

TELEDETEKCJA

Satelitarna, lotnicza i naziemna



Jan Piekarczyk

Zakład Kartografii i Geomatyki

Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza

TELEDETEKCJA satelitarna, lotnicza i naziemna

Rejestracja danych:

- film światłoczuły (fotografia),
- elementy światłoczułe matrycy (skanery, aparaty cyfrowe, etc.),
- anteny (radar)

Renderowanie (*rendering*)

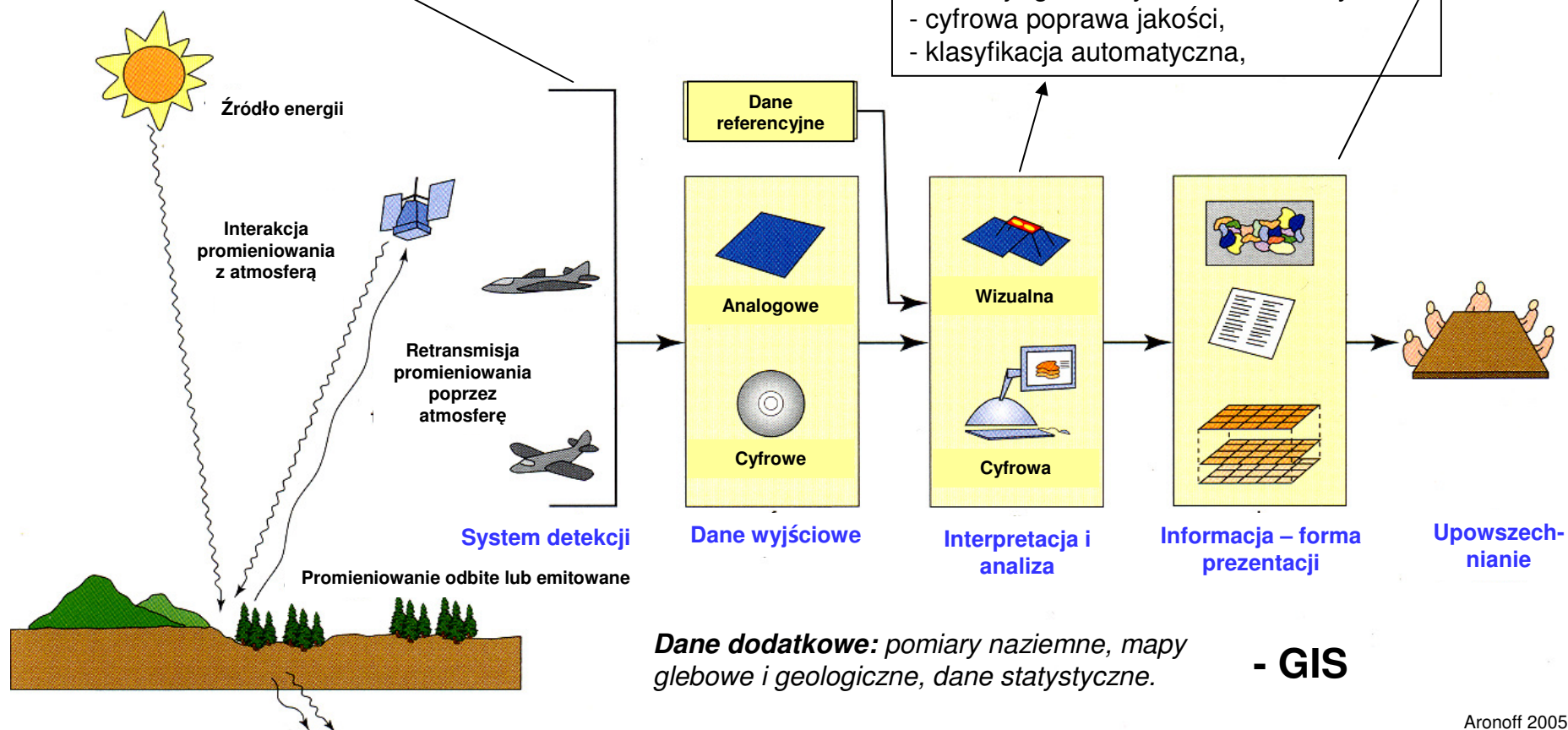
– przedstawienie informacji zawartych w dokumencie elektronicznym w formie najbardziej właściwej dla danego środowiska (np. wizualnie, w tym na ekranie i w druku, czy dźwiękowo).

Produkty końcowe:

- zdjęcia fotograficzne,
- obrazy cyfrowe,
- mozaiki obrazowe (kilka połączonych obrazów pokrywających duży obszar),
- mapy obrazowe.

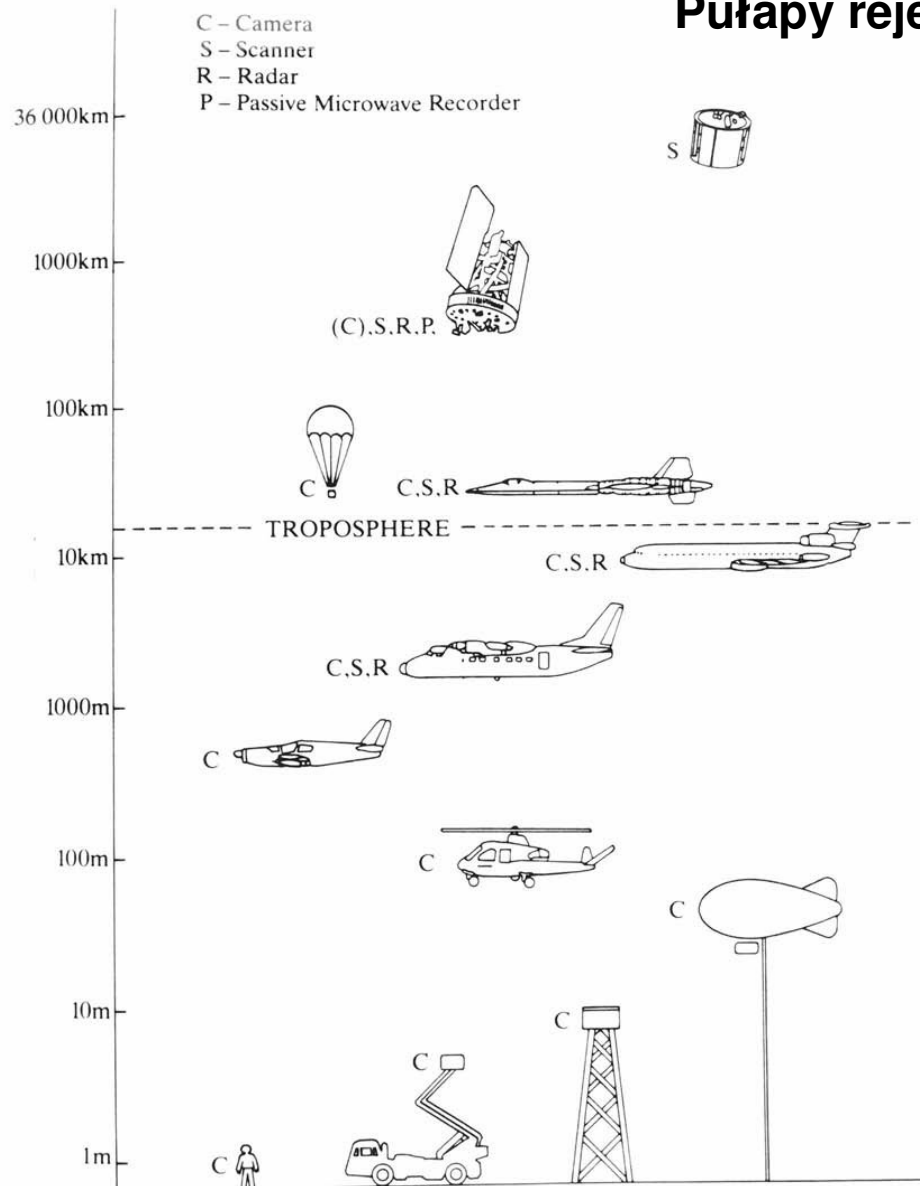
Techniki obróbki:

- korekcja geometryczna i radiometryczna
- cyfrowa poprawa jakości,
- klasyfikacja automatyczna,



TELEDETEKCJA satelitarna, lotnicza i naziemna

Pułapy rejestracji



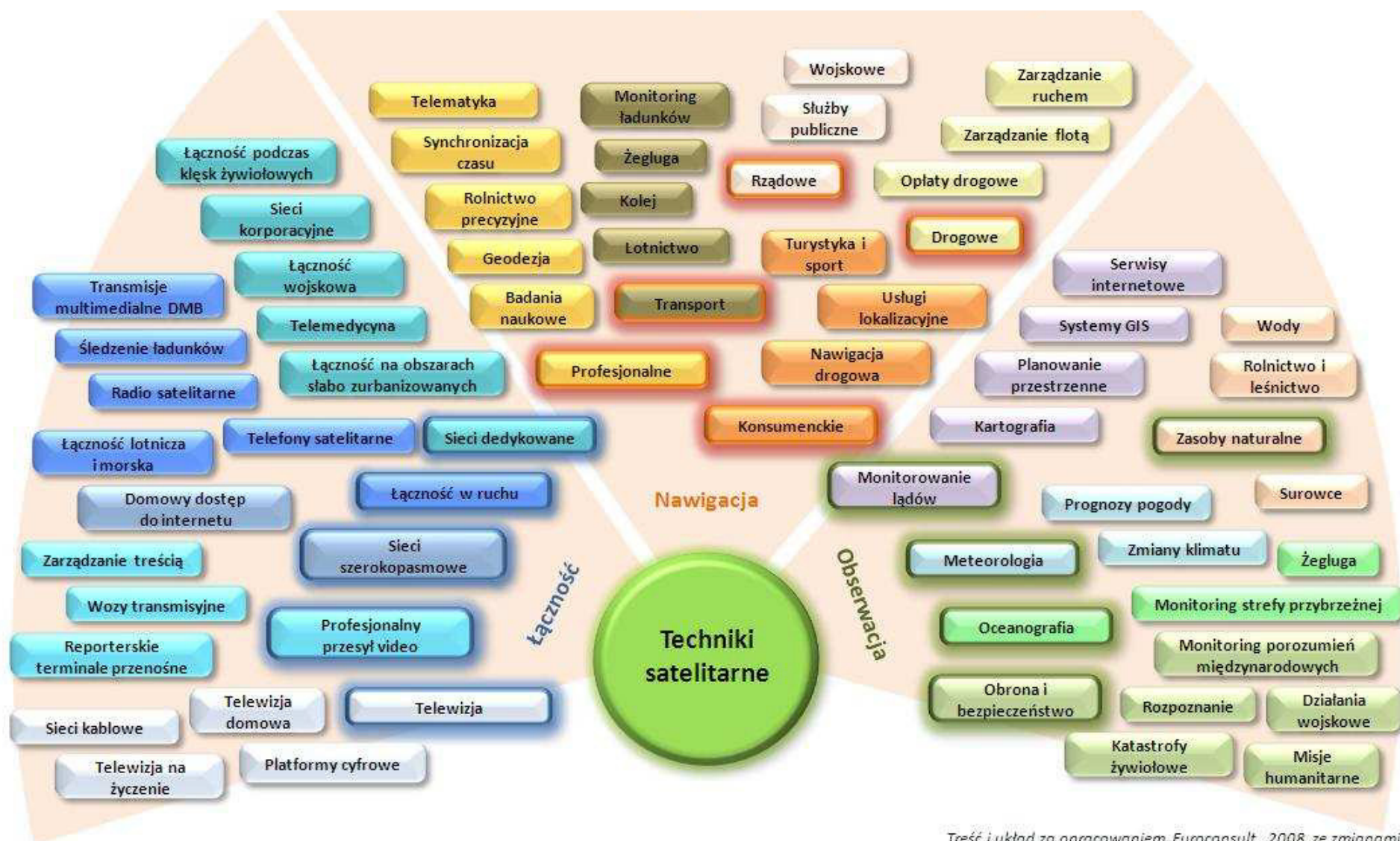
Zalety obrazowań satelitarnych:

- Duża prędkość przemieszczania czujnika (możliwość obserwacji dużych obszarów).
- Długi czas trwania misji (jednorodne dane w długim czasie).
- Duże rozmiary sceny (duży obszar).
- Brak problemów z przekraczaniem granic.

Zalety obrazowań lotniczych:

- Mniejsze uzależnienie od warunków pogodowych.
- Możliwość zmiennej rozdzielczości przestrzennej danych.
- Dowolny dobór czujników.
- Większe możliwości wykorzystania czujników hiperspektralnych.
- Duża szybkość reakcji.

TELEDETEKCJA satelitarna, lotnicza i naziemna



TELEDETEKCJA satelitarna, lotnicza i naziemna

Orbity satelitarne

Niskie orbity okołoziemskie (okołobiegunowe) (*LEO – low Earth orbit*)

Satelity obserwacyjne

Większość sztucznych satelitów krąży na niskiej orbicie okołoziemskiej (200 - 2 000 km) z prędkością 27 400 km/h (8 km/s), robiąc pełen obrót wokół Ziemi w ciągu 90 minut.

- umieszczenie satelity wymaga mniej energii niż na MEO,
- satelita wymaga mniej wydajnych przekazników energii do transferu danych,
- grawitacja nie jest znacząco niższa niż na powierzchni Ziemi (zmniejsza się o 1% co 30 km),
- temperatura w słońcu może wynieść +270 stopni C, a w cieniu -270 stopni C

Średnie orbity okołoziemskie (okołobiegunowe) (*MEO – medium Earth orbit*)

Na wysokości od 2 000 do 35 786 kilometrów nad Ziemią. Satelity w tej części przestrzeni są najczęściej wykorzystywane w nawigacji.

GPS (20200 km) i GLONASS (19100 km).

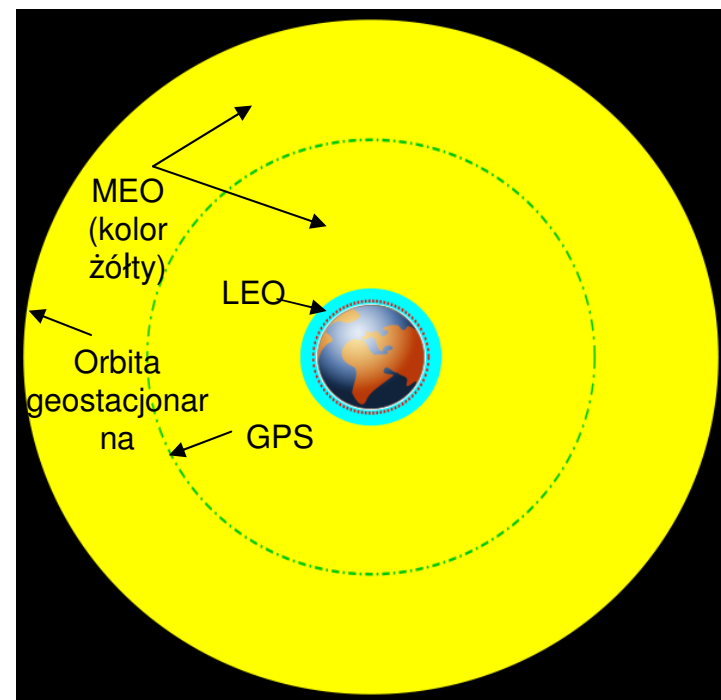
Wysokie orbity okołoziemskie (HEO–high Earth orbit) ponad orbitą geostacjonarną. Wysokość: 35,786 km

VELA 1A

Orbita geostacjonarna

Przebiega na wysokości 35 786 km nad równikiem (42160 km od środka Ziemi). Prędkość ciała na orbicie geostacjonarnej wynosi około 3,08 km/s, a czas okrążenia przez niego Ziemi jest równy 23 godz. 56 min. i 4 s.

METEOSAT



TELEDETEKCJA satelitarna, lotnicza i naziemna

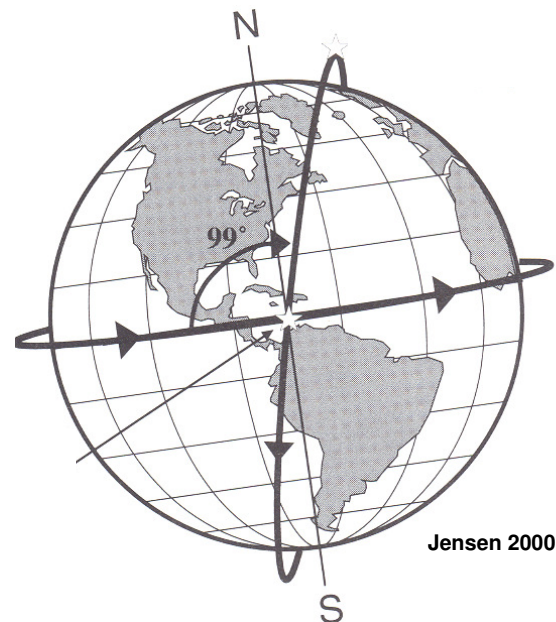
Orbity satelitarne

W stosunku do płaszczyzny równikowej:

orbity nachylone :

- Orbita biegunowa
- Orbity okołobiegunowe
- Orbity zsynchronizowane ze Słońcem
satelita przekracza równik zawsze o tej samej porze dnia
– taki sam udział cienia w każdej scenie

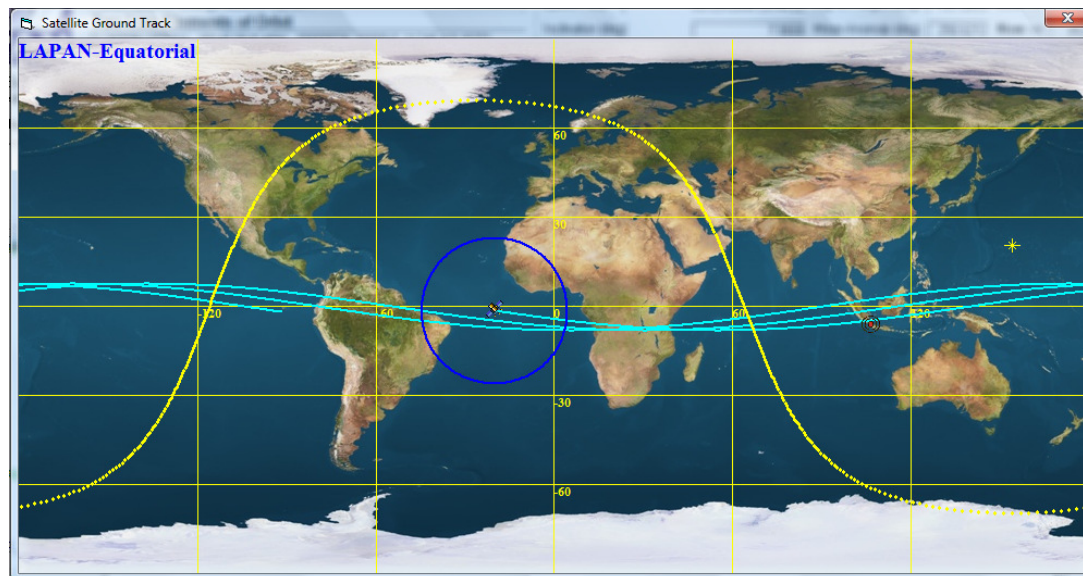
Przykłady



orbity nie nachylone

- Orbita równikowa
- Orbity okołorównikowe
(częste rewizyty)

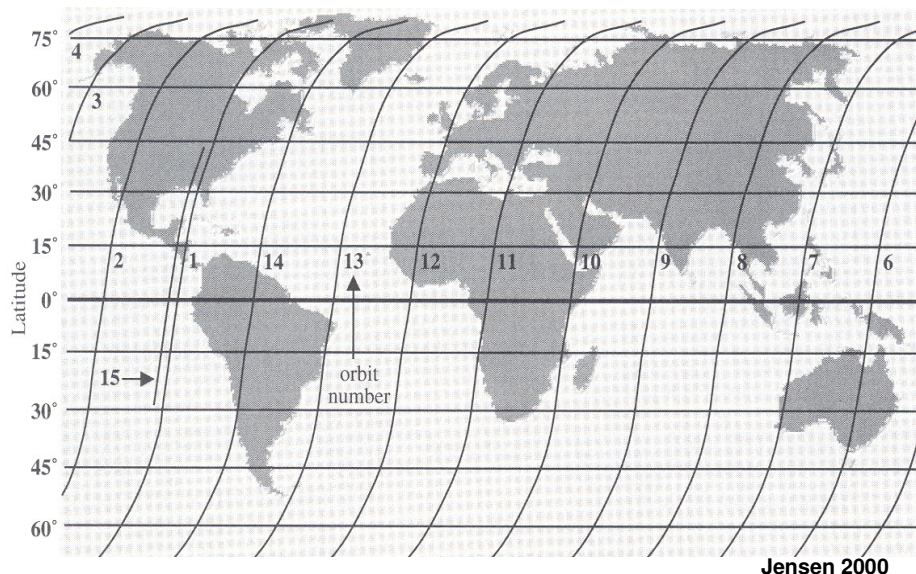
Przykłady



TELEDETEKCJA satelitarna, lotnicza i naziemna

Orbita okołobiegunowa (lub biegunowa)

– orbita satelity przebiegająca nad biegunami lub w ich pobliżu. Orbita taka, w zależności od jej promienia (zatem i okresu obiegu), przecina płaszczyznę równika przy każdym obrocie w innym miejscu (Ziemia, przy każdym obrocie satelity, obraca się o stały kąt). Umożliwia to obserwację całej powierzchni planety, dlatego na orbicie polarnej umieszcza się m.in. satelity meteorologiczne, szpiegowskie.



Orbita satelitarna - droga, po której porusza się ciało niebieskie krążące wokół ciała centralnego.

TELEDETEKCJA satelitarna, lotnicza i naziemna

Rozdzielczości

Rozdzielczość przestrzenna: wielkość piksela obrazu; im większa, tym mniejsze obiekty można zaobserwować na obrazie satelitarnym.



1 m



2 m



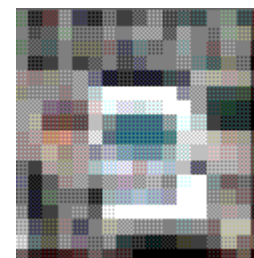
5 m



10 m



20 m



30 m

Rozdzielczość czasowa: to minimalny czas, w jakim czujnik teledetekcyjny może zobrazować ponownie ten sam obszar na Ziemi; im wyższa rozdzielczość czasowa, tym częściej uzyskuje się dane dla interesującego nas regionu.

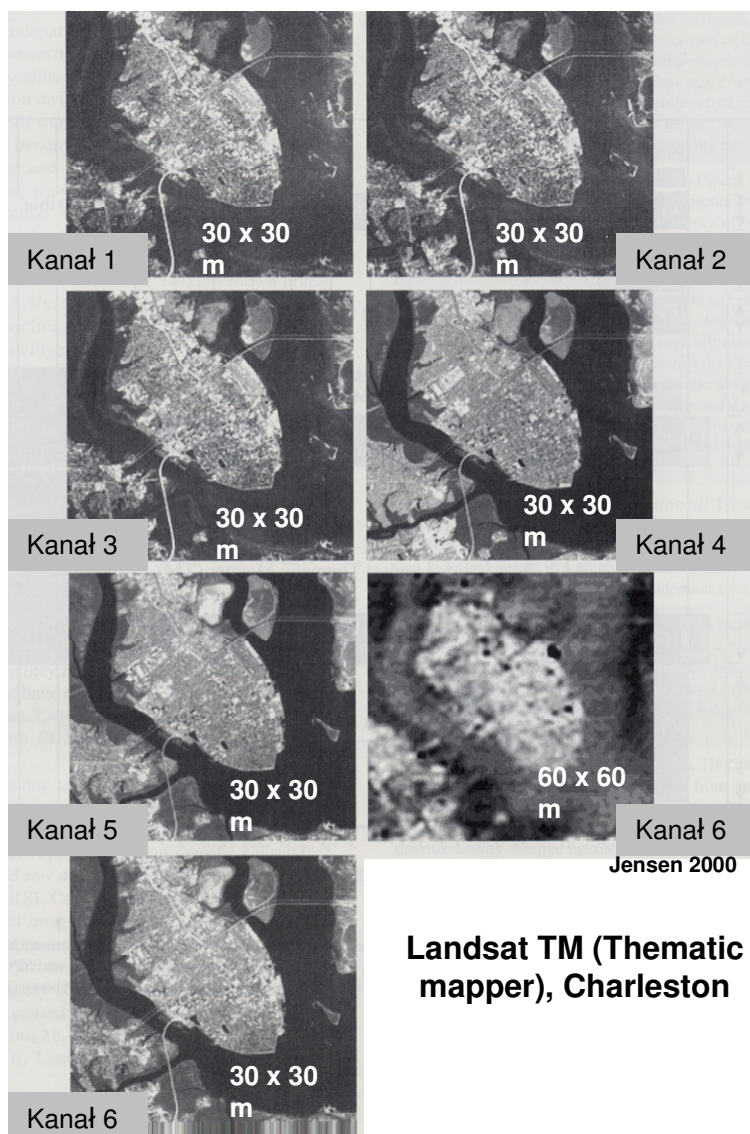
Rozdzielczość spektralna: to ilość zakresów widma elektromagnetycznego, w jakich satelita rejestruje promieniowanie; im większa rozdzielczość spektralna, tym bogatsze w informacje są dane, i tym łatwiej określić rodzaj obiektów na obrazie satelitarnym.

Rozdzielczość radiometryczna: precyzuje ilość poziomów, na które jest podzielony zakres sygnału odbieranego przez czujnik. Rozdzielczość radiometryczna podawana jest w ilościach bitów, (np. rozdzielczość 8-bitowa sygnalizuje możliwość zapisania przez czujnik 256 poziomów sygnału).

TELEDETEKCJA satelitarna

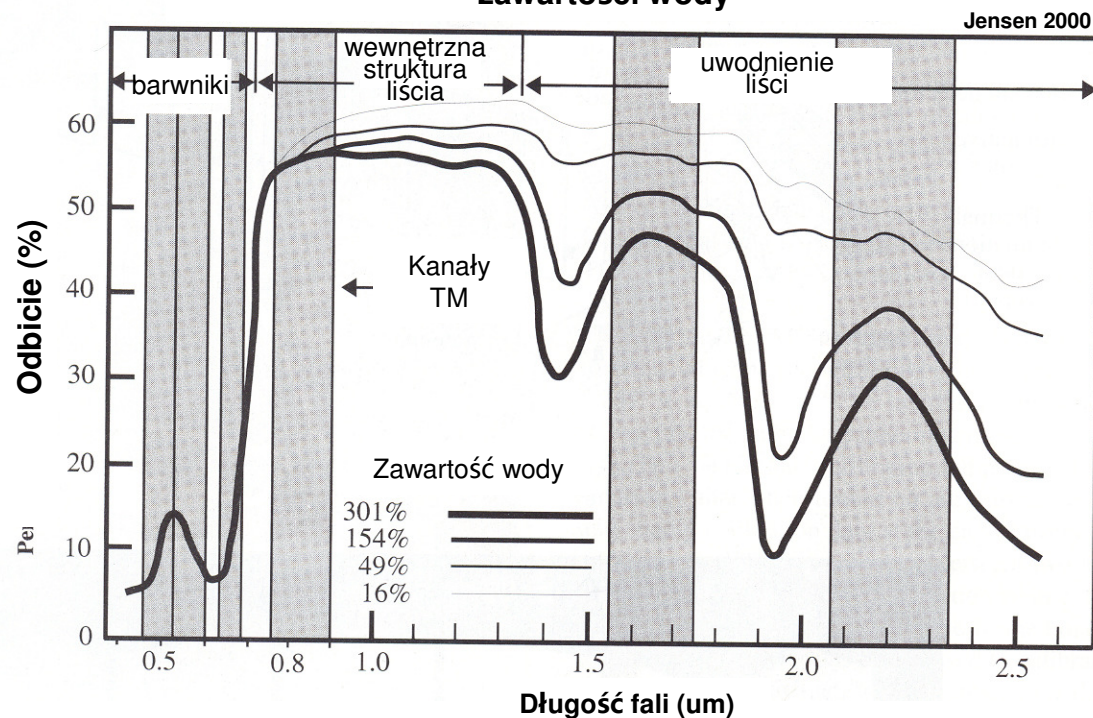
Wielospektralne detektory nieciągłe i lustra skanujące

Earth Resource Technology Satellites (ERTS) and the Landsat Sensor Systems



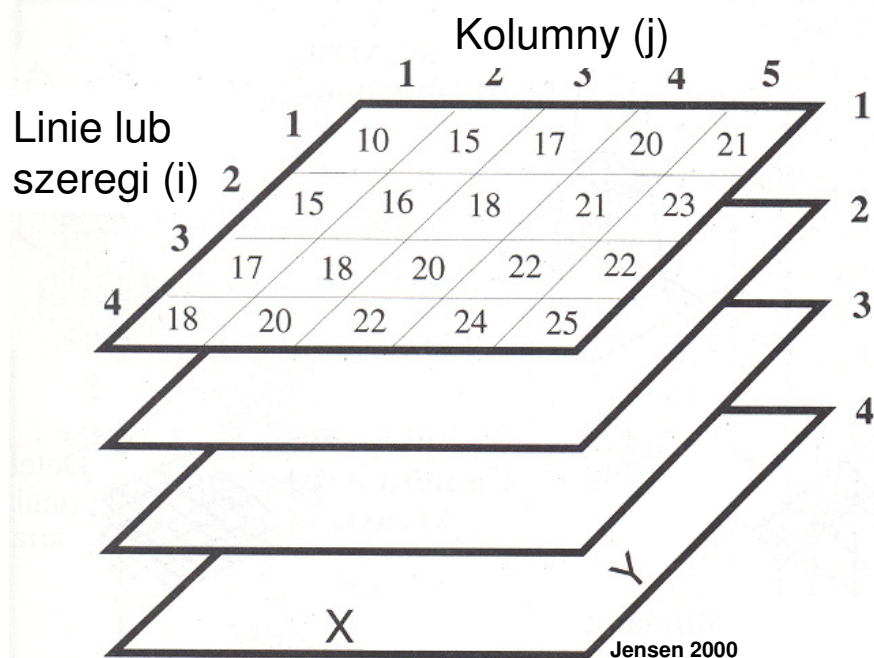
Landsat TM (Thematic mapper), Charleston

Odbicie od górnej powierzchni liści jawora o różnej zawartości wody



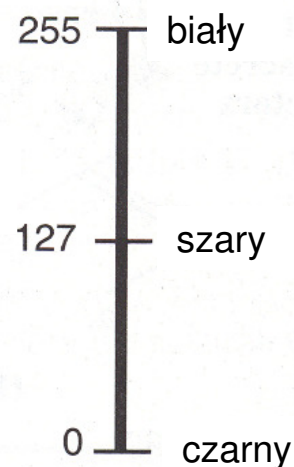
TELEDETEKCJA satelitarna, lotnicza i naziemna

Piksel – dwuwymiarowy, najmniejszy, niepodzielny element obrazu cyfrowego



Położenie piksela w zestawie danych (matrycy) można opisać współrzędnymi: i, j, k.

Zakres wartości jasności pikseli (zwykle 8 bitów)



skala szarości

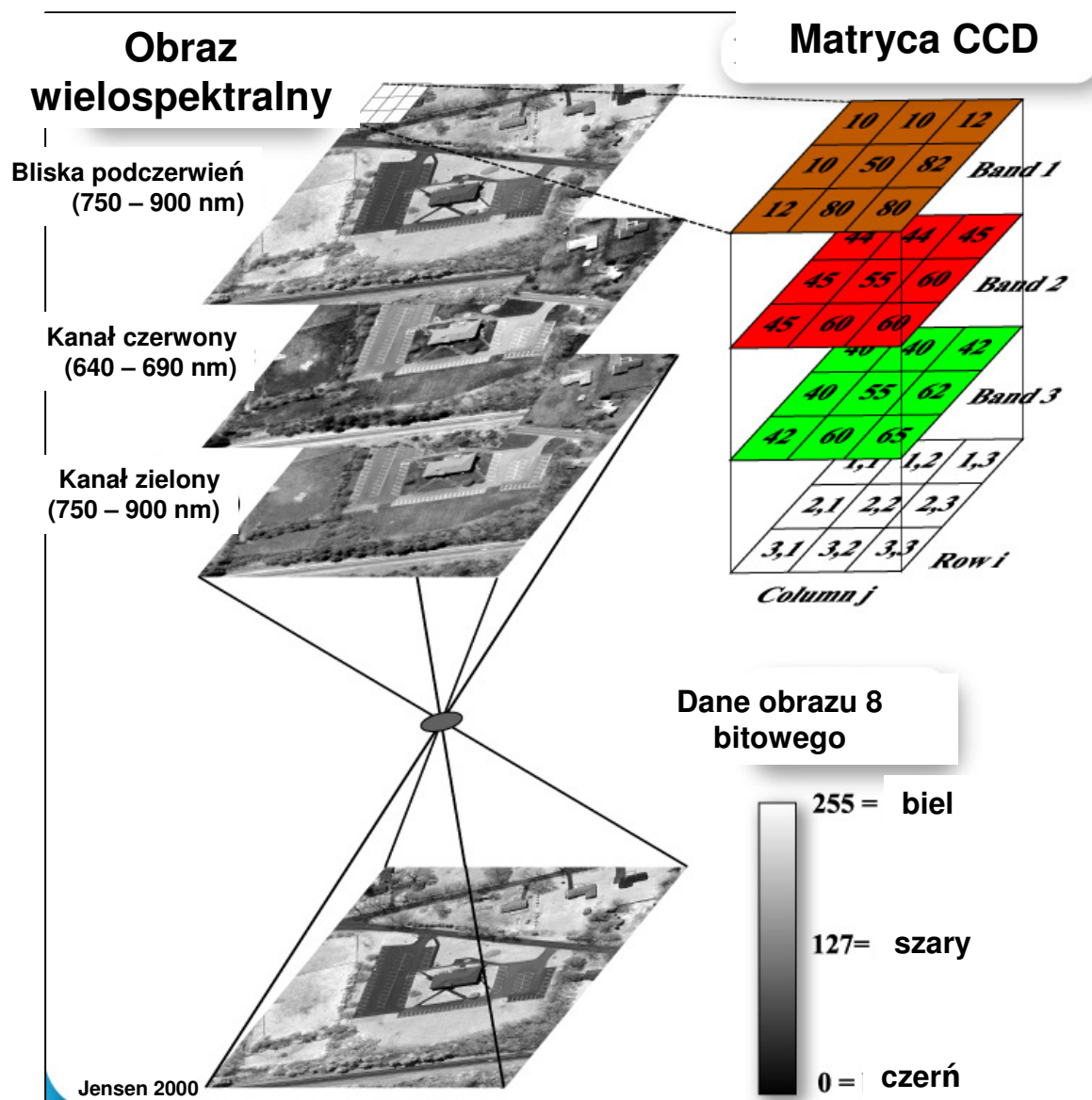


Jensen 2000

8 bitów: wartości jasności 0 - 255
12 bitów: 0 - 1023

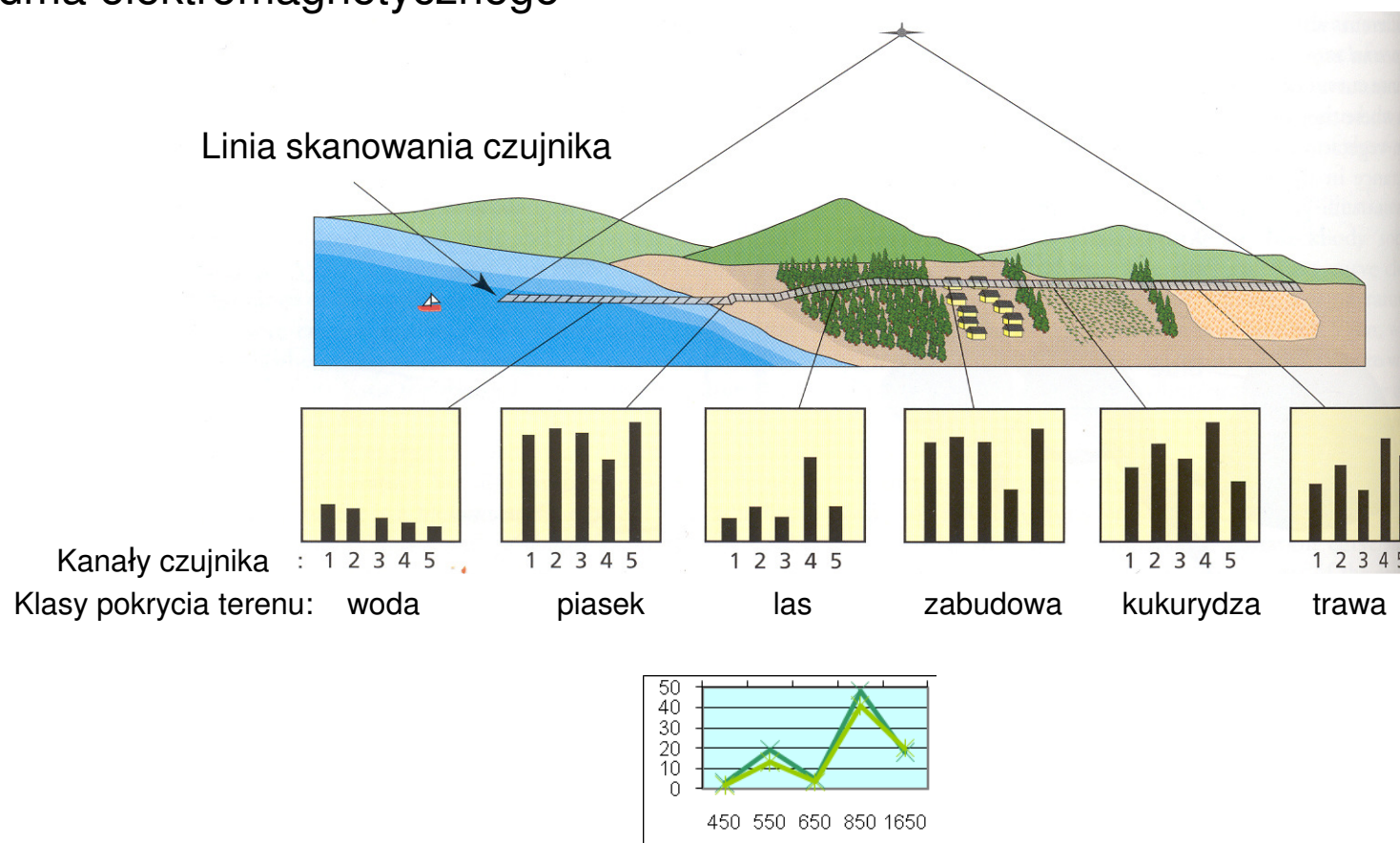
Kwantyfikacja - zamiana sygnału analogowego na cyfrowy, w efekcie której piksele mają zróżnicowane wartości jasności

TELEDETEKCJA satelitarna, lotnicza i naziemna



TELEDETEKCJA satelitarna, lotnicza i naziemna

Czujniki wielospektralne – rejestrują promieniowanie odbite i emitowane od obiektów i powierzchni w **kilku** pasmach (kanałach) widma elektromagnetycznego

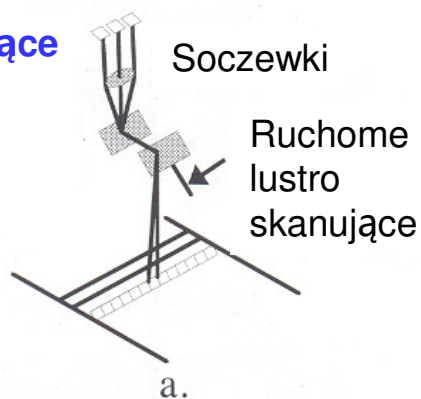


Kanały czujnika: 1 – niebieski (420 – 460 nm)
2 – zielony (490 – 530 nm)
3 – czerwony (650 – 760 nm)
4 – bliska podczerwień (780-1300 nm)
5 – zakres termalny (1040 – 1260 nm)

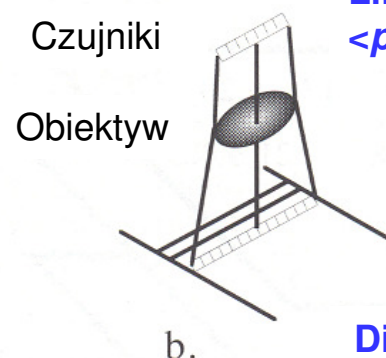
TELEDETEKCJA satelitarna, lotnicza i naziemna

Rodzaj konfiguracji czujników wykorzystywanych w obrazowaniach wielo i hiperspektralnych

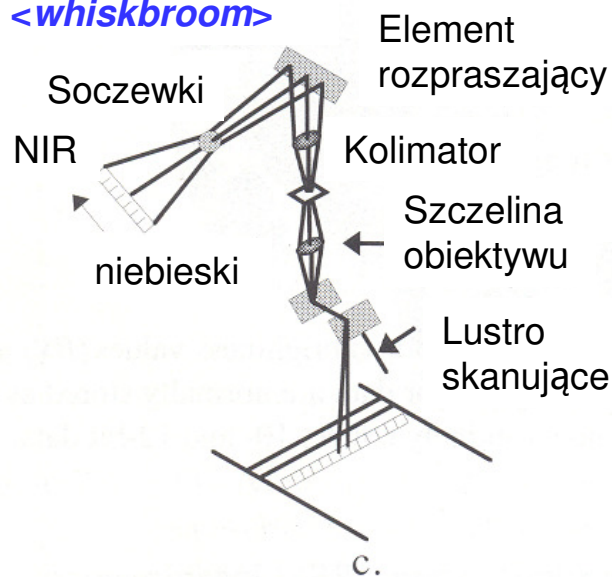
**Lustro skanujące
i detektory
nieciągłe**



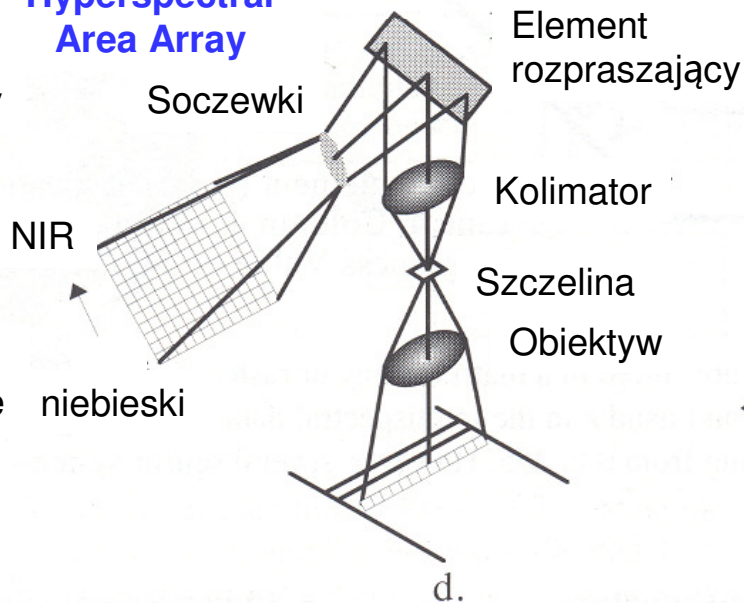
**Liniowy szereg
<pushbroom>**



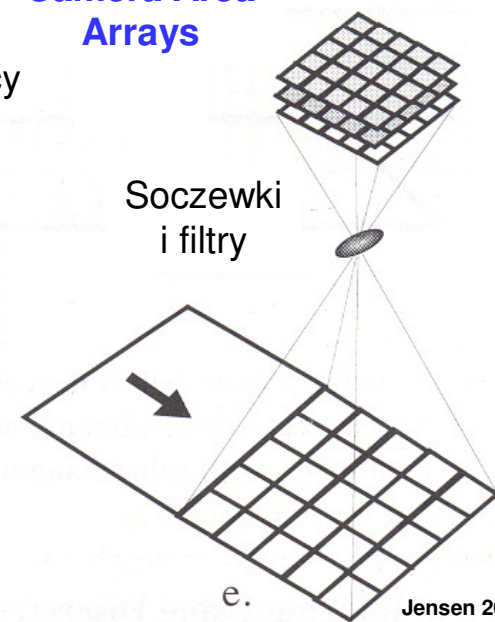
**Liniowy szereg
<whiskbroom>**



**Hyperspectral
Area Array**



**Digital Frame
Camera Area
Arrays**



TELEDETEKCJA satelitarna, lotnicza i naziemna

Obrazowanie wielospektralne przy użyciu detektorów nieciągłych i luster skanujących

Przykłady:

1. Earth Resource Technology Satellites (ERTS) i Landsat Sensor Systems

Landsat Multispectral Scanner (MSS)

Landsat Thematic Mapper (TM)

Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper

Plus (ETM+)

2. National Atmospheric and Oceanic Administration (NOAA) Multispectral Scanner Sensors

NOAA Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES)

NOAA Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)

3. ORBIMAGE, Inc., i NASA and Sea-viewing Wide Field of View Sensor (SeaWiFS)

4. Lotnicze: Aircraft Multispectral Scanner (AMS) Daedalus, Inc.,

Daedalus, Inc.,

NASA Airborne Terrestrial Applications Sensor (ATLAS)

TELEDETEKCJA satelitarna

Wielospektralne detektory nieciągłe i lustra skanujące

Earth Resource Technology Satellites (ERTS) and the Landsat Sensor Systems

LANDSAT

MSS (Multi Spectral Scanner)

TM (Thematic Mapper)

ETM (Enhanced Thematic Mapper)

**Chwilowe pole widzenia
(Instantaneous Field of View - IFOV):**

Landsat MSS

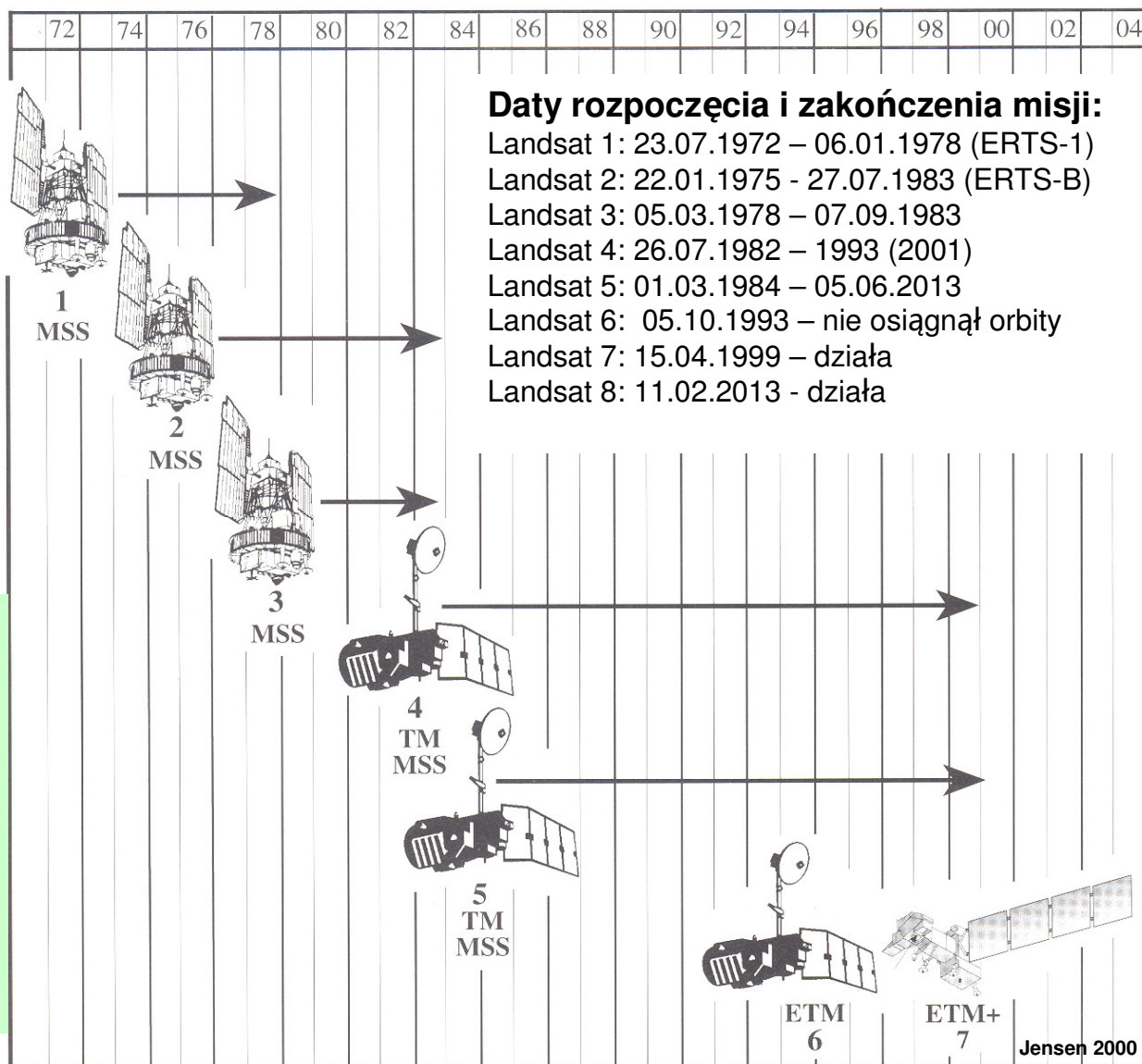
- 79 x 79 m dla kanałów 4-7
- 240 x 240 m dla kanału 8

Landsat 4 & 5 TM

- 30 x 30 m dla kanałów 1-5 & 7

Landsat 8 OLI

- 30 x 30 m.



TELEDETEKCJA satelitarna

Wielospektralne detektory nieciągłe i lustra skanujące

Earth Resource Technology Satellites (ERTS) and the Landsat Sensor Systems

LANDSAT-1,2,3

- wys. orbity 919 km, okrążenie 103 min., rewizyta 18 dni,
- 57 784 scen: szer 180 km długość 170 km
- czujnik MSS: 4 kanały: zielony, czerwony i bliska podczerwień (2), 60 m.
- kamery RBV - Return-Beam- Vidicon: 505 – 750 nm, 80 m.

LANDSAT- 4,5

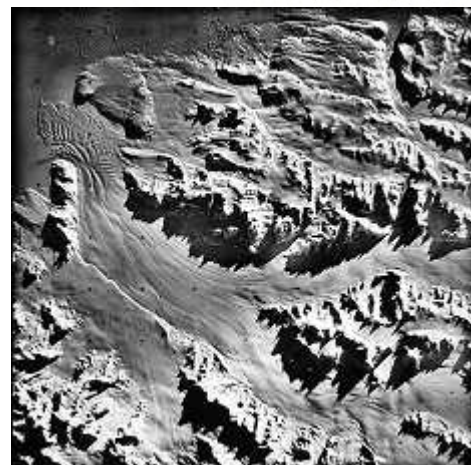
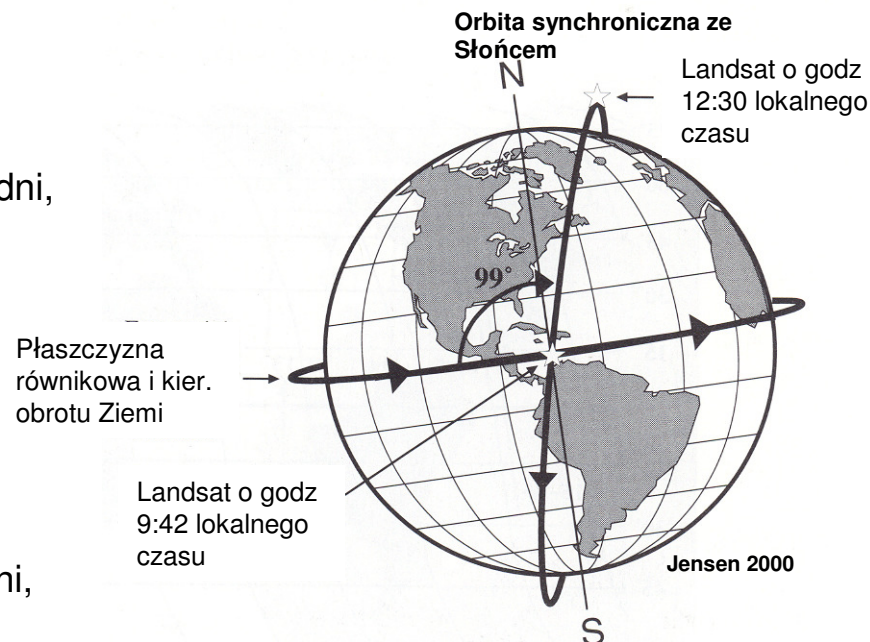
- wys. orbity 705 km, okrążenie 99 min., rewizyta 16 dni,
- czujnik MSS,
- czujnik TM: 30m i 120m (podczerwień IR)

LANDSAT- 6

- czujnik ETM: 15m (PAN), 30m (VIS NIR); i 120m (IR) - nie osiągnął orbity

LANDSAT- 7

- czujnik ETM+

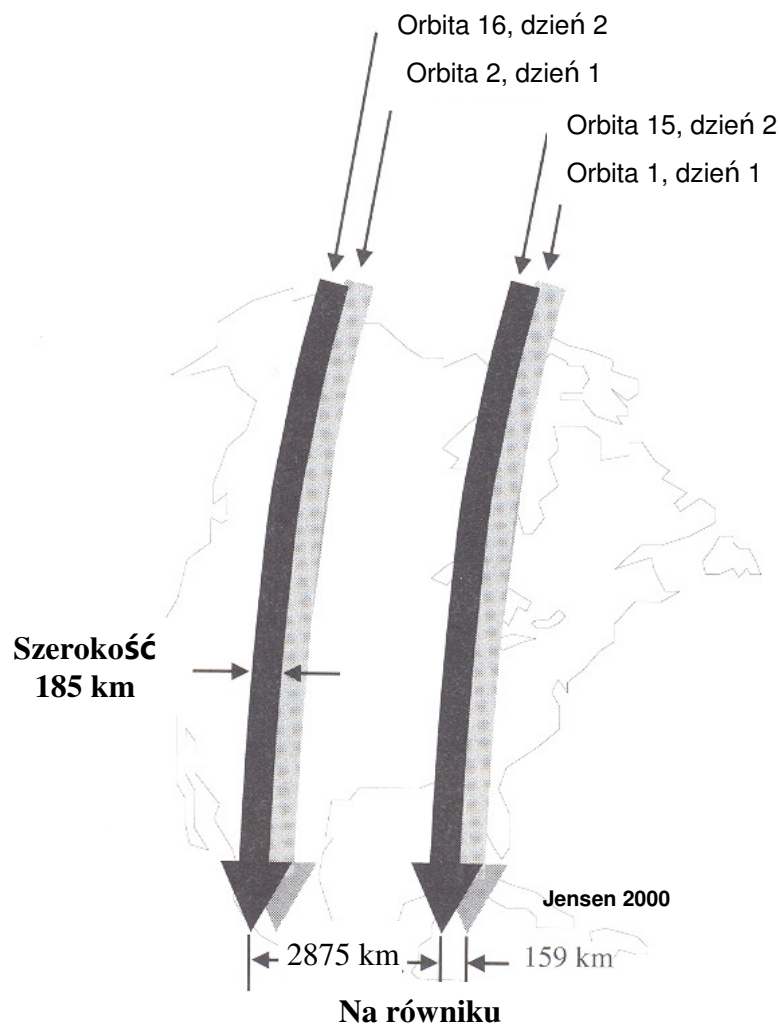


RBV
Lillie Glacier i
Pennell Coast -
Antarktyda
Courtesy of USGS

TELEDETEKCJA satelitarna

Wielospektralne detektory nieciągłe i lustra skanujące

Earth Resource Technology Satellites (ERTS) and the Landsat Sensor Systems



Seria satelitów Landsat:

Orbита synchroniczna ze Słońcem
(*Sun-synchronous orbit*) – jej
płaszczyzna przesuwana się zgodnie z
ruchem Ziemi wokół Słońca.

Satelity na orbicie biegunowej
synchronicznej ze słońcem przelatują
nad danym punktem Ziemi o mniej więcej
tej samej porze.

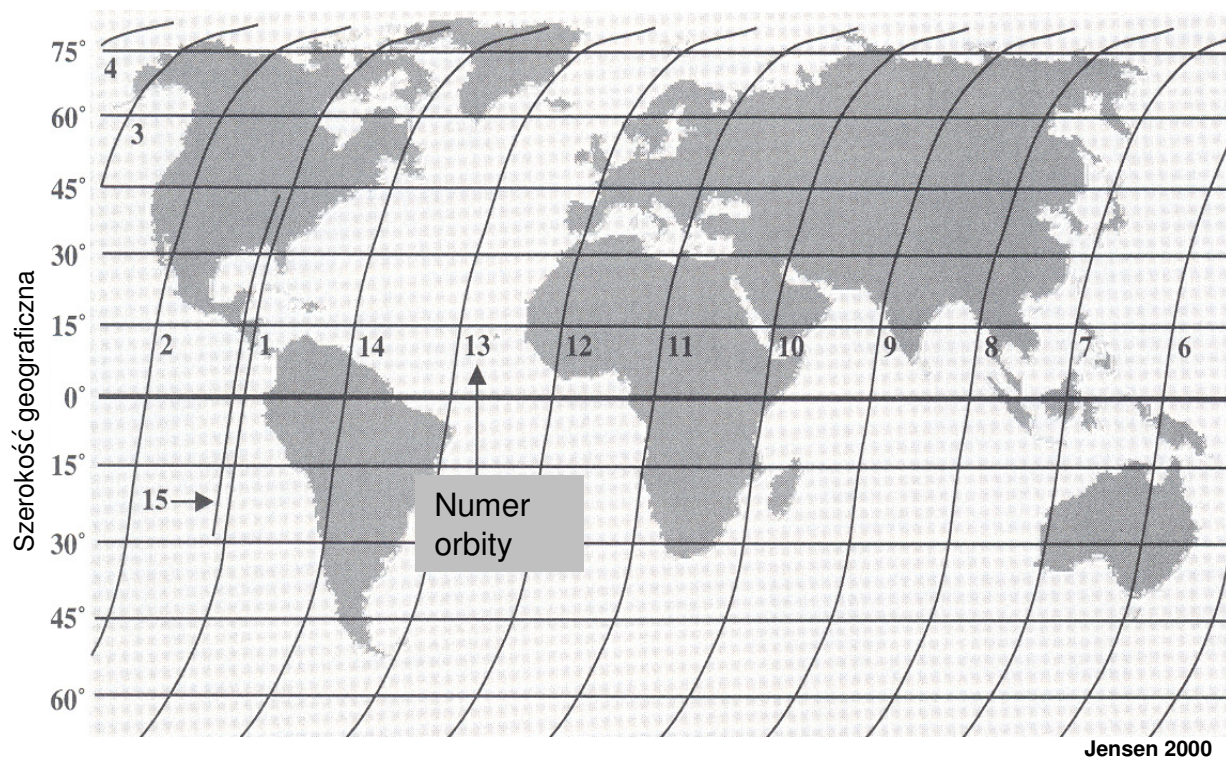
Landsat - 9:30 - 10:00 na równiku, po
oświetlonej stronie Ziemi

1 orbita = 103 minuty
14 orbit w ciągu dnia

TELEDETEKCJA satelitarna

Wielospektralne detektory nieciągłe i lustra skanujące

Earth Resource Technology Satellites (ERTS) and the Landsat Sensor Systems



Ścieżki orbitalne LANDSATa 1, 2 i 3 w czasie jednego dnia

Rewizyta: - 18 dni,
- 20 razy w roku.

Landsat 1, 2, and 3.

Orbita 252 zachodzi ponownie na orbitę 1 po 18 dniach

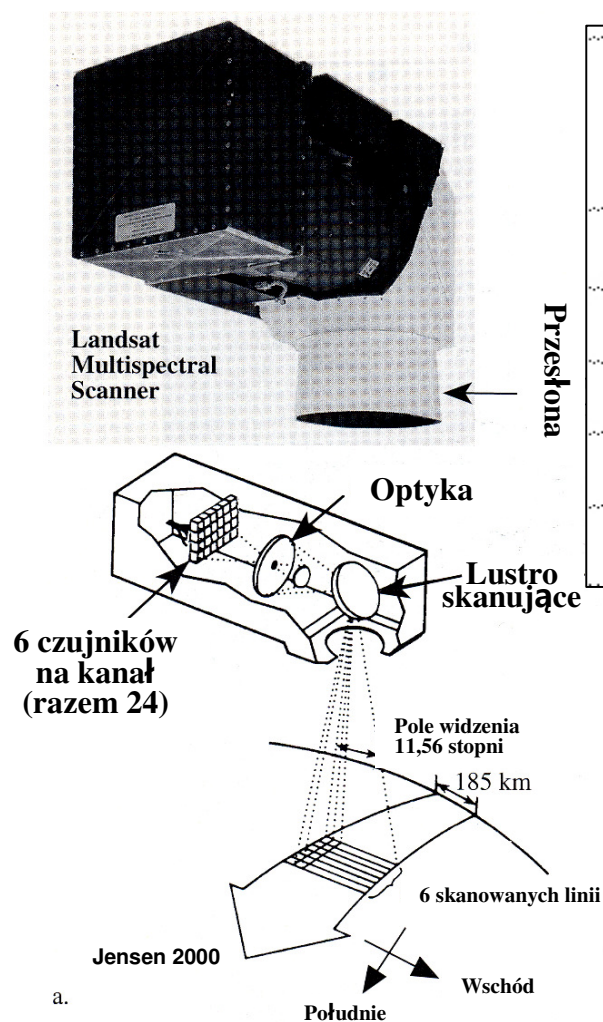
Ścieżki nachodzą na siebie pasem o szer. śr. 26 km – szersze są przy biegunach (85%) najwęższy przy równiku (14%). Umożliwia to tworzenie zobrażeń stereoskopowych.

TELEDETEKCJA satelitarna

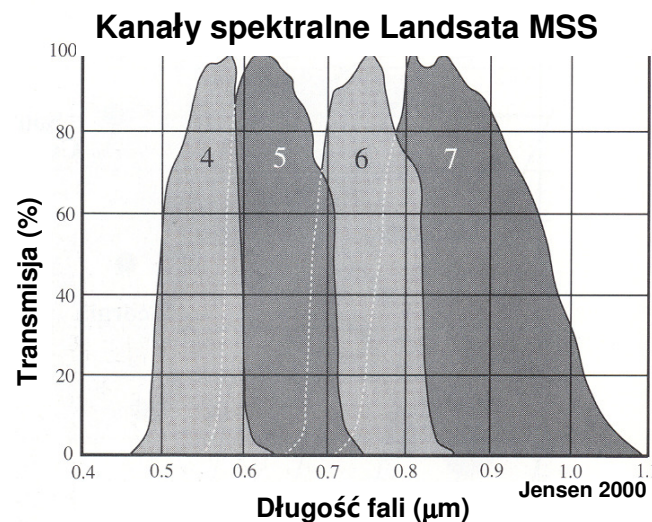
Wielospektralne detektory nieciągłe i lustra skanujące

Earth Resource Technology Satellites (ERTS) and the Landsat Sensor Systems

CZUJNIKI: Multispectral Scanner (MSS) Landsat 1-5.



Kanał	Rozdzielczość spektralna (μm)
4	0.5 – 0.6
5	0.6 – 0.7
6	0.7 – 0.8
7	0.8 – 1.1
8	10.4 – 12.6



Pole widzenia w nadirze	79 x 79 m dla kanałów 4-7 240 x 240 m dla kanału 8
Szybkość transmisji	15 Mb/s
Poziom kwantyfikacji	6 bitów (wart. Od 0 do 63)
Rewizyta	18 dni Landsat 1, 2, 3 16 dni Landsat 4, 5
Wysokość	919 km
Szerokość ścieżki	185 km
Nachylenie	99 stopni

TELEDETEKCJA satelitarna

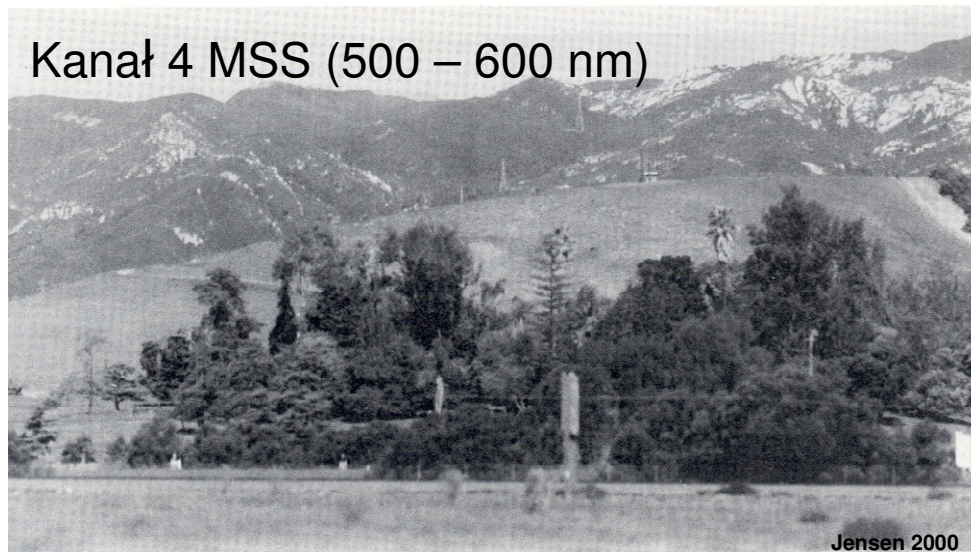
Wielospektralne detektory nieciągłe i lustra skanujące

Earth Resource Technology Satellites (ERTS) and the Landsat Sensor Systems

Landsat MSS -

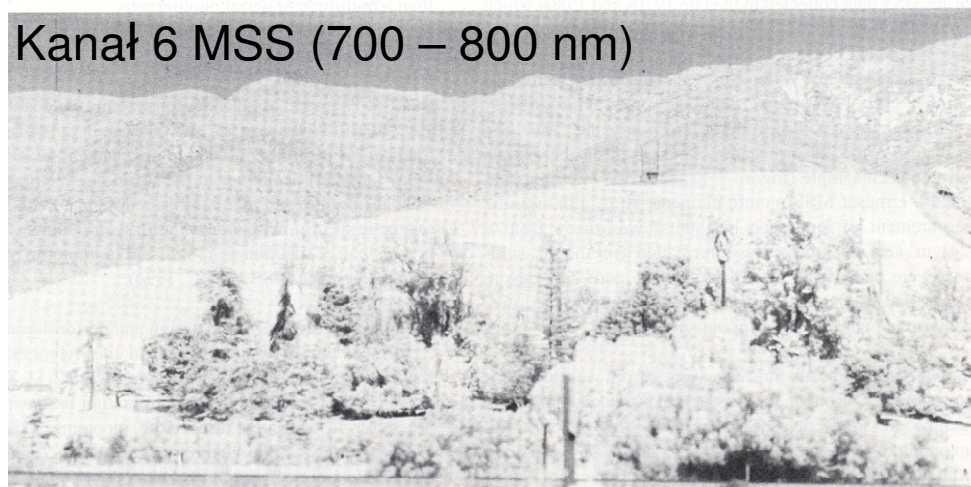
obrazy naziemne
zarejestrowane czujnikiem
MSS w dwóch kanałach

Kanał 4 MSS (500 – 600 nm)



a.

Kanał 6 MSS (700 – 800 nm)



Jensen 2000

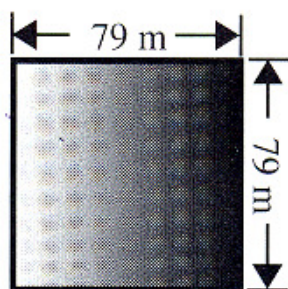
b.

TELEDETEKCJA satelitarna

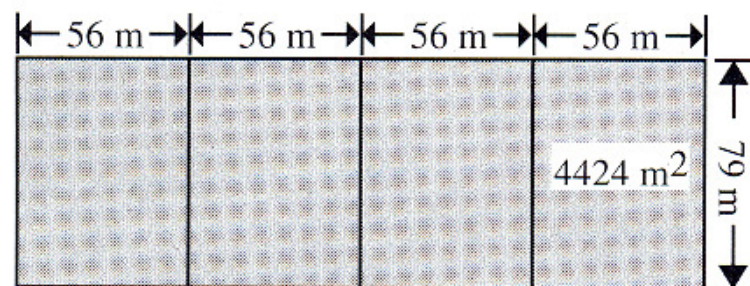
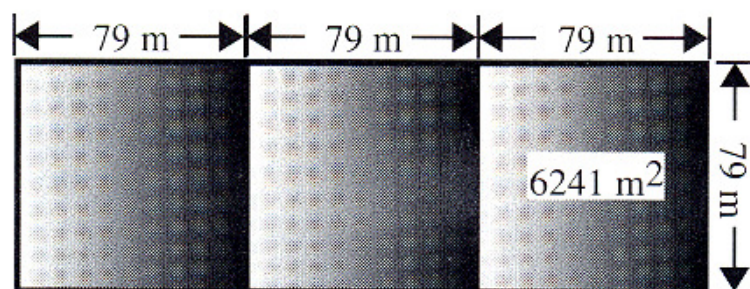
Wielospektralne detektory nieciągłe i lustra skanujące

MSS

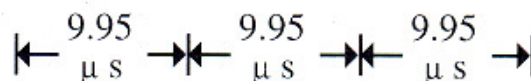
Chwilowe pole widzenia (*IFOV - Instantaneous Field of View*) – jest miarą rozdzielczości przestrzennej czujnika teledetekcyjnego



Chwilowe pole widzenia



Jensen 2000



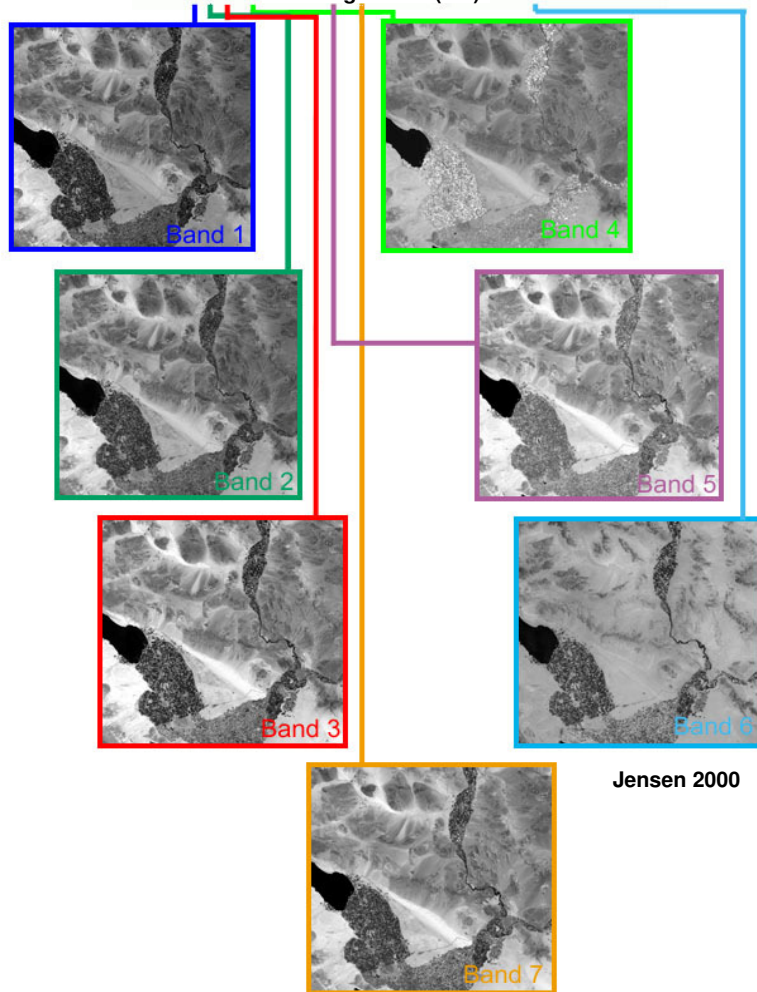
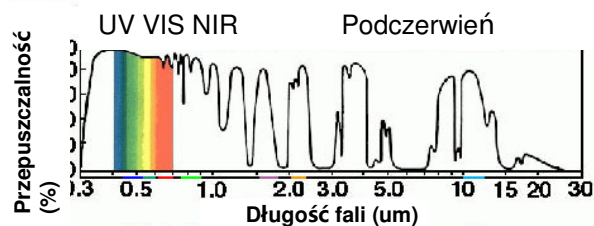
Landsat 1, 2, and 3

- 6 bitów z zakresem wartości poziomów szarości od 0 do 63 przeskalowanych do 7 bitów (0 – 127).
- Pomiary jasności (odbicia) powierzchni Ziemi wykonywane z powierzchni od 6241 m² do 4424 m².

Zależność między chwilowym polem widzenia (IFOV) 79 x 79 m
IFOV czujnika Landsat MSS i tempem resamplowania (co 9.95 μ s)

TELEDETEKCJA satelitarna

Wielospektralne detektory nieciągłe i lustra skanujące



Jensen 2000

Landsat TM - Thematic Mapper

Kanał zakres spektralny (μm)

1	0.45 – 0.52
2	0.52 – 0.60
3	0.63 – 0.69
4	0.76 – 0.90
5	1.55 – 1.75
6	10.40–12.5
7	2.08–2.35

- przenikalność wody,
- rozróżnianie typów roślinności i ich wigoru,
- pomiary uwilgotnienia roślin i gleby,
- różnicowanie chmur, śniegu i lodu,
- identyfikacja zmian hydrotermalnych różnych typów skał.

TELEDETEKCJA satelitarna

Wielospektralne detektory nieciągłe i lustra skanujące

Earth Resource Technology Satellites (ERTS) and the Landsat Sensor Systems

Landsat MSS

Pole widzenia w nadirze	79 x 79 m dla kanałów 4-7 240 x 240 m dla kanału 8
Szybkość transmisji	15 Mb/s
Poziom kwantyfikacji	6 bitów (wart. od 0 do 63)
Rewizyta	18 dni Landsat 1, 2, 3
Wysokość	919 km
Szerokość ścieżki	185 km
Nachylenie	99 stopni

Landsat TM

30 x 30 m dla kanałów 1-5 i 7 120 x 120 m dla kanału 6
85 Mb/s
8 bitów (wart. od 0 do 255)
16 dni Landsat 4, 5
705 km
185 km
98,2 stopnia

4 ^b	0.5 – 0.6
5	0.6 – 0.7
6	0.7 – 0.8
7	0.8 – 1.1
8 ^c	10.4 – 12.6

- Ogólne badanie roślinności
- Badania geologiczne

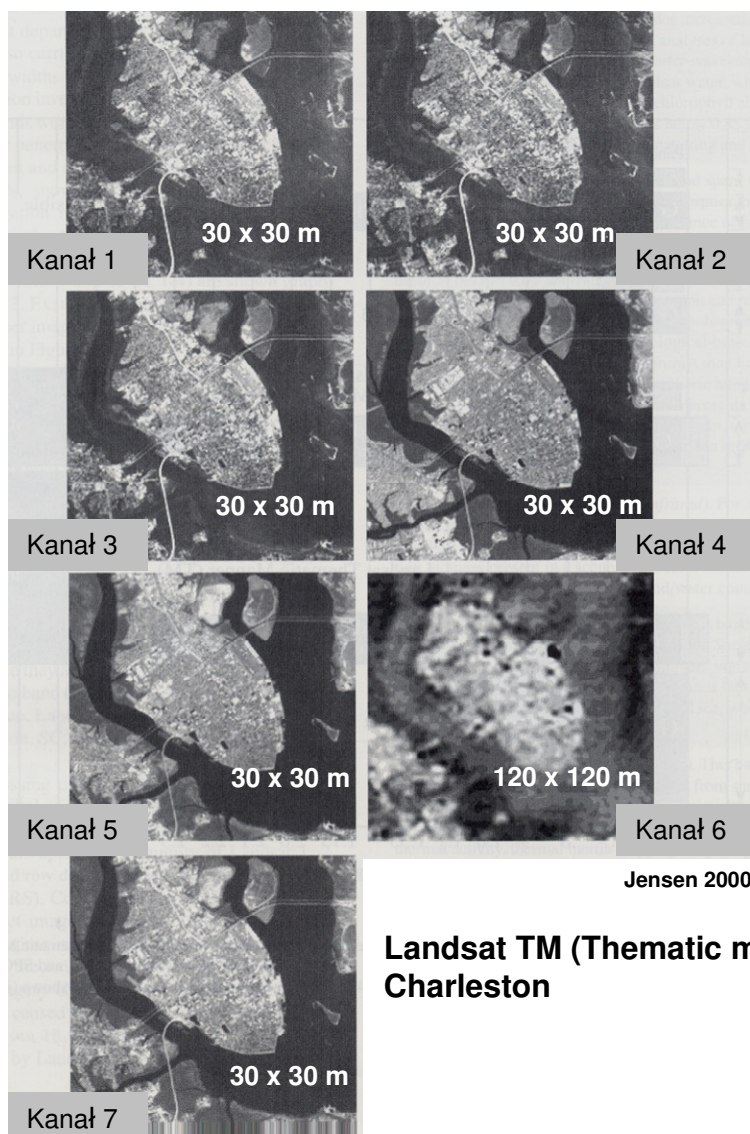
1	0.45 – 0.52
2	0.52 – 0.60
3	0.63 – 0.69
4	0.76 – 0.90
5	1.55 – 1.75
6	10.40–12.5
7	2.08–2.35

- przenikalność wody,
- rozróżnianie typów roślinności i ich wigoru,
- pomiary uwilgotnienia roślin i gleby,
- różnicowanie chmur, śniegu i lodu,
- Identyfikacja zmian hydrotermalnych różnych typów skał.

TELEDETEKCJA satelitarna

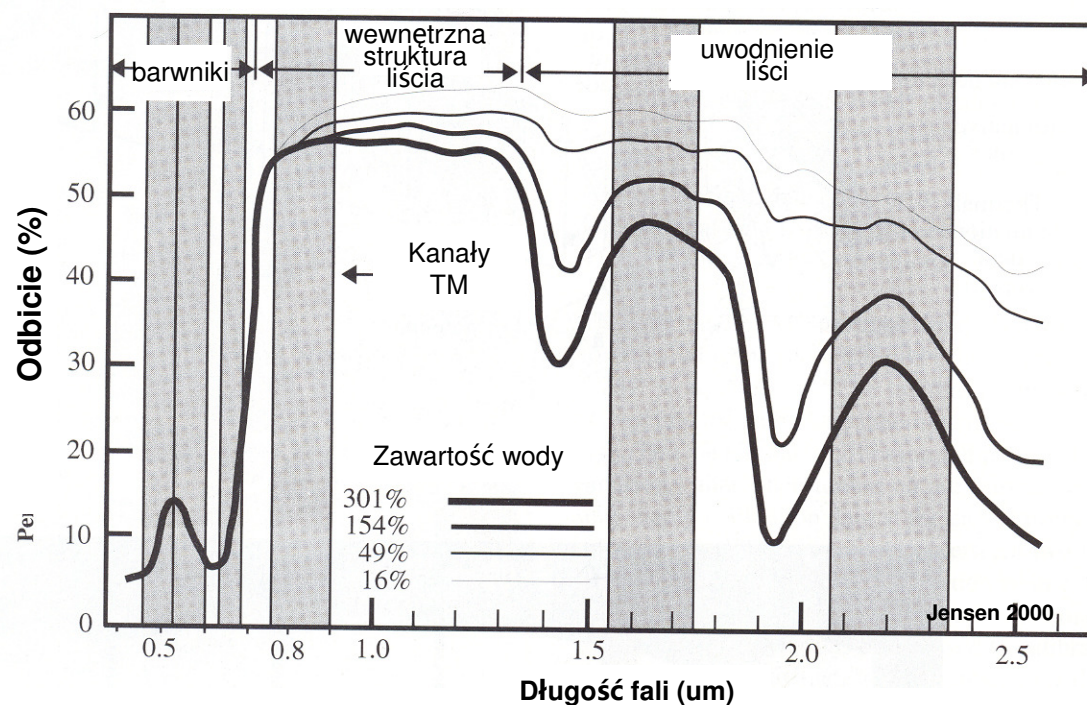
Wielospektralne detektory nieciągłe i lustra skanujące

Earth Resource Technology Satellites (ERTS) and the Landsat Sensor Systems



**Landsat TM (Thematic mapper),
Charleston**

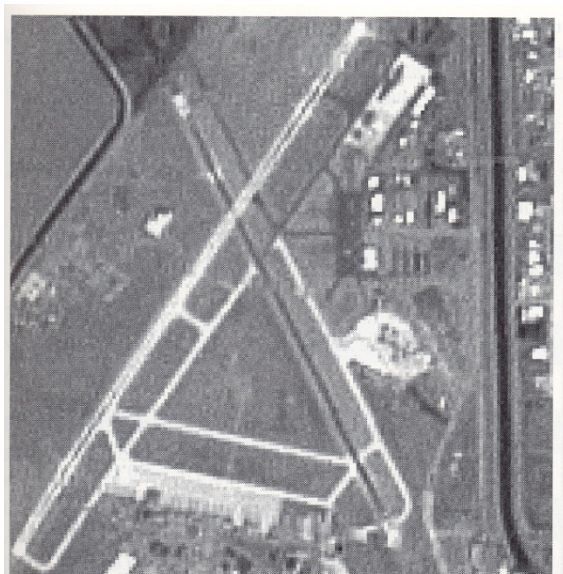
Krzywa przedstawia odbicie od górnej powierzchni
liści jawora o różnej zawartości wody



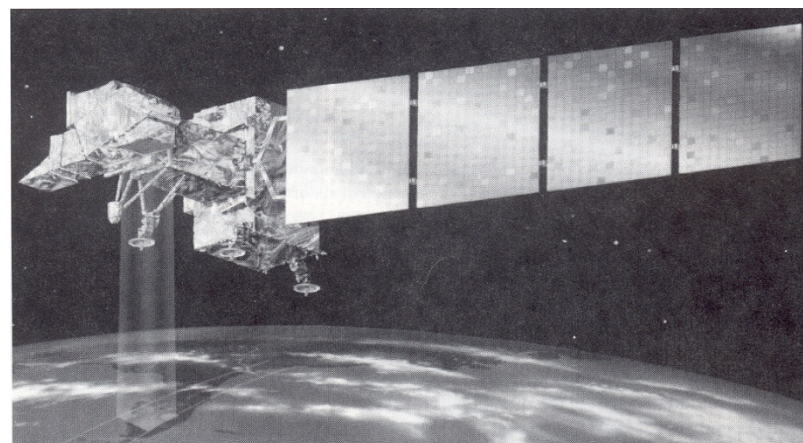
TELEDETEKCJA satelitarna

Wielospektralne detektory nieciągłe i lustra skanujące

Earth Resource Technology Satellites (ERTS) and the Landsat Sensor Systems



Jensen 2000



Jensen 2000

Landsat ETM+

1	0.450 – 0.515
2	0.525 – 0.605
3	0.630 – 0.690
4	0.750 – 0.900
5	1.55 – 1.75
6	10.40 – 12.50
7	2.08 – 2.35
8 (pan)	0.52 – 0.90

ETM+

- Większa rozdzielczość przestrzenna w kanale 6 (60 x 60 m).
- Kanał panchromatyczny (8) o rozdzielczości przestrzennej 15 x 15 m.

Landsat TM

1	0.45 – 0.52
2	0.52 – 0.60
3	0.63 – 0.69
4	0.76 – 0.90
5	1.55 – 1.75
6	10.40–12.5
7	2.08–2.35

Landsat MSS

4 ^b	0.5 – 0.6
5	0.6 – 0.7
6	0.7 – 0.8
7	0.8 – 1.1
8 ^c	10.4 – 12.6

Pierwszy obraz panchromatyczny czujnika ETM+ 15 x 15 m, Sioux Falls

Obraz panchromatyczny – powstaje w wyniku rejestracji promieniowania ze stosunkowo szerokiego zakresu widma.

TELEDETEKCJA satelitarna

Wielospektralne detektory nieciągłe i lustra skanujące

Earth Resource Technology Satellites (ERTS) and the Landsat Sensor Systems

Charakterystyka kanałów spektralnych czujników satelity LANDSAT

- 1. Kanał niebieski (450 – 515 nm):** badanie wód, zanieczyszczenie atmosfery, wspomaga analizę użytkowania ziemi, badania gleboznawcze i roślinności (niebieskie pasmo absorpcji chlorofilu).
- 2. Kanał zielony (525 – 600 nm):** badanie roślinności (pasmo łączy maksima absorpcji chlorofilu).
- 3. Kanał czerwony (630 – 690 nm):** identyfikacja roślinności (pasmo absorpcji chlorofilu), wyznaczanie zasięgów glebowych i geologicznych, pasmo w mniejszym stopniu pochłaniane przez atmosferę (bardziej kontrastowe niż niebieskie i zielone).
- 4. Bliska podczerwień (750 – 900 nm):** szacowanie biomasy roślinnej, identyfikacja upraw (duży kontrast między glebą i uprawami oraz między wodą i lądem).
- 5. Środkowa podczerwień (1550 – 1750 nm):** wykrywanie suszy (pasmo absorpcji przez wodę), odróżnianie chmur, śniegu i lodu (badania hydrologiczne).
- 6. Podczerwień termalna (10 400 – 12 500 nm):** w tym kanale mierzone jest promieniowanie emitowane przez Ziemię, lokalizacja aktywności geotermalnej, klasyfikacja roślinności, badanie stresów roślinnych i wilgotności gleby.

TELEDETEKCJA satelitarna

Wielospektralne detektory nieciągłe i lustra skanujące

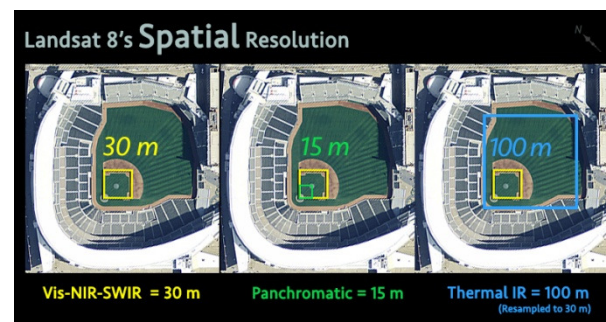
Earth Resource Technology Satellites (ERTS) and the Landsat Sensor Systems

Landsat-7 ETM+ Bands (μm)			Landsat-8 OLI and TIRS Bands (μm)		
			30 m Coastal/Aerosol	0.435 - 0.451	Band 1
Band 1	30 m Blue	0.441 - 0.514	30 m Blue	0.452 - 0.512	Band 2
Band 2	30 m Green	0.519 - 0.601	30 m Green	0.533 - 0.590	Band 3
Band 3	30 m Red	0.631 - 0.692	30 m Red	0.636 - 0.673	Band 4
Band 4	30 m NIR	0.772 - 0.898	30 m NIR	0.851 - 0.879	Band 5
Band 5	30 m SWIR-1	1.547 - 1.749	30 m SWIR-1	1.566 - 1.651	Band 6
Band 6	60 m TIR	10.31 - 12.36	100 m TIR-1	10.60 - 11.19	Band 10
			100 m TIR-2	11.50 - 12.51	Band 11
Band 7	30 m SWIR-2	2.064 - 2.345	30 m SWIR-2	2.107 - 2.294	Band 7
Band 8	15 m Pan	0.515 - 0.896	15 m Pan	0.503 - 0.676	Band 8
			30 m Cirrus	1.363 - 1.384	Band 9

Landsat 8

od 11 lutego 2013

Wys. orbity 709 km



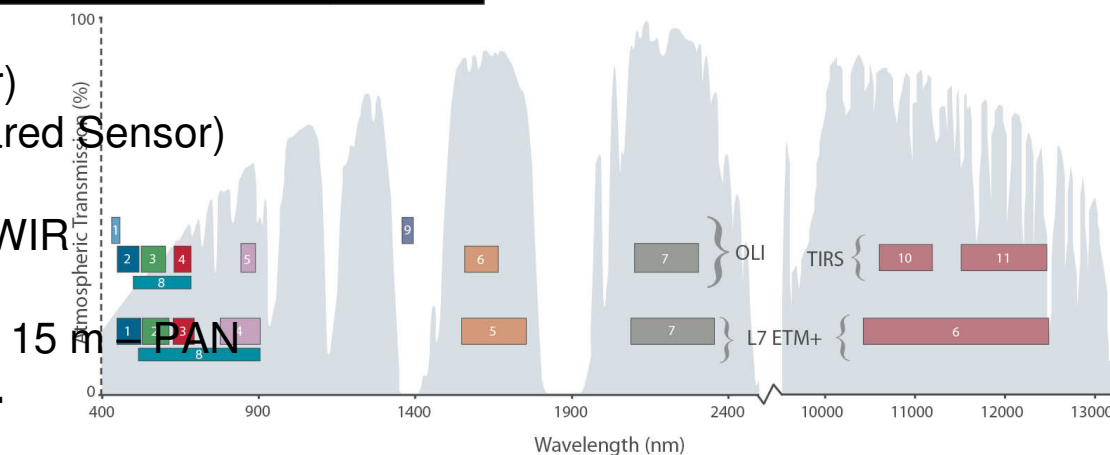
Czujniki: OLI (Operational Land Imager)

TIRS (Thermal Infrared Sensor)

Rozdzielczość przestrzenna: 30 m – VIS, NIR, SWIR
100 m – TIR

15 m – PAN

Zwiększona rozdzielczość spektralna.



TELEDETEKCJA satelitarna

Wielospektralne detektory nieciągłe i lustra skanujące
Geostacjonarne satelity środowiskowe NOAA

National Atmospheric and Oceanic Administration (NOAA)
Wielospektralne detektory skanujące

NOAA wykorzystuje dwie serie satelitów teledetekcyjnych:

1. Polar-Orbiting Operational Environmental Satellites (POES),

we współpracy z European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT),

Satelity działające w ramach POES: MetOp-B - od 2012
NOAA-19 - od 2009
MetOp-A – od 2006
NOAA-18 - 2005
NOAA-17 – od 2002.

2. Geostationary Operational Environmental Satellites (GOES).

Satelity działające w ramach GOES: GOES 12 - od 2001, *obserwacja Ameryki Południowej,*
GOES 13 - od 2006, *działa jako GOES East,*
GOES 14 - od 2009, *standby*
GOES 15 - od 2010, *działa jako GOES West.*

TELEDETEKCJA satelitarna

Wielospektralne detektory nieciągłe i lustra skanujące

Okołobiegunowe satelity środowiskowe NOAA

Polar-Orbiting Operational Environmental Satellites (POES)

NOAA-19: Data umieszczenia na orbicie: 06.02.2009 Vandenberg Air Force Base

Czujnik: Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR/3)
szerokość ścieżki: 2700 km.

Orbita: synchroniczna ze Słońcem,
wysokość: 870 km,
czas okrążenia: 101-102 minuty,
rewizyta: 1 dzień,
możliwość zmiany kąta obserwacji + - 55.4° off-nadir.



AVHRR/3 - *Advanced Very High Resolution Radiometer*

Kanał	Długość fali (nm)	Rozdzielczość przestrzenna (km)	Zastosowanie do:
1	580 – 680	1.1	obserwacji zachmurzenia w dzień, pokrywy śnieżnej i lodowej oraz kartowania roślinności.
2	725 – 1000	1.1	określania zasięgu wód powierzchniowych, pokrywy śnieżnej i lodowej, kartowania roślinności, rozkładu przestrzennego NDVI.
3	1580 – 1640	1.1	monitorowania suszy i kondycji roślin, identyfikacji chmur, pokrywy śnieżnej i lodowej.
4	3550 – 3930	1.1	kontroli termalnej wulkanów i pożarów lasów, kartowania zachmurzenia w nocy.
5	10 300 – 11 300	1.1	kartowania temperatury chmur i powierzchni Ziemi w dzień i w nocy.
6	11 500 – 12 500	1.1	obserwacji i kartowania temperatury chmur i powierzchni Ziemi w dzień i w nocy.

TELEDETEKCJA satelitarna

Wielospektralne detektory nieciągłe i lustra skanujące
Okołobiegunowe satelity środowiskowe NOAA

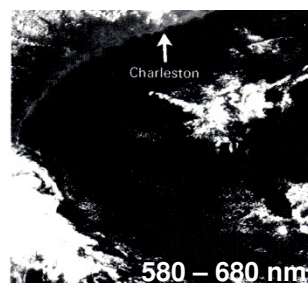
Polar-Orbiting Operational Environmental Satellites (POES)

Rozdzielczość przestrzenna VNIR:

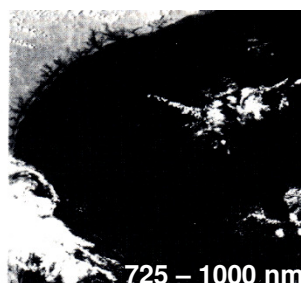
LANDSAT TM 30 x 30 m – NOAA AVHRR 1100 x 1100 m

NOAA-19:

Landsat TM kanał 3
630 – 690 nm

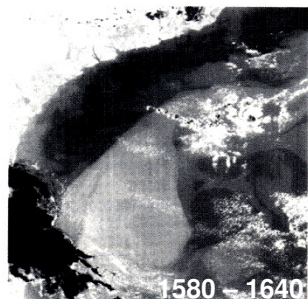


AVHRR kanał 1

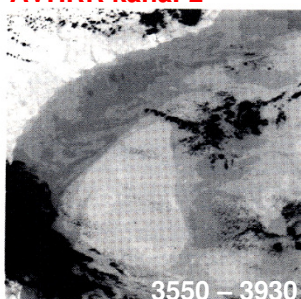


AVHRR kanał 2

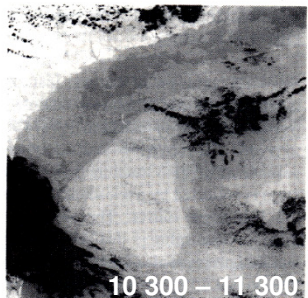
Landsat TM kanał 4
760 – 900 nm



AVHRR kanał 3



AVHRR kanał 4

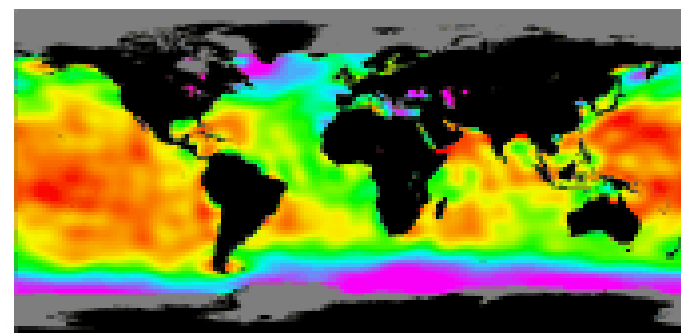


AVHRR kanał 5

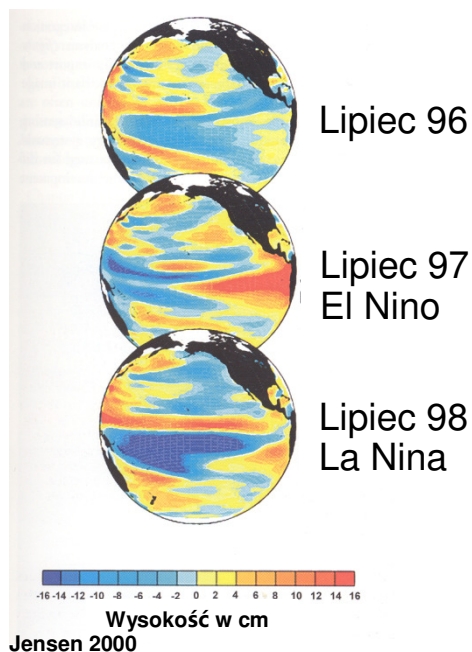
Dane AVHRR z
NOAA-11 przedstawiające
Wybrzeże Południowej Karoliny
(13 maja 1993)

Jensen 2000

Temperatura wody



Jensen 2000

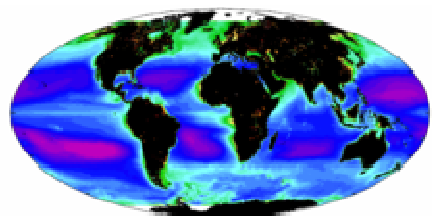


TELEDETEKCJA satelitarna

Wielospektralne detektory nieciągłe i lustra skanujące
Okołobiegunowe satelity środowiskowe NOAA

Czujnik: SeaWIFS (Sea-Viewing Wide Field-of-View Sensor)

Kanał	Długość fali
1	402-422 nm
2	433-453 nm
3	480-500 nm
4	500-520 nm
5	545-565 nm
6	660-680 nm
7	745-785 nm
8	845-885 nm



Average sea-surface chlorophyll, 1998 to 2006 [mg chl m^{-3}]

0.03 0.1 0.3 1 3 10 30

Wikipedia

Rozdzielczość przestrzenna:

- ❖ 1.1 km (LAC - *Local Area Coverage*),
- ❖ 4.5 km (GAC- *Global Area Coverage*).

Produkty dotyczące koncentracji:

- ✓ chlorofilu a,
 - ✓ stałych cząstek węgla organicznego (POC - particulate organic carbon concentration)
 - ✓ stałych cząstek węgla nieorganicznego (PIC particulate inorganic carbon concentration),
 - ✓ barwnej zawiesiny materii organicznej (CDOM - colored dissolved organic matter),
- oraz znormalizowanej wysokości linii fluorescencji (NFLH).

TELEDETEKCJA satelitarna

Wielospektralne detektory nieciągłe i lustra skanujące
Geostacjonarne satelity środowiskowe NOAA

Geostationary Operational Environmental Satellites (GOES)



GOES-15 (lub GOES-West)



GOES-13 (lub GOES-East)

<http://www.ssd.noaa.gov/goes/east/se/flash-vis.html>

<http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/genlsatl.html>

TELEDETEKCJA satelitarna

Wielospektralne detektory nieciągłe i lustra skanujące

Geostacjonarne satelity środowiskowe NOAA

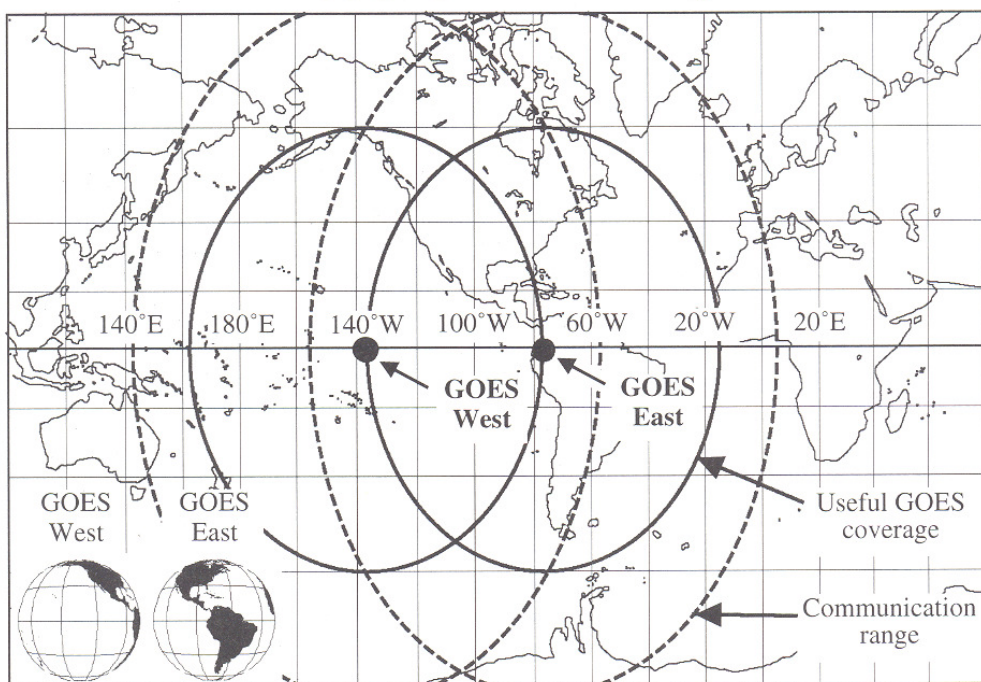
Geostationary Operational Environmental Satellites (GOES)

**Orbita geostacjonarna 35 790 km
nad równikiem**

GOES – 8 East

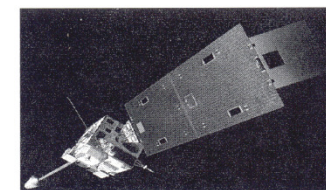
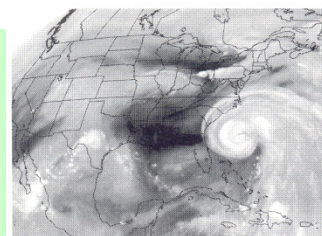
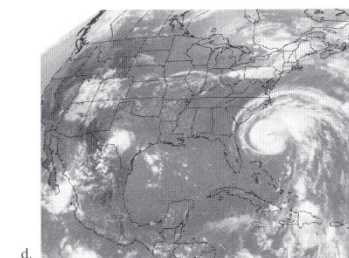
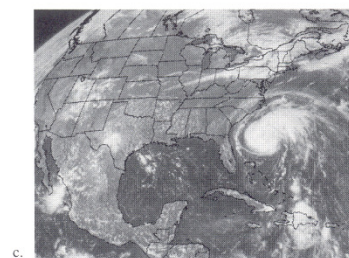
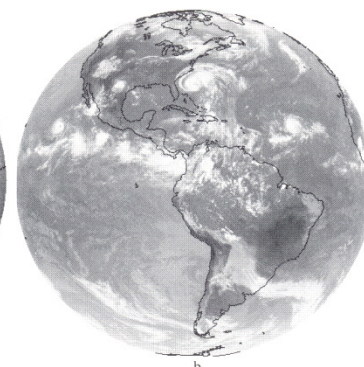
Kanał widzialny

Kanał podczerwieni
termalnej



Jensen 2000

**Skanywanie kontynentalnej części Ameryki
Północnej co 15 min. a całej hemisfery raz na 3 godz.
Możliwe jest skanowanie mniejszych obszarów z 30
sek. częstotliwością.**



f. Jensen 2000

TELEDETEKCJA satelitarna

Wielospektralne detektory nieciągłe i lustra skanujące
Geostacjonarne satelity środowiskowe NOAA

Geostationary Operational Environmental Satellites (GOES)

Detektory: *Imager* – czujnik wielokanałowy rejestrujący prom. odbite od powierzchni Ziemi.

Sounder – dostarcza danych do określania temperatury i wilgotności w profilach atmosfery, temperatury wierzchołków i powierzchni chmur oraz rozmieszczenia warstwy ozonowej. 18 kanałów spektralnych w zakresie od 3740 do 14 710 nm

Imager:

GOES-15 kanały	Rozdzielczość spektralna (nm)	Rozdzielczość przestrzenna (km)	Charakterystyka kanałów
1	530 -750	1 x 1	Obserwacja chmur, zanieczyszczeń atmosfery, zamglenia i burz.
2	3 800 – 4 000	4 x 4	Wykrywanie mgły, odróżnianie chmur deszczowych od śnieżnych za dnia, wykrywanie pożarów i aktywności wulkanów, nocne kartowanie temperatury powierzchni oceanów.
3	5 800 – 7 300	4 x 4	Szacowanie parowania, wykrywanie adwekcji i śledzenie atmosfery.
4	10 200 – 11 200	4 x 4	Obserwacja chmur, identyfikacja burz, określanie wysokości chmur, lokalizacja występowania obfitych deszczy.
6	12 900 – 13 700	4 x 4	Identyfikacja parowania, szacowanie temperatury powierzchni oraz zanieczyszczenia atmosfery pyłami.

TELEDETEKCJA lotnicza

Wielospektralne detektory nieciągłe i lustra skanujące

Wielospektralne skanery lotnicze

Daedalus

TMS (Thematic Mapper Simulator - ARC)

Rozdzielczość przestrzenna: 50 metrów
(wszystkie kanały) z wys. 19.8 km

Wysokość lotu (m)	Rozmiar piksela (m)
1 000	2.5
2 000	5.0
4 000	10.0
16 000	40.0
50 000	125.0



Samolot ER-2 NASA/ARC

Kanał	Długość fali (nm)
1	420 - 450
2 (TM1)	450 - 520
3 (TM2)	520 - 600
4	600 - 620
5 (TM3)	630 - 690
6	690 - 750
7 (TM4)	760 - 900
8	910 - 1050
9 (TM5)	1550 - 1750
10 (TM7)	2080 - 2350
11 i 12 (TM6)	8500 - 14000

IFOV: 2.5 mrad

Szerokość ścieżki: 714 pikseli

TELEDETEKCJA lotnicza

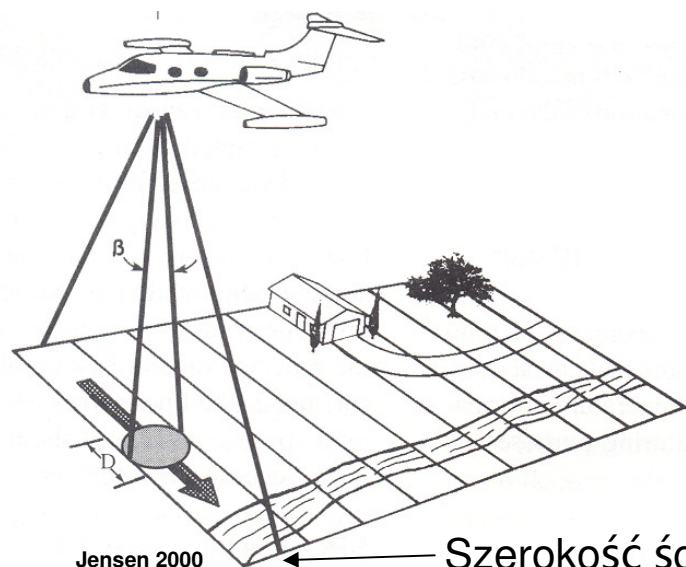
Wielospektralne detektory nieciągłe i lustra skanujące

Wielospektralne skanery lotnicze

ATLAS

Rozdzielczość przestrzenna : 2.5 - 25 m
zależnie od wysokości przelotu

IFOV: 2.0 mrad



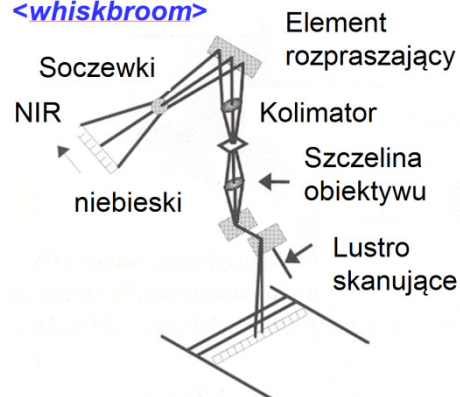
Szerokość ścieżki: 800 pikseli

Kanał	Długość fali (nm)
1 (TM1)	450 - 520
2 (TM2)	520 - 600
3	600 - 630
4 (TM3)	630 - 690
5	690 - 750
6 (TM4)	760 - 900
7 (TM5)	1550 - 1750
8 (TM7)	2080 - 2350
9	removed
10	8200 - 8600
11	8600 - 9000
12	9000 - 9400
13	9600 - 10200
14	10200 - 11200
15	11200 - 12200

TELEDETEKCJA satelitarna i lotnicza

Obrazowanie wielospektralne przy użyciu systemu <liniowy szereg>

Liniowy szereg
<whiskbroom>



Whiskbroom

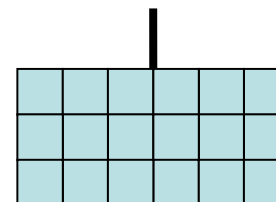
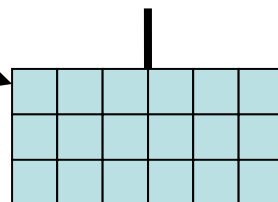
Liniowy szereg
<pushbroom>



Jensen 2000

Pushbroom

piksel



Kierunek przelotu

Liniowy szereg < Pushbroom >:

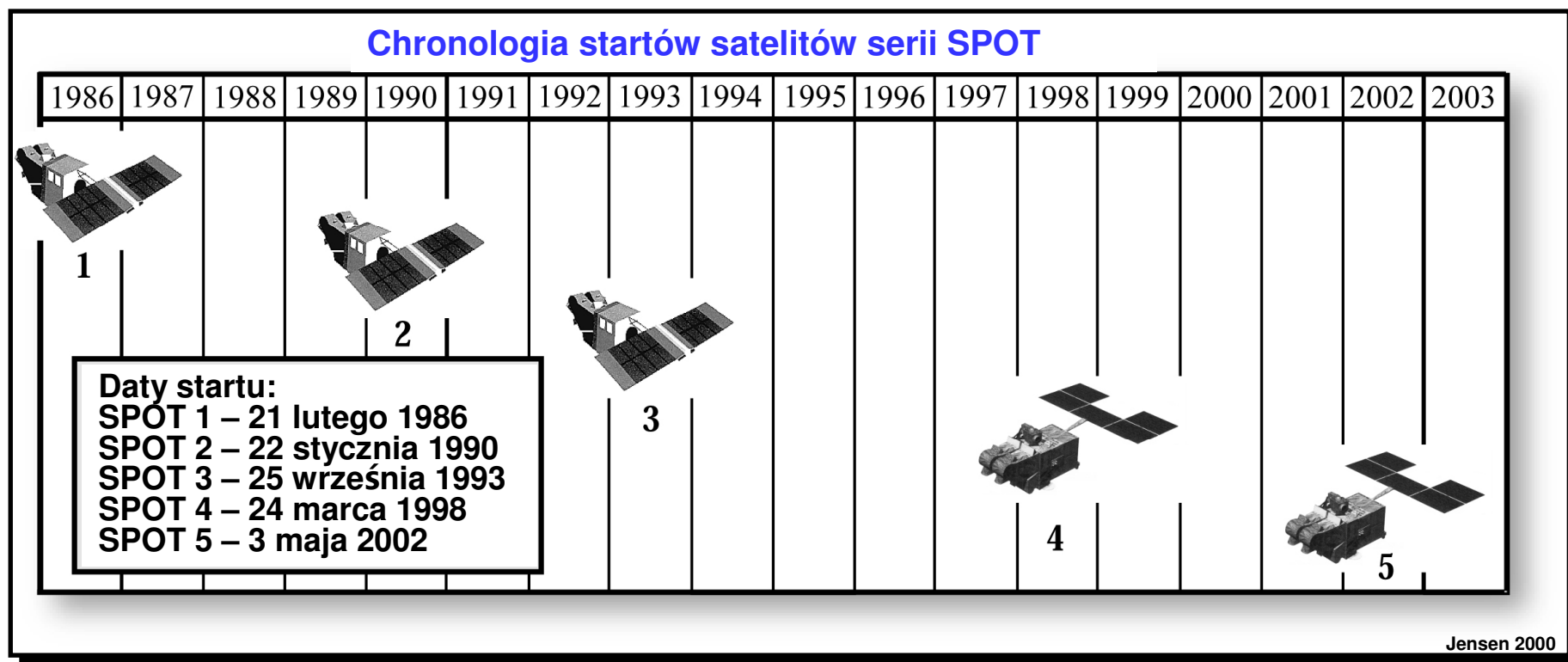
- 1) Brak ruchomego lustra,
- 2) Czujnik dłużej <obserwuje> dany fragment powierzchni Ziemi.

TELEDETEKCJA satelitarna

Obrazowanie wielospektralne przy użyciu systemu <liniowy szereg>

Systemy czujników satelitów serii SPOT

Chronologia startów satelitów serii SPOT



SPOT 6 i SPOT 7 – 2012 i 2014

TELEDETEKCJA satelitarna

Obrazowanie wielospektralne przy użyciu systemu <liniowy szereg>
Satelity serii SPOT

Charakterystyka czujnika HRVIR satelity SPOT-1 i SPOT-7

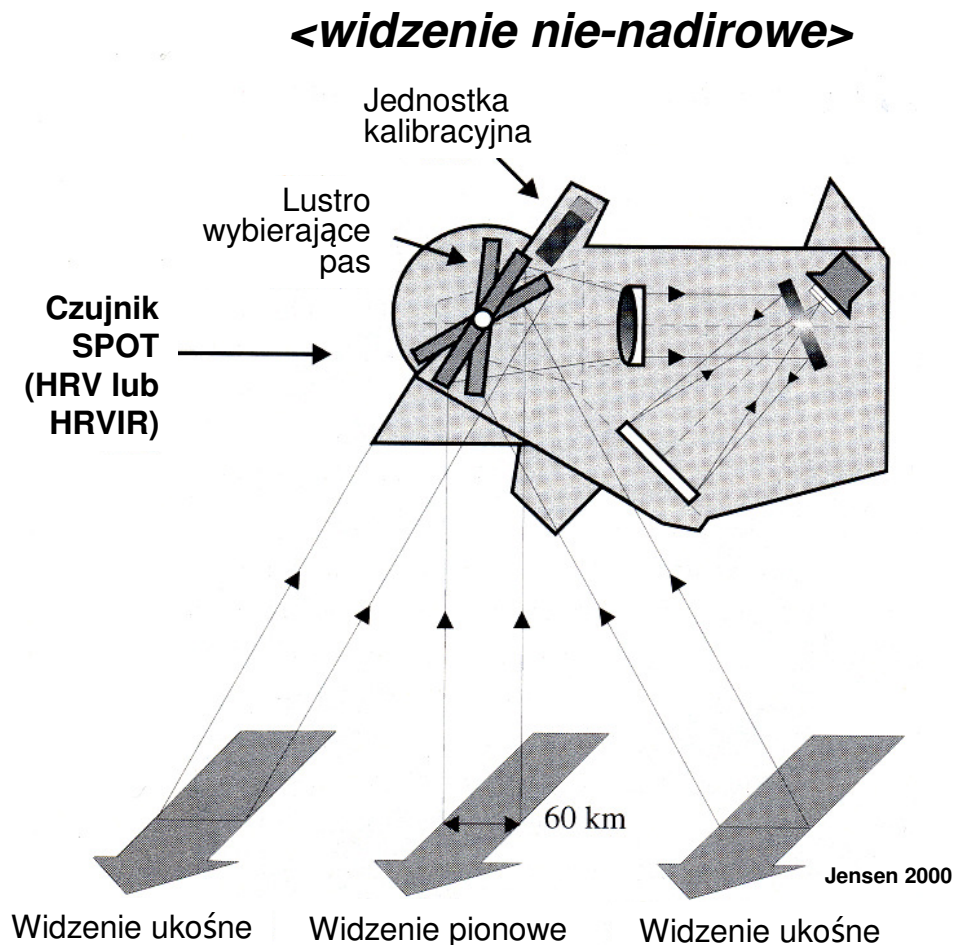
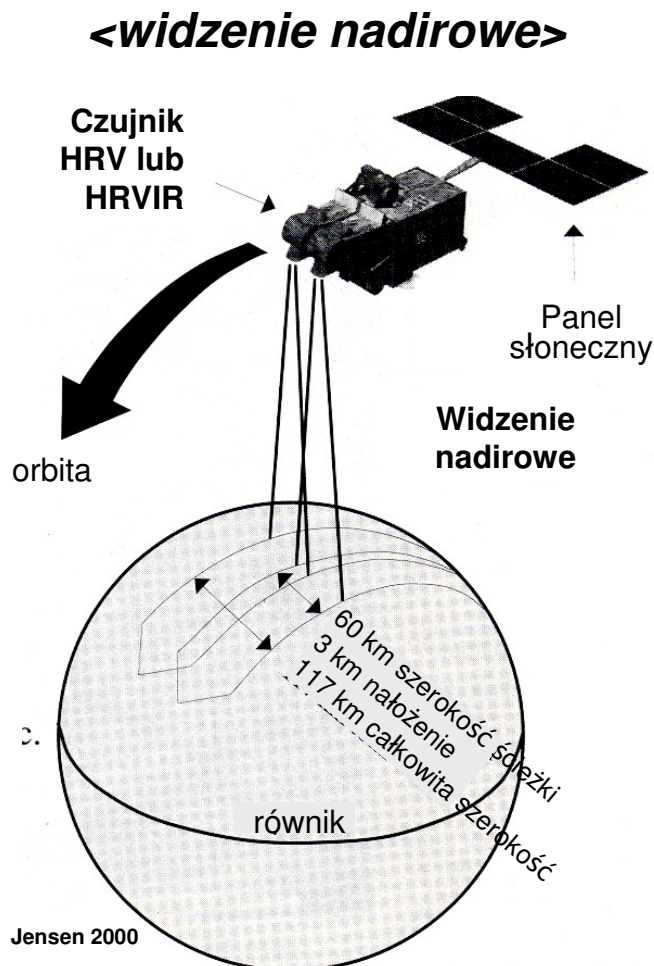
	SPOT-7	SPOT-1
Data wystrzelenia:	1986	
2014?		
Wysokość orbity:	822 km	
694 km		
Prędkość:		7.4 km/s (26,640
km/godz)		
Czas przekroczenia równika:	10:30	
10:00		
Czas obiegu:	98,79 min.	101.4 min.
Rewizyta:	26 dni (1 dzień 45°), (5 dni 30°)	
Szerokość ścieżki:	60 km x 60 km	
Rozdzielczość	Pan:	10 m
przestrzenna (nadir)	MS:	10 m
	2,2 m	
	8,8 m	

<http://www.geo-airbusds.com/en/147-spot-6-7-satellite-imagery>

TELEDETEKCJA satelitarna

Obrazowanie wielospektralne przy użyciu systemu <liniowy szereg>
Satelity serii SPOT

SPOT



Dwa wysokorozdzielcze czujniki w zakresie widzialnym (HRV) – SPOT 1, 2, & 3

Dwa wysokorozdzielcze czujniki w zakresie visible infrared (HRVIR) SPOT 4, 5, 6 i 7.

TELEDETEKCJA satelitarna

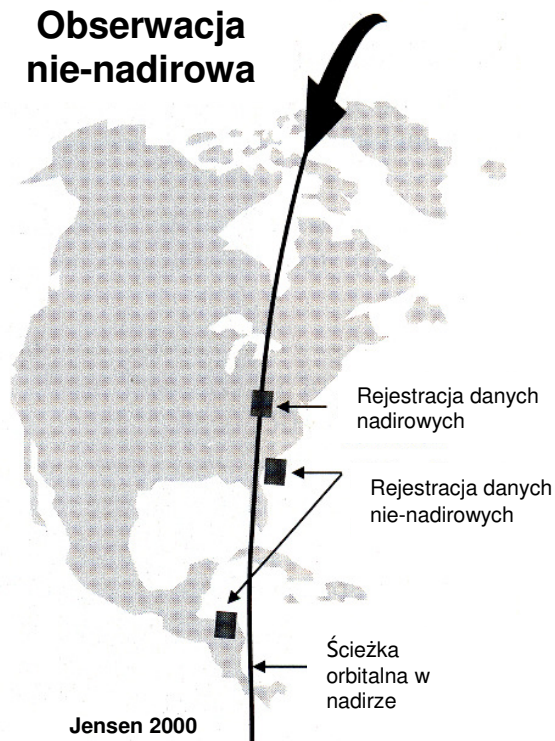
Obrazowanie wielospektralne przy użyciu systemu <liniowy szereg>
Satelity serii SPOT

SPOT

Dla obserwacji nadirowych czas rewizyty wynosi 26 dni.

Przy skośnym widzeniu czas rewizyty skraca się do 1-4 (czasem 5) dni.

Obserwacja nie-nadirowa



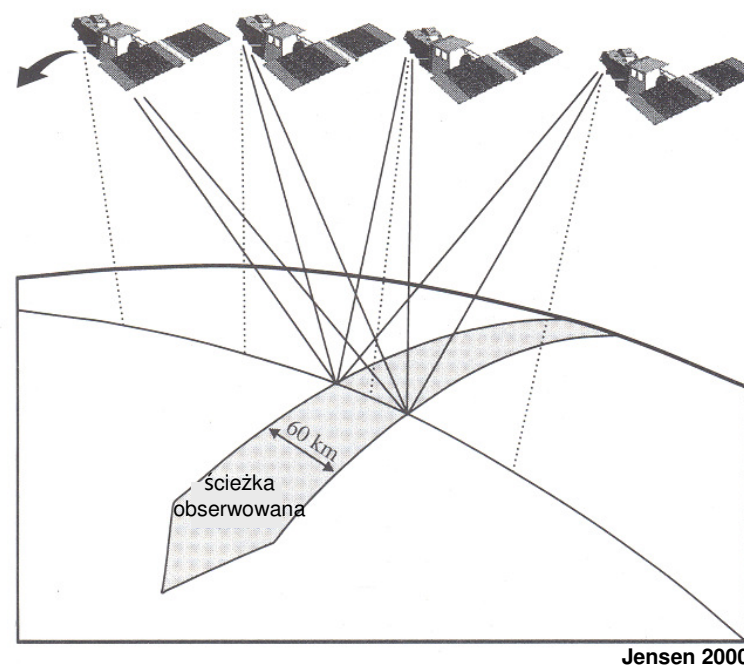
Częstotliwość rewizyty satelity SPOT dla obserwacji nie-nadirowych

Jeden przełot w dniach: D+10

D+5

D

D-5

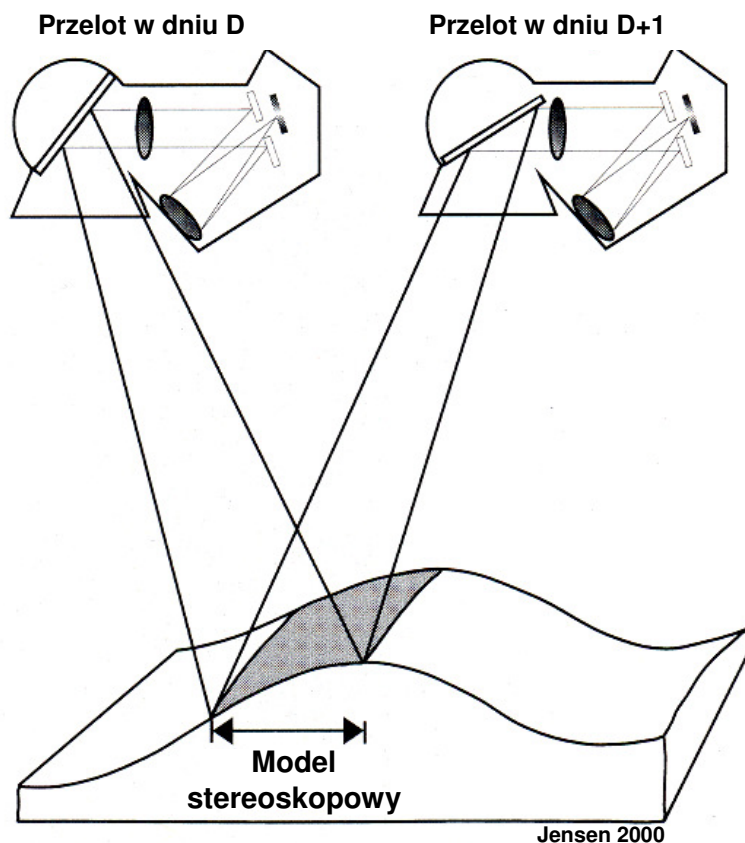


TELEDETEKCJA satelitarna

Obrazowanie wielospektralne przy użyciu systemu <liniowy szereg>
Satelity serii SPOT

SPOT

Możliwości obserwacji stereoskopowej



Jensen 2000

Stosunek między bazą obserwacji (odległość między dwoma pozycjami satelity) i wysokością na jakiej znajduje się satelita wynosi około 0,75 na równiku i 0,50 na szerokości geograficznej 45°.

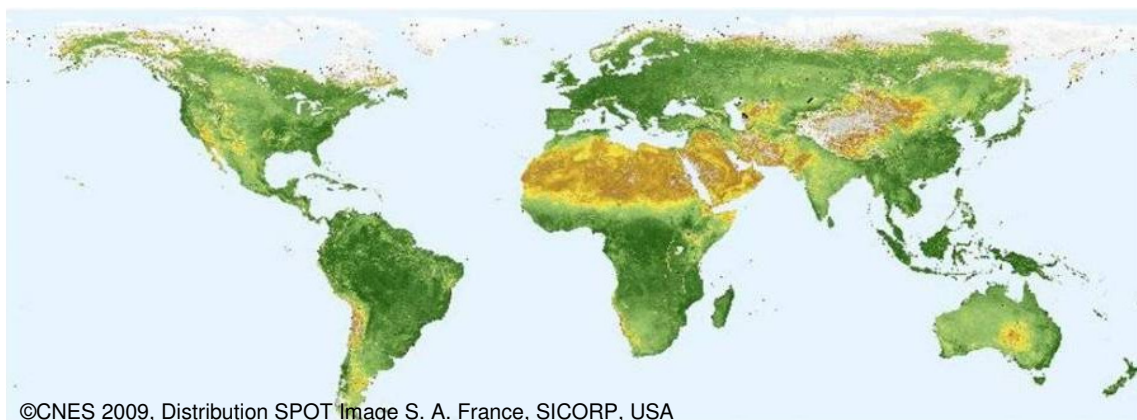
TELEDETEKCJA satelitarna

Obrazowanie wielospektralne przy użyciu systemu <liniowy szereg>

Satelity serii SPOT

Globalny, 10-dniowy, syntetyczny obraz z czujników
satelitów SPOT 4 i 5 Vegetation 1 i 2

Mapa rozkładu 10-dniowego NDVI na podstawie danych ze SPOT Vegetation, maj 2009

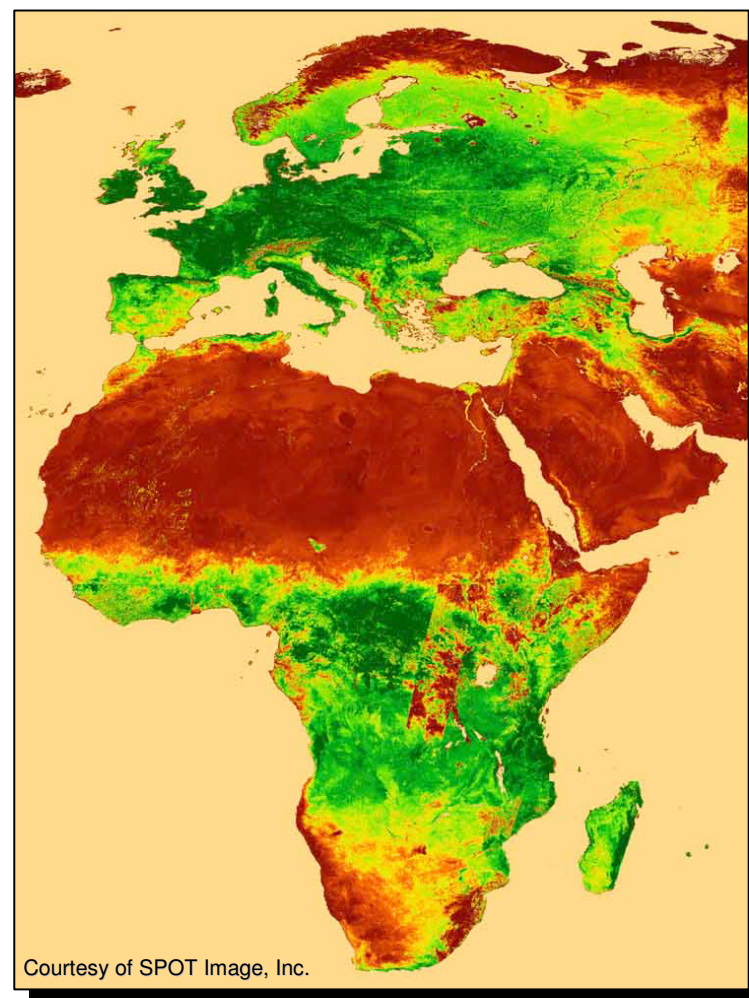


Czujnik SPOT Vegetation

Produkt: Globalna kompozycja obrazów NDVI 1 lub 10 dniowych

$$\text{NDVI} = (\text{kanał3} - \text{kanał2}) / (\text{kanał3} + \text{kanał2})$$

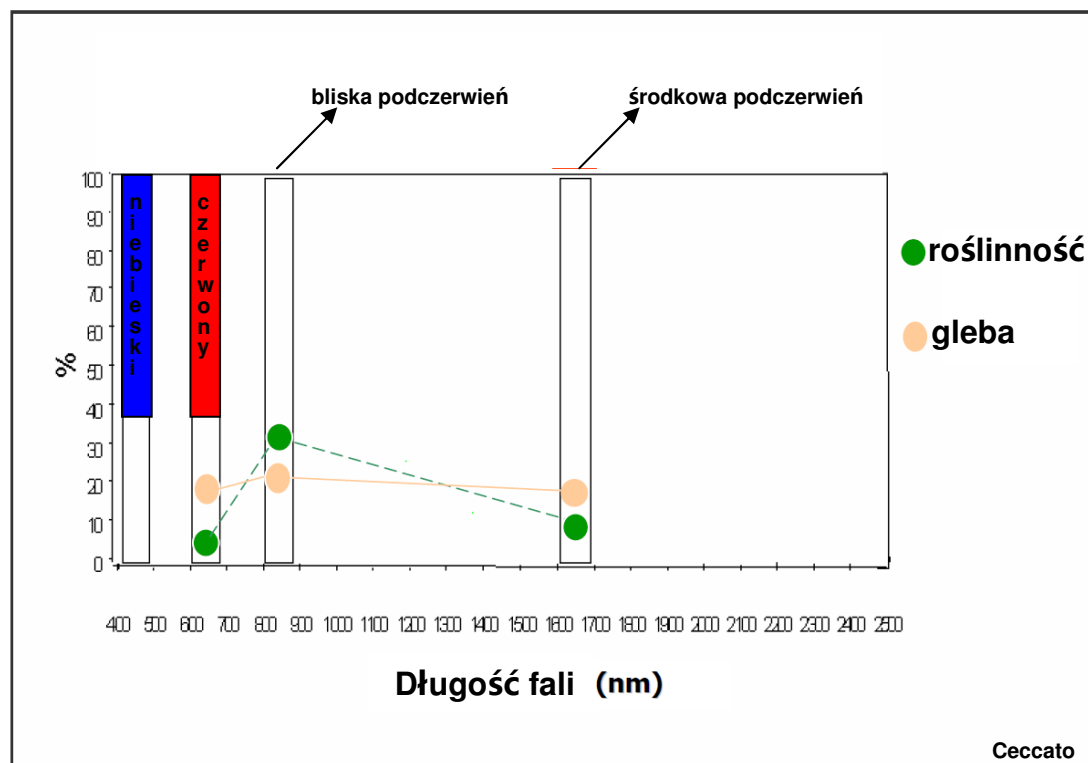
Kanał	Rozdzielczość	Dł. fali μm	Zakres
0	1.15km	0.43-0.47	niebieski
2	1.15km	0.61-0.68	czerwony
3	1.15km	0.78-0.89	bliska podczerwień
SWIR	1.15km	1.58-1.75	środkowa podczerwień



TELEDETEKCJA satelitarna

Obrazowanie wielospektralne przy użyciu systemu <liniowy szereg>
Satelity serii SPOT

$$NDVI = (kanał3 - kanał2) / (kanał3 + kanał2)$$



NDVI powierzchni roślinnych:

0.40 – 0.80

NDVI powierzchni gleb:

0.20 – 0.40

Lokalizacja czterech kanałów spektralnych czujnika SPOT-VEGETATION w zakresie widma elektromagnetycznego.

TELEDETEKCJA satelitarna

Obrazowanie wielospektralne przy użyciu systemu <liniowy szereg>

System Obserwacji Ziemi (EOS-Earth Observing System)

Obecnie realizowane są 22 misje.

Czujniki satelity Terra (od 1999):

ASTER - Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

CERES - Clouds and the Earth's Radiant Energy System

MISR - Multi-angle Imaging Spectroradiometer

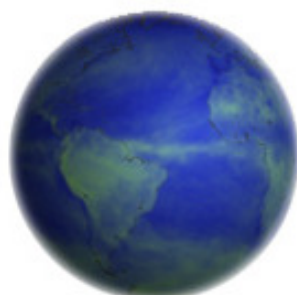
MODIS - Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer

MOPITT - Measurement of Pollution in the Troposphere

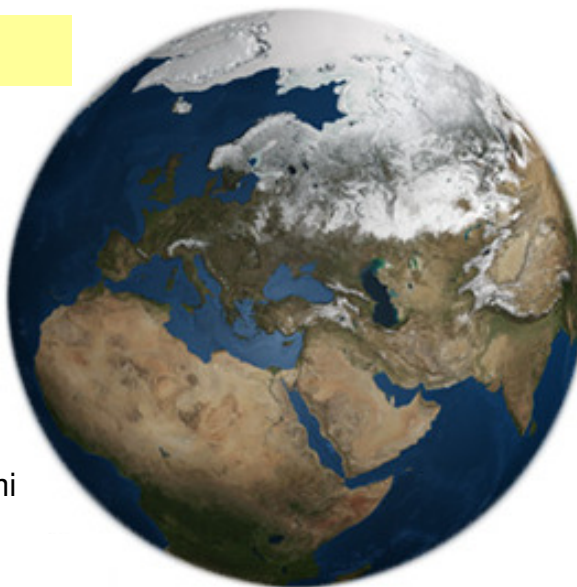
Przykłady zobrazowań czujników:



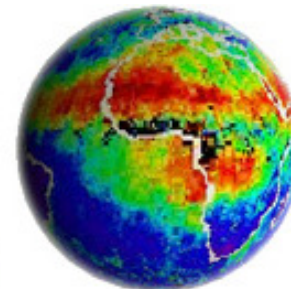
ASTER
obserwacja lądów



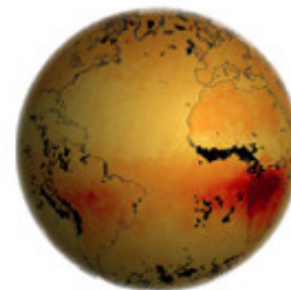
CERES
bilans energetyczny Ziemi



MODIS – roślinność, śnieg i lód



MISR
aerozole



MOPITT
tlenek węgla

TELEDETEKCJA satelitarna

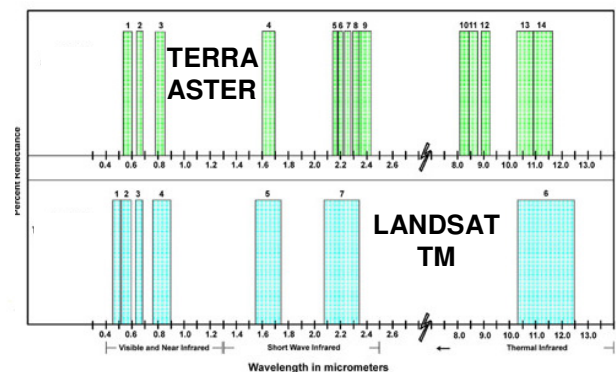
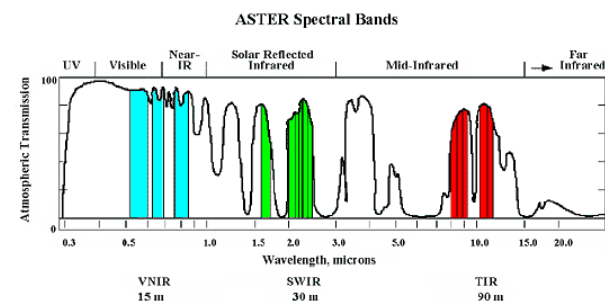
Obrazowanie wielospektralne przy użyciu systemu <liniowy szereg>

Satelita: TERRA (EOS – Earth Observation System)

Czujnik: ASTER - Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

ASTER

VNIR		SWIR		TIR	
Kanał	Rozdzielczość spektralna (μm)	Kanał	Rozdzielczość spektralna (μm)	Kanał	Rozdzielczość spektralna (μm)
1 (nadir)	0.52 – 0.60	4	1.600 – 1.700	10	8.125 – 8.475
2 (nadir)	0.63 – 0.69	5	2.145 – 2.185	11	8.475 – 8.825
3 (nadir)	0.76 – 0.86	6	2.185 – 2.225	12	8.925 – 9.275
3 (wsteczny)	0.76 – 0.86	7	2.235 – 2.285	13	10.25 – 10.95
		8	2.295 – 2.365	14	10.95 – 11.65
		9	2.360 – 2.430		
Rodzaj czujnika:	pushbroom Si	pushbroom PtSi:Si		whiskbroom Hg:Cd:Te	
Rozdzielczość przestrzenna (m)	15 x 15	30 x 30		90 x 90	
Szerokość ścieżki	60 km	60 km		60 km	
Kwantyzacja	8 bits	8 bits		8 bits	

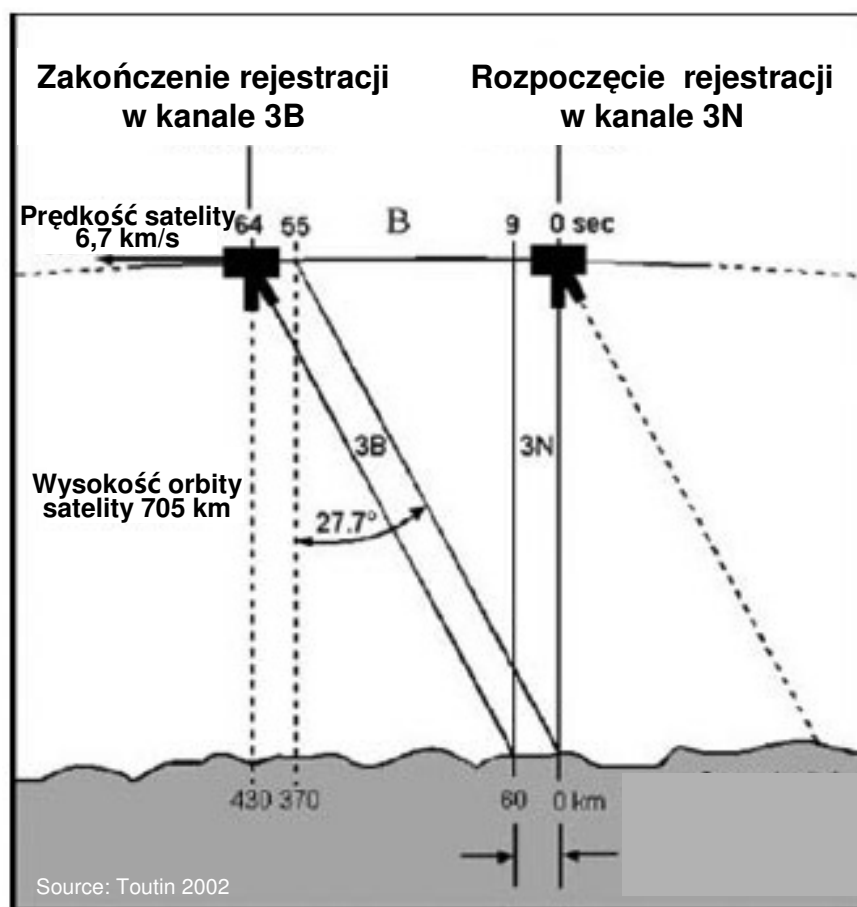


TELEDETEKCJA satelitarna

Satelita: TERRA

Czujnik: ASTER - Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

Tryb rejestracji danych <wzdłuż ścieżki przelotu>



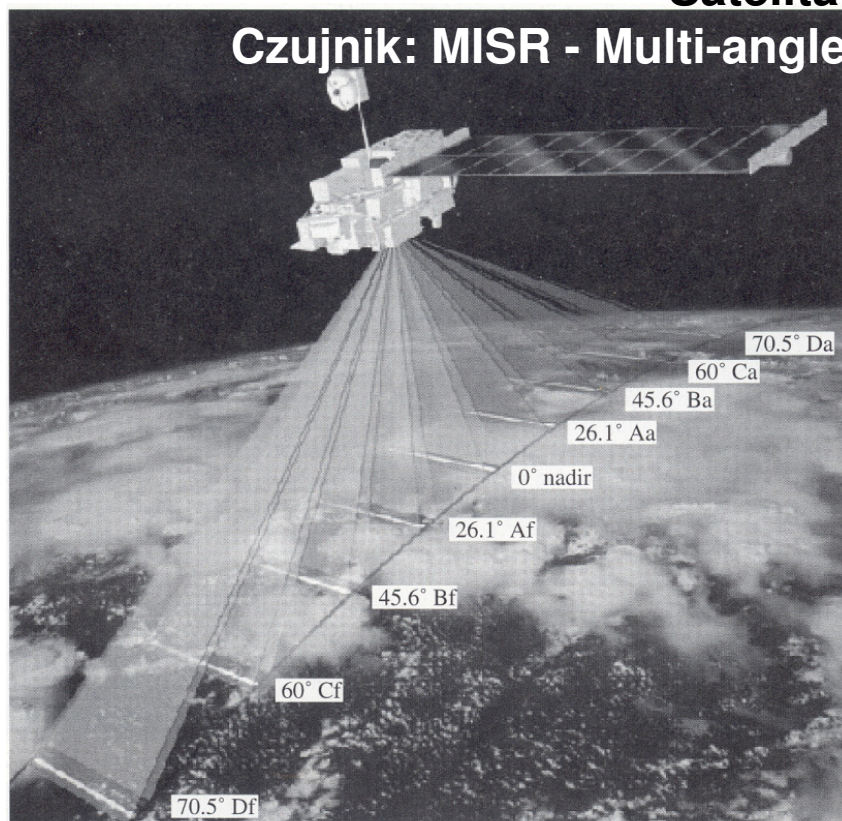
ASTER konfiguracja <stereo>

TELEDETEKCJA satelitarna

Obrazowanie wielospektralne przy użyciu systemu <liniowy szereg>

Satelita: TERRA

Czujnik: MISR - Multi-angle Imaging Spectroradiometer



Tryb rejestracji danych: <wzdłuż ścieżki przelotu>.

Duże kąty widzenia czujnika - umożliwiają lepszą obserwację wpływu aerozoli i odbicia od chmur.

Średnie kąty widzenia czujnika – są wykorzystywane do obserwacji powierzchni lądów.

Czujniki:	Df	Cf	Bf	Af	An	Aa	Ba	Ca	Da
Kąty widzenia:	70.5°	60°	45.6°	26.1°	0°	26.1°	45.6°	60°	70.5°
425 – 467 nm									
543 – 571 nm									
660 – 682 nm									
846 – 886 nm									
	275 x 275 m	1.1 x 1.1 km	275 m x 1.1 km						

Jensen 2000

TELEDETEKCJA satelitarna

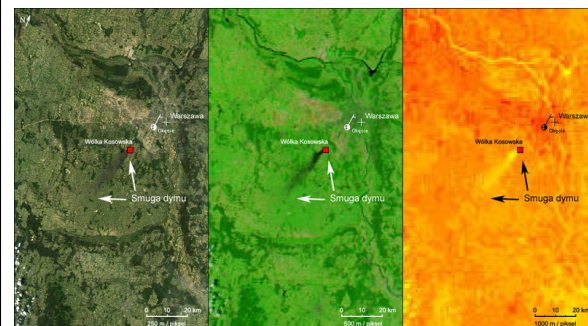
Obrazowanie wielospektralne przy użyciu systemu <liniowy szereg>

Satelita: TERRA

Czujnik: MODIS - Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer

Kanał	Rozdzielczość spektralna (μm)	Rozdzielczość przestrzenna	Podstawowe wykorzystanie
1	0.620–0.670	250 x 250 m	Klasyfikacja pokrycia terenu, absorpcja przez chlorofil
2	0.841–0.876	250 x 250 m	
3	0.459–0.479	500 x 500 m	Badanie właściwości lądów, chmur i aerozoli
4	0.545–0.565	500 x 500 m	
5	1.230–1.250	500 x 500 m	
6	1.628–1.652	500 x 500 m	
7	2.105–2.155	500 x 500 m	
8	0.405–0.420	1 x 1 km	Kolor oceanów, fitoplankton, biogeochemia
9	0.438–0.448	1 x 1 km	
10	0.483–0.493	1 x 1 km	
11	0.526–0.536	1 x 1 km	
12	0.546–0.556	1 x 1 km	
13	0.662–0.672	1 x 1 km	
14	0.673–0.683	1 x 1 km	
15	0.743–0.753	1 x 1 km	
16	0.862–0.877	1 x 1 km	
17	0.890–0.920	1 x 1 km	Para wodna w atmosferze
18	0.931–0.941	1 x 1 km	
19	0.915–0.965	1 x 1 km	
20	3.600–3.840	1 x 1 km	Temperatura powierzchni chmur
21	3.929–3.989	1 x 1 km	
22	3.929–3.989	1 x 1 km	
23	4.020–4.080	1 x 1 km	
24	4.433–4.498	1 x 1 km	Temperatura atmosfery
25	4.482–4.549	1 x 1 km	
26	1.360–1.390	1 x 1 km	Chmury typu <i>cirrus</i>
27	6.535–6.895	1 x 1 km	Para wodna
28	7.175–7.475	1 x 1 km	
29	8.400–8.700	1 x 1 km	
30	9.580–9.880	1 x 1 km	Ozon
31	10.780–11.280	1 x 1 km	Temperatura powierzchni chmur
32	11.770–12.270	1 x 1 km	
33	13.185–13.485	1 x 1 km	Wysokość chmur
34	13.485–13.785	1 x 1 km	
35	13.785–14.085	1 x 1 km	
36	14.085–14.385	1 x 1 km	

Dzięki dużemu polu widzenia (110°) możliwe jest uzyskanie danych dla całej planety dwa razy na dobę.



Wielospektralna obserwacja pożaru w Włoczek Kosowski (10 maja 2011) wykonana sensorem MODIS/Aqua

<http://qz.com/317784>

TELEDETEKCJA satelitarna

Obrazowanie wielospektralne przy użyciu systemu <liniowy szereg>

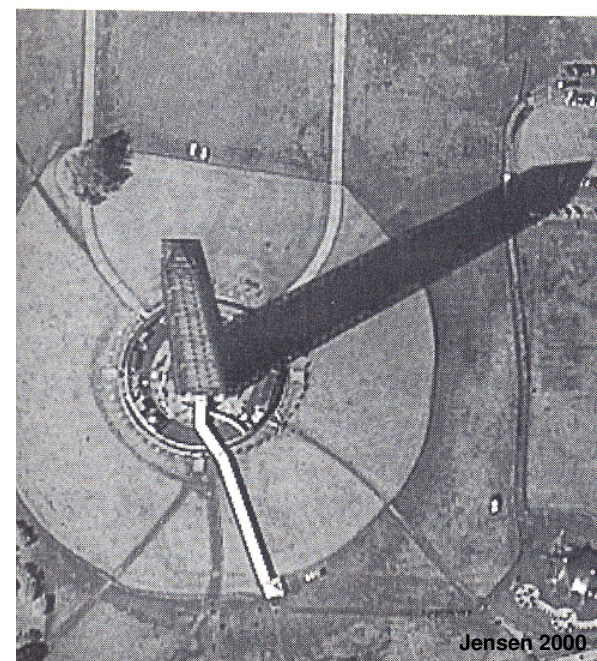
Czujniki typu <liniowy szereg> o bardzo dużej rozdzielczości przestrzennej

Space Imaging, Inc.			ORBIMAGE, Inc.			EarthWatch, Inc.		
IKONOS			OrbView-3			Quickbird		
Kanał	Rozdzielczość spektralna (μm)	Rozdzielczość przestrzenna w nadirze (m)	Kanał	Rozdzielczość spektralna (μm)	Rozdzielczość przestrzenna w nadirze (m)	Kanał	Rozdzielczość spektralna (μm)	Rozdzielczość przestrzenna w nadirze (m)
1	0.445 – 0.516	3,2 x 3,2	1	0.45 – 0.52	4 x 4	1	0.45 – 0.52	2.4 x 2.4
2	0.506 – 0.595	3,2 x 3,2	2	0.52 – 0.60	4 x 4	2	0.52 – 0.60	2.4 x 2.4
3	0.632 – 0.698	3,2 x 3,2	3	0.625 – 0.695	4 x 4	3	0.63 – 0.69	2.4 x 2.4
4	0.757 – 0.853	3,2 x 3,2	4	0.76 – 0.90	4 x 4	4	0.76 – 0.890	2.4 x 2.4
Pan	0.450 – 0.900	0.82 x 0.82	Pan	0.45 – 0.90	1 x 1	Pan	0.45 – 0.90	0.6 x 0.7
Czujnik Typu: liniowy szereg pushbroom			Typu: liniowy szereg pushbroom			Typu: liniowy szereg pushbroom		
Szerokość ścieżki		11 km			8 km			16.5 km
Transmisja		25 Mb/s			50 Mb/s			50 Mb/s
Rewizyta		< 3 days			< 3 days			1 to 5 days depending on latitude
Orbita		681 km, synchroniczna ze Słońcem Przekroczenie równika o godz. 10-11			470 km, synchroniczna ze Słońcem Przekroczenie równika o godz. 10:30			450 km, synchroniczna ze Słońcem Przekroczenie równika o różnych godz
Start		wrzesień 1999			2000			2000
Max. kąt widzenia		do 45 °			do 50 °			do 30 °
Lockheed Martin Corp. GeoEye			ORBIMAGE GeoEye			DigitalGlobe		

TELEDETEKCJA satelitarna

Obrazowanie wielospektralne przy użyciu systemu <liniowy szereg>

Czujniki typu <liniowy szereg> o bardzo dużej rozdzielczości przestrzennej



Washington monument

Space Imaging, Inc., IKONOS 1 x 1 m obraz panchromatyczny
centrum Waszyngtonu, DC.

TELEDETEKCJA satelitarna

Obrazowanie wielospektralne przy użyciu systemu <liniowy szereg>

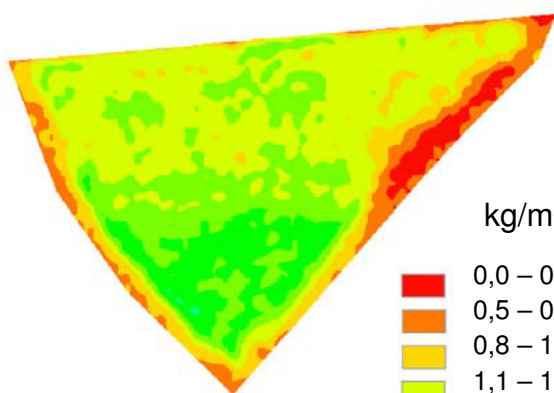
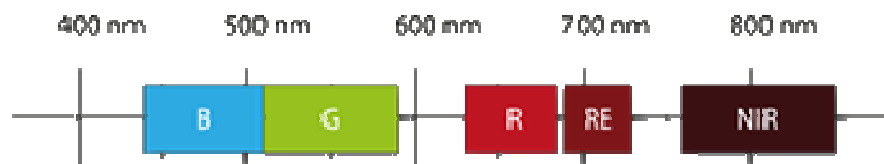
RapidEye – komercyjny system satelitarny

Umieszczenie na orbicie: sierpień 2008 r.

Konstelacja 5 satelitów

Zakresy spektralne:

Blue:	440 – 510 nm
Green:	520 – 590 nm
Red:	630 – 685 nm
Red Edge:	690 – 730 nm
NIR:	760 – 850 nm



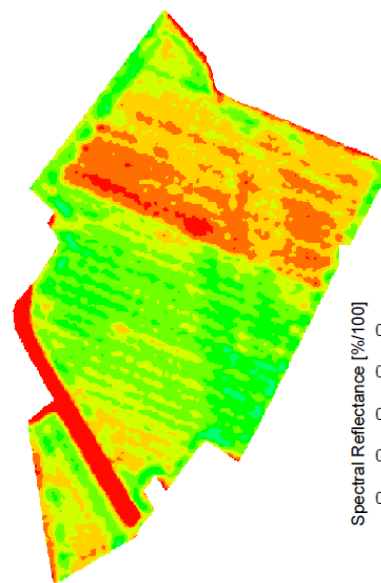
Rozdzielczość
przestrzenna: 5 m

kg/m²



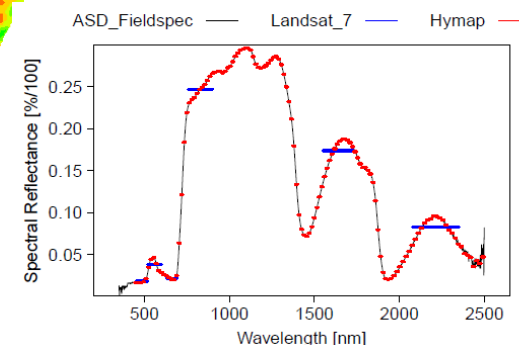
0 30 60 90 120 150 m

Rozkład przestrzenny biomasy w
uprawie rzepaku (Północna Francja,
druga połowa lutego 2009)



Rozkład przestrzenny
chlorofilu w uprawie
pszenicy (Północna Francja,
Maj 2009)

0 30 60 90 120 150 m



TELEDETEKCJA satelitarna

Obrazowanie hiperspektralne

Satelita: Earth Observing (EO-1) NASA, **Czujnik hiperspektralny:** HYPERION

Hyperion:

Rejestruje obrazy hiperspektralne Ziemi z rozdzielczością przestrzenną Landsata (30 m) i rozdzielczością spektralną czujnika lotniczego AVIRIS (10 nm) w całym zakresie optycznym odpowiadającym zakresowi Landsata.

Umożliwia dokładne kartowanie i charakterystykę rozkładu temperatur aktywnej lawy wulkanicznej i ognisk pożarów leśnych.

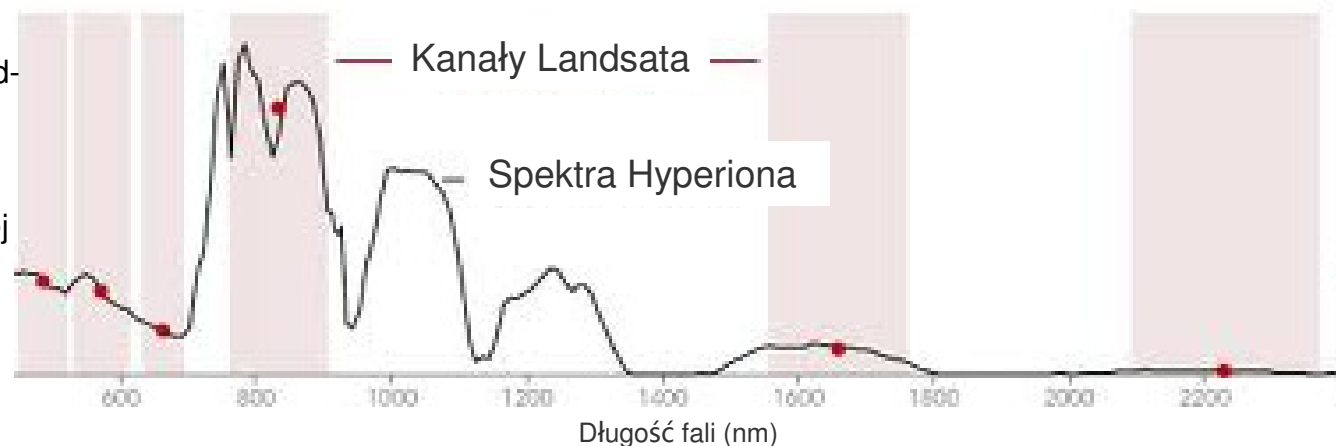
Ułatwia śledzenie regeneracji częściowo wyciętych lasów amazońskich i szacowanie wpływu suszy.

Umożliwiają identyfikację i kartowanie gatunków roślin (w tym gatunków inwazyjnych), zawartość azotu i składników mineralnych w roślinach.

Pomaga w kartowaniu z dużą dokładnością podatności różnych powierzchni na pożary (gleba, sucha trawa).

Ułatwia oddzielenie biomasy zielonej od obumarłej i od tła glebowego.

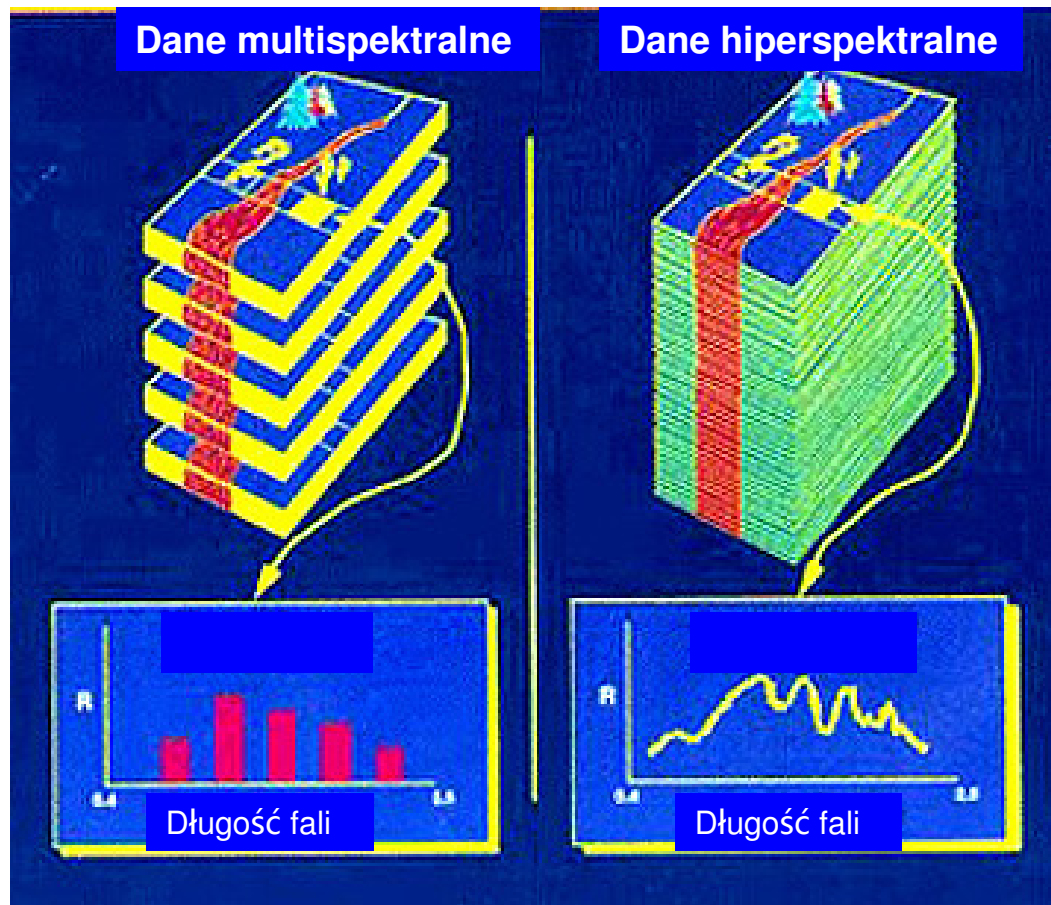
Parametry	
Zakres spektralny	400 – 2400 nm
Rozdzielczość przestrzenna	30 m
Szerokość ścieżki	7.6 km
Rozdzielczość spektralna	10 nm
Liczba kanałów	220



TELEDETEKCJA satelitarna

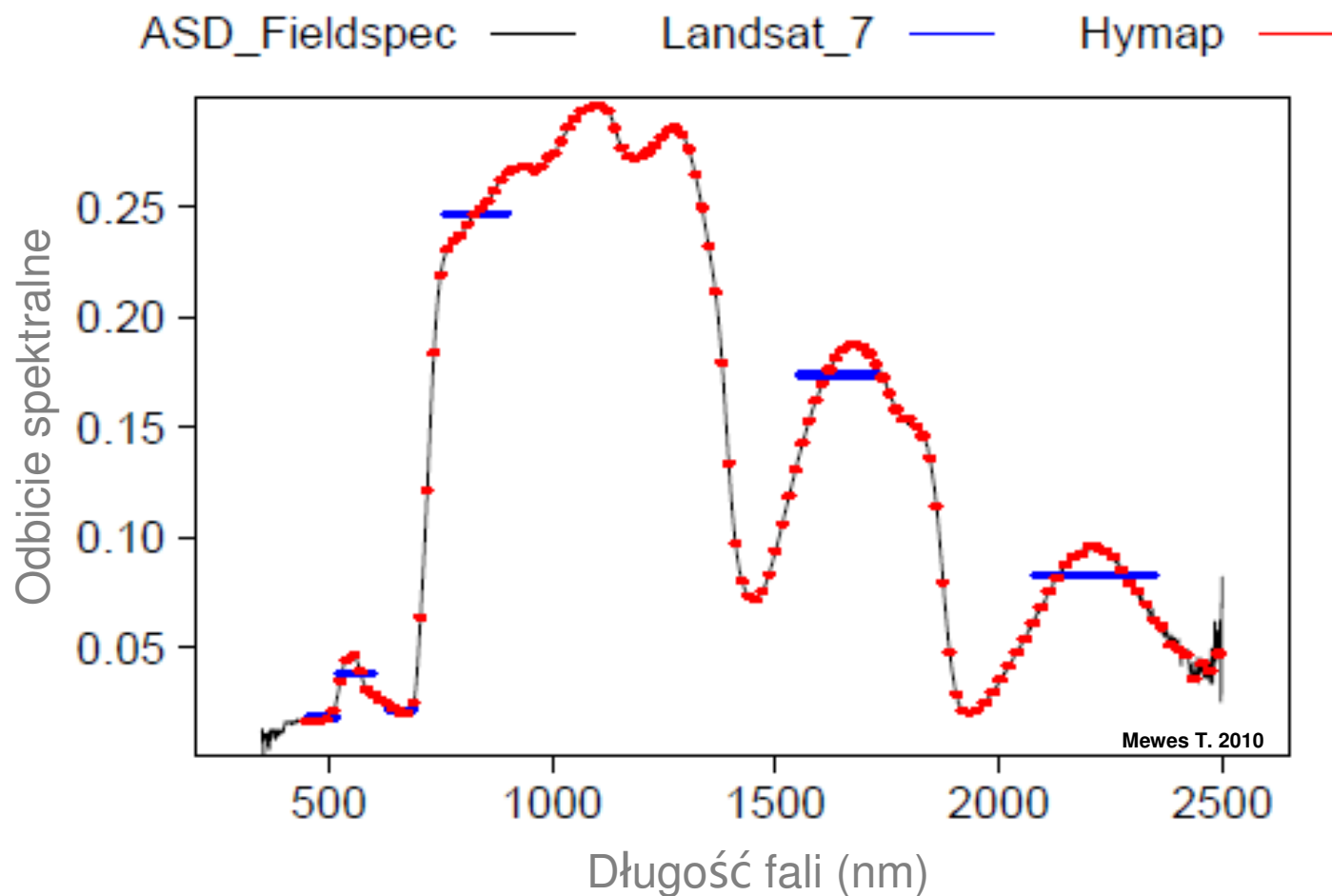
Obrazowanie hiperspektralne

- Rozdzielczość spektralna



TELEDETEKCJA satelitarna

Obrazowanie hiperspektralne



Porównanie rozdzielczości spektralnej trzech różnych czujników na przykładzie typowej krzywej odbicia od roślinności

TELEDETEKCJA lotnicza

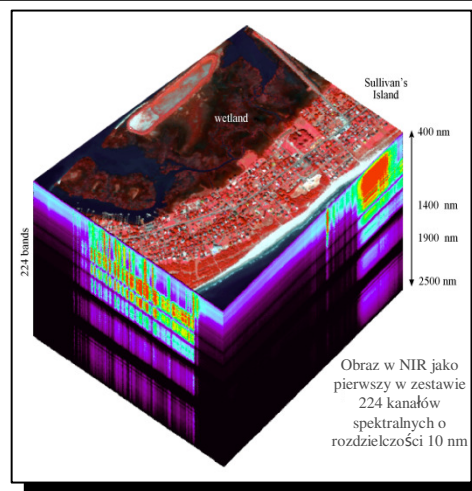
Obrazowanie hiperspektralne – area arrays

Compact Airborne Spectrographic Imager-2 (CASI-2)

Airborne Visible Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS)

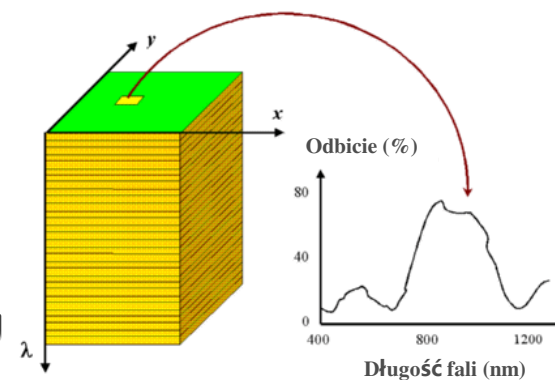
Czujnik	Typ	Zakres spektralny (nm)	Rozdzielczość spektralna (nm)	Liczba kanałów
CASI-2	Area array CCD (512 x 288)	400 – 1000	1.9	288
AVIRIS	Whiskbroom linear array	400 – 2500	10	224

NASA/ARC ER-2 aircraft



Airborne Visible Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS)

← Dane hiperspektralne



TELEDETEKCJA satelitarna

Obrazowanie hiperspektralne

Planowane misje z wykorzystaniem czujników hiperspektralnych

Mission	HISUI		HyspIRI		EnMAP
Sensortype	<i>Hyperspectral</i>	<i>Multispectral</i>	<i>Hyperspectral</i>	<i>TIR</i>	<i>Hyperspectral</i>
Country and Organisation	Japan METI		USA JPL/NASA		Germany GFZ/DLR
Spectral range (nm)	400–2,500	450–900	400–2,500	4,000–12,000	420–2,450
GSD (m)	30	5	60	60	30
Swath at nadir (km)	30	90	145	600	30
Spectral resolution (~ nm @ FWHM)	10 VNIR, 12.5 SWIR	TBA	10 VNIR 80 SWIR	400 TIR	6 VNIR, 10 SWIR
Number of bands	185	4	>200	8	232



TELEDETEKCJA satelitarna

Kamery fotograficzne

KVR-1000

Rozdzielczość przestrzenna	2 m
Kanały	1
Zakres spektralny	580-720 nm (zdjęcie panchromatyczne)
Rozmiar zdjęcia	18 x 72 cm
Powierzchnia	40 x 160 km
Wysokość orbity	220 km
Średnia skala	1:220 000
Ogniskowa	1000 mm



Courtesy of National Point of Contact

Piramidy w Gizie

TELEDETEKCJA satelitarna, lotnicza i naziemna

Technologia	Rozdzielczość przestrzenna	Rozdzielczość spektralna	Cena
Satelitarne			
IKONOS	16 m ²	4 kanały	\$27-62 km ²
Quickbird II	6,25 m ²	4 kanały	\$30 km ²
Landsat	900 m ²	6 kanałów	\$0,0015 km ²
Hyperion	900 m ²	220 kanałów	-
Lotnicze			
Hiperspektralne	9 m ²	74 kanały	\$325 km ²
Zdjęcia kolorowe	1 m ²	3 kanały	\$175 km ²