usuwa się z warstw światłoczułych i obraz składa się tylko z barwników. Wykonanie obrazów pozytywowych z takich negatywów polega na przepuszczeniu przez negatyw światła białego (składającego się ze wszystkich długości fali światła widzialnego) na trójwarstwową emulsję pozytywową. Negatyw barwny działa jak filtr wytwarzający barwy podstawowe i przez taki filtr naświetla się trzy warstwy materiału pozytywowego. Materiał ten zawiera komponenty barwnika niebieskozielonego, purpurowego i żółtego, które po obróbce fotochemicznej dostarczają obrazów pozytywowych w barwach oryginału. Przy obróbce materiału odwracalnego, po przeprowadzeniu wywołania podobnego do wywołania filmu czarno-białego, taki odwracalny (mokry) film naświetla się ponownie (w laboratorium pod lampą) i przeprowadza wywołanie podobne jak w procesie negatywowym - aby uzyskać powtórne odwrócenie kolorów. Końcowym rezultatem jest przezrocze z barwnym obrazem pozytywowym. Zdjęcia barwne znajdują coraz szersze zastosowanie w fotointerpretacji. Można na nich m.in. odróżnić zanieczyszczenia wody ściekami sanitarnymi, przemysłowymi, planktonem, wodorostami, olejami itp.

Fotografia spektrostrefowa pojawiła się w czasie II wojny światowej i służyła do wykrywania obiektów zakamuflowanych przez namalowanie na nich barwnej roślinności. Jest to fotografia barwna w fałszywych kolorach, wykorzystująca zarówno materiały negatywowe, jak i odwracalne dwuwarstwowe i trójwarstwowe. W materiale dwuwarstwowym każda z warstw emulsji reaguje na promieniowanie z różnych długości fal czyli z różnych stref widma. Jedna warstwa wykazuje uczulenie panchromatyczne, a druga na bliską podczerwień. Komponenty barwnika mogą być dobrane w taki sposób, aby zwiększyć czytelność obrazów i ułatwić rozróżnianie szczegółów rejestrowanych w jednej lub drugiej warstwie. Powstaje dzięki temu barwny obraz, ale o fałszywych kolorach.

Trójwarstwowe materiały spektrostrefowe są uczulone na promieniowanie zielone, czerwone i podczerwone. Podczerwony film barwny stosuje się zazwyczaj łącznie z filtrem żółtym, który nie przepuszcza promieni krótszych od 0,5 μm . Na filmie tym przedmioty, które odbijają promieniowanie podczerwone, ujawniają się po wywołaniu jako czerwone, odbijające promienie czerwone pojawiają się jako zielone, a zielone jako niebieskie.

Filmy spektrostrefowe są stosowane przede wszystkim do badania szaty roślinnej. W rezultacie rejestracji na takich materiałach niezauważalnego dla wzroku promieniowania podczerwonego powstają barwne obrazy szczegółów i zjawisk, których nie można wykryć ani bezpośrednio w terenie ani na zdjęciach panchromatycznych i barwnych.

Fotografię wielospektralną można scharakteryzować przez cechy energetyczne promieniowania elektromagnetycznego. Wybrany przedział $[a, b]$ tego promieniowania zostaje przekształcony na obraz fotograficzny w zakresie pasma widzialnego (0,4-0,7) μm . Ten rejestrowany przedział $[a, b]$ może być znacznie szerszy od zakresu promieniowania widzialnego, ale może też być znacznie węższy lub może stanowić tylko wyciąg spektralny, tzn. bardzo małą jego część.

Wyselekcjonowana z promieniowania widzialnego informacja, która zostałaby zapisana w konwencjonalnej fotografii jednym lub dwoma odcieniami szarości, zostaje zarejestrowana na całej długości skali używanej do zapisu fal widzialnych kamerami wieloobiektywowymi). Następuje więc rozciągnięcie zapisu i jego uszczegółowienie.

Do rejestrowania wyciągów spektralnych w określonym przedziale spektralnym wykorzystuje się selektywne filtry żelatynowe lub filtry interferencyjne. Filtry żelatynowe charakteryzują się szerokim pasmem przepuszczania i mogą być stosowane przy podziale widna na trzy pasma. Filtry interferencyjne składają się z ośrodka przezroczystego pokrytego z obu stron cienką warstwą metaliczną. Grubość ośrodka przezroczystego wynosi $\lambda/2$, tj. połowę długości fali (lub nieparzystej krotności tej długości), która ma przechodzić przez filtr. Tylko promieniowanie o długości fali λ zostanie przez taki filtr przepuszczone (i wzmocnione na skutek wielokrotnego odbicia od powierzchni metalicznych - w wyniku zgodności faz). Inne promienie zostaną wygaszone, dlatego można wyselekcjonować bardzo wąskie przedziały widna. Rejestracja taka polega na równoczesnym wykonaniu zdjęć (pozyskaniu obrazów telewizyjnych lub skanerowych) tego samego obiektu, w różnych przedziałach spektralnych. W przypadku gdy rejestrację wielospektralną przeprowadza się metodą fotograficzną są to niewielkie przedziały, których przyrost długości fali wynosi kilka tysięcznych lub jedną dziesiątą mikrometra ($\Delta\lambda=0,006$ lub $\Delta\lambda=0,1 \mu\text{m}$). Na przykład w kamerze skonstruowanej w Zakładach C. Zeissa w Jenie, składającej się z 6 kamer każda o formacie $55 \times 81 \text{ mm}$ ($f = 125 \text{ mm}$) - przed obiektywami zastosowano filtry wąskopasmowe o szerokości zakresów 0,04 μm dla promieniowania widzialnego i 0,1 μm dla podczerwieni.

Przepuszczają one następujące zakresy promieniowania:

Tabela 1

filtr nr	1	2	3	4	5	6
zakres (μm)	0,46-0,50	0,52-0,56	0,58-0,62	0,64-0,68	0,70-0,74	0,79-0,89

2.4 FOTOGRAFICZNE ZDJĘCIA LOTNICZE

W 1903 roku bracia Orville i Wilbur Wright dokonali pierwszego lotu samolotem napędzanym silnikiem. Fotografia lotnicza rozwinęła się w zastosowaniu do rozpoznania wojskowego w okresie I wojny światowej.

Ażeby mówić o zdjęciach lotniczych trzeba wiedzieć że przy ich wykonywaniu korzysta się ze statków powietrznych, kamer lotniczych, materiałów fotograficznych oraz różnych technik przeprowadzania lotów fotogrametrycznych.

Zdjęcia lotnicze wykonuje się z pokładów różnego rodzaju statków powietrznych. Najczęściej są to samoloty specjalnie przystosowane lub zbudowane dla celów fotogrametrycznych wyposażone w stanowiska do umieszczania różnego rodzaju kamer, skanerów, urządzeń nawigacyjnych i systemów służących do określania położenia wykonywanych zdjęć.

Kamery lotnicze (podobnie jak zdjęcia lotnicze) można podzielić według trzech następujących kryteriów:

1. odfotografowanego obszaru, które dostarczają zdjęć:
 - a) kadrowych (pojedynczych) obejmujących fragment obszaru jednym naświetleniem obrazu,
 - b) szczelinowych - cały film jest jednym zdjęciem - powstaje w czasie ciągłego naświetlania terenu na taśmie przesuwającej się z prędkością równą prędkości przesuwanego się pod samolotem obrazu terenu,
 - c) panoramicznych - obejmujących kilka zdjęć wykonanych w tym samym czasie lub pas terenu od horyzontu z lewej do horyzontu z prawej strony lotu;
2. orientacji, wtedy mówimy o zdjęciach pionowych, prawie pionowych, nachylonych i perspektywicznych,
3. pola widzenia: wąskokątne (10° do 20°), normalnokątne (50° do 75°), szerokokątne (85° do 95°) i ponadszerokokątne (110° do 130°).

W fotografii lotniczej wykorzystuje się jako materiały fotograficzne emulsje panchromatyczne do wykonywania zdjęć czarno-białych i zdjęć w barwach naturalnych w zakresie promieniowania widzialnego. Natomiast w zakresie bliskiej podczerwieni ($0,7-1,0 \mu\text{m}$) jest używana emulsja podczerwona dla obrazów czarno-białych i emulsja spektrostrefowa rejestrująca (też część promieniowania widzialnego) w zadanych (zmienionych) kolorach.

Materiały fotograficzne lotnicze mają różne szerokości: 7 cm lub 12,6 cm albo 18 cm, ale te stosowane w kamerach fotogrametrycznych są szerokości 24 cm. Również długość taśmy filmowej jest różna: od 30 m do nawet 500 m - najczęściej około 100 m. Ich grubość wynosi albo 0,06 mm, 0,1 mm a niekiedy 0,2 mm. Charakterystykę filmów do wykonywania zdjęć lotniczych podano w tabeli 3.

Dla celów pomiarowych wykonuje się zdjęcia prawie pionowe pokrywające pasy terenu wzdłuż prostoliniowych, równoległych linii lotu - nazywane szeregami. W taki sposób każde kolejne zdjęcie powtarza pokrycie terenu w szeregu aby uzyskać pokrycie stereoskopowe, a szeregi zachodzą na siebie z pewnym zapasem aby uzyskać pokrycie poprzeczne. Zdjęcia dwóch lub większej liczby szeregów o pokryciu poprzecznym stanowią blok zdjęć.

Techniki przeprowadzania lotów fotogrametrycznych obecnie wykorzystują GPS oraz komputerowo wspieraną kontrolę realizacji planu lotów. **Plan lotów** ujmuje dane dotyczące wykonania zdjęć. Należą do nich m.in. rodzaj i stała kamery, wysokość lotu, skala zdjęć, odległość pomiędzy kolejnymi ekspozycjami zdjęć (określające pokrycie podłużne kolejnych zdjęć w szeregu - najczęściej wynosi ono 55% i 65%), odległość pomiędzy liniami lotu, która powinna zapewniać pokrycie poprzeczne pomiędzy szeregami w granicach 20% lub 30%.

2.5 FOTOGRAFICZNE ZDJĘCIA METRYCZNE I NIEMETRYCZNE

Wszystkie zdjęcia fotograficzne zarówno metryczne jak i niemetryczne mogą być wykorzystane do pomiarów. Zdjęcie metryczne wykonuje się precyzyjnie kalibrowaną kamerą pomiarową. Aby zdjęcie wykonane kamerą niemetryczną mogło być wykorzystane do pomiarów to musi obejmować odpowiednią liczbę punktów kontrolnych - zabezpieczających przeprowadzenie dokładnych pomiarów.

Kadrowe lotnicze kamery pomiarowe mają różne pola widzenia. Pole widzenia kamery jest funkcją formatu zdjęcia i odległości obrazowej (stałej c_k) kamery. Do opracowania map najczęściej stosuje się format 23×23 cm z odległością obrazową $c_k = 152$ mm (kamery szerokokątne), gdyż dostarczają one dobrej kombinacji właściwości geometrycznych i skali zdjęć.

Kamery pomiarowe muszą posiadać dane do odtwarzania wiązki rzutu środkowego¹ oraz do jej orientacji w przestrzeni. Parametry umożliwiające odtworzenie wiązki nazywają się elementami orientacji wewnętrznej kamery. Parametry te dostarcza producent kamery po wykonaniu jej kalibracji.

Orientację kamery w przestrzeni określają elementy orientacji zewnętrznej zdjęcia. Jest to 6 parametrów określających położenie środka rzutów O w momencie naświetlania zdjęcia (X_o , Y_o , Z_o - w układzie terenowym) oraz orientację kamery w przestrzeni (określaną trzema kątami: Ω , Φ , K).

Zdjęcia wykonane kamerami pomiarowymi o znanych elementach orientacji wewnętrznej i zewnętrznej są łatwe do opracowania analogowego, analitycznego i cyfrowego. W rezultacie opracowania analogowego można otrzymać mapy kreskowe (wektorowe) lub fotograficzne (fotomapy czy ortofotomapy). Opracowania analityczne dostarczają numerycznej informacji o terenie w postaci zestawów współrzędnych przestrzennych punktów pomierzonych za pomocą zdjęć. Natomiast opracowanie cyfrowe (fotogrametria cyfrowa) umożliwia generowanie cyfrowej bazy wysokościowej oraz opracowanie map cyfrowych.

2.6 FOTOGRAFICZNE ZDJĘCIA SATELITARNE

Obserwacyjne satelity Ziemi tradycyjnie dzielą się na trzy typy: rozpoznawcze, meteorologiczne i gospodarcze. Właścicielami tych systemów są agencje rządowe różnych krajów. Ostatnio w USA pojawił się czwarty typ - satelity komercyjne. Do satelitów meteorologicznych należą satelity wokółbiegunowe okrążające Ziemię na niskich orbitach (700 - 1 500 km) oraz satelity geosynchroniczne umieszczone na geosynchronicznych orbitach równikowych na wysokościach około 36 000 km.

Gospodarcze satelity Ziemi krążą na orbitach wokółbiegunowych na niskich orbitach i służą do przenoszenia urządzeń i systemów skanerowych lub radarowych do zdalnego pozyskiwania informacji o powierzchni Ziemi. Należą do nich satelity z serii Landsat (USA), SPOT (Francja), ERS (Europa) oraz japońskie JERS i indyjskie IRS. Nie są wyposażone w kamery fotograficzne.

Fotografia satelitarna była stosowana podczas załogowych amerykańskich i radzieckich misji badawczych. Były to początkowo zdjęcia wykonywane zwykłymi aparatami fotograficznymi na film o szerokości taśmy 35 mm lub 70 mm i obiektywami o różnych odległościach ogniskowych. W latach siedemdziesiątych wprowadzono fotografię wielospektralną a także kamery większego formatu.

Od 1988 roku Rosjanie udostępnili zdjęcia z ich satelitów rozpoznawczych. W tym systemie oryginalne filmy po naświetleniu powracają na Ziemię na spadochronach. Po wywołaniu są digitalizowane z wykorzystaniem skanerów, a obrazy w postaci cyfrowej i odbitek stykowych są odpłatnie udostępniane nabywcom. Są to zdjęcia z kamer, których parametry zestawiono poniżej w tabeli.

¹ Rzut środkowy (albo projekcja perspektywiczna) jest to rzut obiektu na płaszczyznę wiązką prostych przechodzących przez jeden punkt (nazywany środkiem rzutów).

Tabela 2

Kamera	MK-4	KFA-1000	TK-350	KVR-1000
Rodzaj	Wielospektralna	Wielospektralna	Topograficzna	Dużej rozdziel.
Liczba kamer	4	2	1	1
Odległość obrazowa (mm)	300	1000	350	1000
Format (cm)	18 × 18	30 × 30	30 × 45	18 × 18
Skala	1 : 650 000	1 : 270 000	1 : 660 000	1 : 220 000
Rozdzielczość (m)	6	5-7	10	2

2.7 LITERATURA:

1. Horn J. A., 1997: Materials for Training Project PHARE No PL. 9206-02-04/I.
2. Sitek Z., 1991: Fotogrametria ogólna i inżynierska. PPWK Warszawa - Wrocław.
3. Sitek Z., 1997: Wprowadzenie do teledetekcji lotniczej i satelitarnej. Wyd. AGH, Kraków.

3. OBRAZY CYFROWE I PRODUKTY ICH PRZETWARZANIA

Krystian Pyka, Zbigniew Sitek

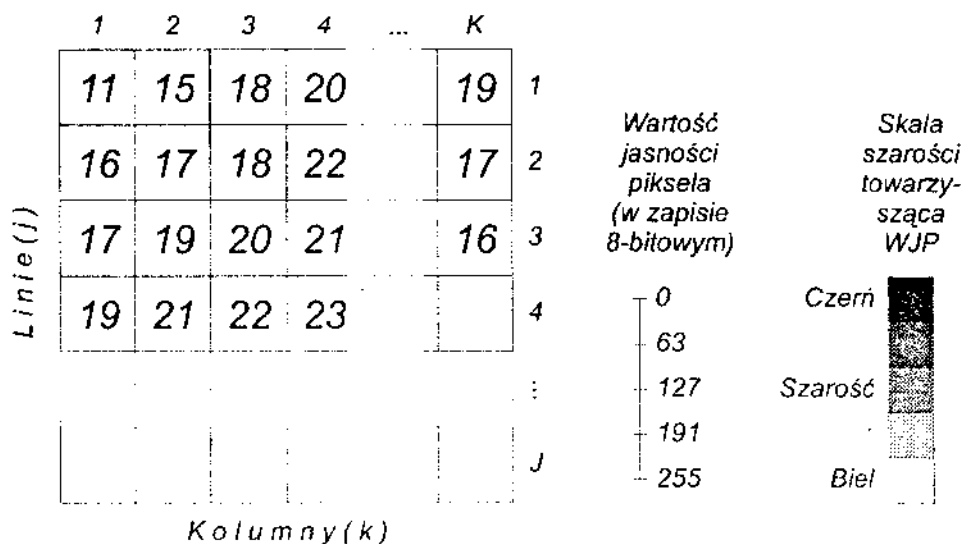
3.1 WPROWADZENIE

Wyobraźmy sobie dwie sytuacje: w pierwszej przeglądamy album ze zdjęciami wakacyjnymi, w drugiej oglądamy te same obrazy na monitorze komputera. Zanim ta druga sytuacja stała się możliwa, należało przekształcić zdjęcie fotograficzne na obraz cyfrowy. Do tego celu stosuje się urządzenia zwane skanerami. W idei działania skanera można dopatrzeć się analogii do funkcjonowania naszego wzroku. Tylina ściana gałki ocznej składa się z milionów komórek nerwowych, czułych na jasność i barwę. Każda komórka „mierzy” trafiający na nią mały fragment obrazu a później, w korze mózgowej, kojarzony jest końcowy obraz. Bardzo podobnie działa skaner. Rozkłada fotografię na drobne elementy i analizuje ich jasność (barwę). Te drobne elementy obrazu zwane są pikselami (ang.: *picture element* = *pixel*), mają oczywiście określone wymiary lecz są one tak małe, że niektórzy nazywają je po prostu punktami obrazu.

Obrazy cyfrowe mogą być także uzyskiwane na drodze bezpośredniej rejestracji kamerami cyfrowymi, czyli bez udziału fotografii.

3.2 DEFINICJA OBRAZU CYFROWEGO

Obraz cyfrowy jest uporządkowanym zapisem jasności bądź barwy przypisanych pikselom, przechowywanym na komputerowym nośniku danych. Sposób uporządkowania tego zapisu przypomina macierz (tablicę) - rys. 1. Pozostaje do rozstrzygnięcia sprawa kodowania jasności i barwy.

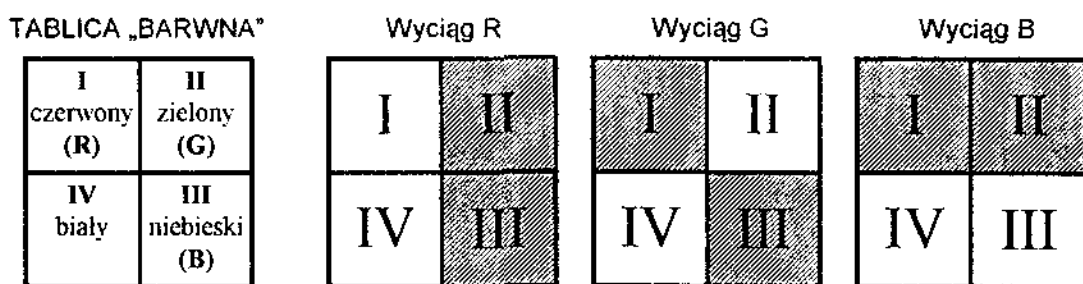


Rys.1. Rastrowy obraz cyfrowy w macierzy o wymiarach JK (1...J numeracja wierszy, 1...K numeracja kolumn). JK jest układem zapisu obrazu a jednostkami dla obu osi są kątowe lub liniowe wymiary piksela. Cyfry zlokalizowane w poszczególnych pikselach są wartościami jasności pikseli (WJP). Dla piksela zlokalizowanego w 4 wierszu i w 4 kolumnie WJP = 23.

Zacznijmy od obrazu czarno-białego. Fragment takiego obrazu, w sposób symboliczny, przedstawiony jest na rys. 1. Przyjęto zasadę, że ciemne miejsca (piksele) opisuje się małą liczbą

bą a jasne - dużą. Najczęściej używa się zakresu liczbowego od 0 do 255, tzn. dla czerni rezerwuje się liczbę 0 a dla bieli 255. Nie wynika z tego, że człowiek wyróżnia 256 tonów szarości. Takie kodowanie narzucili informatycy proponując, aby jasność piksela zapisać z wykorzystaniem 1 bajta, który składa się z ośmiu bitów, a 2^8 daje liczbę 256.

Kodowanie barwy wcale nie jest bardziej skomplikowane. Warto przypomnieć, że teoria barw wyróżnia trzy kolory podstawowe - rozdział 2, rys. 1b. Zgodnie z tą teorią każdy obraz kolorowy da się rozłożyć na trzy warstwy, które mogą być przedstawione w postaci trzech obrazów czarno-białych. Istnieje kilka sposobów wydzielenia tych warstw, najłatwiejszy z nich to tzw. model barw RGB ($R = \text{red}$, $G = \text{green}$, $B = \text{blue}$). W modelu RGB dowolne kolory powstają na drodze sumowania barw podstawowych, np. dodanie czerwonego i zielonego z pominięciem niebieskiego daje kolor żółty. Tak właśnie odbywa się wyświetlanie obrazów kolorowych na monitorach komputerowych. Wyobraźmy sobie obraz przedstawiający tablicę barwną (rys. 2) zawierającą cztery kwadraty: czerwony - I, zielony - II, niebieski - III a czwarty biały - IV, czyli trzy barwy podstawowe i biel.



Rys. 2. Wyciągi spektralne tablicy „barwnej” (wyciągi należy interpretować jako wykonane na folii przezroczystej, tzn. pole jasne przepuszcza światło a pole ciemne jest nieprzepuszczalne)

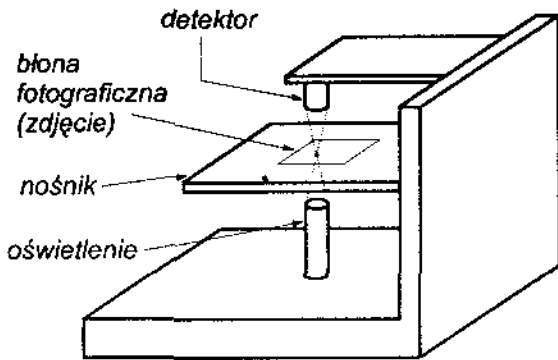
Początkowo pomińmy specyficzny kwadrat IV (biały). Zwróćmy uwagę, że w wyciągu R jasny jest kwadrat I (przezroczysty), w wyciągu G - kwadrat II a w wyciągu B - kwadrat III. Jeśli umieścimy wyciąg R w zwykłym rzutniku przezroczystym a przed obiektywem założymy filtr czerwony to na ekranie, w kwadracie I uzyskamy kolor czerwony (zamiast filtru moglibyśmy założyć w rzutniku czerwoną żarówkę). Jeśli jeszcze mamy dwa inne rzutniki przezroczyste i do jednego z nich założymy wyciąg G a przed obiektywem umieścimy filtr zielony, do kolejnego rzutnika wyciąg B i filtr niebieski to na ekranie zobaczymy tablicę z barwami I, II, III (oczywiście obrazy z trzech rzutników powinny być wzajemnie dostrojone). A teraz wróćmy do kwadratu IV czyli do barwy białej. Jest ona sumą R i G i B o jednakowym natężeniu. Rozumiejąc obraz kolorowy jako sumę RGB, można zaadoptować kodowanie przyjęte dla obrazu czarno-białego. Jasności w każdej warstwie RGB są opisywane liczbami z zakresu 0-255. Daje to teoretycznie astronomicznie dużą liczbę kolorów: $2^{24} \approx 16,7$ mln. Interpretując liczbowo barwy z rys. 2 mamy:

czerwona: 255, 0, 0;
 zielona: 0, 255, 0;
 niebieska: 0, 0, 255;
 biała: 255, 255, 255.

A jak należy zakodować kolor czarny w modelu RGB ?

3.3 POZYSKIWANIE OBRAZÓW CYFROWYCH ZE ZDJĘĆ FOTOGRAFICZNYCH

Skanery są to urządzenia optyczno - mechaniczno - elektroniczne przekształcające rysunki i obrazy z podłoża papierowego lub innego (folia, błona fotograficzna) na format cyfrowy. Integralnym elementem skanera jest czujnik elektroniczny (detektor), który jasności zdjęcia czy rysunku przekształca na napięcia elektryczne (próbkowanie) a te z kolei są kwantowane i kodowane w postaci liczb dwójkowych.



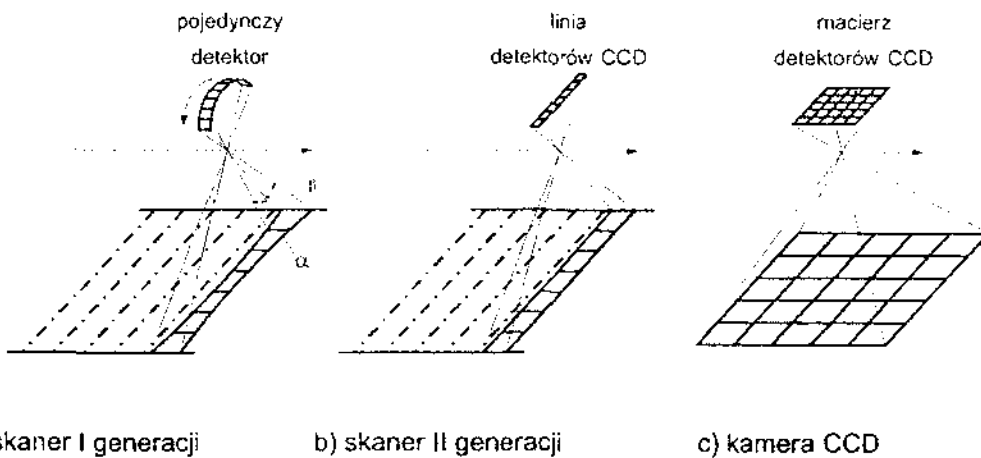
Rys.3. Schemat ideowy skanera płaskiego (stołowego)

Do zamiany pomiarowego zdjęcia fotograficznego na obraz cyfrowy zbudowano precyzyjne skanery fotogrametryczne. W wyniku skanowania zdjęcia fotograficznego otrzymuje się obraz złożony z wielu kolumn i wierszy. Liczba ich zależy od wymiarów zastosowanego piksela.

Najczęściej stosowane są piksele o wymiarach $15 \times 15 \mu\text{m}$, $22,5 \times 22,5 \mu\text{m}$ lub $30 \times 30 \mu\text{m}$. Takie precyzyjne skanery oferuje i dostarcza szereg firm budujących i rozprowadzających cyfrowe fotogrametryczne stacje robocze (np. Leica-Helava, Zeiss/Intergraph).

3.4 REJESTRACJA BEZPOŚREDNIA

Obraz cyfrowy można uzyskać bezpośrednio urządzeniem zainstalowanym na statku kosmicznym lub samolocie. Starsze typy takich urządzeń rejestrują obraz sukcesywnie pasami (rys.4) - czyli skanują obszar. Dlatego nazywane są też skanerami. Najstarsze skanery wyposażone były w pojedynczy detektor, który rejestrował promieniowanie pochodzące od elementarnej powierzchni. Skaner „patrzył” na teren ze stałą rozdzielczością kątową α , β - toteż w istocie piksele na skraju pasa były większe niż w środku. Takie systemy instalowano na satelitach lub samolotach w latach siedemdziesiątych. Od połowy lat osiemdziesiątych wyposaża się skanery satelitarne w „linijkę” detektorów co odpowiada ideowo skanerom II generacji - rys.4. Najnowsze rozwiązania są w istocie aparatami (kamerami) cyfrowymi, w miejscu materiału światłoczułego mają matryce detektorów.



Rys.4. Ewolucja systemów skanerowych

W tabelicy 1 zebrano charakterystykę najważniejszych satelitarnych systemów skanerowych a w tabelicy 2 przedstawiono systemy zaplanowane do uruchomienia w najbliższym czasie.

3.5 OBRAZY TELEWIZYJNE

Działanie systemów TV polega na przetworzeniu obrazu optycznego na odpowiedni ciąg sygnałów elektrycznych (jest to analiza obrazu na wejściu systemu w kamerze TV) - przesłaniu ich na miejsce odbioru i ponownym przekształceniu na obraz optyczny (synteza obrazu dokonywana w kineskopie). Warto sobie przypomnieć - z podstawowego kursu fizyki - budowę lampy analizującej i kineskopu oraz problem wyświetlania półobrazów.

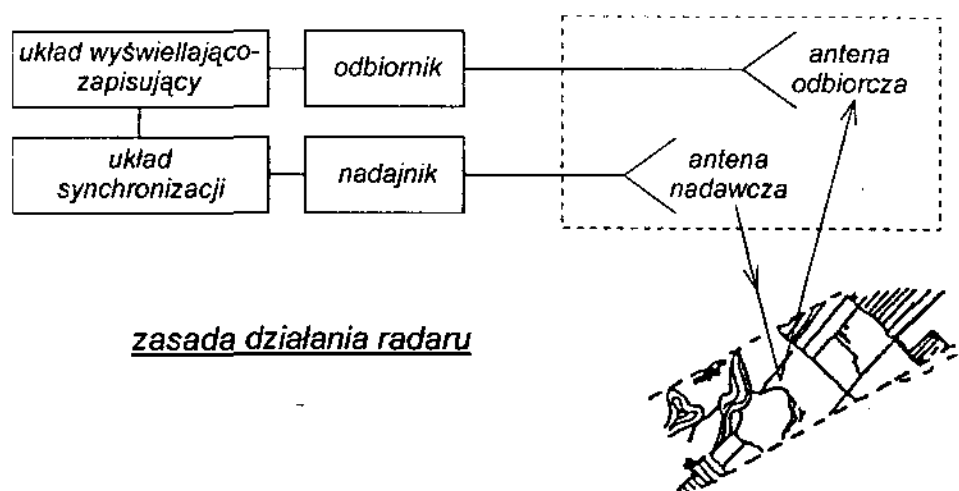
Obrazy telewizyjne mogą być zapisane przez magnetowid na taśmie magnetycznej. Nie jest to jednak obraz cyfrowy (pomijamy, jeszcze przyszłościową, telewizję cyfrową), czyli pozostaje problem kwantowania sygnału analogowego. Istnieją tzw. komputerowe karty video „zamrażające” pojedyncze klatki zapisane na taśmie.

3.6 OBRAZY RADAROWE

Radar należy do systemów aktywnych i wykorzystuje energię elektromagnetyczną fal dłuższych ($\lambda = 1 \text{ mm}$ do 1 m), która może przechodzić przez chmurę i mgłę. Najczęściej wykorzystywane jest promieniowanie z pasm:

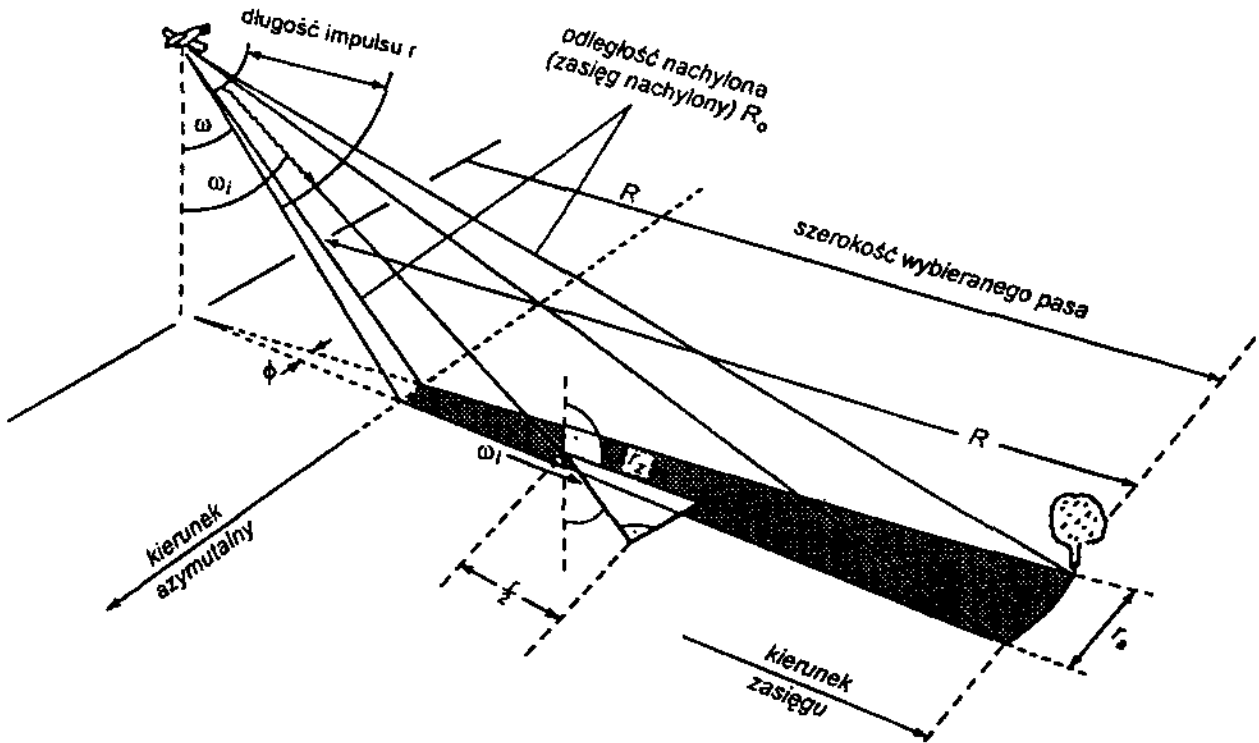
- K o zakresie długości fal $\lambda = 1,13 - 1,67 \text{ cm}$ (26 500 - 18 000) MHz,
- X o zakresie długości fal $\lambda = 2,4 - 3,75 \text{ cm}$ (12 500 - 8 000) MHz,
- L o zakresie długości fal $\lambda = 15 - 30 \text{ cm}$ (2 000 - 1 000) MHz.

Radar (akronim od angielskiego: *Radio Detection And Ranging*) jest urządzeniem do wykrywania i określania położenia lub parametrów ruchu obiektów, które wykazują zdolność odbijania fal elektromagnetycznych. Urządzenie wykorzystuje generowane przez siebie fale radiowe służące do identyfikacji obiektów, o których ma informować. Właściwości źródła generowanych fal są dokładnie znane. Czas przesłania fali do oddalonego obiektu można zmierzyć przez porównanie czasu wysłania fali i jej powrotu. Ten czas i znana prędkość fali ($c=300 \text{ tys. km/s}$) umożliwiają przekształcenie pomiarów czasu w określenie odległości. Można też porównać długość fali odbitej z długością fali nadanej w celu określenia przesunięcia dopplera - co wykorzystuje się do obliczenia względnej prędkości stacji radarowej i obiektu.

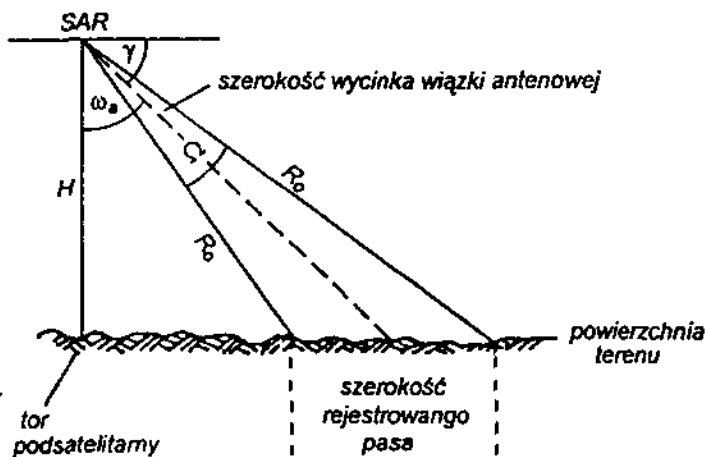


Rys.5. Zasadnicze elementy systemu radarowego (system antenowy może składać się z oddzielnej anteny nadawczej i odbiorczej lub też wspólnej anteny nadawczo-odbiorczej. Wspólna antena nadawczo-odbiorcza wyposażona jest w przełącznik umożliwiający alternatywne przełączanie z nadawania na odbiór i odwrotnie)

Rys.5 ilustruje pięć zasadniczych elementów systemu radarowego. Większość radarów obrazujących wykorzystuje transmisję impulsową. Cykl obrazowania rozpoczyna się od wygenerowania w nadajniku krótkiego (0,01-0,1 μ s) impulsu napięcia oscylującego sinusoidalnie o częstotliwości nośnej 300 mln/ λ (w metrach) i mocy kilku kilowatów. Impuls rozchodzi się z anteny nadawczej a odbite od różnych części terenu fale docierają do anteny odbiorczej ale z mocą jedynie bilionowych części wata. Odbiornik wzmacnia powracające sygnały a układ synchronizacji, który zainicjował impuls nadawczy rozpoczyna działanie obrazujące (jak np. w SLAR - *Side Looking Airborne Radar* czyli radarze bocznego wybierania) lub uruchamia system zapisu (jak w SAR - *Synthetic Aperture Radar* - czyli w radarze z anteną syntetyzowaną).



Rys.6. Zasada działania SLAR. Widać zależność rozdzielczości azymutalnej r_a od szerokości wiązki antenowej ϕ i zasięgu terenowego R ; r_z - rozdzielczość terenowa w kierunku zasięgu (rozdzielczość zasięgu); $r/2$ - połowa (nachylonej) długości impulsu; r - długość impulsu tzn. odległość odpowiadająca czasowi impulsu



Rys.7. Zasięgi zobrażeń SLAR w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku lotu: ω_a - kąt padania zawarty pomiędzy kierunkiem pionu i wybranym promieniem wiązki; γ - kąt depresji pomiędzy prostą poziomą równoległą do zasięgu i wybranym promieniem wiązki radarowej; R_o - odległość nachylona (zasięg nachylony)

Jak widać na rys.7, impulsy energii elektromagnetycznej w zakresie mikrofal są transmitowane w obrębie wiązki antenowej Ω pod kątem padania ω_a . Dlatego rejestrowany pas terenu jest odsunięty od toru podsatelitarnego. Unika się pionowych i poziomych kierunków padania wiązki gdyż przy pionowej orientacji względy geometryczne powodują trudności w określaniu odległości do terenu a orientacja pozioma powoduje duże zacinienie obrazu.

Obrazy radarowe różnią się od zdjęć fotograficznych tonem i teksturą. Aby uzyskać obrazy o dużej selektywności spektralnej stosuje się radary monochromatyczne, tj. takie, które pracują przy pojedynczej długości fali.

W 1991 roku Europejska Agencja Kosmiczna ESA wprowadziła na orbitę wokółbiegunową o wysokości 785 km satelitę ERS-1 wyposażonego w trzy urządzenia radarowe i dwa pasywne (tablica 1). Do obrazowania radarowego terenu służy radiolokator mikrofalowy o nazwie AMI (*Active Microwave Instrument*). Wykorzystuje promieniowanie z zakresu pasma C (5,66 cm) i jest wyposażony w trzy sposoby operacyjne. Działa jako radiolokator obszarowy w 2 wariantach i jako skaterometr (zbierający dane do oceny i siły wiatrów nad morzami i oceanami).

Pierwszy sposób operacyjny AMI wykorzystuje radar z anteną syntetyzowaną SAR i dostarcza obrazów o rozdzielczości przestrzennej 30×30 m z prawej strony trasy satelity w odległości 300 km w pasie o szerokości 100 km. Dane pozyskuje się tylko wtedy, gdy satelita znajduje się w zasięgu jednej ze stacji naziemnych i tylko przez 10 minut, ze względu na limitowanie energii potrzebnej do zasilania systemu SAR.

3.7 PRZEKSZTAŁCENIE OBRAZÓW CYFROWYCH W ZESTAWY INFORMACJI I PRODUKTY KSEROGRAFICZNE

Głównym zadaniem fotogrametrii w odniesieniu do powierzchni terenu było opracowywanie map. Wprowadzenie metod cyfrowych zrewidowało wyobrażenie mapy. Powstał podział na mapy rzeczywiste i wirtualne. Mapy rzeczywiste są to mapy, którym przypisano następujące dwie cechy:

- bezpośrednią oglądalność,
- trwałą dotykalskość.

Czyli mapy na podłożu papierowym, kartonowym lub foliowym w postaci map kreskowych (wektorowych) będących np. drukowanymi kopiami map konwencjonalnych, albo mapy fotograficzne (fotomapy lub ortofotomapy), które mając postać fotograficzną równocześnie cechują się dokładnością kartometryczną podobną do map kreskowych. Zarówno mapy kreskowe jak i fotograficzne w okresie kończącego się stulecia były wynikiem pracowań analogowych na takich instrumentach fotogrametrycznych jak autografy, przetworniki i ortofotoskopy.

Rozwój technik komputerowych, ich wykorzystanie do sporządzania map oraz tworzenie cyfrowych kartograficznych baz danych, spowodował zaistnienie mapy wirtualnej. Można wyróżnić trzy typy takich map:

- mapa wirtualna III-go typu, nie posiada żadnej z 2-ch cech mapy rzeczywistej; np. cyfrowy zapis mapy w pamięci dyskowej,
- mapa wirtualna II-go typu posiada jedynie cechę trwałej dotykalskości, ale nie można oglądać jej obrazu kartograficznego; np. wydrukowana kopia pliku danych kartograficznych, czyli cyfr i symboli kodujących mapę,
- mapa wirtualna I-go typu posiada cechę bezpośredniej oglądalności ale dotykać można ją tylko chwilowo; np. obraz mapy na ekranie monitora.

Te 3 typy map wirtualnych definiują pojęcie mapy cyfrowej. Może to być mapa ogólnogeograficzna lub mapa tematyczna zapisana w postaci liczbowo - kodowej. Każdy punkt stanowiący element treści mapy cyfrowej posiada współrzędne i swoją klasyfikację kodową określającą jego przeznaczenie. Mapy te są przechowywane na komputerowych nośnikach informacji (dyski, taśmy magnetyczne) i można z nich sporządzać mapy rzeczywiste, wykorzystując do tego celu plotery (automatyczne koordynatografy) lub drukarki.

Obrazy cyfrowe mogą również być wykorzystane do sporządzania map cyfrowych lub innych celów pomiarowych bądź interpretacyjnych. Przetwarzaniem obrazów cyfrowych zajmuje się fotogrametria cyfrowa. Zbudowano do tego celu fotogrametryczne cyfrowe stacje robocze, które mogą przeprowadzać różnego rodzaju opracowania w różnych projekcjach geodezyjnych i kartograficznych. Są one wyposażone w komputery o wielkiej mocy i pamięci, dlatego mogą dokonywać różnego rodzaju opracowań i pomiarów, mogą korygować i filtrować obrazy cyfrowe, są wyposażone w korelatory obrazów i mogą generować cyfrowy model terenu oraz widoki perspektywiczne. Mogą wytwarzać ortofotografie i stereoortofotografie cyfrowe ze zdjęć lotniczych i obrazów satelitarnych.

Otrzymany w taki sposób cyfrowy model terenu¹ można wykorzystać do przekształcania obrazów cyfrowych w inne produkty. Ortofotografie (ortoobrazy) są to obrazy, z których wyrugowano zniekształcenia spowodowane różnicami wysokości (terenu lub obiektu) oraz niedoskonałościami sensorów (kamer lub skanerów). Przekształcenie polega na tym, żeby doprowadzić każdy piksel osobno do takiego ukształtowania, jakby powstał w rzucie ortogonalnym. Do tego celu potrzebne są informacje o przestrzennym położeniu zdjęć oraz o wysokościowej konfiguracji terenu. Problem cyfrowego modelu terenu CMT (w języku angielskim *digital terrain model* - DTM) będzie omówiony w następnym pkt. (Bujakowski & Pyka). W taki sposób wytwarza się ortofotografie cyfrowe ze zdjęć fotograficznych i ortoobrazy z obrazów skanerowych. Można z nich sporządzić ortofotografie rzeczywiste przez zobrazowanie za pomocą drukarek.

Ortofotomapa powstaje z połączenia w jedną sekcję mapy kilku sąsiadujących ze sobą ortofotografii; zazwyczaj jest na niej siatka układu współrzędnych, jego opis i legenda.

Do innych produktów powstałych z przekształcenia obrazów cyfrowych należy stereoortofotomapa. Jest to przestrzenna ortofotomapa lub ortofotografia. Aby ją uzyskać należy wygenerować ortofotogram towarzyszący (stereokomponent) i na ekranie monitora oglądać go równocześnie ze zwykłym ortofotogramem.

Obraz cyfrowy można przekształcić na mapę w postaci wektorowej. Można też za pomocą cyfrowej fotogrametrycznej stacji roboczej oraz cyfrowego modelu terenowego sporządzać widoki perspektywiczne terenu w różnych rzutach i przy różnych kierunkach patrzenia.

Na cyfrowy model terenu można nałożyć obraz cyfrowy i prowadzić przestrzenną obserwację obrazu terenu oraz pomiary na cyfrowym modelu stereoskopowym.

Zdigitalizowane wektorowe mapy archiwalne można nałożyć na ortofotografie cyfrowe i w taki sposób przeprowadzać aktualizację map.

Omawiany sprzęt i obrazy cyfrowe mogą być wykorzystane do wielu innych celów pomiarowych, m.in. do sporządzania przekrojów poprzecznych i podłużnych, określania spadków terenu, ich ekspozycji, pomiaru współrzędnych X, Y, Z dowolnego punktu itp.

¹ W polskiej terminologii zakorzenił się niepoprawny termin „numeryczny model terenu”. Niepoprawny, bo u nas terminy „cyfrowy” i „analogowy” oznaczają sposób reprezentacji informacji, natomiast termin „numeryczny” - jest związany z użyciem liczb i obliczeń na nich.

Tablica 1

Informacje o satelitach gospodarczych (rządowych) i ich sensorach

Program	NOAA ¹ 12 do 14	Landsat 1 i 2	Landsat 3	Landsat 4 i 5	Landsat 7
Państwo / Instytucja	USA	USA / NASA	USA / NASA	USA / NASA	USA / NASA
Rok wyniesienia	1991	1972 i 1975	1978	1982 i 1984	1998
Wysokość (km)	833	918	918	705 i 699	705
Nachylenie orbity	98,9°	99,1°	99,1°	99,1° i 98,2°	98°
Czas przelotu satelity jest zsynchronizowany z pozornym ruchem Słońca					
Interwał powtarzania		18 dni	18 dni	16 dni	6 dni
Obrazowanie	Skaner optyczno-mechaniczny				
Zakresy spektralne (rozdzielczość spektralna) (w μm)	AVHRR ²⁾ 0,58-0,68 0,725-1,10 3,55-3,93 10,3-11,3 11,5-12,5	MSS ³⁾ 0,50-0,60 0,60-0,70 0,70-0,80 0,80-1,10	MSS ⁴⁾ z zakresami jak w Landsatach 1 i 2 oraz zakres termalny 10,4- 12,60	MSS jak Lands. 1 i 2 oraz TM 0,45-0,52 0,52-0,60 0,63-0,69 0,76-0,90 1,55-1,75 10,4-12,5 2,08-2,35	ETM+ 8 zakresów: 1 - panchromatyczny, 6 - widzialny, bliskiej i średniej podczerwieni, 1 - podczerwień termalna
Rozdzielczość terenowa w nadirze	1,1 km	79 x 79 m	79 x 79 m zakres termalny 240 x 240 m	MSS 79 x 79 m TM 30 x 30 m zakres termalny 120 x 120 m	Pan. - 15 m, widz., bliskiej i śr. podczerw. 30 m, termal. 60 m
Szerokość pasa wybieranego jednym obrotem lustra skanera (długość tego pasa wynosi 185 km)	Pośrodku 1,1 km Po bokach 3,5 km	6 x 79 = 474 m	6 x 79 = 474 m zakres termalny 2 x 237 = 474 m	MSS-4 i 5 6 x 81,5 m TM 16 x 30 m zakres termalny 4 x 120 m	480 m = 32 x 25 m = 16 x 30 m = 8 x 60
Wymiar sceny	2400 x 185 km	185 x 185 km	185 x 185 km	185 x 185 km	185 x 170 km
Czas obiegu	102 min.	103 min.	103 min.	99 min.	

Tablica 1 c.d.

Informacje o satelitach gospodarczych (rządowych) i ich sensorach

Program	SPOT 1 do 5	ERS-1 i 2	JERS-1	IRS-1A, 1B, 1C	MOMS-02	Rosja FZ
Państwo / Instytucja	Francja	ESA i Kanada	Japonia	Indie	Niemcy	Rosja
Rok wyniesienia	1-1986 2-1990 3-1993 4-1997 5-1999	Satelity radarowe 1-1991 2-1995	1992	1A-1998 1B-1991 1C-1996	prom kosm. IV/V 1993 stacja MIR 1996	
Wysokość (km)	1-832 2-795 do 816	785	568	904	prom 296 stacja 400	170-450
Nachylenie orbity	98,7°	98,5°	98°	99,1°	28,5°	
Interwał powtarzania	26 dni	35 dni	44 dni			
Rodzaj obrazowania	HRV ⁵⁾	SAR ⁶⁾	OPS ⁷⁾ SAR	LISS ⁸⁾ 1, 2 i 3	stereo MOMS	Zdjęcia satelitarne wykonane kamerami na filmach m.in. <u>KFA 1000</u> <u>KWR 100</u>
Zakresy spektralne (rozdzielczość spektralna) (w μm)	Panchromatyczne 0,51-0,73 Wielospektralne 0,50-0,59 0,61-0,68 0,79-0,89	AMI SAR 5,3 Ghz (5,66 cm)	8 zakresów w μm od 0,52 do 2,4 1,28 Ghz (23,5 cm)	0,45-0,52 0,52-0,59 0,62-0,68 <u>0,77-0,86</u> LISS 3 4 zakresy Panchrom. i 0,52-1,7	7 kanałów Wielospekt. 0,440-0,505 0,530-0,575 0,645-0,680 0,710-0,810 Stereo 0,520-0,760 0,520-0,760 0,520-0,760	
Rozdzielczość terenowa w nadirze (m)	SPOT 1-4 Pan. 10 Wiel. 20 SPOT-5 Pan. 5 Wiel. 20	25	18,3 x <u>x 24,2</u> 25	1-72 2-36 3-5,8 Pan. 23,5 70,5	Wielospekt. 13,5 Stereo 4,5 Pan. 13,5 Pan. 13,5 Pan.	

Tablica 1 c.d.

Informacje o satelitach gospodarczych (rządowych) i ich sensorach

Program	SPOT 1 do 5	ERS-1 i 2	JERS-1	IRS-1A, 1B, 1C	MOMS-02	Resurs F2
Szerokość wybieranego pasa	60 km	100 km	75 km	148 km	dla 4,5 m 37 km dla 13,5 m 78 km	232 km 40 km

¹⁾ Seria satelitów NOAA należy do grupy satelitów meteorologicznych.

²⁾ Oprócz radiometru AVHRR, którego obrazy wykorzystuje się do celów gospodarczych na satelicie NOAA zainstalowano 7 innych urządzeń do sondowania promieniowania Ziemi, atmosfery, stratosfery oraz rejestrowania energii elektronów i protonów a także cząstek promieniowania kosmicznego.

³⁾ Na satelitach Landsat 1 i 2 zainstalowano trzy kamery telewizyjne RBV obejmujące scenę 185 × 185 km w trzech zakresach (w μm): 0,475-0,575; 0,580-0,680; 0,698-0,830.

⁴⁾ Na Landsacie-3 działały tylko dwie kamery TV obrazujące w zakresie panchromatycznym (0,505-0,750 μm). Każda wybierała pas o szerokości 89 km pokrywając scenę 185 × 185 km czterema obrazami TV.

⁵⁾ HRV - *Haute Resolution Visible* - skaner elektrooptyczny.

⁶⁾ SAR - *Synthetic Aperture Radar* - radar obrazujący z anteną syntetyzowaną.

⁷⁾ OPS - japoński ośmiokanałowy skaner wielospektralny (dwa kanały o zakresie 0,76-0,86 μm wykorzystuje się do obrazowania stereoskopowego).

⁸⁾ LISS - *Linear Imaging Self Scanner* - czterozakresowy indyjski skaner wielospektralny.

Tablica 2

Informacje o wysokorozdzielczych satelitach komercyjnych i ich sensorach

Towarzystwo	Early Bird		Orb. Scien. Orb. View-1	Space Imag	GDE
	Early Bird	Quick Bird			
Data wyniesienia	VIII.1996	VIII.1997	XII.1997	XII.1997	XI.1999
Ciężar (kg)	~100	~150	150	225-275	
Wysokość (km)	475	470	460	680	743
Nachylenie orbity	97,3°	52°	97,25°	98,1°	98,8°
Przełot satelity jest zsynchronizowany z pozornym ruchem Słońca					
Interwał powtarzania	20 dni	20 dni	16 dni	14 dni	16 dni
Rewizyty	1,5-2,5 dnia	1,5-2,5 dnia	< 3 dni	1-3 dni	1-3 dni
Rodzaj zobrazowania	Kamera CCD		Liniowy skaner elektrooptyczny (z „przelewaniem” ładunków)		
Zakresy spektralne	Pan Wielo	Pan Wielo	Pan Wielo	Pan Wielo	Panchromatyczny
Rozdzielczość terenowa w nadirze	3 m 15 m	1 i 2 m 4 m	1 i 2 m 4 m	0,82 m 4 m	0,8 m
Rozdzielczość spektralna (µm)	0,45-0,80 0,50-0,59 0,61-0,68 0,79-0,89	0,45-0,90 0,45-0,52 0,52-0,60 0,63-0,69 0,76-0,90	0,45-0,90 0,45-0,52 0,52-0,60 0,63-0,69 0,76-0,90	0,45-0,90 0,45-0,52 0,52-0,60 0,63-0,69 0,76-0,90	0,50-0,90
Szerokość pasa	6 km 30 x 30 km	36 km 36 km	8 km 8 km	11 km 11 km	≥ 15 km
Scena stereo w nadirze	36 km ² 900 km ²	36 x 36 km	8 x 8 km lub inna	60 x 60 km	70 x 70 km 15 x 700 km
Obrazowanie stereo	wzdłuż toru lotu			wzdłuż i poprzecznie do toru lotu	
Odchylenie skanera od nadiru	Wzdłuż i poprzecznie do toru lotu				
	± 30°	± 30°	± 45°	± 45°	± 45°
Położenie i orientacja sensora	GPS i gwiazdy stałe				
Liczba scen (maks.)	500 / orbitę	100 / orbitę	535 / dzień	przetwarza 600/dzień	580 / dzień
Rejestracja na pokładzie	500 scen	100 scen	250 scen 32 GB	64 GB	60 GB
Dostarczenie użytkownikowi od pozyskania	15 min. - 48 godz.	15 min. - 48 godz.	15 min. - 24 godz.	24-48 godz.	24-48 godz.
Dokładność z punktami kontrol. bez punktów kontrol.	Pozioma 6 m -	Pozioma 2 m -	Pozioma 2 m 12 m	Pozioma 2 m 12 m	Pozioma 2 m 12 m
Dokładność z punktami kontrol. bez punktów kontrol.	Pion 4 m -	Pion 3 m -	Pion 3 m 8 m	Pion 3 m 8 m	Pion 3 m 8 m

3.8 ĆWICZENIE

Próba manualnego przekształcenia obrazu do postaci cyfrowej

Każdy uczestnik otrzymuje symulowane zdjęcie lotnicze o kilku półtonach (możliwe jest wyróżnienie 6-9 poziomów szarości). Nakłada na obraz przeźroczysty wzorec zawierający trzy siatki o różnych interwałach: A - rzadka; B - pośrednia; C - gęsta. Oczka siatki symbolizują wielkość piksela.

1. Oszacowanie liczby poziomów szarości

Należy przeglądnąć całą powierzchnię zdjęcia i w pierwszej kolejności wyszukać miejsca najjaśniejsze i najciemniejsze. Między skrajnymi jasnościami lokuje się wartości pośrednie. Ile takich pośrednich tonów można wyróżnić? Proszę o zaproponowanie liczbowego przekładu (WJP min., WJP max.) pozwalającego zakodować wszystkie rozpoznawalne stopnie szarości. Należy przyjąć zasadę, że wartość WJP ma rosnąć wraz z jasnością.

2. Kodowanie fragmentu obrazu

Zadanie rozpoczyna się od nałożenia wzorca z siatką na zdjęcie i zorientowania siatki A tak, aby pokryły się „grube linie” na wzorcu i na zdjęciu. Następnie przyporządkowuje się pikselom wartości liczbowe, czyli WJP, równolegle wpisując je na papierową kopię wzorca. Jakie problemy pojawiają się na etapie kodowania pikseli o rozmiarze A? Co zmienia się, gdy siatkę A zastąpimy siatką B, a potem C?

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

Krystian Pyka, Kazimierz Bujakowski

4.1 WPROWADZENIE

Historia wykonywania fotogrametrycznych zdjęć lotniczych w Polsce sięga jeszcze okresu międzywojennego. Przedsiębiorstwo „Fotolot”, działające przy PLL LOT, wykonywało lotnicze zdjęcia pomiarowe w latach 1930-39. Kilka lat wcześniej, bo od roku 1921 fotogrametria znalazła zastosowanie w Wojsku polskim.

Od roku 1948 obowiązywał dekret „O prawie dokonywania zdjęć aerofotogrametrycznych” (Dz. U. R. P. Nr 24, poz.160). Przyznawał on prawo wykonywania zdjęć wyłącznie Ministerstwu Obrony Narodowej i podległym mu organom. W roku 1950 powstało Państwowe Przedsiębiorstwo Fotogrametrii, które, pozostając pod nadzorem MON, przez wiele lat jako jedyne wykonywało zdjęcia lotnicze (początkowa nazwa firmy była nieco inna). Reorganizacje ministerialne na początku lat siedemdziesiątych zaowocowały utworzeniem Państwowego Przedsiębiorstwa Geodezyjno-Kartograficznego w W-wie które wchłonęło PPF. Pierwsze, nieśmiało złagodzenie obostrzeń dla zdjęć lotniczych, nastąpiło w roku 1970, kolejne w roku 1975 a bardziej znaczące w roku 1986 (porozumienie między GUGiK i Zarządem Topograficznym Sztabu Generalnego W.P. „Zasady pozyskiwania, rejestrowania i udostępniania ...zdjęć... na potrzeby gospodarki narodowej ...”). Ustawa „Prawo geodezyjne i kartograficzne” z 1989 r. nie wniosła istotnych zmian, zapowiedziała jedynie opracowanie rozporządzenia regulującego pozyskiwanie i udostępnianie zdjęć lotniczych.

Taki stan rzeczy spowodował, że zdjęcia lotnicze w Polsce powojennej były materiałem trudno dostępnym i dlatego stopień ich wykorzystywanie dla celów gospodarczych był znikomy. Tym niemniej wykonano tysiące zdjęć a znakomita większość z nich znajduje się w zasobach Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w W-wie. W przygotowaniu jest rozporządzenie Ministra Obrony Narodowej w sprawie sposobu pozyskiwania, rejestrowania i warunków udostępniania fotogrametrycznych i teledetekcyjnych zdjęć lotniczych oraz satelitarnych.

Od roku 1995, w ramach programu PHARE, wykonywane są zdjęcia lotnicze obszaru całej Polski. Bliższe informacje o tym programie, parametry zdjęć podano w temacie „Realizacja programu PHARE dotyczącego wykonania zdjęć lotniczych dla całej Polski”.

4.2 POTRZEBA PRZETWARZANIA ZDJĘĆ LOTNICZYCH

Zdjęcia lotnicze są obiektywnym obrazem pokrycia powierzchni terenu. Nie mogą być jednak traktowane jak mapa, gdyż obarczone są zbyt dużymi zniekształceniami geometrycznymi. Przykładowo, gdy zdjęcie ma skalę 1 : 10 000 to jest to po pierwsze wielkość przybliżona, a po drugie, różne fragmenty zdjęcia mogą mieć inne skale np. 1 : 9 880, 1 : 10 135, itd.

Dzieje się tak dlatego gdyż:

- do dzisiaj, pomimo postępu technologicznego, nie udaje się wykonywać zdjęć lotniczych ściśle „pionowych” i zorientowanych identycznie jak arkusze mapy,
- fotografowane tereny nigdy nie są płaskie a im większe różnice wysokości tym większe zniekształcenia.

Szczegółowe omówienie wpływu niepionowości zdjęcia oraz deniwelacji terenowych na wynik rzutu środkowego, w jakim powstają zdjęcia, jest zawarte w rozdziale 6: „Wykonywanie zdjęć lotniczych i satelitarnych, podstawy fotografii, fotogrametrii i teledetekcji”.

Fotogrametria lotnicza wypracowała wiele rozwiązań które pozwalają opracowywać mapy o odpowiedniej dokładności. Jedno z nich polega na odtworzeniu trójwymiarowych, pomniejszonych modeli terenu i identyfikowaniu na nich elementów przedstawianych na mapie (tzw. rysowanie mapy z modeli stereoskopowych). Inne rozwiązanie polega na takim przetworzeniu zdjęcia w wyniku którego zachowana jest treść fotograficzna ale uzyskuje ona geometryczne cechy mapy. W ten sposób powstaje mapa fotograficzna.

Obok przetwarzania geometrycznego występuje jeszcze potrzeba poprawiania ostrości, kontrastu, korekcji barw, co określa się jako przetwarzanie radiometryczne. Problem ten będzie szerzej omówiony w rozdziale 10: „Elementy cyfrowej fotointerpretacji i fotogrametrii w praktyce”.

4.3 NAJPROSTSZE PRODUKTY UZYSKIWANE ZE ZDJĘĆ LOTNICZYCH

Zdjęcia fotogrametryczne wykonywane są najczęściej jako negatywy na błonie fotograficznej (ostatnio stosuje się proces odwracalny w wyniku którego od razu powstają diapozytywy, tak jest w przypadku zdjęć PHARE).

Niezależnie od potrzeby zaawansowanego przetwarzania zdjęć istnieją sytuacje, w których wystarczające jest wykorzystanie zdjęć nieprzetworzonych lub nieznacznie przetworzonych (prostymi metodami).

Do takich prostych produktów należą m.in. odbitki stykowe, fotoszkice, powiększenia.

4.3.1 Odbitki stykowe

Odbitki stykowe to kopie zdjęć oryginalnych wykonane na papierze fotograficznym. Gdy oryginał ma postać negatywu to kopiowanie ma charakter „stykowy”, tj. pod negatyw podkłada się papier fotograficzny i naświetla. Gdy oryginał jest diapozytywem to albo wykonuje się roboczy negatyw albo stosuje się odwracalny proces kopiowania, który niestety jest znacząco droższy od zwykłego kopiowania.

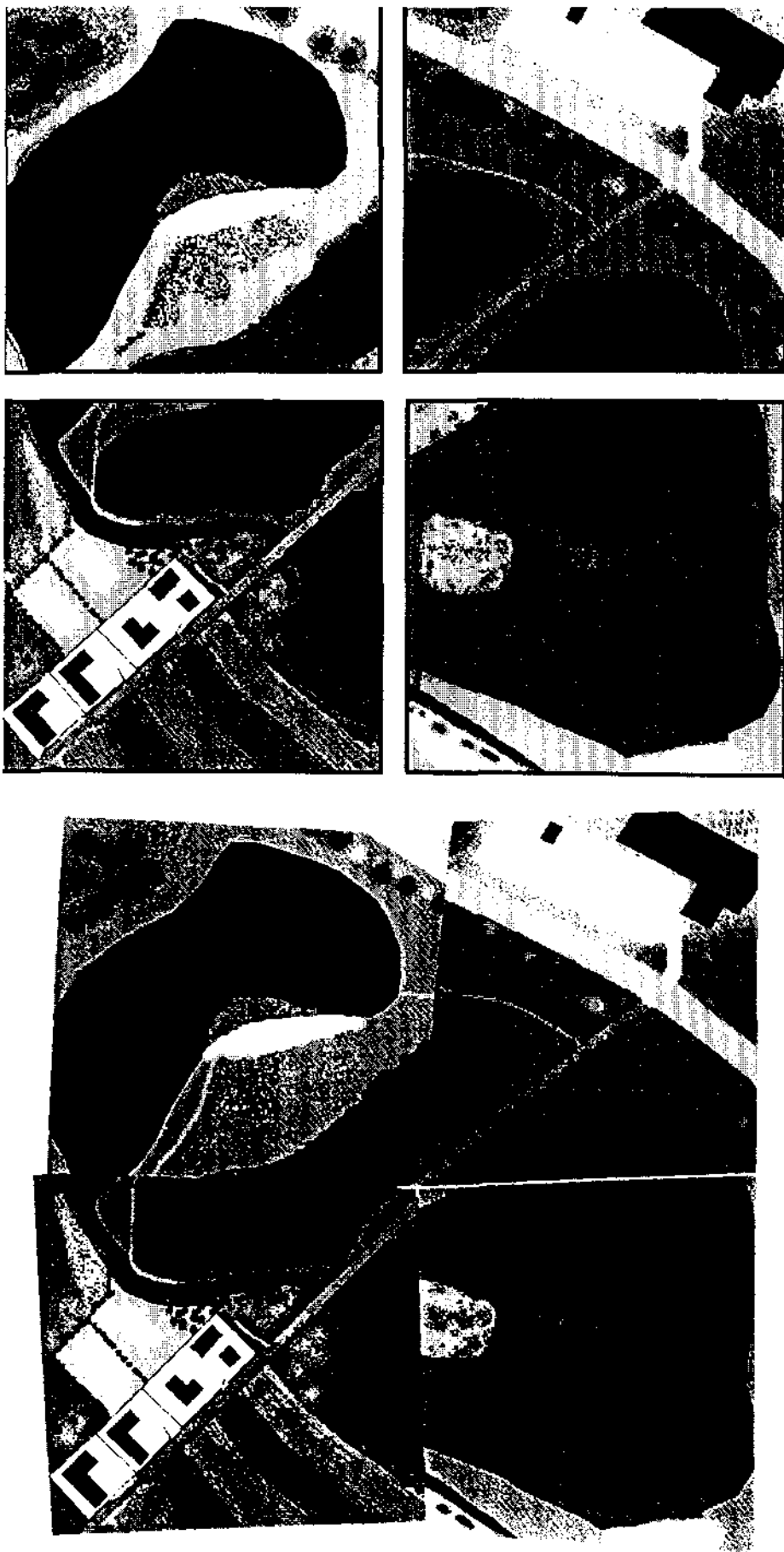
4.3.2 Fotoszkice

Fotoszkic to zespół zdjęć lotniczych ułożonych obok siebie i najczęściej przyklejonych (przymocowanych) na sztywnej planszy. Dla terenu płaskiego zestawienie fotoszkiecu jest relatywnie łatwe ale dla terenu górzystego bardzo trudno jest „zgrać” sytuację pomiędzy sąsiednimi zdjęciami, co wynika z dużych zniekształceń geometrycznych.

Próba ułożenia kilku zdjęć w fotoszkic pokazana jest na rys.1. Przedstawione są tam cztery odbitki stykowe ułożone obok siebie (część górna). Każde ze zdjęć ma niewielką część wspólna ze zdjęciem sąsiednim. Widoczne są różnice jasności poszczególnych zdjęć. Po odcieciu ze zdjęć fragmentów wspólnych oraz możliwie najlepszym dopasowaniu szczegółów (droga, las, rzeka) uzyskano efekt pokazany w dolnej części rysunku. W praktyce fotoszkice montuje się z „pełnych” odbitek, nie obcinając części wspólnej.

4.3.3 Fotoszkice ulepszone

Ulepszenie w stosunku do zwykłego fotoszkiecu polega na montowaniu w blok zdjęć przetworzonych do jednakowej skali a nie zdjęć oryginalnych. Technika ta traci na praktycznym znaczeniu.



Rys.1. Fotoszkie zestawiony z czterech odbitek stykowych pokazanych w części górnej (przykład symulowany)

4.3.4 Powiększenia zdjęć lotniczych

Powiększenia wykonuje się w celu zwiększenia skali obrazu. Np. zdjęcie lotnicze o skali około 1 : 10 000 (dla zdjęcia oryginalnego skala jest przybliżona) powiększone pięć razy ma skalę około 1 : 2 000 a rozmiary nieco ponad metr na metr ($5 \times 23 \text{ cm} = 115 \text{ cm}$).

4.4 REZULTATY ZAAWANSOWANYCH TECHNIK PRZETWARZANIA

Bardziej zaawansowane techniki przetwarzania można umownie podzielić na jedno i dwuobrazowe (w uproszczeniu). Metody jednoobrazowe znajdują zastosowanie dla terenów płaskich. Metody dwuobrazowe pozwalają wykorzystać efekt stereoskopowy do „rozpoznania” rzeźby terenu a przez to do uwzględnienia jej zniekształcającego wpływu.

4.4.1 Fotomapy (fotoplany)

Fotomapy opracowuje się dla terenów płaskich. Jeśli przyjmujemy umownie teren za płaszczyznę to wtedy pomijamy zniekształcający wpływ rzeźby terenu i pozostaje tylko korygowanie nachylenia zdjęcia. Do tego celu stosuje się urządzenia zwane przetwornikami fotomechanicznymi. Są to udoskonalone powiększalniki fotograficzne, pozwalające na przekształcenie płaszczyzny zdjęcia na płaszczyznę mapy.

Więcej informacji o teoretycznym i praktycznym aspekcie takiego przetwarzania zdjęcia, zamieszczono w rozdziale 6: „*Wykonywanie zdjęć lotniczych i satelitarnych, podstawy fotografii, fotogrametrii i teledetekcji*”.

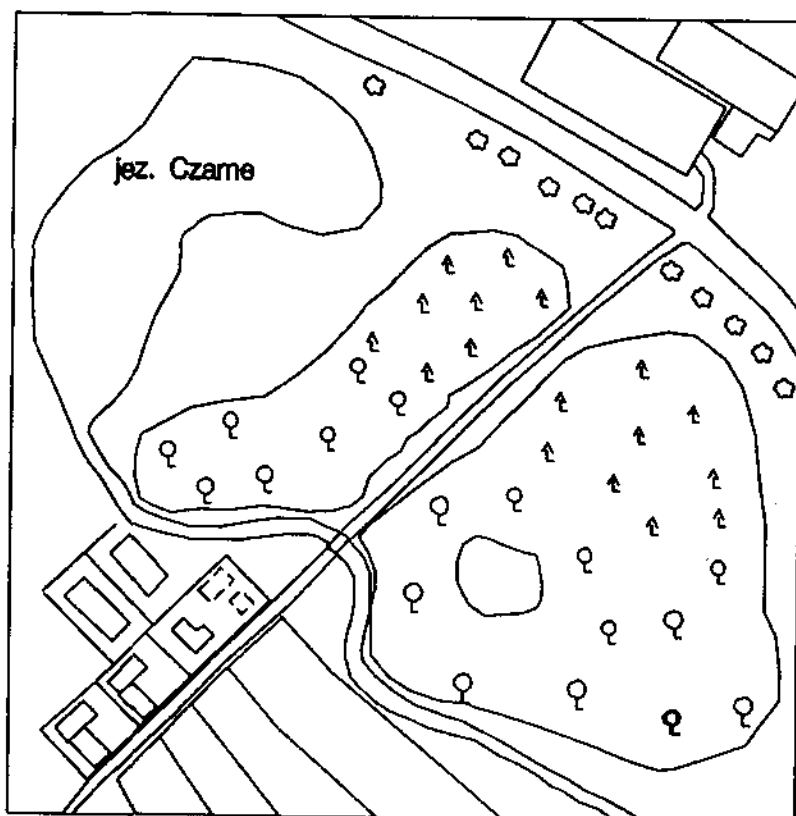
Po przetworzeniu zdjęć montuje się je na sztywnym podkładzie zachowując podział na arkusze map. Ta prosta technika była szeroko stosowana w Polsce dla terenów równinnych i lekko falistych. W przypadku terenów falistych dzieli się obszar na kilka stref wysokościowych które można uważać za „płaskie”, np. strefa 1: 200-202.5 m, strefa 2: 202.5-205 m, itd. Powstają podobszary odpowiadające poszczególnym strefom a potem wykonuje się oddzielne przetworzenia tego samego zdjęcia. Na koniec wybiera się z tej serii przetworzeń tylko fragmenty zdjęcia które odpowiadają kolejnym podobszarom. Taka metoda nazywa się przetwarzaniem strefowym. Obecnie traci ona na praktycznym znaczeniu aczkolwiek pozostają jeszcze nisze zastosowań np. w fotogrametrii naziemnej przetwarzanie zabytkowych elewacji.

4.4.2 Ortofotomapa

Opracowanie ortofotomapy polega na korygowaniu zarówno wpływu nachylenia zdjęcia jak i rzeźby terenu. W rezultacie otrzymuje się obraz, który powstałby gdyby rejestracja fotograficzna odbywała się w rzucie ortogonalnym a nie środkowym.

Dla uściślenia należy dodać, że wynik przetworzenia zdjęcia do rzutu ortogonalnego nie jest jeszcze ortofotomapą. Nazywa się go ortofotogramem, ortofotografią lub ortoobrazem. Ścisłe definicje podane są w rozdziale 14.1 (część III). Dopiero mozaika ortoobrazów dostosowana do kroju sekcyjnego map może być nazwana ortofotomapą. Jeśli będzie to mapa „papierowa” to musi być zaopatrzona w ramkę z opisem, siatkę kwadratów, ewentualnie warstwie (oczywiście każdy z tych elementów wzbogacających może mieć postać nakładki wykonanej na przezroczystym materiale).

Gdyby zdjęcia z rys.1 poddano przetworzeniu i mozaikowaniu to powstałaby ortofotomapa widoczna w górnej części rys. 2. Część górna tego rysunku przedstawia ortofotomapę uzyskaną z tych samych zdjęć które posłużyły do zestawienia fotoszkieł. Praktycznie niezauważalne są teraz granice łączenia zdjęć, wyeliminowane są - widoczne na fotoszkiełach - nieciągłości w przebiegu dróg, lasów, rzeki. Stało się tak, gdyż łączono ortoobrazy pozbawione wad geometrycznych. „Po drodze” wyrównano jasności zdjęć.



Rys. 2. Ortofotomapa (część górna) i uzyskana z niej mapa kreskowa (część dolna)

O ile dawniej ortofotomapa była łatwo rozpoznawalna m.in. przez znacznie gorszą ostrość obrazu w stosunku do zdjęcia oryginalnego, to dzisiejsze produkty przetwarzania geometrycznego pod względem jakości nie ustępują wiele oryginałom.

Aspekty technologiczne opracowania ortofotomap podane są w rozdziale 14 (część III) „*Ortofotomapa jako kartometryczny produkt przetwarzania zdjęć lotniczych oraz jako element bazowy systemów geoinformacyjnych*”.

4.4.3 Mapy kreskowe

Klasyczną dla fotogrametrii drogą opracowania map kreskowych jest utworzenie modelu przestrzennego na odpowiednim przyrządzie i rysowanie elementów mapy w postaci linii, symboli czy znaków umownych. Takie postępowanie „uwalnia” wynik od zniekształceń jakie posiada samo zdjęcie.

Do utworzenia przestrzennego, metrycznego modelu stereoskopowego stosuje się przyrządy zwane autografami. Ostatnio często używa się nazwy stereoploter a czynność rysowania treści mapy z modelu określa się jako stereodigitalizację.

Mapy kreskowe mogą powstawać też poprzez „zrysowanie” konturów sytuacyjnych z ortofotomapy, co w technologii komputerowej określa się jako wektoryzację. Tak uzyskana mapa kreskowa pokazana jest na rys.2.

Uzupełnieniem treści sytuacyjnej są zwykle warstwy, przedstawiające zróżnicowanie wysokościowe terenu (na obszarach zurbanizowanych przedstawia się punkty wysokościowe, tzw. pikiety).

4.4.4 Numeryczny model terenu

Klasyczną metodą przedstawienia rzeźby terenu na mapach są warstwy, czyli linie złożone z punktów o jednakowej wysokości. Jest to dość przystępna metoda demonstracji rzeźby, jednakże w niektórych przypadkach zastępowana jest innymi formami. Stosowane są m.in.: przekroje (profile), wektory lub izolinie spadków, rysunki aksonometryczne lub perspektywiczne. Przy opracowywaniu takich form opisu rzeźby trzeba z reguły sięgać do danych pierwotnych. Mogą to być te dane z których opracowano warstwy ale też mogą być to dane zbierane w sposób specjalny, np. profile podłużne i poprzeczne mierzone w pasie projektowanej drogi. Stąd zrodziła się potrzeba znalezienia innego, bardziej uniwersalnego sposobu opisu rzeźby terenu.

Stał się nim Numeryczny Model Terenu, zwanego w skrócie NMT (lub CMT jako Cyfrowy ... , lub z ang. DTM ewentualnie DEM, ale wtedy oznacza to ...). Zdefiniowanie NMT nie jest proste. Łatwiej powiedzieć czym nie jest NMT.

Z pewnością nie można określić jako NMT samych danych zapisanych na nośniku komputerowym (np. dyskietce). Także warstwy zapisane „komputerowo” czy profile wysokościowe nie tworzą jeszcze NMT.

Numeryczny Model Terenu jest to połączenie i danych i programu komputerowego potrafiącego przeliczać dane na wysokości w nowych punktach, obliczać spadki terenu, objętości w stosunku do zadanych (np. projektowanych) powierzchni, no i także określać przebieg warstw. Bardzo ważnym elementem NMT jest sposób rozwiązywania tych zadań, czyli algorytm matematyczny, a w nim krytycznym punktem jest tzw. interpolacja pozwalająca na dyskretny (czyli prawie ciągły) opis powierzchni terenu.

W fotogrametrii NMT odgrywa podwójną rolę: jest albo etapem pośrednim do opracowania ortofotomapy albo stanowi (coraz częściej) produkt sam w sobie, zamawiany dla potrzeb systemów informacji przestrzennej.

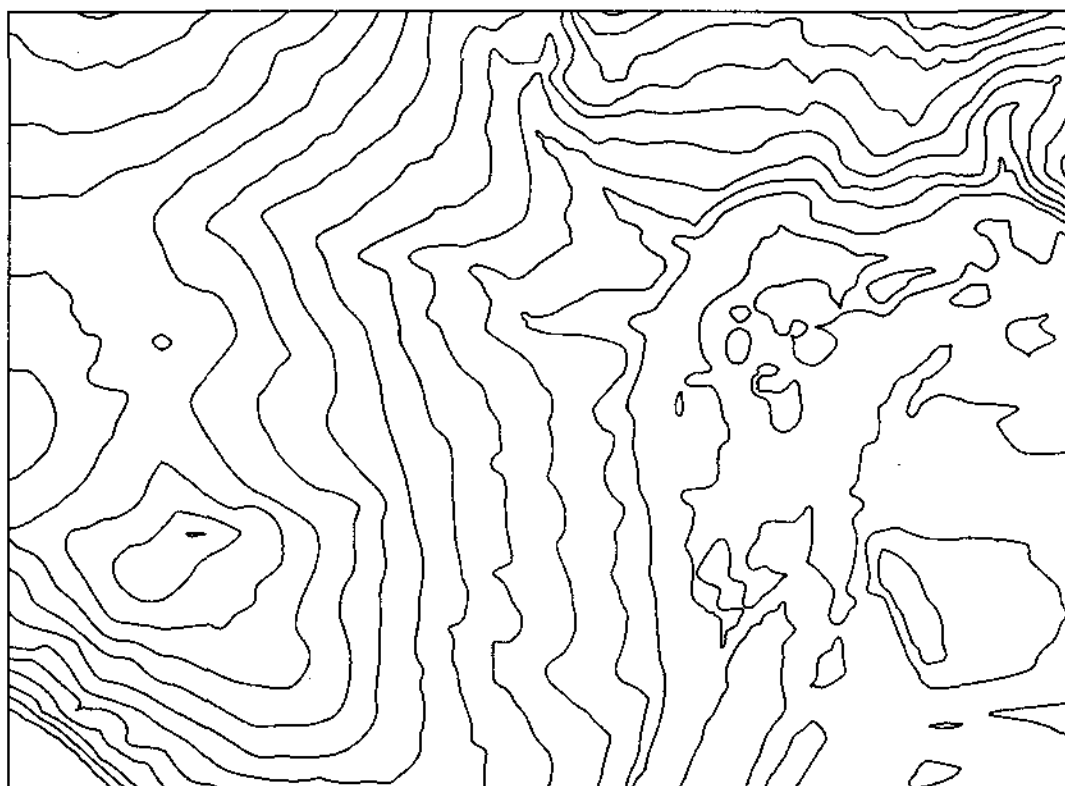
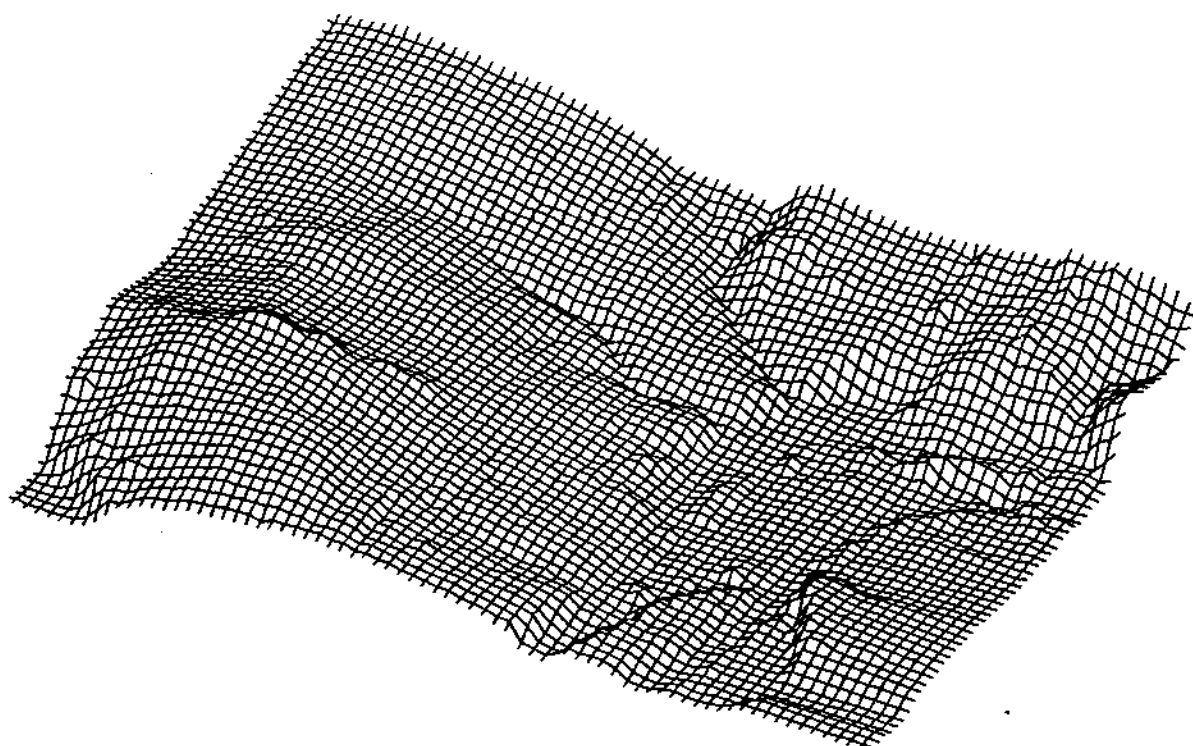
Zdjęcia lotnicze są uznawane - w skali światowej - za podstawowe źródło danych do NMT.

Alternatywą jest wektoryzacja warstwic, pikiet, skarp i innych elementów z map sytuacyjno-wysokościowych i topograficznych. Należy pamiętać, że warstwice na mapach są z reguły produktem wtórnym, czyli są efektem generalizacji danych pierwotnych (chyba że były rysowane wprost z modelu stereoskopowego).

Przykład produktów wygenerowanych NMT pokazany jest na rys.3. Dane wysokościowe pozyskiwane były fotogrametrycznie, w regularnej siatce, co pozwoliło na opracowanie rzutu izometrycznego (część górna rysunku 3) a także na automatyczne określenie przebiegu warstwic (część dolna rysunku 3).

4.5 ĆWICZENIA

1. Ułożenie fotoszkieł z kilku zdjęć lotniczych
2. Porównanie ortofotomap opracowanych w technologii analogowej i cyfrowej
3. Odnalezienie na mapie warstwicznej fragmentu terenu pokazanego w widoku izometrycznym



Rys. 3. Typowe sposoby wizualizacji NMT

5. POTENCJALNE MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA ZDJĘĆ LOTNICZYCH I SATELITARNYCH

Jerzy Butowt

Opracowanie zawiera:

- materiały pozwalające na sprawdzenie opanowanej dotychczas wiedzy i poszerzenie wiadomości,
- zestaw ćwiczeń praktycznych,
- materiały dotyczące metody nowoczesnego uczenia się (przydatnej nie tylko w czasie trwania kursu, ale także po jego zakończeniu).

5.1 O METODACH NOWOCZESNEGO UCZENIA SIĘ

Już od dawna jest wiadomo, że nie można nikogo nauczyć - można go jedynie uczyć. Cóż więc należy zrobić, aby kursantów czegoś nauczyć? Jedyną drogą jest zainteresowanie ich tematem. Jeśli to osiągniemy, zadanie nasze zostanie spełnione - sami zaczną szukać, pytać, czytać, eksperymentować, działać i uczyć się.

Ale czy ktoś zainteresował Cię kursancie, jak możesz wykorzystać supermożliwości Twego umysłu?

1. Czy mówiono Ci kiedyś w szkole o tym, jak rozumienie funkcji i struktury mózgu może pomóc w uczeniu się, zapamiętywaniu, myśleniu?
2. Czy kiedykolwiek uczyłeś się w szkole o pamięci i jej funkcjonowaniu?
3. Czy uczono Cię specjalnych zaawansowanych technik zapamiętywania?
4. Czy miałeś wykłady na temat technik studiowania (uczenia się) ze wskazaniem, jak je stosować do różnych przedmiotów?
5. Czy miałeś zajęcia na temat koncentracji i jej podtrzymywania?
6. Czy miałeś wykłady na temat motywacji i jej wpływu na Twoje umiejętności?
7. Czy wiesz cokolwiek ze szkoły na temat słów - kluczy czy konceptów - kluczy i tego, jak one się mają do robienia twórczych notatek?
8. Czy wiesz coś na temat procesów myślenia?

Jeśli nikt Ci tego nie mówił, to nie martw się, dziś zrobimy początek.

Mózg emituje fale o czterech częstotliwościach:

Beta o częstotliwości 13-25 c/s,

Alfa o częstotliwości 8-12 c/s,

Teta o częstotliwości 4-7 c/s,

Delta o częstotliwości 0,5-3 c/s.

Beta - to nasze normalne życie dzienne,

Alfa - to stan doskonałej relaksacji, w czasie którego następuje szybkie zapamiętywanie faktów i wiedzy,

Teta - to stan głębokiej medytacji sprzyjający występowaniu twórczego natchnienia,

Delta - to stan głębokiego snu.

Z tego krótkiego przeglądu wynika, że najbardziej interesowałby nas stan Teta, ale aby go osiągnąć trzeba najpierw opanować umiejętność wprowadzania się w stan Alfa.

Jeśli chcesz wprowadzić się w stan Alfa (co zajmuje od 10 do 20 minut) wyłącz się z problemów zewnętrznego świata, „usiądź z plecami prostymi, obydwoma stopami wspartymi płasko o podłogę i rękami złożonymi luźno na kolanach. A teraz weź trzy głębokie oddechy ... i znajdź jakiś punkt na suficie ... może to być punkt prawdziwy lub wymyślony ... zacznij się w ten punkt wpatrywać ... aż do momentu ... gdy oczy poczują się zmęczone ... i zechcą się zamknąć ... i gdy oczy same się zamkną ... bez Twojego najmniejszego udziału ... weź znów trzy głębokie oddechy ... i zacznij wolno liczyć ... po cichu w myśli ... od 1 do 7 ... i w momencie, gdy wypowiesz liczbę siedem ... zapadniesz w stan głębokiego odpoczynku ... stan, w którym nie będziesz miał ... chęci ani ochoty ... aby poruszyć ręką czy nogą ... gdzie będzie Ci przyjemnie ... po prostu tak siedzieć ... i pozwolić swoim myślom ... zabrać Cię w przeszłość lub przyszłość ... do tych momentów ... kiedy było Ci dobrze ... kiedy czuleś się spokojny i opanowany ... pewny siebie i szczęśliwy ... pozwól się ponieść tam ... i odwiedzić stare miejsca ... a gdyby podczas transu ... wydarzyło się coś niezwykłego ... lub groziło Ci jakieś niebezpieczeństwo ... obudzisz się natychmiast ... gotowy do działania i reagowania ... w pełni przytomny i obudzony ... A teraz ... kiedy zadecydujesz ... że przyszła pora na zakończenie transu ... zacznij liczyć od 7 do 1 ... wolno i miarowo ... i w momencie wypowiedzenia liczby jeden ... otworzysz oczy ... będziesz obudzony i odświeżony ... w pełni gotowy do normalnego życia ... będziesz się czuł głęboko zrelaksowany ... z odświeżonym umysłem ... gotowy do działania ...”

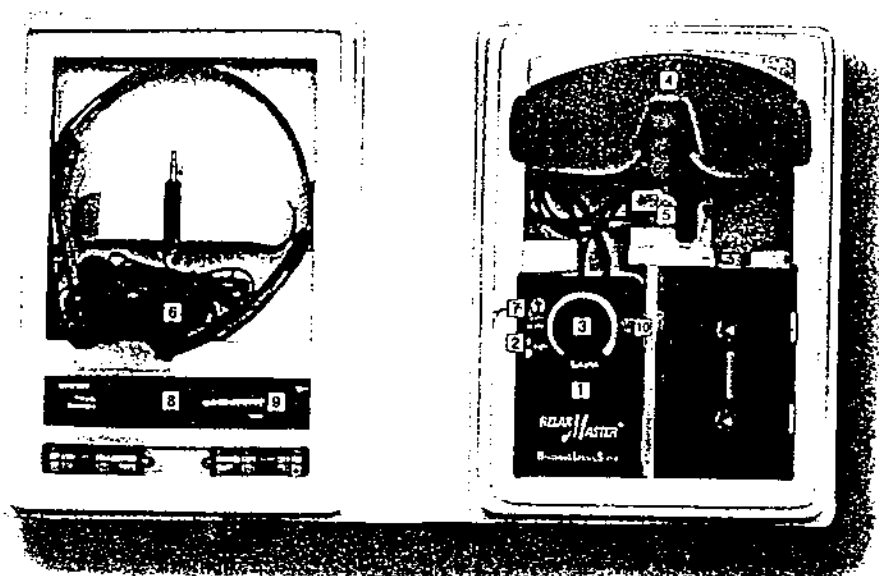
Jeśli nie chcesz tracić czasu na naukę wprowadzania się w stan Alfa, a dysponujesz kwotą 10 000 zł kup urządzenie RELAX MASTER wchodzące w skład systemu szkoleniowego SITA LEARNING SYSTEM, które wprowadzi Cię w ten stan automatycznie w ciągu tego samego czasu.

Uczenie się lub rozwiązywanie zadań z wykorzystaniem stanu Alfa przebiega następująco:

- określ i skonkretyzuj swoje zadanie,
- nastaw się pozytywnie do możliwości jego rozwiązania; np. praca idzie mi łatwo, czuję radość i satysfakcję z uczenia się,
- wprowadź się na 10 minut w stan Alfa,
- po skończonym transie przystąp do pracy,
- po jej zakończeniu pogratuluj sobie z okazji dobrze i szybko wykonanego zadania.

Czy należy robić notatki ? Tak, albowiem:

- notatki pomagają w koncentracji,
- pomagają w zapamiętywaniu,
- pomagają w powtórkach.



Rys. 1. Urządzenie Relax Master składa się z jednostki sterującej, stereofonicznych słuchawek, nieprzezroczystej maski z diodami luminescencyjnymi i czujnikiem oddechu. Jednostka sterująca poprzez czujnik oddechu reaguje na zmieniające się tempo i głębokość oddechu, równocześnie przekazując je zwrótnie w formie sygnałów optycznych i akustycznych. Mamy więc unikalną szansę, by „wejrzeć” i „wysłuchać się” w rytm, w jakim żyje nasz organizm. Podświadomie regulujemy oddech, co z kolei prowadzi do osiągnięcia pełnego relaksu. Zjawisko to - będące podstawą funkcjonowania urządzenia SITA - nosi nazwę *feedbacku* oddechowego.

Spis elementów Relax Master: 1- urządzenie Relax Master, 2- regulacja jasności, 3- regulacja głośności, 4- maska z diodami luminescencyjnymi, 5- czujnik oddechu, 6- słuchawki stereofoniczne, 7- stereofoniczne gniazdo wejściowe słuchawek, 8- kabel łączący, 9- wtyk przejściowy, 10- gniazdo wyjściowe.

Jak często należy przeglądać notatki ?

„Weźmy pod uwagę np. nowy materiał z 45-minutowej lekcji.

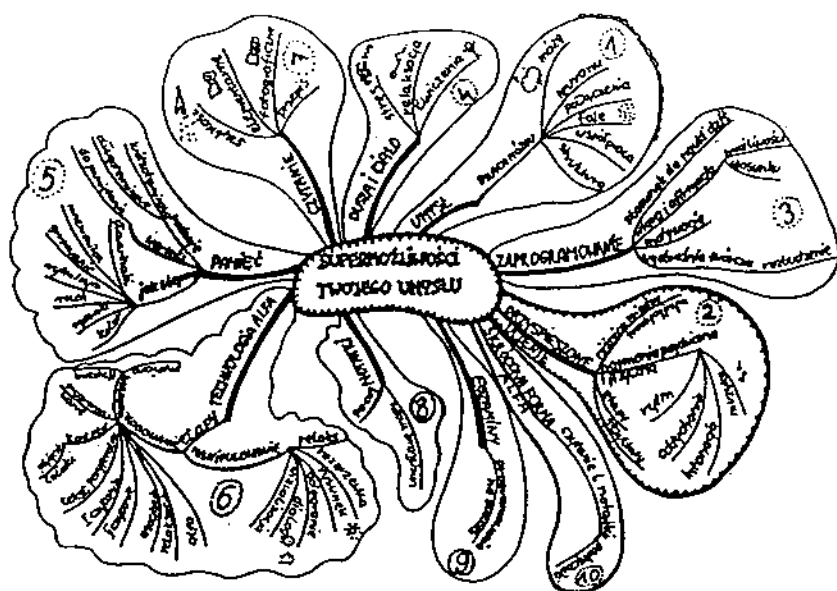
Tabela 1

	Czas przeglądania materiału
Wprowadzenie materiału do pamięci krótko-terminowej	
Powrót w 10 minut po skończonej nauce	5 minut
Powrót po 1 dniu	5 minut
Powrót po 1 tygodniu	3 minuty
Powrót po 1 miesiącu	3 minuty
Powrót po 6 miesiącach	3 minuty

Powroty i przeglądanie materiału przeprowadzone wg powyższego wzoru zabierają około 20 minut na każde 45 minut nauki, co w rezultacie zaoszczędzi Ci długich godzin w tradycyjnym modelu uczenia się „jednym ciurkiem”. Sprawdź to sam.”

Jak należy robić notatki z książek ?

Najlepiej robić je w postaci tzw. map umysłowych.



Rys. 2. Przykład mapy umysłowej

- ⇒ W środku mapy - tytuł wyraźnie wyróżniony,
- ⇒ od niego odchodzą podtytuły wpisane dużymi literami na grubych liniach,
- ⇒ na kolejnych rozgałęzieniach piszemy informacje o coraz większym stopniu szczegółowości.

W celu lepszego zapamiętania mapy, dodajemy do niej następujące elementy: kolor, strzałki, symbole, rysunki i numery.

Jak często należy robić przerwy w nauce ?

„Najlepszym „odcinkiem czasowym” do nauki jest 30 do 45 minut z 5-minutową przerwą. Przerwy ponad 10-minutowe są już „antyproduktywne”. Przerwę najlepiej przeznaczyć na ćwiczenia fizyczne, głębokie oddychanie itp.

Jak czytać i robić notatki z obszernych podręczników ?

- Faza pierwszego przeglądania książki trwa 10-20 minut,
- przerwa o dowolnej długości (10 minut, godzina, dzień ...),
- faza drugiego czytania książki - 20-40 minut,
- przerwa,
- faza ostatecznego odsiewu po wprowadzeniu się w stan Alfa 60-90 minut.

Tym sposobem cały proces czytania i robienia notatek z 400 stronicowej książki zajmie od 2,5 do 4 godzin rozłożonych w czasie. Na tydzień przed egzaminem należy poświęcić 10-20 minut dziennie na przejrzanie map umysłowych. To wystarczy.

Uwagi końcowe

- Studiowanie nie jest celem samym w sobie, lecz początkiem wielkiej przygody życiowej - nauki życia,

- w czasie studiów nie chodzi o zgłębienie konkretnej dziedziny, lecz o trening woli i dyscypliny naukowej - podstawowych narzędzi, które pozwolą Ci na zgłębienie każdej dziedziny w przyszłości,
- musisz nauczyć się podejmowania odpowiedzialności za własną edukację i za własne zdrowie. Pamiętaj, że obecnie tylko dobre opanowanie dwóch lub więcej specjalności obroni Cię przed stresem związanym z zagrożeniem bezrobociem.

Opracowano na podstawie książki:

Gozdek-Michaelis Katarzyna, 1994: Supermożliwości twojego umysłu. Agencja Wydawnicza Comes, Katowice.

5.2 SKALA ZDJĘĆ LOTNICZYCH I SATELITARNYCH

5.2.1 Zdjęcia pionowe, teren płaski i poziomy ($\Delta H = 0$)

Trzy wzory na wyznaczenie mianownika skali zdjęć M_z :

$$M_z = \frac{H}{c_k} \quad (\text{wzór 2})$$

$$M_z = \frac{l_m}{l_z} \cdot M \quad (\text{wzór 3})$$

$$M_z = \frac{l_t}{l_z} \quad (\text{wzór 4})$$

gdzie:

H - wysokość fotografowania,

c_k - odległość obrazowa kamery,

l_m - odcinek pomierzony na mapie,

l_z - odcinek pomierzony na zdjęciu,

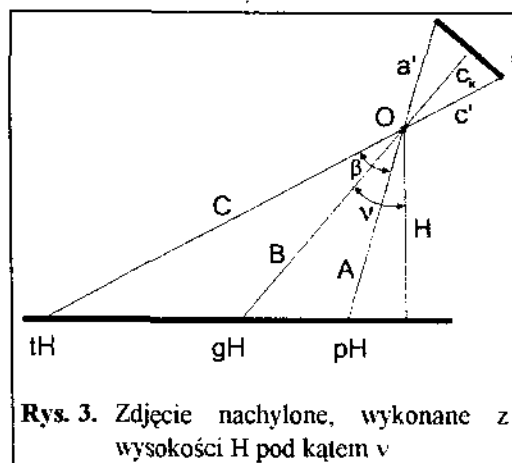
l_t - znana długość odcinka w terenie (np. szerokość tira)

M - mianownik skali mapy.

Skala zdjęcia jest stała dla całego zdjęcia. Do pomiaru małych odcinków na zdjęciu np. szerokości samochodu, drogi itp. zaleca się stosowanie lupy Brinela. Lupa taka wyposażona jest w podziałkę wyskalowaną co 0,1 mm co pozwala na osiągnięcie wysokiej dokładności pomiaru równej 0,02 mm.

5.2.2 Zdjęcia nachylone, teren płaski

W tym przypadku skala jest wartością stałą tylko dla linii prostopadłych do linii największego spadku zdjęcia. W praktyce wyznacza się ją i opisuje na zdjęciu tylko dla trzech linii (2 skrajnych i środkowej) tj. dla tzw. przedniego, głównego i tylnego horyzontu.



Rys. 3. Zdjęcie nachylone, wykonane z wysokości H pod kątem ν

$$M_{gh} = \frac{B}{c_k} = \frac{H}{c_k \cdot \cos \nu} \quad (\text{wzór 5})$$

$$M_{ph} = \frac{A}{a'} = \frac{H \cdot \cos \frac{1}{2} \beta}{c_k \cdot \cos (\nu - 172 \beta)} \quad (\text{wzór 6})$$

$$M_{th} = \frac{C}{c'} = \frac{H \cdot \cos \frac{1}{2} \beta}{c_k \cdot \cos (\nu + 172 \beta)} \quad (\text{wzór 7})$$

gdzie:

M_{gh} , M_{ph} , M_{th} - mianownik skali głównego, przedniego i tylnego horyzontu,

H - wysokość fotografowania,

ν - kąt nachylenia zdjęcia,

β - kąt widzenia obiektywu.

Pozostałe oznaczenia zgodne z rysunkiem.

5.2.3 Teren nieplaski

(kryterium terenu płaskiego podano w ćwiczeniu 1)

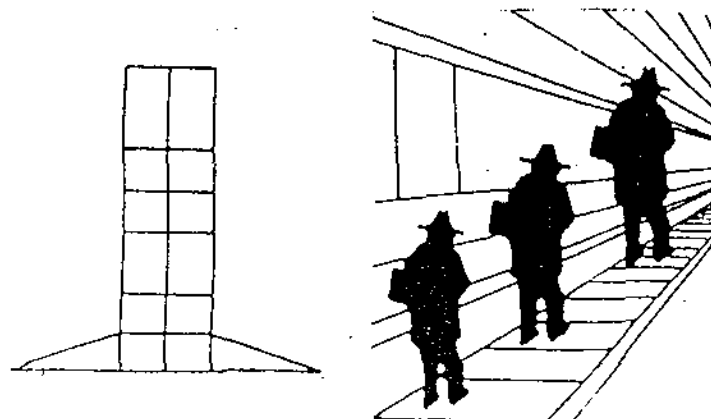
Skala w każdym punkcie zdjęcia jest inna. Wynika to bezpośrednio z podanego uprzednio wzoru $M_z = \frac{H}{c_k}$, w którym wysokość lotu nad poszczególnymi punktami terenu będzie różna a więc M_z nie może być wartością stałą.

5.3 PODZIAŁKA ZDJĘCIA

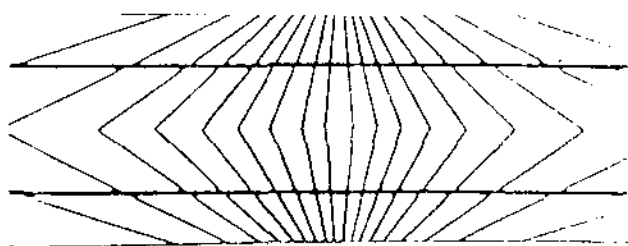
Często zamiast skali zdjęcia podaje się jego podziałkę. Podziałka określa ilość metrów zawartych w jednym centymetrze zdjęcia, np. $M_z = 5\ 000$ $P = 50\text{ m}$

5.4 ZŁUDZENIA OPTYCZNE

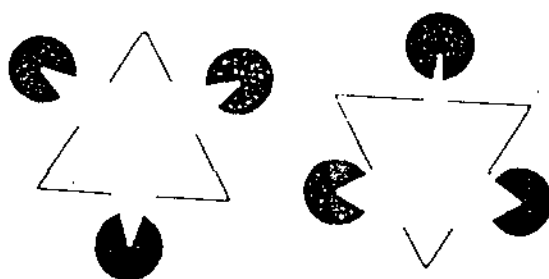
W czasie obserwacji otaczającego nas świata mamy do czynienia ze złudzeniami optycznymi. Kilka przykładów takich złudzeń przedstawiono na załączonych poniżej rysunkach.



Rys. 4. Podstawa figury równa się jej wysokości (rys. po lewej str.). Wszystkie trzy sylwetki mają identyczne wymiary (rys. po prawej str.).



Rys. 5. Linie poziome są równoległe



Rys. 6. Tendencje oka do uzupełniania konturów

Ze złudzeniami optycznymi spotykamy się także w czasie pracy na zdjęciach lotniczych. Popatrz uważnie na załączone zdjęcie (rys 8) i powiedz czy miejsce, w którym prowadzone są roboty ziemne jest nasypiskiem czy wyrobiskiem? Następnie obróć zdjęcie o 180° i zweryfikuj swoją odpowiedź. Potem zastanów się jeszcze raz i ostatecznie zdecyduj czy to, co widzisz jest nasypiskiem czy wyrobiskiem. Uzasadnij swoją decyzję.

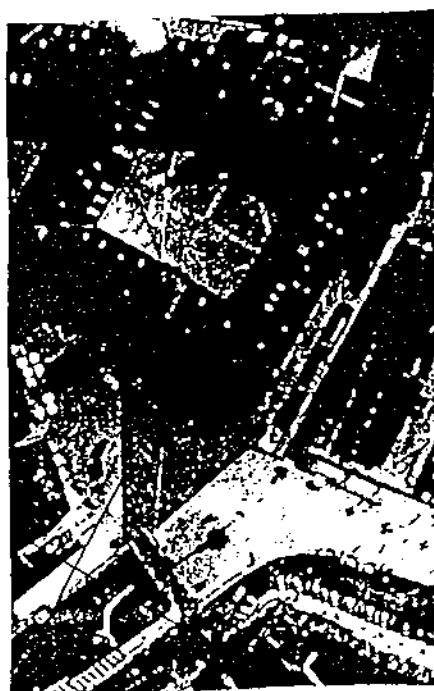
Korzystając z tego, że pracujesz na zdjęciu wykonaj dwa następujące zadania:

1. określ kierunek płn. na zdjęciu (zdjęcie wykonano o godz. 9^{00}),
2. dwoma sposobami wyznacz skalę tego zdjęcia.

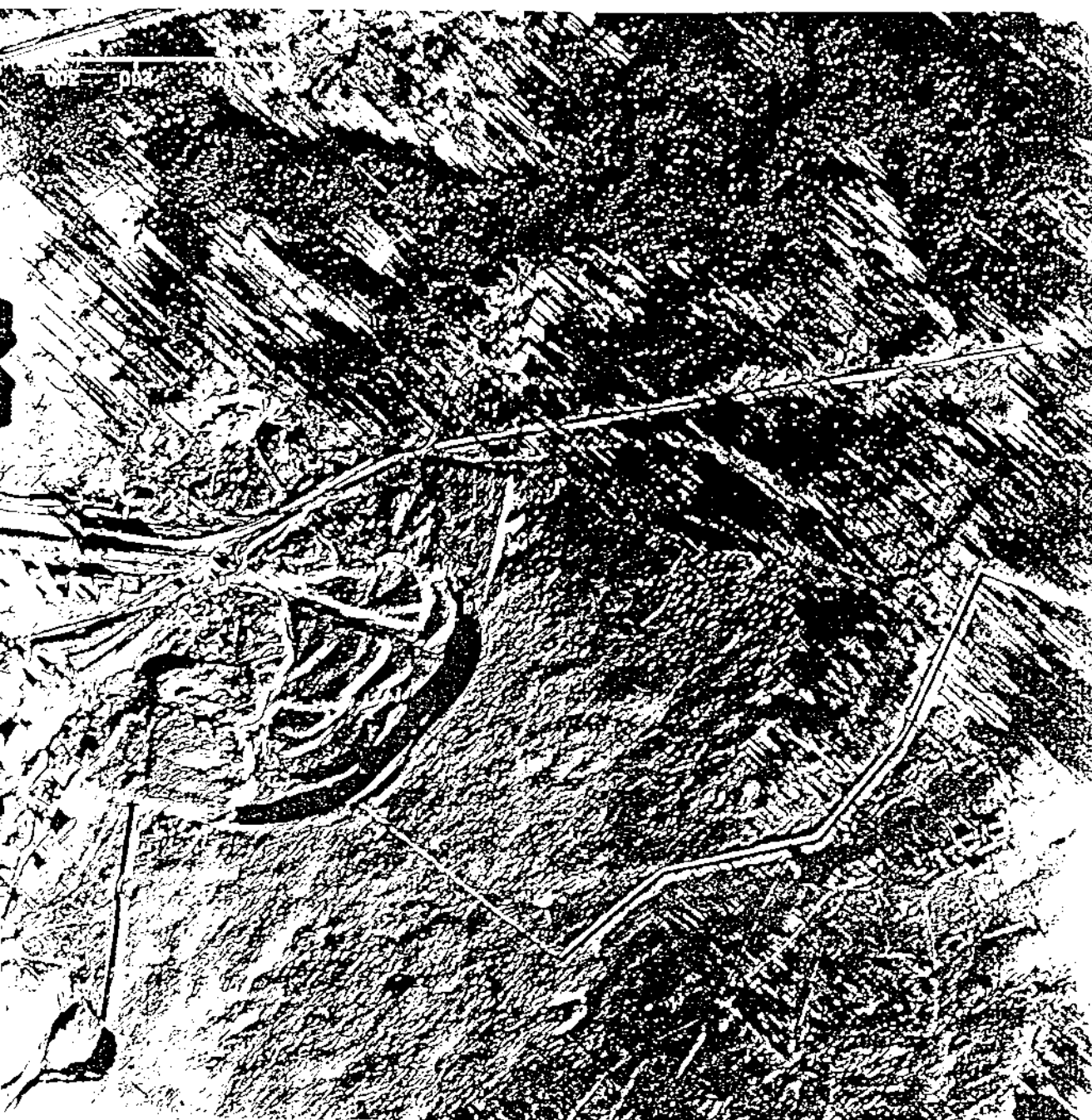
Widoczne na zdjęciach cienie znacznie zwiększają plastykę obrazu. Oprócz tego cienie można wykorzystać do określenia wysokości względnej i bezwzględnej obiektów oraz do właściwego odczytania odfotografowanych na zdjęciach obiektów pionowych.

Zadanie praktyczne:

Odczytaj co to za pomniki warszawskie. Znajdują się na 2 załączonych poniżej ortofotozdzjęciach w skali 1 : 2 500.



Rys. 7.



Rys. 8.

5.5 LEITZ ELCOVISION 10

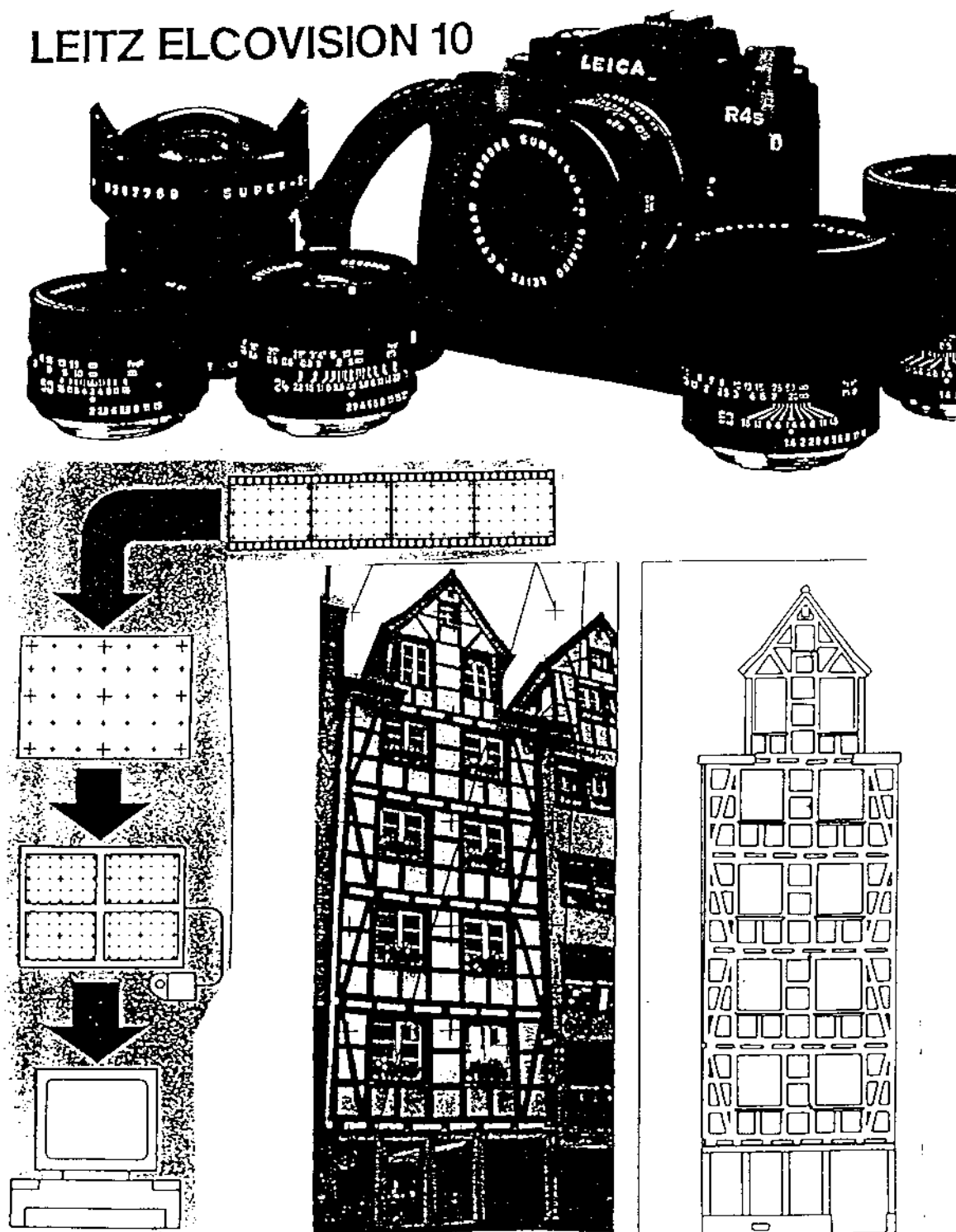
Nowa koncepcja wykorzystania małoobrazkowych aparatów fotograficznych, przystosowanych fabrycznie i technologicznie do cyfrowego opracowania zdjęć naziemnych i lotniczych.

Zastosowanie:

- wymiennych obiektywów o ogniskowych 15, 19, 24, 35, 50, 80, 90, 135, 180 mm,
- siatki reseau,

- pełnej kalibracji aparatu tj. wyznaczenie c_k , x_0 , z_0 i rozkładu dystorsji dla każdej odległości obrazowej obiektywu np. dla 1 m., 2 m., 3 m., 5 m., 10 m., ∞ ,
 - nowoczesnej metody opracowania
- umożliwia osiągnięcie błędu średniego opracowania: $m_{xyz} = \pm 10 \mu\text{m} \cdot M_z$

LEITZ ELCOVISION 10



Rys. 9. U góry: aparat Leica z zestawem wymiennych obiektywów. Z lewej strony: proces technologiczny (film małoobrazkowy, odbitka powiększona do formatu 60 × 40 cm, digitajzer, komputer). Z prawej strony: przykładowe opracowanie.

Zdjęcia wykonujemy „z ręki” bądź z dowolnego „nosiciela” aparatury bez potrzeby znajomości i zachowania określonych elementów orientacji zewnętrznej.

Do wykonywania zdjęć szczególnie dobrze nadają się małe lekkie samoloty lub 2-osobowe motolotnie. Mały koszt eksploatacji motolotni, możliwość jej transportu na samochodzie i start bezpośrednio z rejonu podlegającego fotografowaniu sprawia, że ten typ nosiciela aparatu staje się niezwykle atrakcyjny przy fotografowaniu obiektów małopowierzchniowych.

5.6 WIDEO FOTOGRAMETRIA

Wideo fotogrametria zajmuje się wykorzystaniem techniki wideo do rejestracji i opracowania kartometrycznego badanych obiektów i zjawisk.

Będąc w powszechnym użyciu kamery charakteryzują się słabą geometrią obrazu jednak ich zalety takie jak:

niski koszt sprzętu i eksploatacji, barwny obraz, możliwość wielogodzinnego zapisu obrazu na jednej taśmie i szybki dostęp do zarejestrowanej informacji sprawiają, że znajdują one coraz szersze zastosowanie do opracowania:

- aktualnego stanu środowiska,
- dynamiki zmian erozyjnych,
- stanu zlodzenia rzek i spływu lodu,
- stanu pokrywy śniegowej

oraz do rejestracji klęsk żywiołowych.

W trakcie przystosowania kamer wideo do opracowań fotogrametrycznych opanowano procesy:

- tworzenia obrazów stereoskopowych ze zdjęć wideo,
- montażu scen wideo,
- sporządzania barwnych fotoszkiców z jednoczesnym wyeliminowaniem błędów geometrii zapisu metodą obróbki cyfrowej danych.

5.7 ZDJĘCIA I ZOBRAZOWANIA ZIEMI Z PRZESTRZENI KOSMICZNEJ

Sztuczne satelity Ziemi (SSZ), to osiągnięcie techniczne, którego roli nie można przecenić. Przyczyniły się one między innymi do dynamicznego rozwoju fotogrametrii, teledetekcji i nawigacji (system GPS). Po raz pierwszy w historii rozwoju fotogrametrii powstała możliwość rejestrowania dużych powierzchni przy małym kącie widzenia aparatury.

SSZ mogą być wprowadzone na orbity kołowe lub eliptyczne. Orbity kołowe lepiej nadają się dla potrzeb fotogrametrii i teledetekcji, albowiem zapewniają stałą skalę odwzorowania. Aby wprowadzić SSZ na orbitę kołową trzeba mu na wysokości H nadać prędkość poziomą:

$$V = 7,911 \cdot \sqrt{\frac{R_z}{R}} \text{ km/s} \quad (\text{wzór 8})$$

gdzie:

7,911 km/s - pierwsza prędkość kosmiczna,

R_z - promień Ziemi,

R - odległość od środka Ziemi do SSZ.

Zdjęcia z załogowych satelitów wykonuje się z $H = 200\text{--}300$ km, a zobrażenia skanerowe z bezzałogowych satelitów z $H = 700\text{--}900$ km.

Wysokość satelity jest ściśle związana z czasem jego obiegu „T”, który możemy obliczyć ze wzoru:

$$T = 84 \cdot \left(\frac{R}{R_z}\right)^{\frac{3}{2}} \text{ min.} \quad (\text{wzór 9})$$

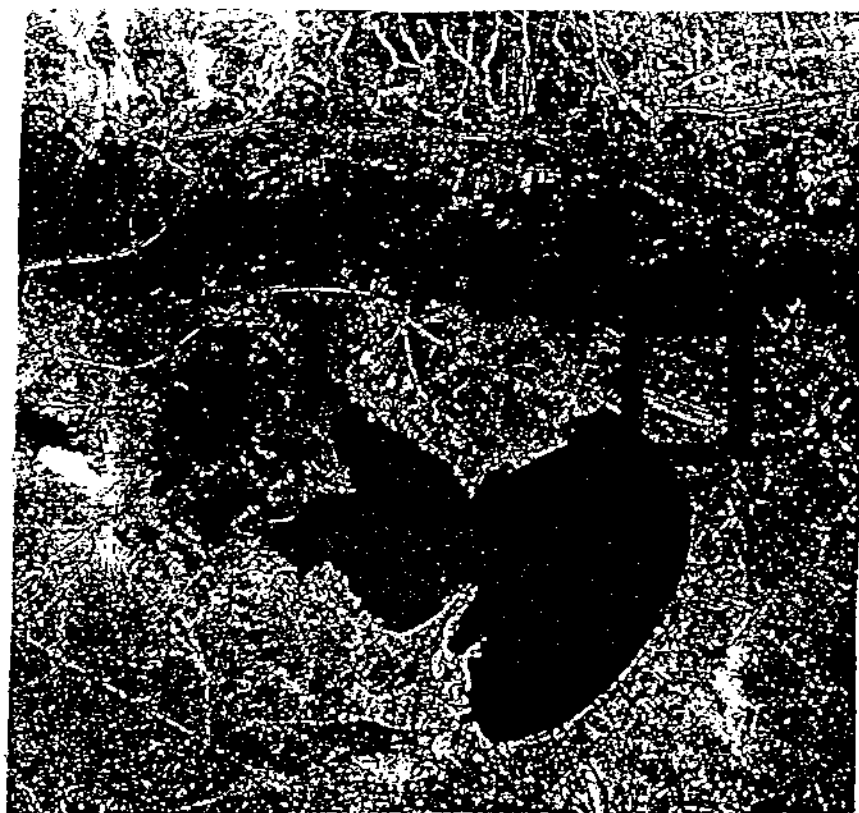
Dobór odpowiedniego czasu obiegu, kąta widzenia aparatury skanerowej i kąta nachylenia orbity „i” względem równika pozwolił na wprowadzenie na orbitę tzw. teledetekcyjnych satelitów operacyjnych, dostarczających cyklicznie, średnio w ciągu 6 lat, informacje z powierzchni całego globu ziemskiego. Jednym z takich satelitów jest europejski satelita SPOT, wprowadzony na orbitę w 1986 r. Jego podstawowe parametry techniczne są następujące:

$H = 832 \text{ km}$, $T = 101,4 \text{ min.}$, $V = 7,44 \text{ km/sek.}$, $i = 98,7^\circ$ (orbita heliosynchroniczna). Kąt widzenia aparatury skanerowej $4,13^\circ$, cykl 26 dni. Kąt wychylenia zwierciadła $\pm 27^\circ$.

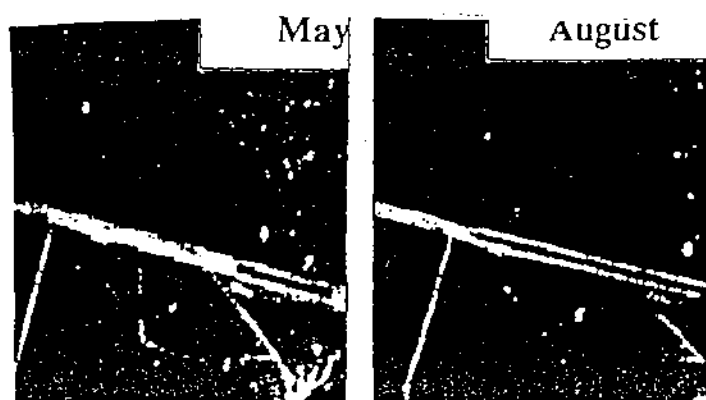
$R_T = 10 \text{ m}$ (zobrazowania panchromatyczne),

$R_T = 20 \text{ m}$ (zobrazowania wielospektralne).

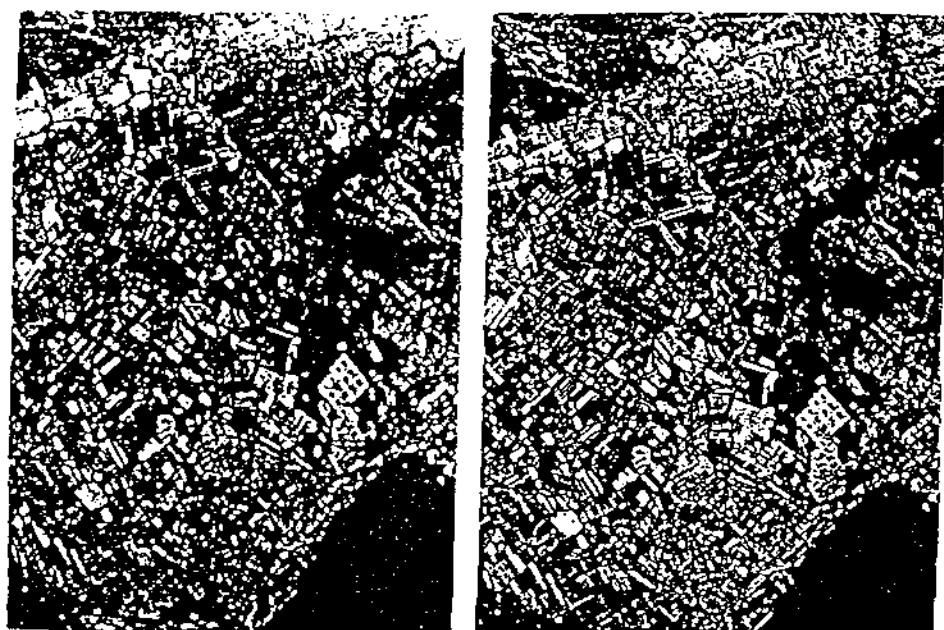
Wychylenie zwierciadła w bok od płaszczyzny orbity pozwala na zwiększenie częstotliwości pozyskiwania informacji o tym samym obiekcie 7-krotnie na równiku i 14-krotnie w obszarach położonych na szerokości geograficznej $\phi = 45^\circ$. Dodatkową zaletą wychylenia zwierciadła przy rejestracji terenu z sąsiednich orbit jest możliwość uzyskania pokrycia stereoskopowego terenu co pozwala na wykreślenie rzeźby terenu. Zobrazowania SPOT-a można zakupić, co stwarza możliwość dokonywania obserwacji multitemporalnych dowolnego obszaru na kuli ziemskiej.



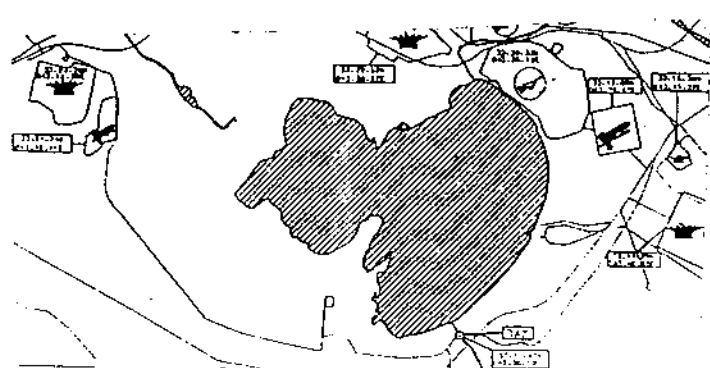
Rys. 10. Zobrazowanie panchromatyczne SPOT-a z zaznaczonym rejonem podlegającym opracowaniu



Rys. 11. Kontrola postępów budowy pasa startowego



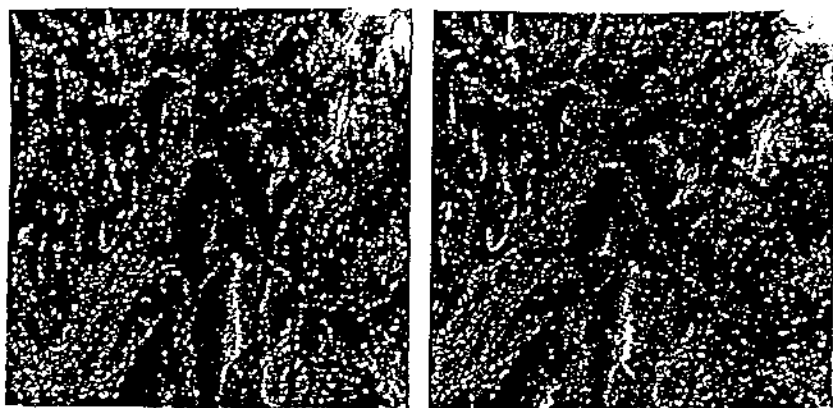
Rys. 12. Nowy produkt - zobrazowanie panchromatyczne $R = 10$ m, na które nałożono barwy ze zobrazowania wielospektralnego $R = 20$ m



Rys. 13. Ogólna interpretacja obiektów wojskowych



Rys. 14. Szczegółowa lokalizacja celów na powiększonym obrazie cyfrowym



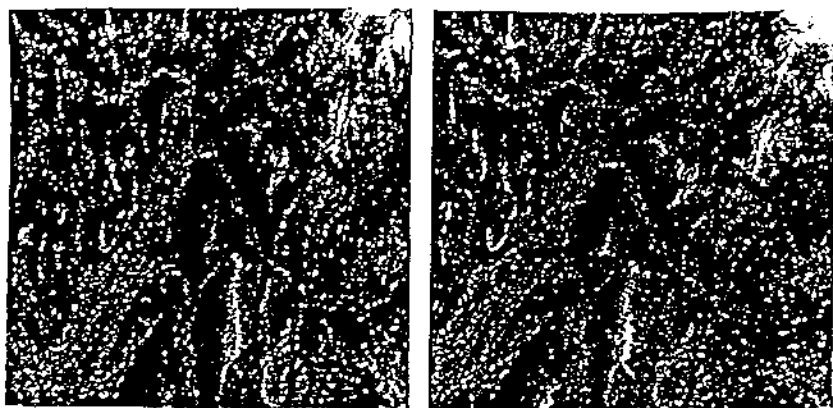
Rys. 15. Stereogram z materiałów SPOT-a



Rys. 16. Wycinek mapy topograficznej w skali 1 : 50 000 opracowany z materiałów SPOT



Rys 17. Przylądek Canaveral na Florydzie - miejsce startowe promów kosmicznych (2 stanowiska u góry)



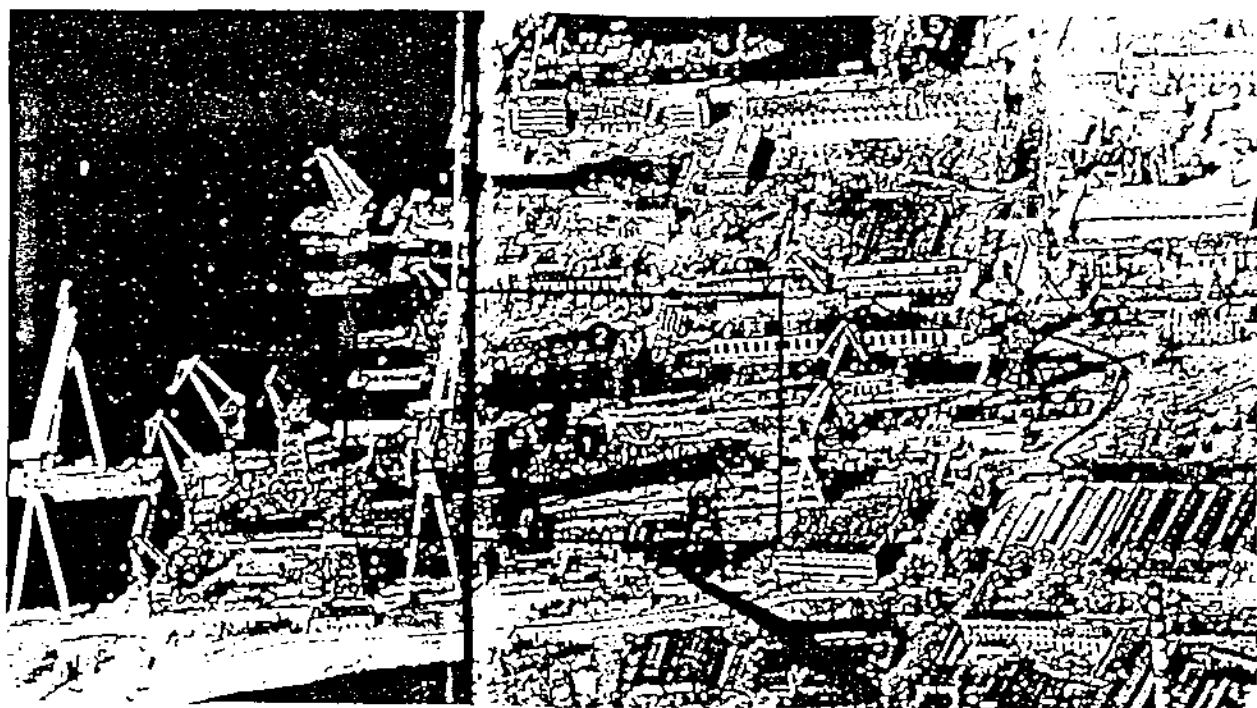
Rys. 15. Stereogram z materiałów SPOT-a



Rys. 16. Wycinek mapy topograficznej w skali 1 : 50 000 opracowany z materiałów SPOT



Rys 17. Przylądek Canaveral na Florydzie - miejsce startowe promów kosmicznych (2 stanowiska u góry)



Rys. 18. We wrześniu 1984 r. na łamach brytyjskiego czasopisma „Jane's Defence Weekly” zostały po raz pierwszy opublikowane zdjęcia wykonane przez satelitę KH-11. Ta fotografia została wykonana w lipcu 1984 r. i obejmuje fragment jednej z największych stoczní ZSRR nad Morzem Czarnym - Ni-kołajew. W środkowej części zdjęcia jest widoczna suwnica o nośności ponad 1000 ton. Pod nią znajduje się licząca 264 m długości dziobowa część kadłuba budowanego tu największego lotniskow-
ca marynarki ZSRR, o wyporności 75 000 ton i napędzie atomowym. W sąsiednim doku (powyżej) widoczna jest rufa o długości 75 m. Lotniskowiec jest przystosowany do przyjęcia 75 samolotów. Rozdzielczość przestrzenna zdjęcia wynosi około 1 m.

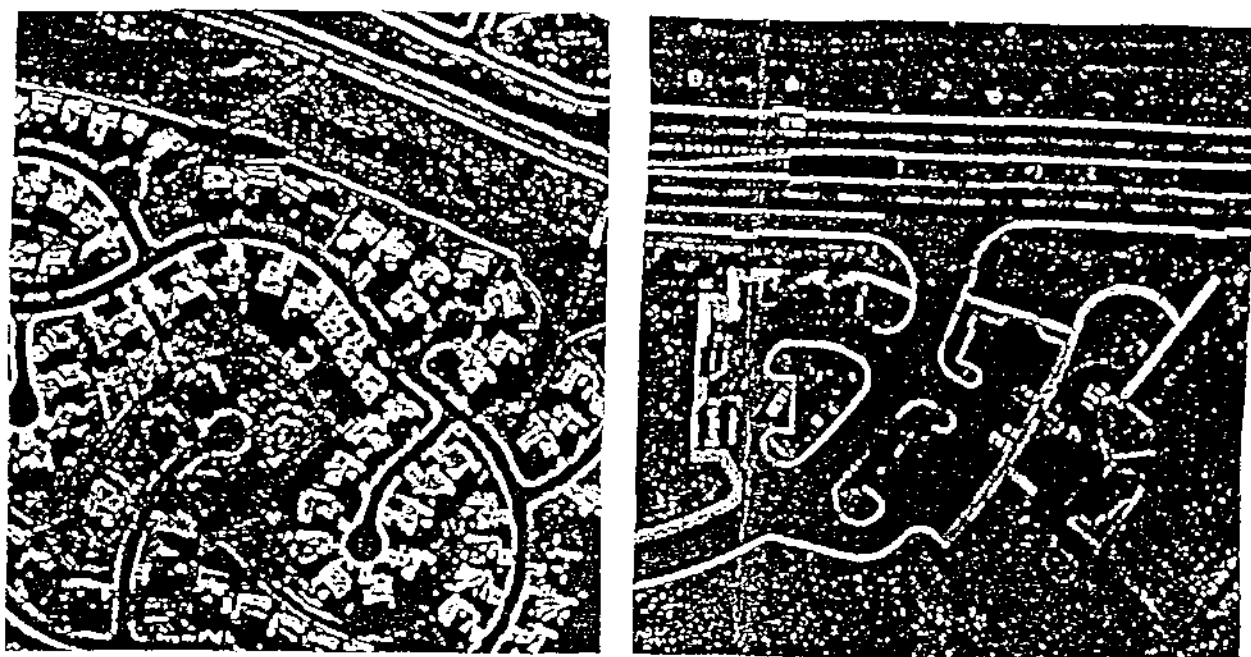
W dynamicznym procesie rozwoju teledetekcyjnych satelitów rozpoczyna się nowa era - era wysokorozdzielczych satelitów komercyjnych ($R_T = 1$ m dla zobrazowań panchromatycznych i $R_T = 4$ m dla zobrazowań wielospektralnych). Tak wysoka rozdzielczość, do tej pory zarezerwowana była wyłącznie dla rozpoznania wojskowego (patrz zdjęcie z satelity rozpo-
znawczego KH-11).

Możliwość zakupu wysokorozdzielczych zobrazowań satelitarnych sprawi, że zdjęcia lotnicze wykonywane będą jedynie dla opracowań wielkoskalowych.

Na załączonych (rys. 19) symulowanych ortofotozdrożeniach zaprezentowano obraz sate-
litarny z jakim będziemy mieli do czynienia przy $R_T = 1,0$ m (lewe zdjęcie) i $R_T = 0,5$ m (prawe zdjęcie).

Jest sprawą oczywistą, że rozdzielczość zobrazowań rozpoznawczych jest dziś wielo-
krotnie wyższa niż zaprezentowano powyżej. Z amerykańskiego satelity następnej generacji KH-12, wyposażonego w teleskop Hubble'a o średnicy 240 cm, o ogniskowej 57,6 m i mozaikę CCD, otrzymuje się $R_T = 7$ cm.

Satelita ten przystosowany jest do zbierania informacji w szerokim zakresie spektral-
nym od 115 nm (UV) do 1 mm (daleka IR). Zakres UV pozwala mu na zbieranie informacji z kosmosu, a zakres IR z obszarów północnych, gdzie w czasie nocy polarnej może śledzić mię-
dzy innymi rosyjskie wyrzutnie rakietowe dalekiego zasięgu.



Rys. 19.

5.8 ROSYJSKIE ZDJĘCIA SATELITARNE

(Możliwe do nabycia w Sojuzkarte i Goscentr Priroda)

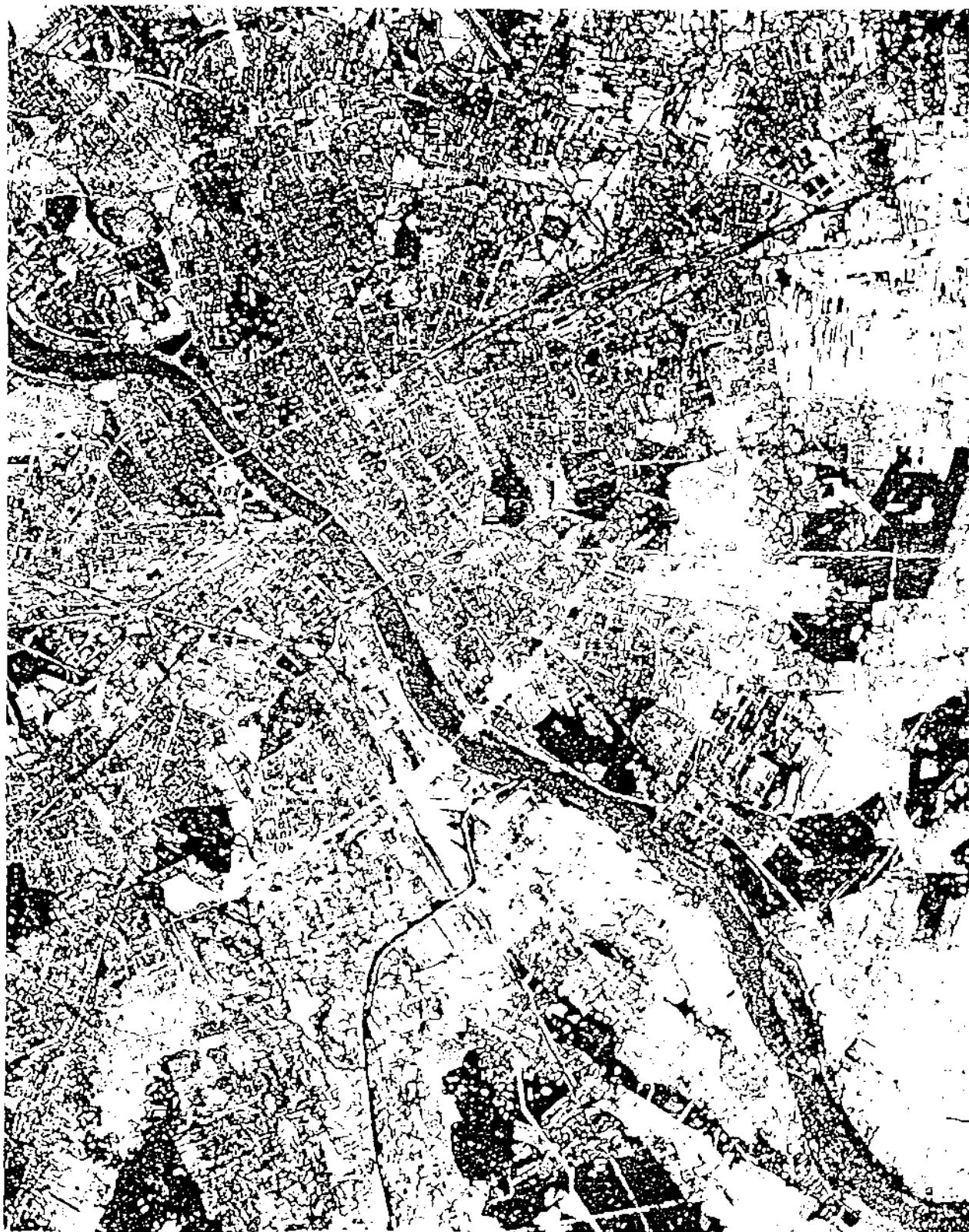
Tabela 2

typ kamery	H [km]	M _z	c _k [mm]	kadr [cm]	R _r [m]
KVR 1000	220	220,000	1,000	18 × 18	2
KFA 1000	270	270,000	1,000	30 × 30	5
KFA 3000	290	100,000	3,000	30 × 30	3

Zdjęcia tego typu wykonywane są na materiałach panchromatycznych lub dwuwarstwowym negatywowym filmie spektrostrefowym SN-10 rejestrującym promieniowanie w przedziale 570-800 nm.

Charakteryzują się one wysoką zdolnością rozdzielczą oraz dużymi zniekształceniami obrazu, spowodowanymi dystorsją obiektywu i nieregularnymi skurczami podłoża negatywu. Błędy te jednak można wyeliminować w czasie opracowania.

Zdjęcia panchromatyczne wykonane z satelity serii Kosmos kamerą KVR 1000 zostały wykorzystane w IGiK do opracowania satelitarnej mapy Warszawy w skali 1 : 25 000 (rys.21).



Rys. 20. Zdjęcie satelitarne Warszawy wykonane 16 sierpnia 1985 r. za pomocą kamery KTE-1000 z pokładu satelity Kosmos. Satelita, krążąc na wysokości około 240 km, wykonuje za pomocą tej kamery zdjęcia w skali 1 : 240 000. Przestrzenna zdolność rozdzielcza zdjęcia wynosi około 5-7 m. Oznacza to, że najmniejsze widoczne na zdjęciu obiekty, przy odpowiednim kontraście z tłem, mają wymiary co najmniej 5-7 m.



Rys. 21. Wycinek mapy satelitarnej Warszawy w skali 1 : 25 000

5.9 NUMERYCZNY MODEL TERENU (NMT)

NMT to wysokościowy model terenu przedstawiony w postaci dyskretnej (zbiór współrzędnych XYZ punktów leżących na powierzchni terenu), ze znanym algorytmem interpolacyjnym umożliwiającym natychmiastowe wyinterpolowanie wartości „Z” dla zadanych wartości X i Y lub odwrotnie - wyinterpolowanie X i Y dla zadanej wartości Z.

Do niedawna całkowicie nieznany NMT stał się obecnie jednym z ważniejszych produktów fotogrametrycznych, znajdujących coraz szersze zastosowanie praktyczne przy:

- automatycznym opracowaniu rzeźby terenu,
- automatycznym sporządzaniu ortofotomap,
- wykonywaniu profilów wysokościowych niezbędnych przy projektowaniu tras komunikacyjnych,
- tworzeniu map spadków i ekspozycji,
- okresowym rozliczaniu postępu prac wydobywczych w kopalniach odkrywkowych,
- analizowaniu procesów erozyjnych,
- określaniu zasięgu radarowej, radiowej i wzrokowej widoczności,
- automatycznym sporządzaniu rzutów perspektywicznych pozwalających na obserwację obrazu zadanego punktu, pod zadanym kierunkiem, przy założonej wysokości Słońca lub Księżyca,
- tworzeniu obrazów wirtualnych, pozwalających na obserwację modelu przy dowolnie wybranej trasie.

Tworzenie obrazów wirtualnych stosowane jest w wojsku do szkolenia pilotów w celu lepszego przygotowania ich do wykonywania trudnych zadań bojowych. W tym celu sporządza się NMT ze zdjęć SPOT-a. Każdemu punktowi NMT przypisany jest piksel obrazu satelitarnego. Pilot w czasie symulowanego lotu ćwiczy przelot wąwozami na bardzo niskich wysoko-

ściach (w celu uniknięcia wykrycia radarem), walkę oraz podejście do celów, których nigdy przedtem nie widział, a które mają być celem rzeczywistego ataku.

W wersji cywilnej rozwiązanie takie w uproszczonej wersji jest stosowane w salonach gier wirtualnych, gdzie symulowany jest zjazd na nartach czy deskorolkach.

Średni błąd wysokości określonej za pomocą NMT wynosi:

$m_h = \pm 0,15\% H$ co dla $H = 1000 \text{ m}$ daje $m_h = \pm 15 \text{ cm}$.

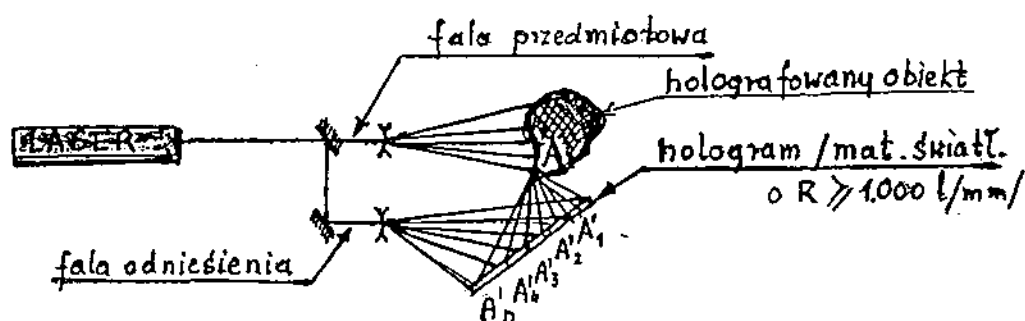
5.10 HOLOGRAFIA, HOLOGRAMETRIA, AUTOMATYCZNA INTERPRETACJA

5.10.1 Właściwości hologramu

Zdjęcie czarno-białe rejestruje amplitudę, zdjęcie barwne rejestruje amplitudę i częstotliwość, zdjęcie holograficzne rejestruje fazę fali świetlnej.

Rejestracja fazy umożliwia:

- zapis całego obrazu w każdym punkcie hologramu,
- uzyskanie efektu przestrzennego o niezwykłych właściwościach (można obserwować przedmioty zakryte przez obiekty położone w pierwszym planie),
- wyeliminowanie zniekształceń obrazu i ograniczeń (głębia ostrości) wynikających z użycia obiektywu (pomiędzy obiektywem i materiałem światłoczułym w czasie rejestracji nie ma żadnych elementów optycznych),
- dokonywanie zapisu i rekonstrukcji promieniowania w różnej długości fali (przy rejestracji promieniami x i rekonstrukcji promieniowaniem widzialnym uzyskujemy 50 000 powiększenie obrazu),
- badanie odkształceń (metodą podwójnej rejestracji obiektu na tym samym hologramie).

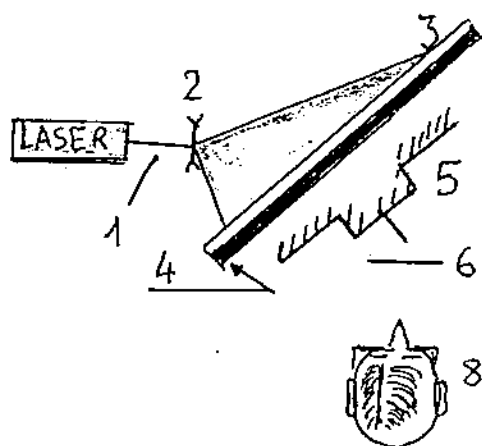


Rys. 22. Zapis punktu A na hologramie

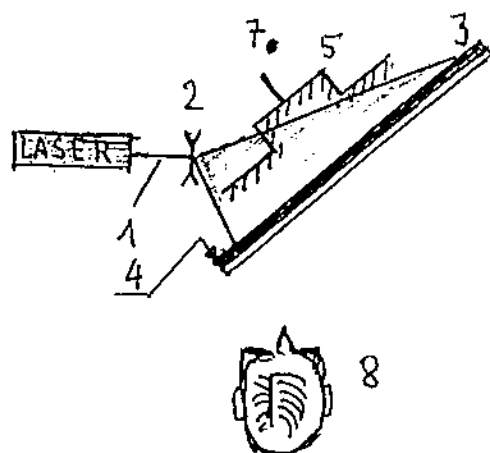
5.10.2 Zastosowanie fotogrametryczne

Hologramy można opracować metodami fotogrametrycznymi. Największe dokładności uzyskuje się pracując na obrazie pozornym, w obszarze którego umieszczamy świetlny znaczek pomiarowy przesuwany przy pomocy 3-osiowego precyzyjnego komparatora. Rozwiązanie takie umożliwia dokładne ustawienie znaczka pomiarowego na wybranych punktach opracowywanego obiektu i odczytanie ich współrzędnych przestrzennych XYZ, które następnie transformujemy na przyjęty układ odniesienia.

Opracowanie fotogrametryczne hologramu



Rys. 23. Obraz rzeczywisty
Model pseudoskopowy
Obserwacja na matówce



Rys. 24. Obraz pozorny
Model ortoskopowy
Obserwacja przy pomocy świetlnego znacznika pomiarowego

Oznaczenia:

- 1 - wiązka laserowa;
- 2 - obiektyw mikroskopowy rozszczepiający wiązkę;
- 3 - hologram;
- 4 - warstwa emulsyjna hologramu;
- 5 - obserwowany model;
- 6 - matówka;
- 7 - świetlny znaczek pomiarowy;
- 8 - obserwator.

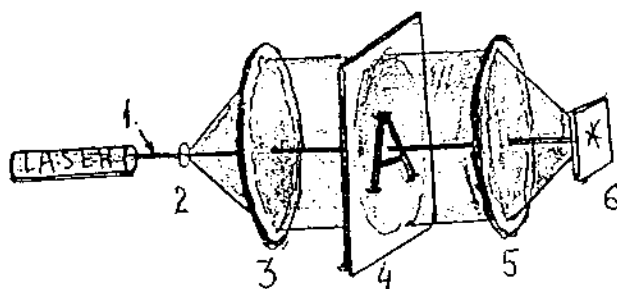
5.10.3 Wykorzystanie światła spójnego i filtrów dopasowanych w fotointerpretacji

Światło spójne i tzw. filtry dopasowane stosuje się do automatycznego rozpoznawania i lokalizowania szukanych obiektów. Np. w celu wyszukania i zlokalizowania wszystkich liter A w badanym tekście, należy sporządzić filtr dopasowany litery A, przez który następnie przepuszczamy badany tekst uzyskując na wyjściu jasne punkty w miejscach odpowiadających położeniom litery A. Proces ten możemy zautomatyzować i przyspieszyć przez zastosowanie matrycy detektorów CCD i obrót filtru dopasowanego w czasie pracy urządzenia.

Schemat tworzenia filtrów dopasowanych, rozpoznawanie obiektów i przykłady filtrów dopasowanych przedstawiono na rys. 25-27.

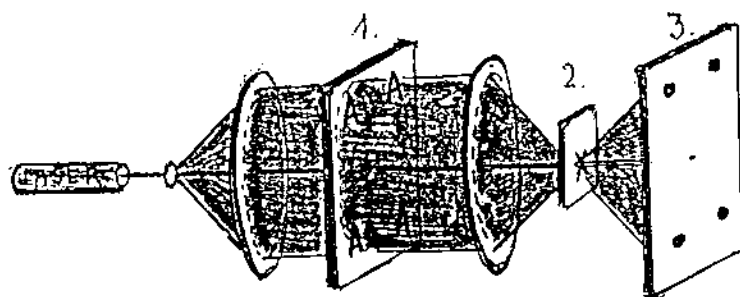


Rys. 25. Przykłady filtrów dopasowanych (kółka, kwadratu i trójkąta)



Rys. 26. Schemat ideowy stanowiska laboratoryjnego przystosowanego do wytwarzania filtrów dopasowanych litery A

- 1 - wiązka laserowa,
- 2 - obiektyw mikroskopowy rozszczepiający wiązkę,
- 3 - soczewka zmieniająca wiązkę rozbieżną w równoległą,
- 4 - diapoztyw z literą A,
- 5 - soczewka zmieniająca wiązkę równoległą w zbieżną,
- 6 - wysokorozdzielczy materiał światłoczuły, który po wywołaniu staje się filtrem dopasowanym litery A, realizującym na drodze optycznej przekształcenie Fourierowskie.



Rys. 27. Schemat ideowy stanowiska laboratoryjnego automatycznego rozpoznawania obiektów

- 1 - diapoztyw tekstu, w którym znajduje się dowolna ilość liter A,
- 2 - filtr dopasowany litery A, umieszczony w ognisku obiektywu,
- 3 - płaszczyzna obrazowa, w której umieszcza się matrycę światłoczułych elementów (matrycę CCD) automatycznie rejestrujących położenie jasnych punktów obrazu, powstających w miejscach odpowiadających położeniom liter A w badanym tekście

Rozwiązanie przedstawione powyżej nie ogranicza się jedynie do liter. W ten sam sposób możemy szybko identyfikować linie papilarne, twarze osób i obiekty terenowe a także eliminować nieostrość obrazu (spowodowaną poruszeniem aparatu w momencie ekspozycji lub złym ogniskowaniem).

5.11 ZAKOŃCZENIE

Zestaw ćwiczeń obejmuje 3 zadania:

1. graficzne przenoszenie sytuacji ze zdjęć na mapę,
2. interpretację zdjęć wielospektralnych,
3. podanie metody opowania obserwacji stereoskopowych okiem nieuzbrojonym.

5.12 ĆWICZENIE I: GRAFICZNE PRZENOSZENIE SYTUACJI ZE ZDJĘĆ NA MAPĘ METODĄ SIATEK PERSPEKTYWICZNYCH

5.12.1 Wprowadzenie

W dobie automatyzacji i cyfrowej obróbki danych stosowanie metod graficznych wychodzi z użycia. Jednak znajomość tej metody ze względu na jej zalety może okazać się przydatną do aktualizacji wybranych wycinków map lub do opracowania ich fragmentów szczególnie wtedy, gdy nie dysponujemy zapleczem instrumentalnym, a zależy nam na czasie.

5.12.2 Cel ćwiczenia

- zapoznać z metodą konstruowania siatek perspektywicznych,
- nauczyć przenoszenia linii sytuacyjnych i obiektów punktowych,
- przedstawić zalety i wady metody,
- wyjaśnić pojęcie terenu płaskiego.

5.12.3 Konstrukcja siatek perspektywicznych

(wykreślamy 2 siatki: jedną na zdjęciu, drugą na mapie lub podkładzie geodezyjnym)

5.12.4 Kolejność czynności

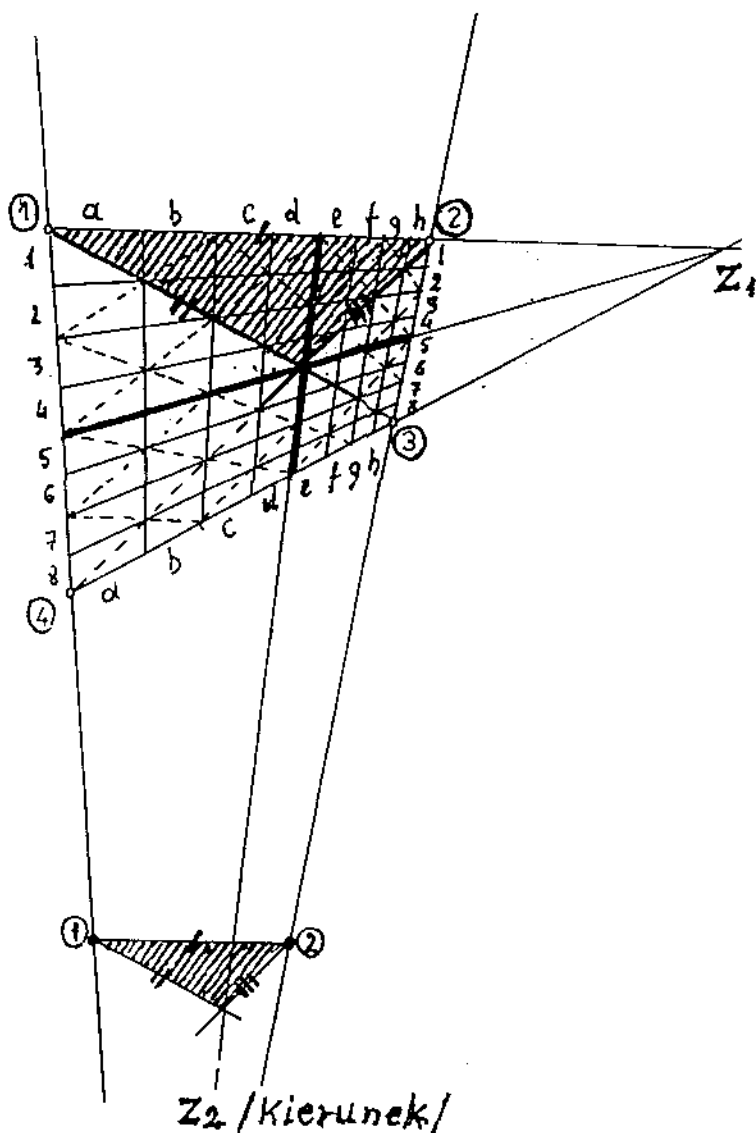
- Wybrać cztery wyraźne punkty sytuacyjne odpowiadające sobie na zdjęciu i mapie. Punkty te winny obejmować opracowywany obszar terenu.
- Wyznaczyć punkty zbiegu Z_1 i Z_2 lub kierunki do nich (patrz rysunek).
- Zagęścić siatki zgodnie z konstrukcją przedstawioną na załączonym obok rysunku. Wielkość oczek siatki winna być zbliżona do wymiaru $5 \times 5 \text{ mm}^2$ co zapewnia osiągnięcie dokładności graficznej.
- Opisać obie siatki w sposób umożliwiający szybką i jednoznaczną identyfikację odpowiadających sobie oczek (patrz rysunek).

Teraz możemy już przystąpić do praktycznego przeniesienia sytuacji ze zdjęcia na podkład.

Skala zdjęcia 1 : 18 000, $H = 2\,100 \text{ m}$, $f = 115 \text{ mm}$. Zdjęcia pionowe. Skala opracowywanej mapy 1 : 25 000

5.12.5 Zalety i wady metody siatek perspektywicznych

Zalety metody



Rys. 28.

- prosta, szybka, wystarczająco dokładna o dużych walorach dydaktycznych,
- poprawna teoretycznie,
- nie posiada ograniczeń co do kąta nachylenia zdjęć i skali opracowania,
- nie wymaga zaplecza instrumentalnego.

Wady metody

- nadaje się tylko dla terenu płaskiego,
- nie nadaje się do zautomatyzowania,
- nie pozwala na osiągnięcie dokładności większej od graficznej ($\pm 0,4$ n/m.).

5.12.5.1 Kryterium terenu płaskiego

$$\Delta H_{\max} = \frac{2dr \cdot c_k \cdot M}{r'_{\max}} \quad (\text{wzór 10})$$

gdzie:

$\Delta H_{\max}$ - największe dopuszczalne przewyższenie terenowe pozwalające uznać teren za płaski,
 dr - założone, dopuszczalne zniekształcenie mapy spowodowane deniwelacją,
 c_k - odległość obrazowa (dla kamer lotniczych równa ogniskowej obiektywu f),
 M - mianownik opracowywanej lub aktualizowanej mapy,
 $r'_{\max}$ - maksymalny promień na zdjęciu.

Przykład:

$dr = 0,4$ mm; $M = 25\ 000$

$c_k = f = 152$ mm; $r'_{\max} = 150$ mm (dla formatu kadru 23×23 cm)

$$\Delta H_{\max} = \frac{2 \cdot 0,4 \text{ mm} \cdot 152 \text{ mm} \cdot 25\ 000}{150 \text{ mm}} \cong 20 \text{ m}$$

dla $M = 10\ 000$ $H_{\max} \cong 8$ m

$M = 5\ 000$ $H_{\max} \cong 4$ m

Wyprowadzenie wzoru na $\Delta H_{\max}$ (tylko dla dociekliwych)

$$\frac{\Delta H}{dr' \cdot Mz} = \frac{c_k}{r'} \quad \text{ale} \quad (\text{wzór 11})$$

$dr' \cdot Mz = drM$ (interesuje nas wielkość zniekształceń dr na mapie a nie dr' na zdjęciu)

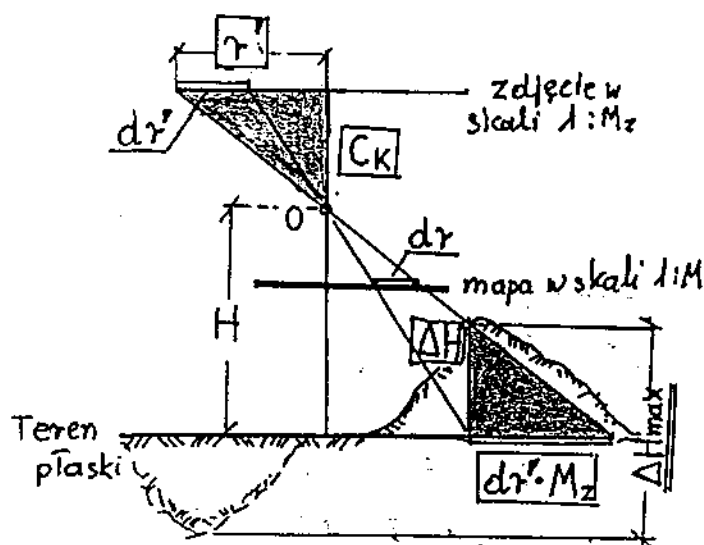
Ostatecznie:

$$\Delta H = \frac{dr \cdot c_k \cdot M}{r'} \quad (\text{wzór 12})$$

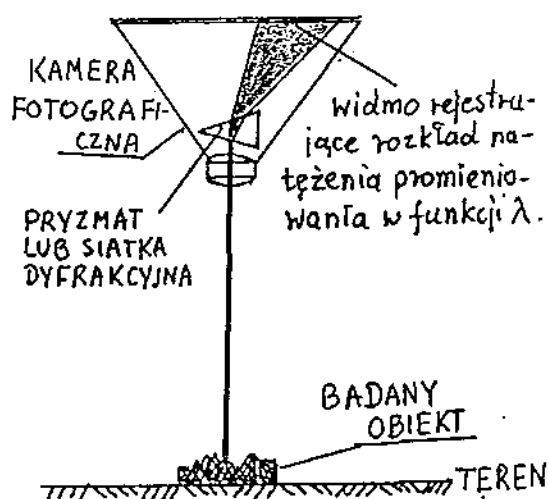
Aby uzyskać wzór na $\Delta H_{\max}$, dr mnożymy przez 2 (dzięki czemu uwzględniamy wartości $\pm \Delta H$), a w miejsce r' wstawiamy $r'_{\max}$, tj. Maksymalny promień zależny od wielkości kadru (im większy promień tym większe zniekształcenia obrazu spowodowane deniwelacją terenu). W ten sposób doszliśmy do znanego nam już wzoru

$$\Delta H_{\max} = \frac{2dr \cdot c_k \cdot M}{r'_{\max}}$$

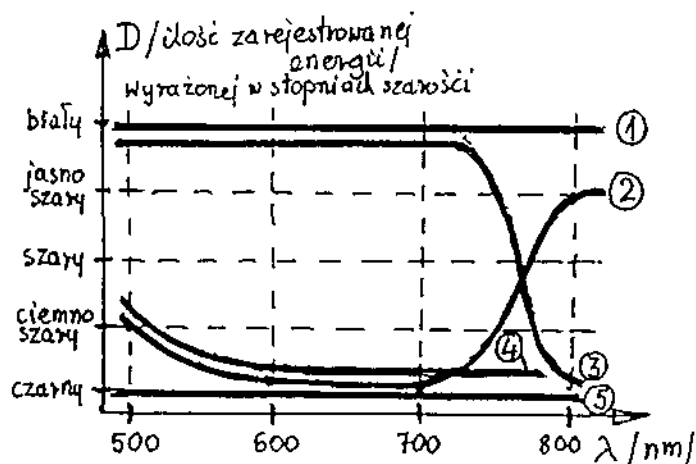
Rzeczywistą wartość ΔH występującą na konkretnym zdjęciu określamy przy pomocy mapy.



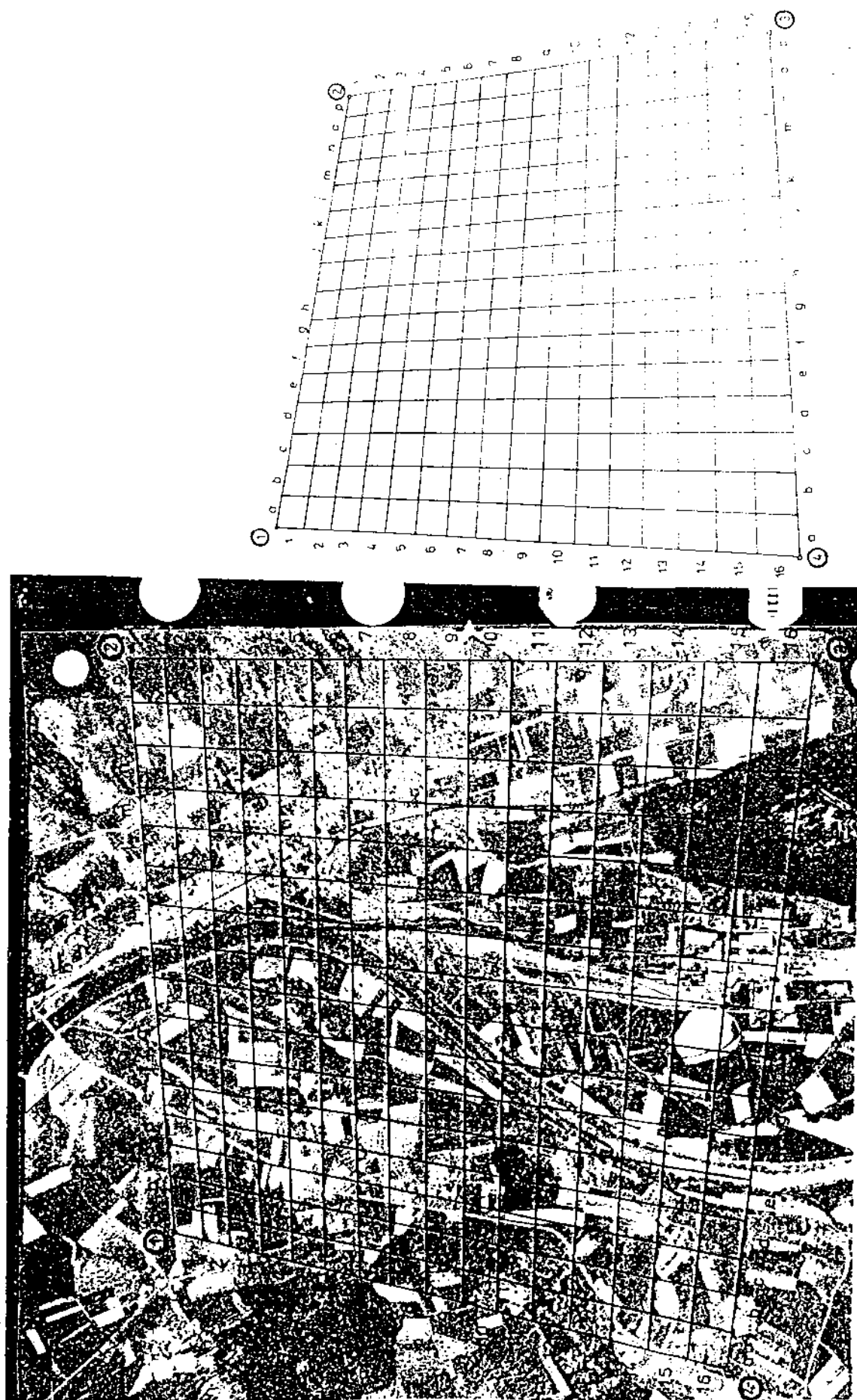
Rys. 29.



Rys. 30. Schemat ideowy aerospektrofotometru



Rys. 31. Krzywe spektralne określone przy pomocy aerospektrofotometru i wprowadzone do pamięci komputera: 1- świeży spadły śnieg, 2- las liściasty, 3- piasek, 4- las iglasty, 5- torf.



5.13 ĆWICZENIE II: AUTOMATYCZNA INTERPRETACJA ZDJĘĆ LOTNICZYCH I ZOBRAZOWAŃ SATELITARNYCH

5.13.1 Wprowadzenie

Zautomatyzowanie procesu interpretacji stało się dziś koniecznością ze względu na ciągle zwiększające się zapotrzebowanie na aktualną informację o obiektach i zjawiskach zachodzących na powierzchni Ziemi, oraz ogromną ilość informacji teledetekcyjnej przesyłanej z przestrzeni aerokosmicznej, która powinna być szybko opracowana.

Automatyzacja bazuje na cyfrowej technice wielospektralnej, szybkich komputerach i znajomości charakterystyk spektralnych wyznaczanych obiektów.

Technika wielospektralna polega na jednoczesnym wykonywaniu zdjęć (zapis fotograficzny) lub obrazowań (zapis cyfrowy) w różnych przedziałach spektralnych tj. W różnych długościach fal, co umożliwia utworzenie charakterystyk spektralnych dla każdego elementu opracowywanego obszaru.

Komputer porównuje wyznaczone charakterystyki spektralne ze znajdującym się w jego pamięci katalogiem charakterystyk spektralnych obiektów terenowych określonych przy pomocy aerospektrofotometru i na tej podstawie dokonuje klasyfikacji obiektów terenowych.

5.13.2 Cel ćwiczenia

- Zapoznanie się z zasadą działania aerospektrofotometru,
- Zapoznanie się z charakterystykami spektralnymi kilku typowych obiektów terenowych,
- Zapoznanie się z zestawem zdjęć wielospektralnych,
- Określenie w 4 kanałach gęstości optycznych 3 zaznaczonych na lewym zdjęciu obiektów, wykreślenie ich charakterystyk spektralnych, porównanie otrzymanych wykresów z podanymi charakterystykami spektralnymi i dokonanie na tej podstawie klasyfikacji obiektów terenowych.

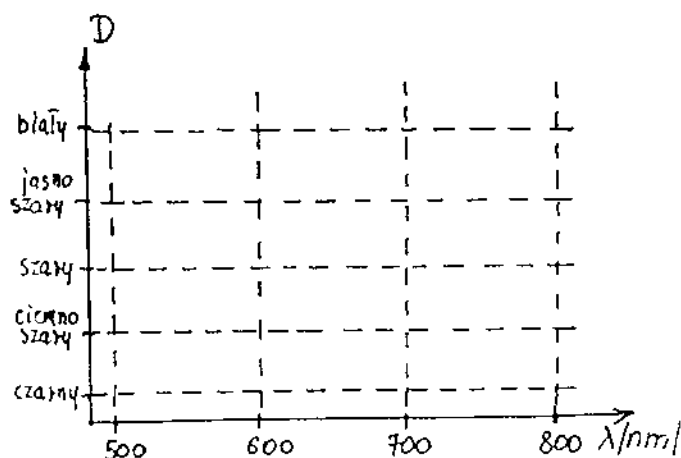
Zadanie do wykonania

Określić w 4 kanałach gęstości optyczne 3 zaznaczonych na pierwszym zdjęciu obiektów, nanieść je na załączoną tabelę, wykreślić krzywe odbicia spektralnego i przez porównanie ich z charakterystykami spektralnymi podanymi uprzednio określić rodzaj obiektów terenowych.

Obiekt 1 to

Obiekt 2 to

Obiekt 3 to



Rys. 32.



Rys. 33. Zestaw zdjęć wielospektralnych wykonanych kamerą MSK-4 (multispektralna kamera 4-kanalowa) rejestrującą obrazy na filmie w pasinach 500, 600, 700 i 800 nm (tj. w przedziale 0,0005 - 0,0008 nm).

5.14 ĆWICZENIE III: OBSERWACJE STEREOSKOPOWE OKIEM NIEUZBROJONYM

5.14.1 Wprowadzenie

Obserwacje stereoskopowe dają nam odczucie głębi dzięki czemu znacznie podnosi się wiarygodność, dokładność i kompletność opracowania zdjęć.

Opanowanie umiejętności stereoskopowego widzenia bez potrzeby korzystania z instrumentów może się okazać wielce przydatne i to nie tylko dla fotogrametrów i fotointerpretatorów.

5.14.2 Cel ćwiczenia

- Zaprezentować i omówić 2 metody uzyskiwania efektu stereoskopowego okiem nieuzbrojonym oraz nauczyć w jaki sposób wykorzystuje się je w praktyce,
- Przedstawić sposoby obserwacji stereoskopowych okiem nieuzbrojonym zdjęć wielkoformatowych,
- Wyjaśnić pojęcie efektu ortoskopowego (normalnego) i pseudoskopowego (odwrotnego) oraz nauczyć sposobu ich otrzymywania i praktycznego wykorzystania,
- Wyjaśnić istotę i rolę ostrości stereoskopowego widzenia i przeciwżyć sposób jej wyznaczenia,
- Pokazać różnicę oceny odległości w widzeniu 2- ocznym i 1- ocznym,
- W oparciu o wyznaczoną praktycznie ostrość stereoskopowego widzenia wyznaczyć zasięg stereoskopowego widzenia, metody jego zwiększenia i błędy w ocenie odległości.

5.14.3 Wzory do wykorzystania

1) Ostrość stereoskopowego widzenia

$$\Delta\gamma = \frac{\Delta D \cdot b \cdot \rho}{D^2} \quad (\text{wzór 13})$$

2) Błąd oceny odległości

$$\Delta D = \frac{\Delta\gamma \cdot D^2}{b \cdot \rho} \quad (\text{wzór 14})$$

3) Zasięg stereoskopowego widzenia

$$D_{gr} = nv \frac{b \cdot \rho}{\Delta\gamma} \quad (\text{wzór 15})$$

Oznaczenia: b - baza oczna
 D - odległość obserwacji
 nv - płytyka całkowita
 /n - krotność bazy ocznej/
 /v - powiększenie układu/

5.14.4 Przykłady

Jeśli z odległości $D = 5$ m. obserwator uzyska błąd oceny odległości $D = \pm 10$ mm to jego ostrość stereoskopowego widzenia $\Delta\gamma = \frac{10 \text{ mm} \cdot 65 \text{ mm} \cdot 206265}{(5 \text{ m})^2} = 5,4''$ / b.dobra! /

Dla tej wartości $\Delta\gamma$ z wzoru na $\Delta D = \frac{\Delta\gamma \cdot D^2}{b \cdot \rho}$ otrzymamy następujące błędy oceny odległości ΔD

Tabela 3

D	ΔD
100 m	± 4 m
10 m	± 4 cm
1 m	$\pm 0,4$ mm
25 cm	$\pm 0,025$ mm

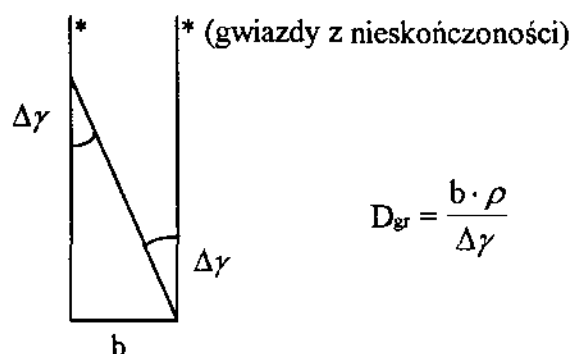
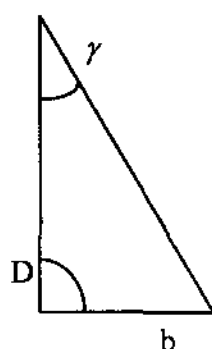
Zasięg stereoskopowego widzenia obliczony z wzoru $D_{gr} = nv \frac{b \cdot \rho}{\Delta \gamma}$ wyniesie odpowiednio:

$D_{gr} = 2,5$ km - oko nieuzbrojone

$D_{gr} = 25$ km - lornetka $5^{\times}$ o bazie 130 mm ($v = 5$, $n = 2$)

$D_{gr} = 500$ km - dalmierz artyleryjski $10^{\times}$ o bazie 1 300 mm ($v = 10$, $n = 20$)

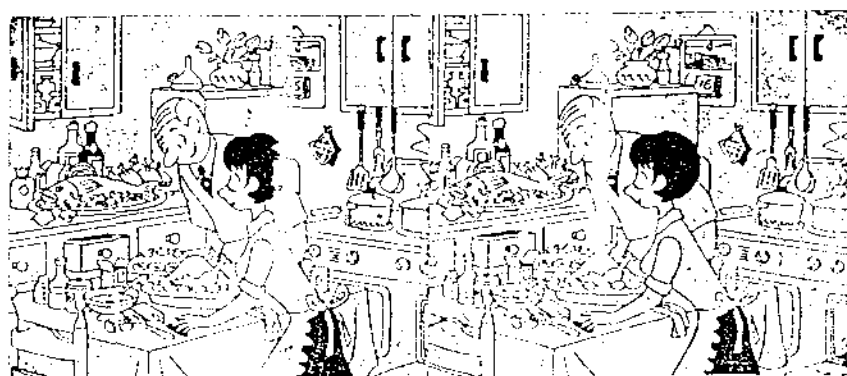
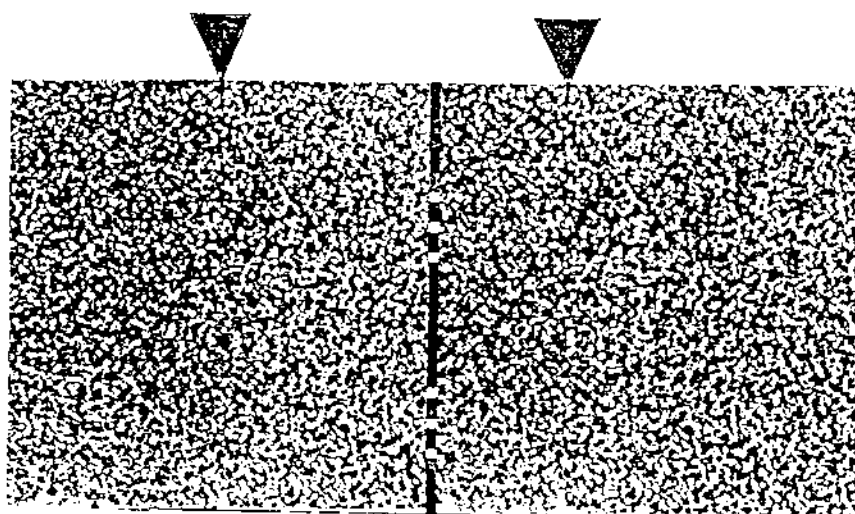
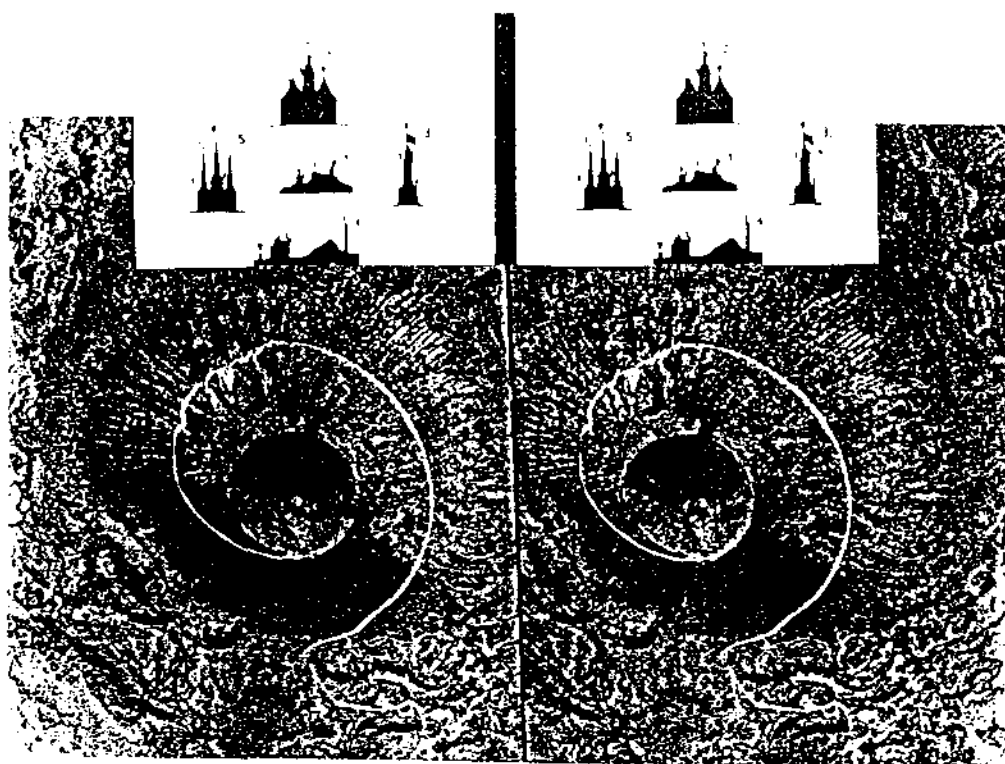
Wyprowadzenie wzorów (tylko dla dociekliwych)

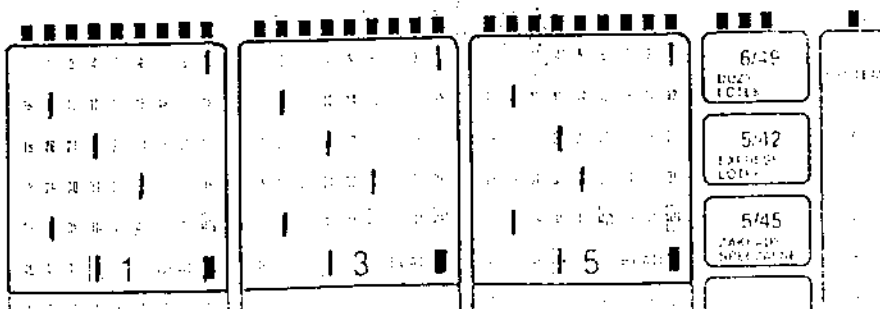
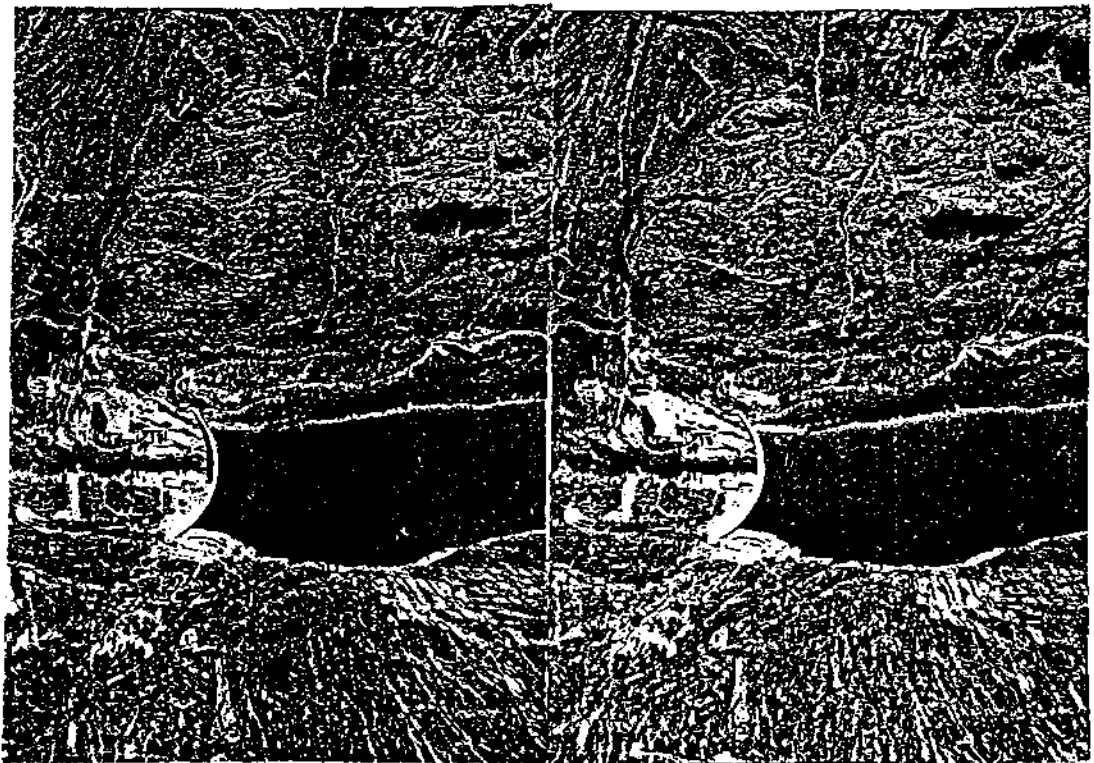
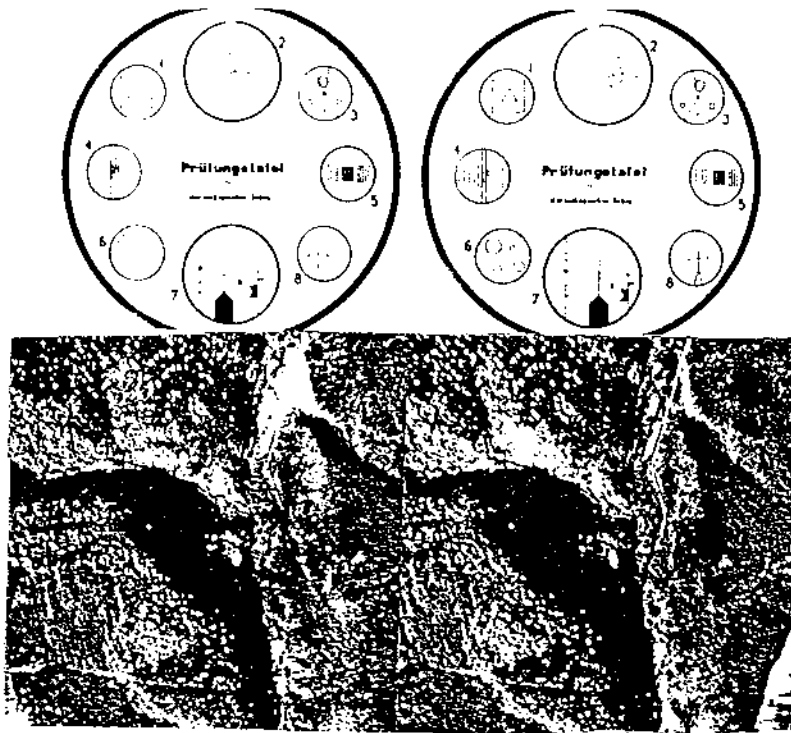


$$D_{gr} = \frac{b \cdot \rho}{\Delta \gamma}$$

$$\frac{b}{D} = \operatorname{tg} \gamma \cong \frac{\gamma}{\rho}, \quad D = \frac{b \cdot \rho}{\gamma}, \quad \Delta D = -\frac{b \cdot \rho}{\gamma^2} \Delta \gamma \text{ po podstawieniu do tego wzoru w miejsce}$$

γ wartości $\frac{b \cdot \rho}{D}$ wyznaczonej z wzoru na D otrzymamy podane powyżej wzory na $\Delta \gamma$ i ΔD .





6. WYKONYWANIE ZDJĘĆ LOTNICZYCH, PODSTAWY FOTOGRAFII I FOTOGRAMETRII

Adam Boroń, Regina Tokarczyk

6.1 ELEMENTY FOTOGRAFII I FOTOCHEMII, MATERIAŁY ŚWIATŁOCZUŁE, REPRODUKCJA FOTOGRAFICZNA

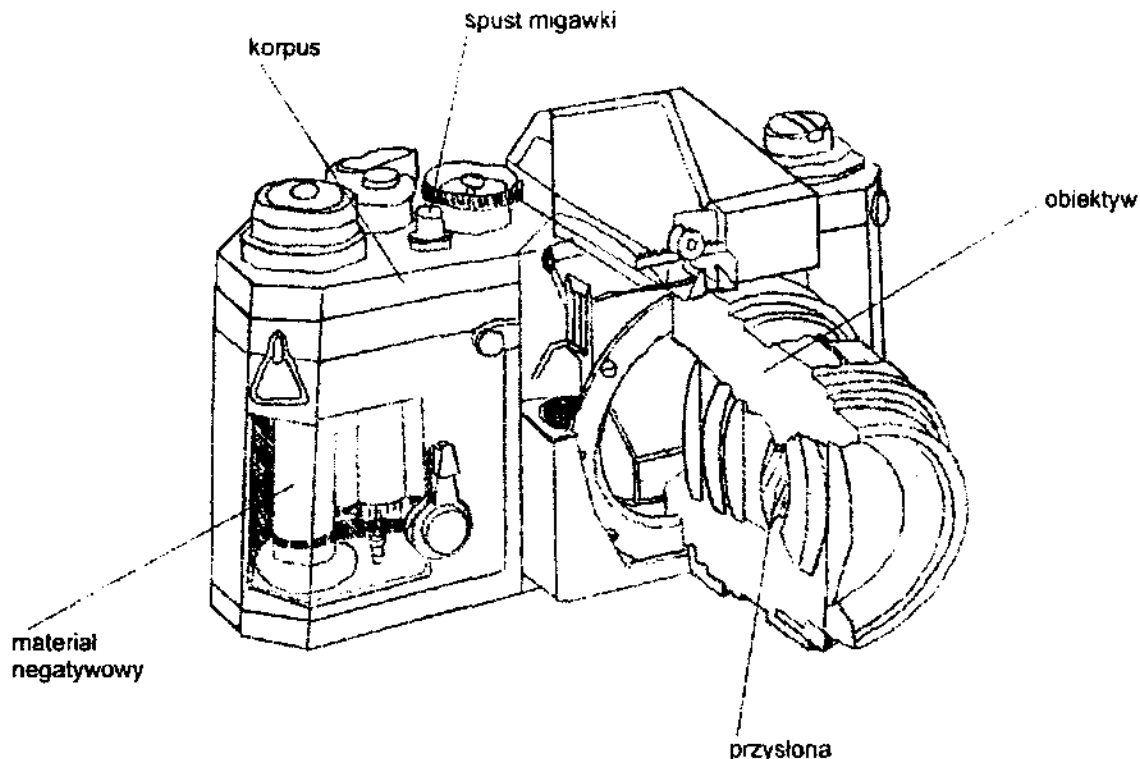
6.1.1 Zasada powstawania obrazu w kamerze fotograficznej

Klasyczną fotografię czarno-białą zapoczątkowały w pierwszej połowie XIX w. odkrycia N. Niepce'a, F. Talbota i L. Daguerre'a, chociaż już kilkanaście stuleci wcześniej Arabowie używali tzw. *camera obscura* do obserwacji ruchów ciał niebieskich, a znana była ona też w czasach Arystotelesa.

Ten prototyp aparatu fotograficznego był światłoszczelną drewnianą skrzynką z otworem w jednej ze ścian. Wpadające przez ten otwór promienie świetlne załamywały się i na przeciwległej ścianie tworzyły obraz pomniejszony i odwrócony. Aby go zarejestrować, ściankę zamieniono na matową szybę i przykładając doń pergamin przerysowywano obserwowany obraz.

Z biegiem czasu w otwór wstawiono szklany obiektyw, w celu otrzymywania na matówce nie odwróconego obrazu wykorzystano na drodze promieni świetlnych lustro, a rejestracji obrazu dokonywano wykorzystując różne metody chemiczne, z których po obecne czasy utrzymała się metoda oparta na związkach srebra.

Współczesny aparat fotograficzny składa się z podobnych podstawowych części jak jego dziewiętnastowieczny przodek. Są to (rys.1):



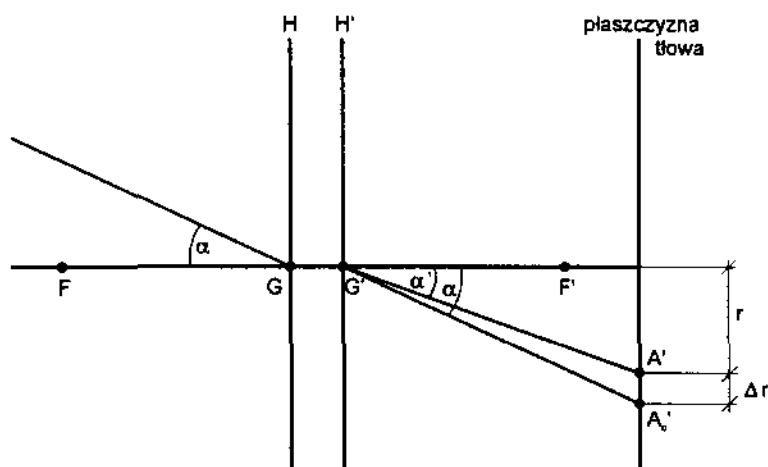
Rys. 1. Główne części aparatu fotograficznego

obudowa tworząca ciemnię optyczną z umieszczonym w niej na stałe lub wymiennie obiektywem z przysłoną, urządzenie do podtrzymywania materiału negatywowego, mechanizm dozujący światło - migawka.

Dla wygody użytkownika i ułatwienia procesu fotografowania obecne aparaty wyposażone są też w szereg innych mechanizmów jak np.: urządzenie do kontroli ostrości obrazu lub jej automatycznego nastawiania, licznik zdjęć, samowyzwalacz, światłomierz, lampa błyskowa.

Proces fotografowania w najnowszych aparatach ograniczyć się może do najprostszych czynności: wycelowania na obiekt okienkiem kadrującym i naciśnięcia spustu migawki.

Podstawową częścią aparatu pozostaje nadal obiektyw, w którego układ wchodzi odpowiednia liczba dobranych ze sobą soczewek. Z punktu widzenia teoretycznego obiektyw jest układem osiowym kulistych powierzchni łamiących. Warunkiem dodatkowym jest, by środki krzywizn powierzchni ograniczających taki układ leżały na prostej zwanej osią układu. Obiektyw dzieli przestrzeń na dwie części: na część, w której będzie leżeć przedmiot - zwaną przestrzenią przedmiotową oraz na część, w której będzie leżeć obraz przedmiotu - przestrzeń obrazową. Spośród sprzężonych wzajemnie płaszczyzn przestrzeni przedmiotowej i obrazowej te dwie płaszczyzny prostopadłe do osi, którym odpowiada poprzeczne powiększenie liniowe równe jedności nazywają się płaszczyznami głównymi układu H i H' , zaś punkty ich przecięcia z osią układu - punktami głównymi układu G i G' (rys.2). Punkty te są środkami rzutów odpowiednio dla przestrzeni przedmiotowej i obrazowej.



Rys. 2. Tworzenie obrazu przez obiektyw

Promienie biegnący w części przedmiotowej równoległe do osi obiektywu przecina ją w jego części obrazowej w punkcie zwanym ogniskiem obrazowym F' . Jego odpowiednikiem w części przedmiotowej jest ognisko przedmiotowe F , to jest taki punkt na osi w części przedmiotowej, z którego wychodzące promienie po przejściu przez obiektyw biegą równoległe. Dla ośrodków jednorodnych w przestrzeni przedmiotowej i obrazowej odległości FG i $F'G'$ są równe.

Punktowi znajdującemu się w przestrzeni przedmiotowej odpowiada zgodnie z tzw. równaniem soczewki:

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{y} = \frac{1}{f} \quad (\text{wzór 1})$$

gdzie:

x - odległość punktu do płaszczyzny głównej przedmiotowej,

- y- odległość jego obrazu od płaszczyzny głównej obrazowej,
- f- ogniskowa układu, tylko jeden punkt w przestrzeni obrazowej.

Zatem zgodnie z tym równaniem ostry obraz w dowolnej płaszczyźnie w przestrzeni obrazowej można otrzymać tylko dla punktów znajdujących się w jednej płaszczyźnie przedmiotowej, prostopadłej do osi układu.

Jednak na skutek tzw. aberracji promienie wychodzące od jednego punktu w przestrzeni przedmiotowej nie przecinają się w jednym punkcie w przestrzeni obrazowej.

Aberracje podzielić możemy na aberracje monochromatyczne, do których zaliczyć możemy: aberrację sferyczną, błąd komy, astygmatyzm, krzywiznę pola i dystorsję, oraz aberracje chromatyczne - objawiające się w postaci chromatyzmu położenia i chromatyzmu powiększenia. Błędy te będą nam w zależności od stopnia doskonałości obiektywu wprowadzać zakłócenia w obrazie.

Wiele spośród wymienionych błędów można wyeliminować w stopniu prawie doskonałym, niektóre będą pozostawać, obniżając dokładność odwzorowania.

Do tego rodzaju błędów należy dystorsja, która jest aberracją wpływającą na położenie obrazów pozaosiowych, spowodowaną przez fakt, że obiekty o różnych odległościach kątowych od osi doznają różnych powiększeń.

Wbudowane w obiektyw przysłony (diafragmy) zwykle w układach optycznych miały na celu ograniczenie promieni pozaosiowych, ponieważ to do wiązki przyosiowej odnoszą się prawa klasycznej optyki geometrycznej. Obiektywy stosowane w fotografii i fotogrametrii nie korzystają z wiązki przyosiowej. Przysłona służy tu raczej do dozowania ilości światła, a jej zasadniczą rolą jest sterowanie głębią ostrości. Miara wielkości przysłony jest otwór względny, to jest odwrotność stosunku odległości obrazowej do średnicy źrenicy wejściowej obiektywu, czyli wielkości średnicy przysłony widzianej przez obiektyw.

W praktyce wielkość otworu względnego na podziałce przysłony jest podana nie dla odległości obrazowej, a dla ogniskowej układu, zatem jest słuszna dla fotografowania z dużych odległości.

Głębia ostrości to część przestrzeni przedmiotowej, której obraz oceniany jest jako ostry na zdjęciu, jest to praktyczne złagodzenie restrykcyjnego równania soczewki. Działanie głębi ostrości powoduje, że oceniamy jako ostre na płaszczyźnie obrazowej również te punkty, które znajdują się przed i za płaszczyzną przedmiotową, sprzężoną z obrazową równaniem soczewki. Dzieje się to dzięki naszej tolerancji na postrzeganie wielkości punktu, jeśli jest on dostatecznie mały, to zmiana jego wielkości jest niezauważalna. Przyjmuje się, że jako punkt postrzegamy krążek o średnicy 0,07 mm, co odpowiada w aparatach małoobrazkowych 1/3000 długości ogniskowej obiektywu. Wielkość głębi ostrości jest uzależniona wprost proporcjonalnie od odległości nastawienia na ostro (odległości przedmiotowej) i od wielkości liczby przysłony, a odwrotnie proporcjonalnie od długości ogniskowej układu.

Aby poprawnie sfotografować jakiś obiekt należy jego obraz nastawić „na ostro”, to jest do odległości przedmiotowej dostosować obrazową zgodnie z równaniem soczewki.

Problem ten jest rozwiązywany w kamerach fotograficznych różnymi sposobami. W aparatach fotograficznych typu ślepego na korpusie obiektywu znajduje się podziałka odległości, nastawianie na ostro odbywa się przez nastawienie na niej odległości do przedmiotu ocenionej „na oko”. Innym rozwiązaniem jest sprzężenie ruchu obiektywu z dalmierzem dwuobrazowym, w okienku dalmierczym aparatu nastawiamy poprawny obraz fotografowanego przedmiotu - obiektyw równocześnie ustawia się we właściwej odległości obrazowej.

W lustrzankach jedno- lub dwuobiektywowych dokonujemy kontroli ostrego obrazu na matówce, na którą rzutowany jest obraz przekazywany przez obiektyw za pomocą lustra, przy czym w lustrzankach dwuobiektywowych mamy do czynienia z dwoma bliźniaczymi obiektywami: jeden służy do przekazywania obrazu na matówkę, zaś drugi do fotografowania.

W starych atelierowych aparatach fotograficznych kontrola ostrości dokonywana była na matówce ustawianej w płaszczyźnie obrazowej, w jej miejsce umieszczano potem materiał negatywowy.

6.1.2 Rejestracja fotograficzna

W 1838 r. Francuzi Daguerre i Niepce po raz pierwszy zarejestrowali obraz z *camera obscura*. Pokrywali oni miedziane i posrebrzane płyty emulsją światłoczułą złożoną z bromku i jodku srebra, po naświetleniu obraz wywoływany był za pomocą rtęci i utrwalany wodnym roztworem cyjanku potasu. Obraz taki nazwany dagerotypem nie dał się powielić i co ciekawe, był odbiciem zwierciadlanym.

W tym samym czasie co Daguerre, Anglik F. Talbot opracował metodę kalotypii, będącą podstawą współczesnej czarno-białej fotografii. Obraz zarejestrowany na płytach szklanych pokrytych emulsją zawierającą związki srebra był negatywem, z którego można było sporządzać wiele kopii na szkło lub pokrytym emulsją papierze. Wadą kalotypii jak i opracowanej nieco później, bo w 1850 r. przez Le Gray'a i S. Archera metody kolodionowej była nietrwałość emulsji negatywów co powodowało, że należało je sporządzać bezpośrednio przed naświetlaniem.

Do udoskonaleń kalotypii i metody kolodionowej przyczyniły się wynalazki angielskiego lekarza R.L.Maddoxa i niemieckiego chemika H.W.Vogla, które umożliwiły fotografowanie na trwałych i suchych płytach szklanych, natomiast Amerykanie: H.Goodwin i G.Eastman wprowadzili do fotografii negatywy o podłożu nietłukącym - były to błony taśmowe celuloidowe.

Od czasów tych pierwszych odkryć fotochemia poczyniła kolosalne postępy, współczesne czarno-białe materiały fotograficzne mają szeroki zakres czułości na światło o różnych długościach fali, dają doskonały ostry i (jeśli taka potrzeba) drobnoziarnisty obraz, podłożem mogą być trwałe i nie deformujące się materiały plastyczne. Rozwinęła się również fotografia barwna, która zaczyna wypierać klasyczne techniki czarno-białe i być może dla tych ostatnich pozostanie tylko fotografia artystyczna.

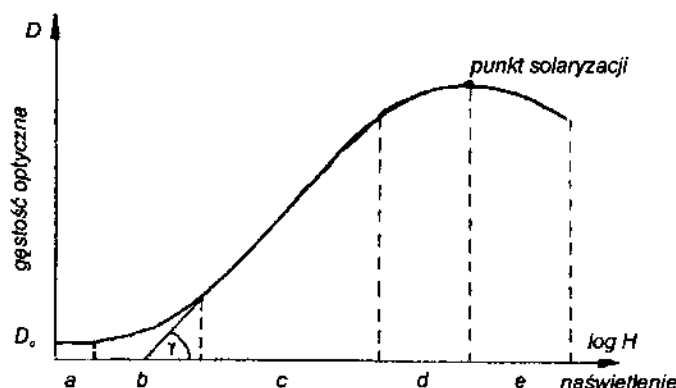
Materiał fotograficzny zbudowany jest z kilku warstw. Zewnętrzna cienka warstwa żelatyny ma za zadanie chronić następną warstwę emulsji przed uszkodzeniami mechanicznymi. Emulsja fotograficzna rozproszona jest po podłożu, które może być przezroczyste (szkło, folia poliestrowa) lub nieprzezroczyste (papier lub nieprzezroczysta folia). Niektóre materiały fotograficzne posiadają warstwę preparacyjną, ułatwiającą wiązanie emulsji z podłożem. W przypadku papierów fotograficznych jej rolę pełni warstwa barytowa. Spodnią warstwą materiałów przezroczystych jest warstwa przeciwodblaskowa.

Emulsja fotograficzna czarno-biała jest zawiesiną w żelatynie chlorków, bromków i jodków srebra (halogenków). Pod wpływem światła i wywoływacza ulegają one rozkładowi na drobne ziarenka srebra, przy czym ilość wydzielającego się srebra jest proporcjonalna do energii fotonów światła.

Najważniejszą cechą charakteryzującą emulsję fotograficzną jest jej światłoczułość czyli zdolność reagowania na światło. Wiązania jonowe między atomami w strukturze krystalicznej halogenków pod wpływem energii fotonu światła zostają osłabione (zobojętnione), dzieje się to szczególnie intensywnie w takich miejscach, gdzie występują defekty w budowie przestrzennej sieci związków srebra. Proces ten powoduje powstanie tak zwanego obrazu utajonego, wizualizacja fotografowanego obiektu następuje dopiero po chemicznej reakcji halogenków z wywoływaczem.

Zaczernienie obrazu fotograficznego jest proporcjonalne do jego naświetlenia, ale ta proporcjonalność nie zawsze jest liniowa. W procesie zwanym sensytmetrią bada się cechy

emulsji poprzez pomiar gęstości optycznej materiału fotograficznego naświetlonego przez klin optyczny o zmiennych stopniach szarości. Pozwala to na sporządzenie wykresu krzywej charakterystycznej emulsji (rys.3).



Rys. 3. Krzywa charakterystyczna emulsji fotograficznej

Naświetleniu ($\log H$) odpowiada na pionowej osi wykresu gęstość optyczna materiału (D), zgodnie z zależnością $D = f(\log H)$.

Krzywa charakterystyczna emulsji zaczyna się odcinkiem równoległym do $\log H$, przy stałej niezerowej wartości D_0 zwanej gęstością optyczną zadymienia. Równoległość tego odcinka oznacza, że wzrost naświetlenia nie powoduje początkowo w emulsji przyrostu zaczernienia, a wartość D_0 spowodowana jest tylko procesem redukcji halogenków. Zadymienie jest równomierne na całej powierzchni materiału. Tam, gdzie zaczyna się granica przyrostu zaczernienia przy zwiększonym naświetleniu znajduje się punkt zwany progiem zaczernienia, za nim przebiega nieliniowy odcinek niedoświetleń. Najważniejszym odcinkiem krzywej jest prostoliniowy odcinek naświetleń użytecznych, mówi nam on o przydatności danej emulsji do fotografowania. Po nim następuje wypukły odcinek prześwietleń, którego maksimum określa punkt solaryzacji, po przekroczeniu którego wzrostowi naświetlenia towarzyszy spadek zaczernienia. Zjawisko solaryzacji dotyczy tylko emulsji materiałów negatywowych, dla pozytywów za punktem największej gęstości optycznej ciągnie się odcinek równoległy do osi $\log H$.

Światłoczułość wyraża się w umownej skali stopni czułości, na podstawie ustalonego pomiaru, odpowiadającego normie w danym kraju. Skale światłoczułości dzieli się na dwie grupy: arytmetyczną i logarytmiczną. Arytmetyczna oznacza, że jej wskaźniki są wyrazami postępu geometrycznego, którego ilorazami są zwykle $\sqrt{2}$ lub 1,25. W skali logarytmicznej wskaźniki są logarytmami czułości pomnożonymi nieraz przez jakąś liczbę. Do najbardziej rozpowszechnionych należą skale światłoczułości: DIN, ASA, BSI (logarytmiczne), GOST, Weston, ISO (arytmetyczne).

Podana przez producenta światłoczułość materiału fotograficznego pozwala ustalić czas jego naświetlania, umożliwiając to światłomierze będące odrębnymi urządzeniami, bądź częściami kamery fotograficznej. Ustala się czas odpowiadający wartości liczby przysłony, która z kolei dominująco wpływa na wielkość głębi ostrości.

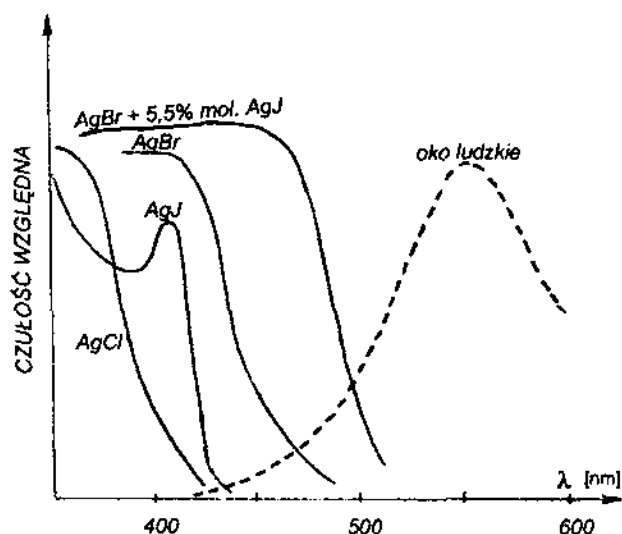
Oprócz światłoczułości emulsję charakteryzuje jeszcze kontrastowość, która jest zdolnością emulsji do oddawania kontrastów fotografowanego obiektu czyli gradacji stopni jego szarości.

Miarą kontrastowości jest γ , jest to tangens kąta nachylenia prostoliniowego odcinka wykresu charakterystyki emulsji. Długość rzutu tego odcinka na oś $\log H$ nazywa się użyteczną rozpiętością naświetleń i świadczy o tolerancji danego materiału na naświetlanie.

W procesie pomiaru sensytometrycznego danego materiału wyznaczana jest też jego barwoczułość czyli zdolność reagowania emulsji na światło o różnych długościach fal.

Oko ludzkie rozróżnia różne długości fal promieniowania elektromagnetycznego czyli widzi barwy, ale niektóre z nich postrzega jako jaśniejsze, inne jako ciemniejsze. Pożądane byłoby, aby obraz fotograficzny czarno-biały oddawał jasność barw zgodnie z okiem ludzkim.

Tymczasem halogenki reagują na światło o długości fali tylko w wąskim zakresie, generalnie na kolor fioletowy i niebieski (rys.4).



Rys. 4. Czułość halogenków srebra i oka ludzkiego

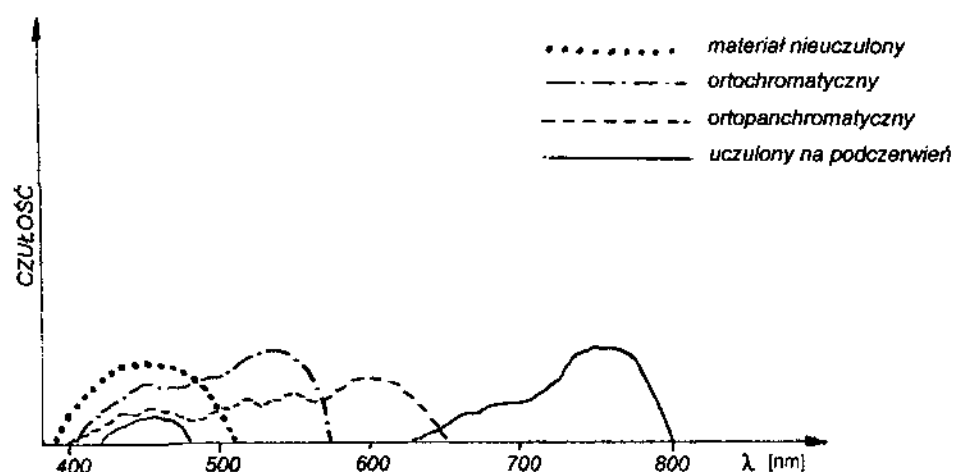
Uczulenie emulsji na barwy dokonuje się przez dodanie do niej pewnych barwników optycznych - sensybilizatorów. Z punktu widzenia barwoczułości czarno-białe materiały fotograficzne dzielą się na:

- ślepe - działające w zakresie światła fioletowego i niebieskiego, służące do fotografowania obiektów czarno-białych,
- ortochromatyczne - czułe na długości fal do koloru czerwonego,
- panchromatyczne - dzielące się na ortopanchromatyczne odpowiadające barwoczułości oka ludzkiego i superpanchromatyczne, szczególnie uczulone na światło czerwone,
- specjalne - do fotografowania w podczerwieni, w zakresie fal rentgenowskich itp.

Zakresy spektralne różnych materiałów przedstawiono na rysunku 5.

Początki fotografii kolorowej sięgają 1936 roku, kiedy to w firmie Agfa opracowano pionierską metodę robienia zdjęć na diapozytywowym filmie barwnym. W 1942 r. chemik Agfy Rath zaprezentował na posiedzeniu Niemieckiego Towarzystwa Badań Fotograficznych pierwsze powiększenia barwne.

Fotografia barwna opiera się na dwu metodach: subtraktywnej i addytywnej. Metoda addytywna umożliwiała powstawanie tylko przezroczy barwnych i została całkowicie wyparta przez metodę subtraktywną, opierającą się na odejmowaniu barw.



Rys. 5. Czułość różnych czarno-białych materiałów fotograficznych

Negatywowy barwny materiał światłoczuły składa się z trzech warstw emulsji, uczulonych na barwy podstawowe: czerwoną, zieloną i niebieską. Po naświetleniu i obróbce fotochemicznej warstwy zabarwiają się na kolory dopełniające; przykładowo warstwa uczulona na kolor czerwony zabarwiona zostaje na kolor niebieskozielony, warstwa uczulona na kolor niebieski zabarwia się na kolor żółty, uczulona na kolor zielony staje się czerwona. Taki trójwarstwowy negatyw służy do sporządzenia na papierze lub błonie pozytywu, w którym następuje na tej samej zasadzie co w przypadku barwnego negatywu powtórne odwrócenie barw - w wyniku czego dostajemy obraz w barwach naturalnych. Materiały barwne dające obraz w barwach zafalszowanych nazywają się spektrostrefowymi. Jedną z warstw takiego materiału jest warstwa uczulona na podczerwień, która zastępuje dowolną z trzech warstw światła widzialnego.

Proces otrzymywania kolorowych negatywów, diapoztywów czy pozytywów jest procesem bardzo skomplikowanym, toteż fotografia barwna jest kosztowniejsza niż czarno-biała, jednak coraz powszechniej ją wypiera.

Jak już wspomniano, obraz utajony zostaje zwizualizowany w procesie wywoływania, naświetlenie jest tu niejako katalizatorem reakcji redukcji halogenków do metalicznego srebra. W miejscach silniej naświetlonych wydziela się go więcej, natomiast trzeba wspomnieć, że bez naświetlenia, a po wywołaniu reakcja redukcji jest możliwa, ale wymaga znacznie więcej czasu.

Podstawowym składnikiem wywoływacza jest substancja redukująca, jest to związek chemiczny łatwo oddający elektrony i sam ulegający utlenieniu. Podczas wywoływania w naświetlonej emulsji fotograficznej halogenki zostają zredukowane do metalicznego srebra, którego ziarna gromadzą się wokół centrów wywoławczych. Reduktory są substancjami organicznymi zawierającymi w swojej budowie benzen, najczęściej spotykanymi substancjami wywołującymi są: glicyna, hydrochinon, metol, amidol, fenidon, pirokatechina i inne.

Reduktor chroni przed utlenieniem tlenem znajdującym się w wodzie (jest ona składnikiem wywoływacza) substancja konserwująca, zwykle jest to siarczyn sodowy lub pirosiarczyn potasowy. Inny składnik wywoływacza - przyspieszcz, nadaje roztworowi odczyn zasadowy, bowiem w środowisku kwaśnym proces redukcji halogenków ulega znacznemu spowolnieniu.

Czwartym składnikiem jest substancja opóźniająca, której zadaniem jest zapobiegnięcie wydzieleniu się srebra w miejscach nienaświetlonych, jest to zwykle bromek potasowy.

Po wywołaniu w emulsji znajdują się skupiska metalicznego srebra, tworzące obraz negatywowo oraz nienaświetlone halogenki srebra. Gdyby teraz negatyw wystawić na działanie światła, zaczerniłby się równomiernie, bo resztki wywoływacza zadziałałyby na właśnie naświetlone pozostałe halogenki. Muszą one zatem być przed wystawieniem na światło usunięte, dzieje się to w procesie utrwalania. Poprzedza go krótkotrwałe wypłukanie wywoływacza z powierzchni negatywu. Utrwalacz - jest nim wodny roztwór tiosiarczanu sodowego z dodatkiem pirosiarczynu potasowego zamienia nierozpuszczalne w wodzie halogenki na związki rozpuszczalne, które w końcowym procesie płukania zostają usunięte z emulsji.

W wyniku procesu negatywowego w emulsji pozostaje w miejscach naświetlonych metaliczne srebro, zaś w miejscach nienaświetlonych - przezroczysta żelatyna.

W zależności od rodzaju wywoływacza można uzyskiwać różną jakość negatywów, wywoływaniem można do pewnego stopnia poprawić niektóre błędy popełnione przy naświetlaniu.

Przedstawiony powyżej proces negatywowo ma swój bardziej skomplikowany wariant, w wyniku którego można otrzymać czarno-białe przezrocze pozytywowe, ta procedura nazywa się procesem odwracalnym.

6.1.3 Reprodukacja fotograficzna

Naświetlony i wywołany negatyw służy do sporządzania kopii pozytywowych. Jeżeli złożymy ze sobą dwa materiały fotograficzne emulsją do siebie: negatyw i materiał jeszcze nie naświetlony, oświetlimy go tak, by światło padało od strony negatywu, to po procesie fotochemicznym otrzymamy pozytyw - odbitkę stykową. Odwrotnie niż na negatywie, miejsca jasne fotografowanego przedmiotu będą tu jasne, a tam, gdzie padało niewiele światła - ciemne. Odbitkę pozytywową można sporządzić na materiale o podłożu przezroczystym, otrzymujemy wtedy diapoztyw lub na materiale o podłożu nieprzezroczystym, zwykle papierowym.

Jak nadmieniono wcześniej papier fotograficzny w swojej budowie posiada następujące warstwy:

ochronną - nadaje materiałowi połysk, chroni emulsję przed uszkodzeniami mechanicznymi,

emulsję - jej cechy opisano w poprzednim podrozdziale,

warstwę barytową - wiąże emulsję z podłożem, nadaje papierowi barwę i strukturę powierzchni,

podłoże - charakteryzuje je jego grubość i cechy specjalne, powstające przez dodanie do papieru specjalnych substancji, mających na celu np. zapewnienie niekurczliwości czy niezwyklej trwałości.

Emulsja papierów różni się nieco od emulsji negatywów. Przede wszystkim ma znacznie mniejszą światłoczułość, ta cecha pozytywów jest bowiem nie tak istotna jak dla negatywów. W przypadku fotografowania obiektu światłoczułość materiału fotograficznego powinna być dość duża i znana, natomiast czas naświetlania papierów fotograficznych ustala się zwykle metodą prób, toteż producent podaje na jego opakowaniu tylko przybliżone określenie światłoczułości. Wykres krzywej charakterystycznej jest pozbawiony prostoliniowego odcinka naświetleń użytecznych, w punkcie maksymalnego naświetlenia zaczyna się odcinek prostej równoległej do osi $\log H$. Zatem niemożliwe jest idealne dopasowanie pozytywu do negatywu, optymalne jest dobranie do odcinka użytecznych naświetleń negatywu, tej samej długości i nachylenia odcinka papieru zawartego między progiem zaczernienia a maksimum naświetlenia.

Barwne pozytywy wykonywane są na materiałach o podobnej trójwarstwowej budowie jak negatywy, utworzony na nich obraz jest w barwach dopełniających w stosunku do barw negatywu.

Kopie pozytywowe sporządza się metodą stykową lub też przez powiększenie negatywu. Służą do tego powiększalniki i kamery reprodukcyjne. Różnią się one restrykcyjnością warunków geometrycznych i optycznych, jakie winny spełniać - kamery reprodukcyjne mają zapewnić idealne powiększenie pod względem jednorodności skali i jakości obrazu.

Przyrządy te są zbudowane z części optycznej - ruchomego obiektywu ze zmienną przysłoną, ramki na materiał negatywowo z systemem wypłaszczającym błony fotograficzne, stołu lub umocowania dla materiału pozytywowego. Płaszczyzna negatywu i pozytywu winny być do siebie równoległe, a prostopadłe do osi systemu optycznego. Przez zmianę odległości przedmiotowej zmienia się skalę powiększenia i dla zapewnienia ostrości dostosowuje się do niej odległość obrazową.

6.2 PODSTAWY FOTOGRAMETRII LOTNICZEJ

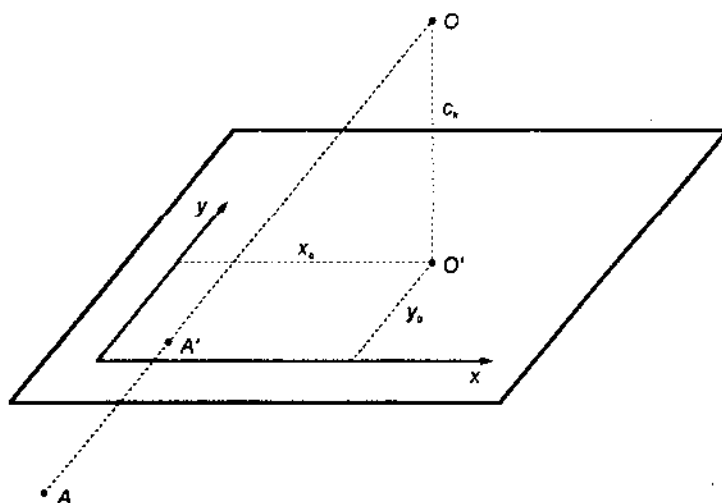
6.2.1 Zdjęcie fotograficzne jako rzut środkowy

Zapisany na negatywie lub pozytywie obraz fotograficzny jest nie tylko pamiątką ulotnej chwili, ale niejako bankiem informacji o obiektach fizycznych i ich otoczeniu.

Pozyskiwaniem takiej informacji ze zobrażeń (nie tylko fotograficznych) zajmują się dwie dziedziny nauk technicznych: fotogrametria i teledetekcja, przy czym fotogrametrię interesuje geometria obiektu i jego usytuowanie w przestrzeni.

Podstawy teoretyczne fotogrametrii opierają się na zasadach rzutu środkowego, za jaki uważa się zdjęcie fotograficzne.

Zasadnicze jego elementy to płaszczyzna rzutni i środek rzutów nie należący do niej (rys. 6).



Rys. 6. Rzut środkowy punktu i jego elementy w kamerze fotograficznej

Jednoznacznie rzut środkowy określa nam położenie środka rzutów względem rzutni, co określone może być przez odległość O od rzutni zwaną głębokością tłową oraz przez położenie rzutu prostokątnego tego punktu O' w dowolnym kartezjańskim układzie na rzutni. Rzut środkowy punktu (nie pokrywającego się z O) jest punktem przebiecia rzutni promieniem rzutującym zawierającym środek rzutów i rzutowany punkt. Jednemu punktowi przestrzeni odpowiada tylko jeden rzut środkowy, natomiast punkt będący rzutem środkowym może być odwzorowaniem nieskończonej ilości punktów znajdujących się na promieniu rzutującym.

Fizyczna realizacja rzutu środkowego wymaga dwu elementów: układu fizycznego, który zastępuje środek rzutów oraz płaskiego elementu, na którym można zarejestrować wią-

kę promieni rzutujących. Role te spełniają odpowiednio: obiektyw oraz materiał fotograficzny umieszczony w kamerze. Środkami rzutów są w obiektywie punkt główny przedmiotowy i obrazowy (rys.2). Chcąc wiernie odtworzyć wiązkę prostych o środku w punkcie G, zarejestrowaną jako zbiór punktów na płaszczyźnie ogniskowej lub do niej równoległej, należy najpierw dokonać odtworzenia tej wiązki w przestrzeni obrazowej, to jest zrealizować wiązkę prostych o środku w punkcie G'. Do tego celu konieczna jest znajomość odległości obrazowej i położenia rzutu ortogonalnego punktu G' na zdjęciu (Przyjęto w fotogrametrii oznaczać punkt główny przedmiotowy G jako O_p , obrazowy punkt główny obiektywu G' jako O_o , rzut ortogonalny O_o na płaszczyznę tłową jako O'). Konieczna jest też znajomość wartości błędów jakimi jest obciążony dany układ optyczny, a w szczególności błędu dystorsji.

Technicznym rozwiązaniem rzutu środkowego jest kamera fotogrametryczna. Wyróżnić w niej można dwa główne składniki wpływające bezpośrednio na formowanie obrazu: obiektyw i odpowiadająca rzutni płaszczyzna tłowa z umieszczonym w niej materiałem negatywowym, połączone sztywnym korpusem. Oprócz tego każda obecnie produkowana kamera to cały zespół dodatkowych, współpracujących ze sobą urządzeń służących do jej prawidłowego funkcjonowania oraz do nadania rejestrowanej wiązce cech jak najbardziej zbliżonych rozważaniom teoretycznym. Należy zdawać sobie sprawę z istniejących i niemożliwych do całkowitego wyeliminowania zakłóceń rzutu środkowego, głównymi ich źródłami są dystorsja obiektywu oraz deformacje materiału negatywowego: skurcz i niepłaskość. Ich minimalizacja lub ewentualnie dokładna znajomość jest środkiem zwiększania dokładności opracowań fotogrametrycznych.

Początki fotogrametrii sięgają drugiej połowy XIX wieku, zostały zainicjowane pracami francuskiego inżyniera A. Laussedat. Do rozwoju technik fotogrametrycznych przyczyniły się prace: S. Finsterwaldera, C. Pulfricha, E. Orela, T. Sheimpfluga i innych. Skonstruowano szereg typów kamer fotogrametrycznych, których celem była nie tylko poprawna z punktu widzenia geometrii rejestracja wiązki promieni rzutujących ale również możliwość usytuowania jej w przestrzeni. Do tego celu skonstruowano rozmaite urządzenia montowane w kamerze: orientowniki, libele.

Istnieją dwa typy kamer fotogrametrycznych: naziemne i lotnicze. Generalnie różnią się one między sobą ogniskowaniem (odległością obrazową) i urządzeniami do orientacji.

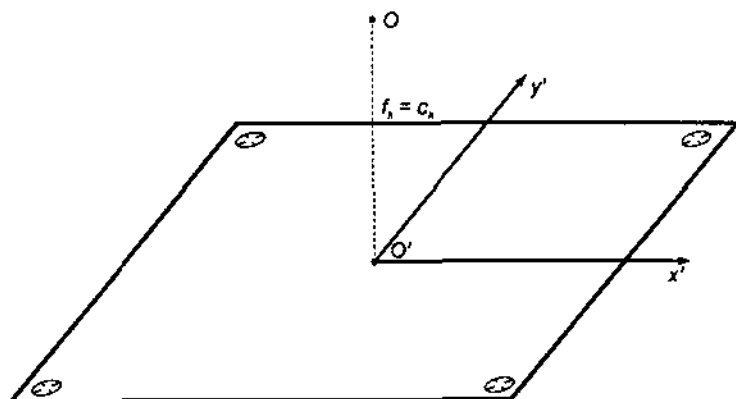
6.2.2 Elementy orientacji zdjęcia lotniczego

Elementy orientacji zdjęcia obejmują takie wielkości, które pozwalają na zrekonstruowanie wiązki promieni rzutujących oraz zorientowanie jej w przestrzeni w przyjętym układzie odniesienia.

Jak już wspomniano, odtworzenie wiązki umożliwia znajomość położenia środka rzutów względem rzutni, to jest jego odległość od niej oraz współrzędne w dowolnym płaskim prostokątnym układzie tzw. punktu głównego zdjęcia czyli rzutu prostokątnego środka rzutów na płaszczyznę tłową (rys.6). Środkiem rzutów jest tu punkt główny obrazowy obiektywu O_o . Te trzy wielkości nazywamy elementami orientacji wewnętrznej zdjęcia. Dla zdjęć wykonanych kamerą fotogrametryczną elementy te są znane i stabilne, toteż możemy tu mówić o elementach orientacji wewnętrznej kamery, odległość środka rzutów od rzutni (głębokość tłowa) nazywana jest stałą kamery. Prosta prostopadłą do płaszczyzny tłowej i przechodzącą przez środek rzutów nazywa się osią kamery.

Kamery lotnicze służą do fotografowania z bardzo dużych odległości, są ogniskowane na nieskończoność, zatem stała kamery - odległość obrazowa - jest prawie równa ogniskowej obiektywu. Materiał negatywowy w kamerze jest dociskany do ramki tłowej, w jej narożach lub na środkach boków znajdują się znaczki tłowe odfotografowywane na każdym zdjęciu,

łącznice ich tworzą układ ortogonalny. Konstrukcja tych kamer zapewnia przecinanie się łącznic znaczków w punkcie głównym każdego zdjęcia (rys. 7).



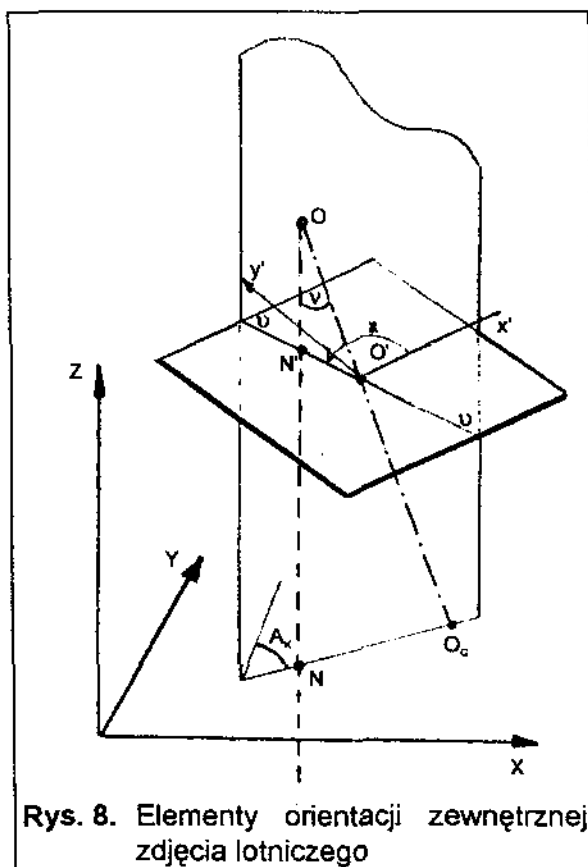
Rys. 7. Elementy orientacji wewnętrznej kamery lotniczej

Do charakterystyki kamery zalicza się również dystorsję obiektywu, ponieważ zaburza ona podstawowy warunek rzutowania - współliniowość środka rzutów, punktu przedmiotu i jego obrazu (rys. 2). Podawana jest ona zazwyczaj w postaci związku promienia radialnego r (odległości między punktem głównym zdjęcia a punktem obrazu) z liniową poprawką dystorsji Δr . Obiektywy kamer lotniczych mają bardzo małą dystorsję, dla większości opracowań może być ona zaniedbywana. Elementy orientacji wewnętrznej kamery wyznacza się w procesie pomiarowym zwanym kalibracją kamery.

Parametry pozwalające na umiejscowienie zrekonstruowanej wiązki w przestrzeni nazywają się elementami orientacji zewnętrznej zdjęcia. Są to: współrzędne środka rzutów w układzie odniesienia oraz trzy kąty orientujące wiązkę. Definicje kątów bywają różne, jeden z przypadków pokazano na rys. 8.

Przez środek rzutów zdjęcia poprowadzona jest prosta pionowa (równoległa do osi Z układu odniesienia). Kąt jaki tworzy z osią kamery to kąt nachylenia zdjęcia v , punkt przebiecia prostej pionowej z płaszczyzną zdjęcia nazywa się punktem nadirowym N' . Przez punkt główny zdjęcia O' i punkt nadirowy przechodzi prosta zwana linią największego spadku. Oś x układu na zdjęciu z linią największego spadku tworzy kąt skręcenia zdjęcia κ . Trzecim kątem orientacji jest azymut osi kamery A_k .

Można spotkać nieco inne zdefiniowanie elementów orientacji, na przykład przedstawienie kąta nachylenia za pomocą dwóch kątów składowych po rzutowaniu osi kamery na płaszczyznę XZ i YZ układu, oznacza się je w praktyce fotogrametrycznej ϕ i ω .



Rys. 8. Elementy orientacji zewnętrznej zdjęcia lotniczego

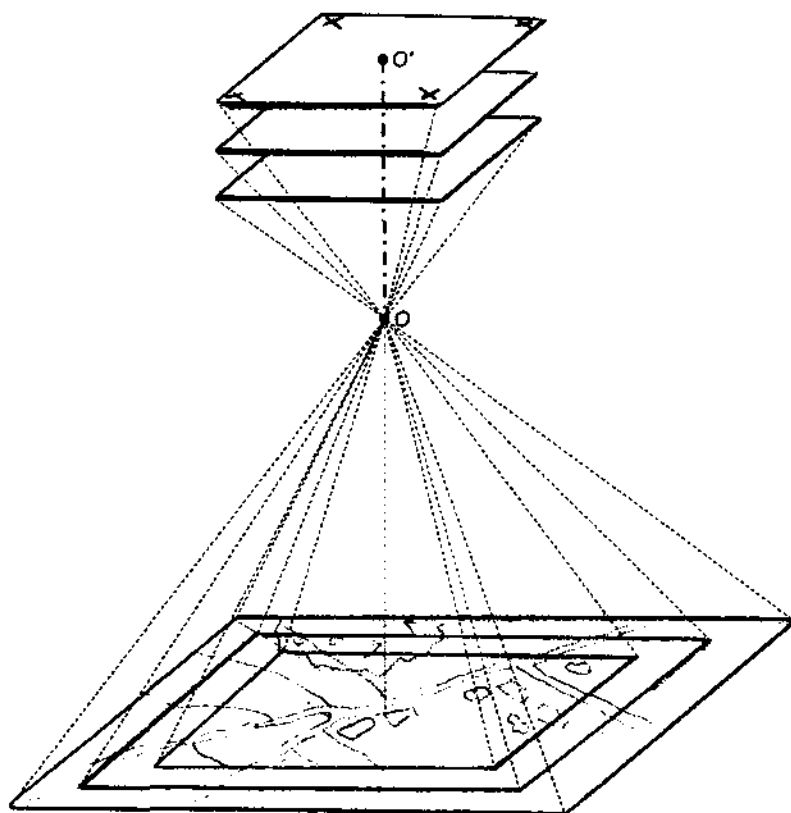
Na każdym zdjęciu oprócz znaczków tłowych odfotografowują się też obrazy pewnych wskaźników kamery, umieszczonych na bocznym panelu. Jest tam libela, której wskazanie pozwala na odczytanie kąta pochylenia zdjęcia, wysokościomierz umożliwiający znajomość przybliżenia współrzędnej Z środka rzutów, zegar wskazujący czas wykonania zdjęcia, numerator zdjęcia oraz oznaczenie rodzaju stożka kamery i ogniskowa jego obiektywu.

Kamery różnią się między sobą z punktu widzenia geometrii tworzonego obrazu przede wszystkim formatem zdjęć i stałą kamery. Weźmy pod uwagę najprostszy geometrycznie przypadek: fotografowany teren tworzy płaszczyznę, a oś kamery jest do niej prostopadła. Odcinek D w terenie odfotografuje się na zdjęciu jako d' w skali równej stosunkowi ogniskowej obiektywu do odległości fotografowania czyli wysokości lotu.

$$\frac{1}{m_z} = \frac{d'}{D} = \frac{f_k}{H} \quad (\text{wzór 2})$$

Jeśli skala ta będzie jednolita dla wszystkich odcinków, mówimy że zdjęcie ściśle pionowe terenu płaskiego jest fotomapą. Wielkość pola powierzchni odfotografowanego terenu równa jest powierzchni zdjęcia pomnożonej przez kwadrat mianownika jego skali, zatem na pewno jest zależna nie tylko od formatu zdjęcia ale również od stałej kamery i wysokości lotu.

Na rys.9 pokazano wpływ wielkości stałej kamery na pole powierzchni fotografowanego terenu i zarazem na jego skalę. Kąt jaki tworzą promienie biegnące od dwu przeciwległych punktów znajdujących się na styku ramki tłowej ze zdjęciem nazywa się kątem rozwarcia kamery; przy tym samym formacie ramki zależy on od stałej kamery. Kamery o większym kącie rozwarcia dają zdjęcia w większej skali i pokrywają większy obszar.



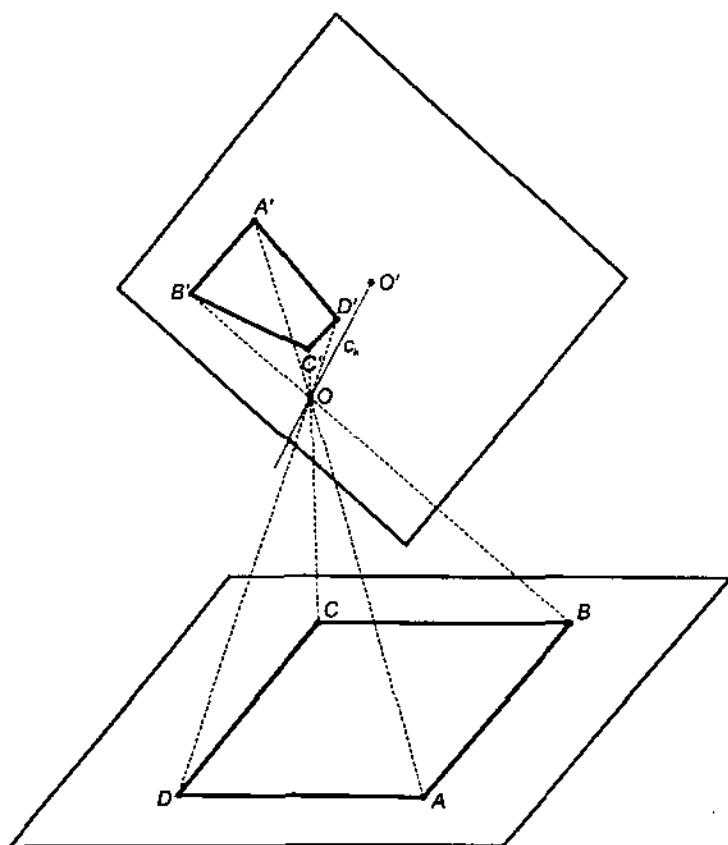
Rys. 9. Wpływ kąta rozwarcia kamery na wielkość odfotografowanego terenu

6.2.3 Zniekształcenia na zdjęciach spowodowane deniwelacją terenu i nachyleniem zdjęcia

Praktycznie zdjęcie lotnicze trudno jest wykonać jako ściśle pionowe i prostopadłe do terenu, a i terenu nie można uważać za płaszczyznę, a tylko taki przypadek powoduje, że rzut środkowy odpowiada rzutowi ortogonalnemu w skali f_k/H .

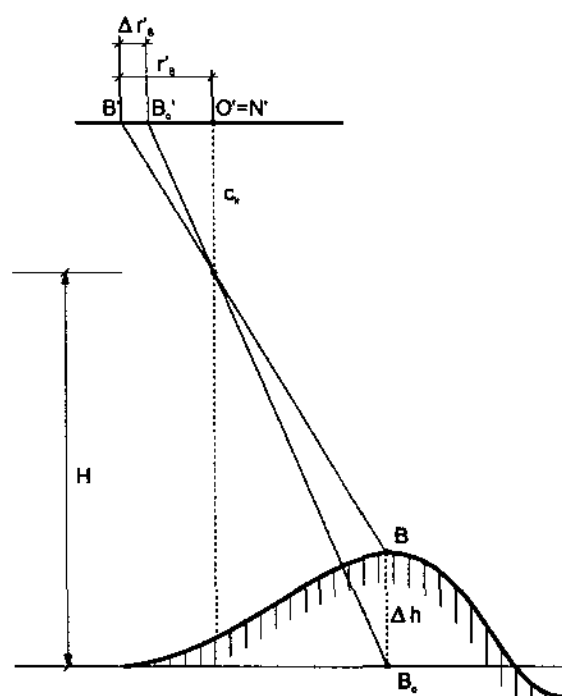
Zdjęcie nachylone nie ma jednolitej skali, ponieważ punkty terenu mają różne długości promieni rzutujących. Obraz punktu terenu jest zatem przesunięty w stosunku do obrazu, jaki powstałby na zdjęciu nie pochylonym, gdyby wykonano go z tego samego punktu O. Generalnie wielkość przesunięcia jest uzależniona od kąta nachylenia zdjęcia i położenia punktu na zdjęciu, a w szczególności od usytuowania w stosunku do tak zwanego punktu izocentrycznego zdjęcia I', będącego wynikiem przebiecia zdjęcia prostą dwusieczną kąta nachylenia zdjęcia.

Jeśli na zdjęciu nachylonym sfotografowana zostanie figura w terenie będąca kwadratem (rys.10), to zgodnie z zasadami rzutu środkowego odwzorowana zostanie jako czworobok, odcinek A'B' czworoboku zostanie odfotografowany w innej skali niż odcinek C'D'.



Rys. 10. Zniekształcenia na zdjęciu spowodowane jego nachyleniem

Na niejednorodność skali na zdjęciu wpływa też deniwelacja terenu, wysokość lotu jest inna dla różnie wysokościowo usytuowanych punktów. Jeżeli punkt B nie znajduje się na płaszczyźnie odniesienia, to jego obraz powstaje w innym miejscu niż w przypadku, gdyby na niej leżał (rys.11).



Rys.11. Wpływ deniwelacji terenu na przesunięcia punktów na zdjęciu

Wielkość tego przesunięcia:

$$\Delta r'_B = \frac{r'_B}{H} \Delta h \quad (\text{wzór 3})$$

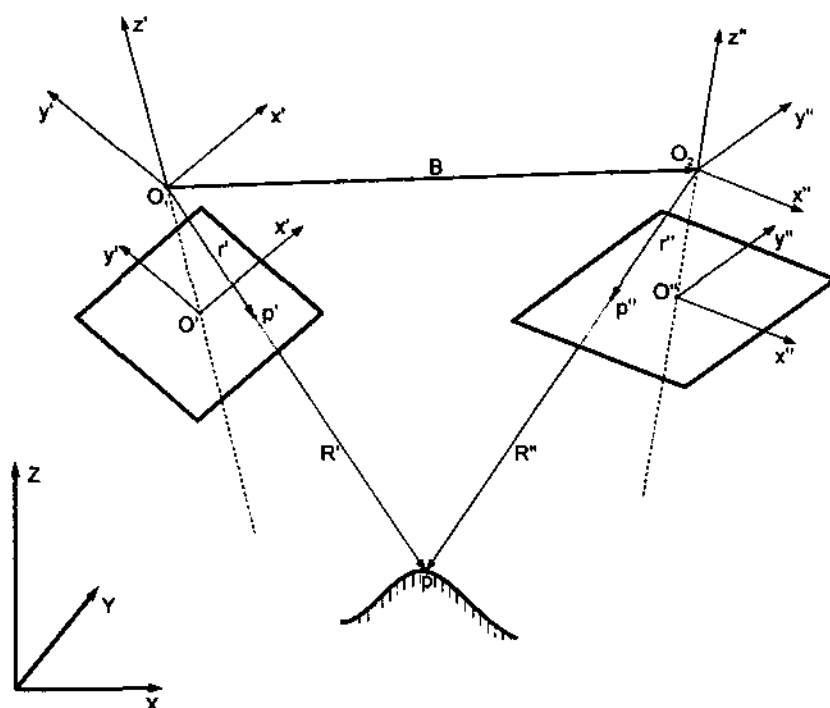
jest uzależniona od różnicy wysokości punktu i płaszczyzny odniesienia, wysokości lotu i położenia punktu na zdjęciu. Im dalej leżą punkty od środka zdjęcia (a konkretnie od punktu nadirowego pokrywającego się dla zdjęcia pionowego z punktem głównym), tym większy wpływ deniwelacji terenu.

Nachylenie zdjęcia i różnice wysokości punktów w terenie powodują więc zniekształcenia na zdjęciu, wszelkie pomiary na zdjęciu są obciążone ich wpływem. Tak więc zdjęcia lotniczego nie można traktować jako mapy sfotografowanego terenu, a jeśli już, to z dużym przybliżeniem.

6.2.4 Opracowanie mapy metodami fotogrametrii lotniczej

Z poprzednich rozważań wynika, że jedno zdjęcie nie dostarczy nam informacji o geometrii punktów terenu.

Przypomnieć należy, że zgodnie z zasadami rzutu środkowego nie można na podstawie rzutu punktu odtworzyć jego rzeczywistego położenia, znajomość orientacji zdjęcia pozwala na odtworzenie jedynie promienia rzutującego. Położenie punktu otrzymamy przecinając jego promień rzutujący innym promieniem rzutującym tego samego punktu, otrzymanym po zrekonstruowaniu wiązki z drugiego zdjęcia. Musi być ono wykonane z innego punktu przestrzeni.



Rys. 12. Rekonstrukcja wiązek dwu zdjęć lotniczych obejmujących ten sam teren

Na rys.12 przedstawiono rekonstrukcję wiązek dwu zdjęć lotniczych wykonanych z dwu różnych miejsc, na których znajdują się wspólne punkty terenu. O takich zdjęciach mówimy, że mają wspólne pokrycie. Zdjęcia przedstawione są w położeniu pozytywowym. Na płaszczyznach zdjęć wniesiono ich układy tłowe, mają one początek w punktach głównych zdjęć, a osie wyznaczają łącznice znaczków tłowych. Dla zdjęć pokazano również ich przestrzenne układy tłowe, te układy zaczynają się w środkach rzutów, osie x i y są równoległe do osi płaskich układów tłowych, osie z -ów biegną po osiach kamer. Jako układ odniesienia przyjęto dowolnie zaczepiony układ kartezjański XYZ .

Promienie rzutujące punktu P biegną przez środki rzutów i przebijają zdjęcia w swoich obrazach - rzutach P' i P'' . Wektor r łączący środek rzutów z obrazem punktu na zdjęciu leży w przestrzeni obrazowej, zaś wektor R łączący środek rzutów z punktem terenu leży w przestrzeni przedmiotowej. Są one współliniowe czyli kolinearne, różni je tylko skala:

$$r = \lambda R \quad (\text{wzór 4})$$

gdzie λ jest współczynnikiem skali.

Od środka rzutów zdjęcia pierwszego O' do środka rzutów zdjęcia drugiego biegnie wektor bazy B . Trzy wektory: r' , r'' i B leżą w jednej płaszczyźnie co oznacza, że ich iloczyn mieszany jest równy zero:

$$(r' \times r'') \cdot B = 0 \quad (\text{wzór 5})$$

Te dwa wzory zwane w fotogrametrii warunkami kolinearności i komplanarności są podstawowym matematycznym sformułowaniem fotogrametrycznego wcięcia w przód, w wyniku którego otrzymamy przestrzenne usytuowanie punktu obiektu.

Zapis wektorowy warunków jest bardzo prosty, ale należy pamiętać, że jeśli wykonujemy jakieś działania na wektorach - muszą one być w tym samym układzie. Wymusza to wyrażenie wektorów rzutowania punktu w pewnym wspólnym układzie, nie musi to być układ odniesienia XYZ . W fotogrametrii lotniczej przyjęto posługiwać się pomocniczym układem zwanym układem modelu, zazwyczaj zaczyna się on w środku rzutów lewego zdjęcia.

W jednej z dwu wersji układu modelu jego osie pokrywają się z osiami przestrzennego układu tłowego lewego zdjęcia, w drugiej wersji oś X_m pokrywa się z wektorem bazy B , oś Z_m leży w płaszczyźnie pionowej zawierającej oś lewej kamery.

W układzie modelu dokonuje się wcięcia w przód do punktu P , a potem transformuje się wynik do układu odniesienia.

Zasada przestrzennego wcięcia może być realizowana w bardzo różny sposób. W początkach fotogrametrii A. Laussedat wykonywał je graficznie dla zdjęć naziemnych poziomych natomiast opracowanie zdjęć lotniczych ze względu na nieznaną ich elementów orientacji okazało się bardziej skomplikowane.

Do opracowania mapy ze zdjęć lotniczych wykorzystywano metody instrumentalne, polegające na wykorzystaniu zasady stereoskopii do konstruowania przestrzennego modelu na mechaniczno - optycznych przyrządach zwanych autografami analogowymi.

Zdjęcia lotnicze tworzące stereogram założone na nośniki autografu po procesie zwanym orientacją wzajemną tworzyły model przestrzenny, później skalowany i poziomowany w oparciu o punkty o znanych współrzędnych w układzie odniesienia. Obserwator sterując przestrzennym znacznikiem pomiarowym rysował sytuację na stole kreślącym, a prowadząc go na jednej wysokości - warstwie.

Autografy analogowe zostały wyparte przez analityczne, w których rekonstrukcja wiązek zdjęć i ich orientacja dokonywana była nie jak w analogowych za pomocą skomplikowanego systemu liniałów, a metodą analityczną za pomocą komputera.

Obecnie używane się coraz częściej autografów cyfrowych, w których korzysta się z obrazów cyfrowych powstałych przez zeskanowanie oryginalnych zdjęć albo uzyskanych ze skanerów lub kamer cyfrowych.

Klasyczna mapa kreskowa jest zastępowana przez ortofotografię będącą odpowiednio przetworzonym obrazem fotograficznym lub cyfrowym o jednolitej skali, pozbawionym wpływów czynników zakłócających: deniwelacji terenu i nachylenia zdjęcia.

Inną odmianą nowoczesnej mapy jest mapa numeryczna jako zbiór punktów tworzących obiekty i zbiór atrybutów tych obiektów.

6.3 WYKONYWANIE ZDJĘĆ LOTNICZYCH

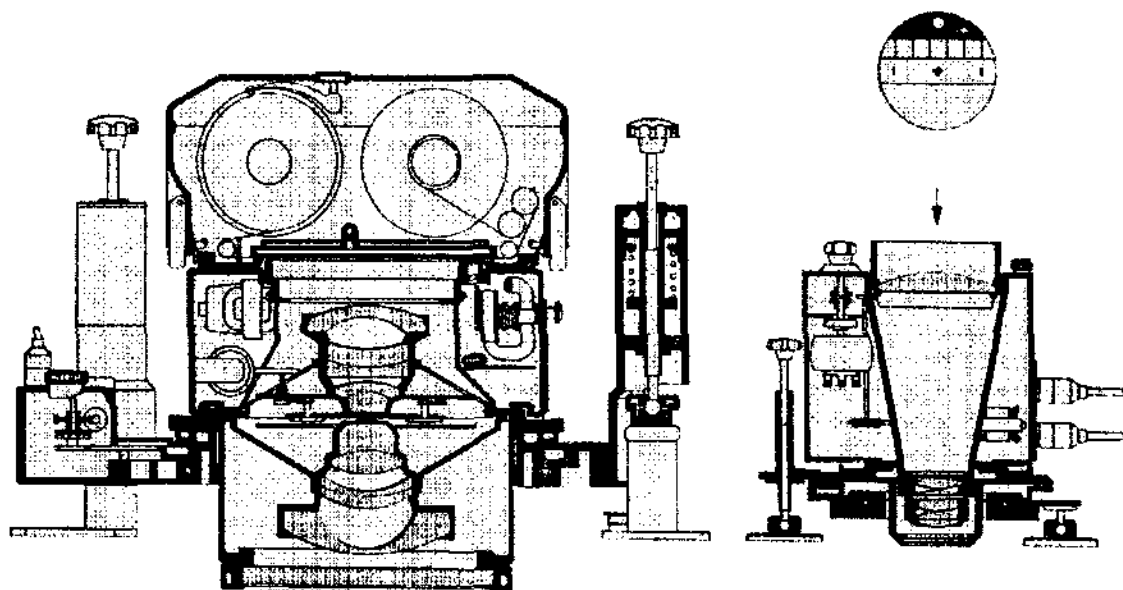
Zdjęcia lotnicze wykonywane z pokładów samolotów specjalnymi kamerami fotogrametrycznymi mają duże znaczenie gospodarcze ponieważ umożliwiają wykonanie na ich podstawie aktualnych map w różnych skalach (zarówno cyfrowych jak i wektorowych), aktualizację istniejących zasobów mapowych, jak również wykorzystanie do dowolnych opracowań z różnych dziedzin. Tego typu zdjęcia, sposoby ich wykonania oraz projektowanie lotów fotogrametrycznych jest tematem tego rozdziału.

6.3.1 Fotogrametryczne kamery lotnicze

Pod pojęciem fotogrametrycznej (pomiarowej) kamery lotniczej należy rozumieć kamerę charakteryzującą się następującymi cechami:

- znanymi elementami orientacji wewnętrznej zdjęć (stała kamery c_k oraz znaczki tłowe),
- obiektywem ortoskopowym (praktycznie wolnym od dystorsji),
- płaskością materiału światłoczułego w trakcie ekspozycji,
- wyposażeniem w urządzenia do realizacji kątowych elementów orientacji zewnętrznej zdjęć,
- wyposażeniem w urządzenia do realizacji i kontroli niektórych parametrów lotu fotogrametrycznego (pokrycie podłużne zdjęć, miejsce wyzwalania migawki).

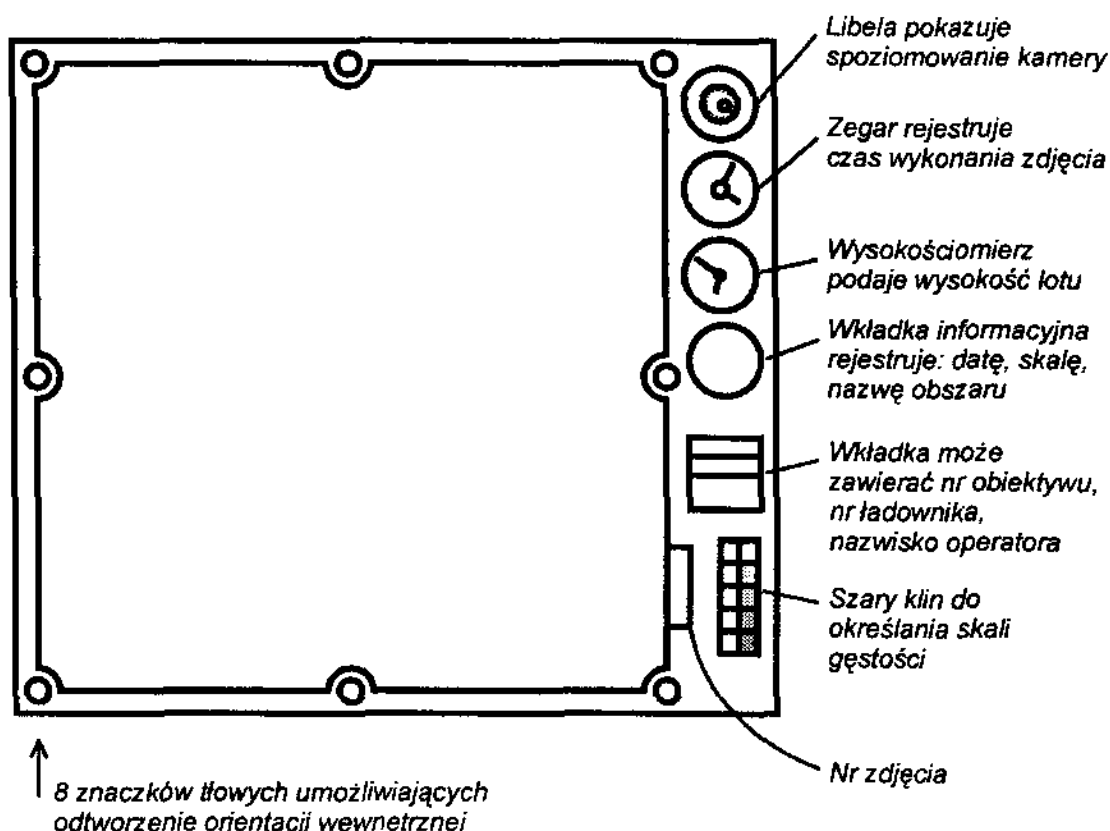
Taka kamera lotnicza, będąca niezwykle skomplikowanym i precyzyjnym urządzeniem pomiarowym składa się z trzech podstawowych części: kamery właściwej, zawieszenia kamery i urządzenia sterującego.



Rys. 13. Kamera lotnicza

Kamera właściwa składa się z korpusu, stożka kamery i ładownika.

- Korpus kamery łączy poszczególne części kamery właściwej w jedną całość.
- Ładownik kamery jest przeznaczony do przechowywania i obsługi fotograficznej błony zwojowej stanowiącej materiał światłoczuły zdjęć lotniczych. Posiada mechanizm odmierzania i przewijania błony oraz mechanizm wypłaszczania błony. Ten ostatni ma bardzo istotne znaczenie dla metrycznej jakości zdjęć. W ładowniku realizowany jest tzw. cykl pracy kamery. Po wykonaniu zdjęcia podnosi się płytka z otworkami do której przyssana jest błona, następuje wyrównanie ciśnienia, z kolei po odspojeniu filmu jest on przewijany, a następnie przysysany do płytki i ponownie dociskany do ramki tłowej kamery. Długość trwania cyklu pracy mówi o tym jaki jest minimalny interwał czasu pomiędzy wykonaniem kolejnych zdjęć. Dla nowoczesnych kamer wynosi on ok. 1 sekundy.
- Stożek kamery jest częścią wymienną kamery właściwej zawierającą obiektyw z przysłoną i migawką, filtr świetlny oraz ramkę tłową. Na ramce tłowej stożka kamery (rys.14) znajdują się znaczki tłowe (4 lub 8) oraz różne wskaźniki, które razem ze znaczkami odfotografowują się na zdjęciu. Do najważniejszych z nich należą: stała kamery c_k , numer zdjęcia, libela pudełkowa, wysokościomierz, zegar, nr stożka itp. W nowoczesnych kamerach (RC 20, RC 30, RMK TOP itp.) na ramce tłowej znajduje się więcej informacji np.: skala mapy, arkusz mapy, szerokość i długość geograficzna, czas ekspozycji, przysłona, numer kontraktu, typ filmu, oznaczenie filtra, pokrycie podłużne zdjęć itp., natomiast nie ma już na ramce obrazu libeli pudełkowej. Spowodowane jest to wyższą jakością zawiesznień tych kamer (zawieszenia żyroskopowe), umożliwiającymi realizację pionowości osi kamery z dużą dokładnością. Wszystkie kamery posiadają możliwość wymiany stożków na inne o różnych kątach widzenia. Wymiana stożka w kamerze ma takie same konsekwencje jak wymiana obiektywu w aparacie fotograficznym.



Rys.14. Ramka tłowa fotogrametrycznej kamery lotniczej

Zawieszenie kamery

Zawieszenie kamery służy do elastycznego połączenia kamery właściwej z pokładem samolotu oraz powinno zabezpieczać kamerę przed występującymi w samolocie drganiem i wibracjami. Poza tym powinno umożliwić realizację pionowości osi kamery oraz korygowanie kąta skręcenia kamery w stosunku do osi lotu. W nowoczesnych kamerach stosowane jest zawieszenie ze stabilizacją żyroskopową zapewniające utrzymywanie pionowości osi kamery w trakcie lotu z dokładnością do 0.5° .

Urządzenie sterujące

Służy do zdalnego sterowania pracą kamery, kontroli pracy poszczególnych mechanizmów oraz do współdziałania z innymi przyrządami pomocniczymi wchodzącymi w skład aparatury fotolotniczej. Może również służyć do współpracy z aparaturą nawigacyjną samolotu. Do podstawowych zadań realizowanych przez urządzenia sterujące należy:

- włączanie i wyłączanie kamery,
- utrzymanie zadanych interwałów czasowych pomiędzy ekspozycjami lub zadanego pokrycia podłużnego,
- kontrola pracy kamery i urządzeń pomocniczych,
- zliczanie cykli pracy kamery,
- sterowanie parametrami ekspozycji.

Rola operatora kamery w trakcie lotu sprowadza się do kontrolowania i korygowania: pokrycia podłużnego zdjęć, kąta znosu oraz pionowości osi kamery. Wykonywane jest to z

wykorzystaniem specjalnej lunetki nawigacyjnej sprzężonej z zawieszeniem kamery oraz z systemem sterowania pracą kamery.

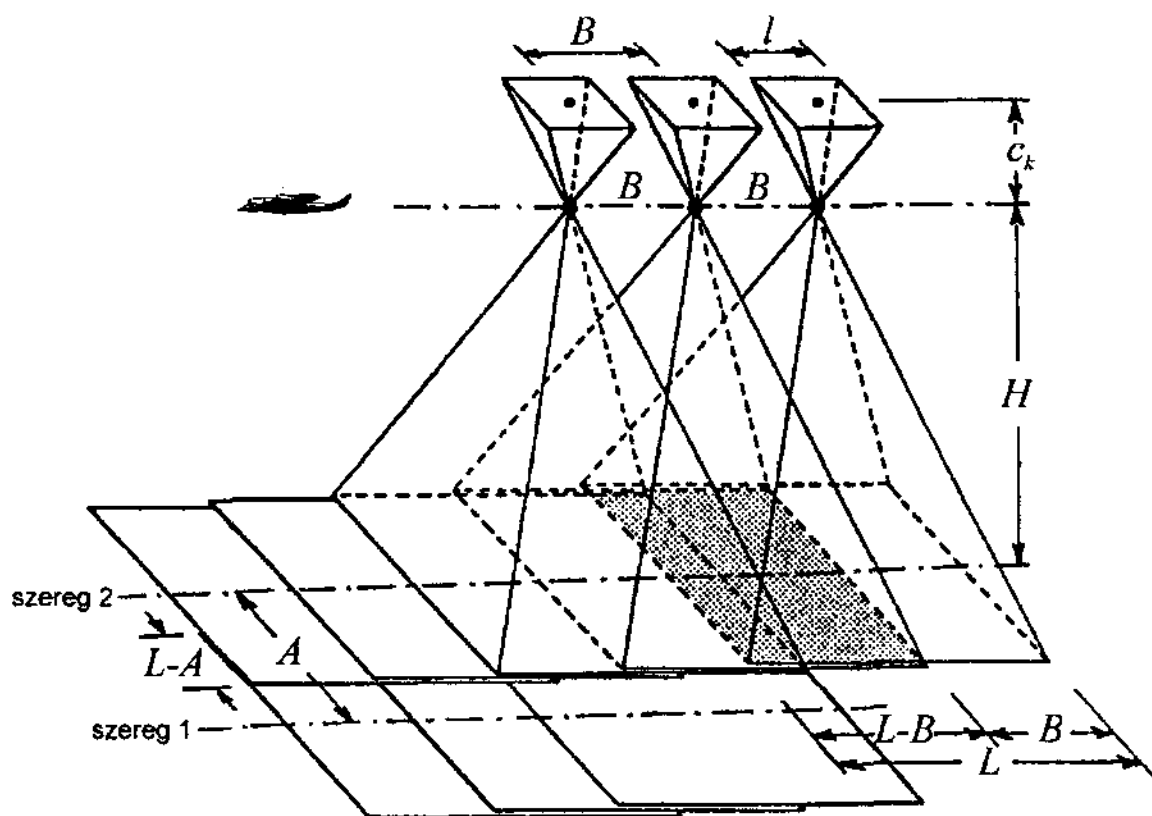
W nowoczesnych kamerach, posiadających możliwość współpracy z systemem nawigacyjnym wspomagany GPS oraz wyposażonych w zawieszenie żyroskopowe, wykonywanie zdjęć może być całkowicie zautomatyzowane. System nawigacyjny sprzężony z GPS oraz z kamerą lotniczą umożliwia wykonanie zdjęcia w ściśle określonym (zaprojektowanym) punkcie przestrzeni, a zawieszenie żyroskopowe zapewnia pionowość zdjęcia.

Przez rozdzielczość zdjęć lotniczych należy rozumieć możliwość rozróżnienia najmniejszych elementów odfotografowanych na zdjęciach. Im wyższa rozdzielczość obrazu tym więcej elementów można odczytać, a tym samym korzystniejsza może być relacja pomiędzy skalą zdjęcia, a skalą opracowywanej mapy. Stąd wysiłki producentów kamer i materiałów fotograficznych do osiągnięcia jak najwyższej jakości obrazu fotograficznego. Przy fotografowaniu obiektów nieruchomych rozdzielczość obrazu fotograficznego zależy głównie od rozdzielczości materiału fotograficznego oraz rozdzielczości obiektywu kamery. W przypadku zdjęć lotniczych dochodzą dwa czynniki, które zmniejszają wynikową rozdzielczość obrazu. Jednym z nich jest nieostrość spowodowana ruchem postępowym samolotu w stosunku do powierzchni ziemi (w czasie gdy otwarta jest migawka punkt rejestruje się jako odcinek), a drugim wibracje samolotu o dużych częstotliwościach wpływające również na rozmazanie obrazu rejestrowanego punktu w trakcie naświetlania. Obydwa z tych czynników można minimalizować poprzez maksymalne skrócenie czasu ekspozycji, ale wówczas musimy używać materiałów fotograficznych o wysokich czułościach, które ze swej natury posiadają mniejszą rozdzielczość. Dlatego wprowadzono w nowoczesnych kamerach system FMC (*Forward - Motion Compensation*), który eliminuje błędy rozmazania obrazu spowodowane ruchem samolotu oraz konstruuje się coraz doskonalsze zawieszenia kamer tłumiące drgania i wibracje samolotu. System FMC działa w ten sposób, że w trakcie naświetlania zdjęcia płytką z wyplaszczonym filmem przesuwają się w kierunku przeciwnym do ruchu samolotu z prędkością kątową identyczną do tej z jaką samolot przemieszcza się w stosunku do powierzchni ziemi. W efekcie eliminuje się rozmaz, ponieważ przez cały czas otwarcia migawki naświetlany punkt nie zmienia swego położenia na błonie fotograficznej. System FMC umożliwia w związku z tym stosowanie dłuższych czasów ekspozycji, a tym samym stosowanie mniej czułych błon fotograficznych o większej rozdzielczości.

6.3.2 Zasady wykonywania fotogrametrycznych zdjęć lotniczych

Najogólniej można powiedzieć, że zdjęcia fotogrametryczne powinny być wykonane w taki sposób, aby pokryć bez żadnych luk cały opracowywany teren oraz aby umożliwić opracowanie fotogrametryczne (jedno lub dwuobrazowe) wykonanych zdjęć. Z powyższych warunków wynika technologia wykonywania zdjęć, która polega na wykonywaniu wszystkich zdjęć z tej samej wysokości lotu (zdjęcia w tej samej skali) wzdłuż prostoliniowych szeregów z pokryciem podłużnym zdjęć w szeregu i pokryciem poprzecznym zdjęć pomiędzy sąsiednimi szeregami. Wykonywane zdjęcia powinny być pionowe tzn. oś kamery w trakcie wykonania zdjęcia powinna realizować kierunek pionu, a kąt skrócenia zdjęć w stosunku do kierunku lotu powinien być zerowy. Spełnienie dokładne wszystkich tych warunków nie jest praktycznie możliwe, dlatego rzeczywiście wykonywane zdjęcia lotnicze noszą nazwę „prawie pionowych” (o nachyleniach osi do 3°). W nowoczesnych kamerach to odstępstwo od pionowości może być o wiele mniejsze (0.5°). Dodatkowo, wykorzystanie nowoczesnych systemów nawigacyjnych, wspomaganych GPS, umożliwia uzyskanie bardzo dokładnej realizacji geometrii całego bloku zdjęć. Konsekwencją stosowania tych nowych technologii jest możliwość zmniejszenia pokrycia poprzecznego wykonywanych zdjęć (mniejsza ilość zdjęć do opracowania tego

samego obszaru) oraz możliwość wykonywania tzw. zdjęć celowanych dla opracowania z jednego zdjęcia (lub z jednego stereogramu) jednego arkusza mapy.



Rys.15. Zasada wykonywania szeregowych zdjęć lotniczych

6.3.3 Projekt lotu fotogrametrycznego

Podstawą do wykonania zdjęć lotniczych jest projekt lotu, zawierający szczegółowe dane dotyczące lotu fotogrametrycznego. Zawiera on obliczone parametry lotu oraz mapę topograficzną, na której zaznaczony jest przebieg osi lotu.

Dla wykonania projektu niezbędne są następujące dane wejściowe:

- skala mapy dla sporządzenia której mają być wykonane zdjęcia lotnicze [$1:m_m$];
- wniesiony na mapę topograficzną obrys terenu podlegającego opracowaniu wraz z układem sekcijnym mających powstać arkuszy map;
- rodzaj opracowania fotogrametrycznego (metoda jednoobrazowa lub opracowanie stereoskopowe zdjęć);
- typ kamery, którą będą wykonywane zdjęcia;
- prędkość robocza samolotu przenoszącego kamerę [V], oraz
- wysokość bezwzględna lotniska, z którego będzie startował samolot [H_l].

W następnej kolejności, w wyniku analizy danych wejściowych, określa się:

- rodzaj stożka kamery lotniczej [c_k];

Kąt rozwarcia obiektywu kamery lotniczej (rodzaj stożka) jest dobierany w zależności od występujących deniwelacji terenu lub zróżnicowania wysokościowego fotografowanych obiektów. Ogólna zasada jest taka, że im większe różnice wysokości w terenie (tereny gó-

rzyste) lub zróżnicowanie wysokościowe obiektów (tereny miejskie o wysokiej zabudowie), tym mniejszy musi być kąt rozwarcia kamery (dłuższa stała kamery c_k). Takie postępowanie zmniejsza występujące na zdjęciach przesunięcia radialne spowodowane deniwelacjami, jak również ułatwia stereopercepcję w przypadku opracowania zdjęć terenów miejskich.

- **pokrycie podłużne [p] i poprzeczne [q] zdjęć;**

Pokryciem zdjęć nazywamy część wspólną kolejnych zdjęć w szeregu (pokrycie podłużne) oraz część wspólną zdjęć leżących w sąsiednich szeregach (pokrycie poprzeczne). Nakładki zakresu wykonywanych zdjęć są konieczne, aby nie dopuścić do wystąpienia „dziur” w pokryciu terenu zdjęciami. Dla opracowań fotogrametrycznych jednoobrazowych (mapa wykonywana jest z pojedynczych zdjęć) minimalne pokrycie podłużne zdjęć wynosi 20%. W przypadku wykonywania zdjęć dla opracowań dwuobrazowych (stereoskopowych) minimalne pokrycie podłużne wynosi 60%. Wynika to z faktu, że pokrycie terenu musi być zapewnione (z zakładkami) przez części wspólne dwóch kolejnych zdjęć w szeregu (tzw. stereogramów). Pokrycie zdjęć pomiędzy szeregami, dla obydwu metod opracowania, wynosi min. 30%. Ta stosunkowo duża wielkość pokrycia poprzecznego związana jest z trudną realizacją w trakcie lotu teoretycznej osi lotu, ze względu na występujący boczny wiatr (znos i wygięcie osi szeregu). W nowoczesnych kamerach fotogrametrycznych posiadających możliwość wspomagania nawigacji systemem GPS pokrycie poprzeczne może być mniejsze od 30 %.

- **skalę wykonywanych zdjęć [1:mz];**

Problem wyboru skali zdjęć w odniesieniu do skali opracowywanej mapy można widzieć w dwóch przeciwstawnych aspektach. Z punktu widzenia ekonomiki, im mniejsza skala zdjęć w stosunku do skali opracowania, tym mniej zdjęć trzeba wykonać dla opracowania mapy danego obszaru. Z drugiego punktu widzenia, im większa skala zdjęć, tym większa dokładność opracowania oraz lepsza rozróżnialność na zdjęciach szczegółów stanowiących treść mapy. W związku z tym wybór skali zdjęć lotniczych jest kompromisem pomiędzy tymi dwoma aspektami. Rozwój kamer lotniczych (kompensacja rozmazu i żyroskopowa stabilizacja zawieszenia) oraz postęp w dziedzinie jakości materiałów fotograficznych (rozdzielczość) powodują, że jakość zdjęć lotniczych jest coraz lepsza, a tym samym możliwe jest wykonywanie zdjęć w coraz mniejszych skalach w stosunku do skali mapy. W przypadku zdjęć celowanych, dla których nadrzędnym warunkiem jest wykonanie zdjęć tak aby każdy pojedynczy stereogram obejmował jeden arkusz mapy, również parametr skali zdjęć jest dostosowywany w projekcie lotu do realizacji tego warunku.

W zależności od skali mapy skalę zdjęcia można wyznaczyć na podstawie empirycznego wzoru Grubera:

$$m_z = C \cdot \sqrt{m_m} \quad (\text{wzór 6})$$

gdzie:

C - współczynnik empiryczny (w zależności od skali mapy przyjmuje wartości od 100 - 500);

m_z - mianownik skali zdjęcia;

m_m - mianownik skali mapy.

Ogólnie można powiedzieć, że skalę zdjęć przyjmuje się mniejszą od skali mapy w przedziale 2 - 8 razy.

- **kierunek lotu.**

Najczęściej projektuje się loty fotogrametryczne w kierunkach równoleżnikowych (W-E) i południkowych (N-S). Związane jest to głównie z układem państwowym współrzędnych geodezyjnych w którym trzeba wykonać mapę i kształtem ramki sekcyjnej tej mapy.

Jeżeli mapa ma być wykonana w układzie lokalnym, nierównoległym do państwowego układu geodezyjnego, to również kierunek lotu musi być równoległy do jednej z osi tego układu. Wybór, do której z osi układu ma być równoległy kierunek lotu zależy od tego, w jakim kierunku wykonane zdjęcia zapewnią opracowanie fotogrametryczne arkusza mapy z jak najmniejszej ilości zdjęć.

Z danych wejściowych oraz parametrów zdjęć określonych na podstawie analizy tych danych można obliczyć pozostałe parametry lotu fotogrametrycznego, w tym dane niezbędne do wniesienia planu na drobnoskalową mapę topograficzną.

W wyniku obliczeń określa się:

- **wysokość lotu ponad poziom lotniska [H_l];**
Realizacja w samolocie takiej wysokości lotu zapewni właściwą, przyjętą skalę zdjęć lotniczych.
- **odstęp między osiami szeregów [A];**
Jest to terenowa odległość pomiędzy osiami szeregów, z uwzględnieniem przyjętego pokrycia poprzecznego. Umożliwia wykreślenie na mapę osi szeregów.
- **długość bazy [B];**
Jest to odległość terenowa pomiędzy kolejnymi zdjęciami, z uwzględnieniem przyjętego pokrycia podłużnego zdjęć. Umożliwia obliczenie ilości zdjęć w szeregu oraz zaznaczenia na mapie miejsca włączenia i wyłączenia kamery.
- **ilość szeregów zdjęć [n_s];**
- **ilość zdjęć w szeregach [n_z];**
Wielkość ta umożliwia zaplanowanie niezbędnej ilości materiału fotograficznego.
- **powierzchnię stereogramu [P_m] i powierzchnię użyteczną stereogramu [P_s];**
Powierzchnia stereogramu to obszar terenu wspólny dla dwóch kolejnych zdjęć szeregu. Powierzchnia użyteczna stereogramu to część powierzchni stereogramu ograniczona liniami przechodzącymi przez środki pasów pokrycia poprzecznego zdjęć oraz przez środki zakładów sąsiednich stereogramów. Tylko części użyteczne stereogramów powinny być wykorzystane do opracowania mapy.
- **interwał czasu pomiędzy wykonaniem kolejnych zdjęć [t];**
Ten parametr mówi, w jakich odstępach czasu powinna być wyzwalana migawka kamery aby zapewnić przy założonej prędkości lotu, przyjęte pokrycie podłużne zdjęć.
- **maksymalny dopuszczalny czas ekspozycji [τ].**
Wielkość ta mówi o tym, jaki czas otwarcia migawki jest jeszcze dopuszczalny aby założona, przyjęta nieostrość zdjęcia spowodowana ruchem samolotu nie została przekroczona. Parametr ten nie jest istotny dla kamer z automatyczną kompensacją rozmazu.

Obliczona wielkość odstepu między osiami szeregów oraz przyjęty kierunek lotu pozwalają wnieść na mapę topograficzną projektowany przebieg osi lotu. Na mapie tej powinien znajdować się wcześniej obrys terenu podlegającego opracowaniu wraz z naniesionym układem sekcyjnym map. Na wniesionych osiach szeregów należy zaznaczyć charakterystyczne punkty sytuacyjne mapy np. skrzyżowania dróg, pojedyncze budowle itp., które stanowić będą punkty orientacyjne dla nawigatora w trakcie wykonywania zdjęć. W odległości co najmniej jednej bazy przed i poza granicą obszaru opracowania należy zaznaczyć na mapie, na osi szeregu miejsce włączenia i wyłączenia kamery. Również, poza granicami obszaru opracowania, należy zaprojektować linie nawrotu samolotu dla nalecenia kolejnego szeregu. przypadku lotu,

który nie jest równoleżnikowy lub południkowy należy wpisać wzdłuż osi szeregu azymut kierunku lotu. Projekt lotu należy opracować na najbardziej aktualnych mapach topograficznych w odpowiednich skalach. Dobór skali mapy topograficznej, na której sporządza się projekt lotu w zależności od skali zdjęć oraz skali mapy, która ma być na ich podstawie opracowana podany jest w tabeli 1.

Tabela 1

Skala map topograficznych do wniesienia projektu lotu	Skala zdjęć lotniczych	Skala opracowywanej mapy na podstawie zdjęć lotn.
1 : 5 000 - 1 : 10 000	1 : 2 000 - 1 : 3 000	1 : 500
1 : 10 000 - 1 : 25 000	1 : 4 000 - 1 : 6 000	1 : 1 000
1 : 25 000	1 : 6 000 - 1 : 10 000	1 : 2 000
1 : 25 000 - 1 : 50 000	1 : 10 000 - 1 : 25 000	1 : 5 000

W tabeli znajdują się empiryczne zależności pomiędzy skalą zdjęcia a skalą opracowywanej mapy. Dane te dotyczą kamer bez kompensacji rozmazu i żyroskopowej stabilizacji zawieszenia. Dla takich nowoczesnych kamer można wykonywać zdjęcia w jeszcze mniejszych skalach bez wpływu na jakość i komfort opracowania.

Końcowym etapem jest przedstawienie projektu lotu na mapie. Projekt lotu powinien być przedstawiony na mapie topograficznej wg poniższych zasad:

- granicę obiektu terenu zaznacza się linią zieloną ciągłą grubości 1 mm,
- granicę sekcji zaznacza się linią ciągłą grubości 0.2 mm tuszem koloru niebieskiego,
- osie szeregów zaznacza się linią ciągłą grubości 0.3 mm tuszem koloru czerwonego,
- znaki włączenia i wyłączenia kamery, tuszem niebieskim, linią ciągłą grubości 1mm prostopadle do osi szeregu przy wlocie i wylocie szeregu (linia ta powinna być zakończona strzałkami o długości 1 cm zwróconymi w kierunku lotu),
- osi szeregów należy ponumerować z północy na południe (lub ze wschodu na zachód) i opisać tuszem czerwonym cyframi o wysokości 6 mm.

6.3.4 Ćwiczenia z opracowania planu lotu i analizy wykonanych zdjęć

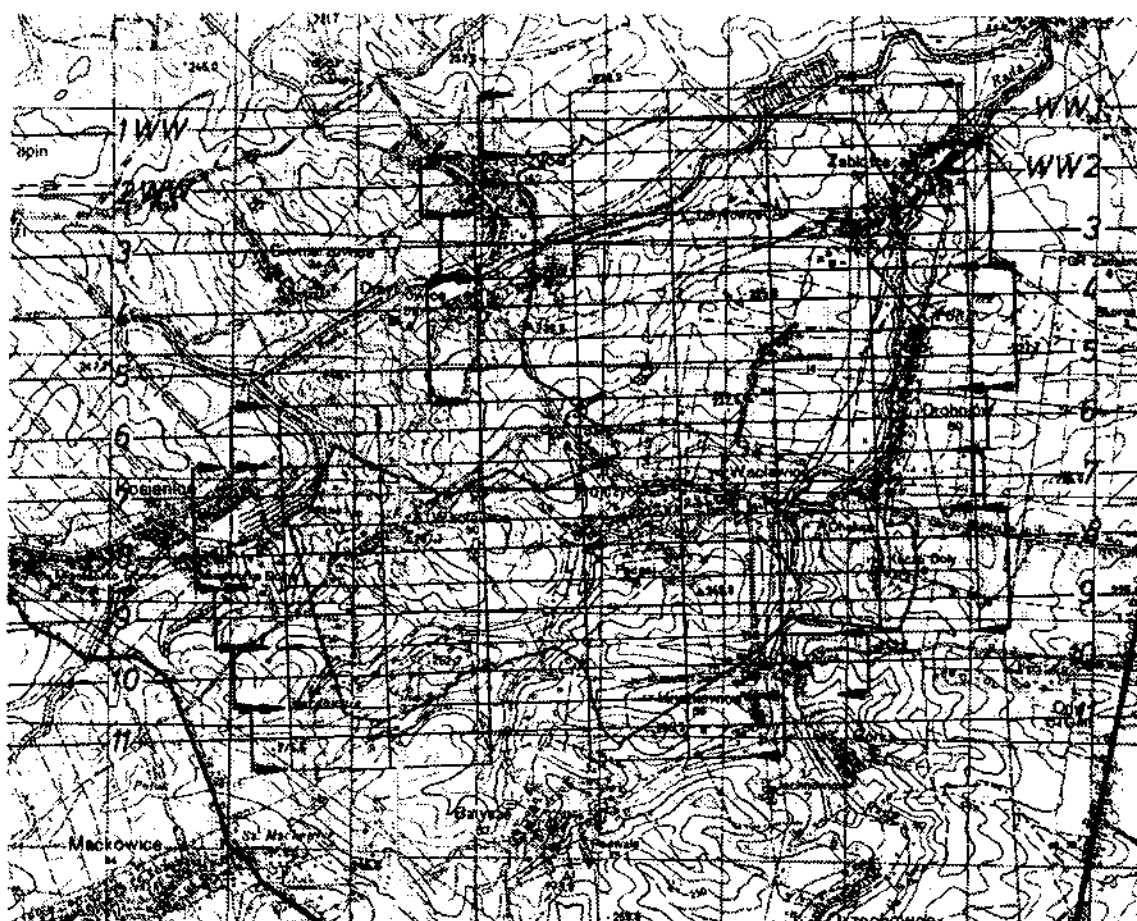
6.3.4.1 Ćwiczenie 1 - Opracowanie planu lotu

Tematem ćwiczenia jest obliczenie parametrów lotu fotogrametrycznego i wniesienie wyników na mapę topograficzną

Przebieg ćwiczeń:

Zajęcia odbywają się w zespołach dwuosobowych. Każdy zespół otrzymuje mapę w skali 1 : 25 000 z naniesionym obszarem dla planu lotu oraz zaznaczonym układem sekcyjnym map 1 : 1 000. Poza tym niezbędne są: ołówki, linijki i kalkulatory.

Na podstawie podanych niżej danych i wskazówek prowadzącego uczestnicy kursu wypełniają wykropkowane miejsca konspektu ćwiczenia i dokonują obliczeń wg podanych wzorów wpisując wyniki w oznaczone miejsca. Na końcu wnoszą dane graficzne projektu lotu na mapę.



Rys.16. Plan lotu fotogrametrycznego

Warunki techniczne:

1. Wykonanie zdjęć fotogrametrycznych dla opracowania dwuobrazowej mapy zasadniczej okolic Sieradza w skali 1:1 000, dla obszaru zaznaczonego na mapie topograficznej w skali 1 : 25 000, z naniesionym układem sekcyjnym.
2. Zdjęcia powinny być wykonane jako celowane, tak aby z jednego stereogramu można było opracować jeden arkusz mapy w skali 1 : 1 000 (wymiary sekcji mapy 500 × 800 mm).
3. Zdjęcia mają być wykonane kamerą RC 30 z kompensacją rozmazu (FMC) oraz wspomaganiem GPS. Do wyboru są dwa stożki o stałych kamery $c_k = 152$ mm i $c_k = 300$ mm, oraz formacie zdjęć 230 × 230 mm.
4. Kamera zamontowana jest na pokładzie samolotu CESNA, o prędkości podróżnej 180 km/godz (50 m/s) i pułapie 5 000 m.
5. Samolot wystartuje z lotniska w Krakowie-Balicach. Wysokość lotniska 200 m n.p.m.

Określenie parametrów planu lotu:

Wybór stożka kamery

Dla terenu okolic Sieradza, który jest terenem płaskim, pagórkowatym, górzystym, (sprawdź na mapie topograficznej i podkreśl właściwy) można z powodzeniem zastosować stożek o stałej kamery $c_k = \dots\dots\dots$ i formacie zdjęć 230 × 230 mm.

Wybór skali zdjęć, pokrycia podłużnego i poprzecznego oraz kierunku lotu

Kształt sekcji mapy jest prostokątem (o wymiarach 500 × 800 mm) podobnie jak prostokątem jest stereogram. Najkorzystniej jest dobrać kierunek lotu tak, oba te kształty odpowiadały sobie. Aby kształt prostokąta sekcji mapy odpowiadał kształtowi prostokąta stereogramu to lot musi się odbywać w kierunku

Aby zapewnić pokrycie każdego stereogramu z sekcją mapy osie lotów powinny przechodzić przez sekcji a zdjęcia powinny być wykonywane dokładnie nad Z tego wynika, że odległości pomiędzy osiami szeregów (A) muszą być równesekcji, a baza fotografowania (B) powinna być równasekcji. Znając wymiary sekcji i skalę mapy możemy obliczyć:

$A = \dots\dots\dots$, i $B = \dots\dots\dots$

Wykorzystując wzór na odstęp pomiędzy osiami szeregów (A) w zależności od pokrycia poprzecznego i skali zdjęć oraz na długość bazy (B) w zależności od pokrycia podłużnego i skali zdjęć:

$$\begin{aligned} A &= l(1-q) m_z & \text{gdzie: } l & \text{- format zdjęć (230 mm)} \\ B &= l(1-p) m_z & q & \text{- pokrycie poprzeczne zdjęć} \\ & & p & \text{- pokrycie podłużne zdjęć} \\ & & m_z & \text{- mianownik skali zdjęć} \end{aligned}$$

możemy teraz wyliczyć mianownik skali zdjęć z obu tych wzorów:

$$\begin{aligned} m_z &= A / l(1-q) \\ m_z &= B / l(1-p) \end{aligned}$$

podstawiając znaną wartość $A = \dots\dots\dots$ m i $B = \dots\dots\dots$ m oraz podstawiając minimalne wielkości pokrycia podłużnego (0.6) i poprzecznego (0.3) uzyskamy dwie wartości mianownika skali zdjęć:

$$\begin{aligned} (m_z)_q &= \dots\dots\dots \\ (m_z)_p &= \dots\dots\dots \end{aligned}$$

z obliczonych dwóch wartości mianownika skali zdjęć można przyjąć jeden jako obowiązujący dla planu lotu, ale pod warunkiem, że nie spowoduje to zmniejszenia minimalnego pokrycia zdjęć i mianownik ten będzie mieścił się w przedziale skal w Tabeli 1. Dla sprawdzenia tych warunków oraz obliczenia nowej wartości pokrycia podłużnego lub poprzecznego należy zastosować poniższe wzory:

$$\begin{aligned} p &= 1 - B / l \cdot m_z = \dots\dots\dots \\ q &= 1 - A / l \cdot m_z = \dots\dots\dots \end{aligned}$$

W rezultacie przeprowadzonej analizy i obliczeń ostatecznie przyjęto, że:

- skala zdjęć wyniesie 1:..... (zgodna z przedziałem skal podanych w tabeli),
- pokrycie podłużne zdjęć wyniesie%,
- pokrycie poprzeczne wyniesie%
- kierunek lotu
- stożek kamery $c_k = \dots\dots\dots$ $l \times l = 230 \times 230$ mm

Obliczenie pozostałych parametrów planu lotu:

-obliczenie wysokości lotu ponad poziom lotniska (H_l) przeprowadza się w trzech etapach:
1) wysokość lotu nad terenem (H):

$$\begin{aligned} H &= c_k \cdot m_z & \text{gdzie } c_k & \text{- stała kamery (.....mm)} \\ & & m_z & \text{- mianownik skali zdjęcia (.....)} \end{aligned}$$

$$H = \dots\dots\dots m$$

2) bezwzględna wysokość lotu n.p.m. (H_b):

$$H_b = H + H_t \quad \text{gdzie: } H_t - \text{średnia wysokość terenu fotografowanego}$$

(odczytana z mapy = $\dots\dots\dots$)

$$H_b = \dots\dots\dots m$$

3) wysokość lotu nad lotniskiem (H_l):

$$H_l = H_b - H_o \quad \text{gdzie: } H_o - \text{wysokość lotniska (200 m)}$$

$$H_l = \dots\dots\dots m$$

- obliczenie ilości zdjęć w szeregu (n_z)

$$n_z = S/B \quad \text{gdzie: } S - \text{długość osi szeregu}$$

(pomierzona na mapie = $\dots\dots\dots$)

$$n_z = \dots\dots\dots$$

- obliczenie ilości szeregów (n_s)

$$n_s = A_o/A \quad \text{gdzie } A_o - \text{szerokość obszaru zdjęć lotniczych (pomierzona}$$

na mapie = $\dots\dots\dots$)

$$n_s = \dots\dots\dots$$

- obliczenie powierzchni stereogramu (P_m) i powierzchni użytecznej stereogramu (P_s)

$$P_m = (L - B) \cdot L \quad \text{gdzie: } L = l \cdot m_z - \text{format zdjęcia w skali terenowej}$$

($0.23 \cdot \dots\dots\dots = \dots\dots\dots m$)

$$P_m = \dots\dots\dots ha$$

$$P_s = A \cdot B$$

$$P_s = \dots\dots\dots ha$$

- obliczenie interwału pomiędzy wykonaniem kolejnych zdjęć (t):

$$t = B/V_s \quad \text{gdzie: } v_s - \text{prędkość samolotu (50m/s)}$$

$$t = \dots\dots\dots \text{ sek.}$$

- obliczenie maksymalnego dopuszczalnego czasu ekspozycji (τ), przy założonym rozmiarze 0.02 mm:

$$\tau = 0.02 \cdot m_z / V_s$$

$\tau = \dots \dots \dots$ sek.

Po zakończeniu obliczania parametrów lotu należy na mapie topograficznej wskazać linie osi szeregów z zaznaczeniem miejsc włączenia i wyłączenia kamery, strzałkami kierunków przelotu, zaznaczeniem punktów wyzwiania migawki, oraz numeracją szeregów.

6.3.4.2 Ćwiczenie 2 - Sprawdzenie realizacji parametrów lotu fotogrametrycznego na podstawie wykonanych zdjęć

Celem ćwiczenia jest zapoznanie z wnoszeniem zakresu zdjęć na mapę topograficzną, wyznaczeniem przybliżonej skali zdjęcia, sprawdzeniem pokrycia podłużnego zdjęć oraz analizą spełnienia warunków geometrycznych zdjęć celowanych

Omówienie problemu:

Pomiędzy zdjęciami projektowanymi a wykonanymi mogą istnieć pewne różnice które wynikają z niedokładnej realizacji warunków planu lotu. Można do nich zaliczyć: różnice w skali, nieprostoliniowość szeregu, wygięcie szeregu, kąt znosu szeregu, skręcenie zdjęć, przekroczenie kątów nachylenia zdjęć, różnice w założonym pokryciu podłużnym i poprzecznym. Osobnej ocenie podlega fotograficzna jakość wykonanych zdjęć. Wszystkie te parametry podlegają kontroli po wykonaniu zdjęć i warunkują przyjęcie roboty.

Zdjęcia lotnicze w ramach Programu PHARE wykonywane są nowoczesnymi kamerami wyposażonymi w systemy nawigacyjne sprzężone z GPS, co umożliwia wyzwianie migawki w zaprojektowanych punktach. Osie lotów przebiegają w kierunku północ - południe przez środki arkuszy map w skali 1 : 10 000. Migawka kamery jest wyzwiana nad środkiem każdego arkusza mapy i na granicy pomiędzy arkuszami. Skala wykonanych zdjęć powinna wynosić 1 : 26 000, pokrycie podłużne 61%, a poprzeczne 25%. Stosowane są szerokokątne stożki kamer o stałej kamery $c_k = 152$ mm. Wysokość fotografowania wynosi 4 000 m.

Kontrola geometryczna wykonanych zdjęć PHARE wykonana będzie w zakresie zgodności skali, pokrycia podłużnego i synchronizacji z układem arkuszy map w skali 1 : 10 000.

Przebieg ćwiczeń:

Dwie osoby otrzymają arkusz mapy topograficznej w skali 1 : 50 000 z naniesionym układem arkuszy map w skali 1:10 000, dwie sąsiednie odbitki stykowe zdjęć w skali 1 : 26 000, linijki ołówki oraz kalkulator. Na podstawie analizy treści zdjęć i treści mapy wniesione zostaną na mapę wszystkie krawędzie obu zdjęć (dwa czworoboki). Z porównania odległości pomiędzy przeciwległymi krawędziami zdjęcia pomierzonymi na zdjęciu (l) i na mapie (l_m) obliczy się mianownik skali zdjęcia wg wzoru: $m_z = l_m \cdot 50\,000 / l$, ze względu na mniejszą skalę mapy niż skala zdjęcia wyznaczona tą metodą skala zdjęcia jest mało dokładna i jest tylko kontrolą zgrubną.

Pokrycie podłużne określić należy poprzez pomiar na mapie odległości pomiędzy odpowiadającymi sobie (bardziej odległymi i prostopadłymi do bazy) krawędziami dwóch zdjęć (l_p). Pokrycie podłużne obliczyć należy wg wzoru: $p (\%) = l_p / l \cdot 100\%$

Dla sprawdzenia dokładności zdjęć celowanych należy wyznaczyć na mapie środek arkusza mapy w skali 1 : 10 000 (znajdujący się w środku pod obrysem jednego ze zdjęć) poprzez wyznaczenie punktu przecięcia przekątnych arkusza. Dla krawędzi arkusza tej samej mapy, która to krawędź znajduje się w środku obrysu drugiego zdjęcia należy wyznaczyć punkt środkowy (z pomiaru linijką). Tak wyznaczone punkty mapy powinny pokryć się z punktami wyznaczonymi z przecięcia przekątnych obrysów zdjęć na mapie. Jeśli się nie po-

krywają, należy pomierzyć odległości pomiędzy tymi punktami (dl_1 i dl_2), a następnie obliczyć rzeczywiste odstępstwa od planu lotu wg zależności: $dL_1 (dL_2) = dl_1 (dl_2) \cdot 50\,000$.

Uzyskane wyniki należy wpisać do poniższej tabeli:

Tabela 2

Numer zdjęcia	Mianownik skali zdjęcia	Odstępstwo od projektowanej pozycji zdjęcia [m]	Pokrycie podłużne [%]

6.4 STEREOSKOPIA

Pomiary zdjęć w fotogrametrycznych i fotointerpretacyjnych metodach dwuobrazowych wymagają od obserwatora zdolności widzenia przestrzennego.

6.4.1 Widzenie przestrzenne naturalne

Zdolność przestrzennego (stereoskopowego) widzenia dwuocznego jest cechą, którą posiada przeważająca większość ludzi. Polega ona na wrażeniu trójwymiarowości otaczającego nas świata połączonego z możliwością oceny odległości do poszczególnych obiektów przestrzeni jak również oceny wzajemnego położenia punktów względem siebie. Istota tego zjawiska polega na tym, że każde z obu oczu widzi obserwowany obiekt w inny sposób, związany z innym położeniem w przestrzeni każdego oka. Obrazy tych samych punktów obserwowanego obiektu tworzą się na siatkówkach obu oczu w różnych miejscach. To wzajemne przesunięcie obu obrazów na siatkówkach umożliwia skojarzenie ich w naszej świadomości w jeden przestrzenny obraz, umożliwiający ocenę odległości. Przesunięcia tych obrazów, równoległe do bazy ocznej, nazywamy paralaksami fizjologicznymi. Wielkość tej paralaksy decyduje o dokładności oceny odległości. Minimalna wielkość paralaksy fizjologicznej, dla której wyczuwalna jest różnica odległości wynosi ok. 0.001 mm, natomiast maksymalna wynosi ok. 0.4 mm. Przekroczenie wielkości tej paralaksy powoduje zanik wrażenia przestrzenności (rozdzielenie obrazów). Efekt ten można zaobserwować zbliżając do oczu jakiś przedmiot np. palec. W pewnym momencie zamiast jednego, przestrzennego zobaczymy dwa obrazy przesunięte względem siebie. Jeśli przedmioty położone są w nieskończoności ($D > 1300$ m) to wielkość paralaksy fizjologicznej jest praktycznie równa zeru uniemożliwiając ocenę różnic odległości.

6.4.2 Sztuczny efekt stereoskopowy

6.4.3 Stereogram

Aby można było uzyskać sztuczny efekt stereoskopowy należy, wykonać dwa zdjęcia tego samego obiektu z dwóch różnych punktów przestrzeni. Taka para zdjęć nazywana jest stereogramem lub zdjęciami stereoskopowymi. Odległość pomiędzy punktami, z których wykonano zdjęcia nazywamy bazą fotografowania. Jeśli będziemy teraz patrzeć na te zdjęcia w taki sposób, że lewe zdjęcie będzie obserwowane lewym okiem a prawe zdjęcie prawym, to uzyskamy wrażenie przestrzennego kształtu obiektu zarejestrowanego na tych zdjęciach. Oczywiście stereoskopowo będzie widoczna tylko wspólna część obu zdjęć. Dla uzyskania jak

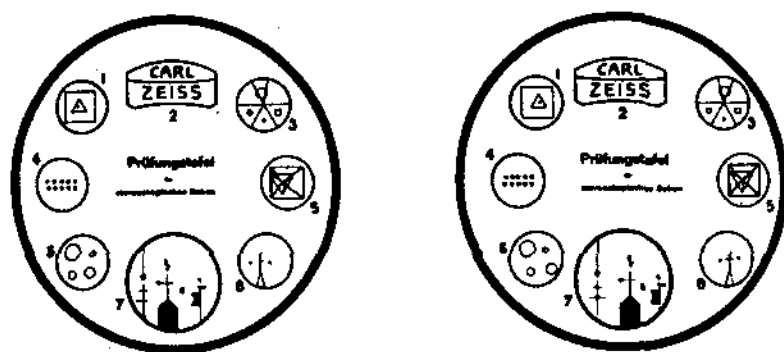
najlepszych warunków obserwacji stereoskopowej zdjęć należy wykonać je w taki sposób, aby ich osie były równoległe do siebie (stereogram zdjęć zwróconych), a najlepiej, żeby były jednocześnie prostopadłe do bazy fotografowania (stereogram zdjęć normalnych). Stereogramy zdjęć normalnych i zwróconych umożliwiają, po odpowiednim ustawieniu zdjęć, jednoczesną obserwację stereoskopową całego stereogramu. W przypadku wykonania zdjęć o osiach zbieżnych (stereogram zdjęć zbieżnych) obserwacja stereoskopowa jest utrudniona i możliwa pod warunkiem ciągłej zmiany ustawień zdjęć względem siebie w zależności od obserwowanych różnych części zdjęcia. Szeregowo zdjęcia lotnicze ze swej natury są zdjęciami prawie pionowymi wykonywanymi z jednakowej wysokości, dlatego tworzą stereogramy zdjęć zbliżonych do normalnych, stwarzając w ten sposób bardzo korzystne warunki dla obserwacji stereoskopowej.

6.4.4 Sposoby obserwacji stereoskopowej

Cechą wszystkich metod obserwacji stereoskopowej jest zasada doprowadzenia do odpowiedniego oka tylko jednego z dwóch obrazów tworzących stereogram.

- metoda bezpośrednia

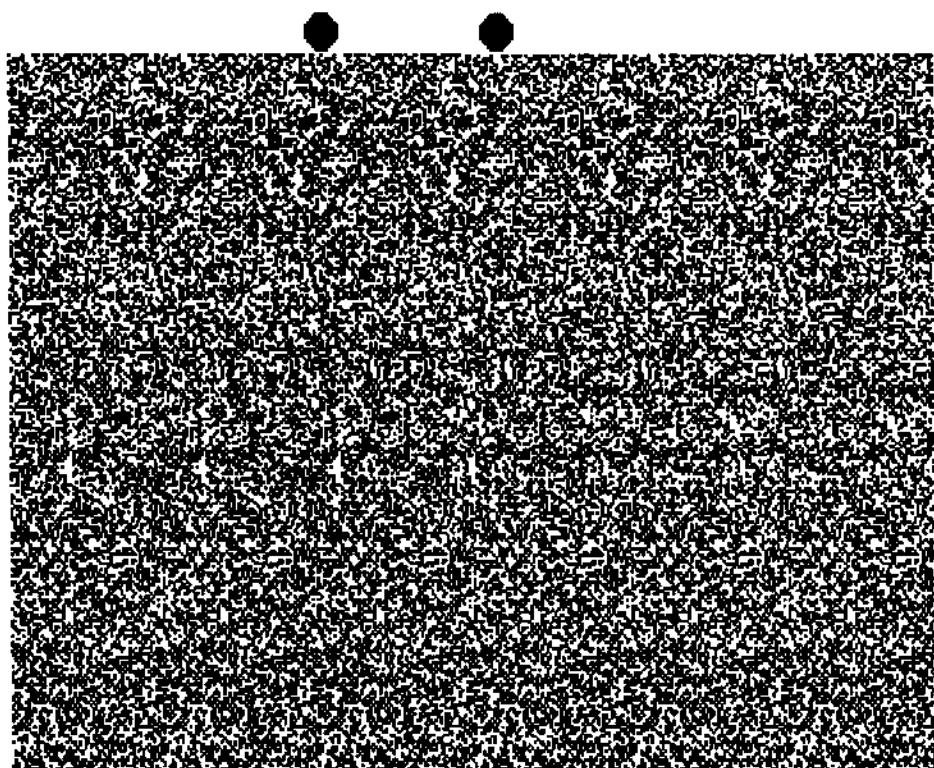
Dla uzyskania sztucznego efektu stereoskopowego poprzez bezpośrednią obserwację zdjęć należy umieścić je w odległości 25 cm od oczu (odległość dobrego widzenia) i w taki sposób, aby te same punkty na obu zdjęciach znajdowały się w odległości bazy ocznej (65 mm). Jednocześnie należy przesunąć i skrócić zdjęcia względem siebie tak, aby wszystkie odpowiadające sobie punkty obu zdjęć leżały na prostych równoległych do bazy ocznej. Teraz należy spróbować doprowadzić osie oczu do równoległości tak, aby lewe oko patrzyło na zdjęcie lewe, a prawe na zdjęcie prawe. Dla osób niewprawnych jest to trudne ponieważ przy akomodacji soczewki ocznej na odległość 25 cm zawsze do tej pory osie oczu były zbieżne i doprowadzenie ich do równoległości wymaga treningu. Specjalnie dla obserwacji stereoskopowej bezpośredniej tworzy się testy geometryczne lub ministereogramy, które reprodukowane są na jednym arkuszu (nie wymagają wzajemnego ustawiania) i rozdane są na odległość ok. 65 mm (rys. 17). Takie ministereogramy służą do treningu obserwacji okiem nieuzbrojonym jak również do sprawdzenia zdolności stereoskopowego widzenia.



Rys.17. Test do bezpośredniej obserwacji stereoskopowej

Innym produktem przeznaczonym dla bezpośredniej obserwacji stereoskopowej są SIRDS (*Single Image Random Dot Stereogram*) czyli stereogramy punktów przypadkowych (w Polsce znane pod nazwą autostereogramów). Są to arkusze wypełnione najczęściej chaotycznie rozmieszczonymi plamkami i punktami, nie przedstawiającymi nic konkretnego. U góry arkusza znajdują się dwa punkty w odległości najczęściej mniejszej od bazy ocznej.

Służą one do ułatwienia uzyskania efektu stereoskopowego poprzez doprowadzenie osi oczu do pokrycia z tymi punktami. Po uzyskaniu efektu stereoskopowego wyłania się obraz przestrzenny zbudowany z tych chaotycznie rozmieszczonych punktów. Takie autostereogramy pozwalają szybko uzyskać wprawę w bezpośredniej obserwacji stereoskopowe zdjęć lotniczych.



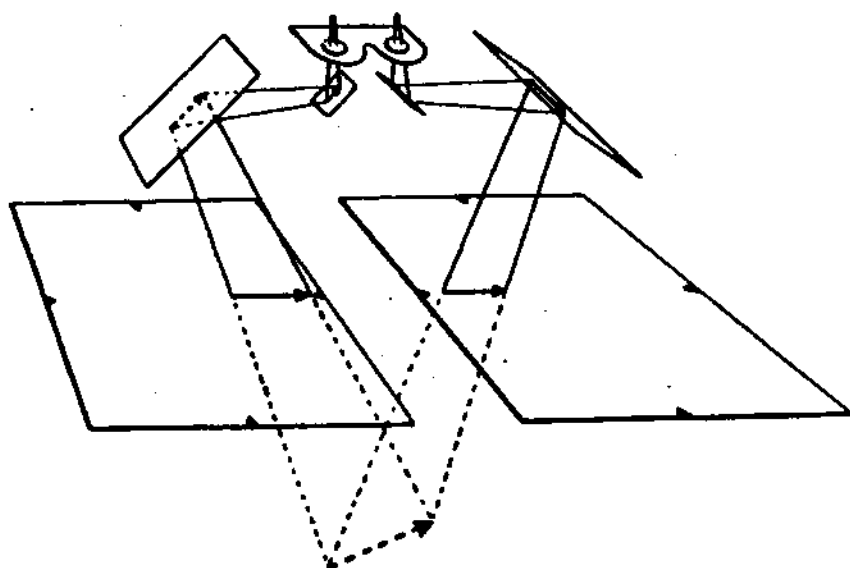
Rys.18. Autostereogram (SIRDS) do obserwacji bezpośredniej

- metoda z wykorzystaniem stereoskopu

Niedogodności związane z obserwacją bezpośrednią znikają, gdy do obserwacji stereoskopowej wykorzystamy przyrząd zwany stereoskopem zwierciadlanym (rys. 19). Przyrząd ten składa się z dwóch par zwierciadeł równoległych spiętych obudową mechaniczną, pod którymi umieszcza się zdjęcia wg zasady opisanej wyżej, z tym, że odległość pomiędzy zdjęciami jest większa, umożliwiając umieszczenie zdjęć lotniczych obok siebie. Zaletą stereoskopu jest to, że obrazy docierające do oczu z odległości dobrego widzenia są rozdzielone i bez trudu nawet początkujący obserwator może uzyskać efekt stereoskopowy. Dla obserwacji modelu stereoskopowego w większej skali do stereoskopów zwierciadlanych dołączane są specjalne lunetki o kilkukrotnym powiększeniu.

- metoda anaglifowa

Polega na wydrukowaniu dwóch zdjęć stereogramu, jedno na drugim z tym, że jedno zdjęcie jest w kolorze niebiesko-zielonym a drugie w czerwonym. Obserwator posiada okulary o szklach w tych samych kolorach. Ponieważ takie szkła wygaszają obrazy w barwach dopełniających, obraz zielony obserwowany przez czerwone szkło nie dociera do obserwatora i odwrotnie. W efekcie do oka obserwatora dociera tylko obraz zdjęcia w takim kolorze w jakim jest szkło okularów, natomiast percepcja tego obrazu jest w odcieniach szarości. W metodzie tej nie można obserwować obrazów barwnych.



Rys.19. Zasada działania stereoskopu zwierciadlanego

- metoda filtrów polaryzacyjnych

Polega na wykorzystaniu zjawiska polaryzacji światła przez specjalne tzw. pasywne filtry polaryzacyjne. Jeśli światło spolaryzujemy filtrem polaryzującym w płaszczyźnie pionowej to obraz który niesie ze sobą będzie widoczny jedynie przez filtr polaryzujący w takiej samej płaszczyźnie, natomiast nie będzie widoczny przez filtr polaryzujący w płaszczyźnie prostopadłej (poziomej). Metoda może być wykorzystywana równocześnie przez wiele osób wyposażonych w pasywne okulary polaryzujące w prostopadłych płaszczyznach, do oglądania obrazów stereoskopowych, wyświetlanych na ekranie z dwóch rzutników, z takimi samymi filtrami. Metoda nie posiada ograniczeń co do barw stereogramów.

-metody stereopercepcji obrazów cyfrowych

Stereopercepcja z wykorzystaniem obrazów wyświetlanych na ekranie monitora komputerowego wymaga wyświetlenia na jednym monitorze dwóch obrazów tworzących stereogram, oraz zapewnienia dotarcia właściwego obrazu do właściwego oka. Najprościej można to zrobić wyświetlając na połówkach ekranu odpowiednie obrazy i obserwować je z wykorzystaniem stereoskopu zwierciadlanego. Taki sposób obserwacji realizowany jest w polskiej fotogrametrycznej stacji cyfrowej VSD-AGH.

Inna metoda, tzw. metoda z podziałem czasu, polega na wyświetlaniu na jednym monitorze na przemian dwóch obrazów. Najczęściej stosuje się monitory pracujące w trybie z przeplotem tzn. na przemian wyświetlające półobraz składający się z linii parzystych - półobraz parzysty, po czym półobraz nieparzysty. Na wyświetlane w taki sposób obrazy obserwator patrzy przez specjalne okulary z tzw. aktywnymi przesłonami ciekłokrystalicznymi. Są one zbudowane z pary polaryzatorów o prostopadłej płaszczyźnie polaryzacji. Pośród nich znajduje się cienka warstwa ciekłego kryształu, która w zależności od tego czy się znajduje w polu elektrycznym czy nie może pozostawać bez zmian lub zmieniać płaszczyznę polaryzacji. W efekcie tego zjawiska taki aktywny filtr może raz przepuszczać, a raz zasłaniać dostęp światła do oka. O tym, które oko ma widzieć w danym momencie ekran decyduje układ monitorujący sygnał video. Na podstawie tego sygnału układ rozpoznaje, który półobraz będzie wyświetlany. Informacja ta dociera do okularów albo drogą połącze-

nia elektrycznego, albo zdalnie, za pomocą promieniowania podczerwonego. System taki nazywany jest „*crystal eyes*” i stosowany jest w systemie fotogrametrycznym IMAGE STATION firmy INTERGRAPH.

Modyfikacją tej metody jest metoda stereopercepcji komputerowej stosowana przez firmę WILD-LEICA. Obserwator wyposażony jest w pasywne okulary (zamiast całych przesłon wbudowane są tylko pojedyncze, tylne polaryzatory, tak jak w zwykłej metodzie polaryzacyjnej). Warstwa ciekłokrystaliczna i przedni polaryzator znajdują się bezpośrednio przed monitorem. Razem z pasywnymi okularami obserwatora tworzą analogiczny układ jak w poprzedniej metodzie, dopuszczający naprzemiennie raz obraz prawy raz obraz lewy do odpowiednich oczu obserwatora.

6.4.5 Rodzaje sztucznego efektu stereoskopowego

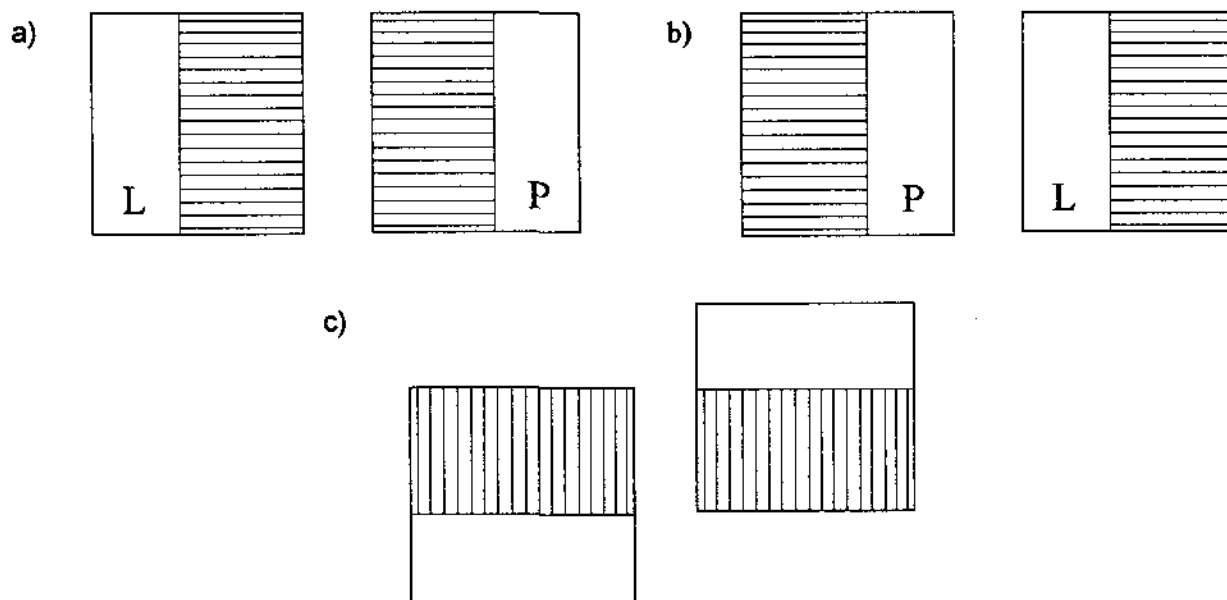
W zależności od tego jak ułożymy względem siebie stereoskopowe zdjęcia lotnicze możemy uzyskać trzy różne rodzaje efektu stereoskopowego.

Efekt normalny (ortoskopowy), o którym do tej pory mówiliśmy, polega na takim ułożeniu zdjęć względem siebie aby lewe zdjęcie obserwować lewym okiem, a prawe zdjęcie prawym, a części wspólne obu zdjęć były zwrócone do siebie dłuższymi bokami. W takim ułożeniu powstaje wizja przestrzenna terenu podobna do rzeczywistości.

Efekt pseudoskopowy powstaje wtedy, gdy zdjęcia zamienimy miejscami i zdjęcie prawe obserwować będziemy lewym okiem, a lewe zdjęcie prawym okiem. Wtedy części wspólne obu zdjęć będą zwrócone na zewnątrz. W takiej sytuacji wizja stereoskopowa modelu będzie odwrócona. Doliny będą grzbietami a np. budynki otworami w powierzchni terenu.

Trzeci efekt zwany efektem zerowym powstaje wówczas, gdy części wspólne obu zdjęć będą zwrócone do siebie krótszymi bokami, a jednocześnie pozostałe części zdjęć nie będą się znajdować naprzeciw siebie. W opisanej sytuacji zanika efekt stereoskopowy, a obserwowany teren wydaje się zupełnie płaski.

Opisane wyżej ustawienia zdjęć względem siebie dla uzyskania poszczególnych efektów stereoskopowych pokazane są na rys. 20.



Rys. 20. Ułożenia zdjęć dla uzyskania różnych efektów stereoskopowych:
a - efekt normalny; b - efekt pseudoskopowy; c - efekt zerowy

6.4.6 Przestrzenny znaczek pomiarowy

Przestrzenny znaczek pomiarowy we wszystkich pomiarach fotogrametrycznych i fotointerpretacyjnych spełnia kluczową rolę. Przy jego pomocy dokonuje się pomiarów współrzędnych tłowych punktów homologicznych (odpowiadających sobie) na obu zdjęciach stereogramu lub pomiaru tylko paralaksy podłużnej (stereoskop). Pomiary takie umożliwiają z pomierzonych współrzędnych w układzie zdjęcia przejść do interesujących nas wielkości w mierze terenowej. Jeśli na obu obrazach stereogramu umieścimy jakiś znaczek (kropka, krzyżyk, kółeczko itp.) w taki sposób, że pokrywać on będzie się z tym samym (homologicznym) punktem na obydwu zdjęciach, to na podstawie przestrzennej obserwacji takiego stereogramu stwierdzimy, że znaczek ten widoczny jest jako jeden punkt przestrzenny, „przyklejony” do modelu. Przyklejony - co oznacza, że nie jest ani wyżej ani niżej od pozostałych punktów otoczenia. Jeśli teraz minimalnie zmienimy jego położenie na jednym zdjęciu, zgodnie z kierunkiem bazy, to zaobserwujemy, że jego przestrzenne położenie zmieniło się. Znaczek dalej widoczny jest przestrzennie jako jeden punkt, z tym, że jego wysokość uległa zmianie. Teraz znajduje się albo pod albo nad powierzchnią modelu stereoskopowego (w zależności od tego, w którym kierunku przesunęliśmy znaczek). Jeśli zwiększymy przesunięcie jednego znacznika względem drugiego (zmieniamy paralaksę podłużną), to efektem obserwowanym na modelu stereoskopowym będzie poziome rozdwojenie się obrazu znacznika świadczące o tym, że paralaksa znaczków jest zbyt duża w stosunku do paralaks punktów zdjęcia tworzących wizję stereoskopową. Należy teraz zmniejszać odległość pomiędzy znaczkami do momentu powtórnego zlania się ich obrazów w jeden przestrzenny punkt. Charakterystyczne jest, że przy zmianie odległości pomiędzy znaczkami (zmianie paralaksy podłużnej) o wiele dłużej widzimy znaczek przestrzennie, gdy znajduje się on nad powierzchnią modelu niż w przypadku zanurzenia go pod powierzchnię modelu.

6.4.7 Ćwiczenia ze stereoskopii

W ramach ćwiczeń uczestnicy zapoznają się z budową stereoskopów zwierciadlanych, sprawdzą na testach stereoskopowych swoje predyspozycje do obserwacji stereoskopowej, nauczą się układać zdjęcia pod stereoskopem, obserwować szkoleniowe stereogramy zdjęć lotniczych, zapoznają się z efektem pseudoskopowym i zerowym oraz wykonają próby osadzania znacznika pomiarowego i uzyskania efektu stereoskopowego bez przyrządów (autostereogramy).

Wyniki testu stereoskopowego zapisać należy w tabeli 3.

Tabela 3

TEST STEREOSKOPOWY VLF										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A										
B										
C										
D										
E										
F										
G										
H										
I										
J										
K										
L										
M										
N										
O										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

6.5 LITERATURA

T.Cyprian: „Fotografia. Technika i technologia.” Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1970.

A.Ciołkosz, J.Miszalski, J.R.Olędzki: „Interpretacja zdjęć lotniczych”. PWN Warszawa 1978.

W.Dederko, A.Pytlński: „O fotografowaniu prawie wszystko” Centralny Ośrodek Metodyki Upowszechniania Kultury, Warszawa 1971.

T.Guethner: „Fotografia Techniczna”. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1971.

M.B.Piasecki: „Fotogrametria lotnicza i naziemna”. PPWK Warszawa, 1973.

Starosolski R.: „Stereogramy na komputerze”. Helion - Gliwice, 1996.

Wójcik S.: „Zdjęcia lotnicze”. PPWK - Warszawa, 1989.

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 pól sił, tradycyjnie zaliczane do metod geofizycznych.

Dla optymalnego wykorzystania materiałów teledetekcyjnych konieczna jest:

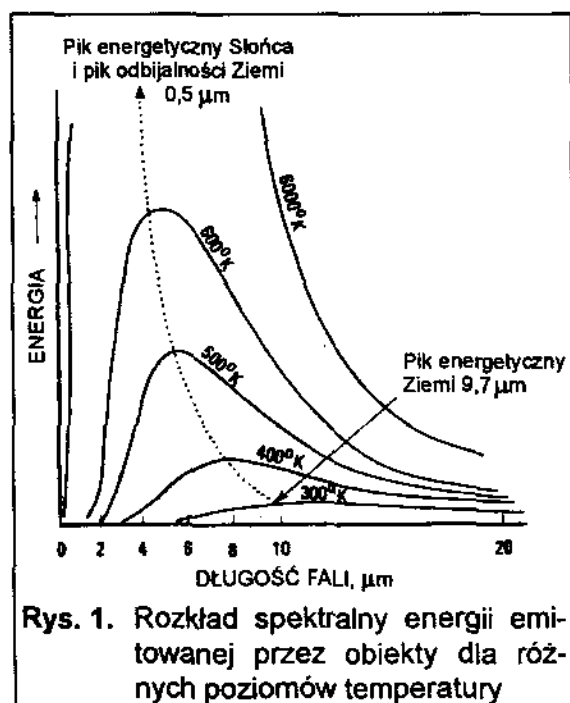
- znajomość technik zdalnej rejestracji obrazów,
- świadomość, czym różnią się te obrazy w stosunku do odwzorowania terenu jakie daje mapa topograficzna,
- umiejętność ich interpretacji, to znaczy właściwego kojarzenia obrazu zarejestrowanego na zdjęciach lotniczych i satelitarnych z obiektami znajdującymi 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 terenu staje się źródłem informacji o tych obiektach w postaci obrazu.

Rozkład energii

Słońce, o temperaturze na powierzchni rzędu 6000°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 $0,5\text{ }\mu\text{m}$ 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 $0,5\text{ }\mu\text{m}$ (rys. 1).

Pik energetyczny powierzchni Ziemi, której temperatura wynosi średnio 290°K (17°C) przypada na region podczerwieni o długości fali $9,7\text{ }\mu\text{m}$. 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).



Rys. 1. Rozkład spektralny energii emitowanej przez obiekty dla różnych poziomów temperatury

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 nazywane 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:

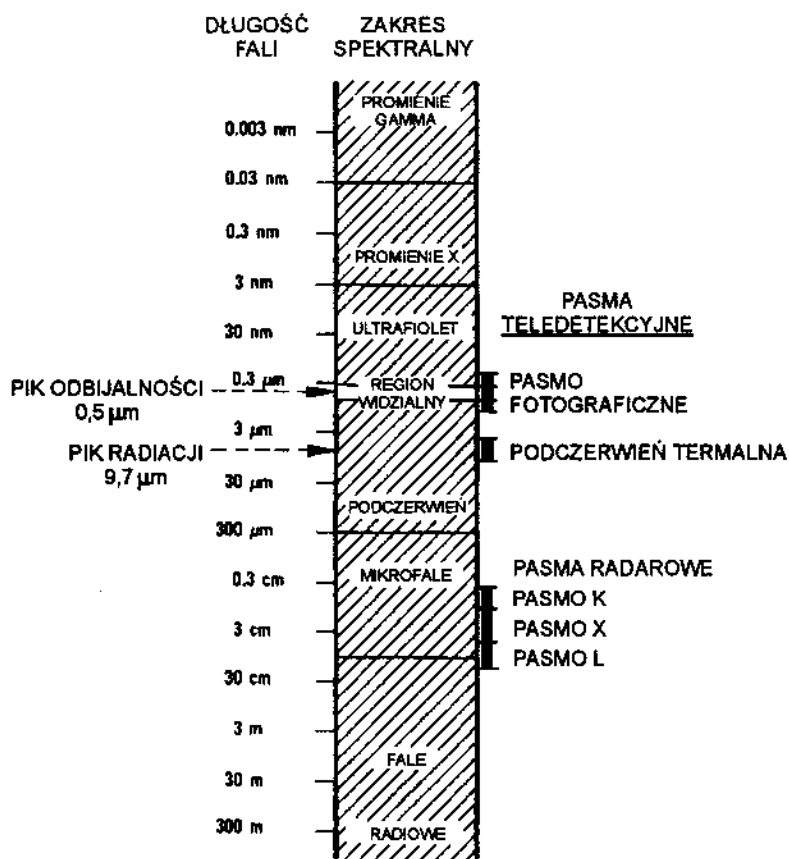
1. Transmisja promieniowania polegająca na przejściu promieniowania przez daną substancję. Prędkość i kierunek promieniowania zmienia się podczas jego transmisji z powietrza lub próżni do wnętrza innych substancji.
2. Absorpcja promieniowania wywołuje z reguły zamianę energii promienistej na ciepło powodując 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 (0^0K) 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. Zależy 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 skanera-
mi multispektralnymi.

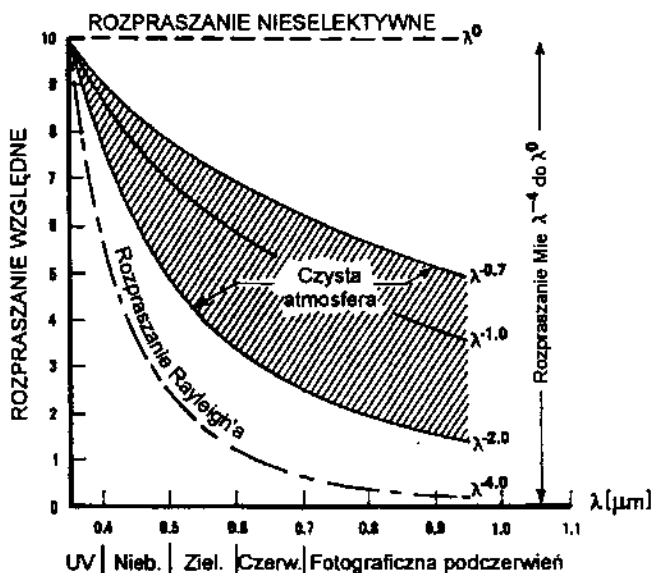


Rys. 2. Spektrum elektromagnetyczne i jego zakresy wykorzystywane w teledetekcji [wg Sabinsa F.F., 1978]

b) spektrum termalne - obejmujące dwa okna atmosferyczne regionu długofalowej podczerwieni - bliższe (3-5 μm) i dalsze (8-14 μm). Rejestracja skanerami termalnymi i skanerami multi-spektralnymi.

c) spektrum mikrofalowe - obejmujący aktywne systemy radarowe z podziałem na kanały K, X, L oraz pasywne systemy mikrofalowe.

Rys. 3. Rozpraszanie selektywne Rayleigh'a i Mie'go, rozpraszanie nieselektywne oraz rozpraszanie promieniowania przez czystą atmosferę (obszar zakreskowy) [wg Sabinsa F.F., 1978]



Efekty atmosferyczne

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

Promieniowanie krótsze niż 0,3 μm jest kompletnie absorbowane przez warstwę ozonu (O_3) 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 krót-

szej niż 0,3 cm. Jedynie mikrofałe 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 μ m	Promieniowanie przychodzące o długości fali <0,3 μ m jest całkowicie absorbowane przez warstwę ozonu
Fotograficzny ultrafiolet	0,3 μ m - 0,4 μ m	Transmitowane przez atmosferę. Rejestrowalne na filmie i przez fotodetektory, chociaż rozpraszanie jest znaczne
Widzialne (VIS)	0,4 μ m - 0,7 μ m	Transmitowane z niewielkimi stratami przez atmosferę. Rejestrowane technikami fotograficznymi i przez fotodetektory
Podczerwień (IR)	0,7 μ m - 300 μ m	Interakcja z materią zależna od długości fali. Okna atmosferyczne przedzielone zakresami absorpcji
Odbijalna podczerwień bliska (IR) i średnia (MIR)	0,7 μ m - 3 μ m	Ten zakres ulega przede wszystkim odbiciu i nie zawiera informacji o właściwościach termalnych materiałów. Zakres 0,7-0,9 μ m wykrywalny fotograficznie (podczerwień fotograficzna)
Termalna podczerwień (TIR)	3 - 5 μ m 8 - 14 μ m	Główne okna atmosferyczne w regionie podczerwonym. Zobrazowania przy użyciu kamer termalnych i skanerów termalnych
Mikrofałe	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 korzystnie 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 (przeglądarki 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_{rad}] powierzchni terenu, a ściślej iloczyn temperatury [T_{kin}] i zdolności emisyjnej [ε] tworzących ją materiałów

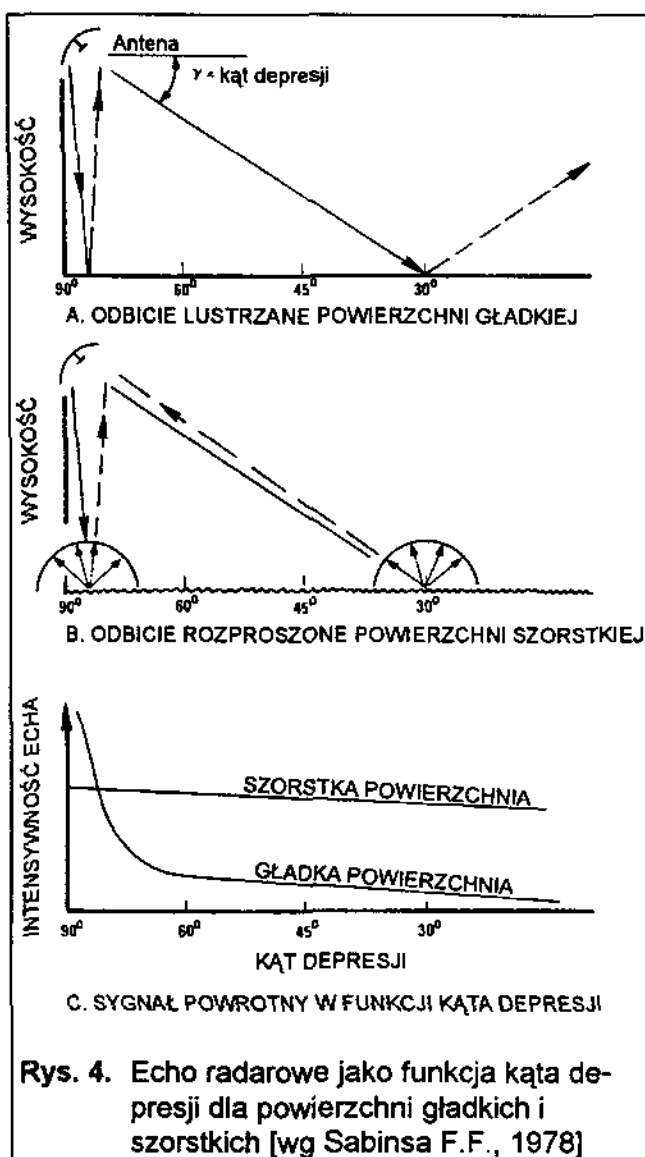
$[T_{rad} = \sqrt[4]{\epsilon} \cdot T_{kin}]$. Są one szczególnie przydatne przy analizie skażeń termalnych terenu, rozprzestrzeniania się ogrzanych wód, izolacji termalnej budynków i rurociągów, w hydrogeologii itp.

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 mikrofałę 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.

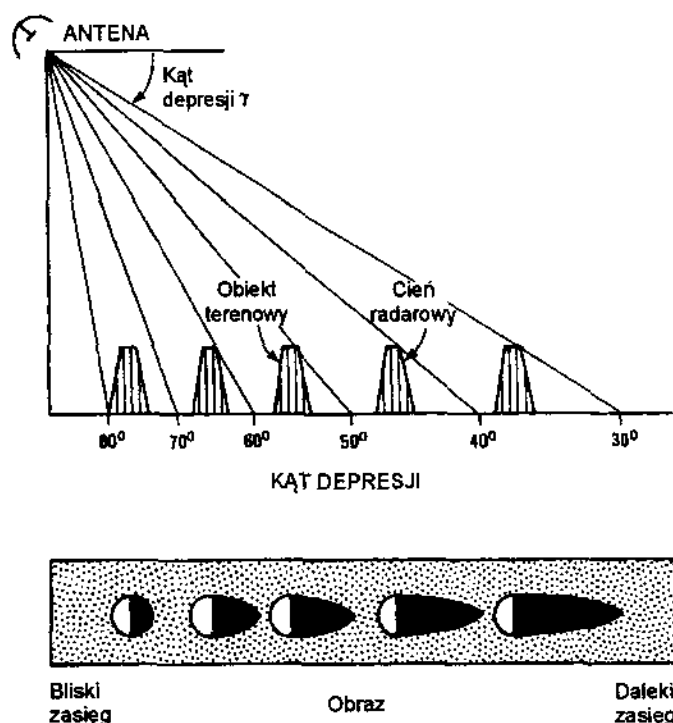
Czytelność obiektów zależy między innymi od ich stałej dielektrycznej. Radary wykorzystujące długie fale mają zdolność częściowej penetracji w podłoże. Jest ona odwrotnie proporcjonalna do wielkości stałych dielektrycznych, a wprost proporcjonalna do długości pasma radarowego. Dla fal radarowych stałe 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 mate-



Rys. 4. Echo radarowe jako funkcja kąta depresji dla powierzchni gładkich i szorstkich [wg Sabinsa F.F., 1978]

riałów budujących dno. Pozwala to na rozpoznanie jego morfologii i litologii oraz lokalizację wraków, podmorskich rurociągów itp. Urządzenie jest niewrażliwe na zmącenie wody. Zakłócenia powodują np. ławice ryb czy delfiny.



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 [nm]	Rozdzielczość terenowa [m]	Rozmiar sceny [km]	Charakterystyka systemu
LANDSAT 1 i 2 (USA - NASA)	RBV (kamery TV)	1	0,475-0,575	80 x 80	185 x 185	Orbita: kołowa, okołobiegunowa (99°), heliosynchroniczna Wysokość: 918 km Czas obiegu: 103 min. Cykl powrotu: 18 dni
		2	0,580-0,680			
		3	0,690-0,830			
	MSS (skaner multi-spektralny)	4	0,50-0,60	79 x 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 x 40	185 x 185 (2 x 90)	Orbita: kołowa, okołobiegunowa (99°), heliosynchroniczna Wysokość: 918 km Czas obiegu: 103 min. Cykl powrotu: 18 dni
	MSS	4	0,50-0,60	79 x 79	185 x 185	
		5	0,60-0,70			
		6	0,70-0,80			
		7	0,80-1,10			
LANDSAT 4 i 5 (USA - EOSAT)	MSS	8	10,40-12,60	240 x 240		Orbita: kołowa, okołobiegunowa (99°), heliosynchroniczna Wysokość: 705 km Czas obiegu: 99 min. Cykl powrotu: 16 dni
		1	0,50-0,60	79 x 79	185 x 185	
		2	0,60-0,70			
		3	0,70-0,80			
	TM (skaner multi-spektralny - kartograf tematyczny)	4	0,80-1,10			
		1	0,45-0,52	30 x 30	185 x 185	
		2	0,52-0,60			
		3	0,63-0,69			
		4	0,76-0,90			
		5	1,55-1,75			
		7	2,80-2,35			
		6	10,4-12,5	120 x 120		

Tabela 1 - c. d.

Nazwa satelity (właściciel)	Nazwa sensora (rodzaj)	Kod kanałów	Zakres spektralny [μm]	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 x 20 10 x 10	117 x 117 (60 x 60 do 80 x 80)	Orbita: kołowa, oko- biegunowa (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 x 30 50 km 1000 m	100 x 100 500 500	Orbita: kołowa, oko- biegunowa, heliosyn- chroniczna 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 multi- spektralny) SWIR (skaner multi- spektralny) 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 x 24,2 18 x 18	75 75	Orbita: okołobieguno- wa (98°), heliosyn- chroniczna 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 μm .

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:

- kątowe 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 wy-

sokiego pułapu lotniczego. Obecnie przyjmuje się następującą gradację skal, wspólną do zobrazowań lotniczych i satelitarnych.

skala mała $< 1 : 500000$ (1 cm = 5 km lub więcej)

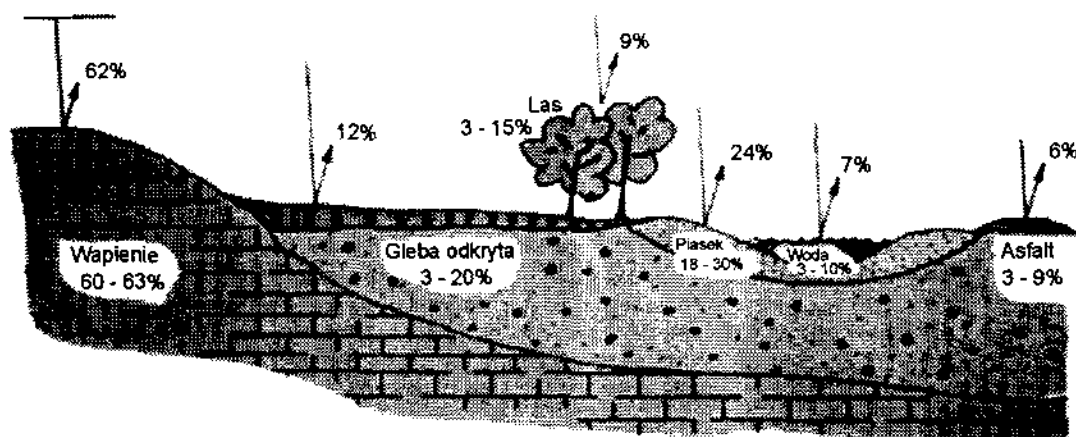
skala średnia $1 : 500000 \div 1 : 50000$ (1 cm = 5 km - 0,5 km)

skala duża $> 1 : 50000$ (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 pozytywowych 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:

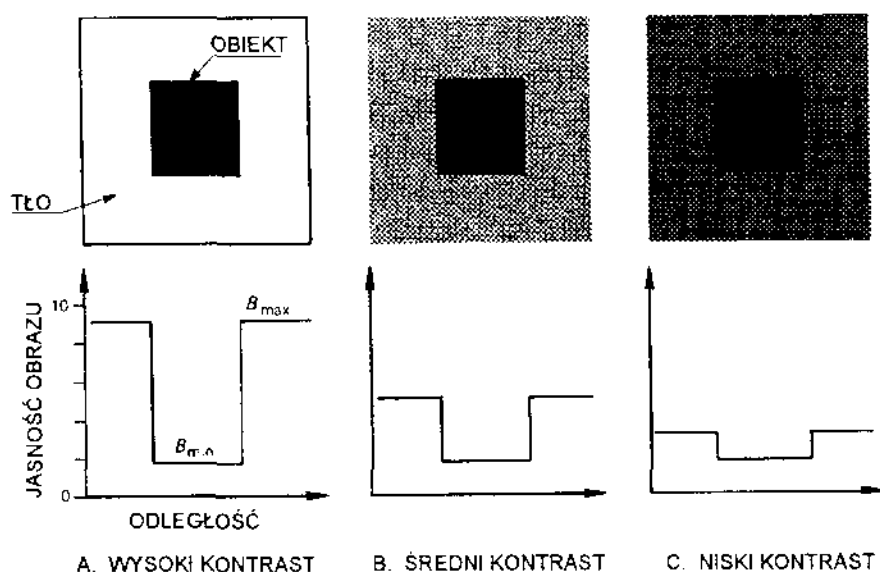
$B_{\max}$ - maksimum jasności

$B_{\min}$ - minimum jasności

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

$B_{\min} = B_{\max}$ $C_r = 1$

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 (piksela) na powierzchni terenu (np. 30×30 m w systemie LANDSAT TM w paśmie odbijalnym lub 120×120 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).

Effekt 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. Stereoskopia w znaczący sposób wspomaga percepcję treści zdjęć lotniczych. Umożliwia m.in. prowadzenie kompleksowych studiów fotointerpretacyjnych, w tym przede wszystkim szeroko pojętych studiów przyrodniczych oraz projektowo-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 zobrazowań 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 znaczniejsze 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 ciekłu, 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 bowiem formułuje hipotezy interpretacyjne, następnie uściśla je i weryfikuje, aby w końcu podjąć decyzję co do ostatecznych wyników wnioskowania.

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 interpretatora 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 wnioskowania 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 wnioskowanie 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 kłesk żywiołowych, szybka ocena chwilo-

wego 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, wypukła jedynie najistotniejsze stadia i wyniki wpływające na przebieg i rezultaty interpretacji zdalnych zobrazowań.

7.4.3 Rola cech rozpoznawczych, działości 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.

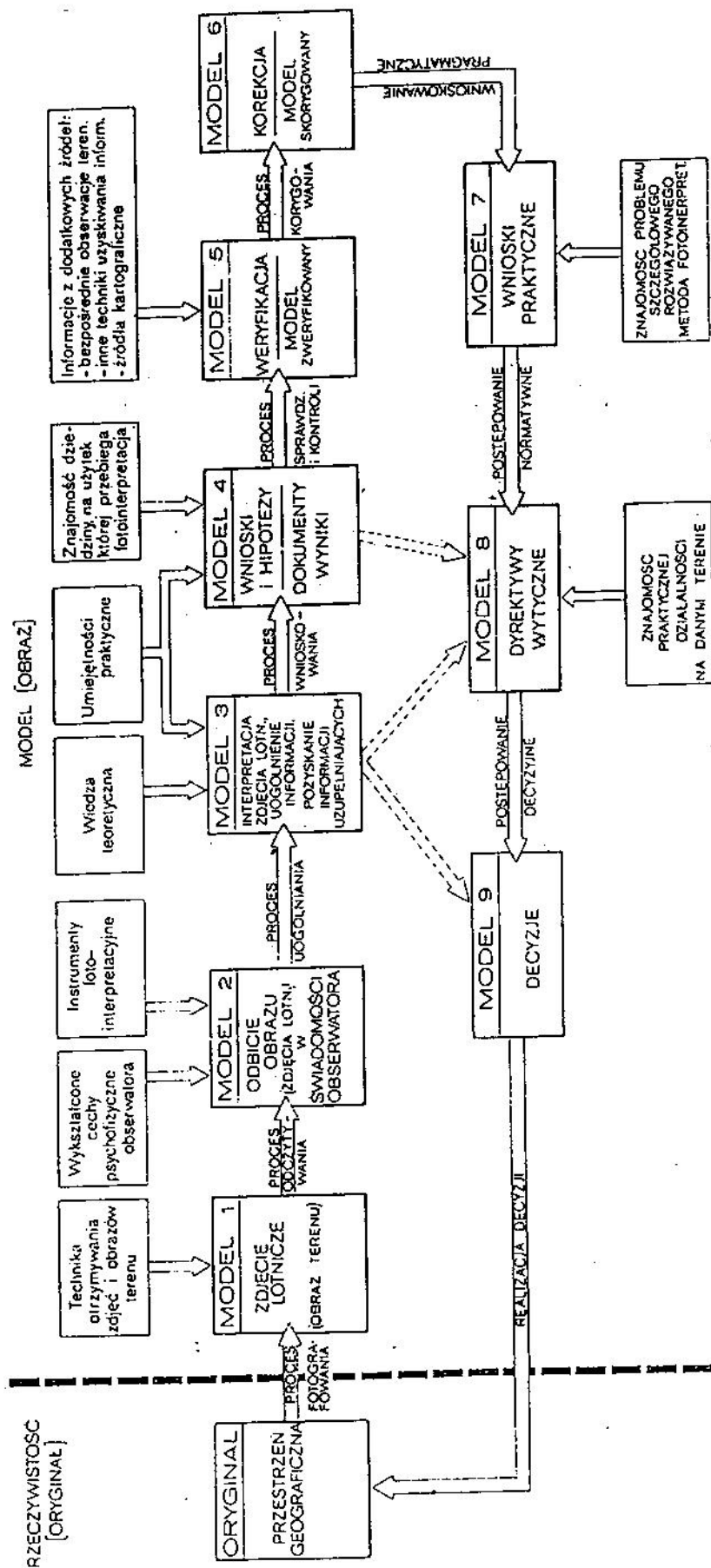
Natomiast interpretacja obrazu, chociaż bazuje na procesie odczytywania wykorzystującym oznaki bezpośrednie, posługuje się również cechami pośrednimi, takimi jak: cień własny i cień rzucany, lokalizacja danego obiektu i jego powiązanie z innymi elementami terenowymi czyli tzw. asocjacje. Cechy pośrednie 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 łach piaszczysto-żwirowych, stanowiących efekt osadzania 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.

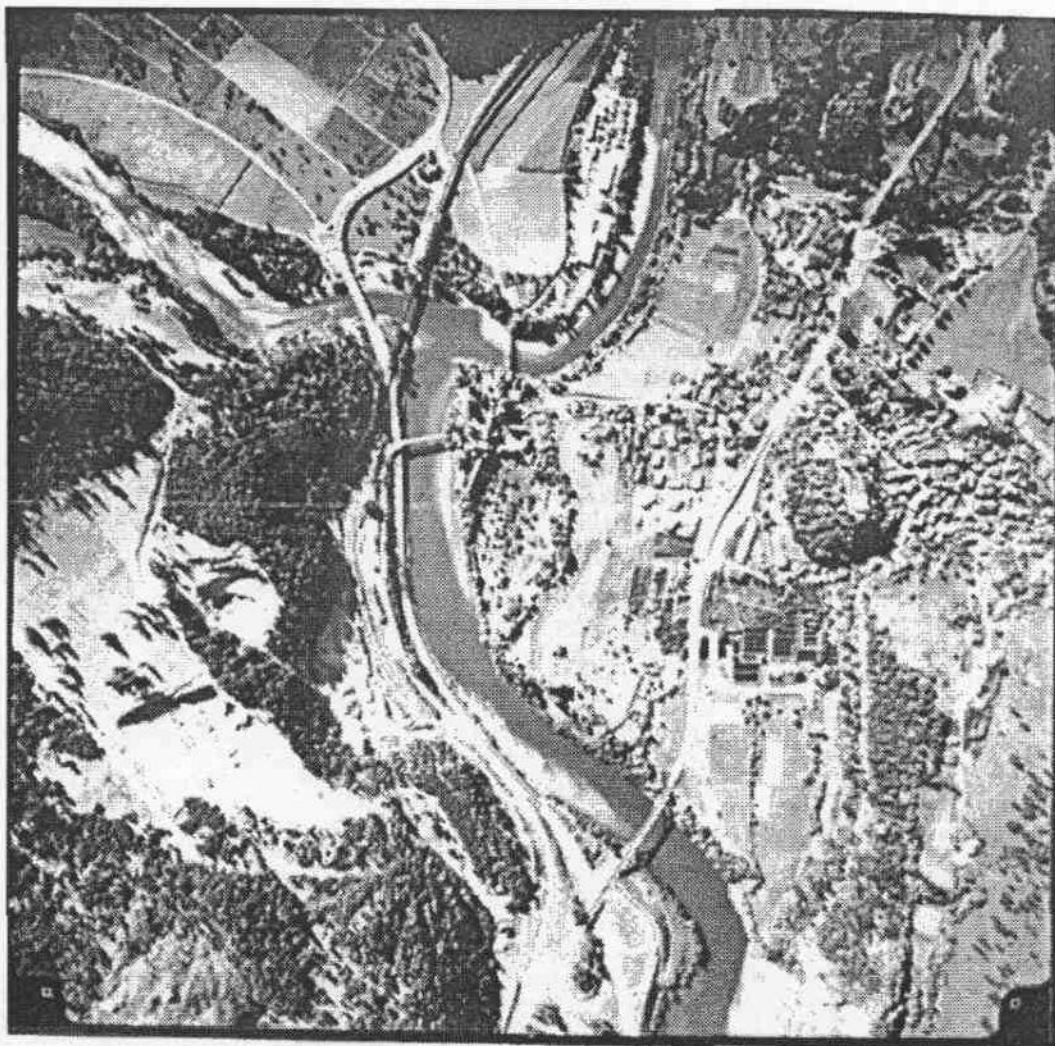
Wielkość obrazu badanego obiektu zależy od jego rzeczywistych rozmiarów, skali a także rozdzielczości zobrazowania. W wielu przypadkach rozdzielczość, zwłaszcza obrazów cyfrowych, jest zbyt mała aby dany obiekt, np. budynek, mógł się w całości odwzorować. Wówczas wielkość obiektu, jako cecha rozpoznawcza 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 niepomniernie ułatwia proces rozpoznawania obiektów i także wykrywania niekiedy subtelnych 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 rzędowną lub kratową ze względu na przestrzenny rozkład tych obiektów i znaczny zwykle stopień generalizacji.

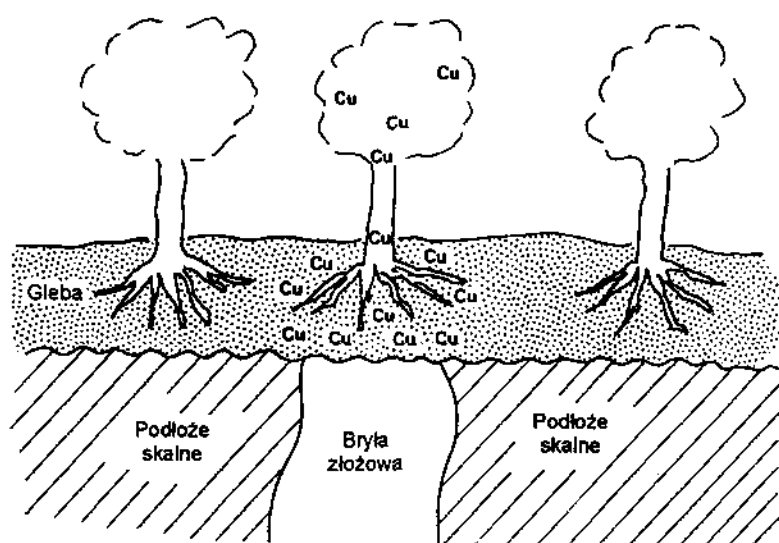
Cień rzucany jest ważną cechą rozpoznawczą, gdyż umożliwia odwzorowanie bryły obiektu jakby z profilu, przez co nasuwa obserwatorowi skojarzenia z jego wyglądem w terenie. Cień własny, to nieoświetlona bezpośrednio część obrazu danego obiektu charakteryzująca się zazwyczaj ciemniejszym tonem niż cień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

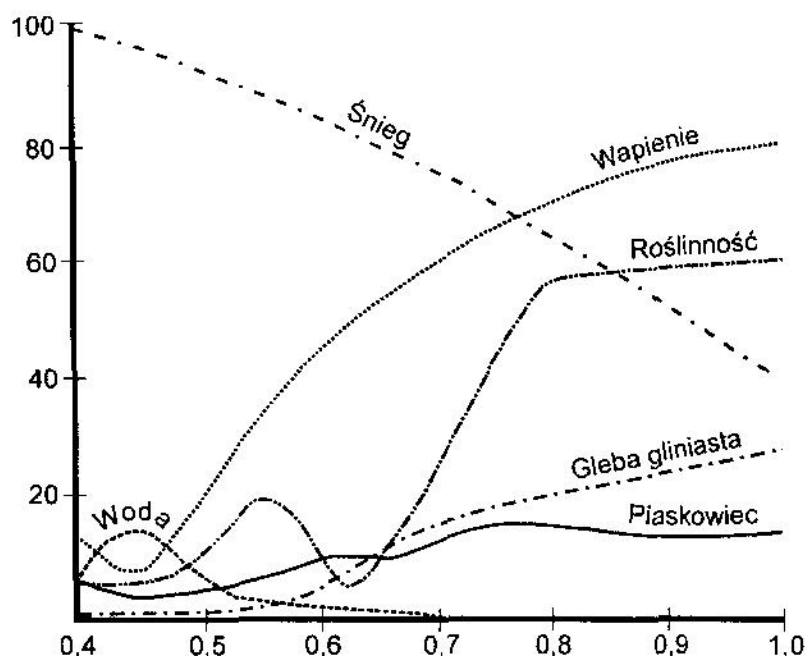
W ostatnich latach wraz z rozwojem teledetekcji satelitarnej oraz metodyki interpretacji tych zobrazowań upowszechnia się pojęcie *jednostki fotomorficznej*, jako swoistego wzorca interpretacyjnego stanowiącego scalenie trzech elementów: fototonu lub barwy, fotostruktury i fototekstury. Zgodnie z tymi 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.Oleński w oparciu o analizę zobrazowań systemu LAND-SAT-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.

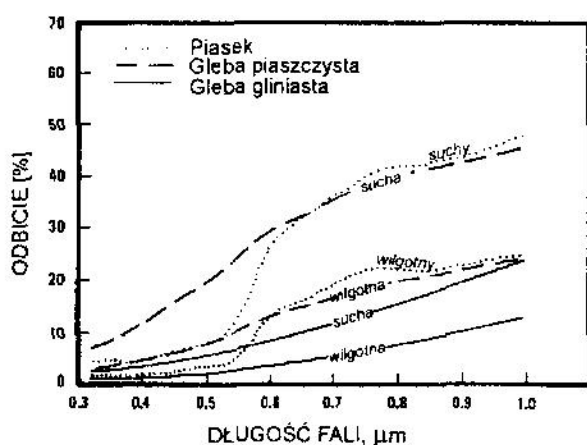
Rys. 12 ilustruje uogólnione krzywe charakterystyki spektralnej dla głównych komponentów naturalnych składających się na obraz powierzchni terenu, a mianowicie gleby, roślinności i wody w dwóch stanach skupienia.

Gleba charakteryzuje się średnim poziomem odbicia wzrastającym systematycznie, z niewielkimi undulacjami, 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 skonstrastowanie 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 wydzielen gatunkowych, są zobrazowania wielospektralne z pasmem bliskiej podczerwieni wykonywane wiosną na przełomie maja i czerwca. Właściwości spektralne zielonej szaty roślinnej, wyrażające się niezmienną relacją odbicia promieniowania w poszczególnych zakresach spektrum, powodują, iż roślinność wykorzystywana jest w procesie interpreta-

cji 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 kultywacji 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 wydzielania w obrębie zdjęcia (obrazu) dużych jednostek morfologicznych, jak też poszczególnych form terenowych, takich jak stoki, linie krawędziowe, załomy, progi terenowe itp. Wykorzystanie obserwacji stereoskopowej niepomniernie 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, kolisty lub eliptyczne wzgórza o opływowym kształcie i długości do 1,5 km. Na zdjęciach lotniczych mają wygląd równolegle 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. Odwzorowane 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 wyznaczanie 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, łach 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 zobrazowań 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 zobrazowania okazały się szczególnie przydatne do określania zasięgu, sposobu i charakteru rozplywu 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 zobrazowania 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.

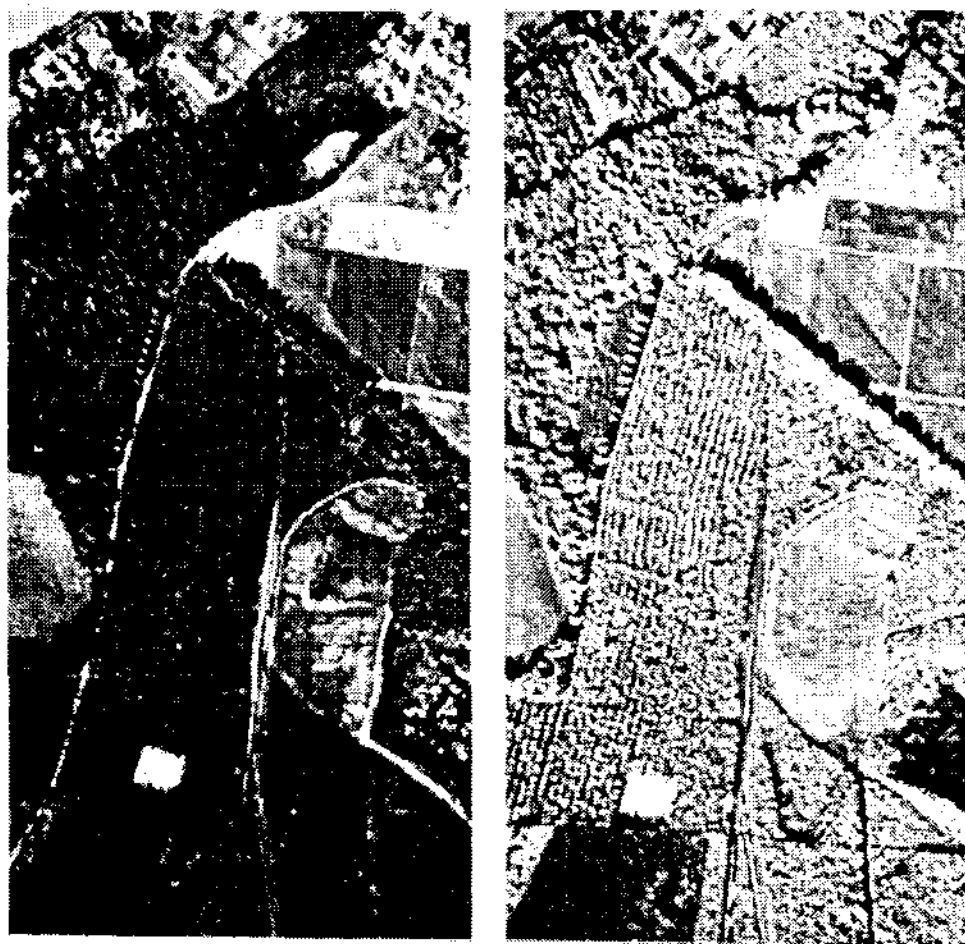
Inny sposób polega na wykorzystaniu zależności pomiędzy gęstością optyczną zdjęcia panchromatycznego a głębokością zbiornika. Zmiany fototonu można powiązać z grubością warstwy wody, przy założeniu jednorodności dna. Przy sprzyjających warunkach fotografowania można w ten sposób określać położenia dna 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 różnicowanie barwy staje się ekwiwalentem zmian fototonu na zdjęciach 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 (pachromatycznych, barwnych, spektrostrefowych, wielospektralnych), podobnie jak i na multispektralnych zobrazeniach 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 pachromatycznym i zdjęciu w bliskiej podczerwieni

Podstawowymi cechami rozpoznawczymi dla kompleksów leśnych są barwa lub fototon (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 bezładna.

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 współistnienie 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

7.6.2 Zniekształcenia geometryczne zdjęć lotniczych i satelitarnych

Pionowe lub prawie pionowe (odchylenie osi kamery od pionu $< 2-3^\circ$) 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 obarczone znacznymi błędami, których wielkość uzależniona jest od deniwelacji terenu (Δh), odległości mierzonych elementów od punktu głównego zdjęcia (r) i wysokości fotografowania (H), zgodnie z zależnością określającą tzw. przesunięcie radialne (Δr):

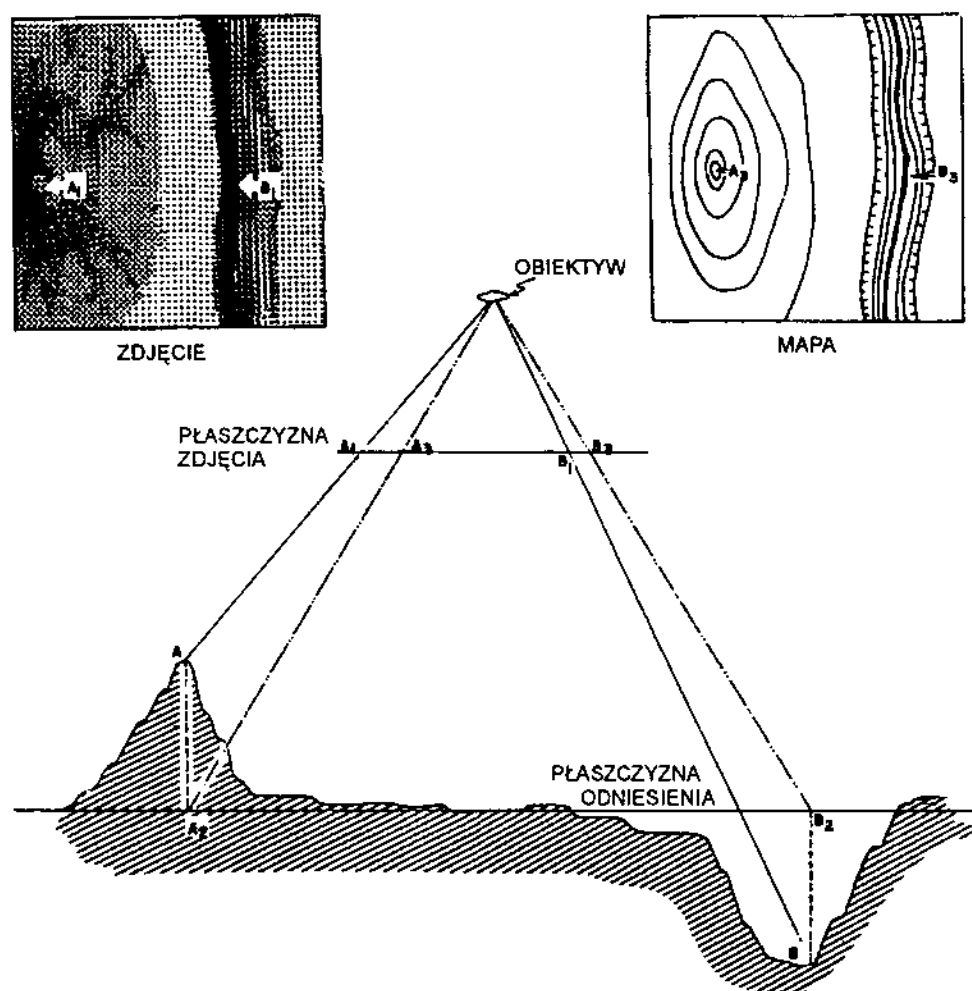
$$\Delta r = \frac{r \cdot \Delta h}{H} \quad (\text{wzór 2})$$

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 (Δr), 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 malały 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, budynku 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 K O N S P E K T

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 fotomorficzne.
- 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 (zbiorowiska 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 [CW] (3g)

Temat 1 (1g)

Definiowanie interpretacyjnych cech rozpoznawczych

Cel ćwiczenia: zrozumienie istoty cech rozpoznawczych i ich praktyczne wykorzystanie w procesie interpretacji materiałów fotolotniczych. Wzrost 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.

8. PROSTE METODY ODCZYTYWANIA I POMIARU NA ZDJĘCIACH LOTNICZYCH Z WYKORZYSTANIEM STEREOSKOPII ORAZ NA ORTOFOTOMAPIE

Beata Hejmanowska

8.1 OKREŚLANIE ELEMENTÓW GEOMETRII ZDJĘCIA LOTNICZEGO

Dokonywanie pomiarów na zdjęciu lotniczym uwarunkowane jest znajomością elementów orientacji zdjęcia:

- elementów orientacji wewnętrznej (współrzędne tłowe punktu głównego: x'_0 , y'_0 i odległość obrazowa: c_k), (rys. 1),
- elementów orientacji zewnętrznej zdjęcia (współrzędne przestrzenne środka rzutów: X_0 , Y_0 , Z_0 , v - kąt nachylenia płaszczyzny zdjęcia w stosunku do płaszczyzny poziomej), (rys. 8).

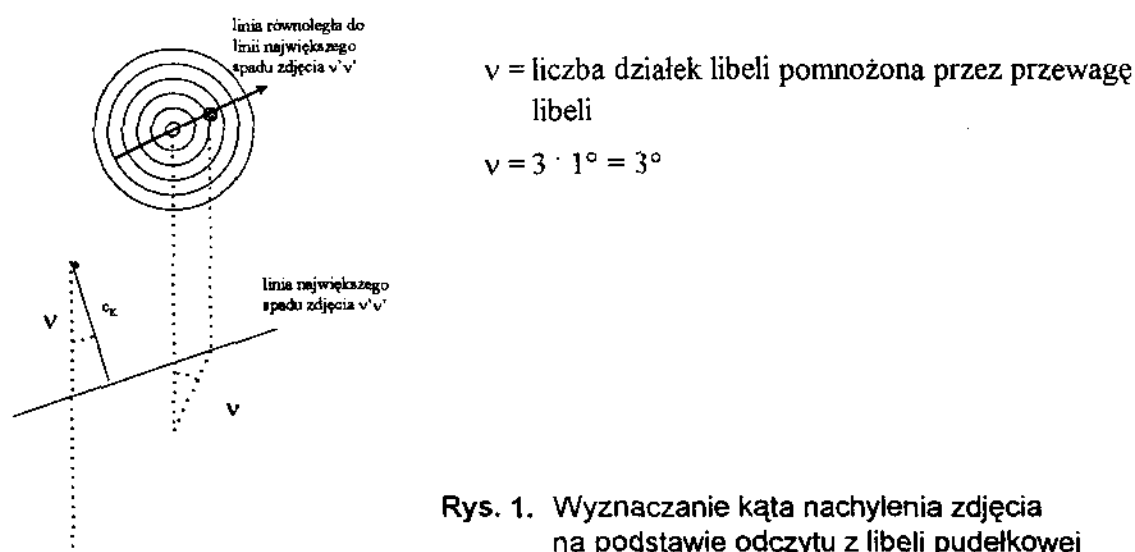
Elementy orientacji wewnętrznej wyznacza się podczas specjalistycznej procedury kalibracyjnej lub wykorzystuje się podane przez producenta wartości fabryczne. Elementy orientacji zewnętrznej przyjmują dla każdego zdjęcia inne wartości. Można je wyznaczyć w sposób przybliżony odczytując bezpośrednio wskazania przyrządów pomiarowych, które odfotografowują się na zdjęciu lub przeprowadzając specjalne obliczenia. Wskazania przyrządów mogą być obciążone błędami i mają charakter przybliżony.

8.1.1 Wykorzystanie informacji z ramki zdjęcia lotniczego

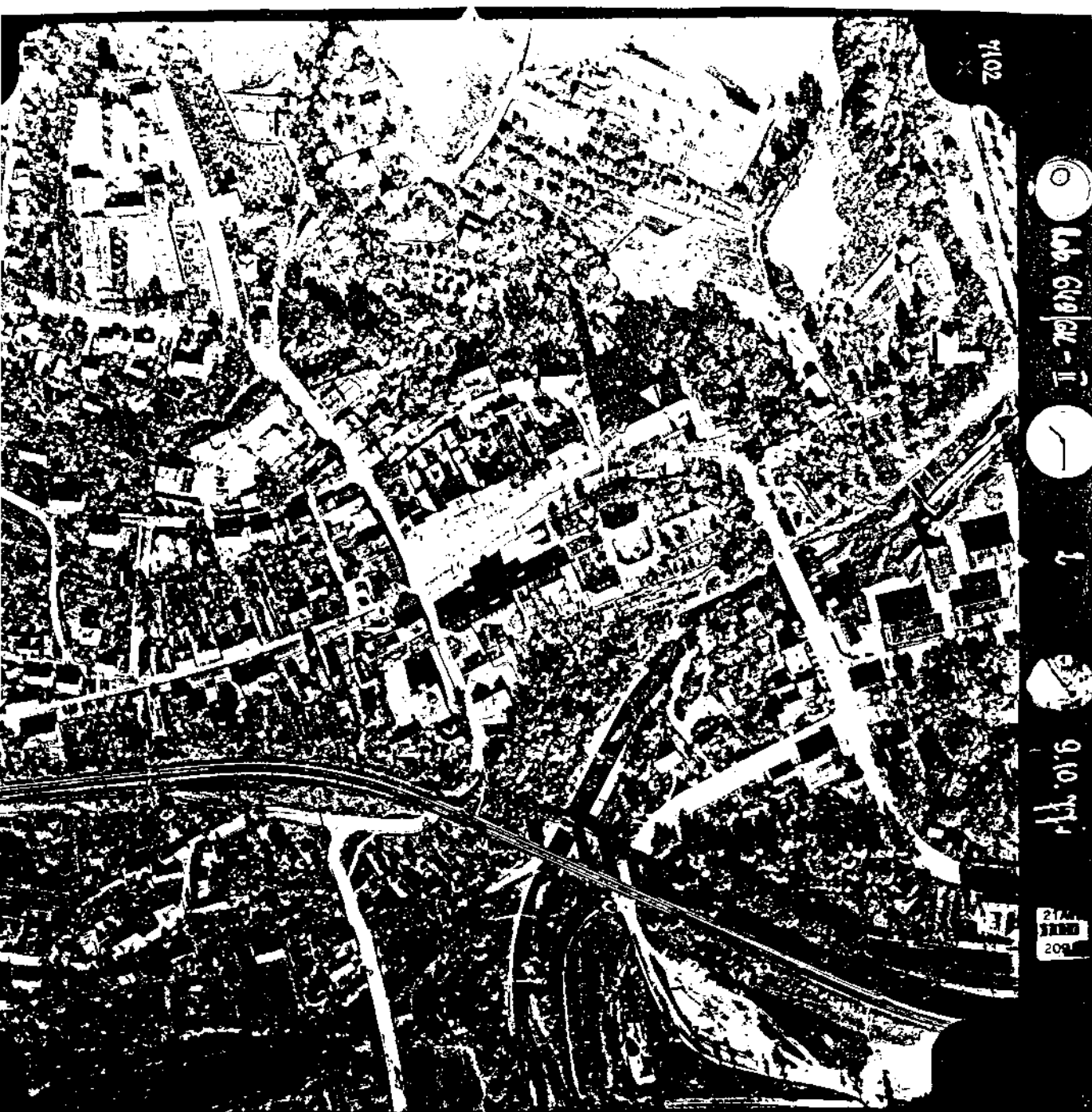
W obrębie ramki tłowej odfotografowują się między innymi:

- położenie libeli pudełkowej w momencie wykonywania zdjęcia,
- godzina wykonania zdjęcia,
- wskazania wysokościomierza,
- numer kamery, numer porządkowy negatywu, odległość obrazowa kamery.

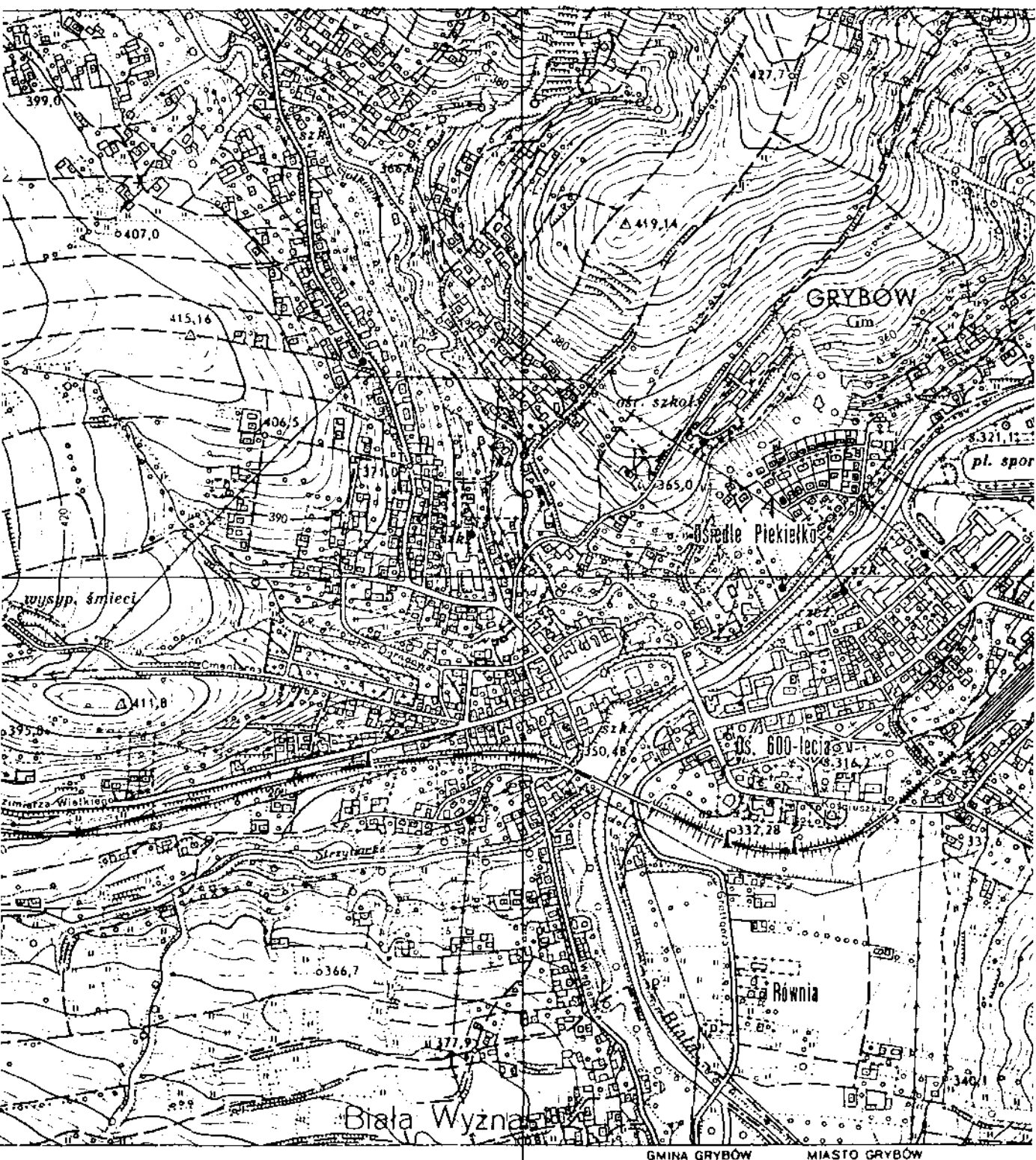
Kąt nachylenia zdjęcia v można wyznaczyć w oparciu o położenie pęcherzyka libeli pudełkowej (rys. 1). Ponadto z ramki tłowej na rys. 2 można odczytać godzinę wykonania zdjęcia z zegara:, wysokość lotu z odczytu wysokościomierza:, numer kamery:, numer porządkowy zdjęcia: i odległość obrazową: (wpisać wartości odczytane z ramki tłowej zdjęcia na rys. 2)



Rys. 1. Wyznaczanie kąta nachylenia zdjęcia na podstawie odczytu z libeli pudełkowej

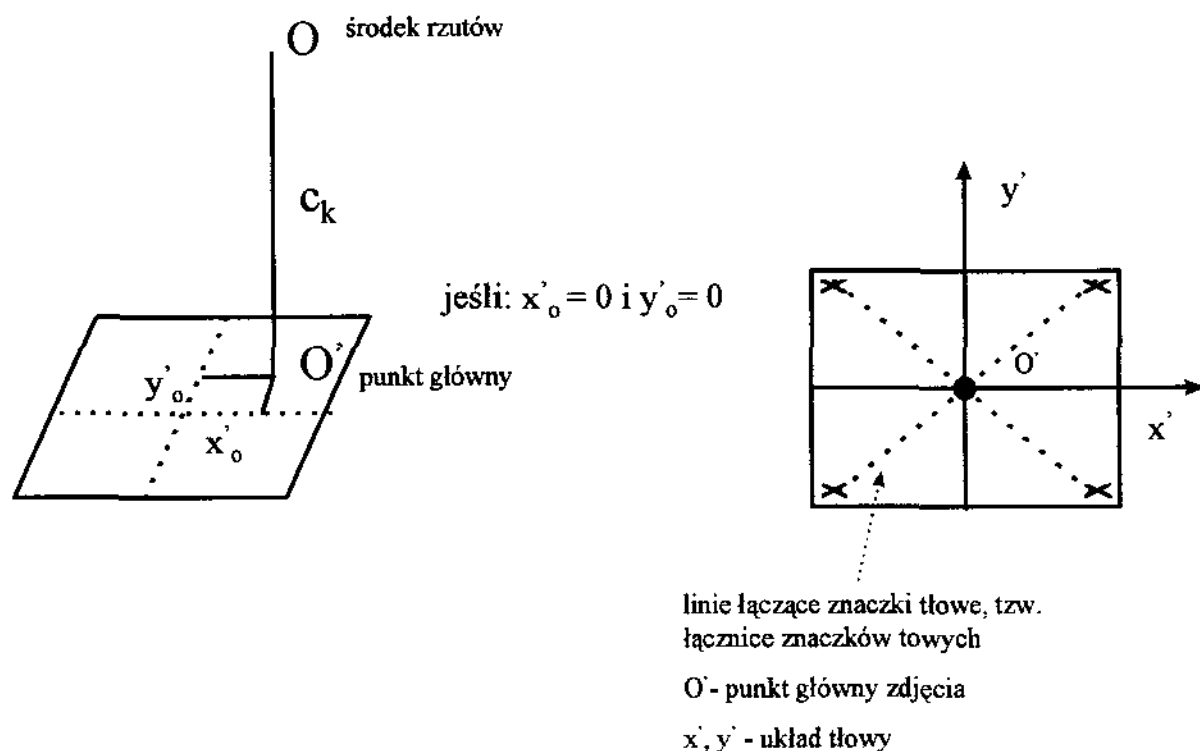


Rys. 2. Przykładowe zdjęcie lotnicze (Grybów, skala 1 : 3 000)



Rys. 3. Mapa topograficzna w skali 1 : 10 000 (okolice Grybowa)

rzeniu odcinka pomiędzy punktem głównym O' i punktem nadirowym N' ($O'N'$) i przy znajomości stałej kamery c_k można ze wzoru (1) obliczyć kąt ν .



Rys. 4. Położenie punktu głównego i wyznaczanie układu tłowego

8.1.4 Określanie wielkości zniekształceń geometrycznych obrazu na zdjęciu lotniczym

Założmy, że wykonane zostało zdjęcie obiektu płaskiego w ten sposób, że płaszczyzna zdjęcia była równoległa do obiektu. Tak wykonane zdjęcie jest w pełni metryczne, tzn. można go traktować jako mapę i dokonywać na nim wszystkich pomiarów przy wcześniejszym wyznaczeniu jego skali. W rzeczywistości jednak nigdy zdjęcie lotnicze nie jest ściśle pionowe a powierzchnia terenu idealnie płaska. Dlatego też przed przystąpieniem do pomiarów na zdjęciu każdorazowo trzeba oszacować możliwe zniekształcenia, które mogą być spowodowane głównie przez:

- nachylenie zdjęcia, ν , (por. rys. 10 rozdz. 6),
- ukształtowanie powierzchni terenu, (por. rys. 11 rozdz. 6).

Na zdjęciu nachylonym zarejestrowane punkty mają inne położenie niż na zdjęciu pionowym. Wielkość przesunięcia tych punktów zależy od kąta nachylenia zdjęcia (ν) a także od położenia punktu na zdjęciu (kąta γ). Wielkość przesunięcia (Δr_ν) można oszacować ze wzoru:

$$\Delta r_\nu = -\frac{r^2}{c_k} \sin \nu \sin \gamma \quad (\text{wzór 3})$$

gdzie:

γ - kąt pomiędzy promieniem radialnym punktu, a linią największego spadku zdjęcia.

Przy nachyleniu zdjęcia $\nu = 3^\circ$, odległości obrazowej $c_K = 152$ mm i odległości $r = 160$ mm na linii największego spadku ($\gamma = 90^\circ$) przesunięcie δ_ν wyniesie: **8,8 mm**.

Tabela 1

Wielkości przesunięć radialnych (w mm) na skraju zdjęcia (dla $r = 160$ mm)

ν	c_K [mm]			
	100	152	200	300
3°	13.4	8.8	6.7	4.5
1°	4.5	2.9	2.2	1.5
30'	2.2	1.5	1.1	0.7
10'	0.8	0.5	0.4	0.3

Analizując wzór można stwierdzić, że wielkość przesunięcia jest tym większa im większe jest nachylenie zdjęcia i im krótsza jest odległość obrazowa. Ponadto maksymalne wartości przesunięcia występują na linii największego spadku ($\sin \gamma = 1$), a linią na której nie ma zniekształceń ze względu na nachylenie zdjęcia jest linia hh.

Deniwelacje terenu powodują również przesunięcia na zdjęciu lotniczym w porównaniu do zdjęcia terenu płaskiego. Wielkość tych przesunięć, tzw. przesunięć radialnych (Δr_h) można określić ze wzoru:

$$\Delta r_h = \frac{r \Delta h}{H} \quad (\text{wzór 4})$$

gdzie:

Δh - różnica wysokości pomiędzy mierzonym punktem, a płaszczyzną odniesienia,

H - wysokość lotu w stosunku do płaszczyzny odniesienia,

r - odległość mierzonego punktu od punktu nadirowego.

Przesunięcie radialne przy odległości $r = 160$ mm, wysokości fotografowania, $H = 4000$ m i różnicy wysokości 100 m wynosi **4,0 mm**.

Tabela 2

Wielkości przesunięć radialnych (w mm) na skraju zdjęcia
(dla $r = 160$ mm i $c_K = 152$ mm)

Δh [m]	H [m]		
	800	2000	4000
25	5.0	2.0	1.0
50	10.0	4.0	2.0
100	20.0	8.0	4.0
200	40.0	16.0	8.0

Zdjęcie lotnicze oprócz tego może być obciążone także dwoma innymi błędami mianowicie wpływem krzywizny Ziemi i refrakcji. Błędy te powinny być brane pod uwagę jedynie przy dużych wysokościach lotu. Łączny wpływ krzywizny Ziemi i refrakcji można przybliżyć na przykład na podstawie uproszczonego wzoru, przyjmując R jako promień Ziemi:



Rys. 5. Zniekształcenia skali na zdjęciu ukośnym, (por. rys. 10) (według [8])

8.2 ĆWICZENIE I - OCENA GEOMETRII ZDJĘCIA

Komentarz: Ćwiczenie prowadzone jest na zdjęciach PHARE:

- w skali 1 : 5 000 (Kraków)
- w skali 1 : 26 000 (okolice Jeziorska)

Wynikiem ćwiczenia jest raport charakteryzujący zdjęcia.

SKALA 1 : 5 000

1. Odczytanie informacji z ramki zdjęcia

- godzina wykonania zdjęcia:
- wysokość lotu, $H =$
- odległość obrazowa $c_K =$
- kąt nachylenia zdjęcia $\nu =$

2. Określenie wysokości płaszczyzny odniesienia jako średnia wysokość terenu odczytana z mapy topograficznej

- oszacowanie maksymalnych różnic wysokości z mapy i stopnia urozmaicenia rzeźby terenu (teren prawie płaski, teren płaski z występującymi sporadycznie lokalnymi deniwelacjami, teren pofalowany, teren górzisty)

$\Delta h =$

3. Określenie wielkości zniekształceń geometrycznych

- określić maksymalne zniekształcenia jakie mogą wystąpić na zdjęciu ze względu na jego nachylenie, przyjmując maksymalną wartość promienia, r :

$$\Delta r_\nu = -\frac{r^2}{c_K} \sin \nu =$$

- zaznaczyć na zdjęciu obszar o promieniu, r , wewnątrz którego zniekształcenia ze względu na nachylenie zdjęcia są zanedbywalne, przyjmując $\Delta r_\nu = 0,5 \text{ mm}$.

$$r = \sqrt{\frac{\Delta r_\nu c_K}{\sin \nu}} =$$

- określić maksymalne zniekształcenia jakie mogą wystąpić na zdjęciu ze względu na maksymalną deniwelację terenu (Δh), przyjmując maksymalną wartość promienia, r :

$$\Delta r_h = \frac{r \Delta h}{H} =$$

- zaznaczyć na zdjęciu obszar o promieniu, r , wewnątrz którego zniekształcenia ze względu na deniwelację terenu są zanedbywalne, przyjmując $\Delta r_h = 0,5 \text{ mm}$.

$$r = \frac{\Delta r_h H}{\Delta h} =$$

4. Wyznaczenie skali zdjęcia pionowego

- z pomiaru długości kilku odcinków na zdjęciu i na mapie (m_m - mianownik skali mapy)

d_z długość pomierzona na zdjęciu	d_m długość pomierzona na mapie	m_z (mianownik skali zdjęcia) $(d_m \cdot m_m) / d_z$

$$\Delta m_z \leq \frac{4 \delta}{l_{\max}}$$

gdzie:

δ - dokładność pomiaru odcinka na mapie,

$l_{\max}$ - maksymalna długość odcinka jaki można zmierzyć na zdjęciu.

- wykorzystując odczyty zegarów, $H/c_K =$

Raport

(dla zdjęcia o nominalnej skali 1 : 5 000)

- numer zdjęcia:
- data:
- godzina wykonania zdjęcia:
- wysokość lotu, $H =$
- odległość obrazowa $c_K =$
- kąt nachylenia zdjęcia $\nu =$
- średnia wysokość terenu, $\Delta h =$
- zniekształcenie ze względu na nachylenie, $\Delta r_\nu =$
- zniekształcenia ze względu na deniwelację terenu, $\Delta r_h =$
- skala zdjęcia:

SKALA 1 : 26 000

1. Odczytanie informacji z ramki zdjęcia

- godzina wykonania zdjęcia:
- wysokość lotu, $H =$
- odległość obrazowa $c_K =$
- kąt nachylenia zdjęcia $\nu =$

2. Określenie wysokości płaszczyzny odniesienia jako średnia wysokość terenu odczytana z mapy topograficznej

- oszacowanie maksymalnych różnic wysokości z mapy i stopnia urozmaicenia rzeźby terenu (teren prawie płaski, teren płaski z występującymi sporadycznie lokalnymi deniwelacjami, teren pofalowany, teren górzisty)
 $\Delta h =$

3. Określenie wielkości zniekształceń geometrycznych

- określić maksymalne zniekształcenia jakie mogą wystąpić na zdjęciu ze względu na jego nachylenie, przyjmując maksymalną wartość promienia, r :

$$\Delta r_\nu = -\frac{r^2}{c_K} \sin \nu =$$

- zaznaczyć na zdjęciu obszar o promieniu, r , wewnątrz którego zniekształcenia ze względu na nachylenie zdjęcia są zaniedbywalne, przyjmując $\Delta r_\nu = 0,5 \text{ mm}$.

$$r = \sqrt{\frac{\Delta r_\nu c_K}{\sin \nu}} =$$

- określić maksymalne zniekształcenia jakie mogą wystąpić na zdjęciu ze względu na maksymalną deniwelację terenu (Δh), przyjmując maksymalną wartość promienia, r :

$$\Delta r_h = \frac{r \Delta h}{H} =$$

- zaznaczyć na zdjęciu obszar o promieniu, r , wewnątrz którego zniekształcenia ze względu na deniwelację terenu są zaniedbywalne, przyjmując $\Delta r_h = 0,5 \text{ mm}$.

$$r = \frac{\Delta r_h H}{\Delta h} =$$

4. Wyznaczenie skali zdjęcia pionowego

- z pomiaru długości kilku odcinków na zdjęciu i na mapie (m_m - mianownik skali mapy)

d_z długość pomierzona na zdjęciu	d_m długość pomierzona na mapie	m_z (mianownik skali zdjęcia) $(d_m m_m) / d_z$

$$\Delta m_z \leq \frac{4 \delta}{l_{\max}}$$

gdzie:

δ - dokładność pomiaru odcinka na mapie,

$l_{\max}$ - maksymalna długość odcinka jaki można zmierzyć na zdjęciu.

- wykorzystując odczyty zegarów, $H/c_K =$

Raport

(dla zdjęcia o nominalnej skali: 1 : 26 000)

- numer zdjęcia:
- data:
- godzina wykonania zdjęcia:
- wysokość lotu, $H =$
- odległość obrazowa $c_K =$
- kąt nachylenia zdjęcia $\nu =$
- średnia wysokość terenu, $\Delta h =$
- zniekształcenie ze względu na nachylenie, $\Delta r_\nu =$
- zniekształcenia ze względu na deniwelację terenu, $\Delta r_h =$
- skala zdjęcia:

8.3 PROSTE, PRZYBLIŻONE POMIARY NA POJEDYNCZYM ZDJĘCIU LOTNICZYM

Każdy punkt w przestrzeni zarejestrowany na pojedynczym zdjęciu ma swoje współrzędne w układzie zdjęcia tzw. współrzędne tłowe. Układ współrzędnych zdjęcia tworzą linie łączące znaczki tłowe. Współrzędne punktu na zdjęciu można w sposób przybliżony pomierzyć za pomocą linijki z podziałem milimetrycznym. Dokładność takiego pomiaru wynosi maksymalnie 0,1 mm. Do precyzyjnego pomiaru współrzędnych na zdjęciu służą specjalne przyrządy: mono- i stereokomparatory za pomocą których można uzyskać dokładność rzędu 0,001 mm.

W przypadku pionowych zdjęć lotniczych terenów płaskich odległości pomiędzy punktami można wyznaczyć w oparciu o bezpośredni pomiar na zdjęciu i pomnożeniu przez mianownik skali zdjęcia. Jeśli natomiast błędy z tytułu deniwelacji terenu i nachylenia zdjęcia przekraczają żadaną dokładność to należy przed przystąpieniem do pomiaru odległości skorygować położenie punktów.

Inną wielkością, którą można zmierzyć na zdjęciu są powierzchnie. W sposób przybliżony można wyznaczyć powierzchnie za pomocą papieru milimetrycznego. Dokładniejsza metoda polega na wykorzystaniu specjalnego przyrządu, zwanego planimetrem.

Pomiar kątów na zdjęciu pionowym terenu płaskiego można wykonać w każdym punkcie na zdjęciu po wcześniejszym poprawieniu położenia punktów ze względu na deniwelację terenu. Jeśli wierzchołek kąta jest w punkcie głównym nie ma potrzeby korygować położenia punktów wyznaczających ramiona kąta gdyż ew. przesunięcia wprowadza się wzdłuż promieni, czyli w tym przypadku ramion kąta. Na zdjęciach nachylonych kątami wolnymi od zniekształceń są tylko kąty o wierzchołkach w punkcie izocentrycznym. W przypadku pomiaru kątów ze zdjęć nachylonych terenu o urozmaiconej rzeźbie należy dokonać korekty położenia punktów ze względu na nachylenie zdjęcia i deniwelację terenu. Ogólny wniosek jest taki, że albo uznajemy, że błędy z tytułu deniwelacji terenu i nachylenia zdjęcia są zanedbywalnie małe i pomiar wykonujemy bezpośrednio na zdjęciu, albo też korygujemy położenie punktów przed pomiarem jeśli błąd ten przekracza wymaganą dokładność. Korekcja polega na wprowadzeniu odpowiednich poprawek do położenia punktu zgodnie ze wzorami (3 i 4). Można uznać to za zasadę postępowania podczas prowadzenia prostych pomiarów na zdjęciu.

Wykorzystując pojedyncze zdjęcie lotnicze można także określać wysokość elementów pionowych budynków, drzew, pionowych skarp, obiektów inżynierskich - kominów, mostów itp. Jedną z metod jest pomiar przesunięcia radialnego wierzchołka obiektu w stosunku do jego podstawy (rys. 6). Wzór do obliczenia wysokości obiektu jest podobny do (4).

$$\Delta h = \frac{H}{r'} \Delta r \quad (\text{wzór 8})$$

gdzie:

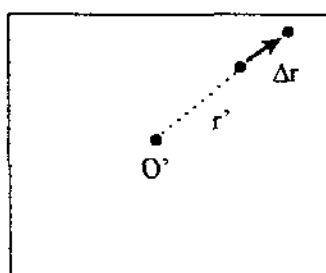
Δh - wysokość obiektu,

H - wysokość lotu,

r' - odległość pomiędzy punktem nadirowym a podstawą obiektu,

Δr - różnica mierzona wzdłuż kierunku radialnego między górą i podstawą elementu pionowego, (rys. 6).

Dla zdjęcia prawie pionowego punkt nadirowy znajduje się bardzo blisko punktu głównego zatem przyjęcie punktu głównego jako początkowego dla pomiarów promieni radialnych nie zmienia zasadniczo ich wartości.



Rys. 6. Pomiar wielkości przesunięcia radialnego (Δr) podstawy elementu pionowego względem jego wierzchołka

Drugą metodą jest pomiar cienia obiektu pionowego (rys. 7). Długość cienia zależy od wysokości obiektu ale także od pory dnia i roku oraz od szerokości geograficznej. Znając datę i godzinę wykonania zdjęcia oraz szerokość geograficzną miejsca pomiaru można wyznaczyć kąt padania promieni słonecznych ze wzoru:

$$\cos V = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos (\varpi - \eta) \quad (\text{wzór 9})$$

gdzie:

- V - zenitalny kąt padania promieni słonecznych,
- φ - szerokość geograficzna,
- δ - deklinacja Słońca,
- $(\varpi - \eta)$ - kąt godzinny Słońca w momencie fotografowania.

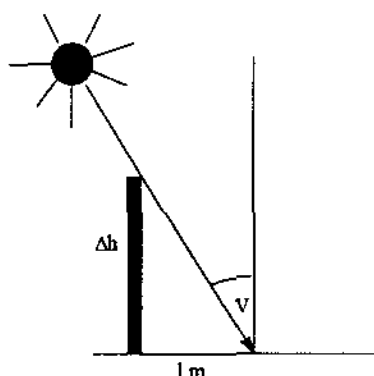
Deklinację Słońca δ i kąt godzinny Słońca ϖ o godzinie 12 GMT można określić z tablic astronomicznych lub poniższego wykresu (rys. 8). Przykładowo dla szerokości geograficznej $\varphi = \dots$, deklinacji $\delta = \dots$, $\varpi = \dots$ i godz. $\dots$ czasu lokalnego słonecznego $(\varpi - \eta) = \dots$ kąt zenitalny oświetlenia $V = \dots$

Wysokość elementu pionowego na podstawie długości jego cienia można obliczyć na podstawie wzoru:

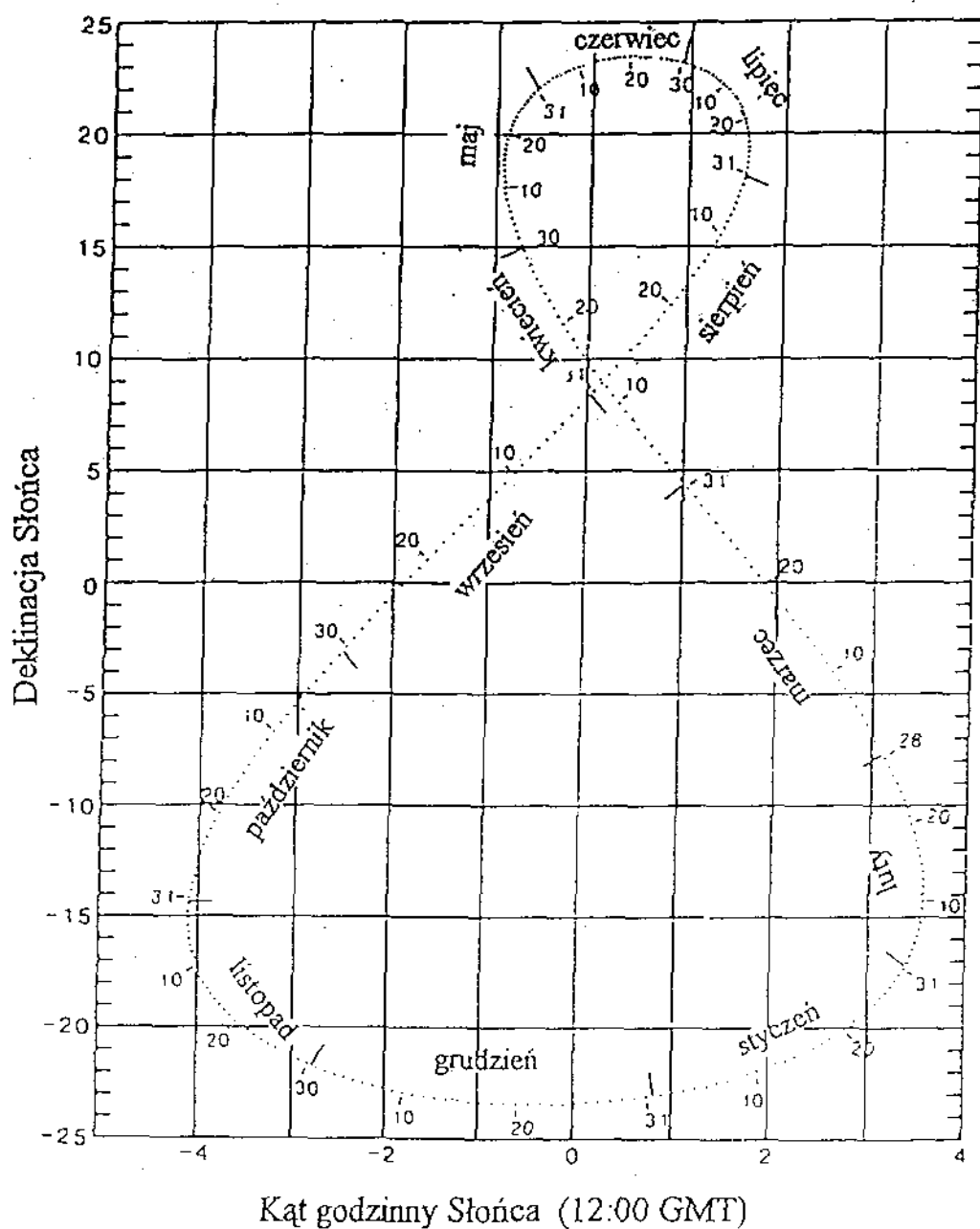
$$\Delta H = (l \text{ m}) / \text{ctg } V \quad (\text{wzór 10})$$

gdzie:

- l - zmierzona na zdjęciu długość cienia,
- m - mianownik skali zdjęcia,
- V - zenitalny kąt oświetlenia (wyznaczony ze wzoru 9).



Rys. 7. Określenie wysokości elementu pionowego na podstawie pomiaru długości cienia



Rys. 8. Zmiana deklinacji δ i kąta godzinnego Słońca α w ciągu roku (według [4])

8.4 ĆWICZENIE II - PROSTE POMIARY NA POJEDYNCZYM ZDJĘCIU LOTNICZYM

- pomiar długości

skala zdjęcia:(wypełnić na podstawie wcześniejszej oceny geometrii zdjęcia)

nr odcinka	pkt pocz.	pkt końc.	długość na zdjęciu	długość w terenie
1				
2				
3				
4				
5				

(określić na podstawie zdjęcia długości kilku odcinków, których nie ma na mapie)

- wyznaczenie wysokości elementu pionowego na podstawie pomiaru przesunięcia górnej części elementu względem jego podstawy:

$$\Delta h = \frac{H}{r'} \Delta r$$

gdzie:

Δh - wysokość obiektu,

H - wysokość lotu,

r' - odległość pomiędzy punktem nadirowym a podstawą obiektu,

Δr - różnica mierzona wzdłuż kierunku radialnego między górą i podstawą elementu pionowego.

(zmierzyć wysokość paru elementów pionowych)

nr	r'	r_{dol}	$r_{\text{góra}}$	Δr	Δh

8.5 PROSTE POMIARY Z WYKORZYSTANIEM STEREOGRAMU

8.5.1 Pomiar różnic wysokości

Stereogram zdjęć lotniczych umożliwia pomiar różnicy wysokości pomiędzy dowolnymi punktami niekoniecznie pomiędzy podstawą i wierzchołkiem elementu pionowego. W przypadku zdjęć pionowych można wyznaczyć różnicę wysokości pomiędzy dwoma punktami w obrębie całego stereogramu czyli całego pasa pokrycia podłużnego. W przypadku zdjęć nachylonych można wyznaczyć Δh jedynie dla punktów niezbyt od siebie oddalonych.

Różnice Δh wyznacza się za pomocą pomiaru różnic tzw. paralaks podłużnych (Δp):

$$\Delta h = \frac{H}{b + \Delta p} \Delta p \quad (\text{wzór 11})$$

gdzie:

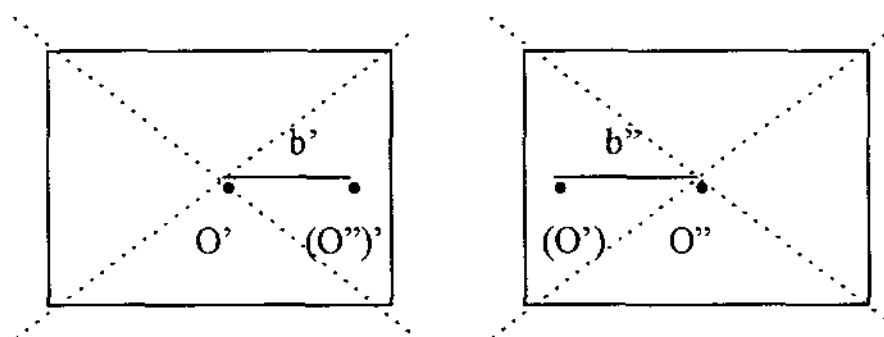
Δh - różnica wysokości pomiędzy wybranymi punktami,

H - wysokość lotu,

b - baza fotografowania,

Δp - różnica paralaks.

Baza fotografowania b wyznacza się jako średnią wartość odcinka b' i b'' . Odcinek b' jest odległość pomiędzy punktem głównym zdjęcia lewego i obrazu punktu głównego zdjęcia prawego na zdjęciu lewym. Odcinek b'' jest to odległość pomiędzy punktem głównym zdjęcia prawego O'' a obrazem punktu głównego zdjęcia lewego na zdjęciu prawym (rys. 8).



Rys. 8. Wyznaczenie średniej długości bazy

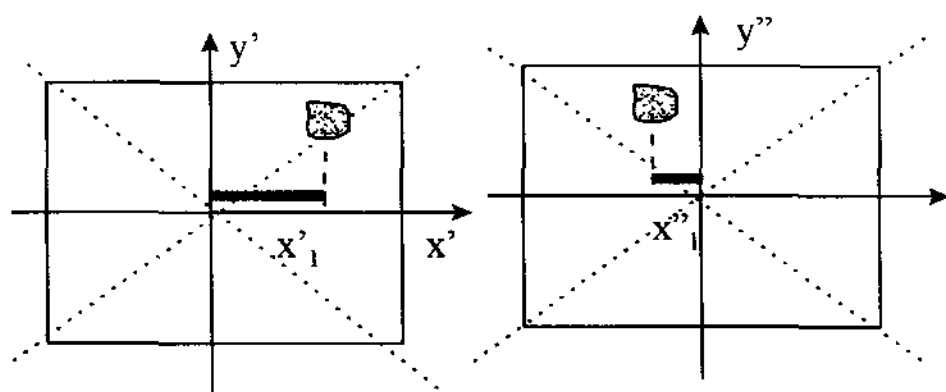
Paralaksa podłużna p jakiegoś punktu wynosi:

$$p = x' - x'' \quad (\text{wzór 12})$$

gdzie:

x' , x'' - współrzędne tłowe punktu odpowiednio na zdjęciu lewym i prawym.

Paralaksę podłużną można wyznaczyć w oparciu o zmierzone współrzędne tłowe x' , x'' (rys. 9) lub zmierzyć za pomocą specjalnego przyrządu tzw. stereomikrometru (por. rys. 12), (patrz też Ćwiczenie III).



Rys. 9. Pomiar współrzędnych tłowych punktu

8.5.2 Pomiar kąta nachylenia terenu

W celu wyznaczenie kąta nachylenia powierzchni konieczny jest pomiar różnicy wysokości pomiędzy najwyższym i najniższym punktem i określenie odległości zredukowanej pomiędzy tymi punktami (rys. 10). Różnicę wysokości Δh można wyznaczyć w oparciu o pomiar różnic paralaks podłużnych za pomocą śruby mikrometrycznej. Odległość zredukowaną można wyznaczyć następująco (por. rys. 11):

- zaznaczamy na kalce na zdjęciu lewym punkty O' i (O'') i kierunki z punktu O' do punktów $1'$ i $2'$,
- przenosimy kalkę na zdjęcie prawe, orientujemy bazę $O' O''$ i rysujemy kierunki do punktów $1''$ i $2''$ z punktu O'' ,
- w przecięciu jednoimiennych promieni $O'1'$ i $O''1''$ oraz $O'2'$ i $O''2''$ powstaną odpowiednio punkty 1° i 2° , odcinek $1^\circ 2^\circ$ jest odległością zredukowaną d° .

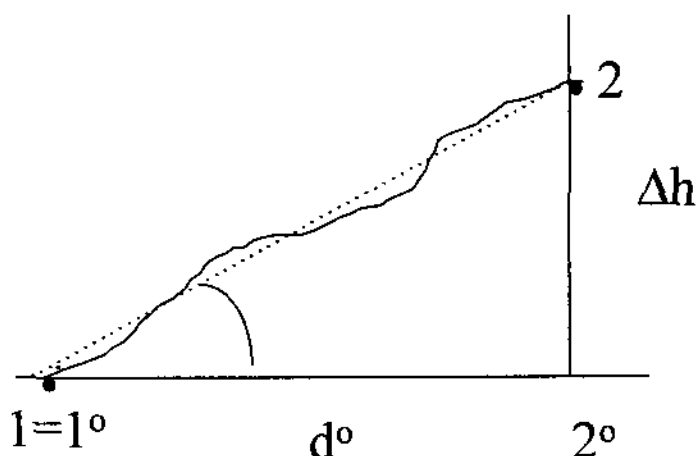
Kąt nachylenia powierzchni można wyznaczyć ze wzoru:

$$\operatorname{tg} \alpha = \Delta h / d^\circ \quad (\text{wzór 13})$$

gdzie:

Δh - różnica wysokości pomiędzy punktami 1 2, wyznaczona z różnicy paralaks podłużnych (wzór 11),

d° - odległość pozioma pomiędzy punktami 1 2.



Rys. 10. Pomiar kąta nachylenia terenu

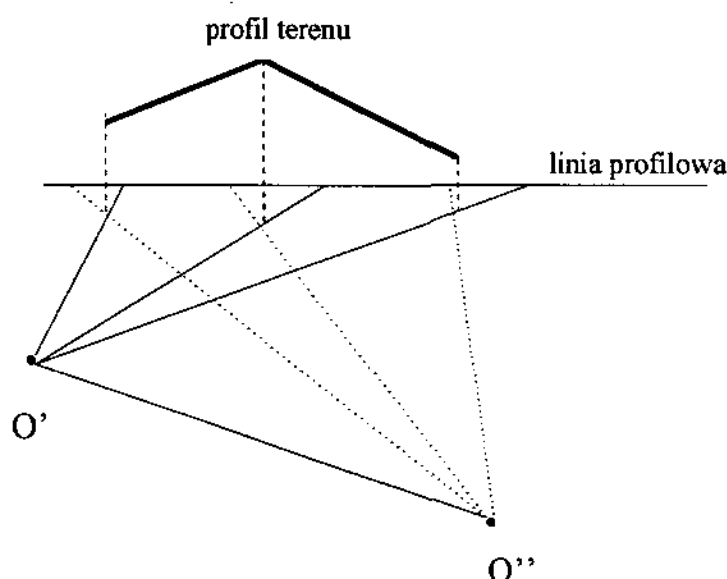
8.5.3 Wykonywanie profilu terenu

(rys. 11)

W pewnych przypadkach potrzebny jest profil powierzchni terenu wzdłuż jakiejś linii. Do sporządzenia profilu potrzebne są różnice wysokości pomiędzy sąsiednimi punktami linii profilowej i zredukowane długości pomiędzy nimi. Konstrukcję profilu można przeprowadzić następująco:

- wybrać linię profilową i zaznaczyć punkty charakterystyczne na kalce przyłożonej do zdjęcia lewego, na kalce zaznaczyć także punkty O' i (O'')
- narysować kierunki z punktu O' do punktów charakterystycznych profilu
- przenieść kalke na zdjęcie prawe, zorientować odcinek $O' (O'')$ współliniowo z odcinkiem $(O'') O''$
- narysować kierunki z punktu O'' do punktów charakterystycznych profilu,
- narysować z punktów przecięcia się promieni jednoimiennych proste prostopadłe do osi profilu, zmierzyć za pomocą śruby mikrometrycznej różnice paralaks pomiędzy punktami profilu, przeliczyć różnice paralaks na różnice wysokości (wzór 11) i odłożyć te wielkości prostych prostopadłych.

Po połączeniu powstałych punktów otrzymujemy profil terenu.



Rys. 11. Wykonywanie profilu terenu

8.6 ĆWICZENIE III - PROSTE POMIARY PRZY UŻYCIU STEREOGRAMU

- zaznaczyć punkt główny na zdjęciu lewym, O' i prawym, O''
- posługując się szczegółami sytuacyjnymi znaleźć na zdjęciu lewym obraz punktu głównego zdjęcia prawego (O'')', a na zdjęciu prawym obraz punktu głównego zdjęcia lewego (O')''
- wyznaczyć średnią długość bazy fotografowania

$$b' = O' (O'')$$

$$b'' = O'' (O')''$$

$$b = (b' + b'') / 2$$

- pomiar różnicy wysokości na podstawie pomiaru współrzędnych tłowych:

$$x'_1 x''_1 \rightarrow p_1 = x'_1 - x''_1$$

$$x'_2 x''_2 \rightarrow p_2 = x'_2 - x''_2$$

$$\Delta p_{1,2} = p_1 - p_2$$

$$\Delta h_{1,2} = \frac{H}{b + \Delta p_{1,2}} \Delta p_{1,2}$$

gdzie:

Δh - różnica wysokości pomiędzy punktami 1,2,

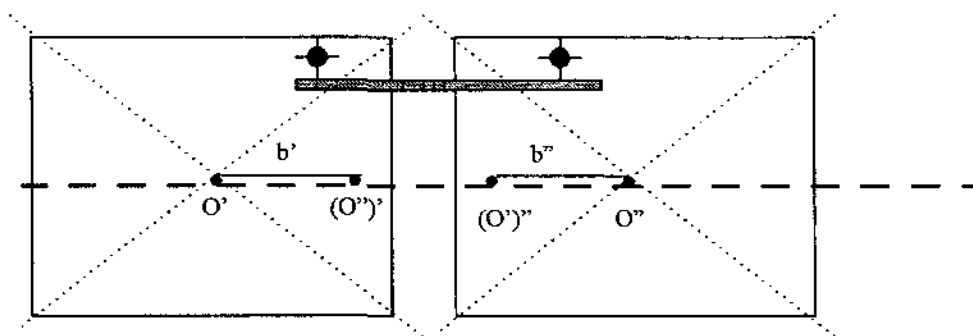
H - wysokość lotu,

b - baza fotografowania (wyznaczona jak wyżej)

x'_1	x''_1	p_1	x'_2	x''_2	p_2	$\Delta p_{1,2}$	$\Delta h_{1,2}$

- pomiar różnicy wysokości za pomocą śruby mikrometrycznej (rys. 12)
- zestroić pod stereoskopem zdjęcia po bazie, tzn. doprowadzić do współliniowości odcinki b' i b'' i tak odsunąć zdjęcia od siebie, żeby uzyskać efekt stereoskopowy
- za pomocą śruby ustawić znaczek pomiarowy w ten sposób, żeby znalazł się on na zdjęciu lewym i prawym w pobliżu mierzonego punktu; następnie obserwując na tle modelu stereoskopowego znaczek pomiarowy wkręcając i wykręcając śrubę mikrometryczną obserwować ruch znacznika pomiarowego w górę i w dół; odczyt ze śruby mikrometrycznej dokonać w momencie kiedy znaczek pomiarowy dotyka terenu; pomiar przeprowadzić wielokrotnie

p_1	p_2	Δp	Δh



Rys. 12. Pomiar paralaks różnic paralaks podłużnych za pomocą śruby mikrometrycznej

8.7 PRZENOSZENIE ELEMENTÓW TREŚCI ZDJĘCIA NA MAPĘ, PRZETWARZANIE ZDJĘĆ LOTNICZYCH

Jeśli zdjęcie lotnicze jest nachylone w sposób przekraczający wymaganą dokładność, a teren został zakwalifikowany jako płaski pojawia się problem spowodowany niejednorodnością skali zdjęcia. W takim przypadku nie można przyjąć jednej skali dla całego zdjęcia. Można ten problem rozwiązać różnymi metodami, np.:

- metodą graficzną
- metodą analityczną

8.7.1 Metoda graficzna

Istnieją różne metody graficznego przenoszenia treści zdjęcia na mapę. Poniżej w ćwiczeniu III zaproponowano jedną z nich (rys. 13).

8.7.2 Metoda analityczna

W obecnych czasach powszechnego wykorzystania komputerów na uwagę zawsze zasługują metody analityczne. Istnieje funkcyjna zależność pomiędzy punktami na nachylnym zdjęciu lotniczym terenu płaskiego a mapą. Zależność tę nazywamy w fotogrametrii transformacją rzutową:

$$x = \frac{Ax' + By' + C}{Dx' + Ey' + 1} \quad (\text{wzór 14})$$

$$y = \frac{Fx' + Gy' + H}{Dx' + Ey' + 1} \quad (\text{wzór 15})$$

gdzie:

x', y' - współrzędne tłówce (ze zdjęcia),

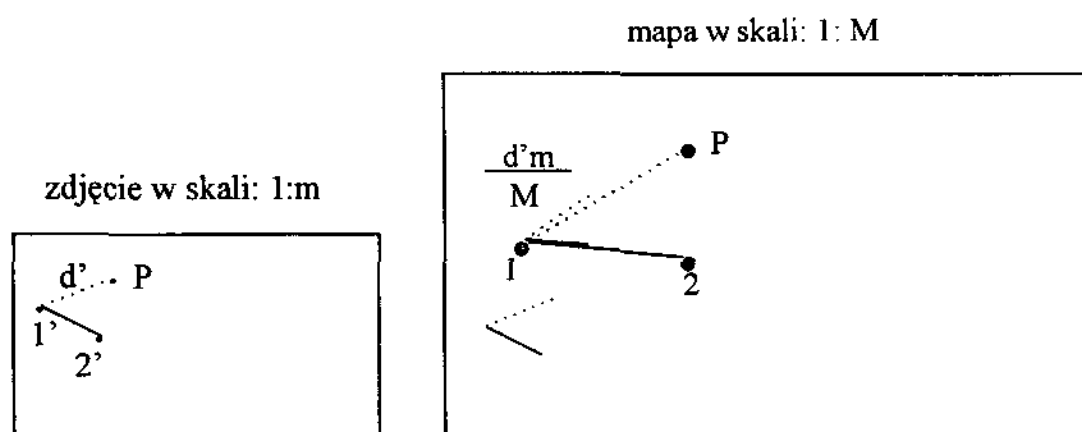
x, z - współrzędne geodezyjne (odczytane z mapy)

A, B, C, D, E, F, G, H - współczynniki transformacji.

Żeby można było skorzystać ze wzorów 14, 15 należy wyznaczyć 8 współczynników transformacji ($A, \dots H$). Można je wyznaczyć mierząc współrzędne tłowe 4 punktów (z których żadne 3 nie leżą na 1 prostej). Należy też odczytać ich współrzędne z mapy, w ten sposób otrzymamy 8 równań z 8 niewiadomymi. W wyniku rozwiązania tego układu otrzymamy wartości współczynników $A, \dots H$. Teraz możemy przeliczyć współrzędne tłowe dowolnego punktu na zdjęciu na współrzędne terenowe (współrzędne w układzie mapy) i w tym przypadku przenieść w szybki sposób dowolnie dużą liczbę punktów.

8.8 ĆWICZENIE IV - WNOŚZENIE TREŚCI ZDJĘCIA NA MAPĘ

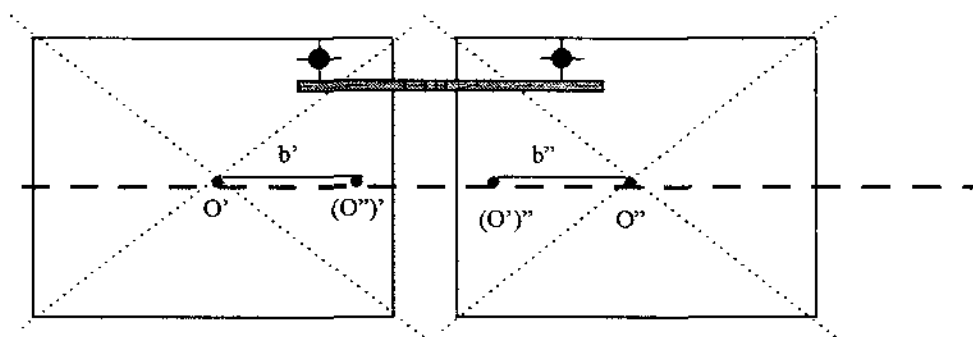
1. Zidentyfikować w pobliżu punktu, który chcemy przenieść na mapę 2 punkty na mapie i zdjęciu.
2. Nanieść na kalkę przyłożoną do zdjęcia te 2 punkty oraz punkt, który chcemy przenieść.
3. Przenieść kalkę na mapę, wpasować punkt 1' w 1 i zorientować odcinek 1' - 2' wspólnie z 1 - 2.
4. Odłożyć na ramieniu kąta 1P odległość d' w skali mapy.
5. Zaznaczyć na mapie punkt - p.



Rys. 13. Przenoszenie treści zdjęcia na mapę

8.9 BIBLIOGRAFIA

1. Ciołkosz A., Miszański, J., Olędzki J.R., - "Interpretacja zdjęć lotniczych" - PWN, Warszawa 1986
2. Ciołkosz A., Trafas K., - „Przewodnik do ćwiczeń z Geograficznej interpretacji zdjęć lotniczych” - Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego 1971
3. Ostaficzuk S., - „Fotogeologia” - Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1978
4. Reeves, R.G., Anson, A., Landen, D., - „Manual of Remote Sensing” . American Society of Photogrammetry, Falls Church, Virginia, 1975
5. Sitek Z., - „Elementy fotogrametrii i fotografii technicznej”, PWN , Warszawa 1984
6. Sitek Z., - „Fotogrametria ogólna i inżynierska” – PPWK im E. Romera, Wrocław 1991
7. Świątkiewicz A., - „Fotogrametria” - PWN, Warszawa 1979
8. Remote Sensing and Image Interpretation & Analysis -
<http://code935.gsfc.nasa.gov/Tutorial/TofC/toc1.html>



Rys. 12. Pomiar paralaks różnic paralaks podłużnych za pomocą śruby mikrometrycznej

8.7 PRZENOSZENIE ELEMENTÓW TREŚCI ZDJĘCIA NA MAPĘ, PRZETWARZANIE ZDJĘĆ LOTNICZYCH

Jeśli zdjęcie lotnicze jest nachylone w sposób przekraczający wymaganą dokładność, a teren został zakwalifikowany jako płaski pojawia się problem spowodowany niejednorodnością skali zdjęcia. W takim przypadku nie można przyjąć jednej skali dla całego zdjęcia. Można ten problem rozwiązać różnymi metodami, np.:

- metodą graficzną
- metodą analityczną

8.7.1 Metoda graficzna

Istnieją różne metody graficznego przenoszenia treści zdjęcia na mapę. Poniżej w ćwiczeniu III zaproponowano jedną z nich (rys. 13).

8.7.2 Metoda analityczna

W obecnych czasach powszechnego wykorzystania komputerów na uwagę zawsze zasługują metody analityczne. Istnieje funkcyjna zależność pomiędzy punktami na nachylonym zdjęciu lotniczym terenu płaskiego a mapą. Zależność tę nazywamy w fotogrametrii transformacją rzutową:

$$x = \frac{A x' + B y' + C}{D x' + E y' + 1} \quad (\text{wzór 14})$$

$$y = \frac{F x' + G y' + H}{D x' + E y' + 1} \quad (\text{wzór 15})$$

gdzie:

x', y' - współrzędne tłowe (ze zdjęcia),

x, z - współrzędne geodezyjne (odczytane z mapy)

A, B, C, D, E, F, G, H - współczynniki transformacji.

Żeby można było skorzystać ze wzorów 14, 15 należy wyznaczyć 8 współczynników transformacji ($A, \dots, H$). Można je wyznaczyć mierząc współrzędne tłowe 4 punktów (z których żadne 3 nie leżą na 1 prostej). Należy też odczytać ich współrzędne z mapy, w ten sposób otrzymamy 8 równań z 8 niewiadomymi. W wyniku rozwiązania tego układu otrzymamy wartości współczynników $A, \dots, H$. Teraz możemy przeliczyć współrzędne tłowe dowolnego punktu na zdjęciu na współrzędne terenowe (współrzędne w układzie mapy) i w tym przypadku przenieść w szybki sposób dowolnie dużą liczbę punktów.