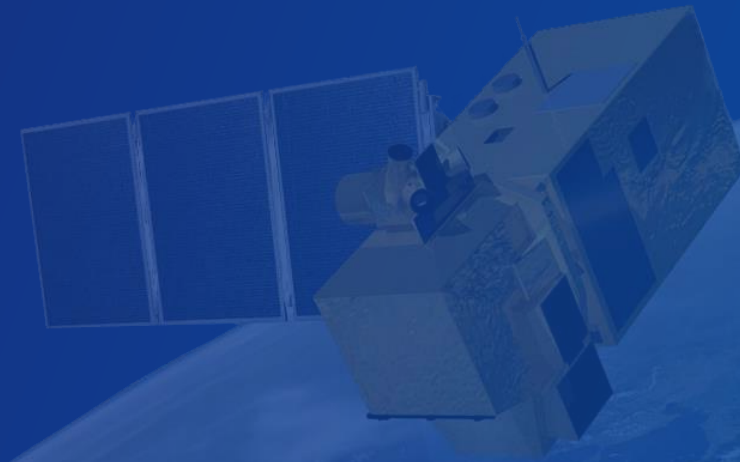


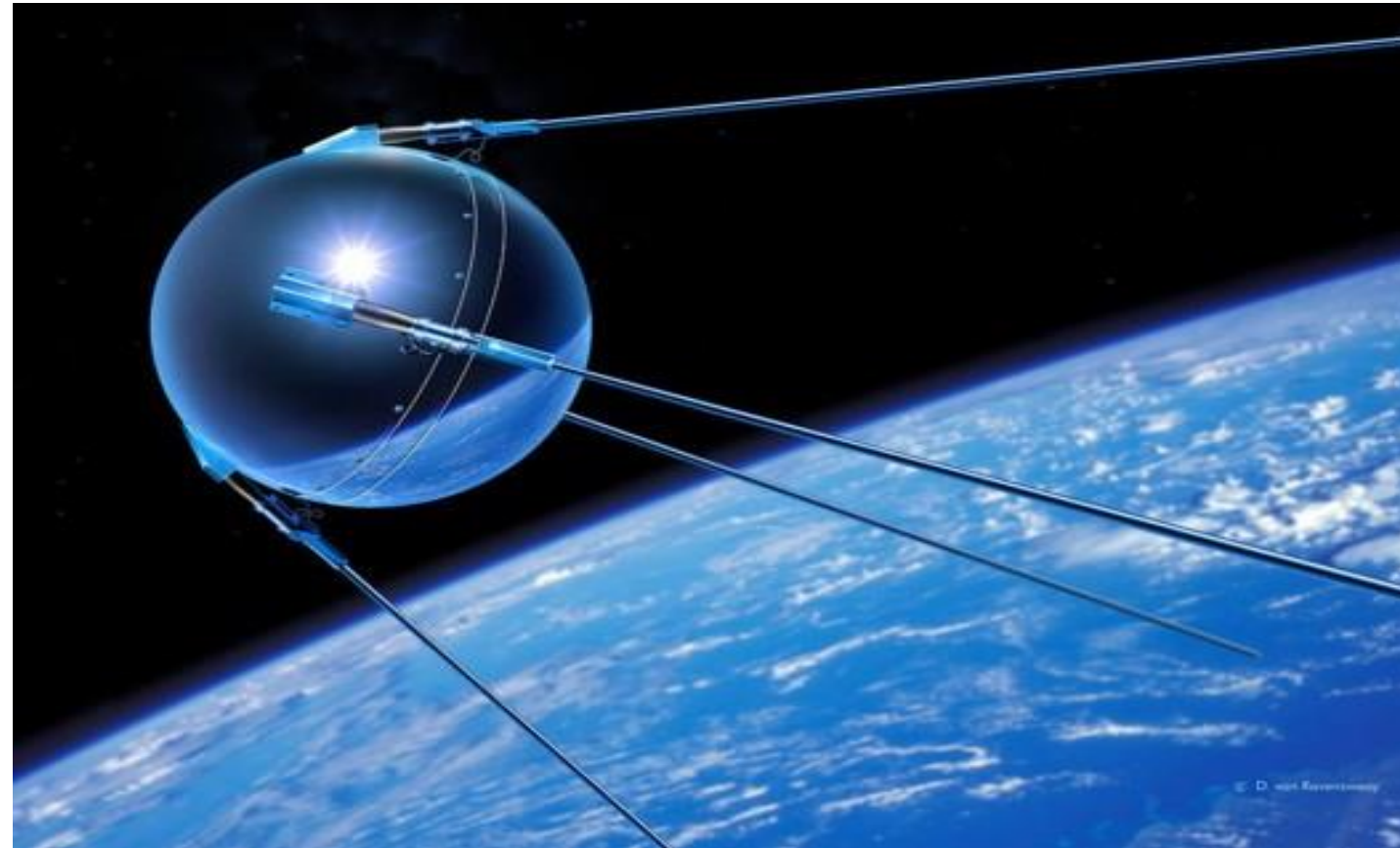
Wprowadzenie do danych satelitarnych

dr hab. inż. Piotr Wężyk, prof. URK
CEO ProGea 4D

dr inż. Urszula Cisto-Lesicka
ProGea 4D



- Pierwszy sztuczny satelita Ziemi: „Sputnik” (ros. „Towarzysz podróży”, ZSRR 1957).
- Charakterystyka misji Sputnika:
 - masa 83 kg, średnica 58 cm,
 - rakieta nośna: R7 / 8K71PS,
 - start: kosmodrom Bajkonur (LC1),
 - parametry orbity: 214 x 938 km,
 - czas trwania misji: 04.10.1957 - 25.10.1957 (92 doby),
 - wejście w atmosferę: 04.01.1958 r. po 1367 okrążeniach Ziemi,
 - dwa nadajniki radiowe (1 Wat):
 - 20 005 MHz (15 m),
 - 40 002 MHz (7,5 m),
 - 4 anteny o długości 2,4 ÷ 2,9 m,
 - pierwsze badania propagacji fal radiowych przez jonosferę.

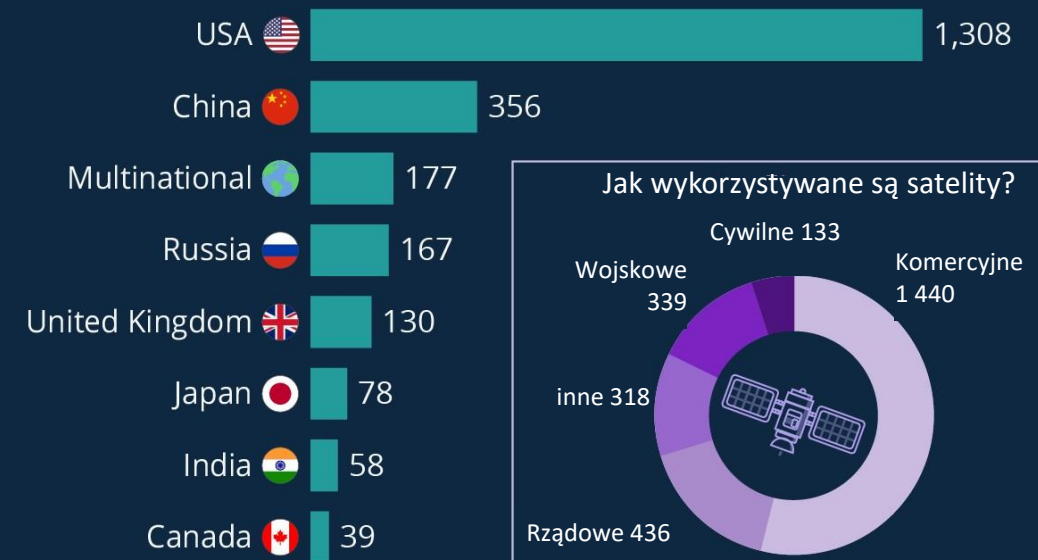


Źródło: Wężyk, 2019; Wikipedia 2020, ESA, 2021

- Trwa od lat 60-tych XX wieku.
- Szacuje się, że od roku 1957 na orbitach okołoziemskich zostało umieszczonych 12.170 satelitów (ESA, 09.11.2021).
- Obecnie na orbicie ziemskiej znajduje się 7.630 satelitów, z czego > 4.800 satelitów jest aktywnych (ESA, 09.11.2021).
- W 2020 roku na orbicie Ziemi umieszczono 1.283 satelitów (rekordowy rok, +28%), a do IV.2021 roku: 850 satelitów (+66% w stosunku do 2020 r.; United Nations Office for Outer Space Affairs, V.2021)
- Najwięcej satelitów posiadają: USA, Chiny i Rosja.
- Największe konstelacje:
 - 2019 rok – Planet Labs. aktywnych >140 satelitów EO,
 - 2021 rok – SpaceX (Elon Musk) – StarLink globalny Internet; 1.600 szt. 13.11.2021 (docelowo 42 tys. nanosatelitów).
- Obserwacje Ziemi (Earth Observation): 906 satelitów (12.2020)
- Europejska Agencja Kosmiczna (ESA) > 40 satelitów EO.

Kraje z największą liczbą satelitów w przestrzeni kosmicznej

Satelity na orbicie Ziemi wg kraju (I.2020)



* Country of operator/owner

Source: Union of Concerned Scientist Satellite Database

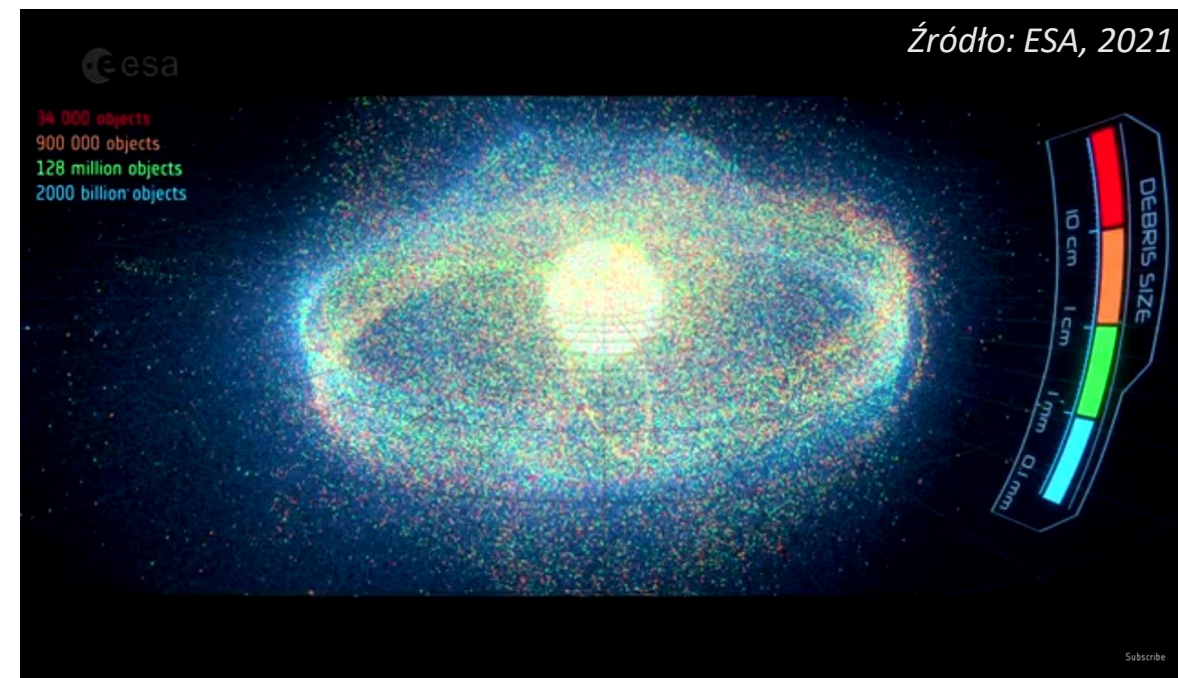
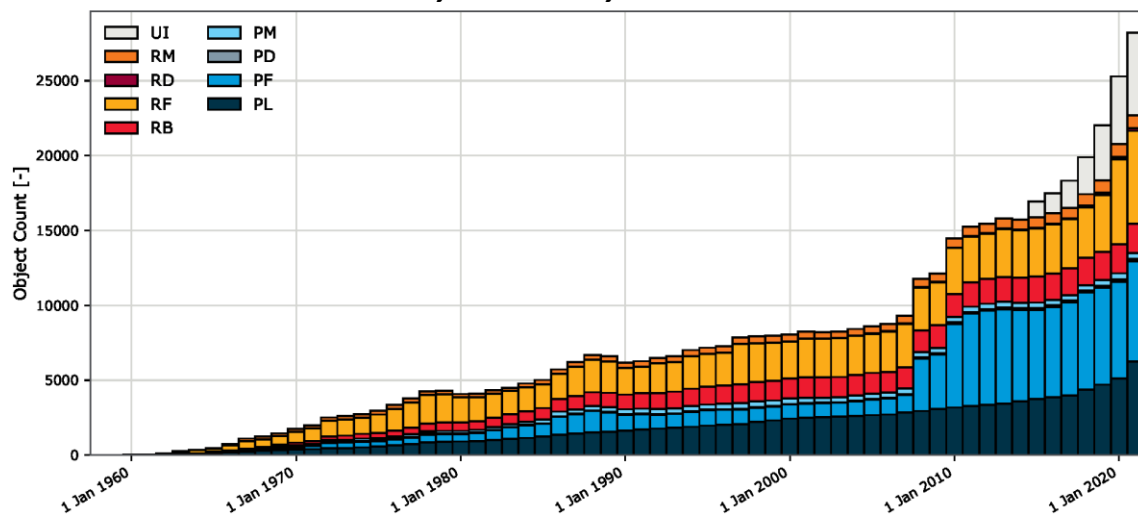


statista

Źródło: Statista, 2020

- Historycznie > 6.000 startów rakiet.
- Na orbicie „śmietnikowej” Ziemi znajduje się miliony fragmentów (ang. *debris*): rakiet nośnych, części, satelitów, stałego paliwa itp., pochodzących z niedziałających już satelitów (zanotowano 630 eksplozji i kolizji):
 - 36.500 obiektów > 10 cm,
 - 1.000.000 obiektów > 1 cm,
 - 330.000.000 obiektów < 1 cm.
- Całkowita masa wszystkich obiektów kosmicznych na orbicie Ziemi to ponad 9.600 ton.

Wszystkie obiekty na orbicie Ziemi



PL = Payload (“cargo”: zwykle jeden lub wiele satelitów, które rakieta wystrzeliwuje w kosmos);
 PF = Payload Fragmentation Debris; PD = Payload Debris; PM = Payload Mission Related Object;
 RB = Rocket Body; RF = Rocket Fragmentation Debris; RD = Rocket Debris;
 RM = Rocket Mission Related Object; UI = Unidentified

Satelity pełnią bardzo wiele istotnych zadań w funkcjonowaniu współczesnej cywilizacji.

Wyróżnia się satelity:

- telekomunikacyjne (radio, TV, Internet),
- nawigacyjne (GNSS),
- meteorologiczne,
- obserwacyjne,
- technologiczne,
- szpiegowskie (rozpoznawcze),
- naukowe (doświadczalne),
- demonstracyjne,
- orbitalne stacje kosmiczne,
- teleskopy kosmiczne i in.



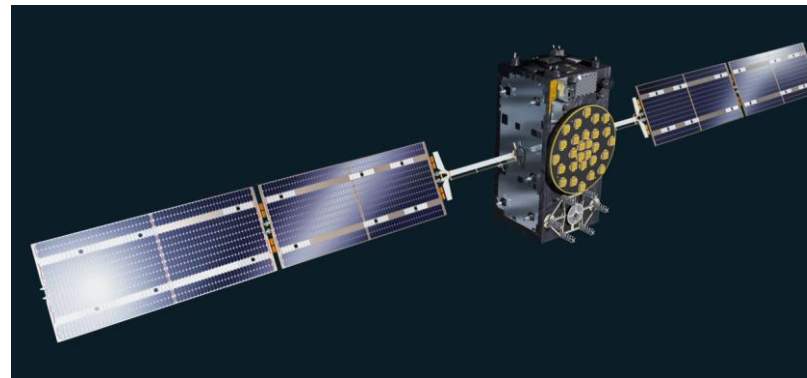
ARTEMIS ESA

Źródło: ESA - J.Huart, 2020



International
Space Station (ISS)

Źródło: NASA, 2020



Galileo GNSS

Źródło: ESA, 2020

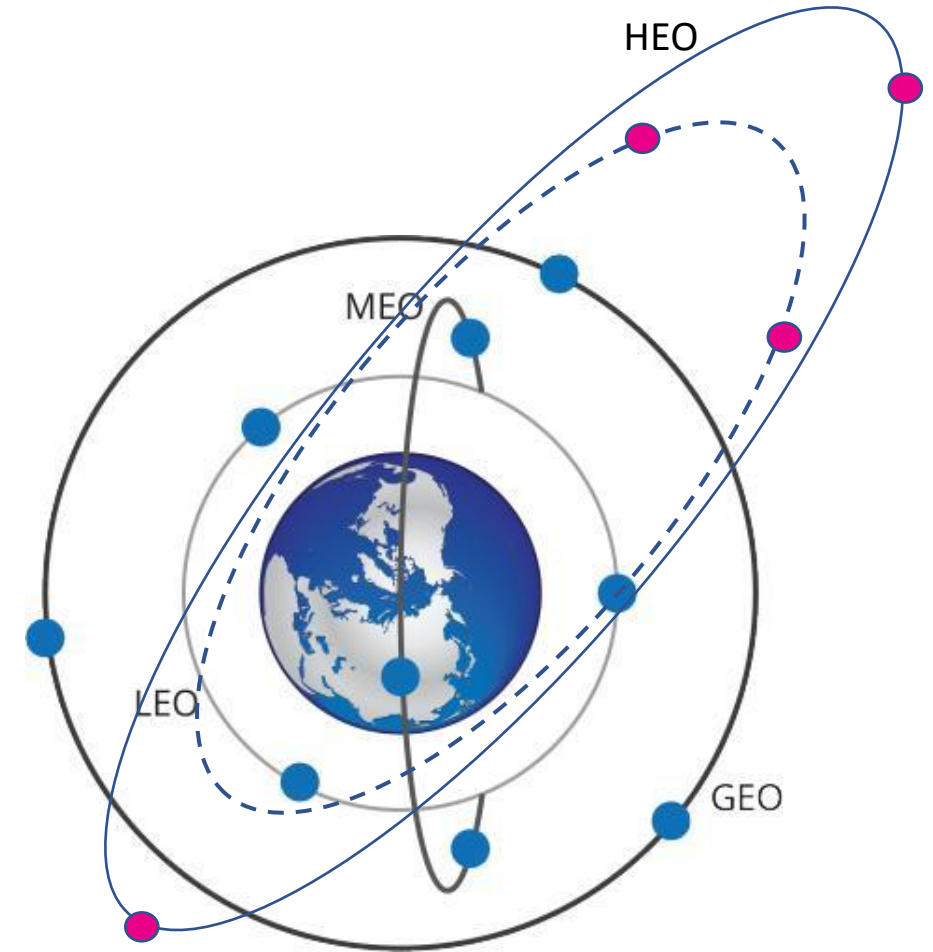


CORONA (KH-4)

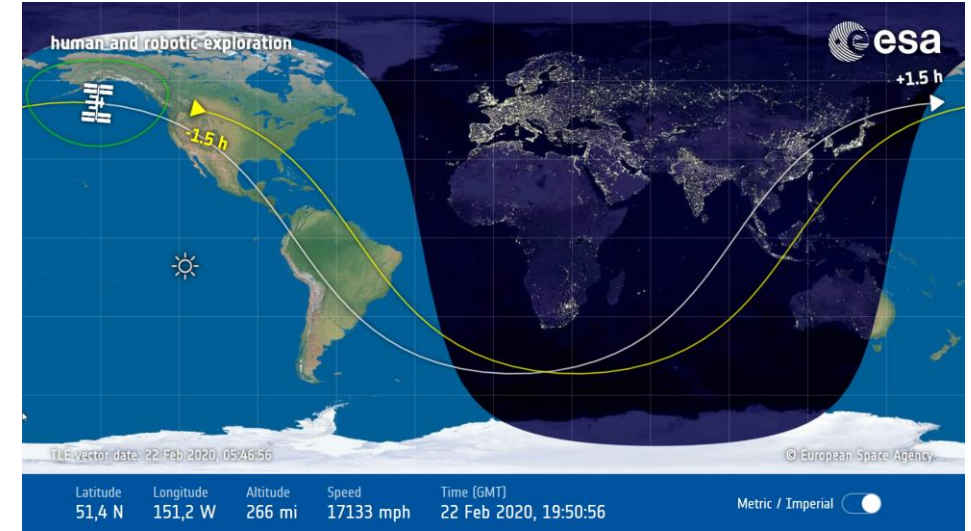
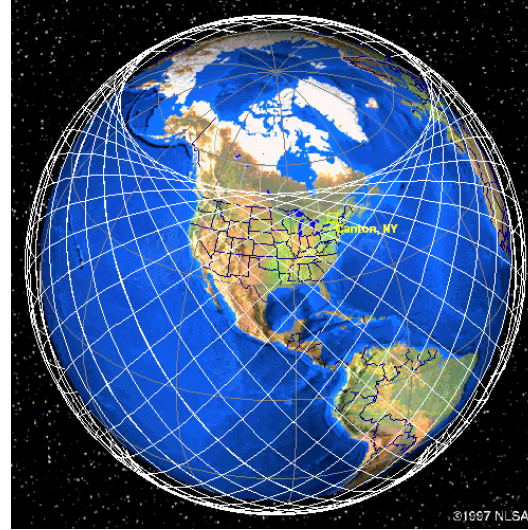
Źródło: National Reconnaissance Office, 2020

Ze względu na wysokość umieszczenia satelity nad powierzchnią Ziemi, wyróżnia się:

- niskie orbity (ang. *LEO* - *Low Earth Orbit*) – znajdują się na wysokości od 200 (500) – 2.000 km nad Ziemią; głównie satelity obserwacyjne (EO – *Earth Observation*);
- średnie orbity (ang. *MEO* - *Medium Earth Orbit*) – satelity w tej części przestrzeni (od 3.000 do 30.000 km na powierzchnią Ziemi) najczęściej wykorzystywane są w nawigacji satelitarnej (GNSS);
- orbitę geostacjonarną (ang. *GEO* - *Geostationary Earth Orbit*) – satelity na tej orbicie znajdują się w odległości 35.786 km od równika i służą przede wszystkim celom telekomunikacyjnym i obserwacyjnym (satelity meteorologiczne);
- orbity wysoko-eliptyczne (ang. *HEO* - *High Elliptical Orbits*) – satelita Tundra 24 h, 48.000 km; Molnyia 12 h);
- HAP's: High-Altitude Platform Systems (wysokość 20 ÷ 50 km) – pseudo-satelity.



Źródło: *Earth Observing System (EOS)*, 2019



- Międzynarodowa Stacja Kosmiczna (ISS – International Space Station) budowana od 1998, zamieszkała od 2000 roku.
- Orbita ISS znajduje się na wysokości około 420 km (266 mil).
- Prędkość względem Ziemi: 7,6 km/s; 27.743 km/h; liczba okrążeń globu na dobę = 15,7. Czas obiegu Ziemi: 92,6 min.
- Kilka kamer obserwacyjnych : ISERV Pathfinder (GSD 2,8 m), HDEV.



ISERV

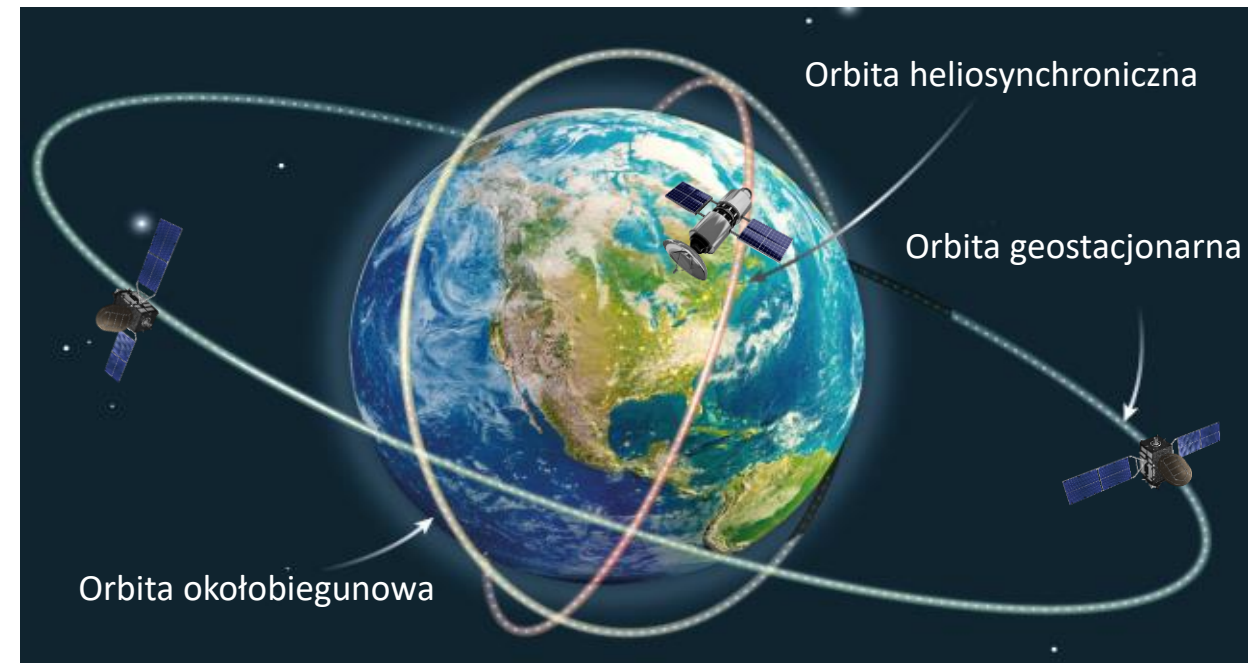


HDEV

Źródło: ESA, NASA, 2019

Główne rodzaje orbit:

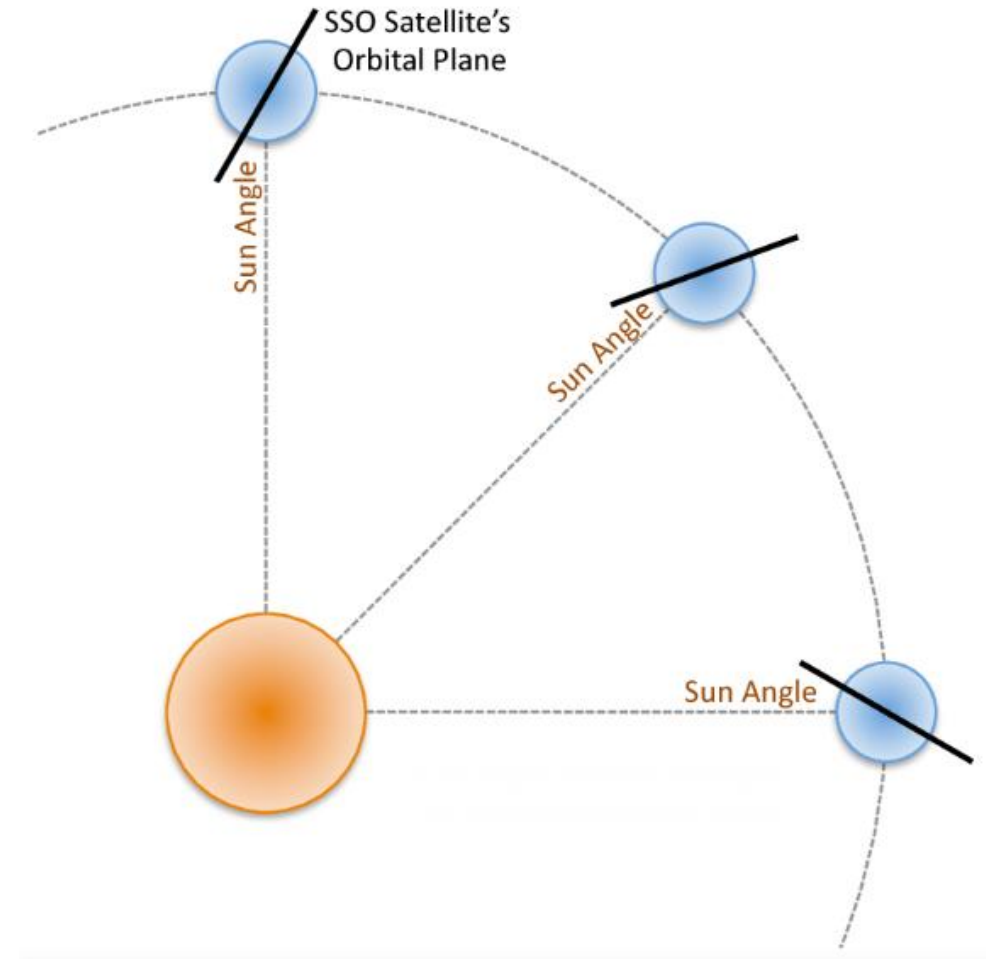
- **Orbity okołobiegunowe** lub **polarne** (ang. *polar*) – satelity ruchome względem Ziemi (w grupie *LEO* – *Low Earth Orbit*, 500 ÷ 2.000 km):
 - wysokość 200 ÷ 1.200 km nad powierzchnią Ziemi; orbity przebiegają nad biegunami lub w ich bliskim sąsiedztwie; nachylenie około 90° do płaszczyzny równika;
 - **orbity heliosynchroniczne** (ang. *sun-synchronise*): wysokość ok. 600 ÷ 800 km na powierzchnią Ziemi, synchronizowane z ruchem Ziemi wokół Słońca;
- **Orbity geostacjonarne** – satelita 35.786 km nad powierzchnią Ziemi, posiada stałą pozycję względem Ziemi (jest zawieszony prostopadle do równika).



Źródło: ESA, 2019

Orbita heliosynchroniczna

- **Orbita heliosynchroniczna** jest orbitą okołobiegunową (niska orbita; LEO).
- Zsynchronizowanie orbity satelity z ruchem Ziemi wokół Słońca zapewnia stałość warunków oświetlenia obszarów położonych na tych samych szerokościach geograficznych (ten sam czas słoneczny, lokalny).
- Płaszczyzna orbity heliosynchronicznej jest bliska płaszczyźnie biegunowej (polarnej), a jej wysokość zapewnia, iż satelita okrąży Ziemię trajektorią nad biegunami w około 90 minut, obrazując całą płaszczyznę Ziemi, np. w 16 dni (Landsat 8 NASA).
- Kąt między płaszczyzną orbity a kierunkiem do Słońca jest zawsze taki sam w ciągu roku, tzn. satelita na tej orbicie przelatuje zawsze o tym samym czasie miejscowym (uzależnionym tylko od szerokości geograficznej) nad określonym terenem.

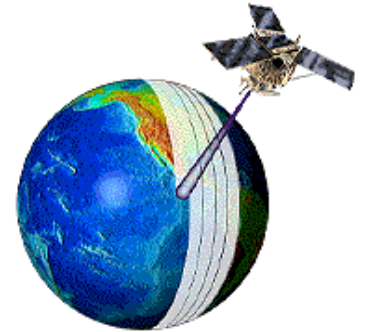


Źródło: Bilimoria K., Krieger R., 2011

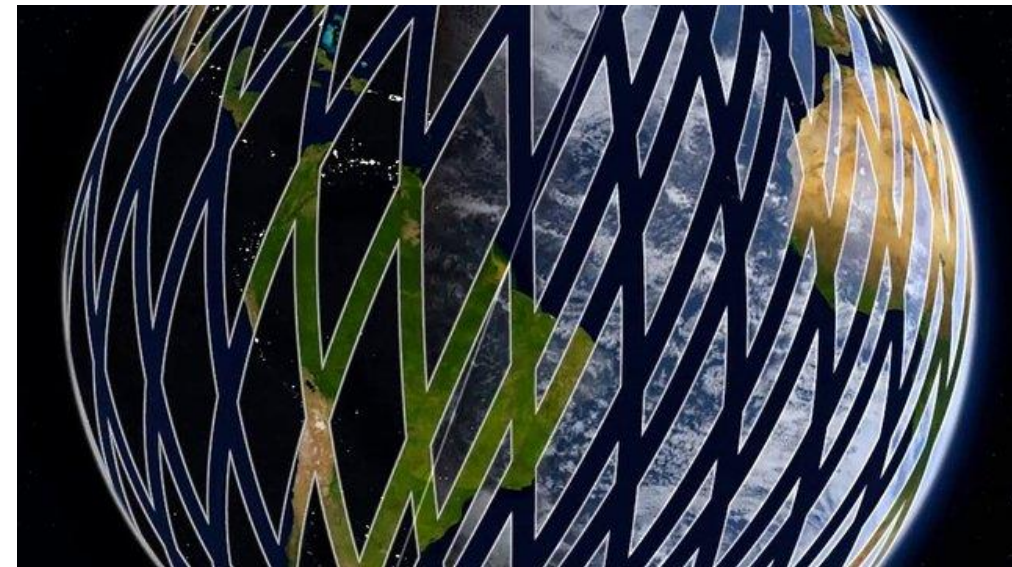
Orbita okołobiegunowa (LEO)

- Orbita okołobiegunowa (orbita polarna) to orbita przebiegająca nad biegunami lub w ich pobliżu. Prędkość satelity: $7,8 \div 6,9$ km/s
- Satelity na orbicie okołobiegunowej krążą na wysokości od 100 do 2.000 km nad Ziemią i są nachylone w stosunku do równika.
- Podczas każdego pełnego przelotu, trwającego około 1-3 godz., Ziemia wykonuje obrót, w wyniku czego satelita obrazuje różne fragmenty globu w wąskich szeregach. Po upływie kilku (np. Sentinel-2 ESA: 3-5 dni) lub kilkunastu dniach (np. Landsat 8 NASA: 16 dni) satelita obrazuje ponownie ten sam obszar.

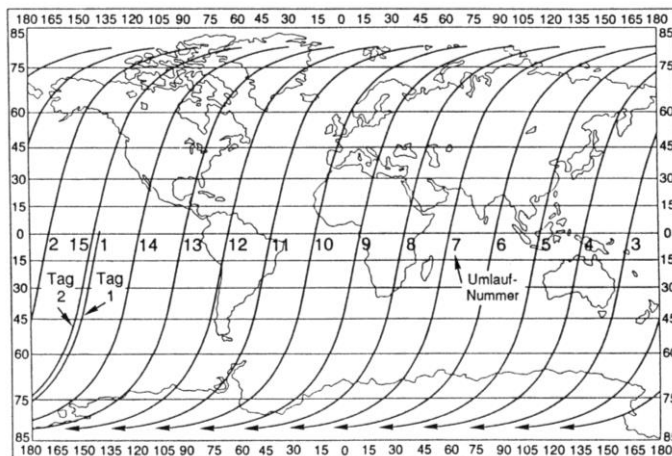
orbita okołobiegunowa



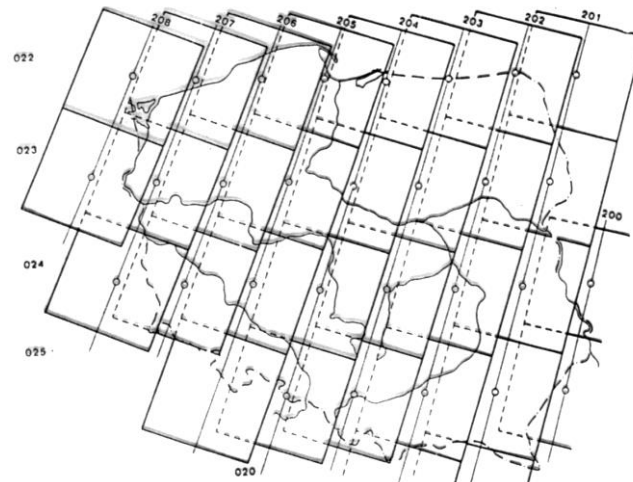
Przykład ścieżek obrazowania powierzchni Ziemi przez satelitę okołobiegunowego



Źródło: ESA, 2019



Orbity Landsat NASA



Źródło: Wężyk P., 2019

Orbita geostacjonarna (GEO)

- Orbita geostacjonarna jest orbitą kołową i znajduje się 35.786 km nad powierzchnią Ziemi (42.160 km od środka Ziemi) dokładnie w płaszczyźnie równika.
- Zapewnia krążącemu po niej satelicie zachowanie stałej pozycji nad wybranym punktem na równiku, gdyż jego ruch jest identyczny z ruchem Ziemi.
- Orbita geostacjonarna pozwala na tworzenie wieloczasowych sekwencji obrazów powierzchni Ziemi lub chmur - obrazy pozyskiwane mogą być przez satelity meteorologiczne nawet co 15 min.
- Prędkość ciała na orbicie GEO = 3,08 km/s; czas okrążenia Ziemi = 23 godz. 56 min. i 4 sek. (doba gwiazdowa).
- Zastosowanie: satelity meteorologiczne i telekomunikacyjne.
- Aby pokryć kulę ziemską do szerokości geograficznej 75° (N i S) potrzeba min. 3–4 satelitów, które na orbicie GEO mają taką samą prędkość kątową jak punkt na równiku, dzięki czemu są widziane z powierzchni Ziemi jako nieruchome względem niej obiekty. Anteny na Ziemi są wycelowane w satelitę i pozostają nieruchome.

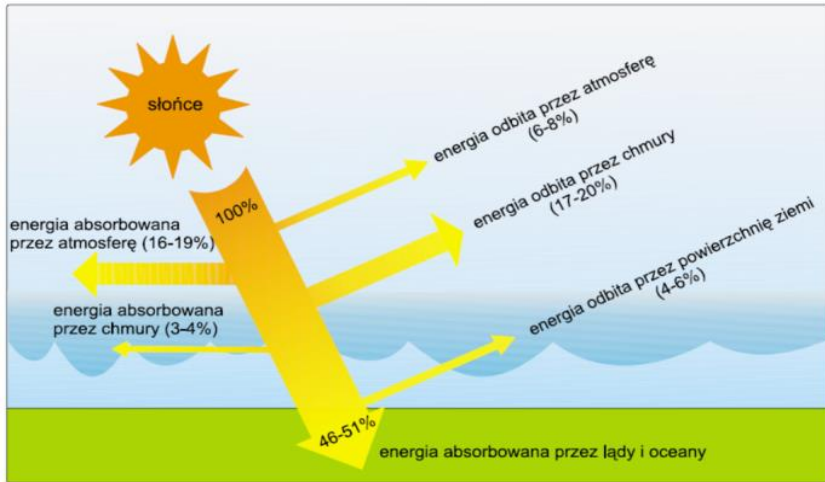


Źródło: Wężyk P., 2019

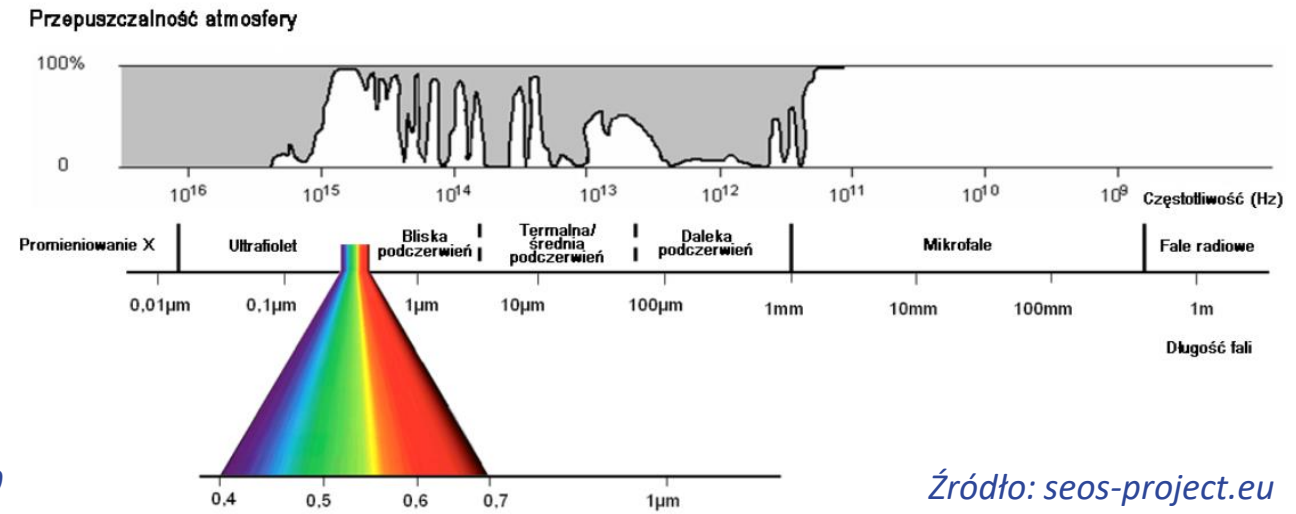
- **Teledetekcja** (ang. *Remote Sensing*) to proces zdalnego pozyskiwania informacji o obiektach lub zjawiskach (Committee on Earth Observation Satellites, CEOS, 2000).
- Całość procesu pozyskiwania informacji odbywa się w sposób zdalny, tzn. detektor sygnału nie ma fizycznego kontaktu z obiektem lub zjawiskiem będącym przedmiotem zainteresowania (de Jong, van der Meer, 2004).
- Teledetekcja i fotogrametria (traktowane przez ISPRS jak wspólne działy) - są działem nauk technicznych zajmujących się pozyskiwaniem wiarygodnych informacji o obiektach fizycznych i ich otoczeniu drogą rejestracji, pomiaru i interpretacji obrazów lub ich reprezentacji cyfrowych uzyskiwanych dzięki sensorom nie będącym w bezpośrednim kontakcie z tymi obiektami (Sitek, 2000).



Źródło: ESA, 2020



Źródło: Wężyk P., 2019

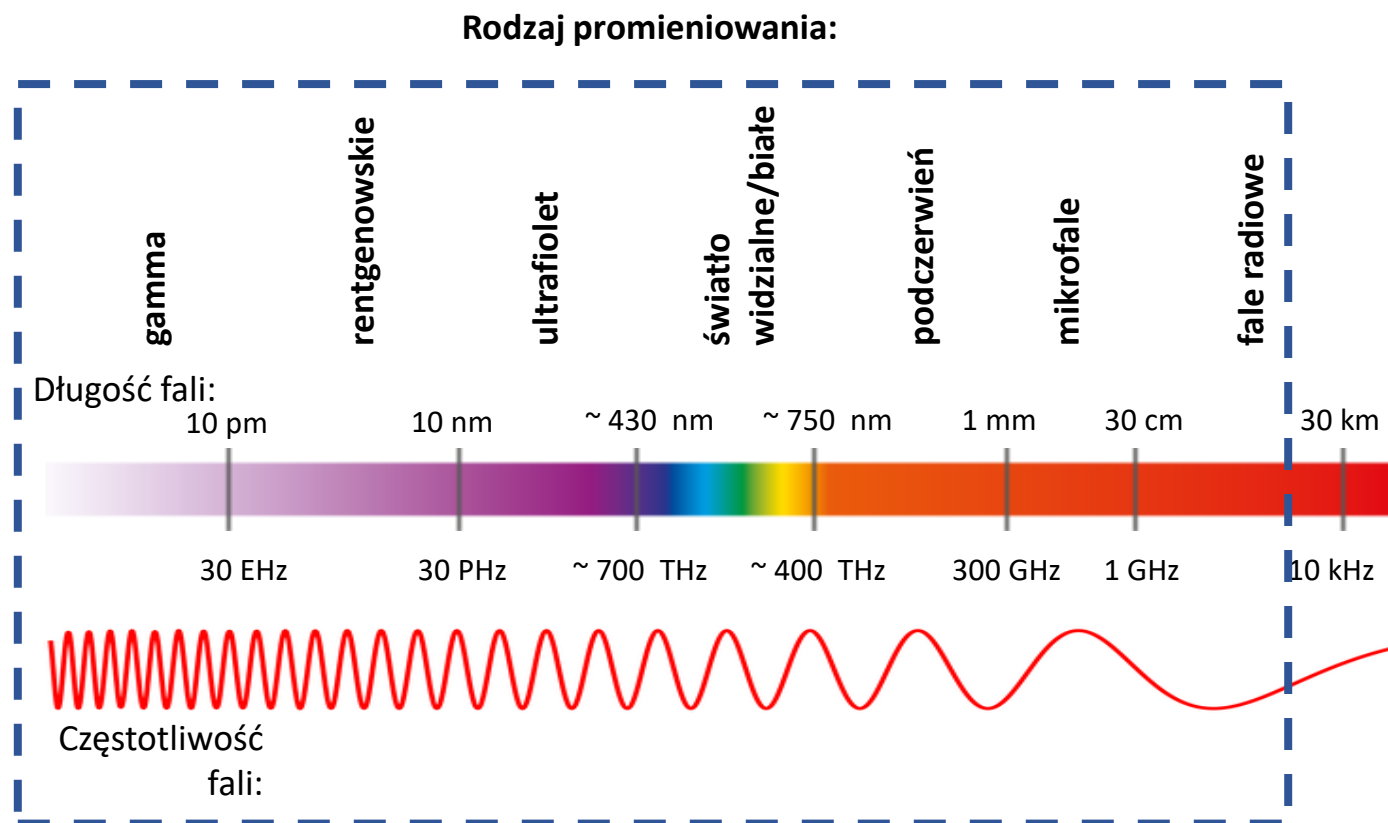


Źródło: seos-project.eu

- Nośnikiem informacji w teledetekcji jest promieniowanie elektromagnetyczne (EM), które jest odbijane lub emitowane przez obiekty, a następnie rejestrowane przez urządzenia zwane sensorami (Ciołkosz, Kęsik, 1989).
- Promieniowanie elektromagnetyczne (PEM) jest procesem emisji energii w przestrzeni w postaci fal elektrycznych i magnetycznych.
- Sensory to urządzenia służące do wykrywania i rejestracji PEM zbudowane z układów odpowiednich detektorów do rejestracji fal o określonej długości.
- Czynniki wpływające na promieniowanie: absorpcja (np. przez atmosferę), rozpraszanie (powodowane przez strukturę obiektu) oraz emisja promieniowania.
- Podstawowym źródłem promieniowania odbijanego przez obiekty jest Słońce.

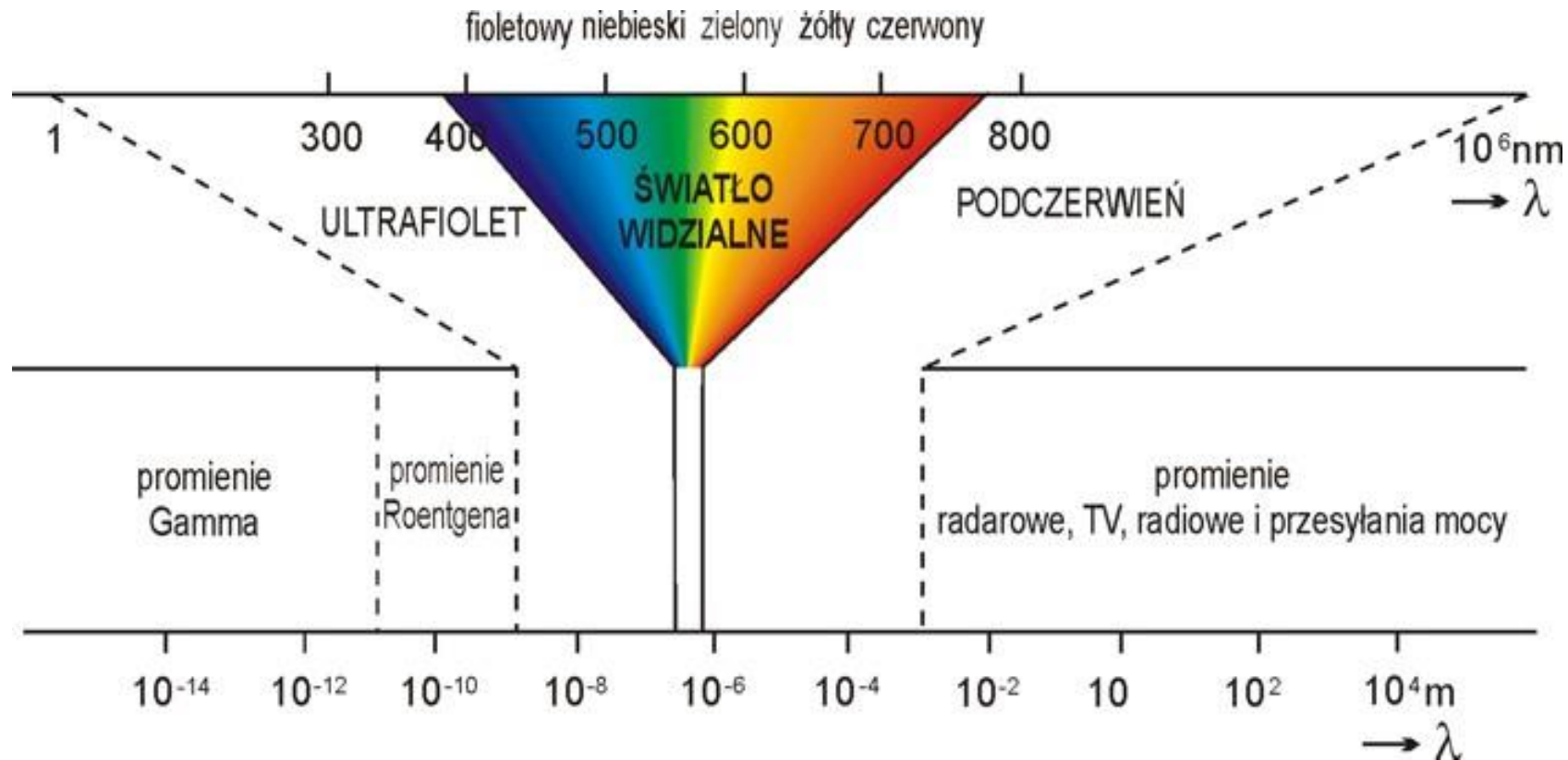
Zakresy promieniowania elektromagnetycznego (PEM):

- promieniowanie gamma,
- promieniowanie rentgenowskie,
- promieniowanie ultrafioletowe,
- promieniowanie widzialne (światło białe),
- podczerwień bliska (NIR), środkowa (SWIR) oraz termalna (TIR),
- promieniowanie radarowe (mikrofalowe),
- fale radiowe.

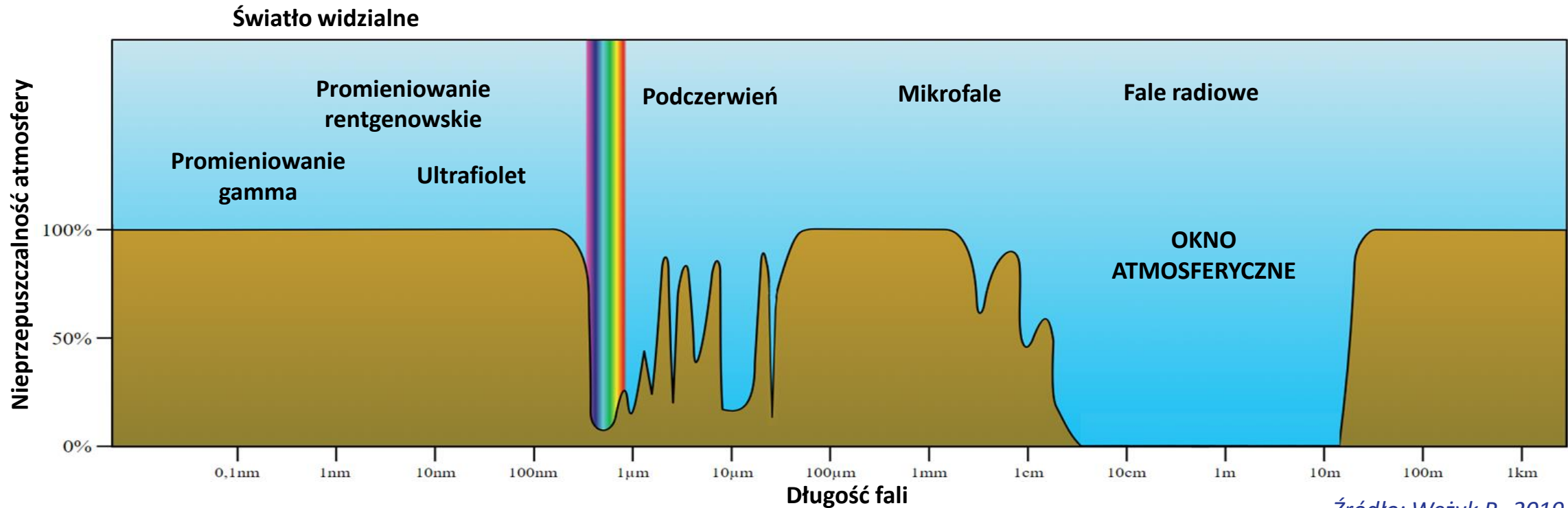


Źródło: ProGea 4D, 2020

W teledetekcji wykorzystywane jest przede wszystkim: promieniowanie widzialne (światło białe), podczerwień (bliska NIR, środkowa SWIR oraz termalna TIR) oraz promieniowanie mikrofalowe (radar). Sensory dokonują rejestracji odbitego promieniowania elektromagnetycznego w ściśle zdefiniowanych zakresach (kanałach) spektralnych.



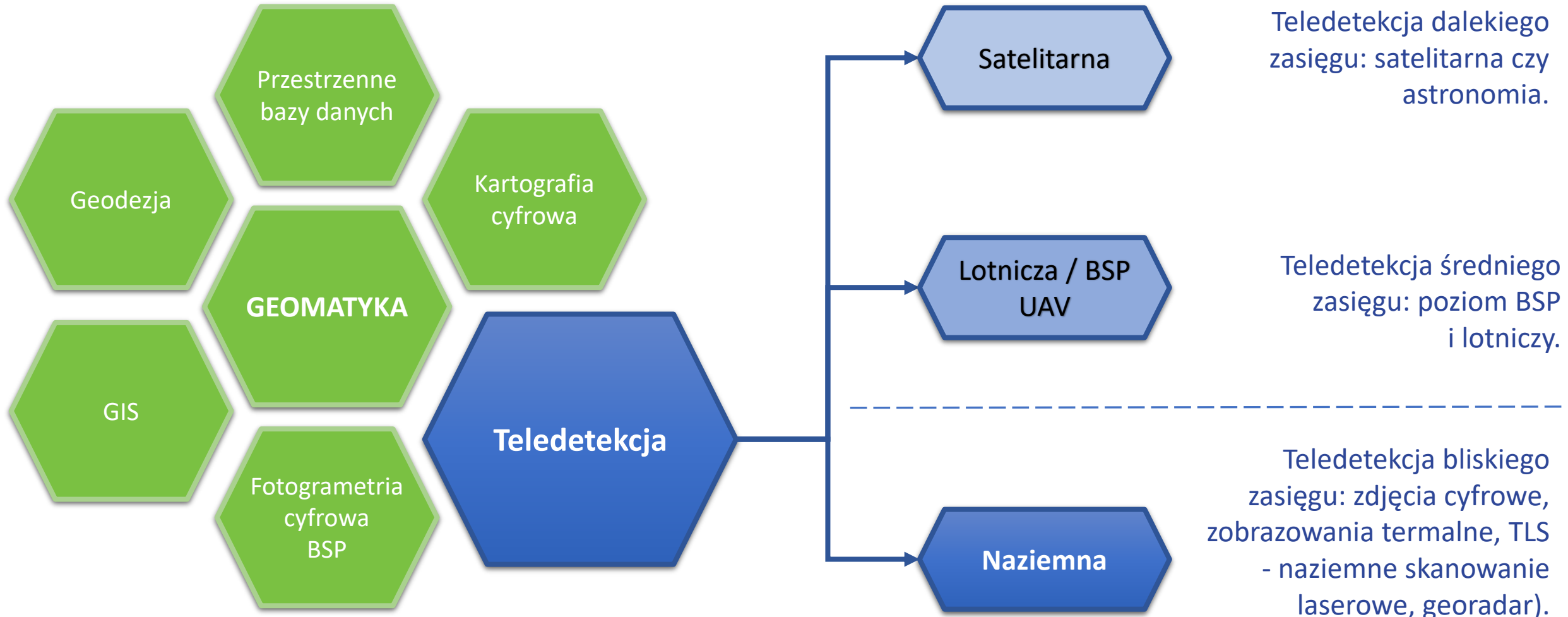
Źródło: Oziemblewski P., 2019



Źródło: Węzyk P., 2019

- Okno atmosferyczne – to zakresy widma promieniowania elektromagnetycznego, w którym promieniowanie przepuszczone jest przez atmosferę i dociera do powierzchni Ziemi bez znaczącego osłabienia.
- Okno optyczne – obejmuje fale elektromagnetyczne o długościach od 300 nm do 1 mm: ultrafiolet (zatrzymywany częściowo przez warstwę ozonową), światło widzialne i bliską podczerwień.

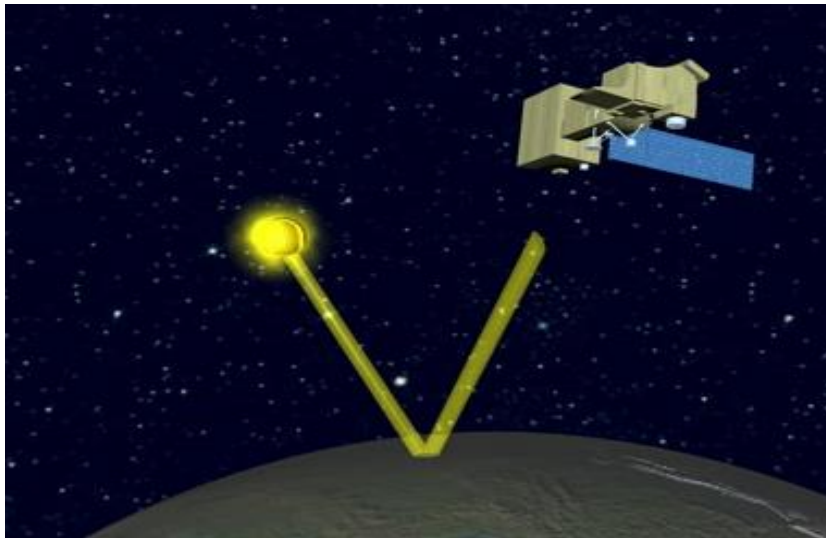
Podział teledetekcji ze względu na odległość sensora od obiektu: bliskiego, średniego i dalekiego zasięgu



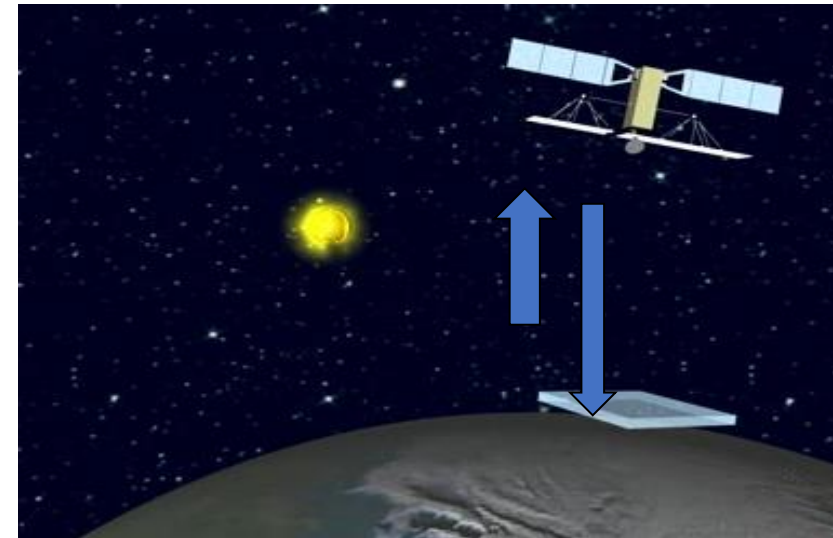
Źródło: ProGea 4D, 2020

Biorąc pod uwagę technikę rejestrowanego przez sensor promieniowania EM, systemy teledetekcyjne podzielić można na dwie grupy:

- **systemy pasywne** (optyczne, termalne) - rejestrujące promieniowanie słoneczne odbite od obiektów lub promieniowanie wyemitowane przez obiekt (promieniowanie termalne);
- **systemy aktywne** (radarowe, LiDAR) - emitujące własną energię, która wchodzi w interakcję z badanymi obiektami i powraca z powrotem do sensora.



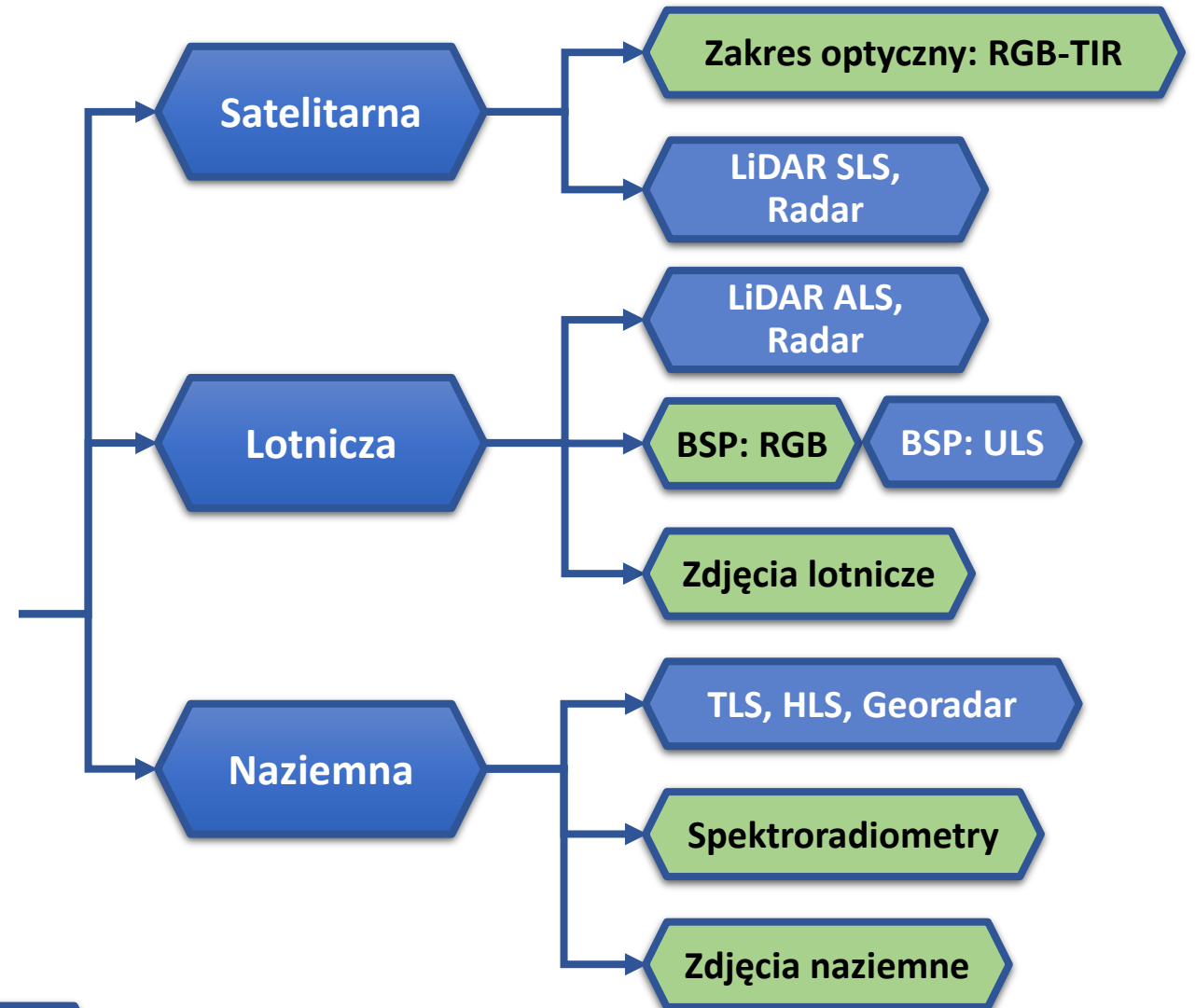
Sensory pasywne: zakres optyczny/termalny



Sensory aktywne: systemy mikrofalowe oraz LiDAR

Systemy aktywne i pasywne:

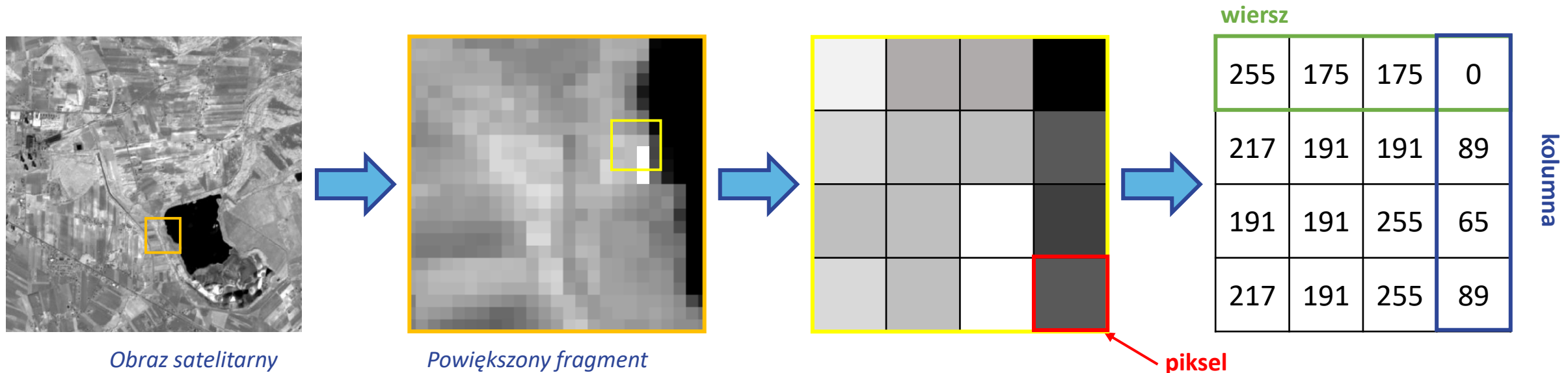
- **Pasywne** (sensory: np. Sentinel-2 czy Landsat 8). Rejestracja odbitego promieniowania słonecznego lub emitowanej przez obiekty energii w zakresie optycznym (wyjątek LiDAR – optyczny – aktywny system):
 - widzialnym RGB,
 - bardzo bliskiej podczerwieni NIR,
 - średniej podczerwieni SWIR,
 - termalnej podczerwieni TIR.
- **Aktywne** (sensory: LiDAR SLS, GEDI, radar Sentinel-1) - rejestrujące własną wystaną i odbitą od obiektu energię:
 - lasera (systemy LiDAR: TLS, MLS, ALS, SLS),
 - mikrofalowe (spolaryzowane V/H wiązki EM).



Legenda: Pasywne Aktywne

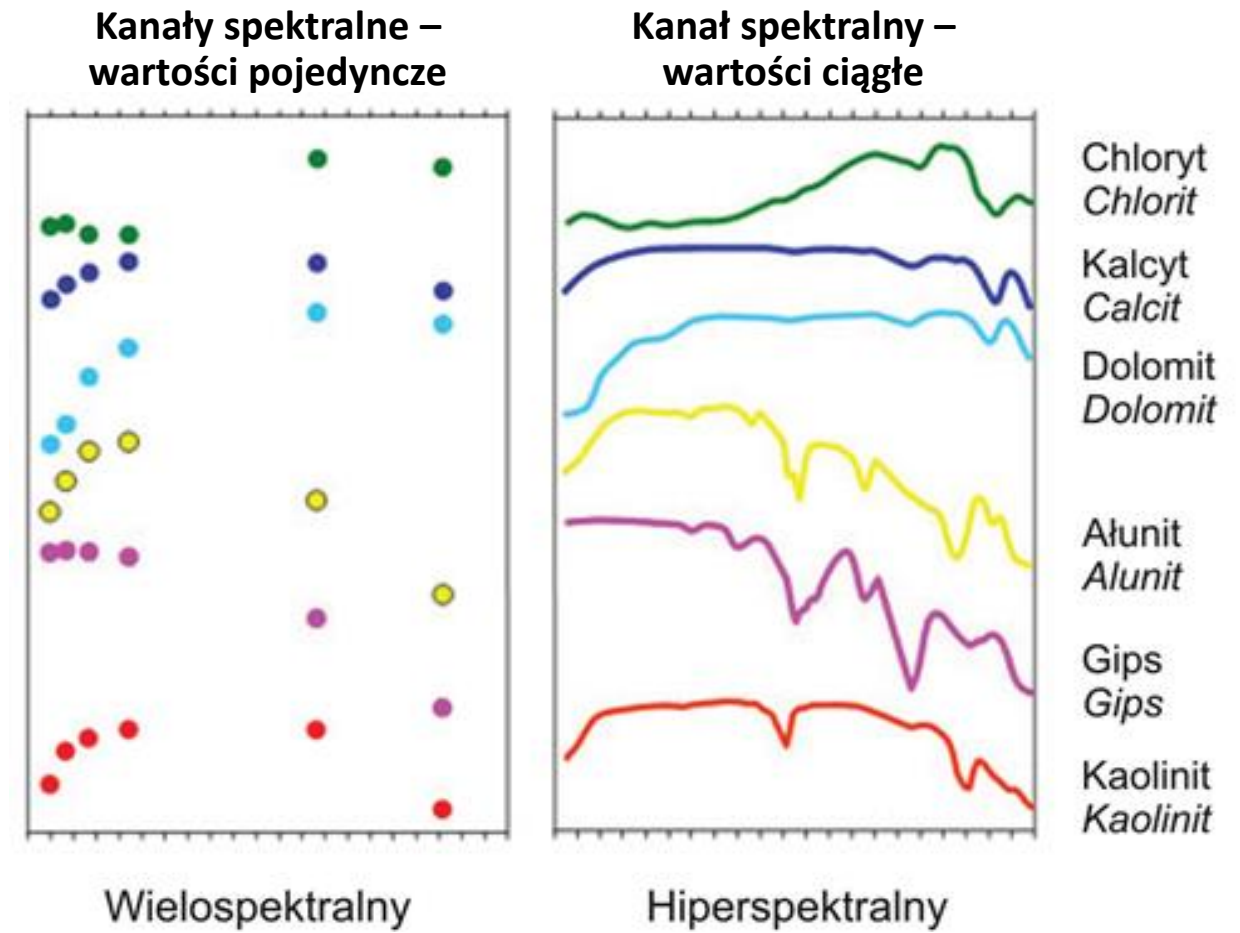
Źródło: Wężyk P., 2019

- Sensor rejestrujący sygnał zamienia ciągły strumień promieniowania elektromagnetycznego (PEM) na dyskretne poziomy jasności (jaskrawości) tworząc obraz cyfrowy.
- Obraz cyfrowy składa się z określonej liczby ułożonych w regularną siatkę (macierz) dyskretnych najmniejszych elementów, zwanych pikselami (ang. *pixel*).
- Dyskretne poziomy jasności to wartości radiometryczne oznaczane jako DN (ang. *Digital Number*).
- Każdy piksel ma przyporządkowaną jedną wartość radiometryczną (DN) określającą zdolności odbicia bądź emisji promieniowania przez obiekt jak również poziom energii źródła promieniowania (np. Słońca).



Źródło: ProGea 4D, 2020

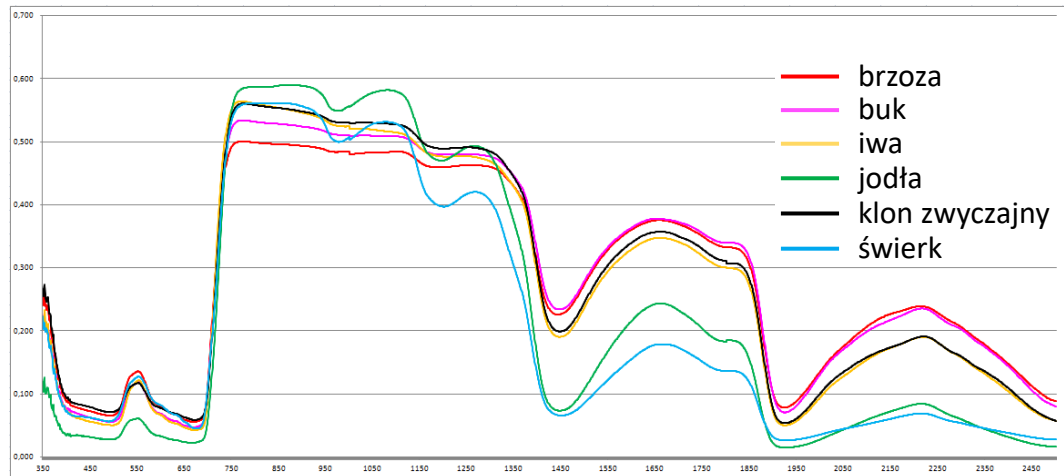
- **Kanał spektralny** (ang. *band*) to zakres (szerokość spektrum) promieniowania elektromagnetycznego (PEM), rejestrowany przez detektor.
- W zależności od liczby i szerokości tych zakresów rozróżniamy sensory:
 - panchromatyczne (ang. *PAN* - *Panchromatic*): jednokanałowe;
 - wielospektralne (ang. *MS* - *MultiSpectral*): rejestrujące w kilku do kilkunastu kanałach spektralnych jednocześnie;
 - hiperspektralne: rejestrujące od kilkudziesięciu (min. 40) do kilkuset kanałów jednocześnie (Goetz i in. 1985).



Źródło: Zagajewski B., 2010

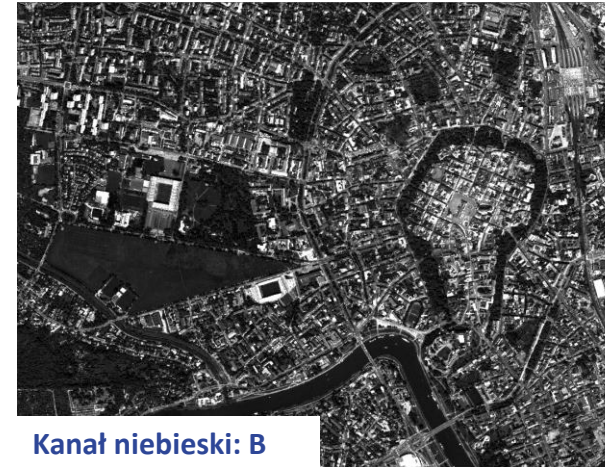
Kanał spektralny

- Analizując jasność obiektu w poszczególnych kanałach spektralnych można interpretować jego różne właściwości.
- Zastosowanie większej liczby kanałów spektralnych wnosi dodatkową informację na temat analizowanego obiektu.
- W przypadku sensorów hiperspektralnych liczba kanałów może sięgać nawet 244 zakresów (EnMap) lub 275 kanałów SHALOM; Transon i in. 2018).



Źródło: Wężyk, Zagajewski 2019

Pojedyncze kanały sensora WorldView-2 w odcieniach szarości

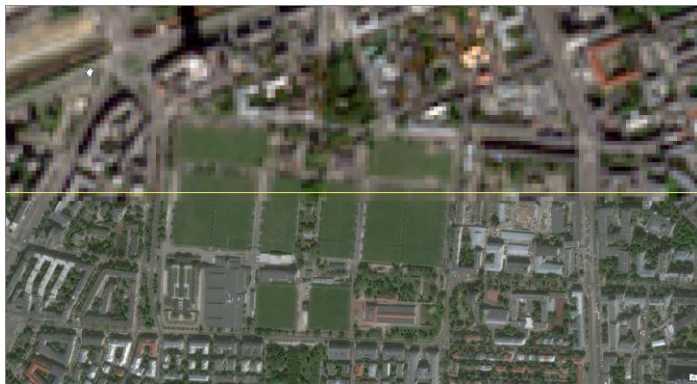


WorldView-2 © [2018] European Space Imaging

Źródło: ProGea 4D, 2020

Opisując charakterystykę sensora teledetekcyjnego, podajemy informację o jego **rozdzielczości**:

- **przestrzennej (terenowej)** charakteryzowanej przez rozmiar najmniejszego obiektu rozróżnialnego na obrazie zarejestrowanym przez sensor, wyrażana zwykle wielkością piksela (ang. *pixel = picture element*);
- **spektralnej** – liczbie zakresów (kanałów) rejestrowanych przez sensor oraz ich rozpiętości (szerokości) spektralnej;
- **czasowej** – częstotliwość pozyskiwania danych, wyrażana czasem jaki upływa pomiędzy kolejnymi rejestracjami przez satelitę lub satelity na tej samej orbicie. Systemy mogą posiadać uchylne kamery i rejestrować obiekty częściej, jednak przy wychyleniu sensora od pionu (ang. *off-nadir*; ONA);
- **radiometrycznej** – tj. liczbie rozróżnialnych poziomów promieniowania, inaczej liczbie bitów, na jaką podzielono rejestrowaną energię.



10,0 m

0,5 m



16 Bit



8 Bit



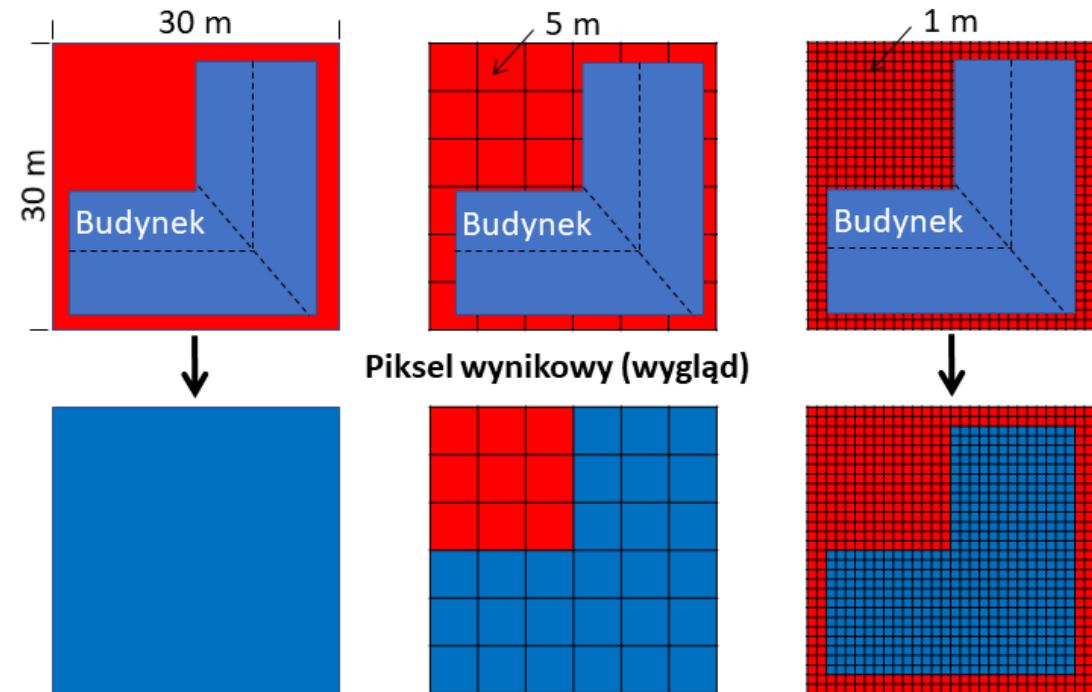
4 Bit

Źródło: ESA 2020

Rozdzielczość przestrzenna systemu wyrażana jest miarą najmniejszego obiektu, który może być zarejestrowany przez pojedynczy element sensora. Techniczną miarą rozdzielczości przestrzennej jest GSD (ang. *Ground Sampling Distance*). Chwilowe pola widzenia sensora (ang. *IFOV*) nie musi odpowiadać powierzchni piksela. Obiekty mniejsze od piksela dzięki swej dużej jasności na tle otoczenia mogą być czasem bardzo dobrze widoczne.

Podział systemów satelitarnych pod kątem rozdzielczości przestrzennej:

- **zobrazowania o niskiej rozdzielczości** (ang. *Low Resolution Image, LR*), piksel > 100 m,
- **zobrazowania średnio-rozdzielcze** (ang. *Medium Resolution Image, MR*), piksel: 10 – 100 m,
- **zobrazowania wysoko-rozdzielcze** (ang. *High Resolution Image, HR*), piksel 1 – 5 m,
- **zobrazowania o bardzo wysokiej rozdzielczości** (ang. *Very High Resolution Image, VHR*), piksel mniejszy niż 1 m.



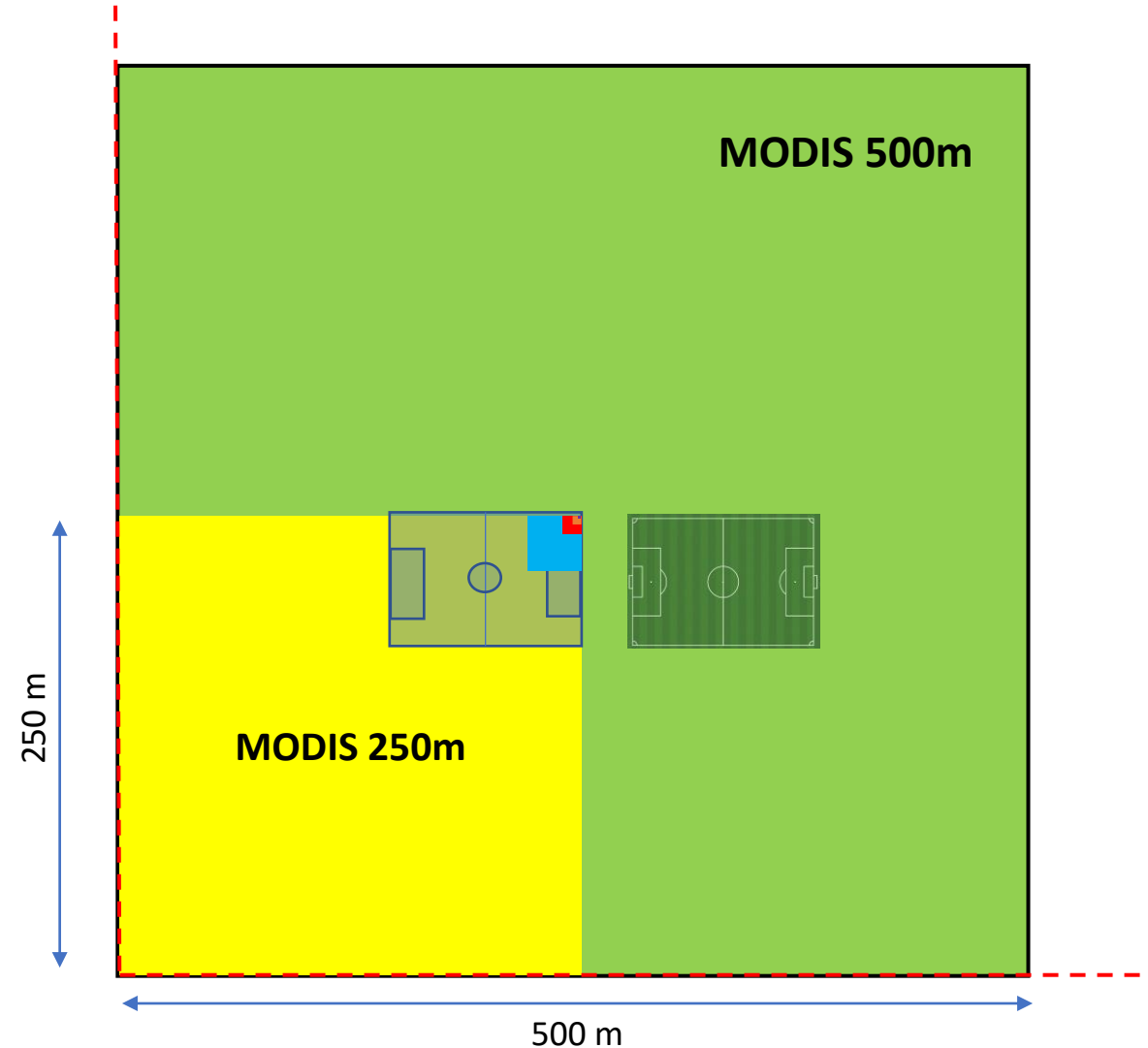
Przykład wizualizacji obiektu w różnej rozdzielczości:

- Średnia: 30 m GSD (Landsat 5),
- wysoka: 5 m GSD (Rapideye)
- bardzo wysoka 1 m GSD (IKONOS)

Źródło: Wężyk 2019; Satellite Image Corporation, 2019

Porównanie wielkości obiektu o wymiarach 500x500m (25 ha) z rozmiarem piksela wybranych sensorów:

-  Piksel sensora niskorozdzielczego
1100 m NOAA
-  Piksel sensora niskorozdzielczego
500 m np. MODIS TERRA
-  Piksel sensora niskorozdzielczego 250
m np. MODIS TERRA
-  Piksel sensora średniorozdzielczego
30 m np. LANDSAT-8
-  Piksel sensora średniorozdzielczego
10 m np. SENTINEL-2
-  Piksel sensora wysokorozdzielczego
3m np. Planet Scope Dove
-  Piksel sensora o bardzo wysokiej rozdzielczości
0,31 m np. WorldView-3 (CartoSat-3: 0,25 m)



Rozdzielczość przestrzenna

Identyfikacja obiektu na obrazie zależy w dużej mierze od rozdzielczości detektora (wielkości piksela), wysokości lotu, obiektywu, wielkości samego obiektu.



0,5 m



2,0 m



5,0 m



10 m



20 m



60 m

Zobrazowanie RGB WorldView-2 – Kraków
(kompozycja 321 pan-sharpened; GSD 0,5 m)



Źródło: ProGea 4D, 2020

Identyfikacja obiektu na obrazie zależy w dużej mierze od rozdzielczości detektora (wielkości piksela), wysokości lotu, obiektywu, wielkości samego obiektu.



0,5 m



2,0 m



5,0 m



10 m



20 m



60 m

Zobrazowanie RGB WorldView-2 – Kraków (GSD 2,0 m)

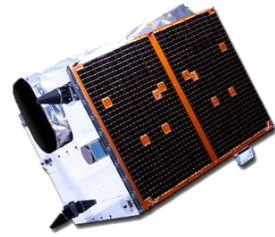


21.07.2018

WorldView-2 © [2018] European Space Imaging

Źródło: ProGea 4D, 2020

Identyfikacja obiektu na obrazie zależy w dużej mierze od rozdzielczości detektora (wielkości piksela), wysokości lotu, obiektywu, wielkości samego obiektu.



0,5 m



2,0 m



5,0 m



10 m



20 m



60 m

Kompozycja RGB (321) RapidEye (Planet) – Kraków (GSD 5,0 m)



Źródło: ProGea 4D, 2020

Identyfikacja obiektu na obrazie zależy w dużej mierze od rozdzielczości detektora (wielkości piksela), wysokości lotu, obiektywu, wielkości samego obiektu.



0,5 m



2,0 m



5,0 m



10 m



20 m



60 m

Kompozycja RGB (432) Sentinel-2 ESA – Kraków (GSD 10,0 m)



Źródło: ProGea 4D, ESA 2020

Identyfikacja obiektu na obrazie zależy w dużej mierze od rozdzielczości detektora (wielkości piksela), wysokości lotu, obiektywu, wielkości samego obiektu.



0,5 m



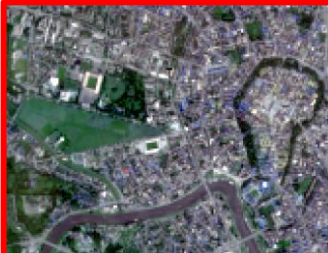
2,0 m



5,0 m



10 m



20 m



60 m

Kompozycja RGB Sentinel-2 – Kraków (GSD 20,0 m)



Źródło: ProGea 4D, 2020

Identyfikacja obiektu na obrazie zależy w dużej mierze od rozdzielczości detektora (wielkości piksela), wysokości lotu, obiektywu, wielkości samego obiektu.



0,5 m



2,0 m



5,0 m



10 m



20 m



60 m

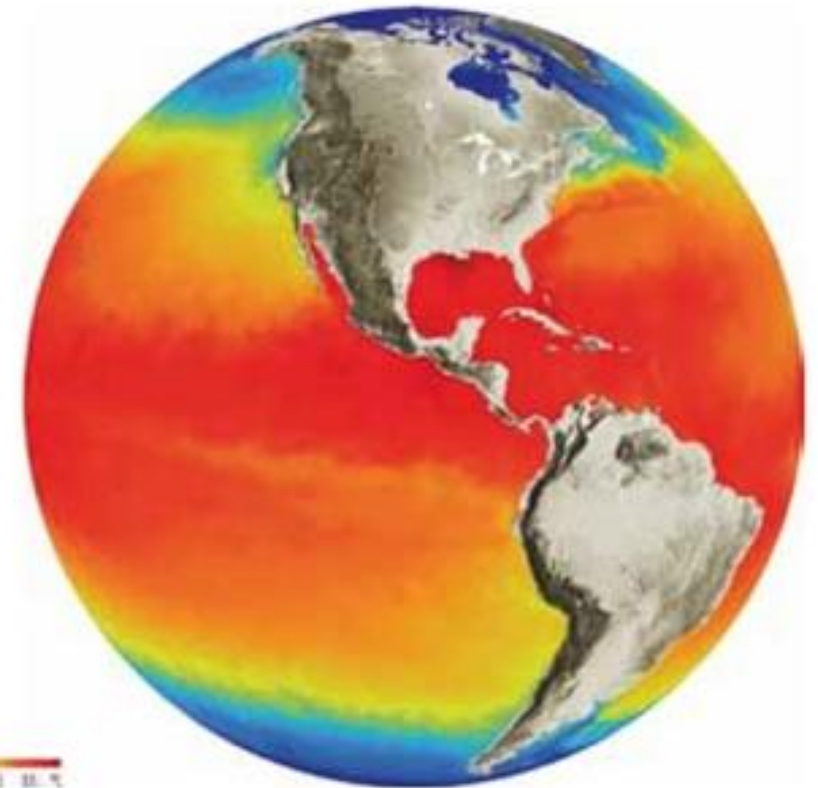
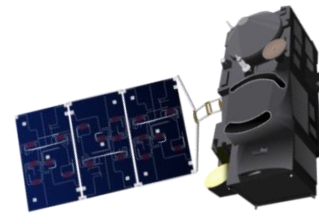
Zobrazowanie Sentinel-2 – Kraków (GSD 60,0 m)



Źródło: ProGea 4D, 2020

- **Zobrazowania niskorozdzielcze (LR)** wykorzystywane są do wykonywania obrazowań rozległych obszarów, w skali globalnej, głównie przez satelity meteorologiczne.
- Główne przeznaczenie obrazów LR to:
 - badania atmosfery,
 - monitoring pogody,
 - monitoring oceanów i pokrywy lodowej,
 - badanie kondycji upraw i użytkowania Ziemi w skali globalnej.
- Przykłady satelitów niskorozdzielczych:
 - satelita Terra i Aqua; sensor MODIS - GSD: 250m, 500 m, 1.000 m),
 - NOAA AVHRR (GSD 1.100 m),
 - Sentinel-3 (GSD: 500 – 1.000 m SLSTR).

Mapa temperatury oceanów opracowana na podstawie obrazu zarejestrowanego przez sensor SLSTR (Sea and Land Surface Temperature Radiometer) – Sentinel-3



Źródło: ESA, 2019

- **Zobrazowania średniorozdzielcze** (np. Landsat 8 i Sentinel-1, S-2) stosowane są w globalnej obserwacjach powierzchni Ziemi (EO).
- Zastosowanie, m.in. w:
 - klasyfikacji pokrycia i użytkowania terenu (ang. LULC),
 - monitoringu pól w rolnictwie,
 - obserwacji globalnej biomasy lasów,
 - analizach rozwoju metropolii,
 - ochronie środowiska,
 - szacowaniu skutków klęsk naturalnych i zmian klimatu,
 - w sektorze ubezpieczeń.

Kompozycje CIR (NIR, R, G) obrazów Landsat 8 NASA i Sentinel-2 ESA dla fragmentu Warszawy



Landsat 8, 30.06.2019

Sentinel-2, 22.09.2019

Źródło: EOS, LandViewer, 2020

- **Wysokorozdzielcze zobrazowania** satelitarne (ang. HR) wykorzystuje się głównie w szczegółowych analizach stosunkowo niewielkich obszarów Ziemi (niewielki rozmiar rejestrowanej sceny).
- Przykładowe satelity wysokorozdzielcze:
 - RapidEye (GSD 5,0 m),
 - EROS B (GSD 1,9 m),
 - SPOT-5 (GSD PAN 2,5 m; MS 10,0m),
 - PlanetScope Dove (GSD 3,0 m).
- Zastosowanie zobrazowań HR w opracowaniach wybranych map topograficznych i tematycznych (np. użytkowania terenu, typów roślinności, stanu roślinności upraw rolniczych, kondycji lasów, w planowaniu przestrzennym, itd.).

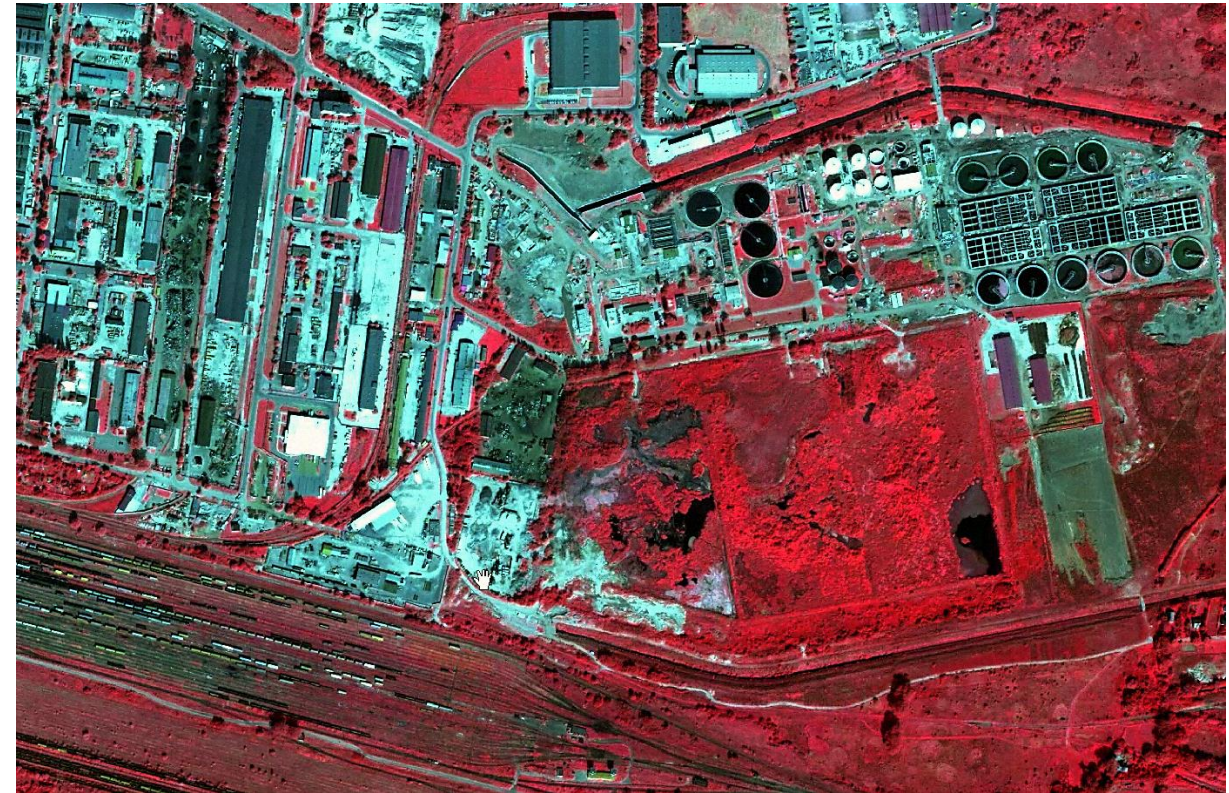
Zobrazowanie wysokorozdzielcze PlanetScope Dove (GSD 3 m) gazoportu w Świnoujściu



Źródło: ProGea 4D, 2019

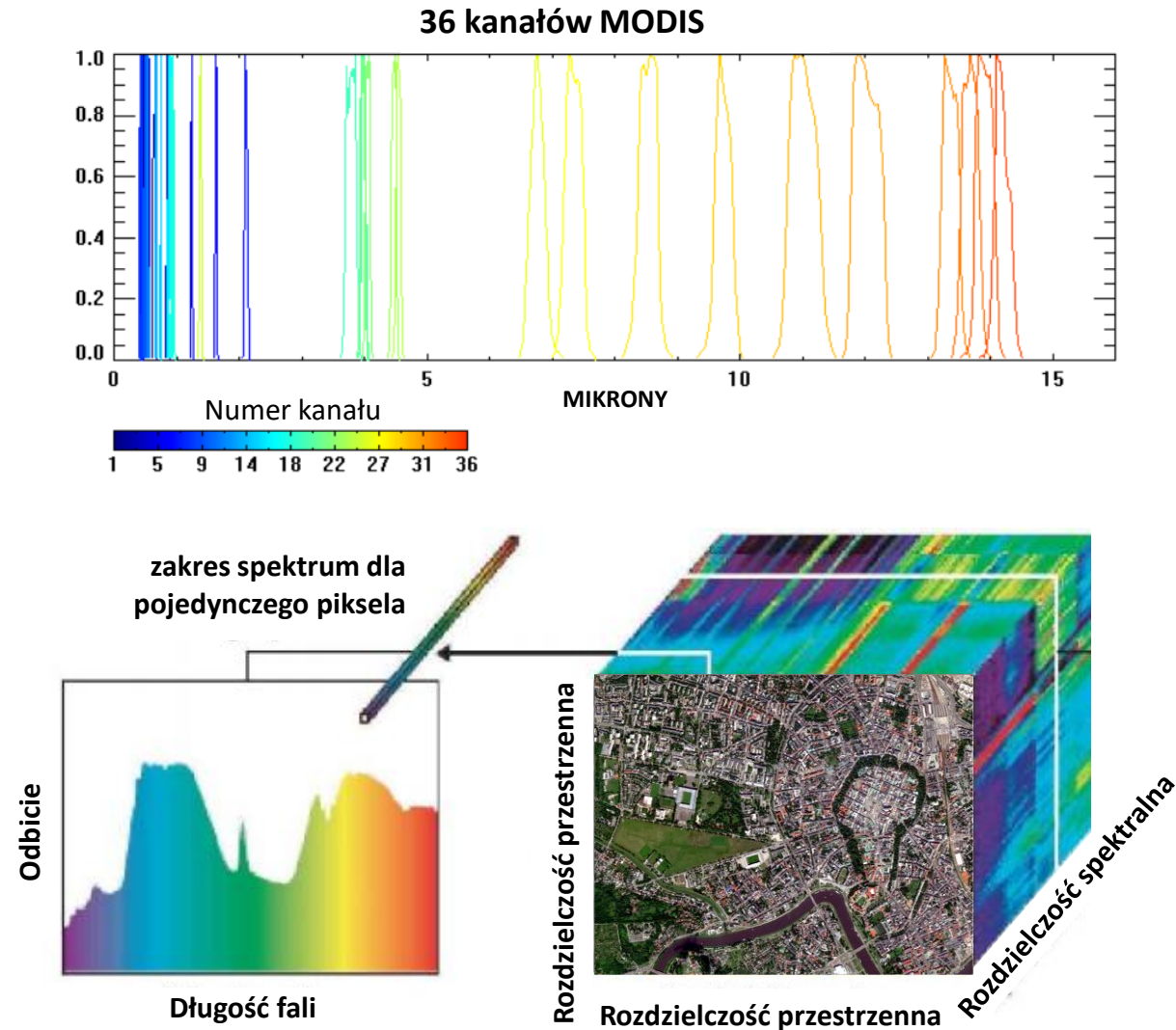
- **Zobrazowania bardzo wysokorozdzielcze** (ang. VHR) GSD < 1,0 m wykorzystuje się głównie dla celów bardzo szczegółowych analiz, w których wymagana jest duża dokładność opracowania.
- Przykładowe sensory satelitów o bardzo wysokiej rozdzielczości:
 - WorldView-1, -2, -3 (GSD 0,31 m PAN),
 - Satellogic (GSD 0,99 m MS)
 - SkySat (GSD 0,5 m MS),
 - QuickBird (GSD 0,62 m PAN),
 - KOMPSAT-3 (GSD 0,7m),
 - Pleiades NEO (GSD 0,3 m PAN).
- Zastosowanie w opracowaniach map dla celów: geoportali, map topograficznych, map tematycznych (np. zmian użytkowania terenu, detekcji budynków, stanu zdrowotnego roślinności, kartowania infrastruktury, itp.).

Kompozycja CIR (432) fragmentu strefy przemysłowej Krakowa
(GSD 0,6m; PAN-sharpened; QuickBird 2006)



QuickBird © [2006] European Space Imaging GSD 0,5 m; CIR – PAN-sharpened, 09.2006

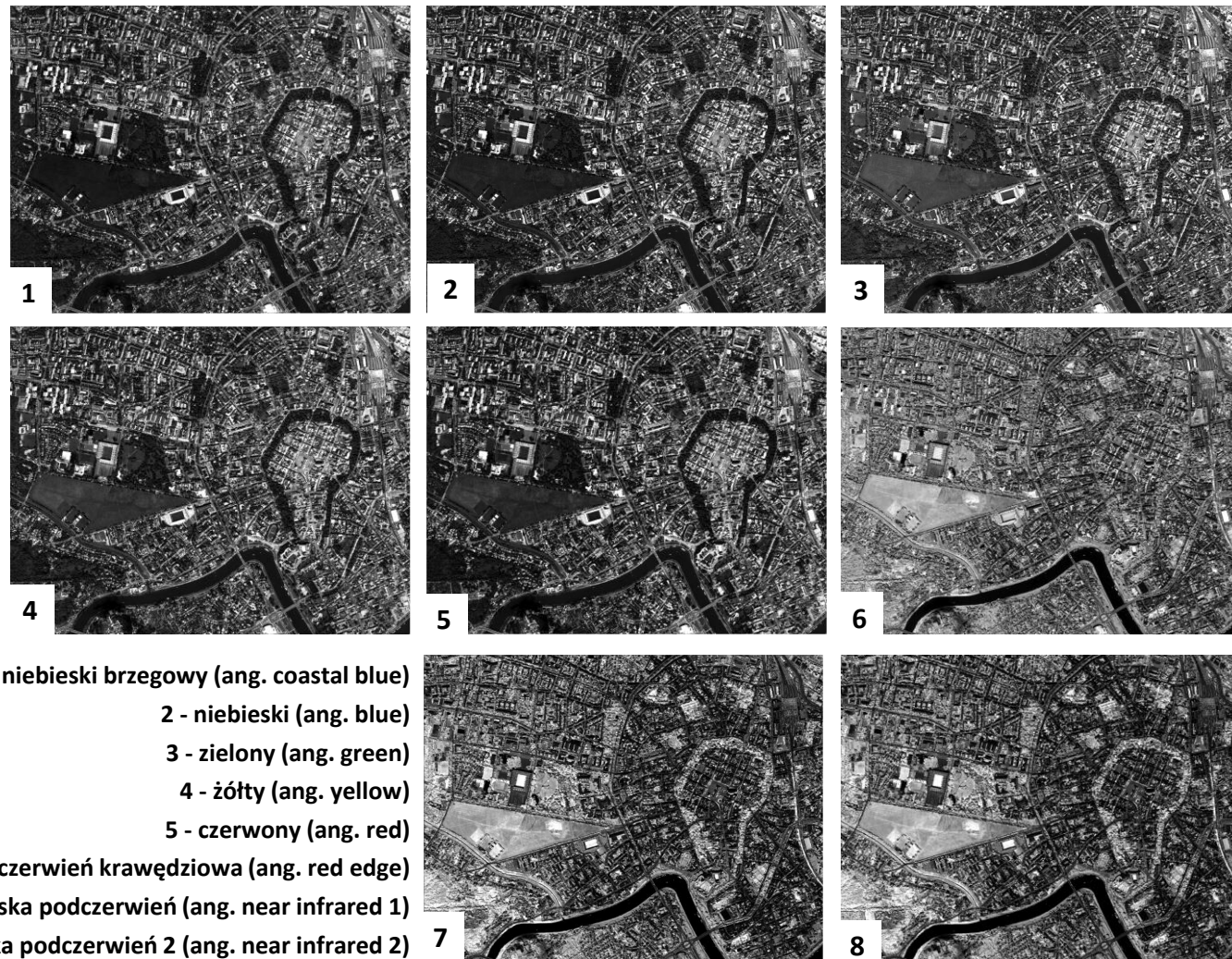
- **Rozdzielczość spektralna** określana jest liczbą kanałów spektralnych sensora satelity (liczba zakresów promieniowania elektro-magnetycznego), jednocześnie rejestrujących obiekt.
- **Sensory** (detektory), w zależności od typu, rejestrują odbicie promieniowania w różnych zakresach spektralnych:
 - panchromatyczne (ang. PAN - *Panchromatic*): jednokanałowe (w zakresie promieniowania widzialnego np. 400÷900 nm);
 - wielospektralne (ang. MS - *Multispectral*): rejestrujące w kilku do kilkunastu kanałów, np. Sentinel-2 (MSI) 13 kanałów, Landsat 8 (OLI) - 9 kanałów; Planet SuperDove - 8 kanałów (2021); WorldView-3: 8 kanałów MS+ 8 kanałów SWIR;
 - hiperspektralne: rejestrujące od kilkudziesięciu do kilkuset kanałów (np. HySpex czy Specim AISA).



Źródło: ProGea 4D, 2020

Obraz WorldView-2 w pojedynczych zakresach (kanałach)

- Zadaniem teledetekcji jest rejestracja różnic w odbiciach spektralnych powierzchni poszczególnych obiektów w celu prowadzenia dokładniejszej klasyfikacji obrazów.
- Większa rozdzielczość spektralna daje większą szansę na uzyskanie wysokiej poprawności w klasyfikacji tematycznej obrazów teledetekcyjnych, np. map użytkowania i pokrycia terenu (ang. *LULC*).
- Zdrowa roślinność pochłania dzięki chlorofilom bardzo dużo energii w zakresie niebieskim i czerwonym, stąd bardzo niewiele energii odbija w kierunku sensora (ciemny obraz: Błonia i Planty Krakowskie po prawej).
- Woda przykładowo pochłania energię w zakresie bliskiej podczerwieni (ciemne barwy).

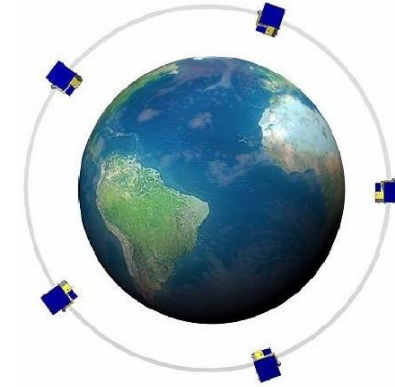


- 1 - niebieski brzegowy (ang. coastal blue)
- 2 - niebieski (ang. blue)
- 3 - zielony (ang. green)
- 4 - żółty (ang. yellow)
- 5 - czerwony (ang. red)
- 6 - czerwień krawędziowa (ang. red edge)
- 7 - bliska podczerwień (ang. near infrared 1)
- 8 - bliska podczerwień 2 (ang. near infrared 2)

WorldView-2 © [2018] European Space Imaging

Źródło: ProGea 4D, 2020

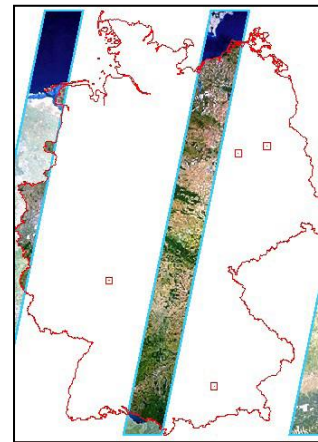
- **Rozdzielczość czasowa** (czas rewizyty) oznacza czas niezbędny do wykonania przez sensor ponownego zobrazowania tego samego obszaru powierzchni Ziemi. Często satelity posiadają uchyłne systemy kamer obrazujących co przyspiesza obrazowanie tego samego terenu jednak z kątem wychylenia (ang. OFF-NADIR). Zwiększenie rozdzielczości czasowej przez większą liczbę satelitów na tej samej orbicie zwiększa szanse pozyskania obrazów przy występującym zachmurzeniu.



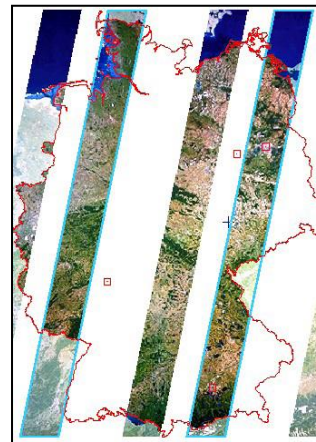
- Przykładowa rozdzielczość czasowa:

- 16 dni (Landsat 8),
- 5 dni (Sentinel-2A i -2B),
- 1 dzień (PlanetScope Dove),
- 15 minut (Meteosat-8).

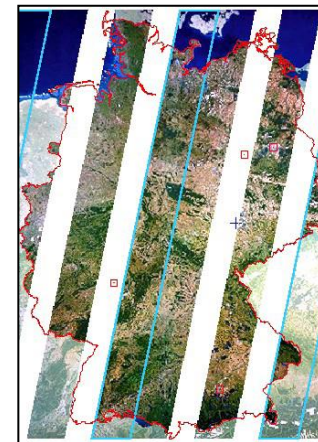
Kolejne dni obrazowania Niemiec systemem RapidEye złożony z 5 satelitów



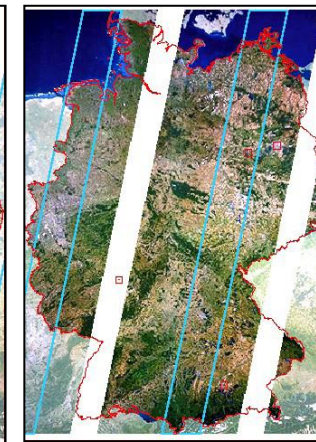
1 dzień



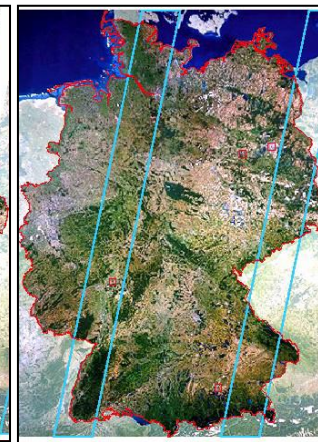
2 dzień



3 dzień



4 dzień

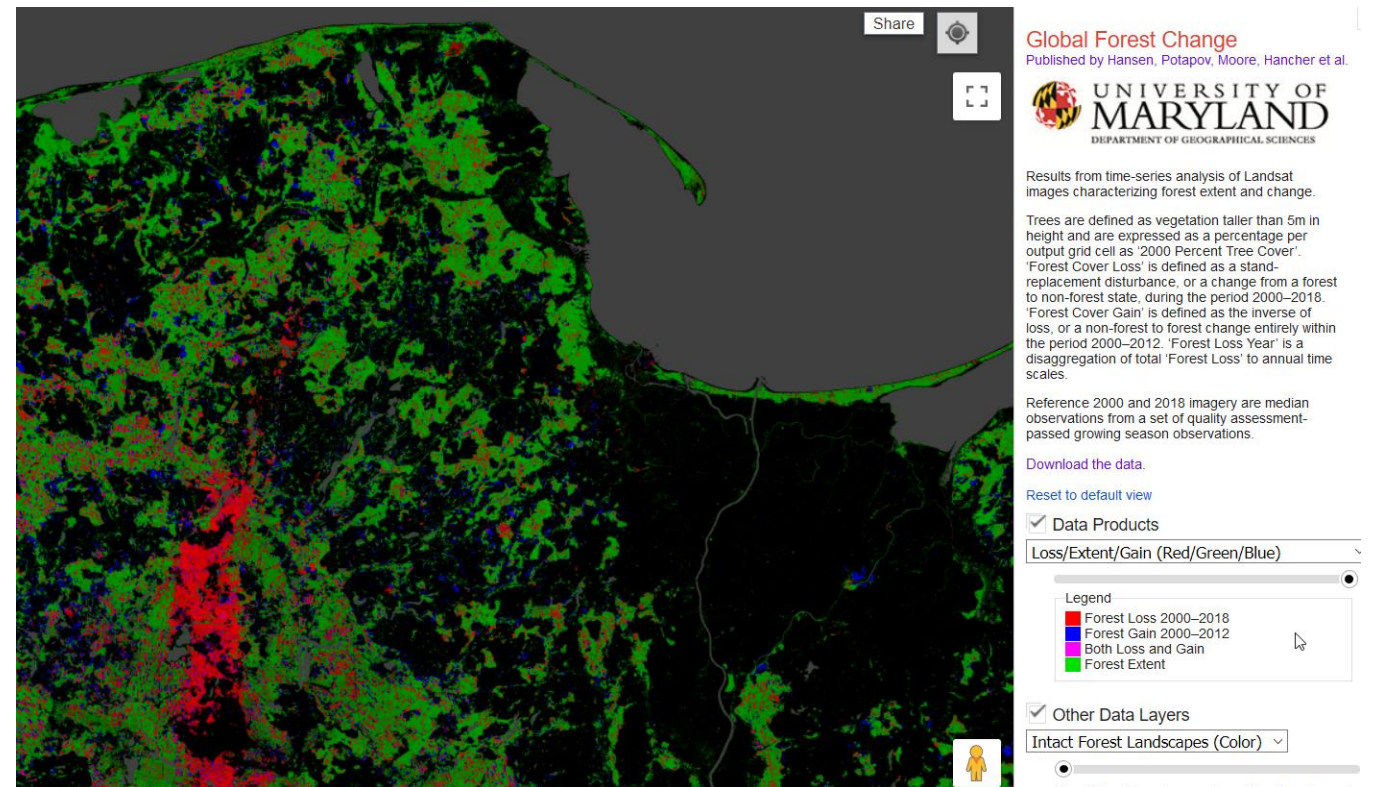


5 dzień

Źródło: Planet Labs, 2020

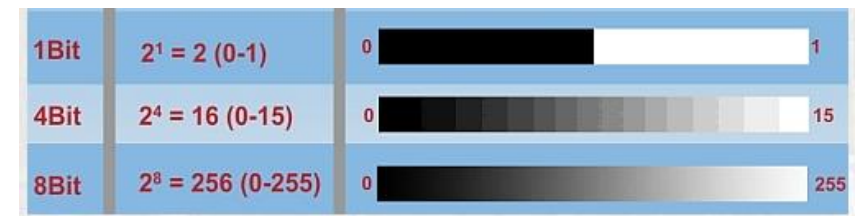
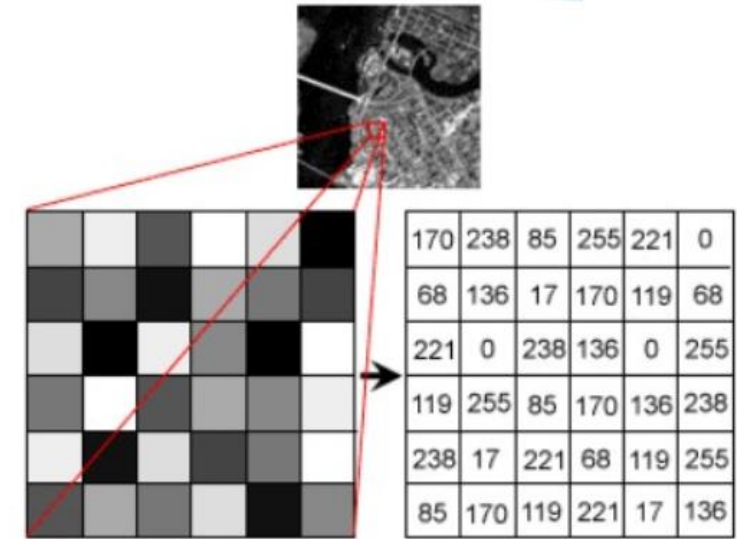
- Zobrazowania obszarów pozyskane w różnych okresach (co miesiąc, co rok, raz na dekadę) mogą być użyte do analiz wieloczasowych. Im częściej pozyskiwane są obrazy (im jest ich więcej) tym serie czasowe są bardziej pełne a analizy bardziej poprawne.
- Przykłady analiz wielo-czasowych:
 - sezonowe zmiany roślinności,
 - monitoring upraw rolniczych,
 - rozwój miast na przestrzeni lat,
 - globalny monitoring lasów,
 - monitoring powodzi,
 - rozwój infrastruktury,
 - zmiany pokrycia i użytkowania (np. projekt Corine Land Cover),
 - monitoring wysychania jezior,
 - monitoring topnienia lodowców i in.

Serwis mapowy Forest Global Change (Landsat 2000-2018 NASA)



Źródło: Hansen i in., 2013

- **Rozdzielczość radiometryczna** informuje o tym, jak szczegółowo mogą być rozróżniane na obrazie różnice w jasnościach, z jaką głębią kolorów zapisywane są informacje. Rozdzielczość radiometryczna mierzona jest za pomocą liczby odcieni szarości.
- Maksimum odcieni, które mogą być zarejestrowane określane jest za pomocą liczby bitów:
 - obraz 1-bitowy (binarny): od 0 do 1 wartości (czarny lub biały),
 - obraz 2-bitowy (4 odcienie): od 0 do 3 odcieni,
 - obraz 4-bitowy (16 odcieni): od 0 do 15 odcieni
 - obraz 6-bitowy (64 odcienie): od 0 do 63 odcieni,
 - obraz 8-bitowy (256 odcieni): od 0 do 255 odcieni,
 - obraz 12-bitowy (4.096 odcieni): od 0 do 4 095 odcieni,
 - obraz 16-bitowy (65.356 odcieni): od 0 do 65 535 odcieni,
 - obraz 24-bitowy (16.777.216 odcieni).
- Większa rozdzielczość radiometryczna pozwala na rejestrację drobnych różnic odbicia lub emisji promieniowania przez obiekty, co z kolei pozwala na dokładniejszą klasyfikację.



Porównanie obrazów o różnej rozdzielczości radiometrycznej Sentinel-2 (Warszawa, 22.09.2019)



16 Bit (65 356 odcieni)

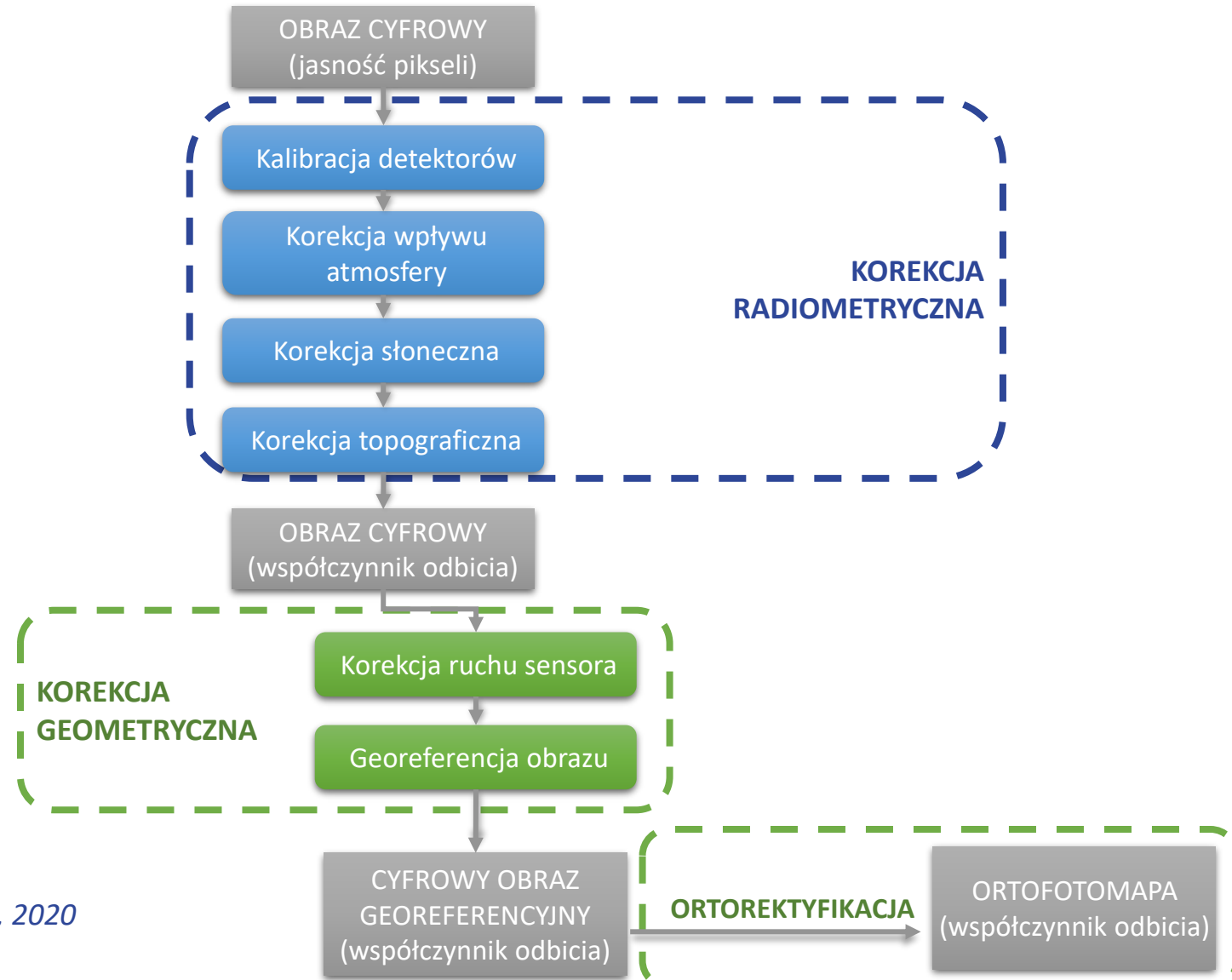


8 Bit (256 poziomów)

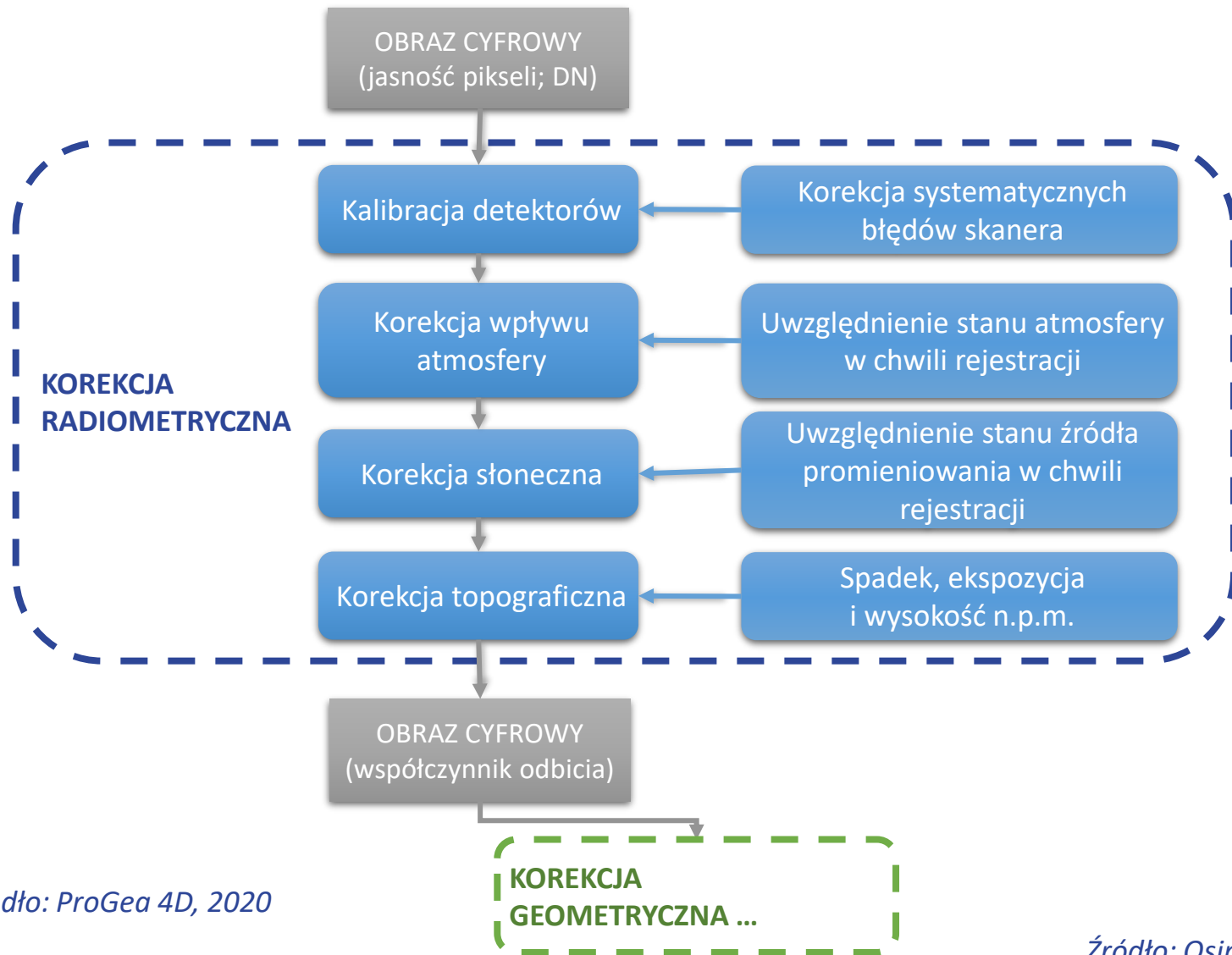


Źródło: ESA, 2019

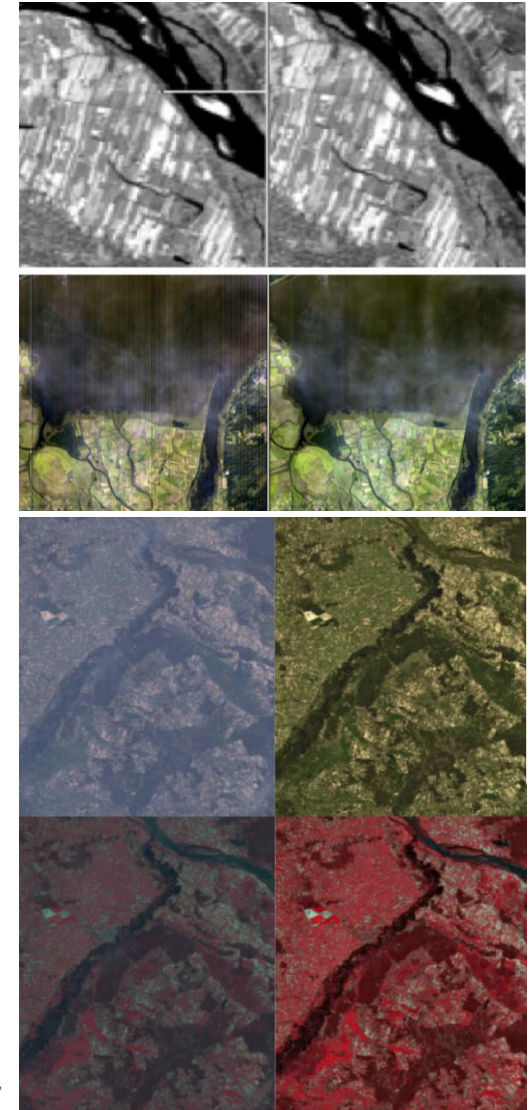
- W celu poprawnego prowadzenia analiz zobrażeń satelitarnych należy poddać je odpowiednim korekcjom.
- Korekcje obrazu satelitarnego dzielimy na:
 - **korekcję radiometryczną,**
 - **korekcję geometryczną.**
- Ortorektyfikacja obrazu to proces przetworzenie obrazu cyfrowego zarejestrowanego w rzucie środkowym do rzutu ortogonalnego przy jednoczesnym usunięciu deniwelacji terenu. Proces ten może stanowić ostatni etap korekcji geometrycznej lub odrębną korekcję.



Źródło: ProGea 4D, 2020



OBRAZY PRZED KOREKCJĄ RADIOMETRYCZNA



OBRAZY PO KOREKCJI RADIOMETRYCZNEJ

Źródło: ProGea 4D, 2020

Źródło: Osińska-Skotak K., 2007



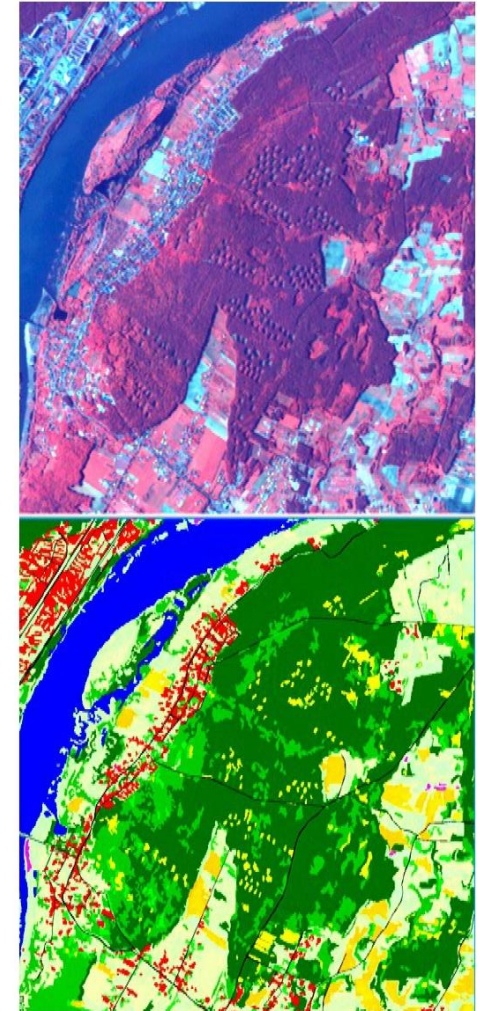
Źródło: ProGea 4D, 2020

Podstawowe wykorzystanie zobrazowań satelitarnych:

- interpretacja wizualna (fotointerpretacja wzrokowa) barwnych kompozycji zestawionych z różnych kanałów spektralnych (RGB lub CIR i inne);
- interpretacja krzywych spektralnych dla wybranych obiektów w czasie (np. rolnictwo);
- klasyfikacja pikselowa obrazów satelitarnych (np. mapy LULC);
- analiza obiektowa (GEOBIA) zobrazowań satelitarnych z użyciem danych GIS i innych (segmentacja obrazu);
- obliczanie i analizowanie wskaźników teledetekcyjnych (np. NDVI – predykcja suszy).

Tworzenie zaawansowanych produktów z wykorzystaniem danych satelitarnych:

- tworzenie nowych produktów na podstawie danych satelitarnych, np. numerycznego modelu terenu (NMT) metodami zobrazowań stereo lub interferometrii radarowej albo chmur punktów LiDAR (np. ICESat-2; GEDI);
- fuzja danych satelitarnych (obrazowych i mikrofalowych) z danymi GIS lub pochodnymi przetworzeń;
- tworzenie produktów pochodnych na podstawie analizy wieloczasowej (detekcja zmian).



Źródło: Wężyk, 2019

W procesie fotointerpretacji zobrazowania (metoda pracochłonna i subiektywna) wykorzystywane są **cechy: bezpośrednie i pośrednie obrazu.**

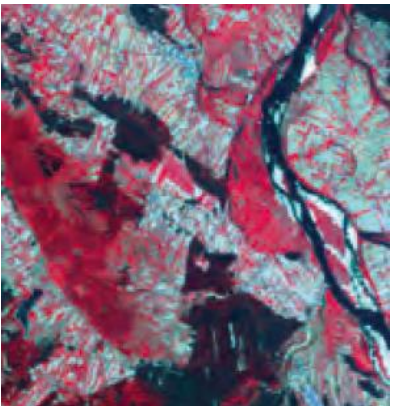
- **Cechy bezpośrednie:**

- ton (barwa, kolor),
- kształt,
- wielkość,
- strukturę obrazu,
- teksturę obrazu,

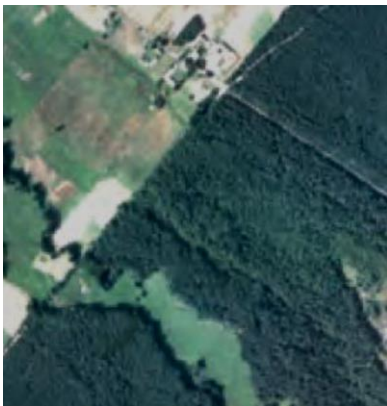
- **Cechy pośrednie:**

- cień i położenie, oraz
- powiązanie z innymi obiektami (asocjacje).

Ton



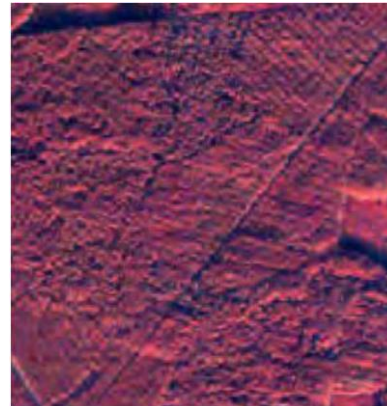
Kształt



Wielkość



Tekstura



Struktura



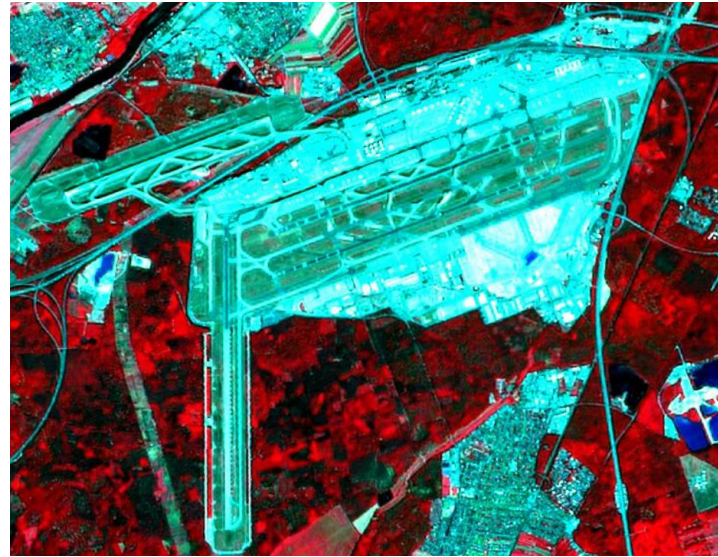
Cień



Źródło: Porzycka-Strzelczyk S., 2019; zmienione

- Kształt – geometria wskazuje najczęściej na pochodzenie obiektu (antropogeniczne/naturalne).
- Regularne bryły (kontury) wskazują na czynnik antropogeniczny, tj. budowle, kanały, drogi, koleje, lotniska.
- Obiekty o nieregularnym przebiegu krawędzi (jezioro, rzeka, elementy rzeźby terenu) wskazują na ich naturalne pochodzenie.
- Kształt pozwala także na pośrednią ocenę zjawisk i właściwości obiektów (np. kierunek biegu rzeki określić można na podstawie kształtu czy dynamiki sedimentacji materiału i tworzenia łach piachu na rzece).

Źródło: Węzyk, 2021



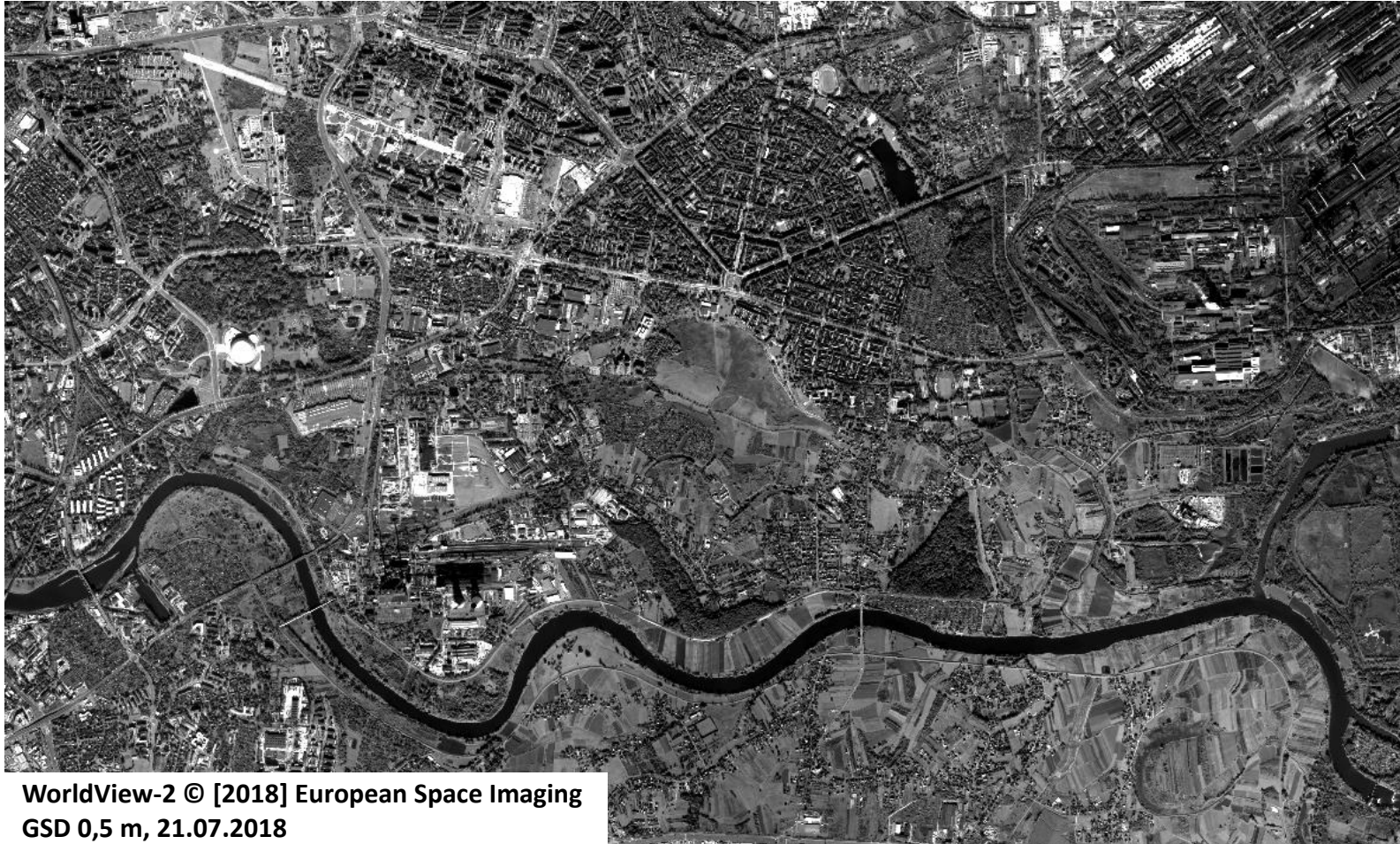
Źródło: ESA, 2020



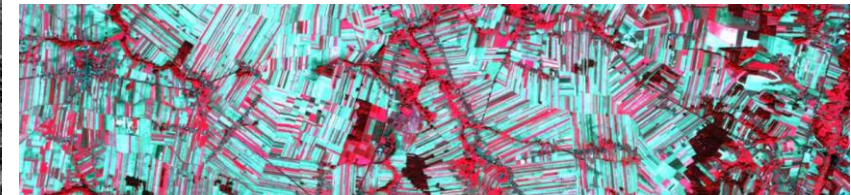
Źródło: EUSI, 2020



Źródło: Geoportal, 2020



WorldView-2 © [2018] European Space Imaging
GSD 0,5 m, 21.07.2018

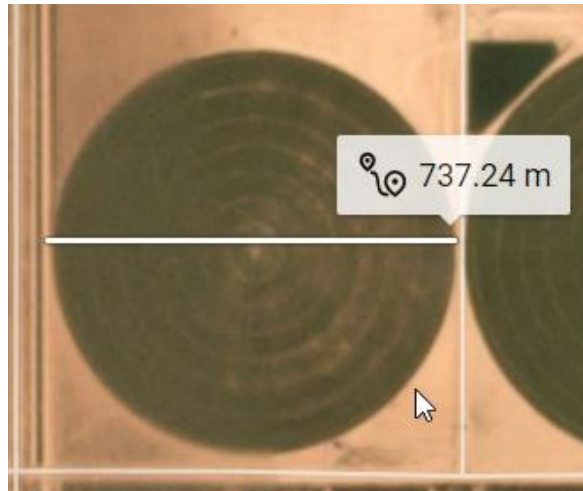


Źródło: ProGea 4D, 2020

- **Wielkość obrazu** – zależy od:
 - jego rzeczywistych wymiarów oraz
 - rozdzielczości zobrazowania czyli sensora systemu (np. zobrazowania satelitarne o GSD 30 m nie są w stanie precyzyjnie oddać obiektu niewielkiego samochodu).
- Wielkości obiektów uzyskuje się poprzez ich wzajemne (relatywne) porównanie, np. wielkości samochodu do wielkości domu, drogi.



Zakopane, 12 cm GSD



Irygacje pól w Arizonie (GSD 3 m)



Irygacje pól w Arizonie (GSD 3 m)

- **Ton obrazu** (fototon) – termin używany w odniesieniu do każdego możliwego do wyróżnienia odcienia szarości od bieli do czerni.
- Ton: jasny, średni i ciemny. Na zobrazowaniu satelitarnym ton obiektu jest uzależniony od ilości odbitego przez obiekt promieniowania (odpowiedzi spektralnej) oraz wpływu atmosfery.
- W przypadku zobrazowań radarowych znaczenie tonu jest inne gdyż jasność obiektu determinowana jest wielkością echa odbitego sygnału odbieranego anteną systemu.

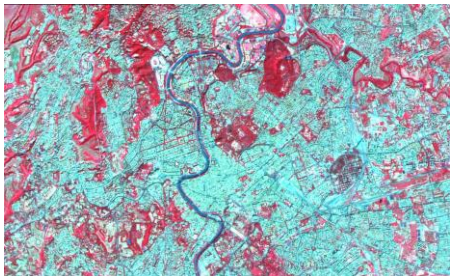
Źródło: Węzyk, 2021

Landsat- 8 (kanał PAN), Kraków,

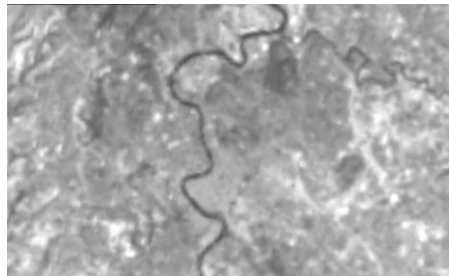


Źródło: LandViewer, 2020

- **Barwa** – znacznie ułatwia proces rozpoznawania obiektów i wykrywania subtelnych różnic pomiędzy podobnymi elementami obrazu. Jej znaczenie jest większe niż tonu obrazu.
- Na zobrazowaniach w podczerwieni termalnej jasność obiektu jest proporcjonalna do energii (ciepła) emitowanej przez obiekt. Na dole przykład: kompozycja CIR Landsat-8 (Rzym, 14.09.2019, GSD 30 m) i kompozycja termalna TIR (GSD 100 m).



Rzym, CIR



Rzym, TIR

Kompozycja CIR, Landsat 8 , CIR (5,4,3) – Kraków (EOS Landviewer)



Źródło: LandViewer, 2020

- **Tekstura obrazu**, czyli jego pokrój:
 - odzwierciedla charakter powierzchni i sposób wykształcenia różnych elementów tworzących obraz, oraz
 - powierzchnie obrazu agregujące w sobie piksele o jednakowym tonie.
- Pojęcie tekstury obrazu obejmuje następujące cechy obrazu: wielkość pojedynczych jego elementów charakteryzujących się jednakowym: fototonem, kształtem elementów oraz stopniem wypełnienia przez nie powierzchni obrazu.
- Wyróżniane typy tekstury obrazu:
 - gładka (amorficzna; ang. *plain structure*),
 - drobnoelementowa (ang. *fine element structure*),
 - średnioelementowa (ang. *moderately-element structure*),
 - wielkoelementowa (ang. *large-element structure*).

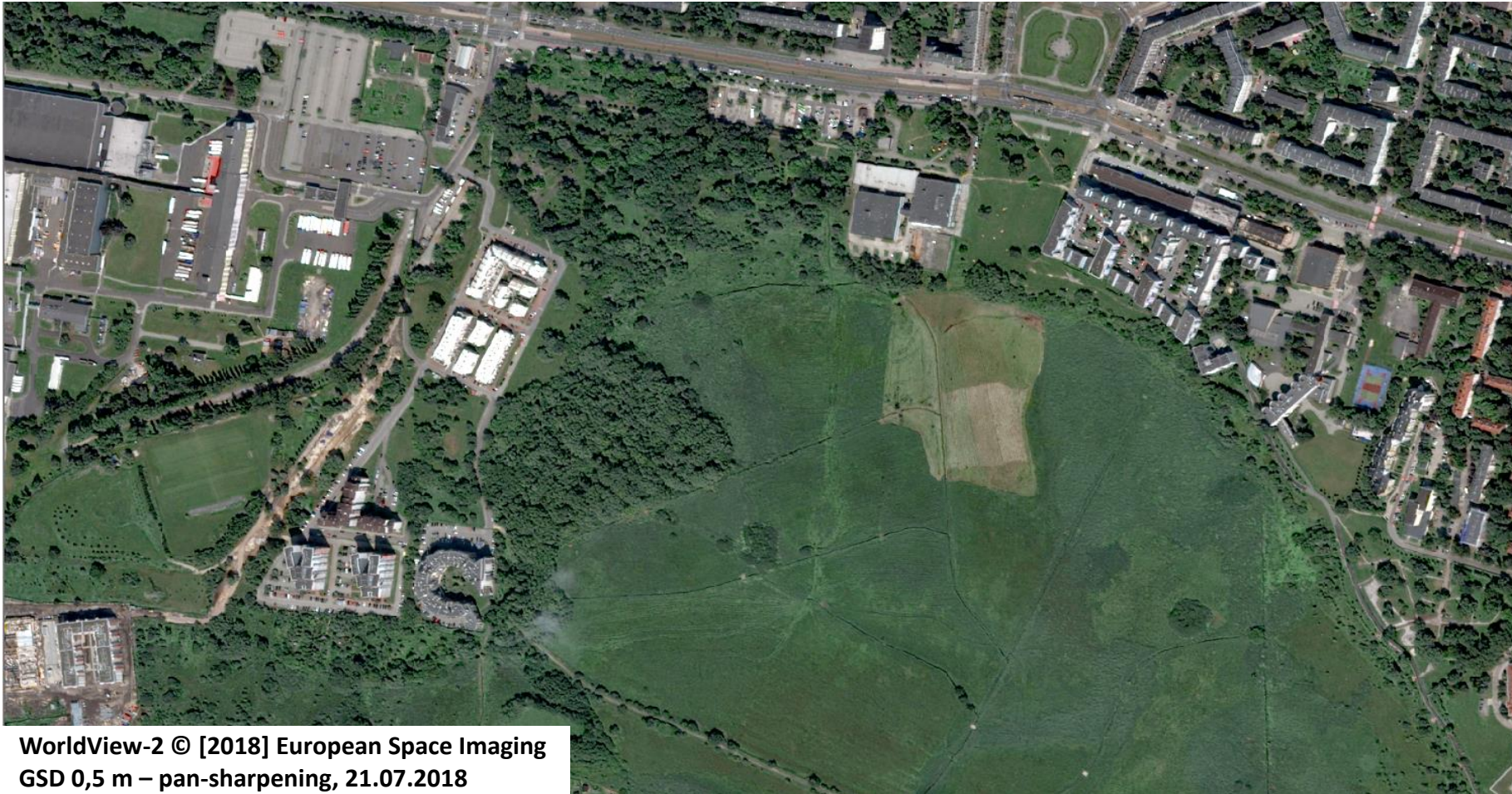


Źródło: Planet Labs 2020



Źródło: Google Maps, 2020

- Tekstura to odzwierciedlenie na obrazie charakteru powierzchni, jego stopnia szorstkości.

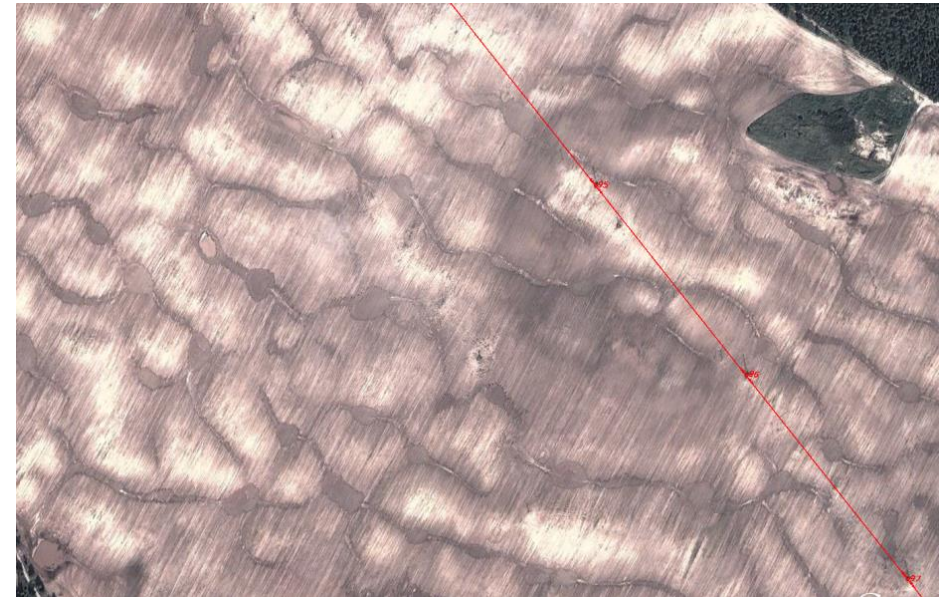


WorldView-2 © [2018] European Space Imaging
GSD 0,5 m – pan-sharpening, 21.07.2018

Źródło: ProGea 4D, 2020

- **Struktura** – pojęcie to określa sposób rozmieszczenia elementarnych powierzchni o jednakowym fototonie na powierzchni obrazu fotograficznego. Pojęcie struktury obrazu obejmuje cechy uporządkowania homogenicznych fotonalnie elementów obrazu, w tym również ich stosunek do tła.
- Wyróżnia się struktury bezładne i uporządkowane.
- Struktura to inaczej zauważalne pogrupowanie mniejszych elementów w większe.
- Wyróżnia się, m.in. typy struktur:
 - plamista dla gleb o różnej zawartości części organicznych,
 - mozaikowa (szachownica) dla pól uprawnych w Małopolsce,
 - „barankowa” dla lasów liściastych w okresie wegetacji,
 - „rowkowa” – np. uprawy roślin okopowych,
 - wachlarzowa dla stożków napływowych, itp.,
 - żyłkowa, prążkowa, blokowa,
 - gruzetkowa, smugowa, itd.

Przykład struktury plamistej



Źródło: Wężyk P., 2019



Sentinel-2 ESA 13.07.2021 r. - Struktura szachownicy

Źródło: EOS LandViewer 2021

- Cienie są oznakami logicznymi, wymagającymi od interpretatora znajomości zjawisk i procesów, które na podstawie zobrażeń zdalnych chce się wykryć i zbadać a wynik interpretacji wykorzystać w praktyce.



Źródło: Google Maps, 2020

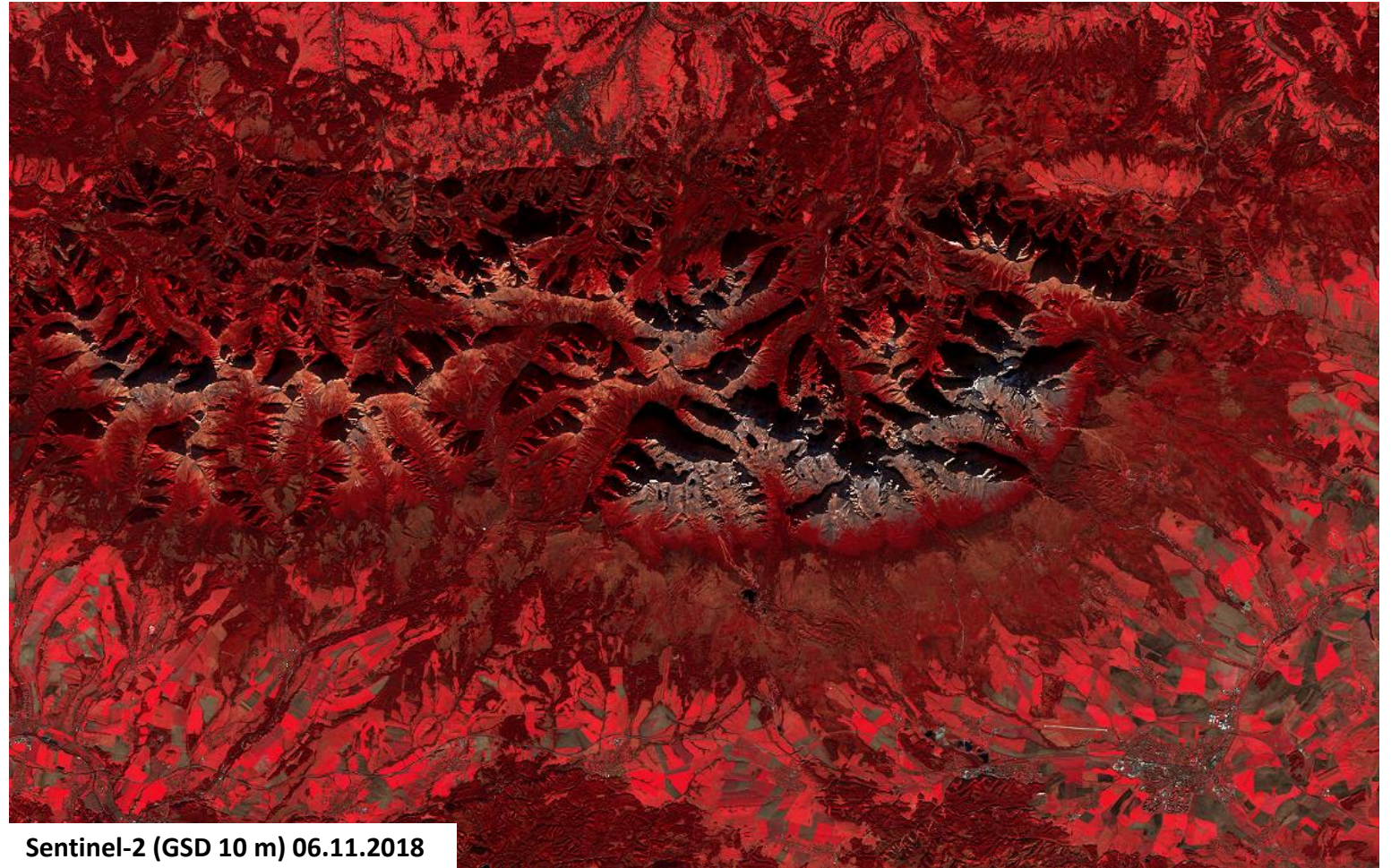


WorldView-3 (GSD 0,3 m) 23.09.2017

Źródło: EUSI, 2020

Kompozycja Sentinel-2 obszaru Tatr, oświetlenie późną jesienią

- **Cień rzucany** przez obiekt ułatwia często jego rozpoznanie szczególnie w przypadku wysokich obiektów (góry).
- Przy niskim kącie oświetlenia przez Słońce (wczesna wiosna i jesień) cienie są szczególnie widoczne na obrazie. Mogą one zakłócać fotointerpretację otoczenia są jednak cecha logicznego procesu kojarzenia.



Sentinel-2 (GSD 10 m) 06.11.2018

Źródło: ProGea 4D, 2020

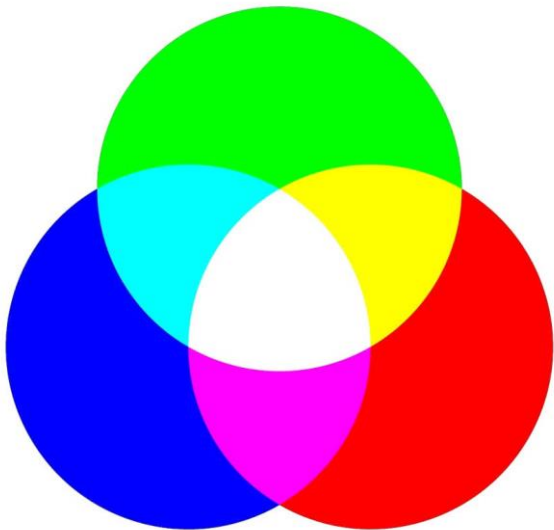
- Położenie, czyli rozmieszczenie topograficzne obiektu i jego kontekstowe powiązanie z innymi elementami terenu (tzw. asocjacje).



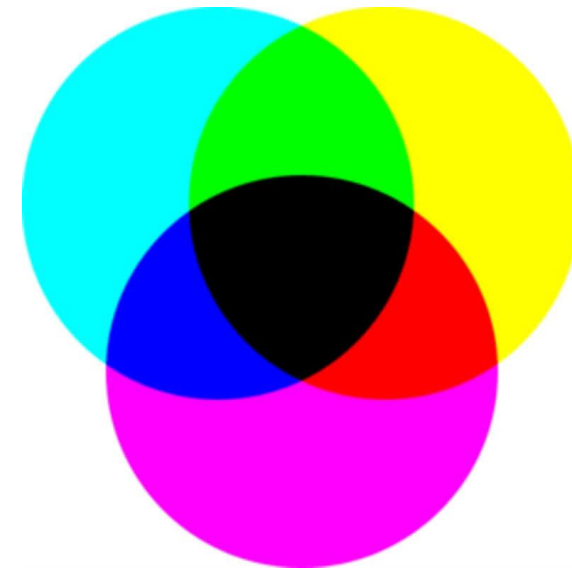
WorldView-2 © [2018] European Space Imaging
GSD 0,5 m – pansharpning, 21.07.2018

Źródło: ProGea 4D, 2020

- Oko ludzkie jest zdolne rozróżnić zaledwie 20 – 30 tonów szarości, ale aż około 20.000 barw.
- Pomocne w fotointerpretacji są kompozycje barwne utworzone przy użyciu wybranych zakresów spektralnych (kanałów).
- Kompozycję barwną tworzy się poprzez addytywne zabarwienie wybranych kanałów (zakresów spektralnych) 3 barwami podstawowymi, tj.: czerwoną, zieloną i niebieską.



Metoda addytywna mieszania



Metoda subtraktywna mieszania

Źródło: ProGea 4D, 2020

Kompozycje barwne - RGB

- Kompozycję barwną w barwach naturalnych uzyskuje się zabarwiając kanały: niebieski (B), zielony (G) oraz czerwony (R) - odpowiednio barwami: niebieską, zieloną i czerwoną.



Kanał niebieski (B)
zabarwiany światłem niebieskim



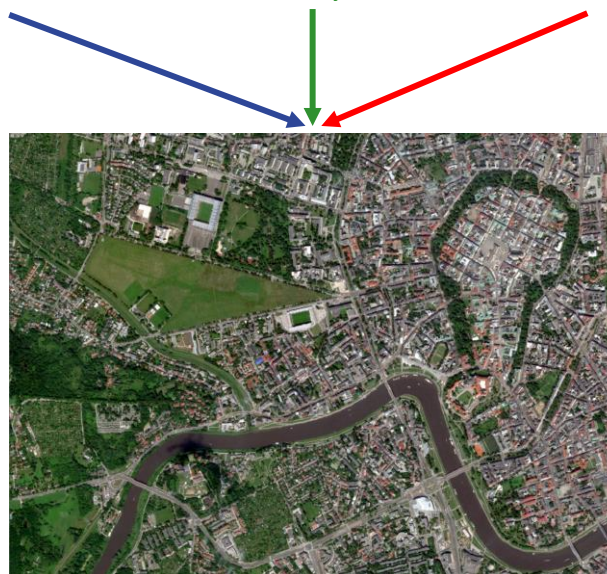
Kanał zielony (G)
zabarwiany światłem zielonym



Kanał czerwony (R)
zabarwiany światłem czerwonym



Kanał bliskiej podczerwieni (NIR)
nie wchodzi w skład kompozycji w barwach naturalnych



Kompozycja w barwach naturalnych RGB



WorldView-2 © [2018]
European Space Imaging
(GSD 0,5m PAN)
21.07.2018

Źródło: ProGea 4D, 2020

Kompozycje barwne - CIR

- Kompozycję barwną w tzw. barwach umownych (ang. *false colour*; pl. zafalszowanych) - np. CIR (ang. *Color InfraRed*), uzyskuje się podstawiając kanał bardzo bliskiej podczerwieni (NIR) niewidzialnej dla oka ludzkiego w miejsce kanału czerwonego (Red) – składowa czerwona. Kanał czerwony zajmuje natomiast miejsce składowej zielonej, a kanał zielony (Green) miejsce składowej niebieskiej.



Kanał niebieski BLUE
nie wchodzi w skład kompozycji w barwach umownych



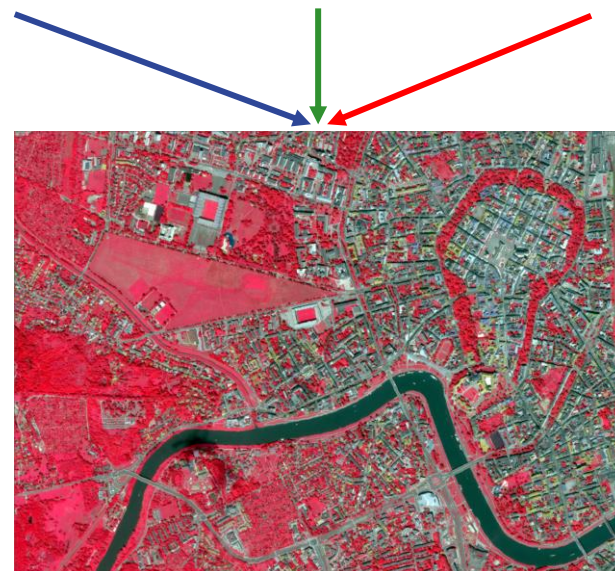
Kanał zielony GREEN
zabarwiany światłem niebieskim



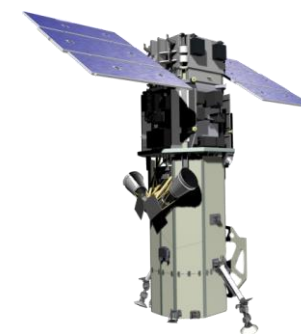
Kanał czerwony RED
zabarwiany światłem zielonym



Kanał podczerwieni NIR
zabarwiany światłem czerwonym



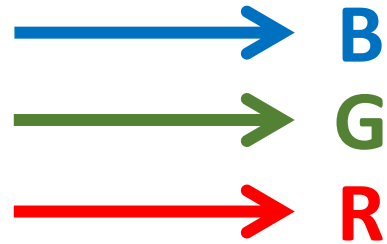
Kompozycja CIR w barwach umownych



WorldView-2 © [2018]
European Space Imaging
(GSD 0,5m PAN)
21.07.2018

Źródło: ProGea 4D, 2020

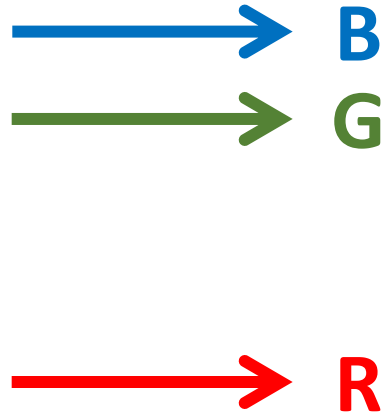
Kanał spektralny	Zakres spektralny (μm)
1	0,450 – 0,515
2	0,525 – 0,605
3	0,630 – 0,690
4	0,750 – 0,900
5	1,550 – 1,750
6	10,40 – 12,50
7	2,08 – 2,35
8 (PAN)	0,52 – 0,90



Źródło: SEOS, 2020

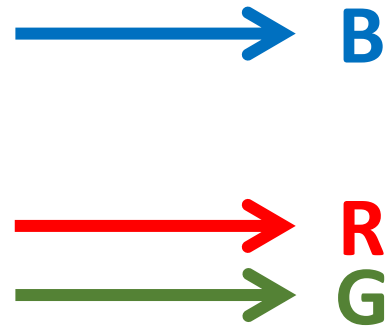
Kompozycja barwna 521 (Landsat 7)

Kanał spektralny	Zakres spektralny (μm)
1	0,450 – 0,515
2	0,525 – 0,605
3	0,630 – 0,690
4	0,750 – 0,900
5	1,550 – 1,750
6	10,40 – 12,50
7	2,08 – 2,35
8 (PAN)	0,52 – 0,90



Źródło: SEOS, 2020

Kanał spektralny	Zakres spektralny (μm)
1	0,450 – 0,515
2	0,525 – 0,605
3	0,630 – 0,690
4	0,750 – 0,900
5	1,550 – 1,750
6	10,40 – 12,50
7	2,08 – 2,35
8 (PAN)	0,52 – 0,90



Źródło: SEOS, 2020

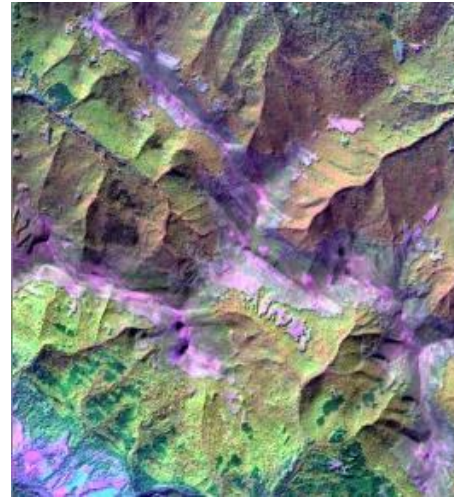
Kompozycje barwne obrazów PlanetScope Dove (GSD 3,0 m)



123



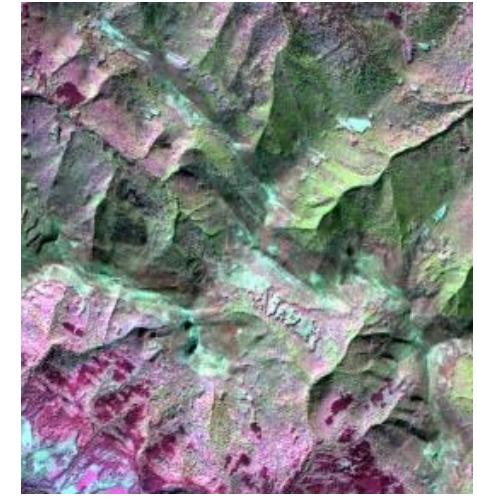
234



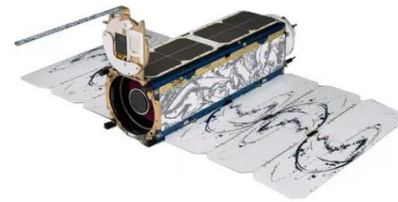
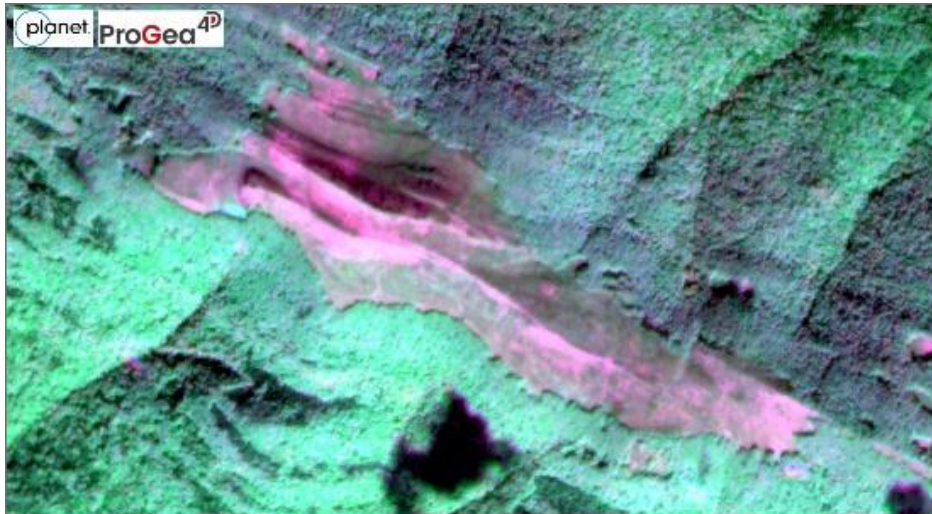
341



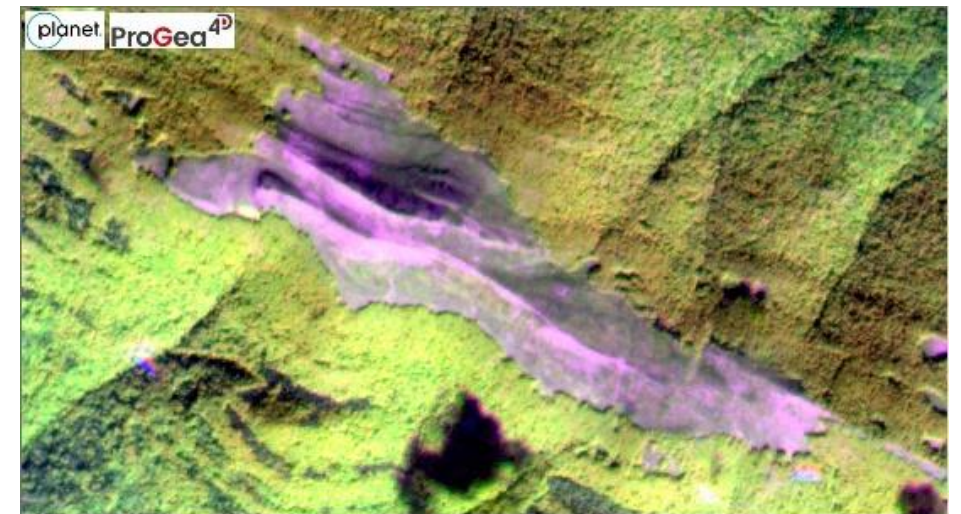
421



432

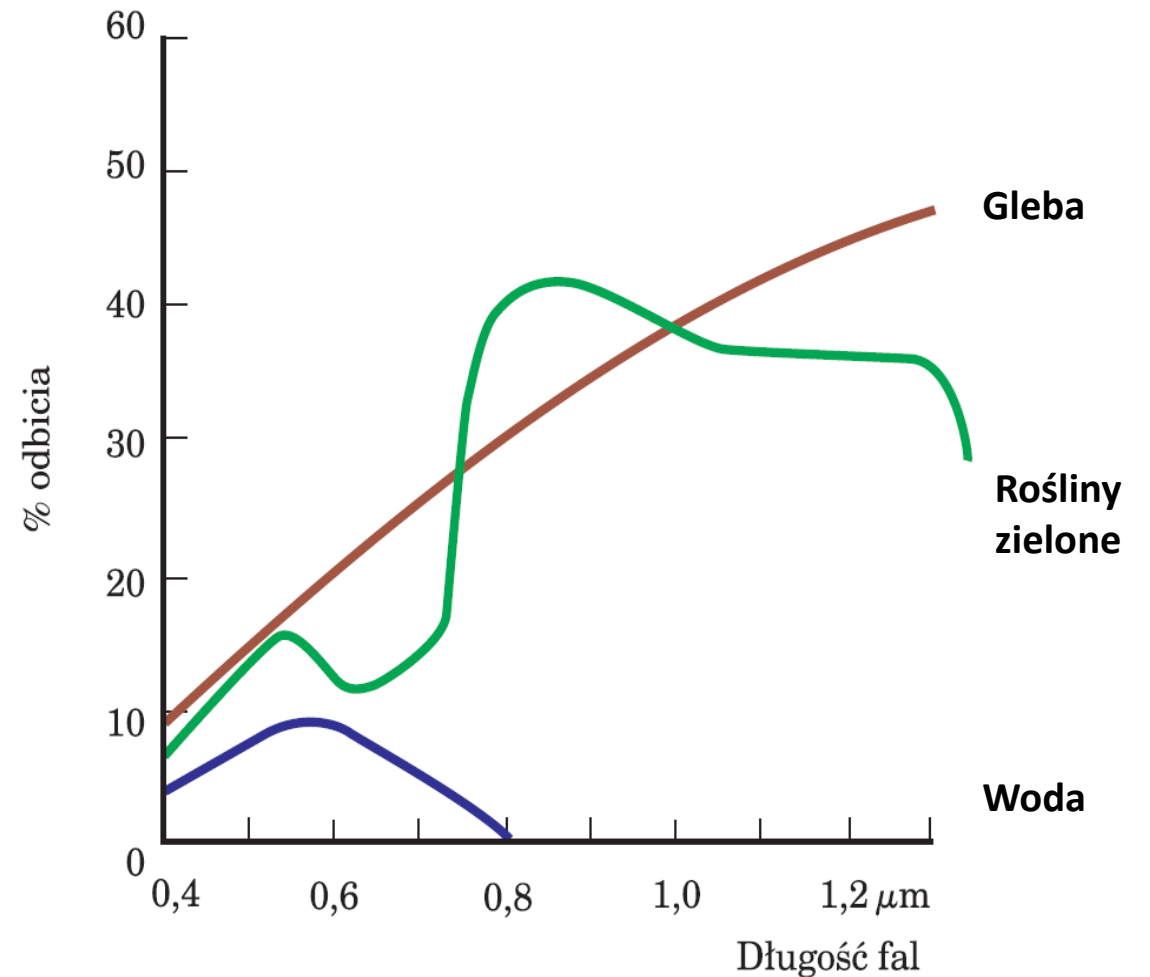


Bieszczady – X.2021
Kombinacje kanałów
spektralnych
nanosatelitów



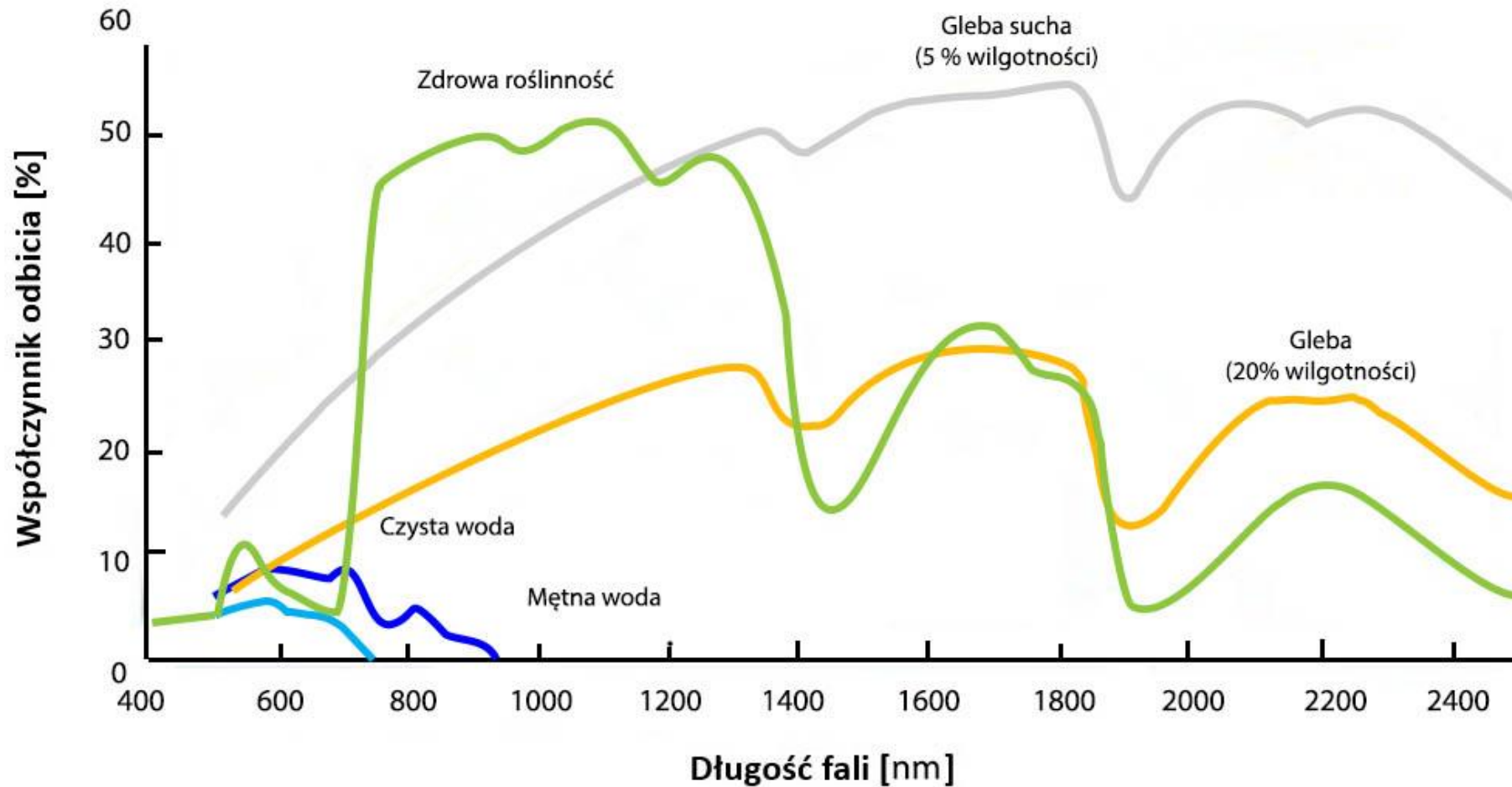
Źródło: Planet Labs, 2021

- **Krzywa spektralna** pozwala na scharakteryzowanie (opis) i sklasyfikowanie obiektów na obrazach cyfrowych.
- Różnice w przebiegu krzywych spektralnych różnych obiektów pozwalają na:
 - wybór kanałów spektralnych do głębszej analizy danego obiektu (np. kanału bardzo bliskiej podczerwieni NIR do analiz kondycji roślinności);
 - taki dobór kanałów, by łatwo było rozróżnić od siebie analizowane obiekty (np. kanał czerwony wykorzystywany do rozróżnienia gleby pozbawionej pokrywy roślinnej od zdrowej roślinności czy wody).



Źródło: Wiśniewska E., 2011

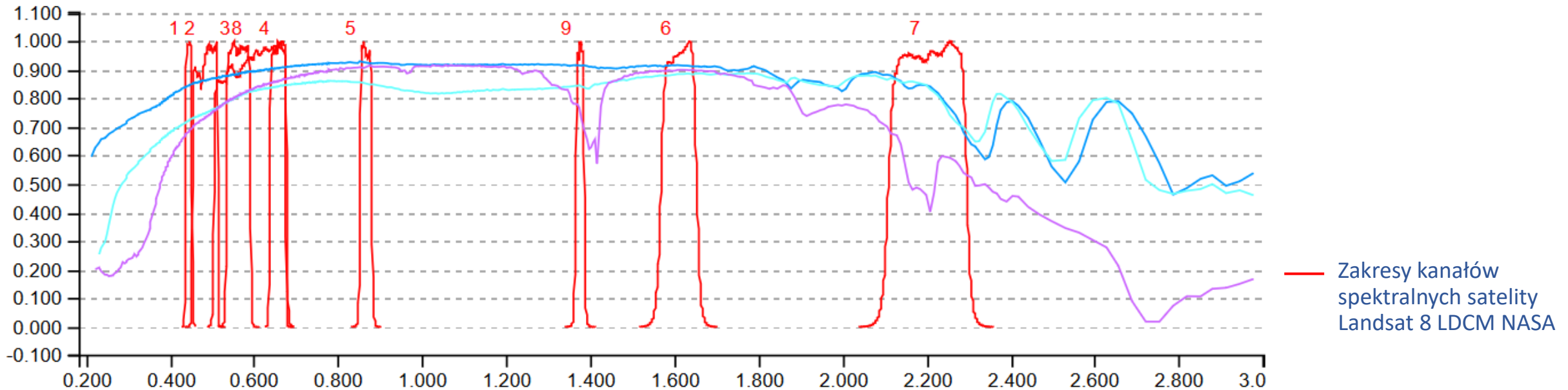
Przebieg krzywych spektralnych dla gleby, wody i roślinności.



Źródło: Wężyk 2020 za Agarwal S. i in., 2005

Krzywe odbicia spektralnego trzech wybranych minerałów:

- kalcyt – krzywa o barwie ciemnoniebieskiej,
- dolomit – krzywa o barwie jasnoniebieskiej,
- kaolinit – krzywa o barwie fioletowej.



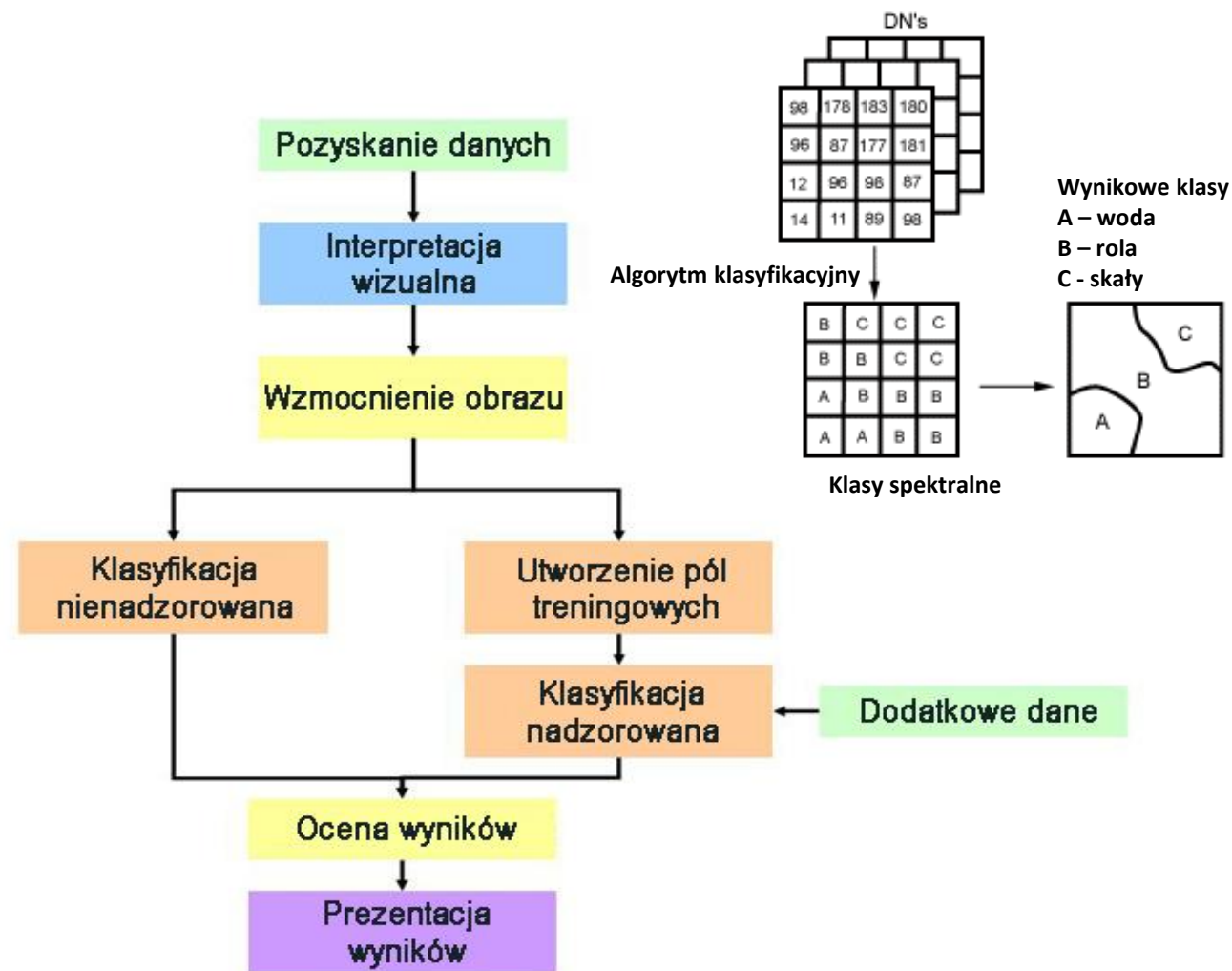
Źródło: United States Geological Survey (USGS), 2019

Metody klasyfikacji:

- klasyfikacja nienadzorowana,
- klasyfikacja nadzorowana.

Typy klasyfikacji:

- metody pikselowe, w których analiza jest wykonywana na podstawie statystyk wartości jasności pikseli obrazu w poszczególnych kanałach spektralnych i odniesienia do pól uczących (treningowych);
- metody obiektowe – OBIA (ang. *Object Based Image Analysis*), w których analiza jest wykonywana na podstawie analizy jasności piksela oraz analizy jego otoczenia (analiza wartości jasności piksela oraz jego kształt, tekstury i powierzchni).



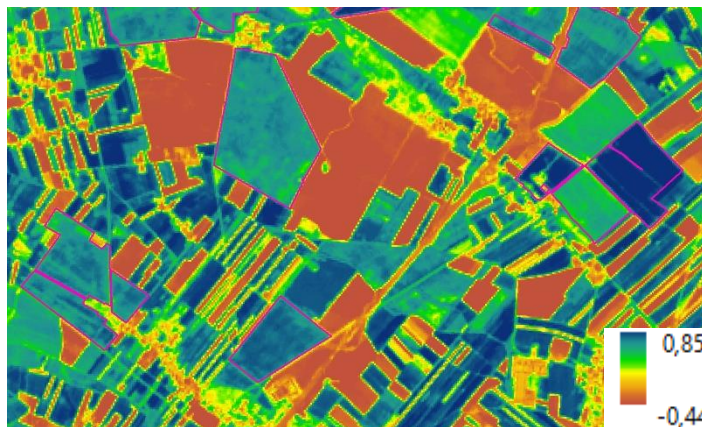
Wskaźniki teledetekcyjne

- **Wskaźniki teledetekcyjne** charakteryzują wybrane właściwości badanych obiektów.
- Wskaźniki teledetekcyjne oblicza się za pomocą matematycznych zależności wartości odbicia w poszczególnych kanałach spektralnych.
- Zastosowanie wskaźników teledetekcyjnych:
 - rolnictwo – typu upraw,
 - kondycja lasów, typy drzewostanów,
 - detekcja pożarów,
 - geologia,
 - kartowanie gleb,
 - monitoring jakości zbiorników wodnych i wiele innych.
- Baza (519) wskaźników teledetekcyjnych <https://www.indexdatabase.de/>

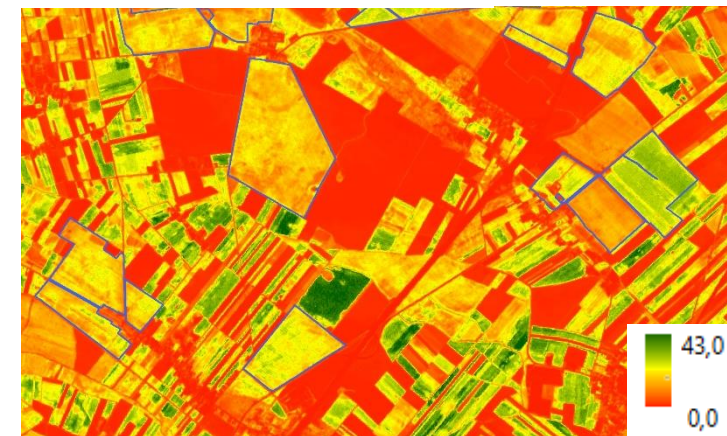
Znormalizowany różnicowy wskaźnik wegetacji $NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$



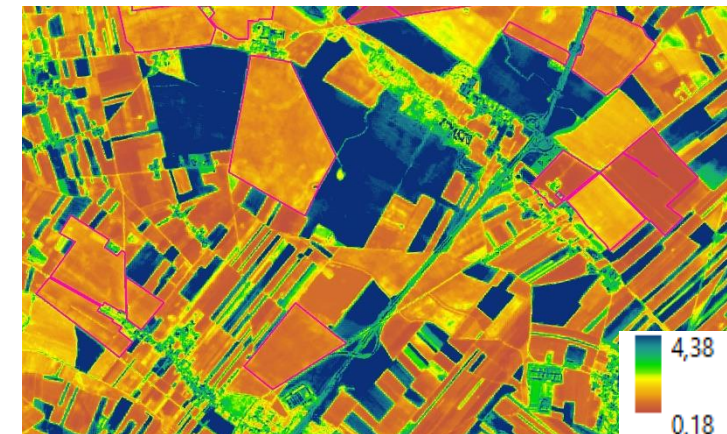
Znormalizowany różnicowy wskaźnik wilgotności $NDWI = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}$



Wskaźnik Simple Ratio $SR = \frac{NIR}{Red}$

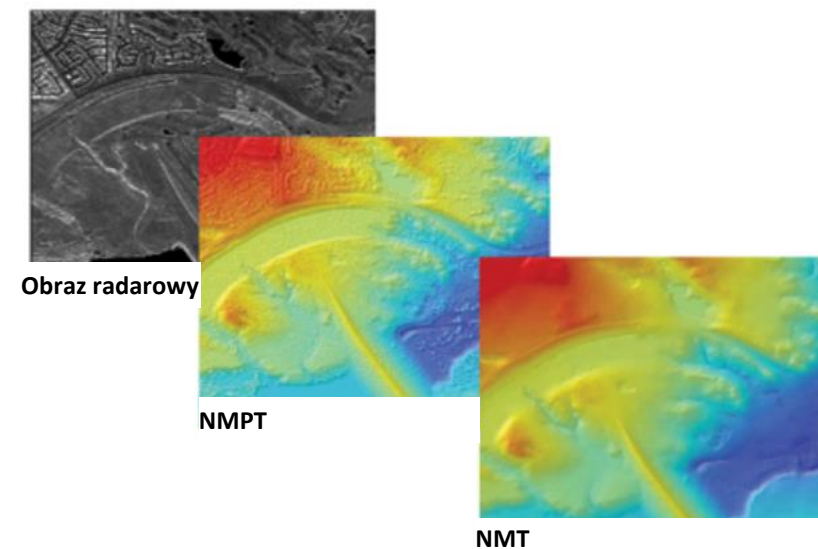
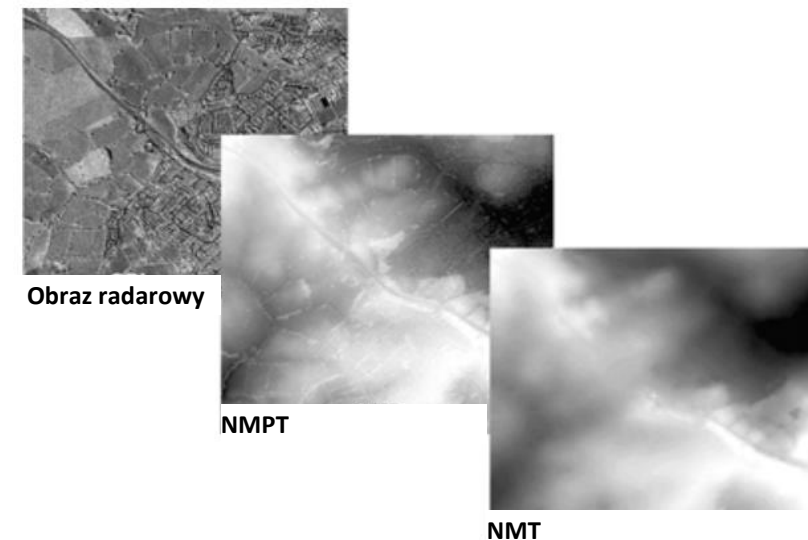


Wskaźnik stresu wodnego $MSI = \frac{SWIR}{NIR}$



Źródło: ProGea 4D, 2020

- **Numeryczny model terenu (NMT)** to zbiór punktów reprezentujących wysokości topograficzne powierzchni terenu wraz z algorytmem interpolacyjnym pozwalającym na odtworzenie tej powierzchni w dowolnym miejscu.
- **Numeryczny model pokrycia terenu (NMPT)** to zbiór punktów reprezentujących wysokości topograficzne powierzchni terenu oraz elementów pokrycia terenu (drzewa, budynki, itp.) wraz z algorytmem interpolacyjnym pozwalającym na odtworzenie tej powierzchni w dowolnym miejscu.
- NMT i NMPT można pozyskać m.in. metodą interferometrii radarowej (InSAR) wykorzystującą obrazy radarowe bądź metodą LiDAR ALS lub SLS.



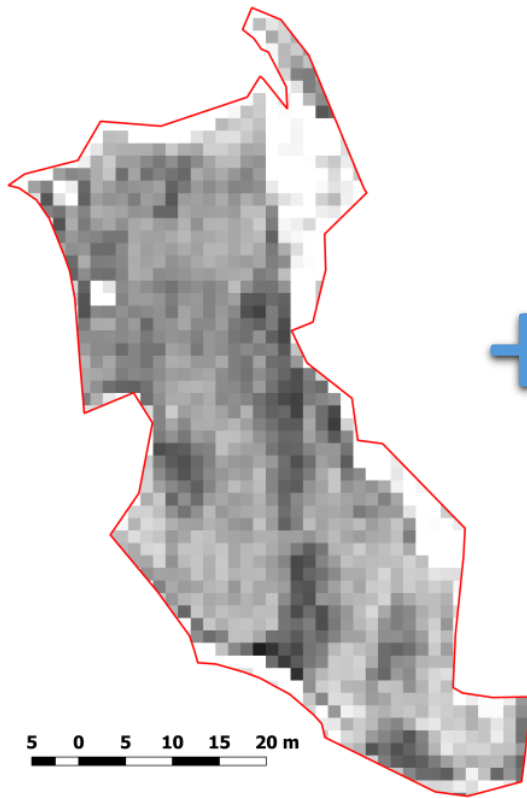
Źródło: Geoforum, 2020

Fuzja danych teledetekcyjnych z różnych źródeł

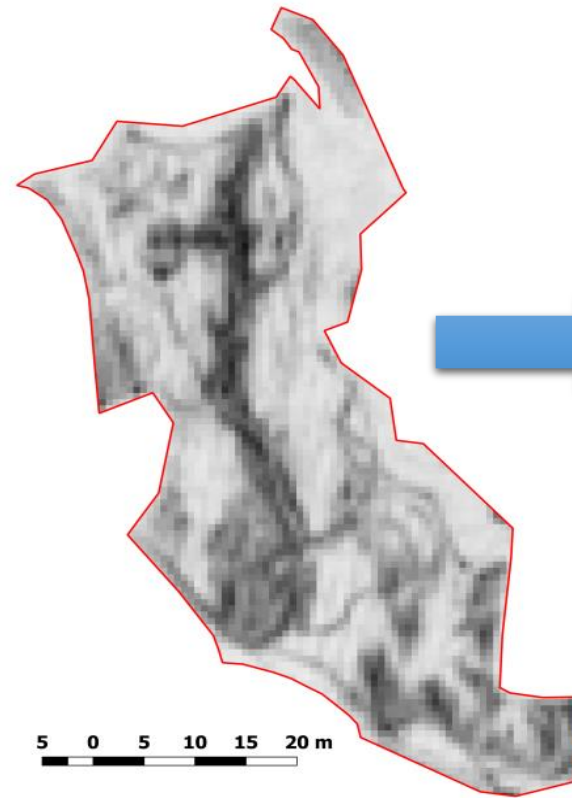
Numeryczny
Model Terenu



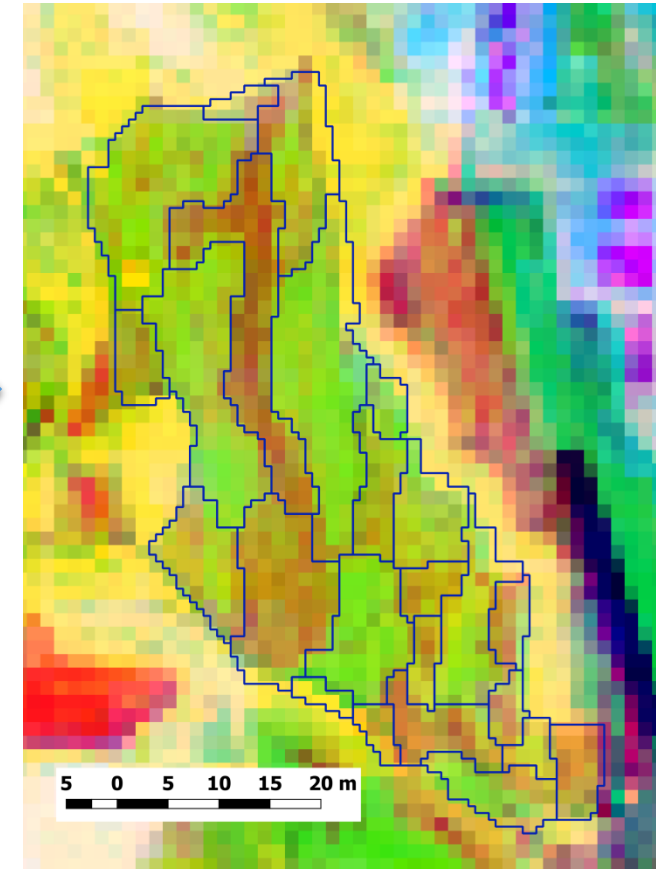
Znormalizowany różnicowy
wskaźnik śniegu (NDSI)



Znormalizowany różnicowy
wskaźnik roślinności (NDVI)



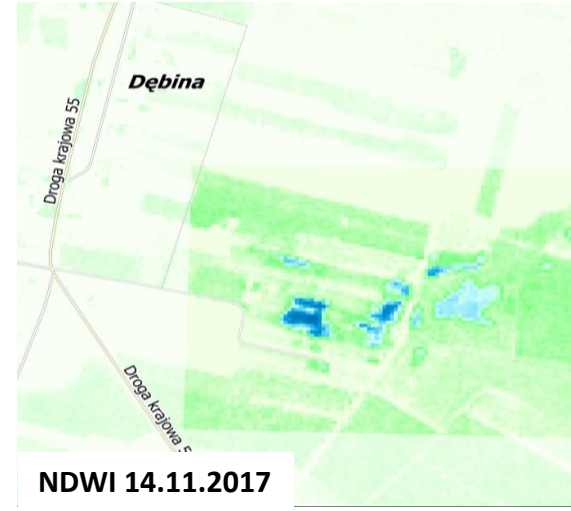
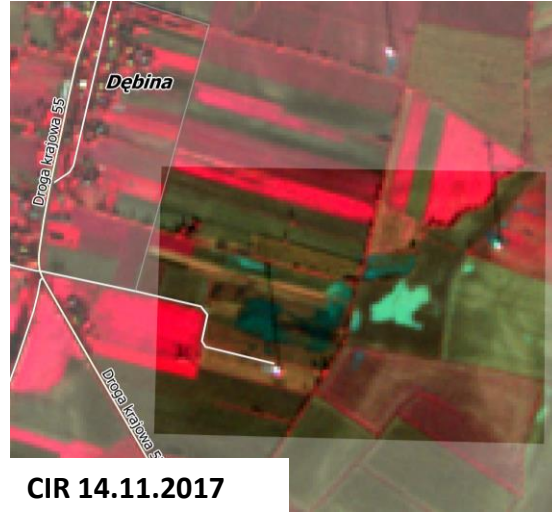
Obszary o podobnych
warunkach wzrostu upraw



Źródło: IGIK, 2018

Fuzja danych teledetekcyjnych z różnych źródeł

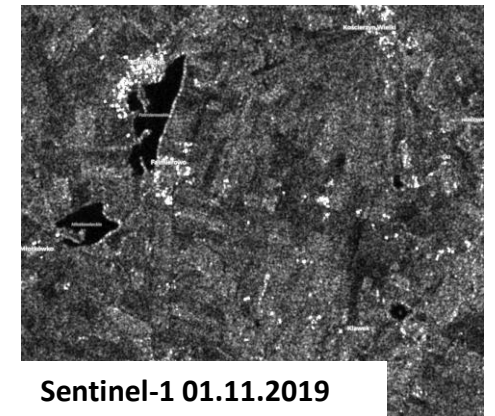
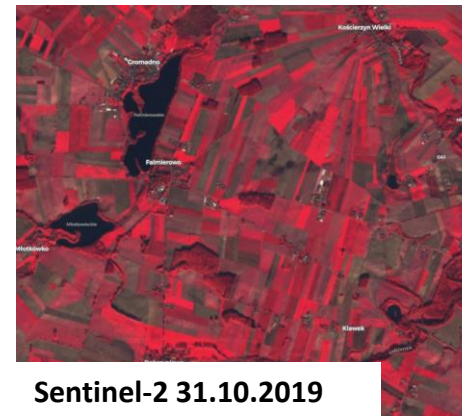
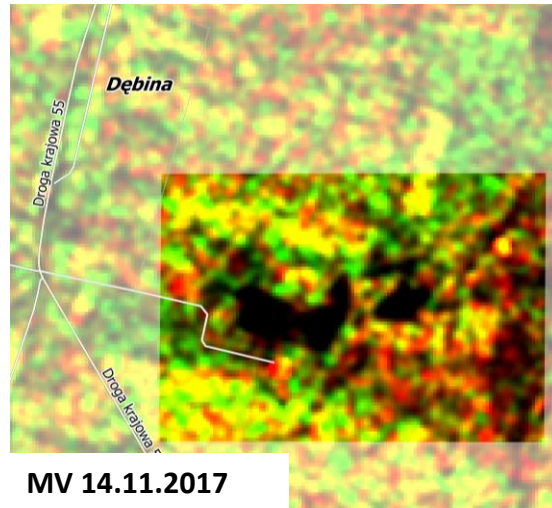
Dane optyczne



Synergia danych optycznych i radarowych:

- przykład wyznaczenia powierzchni wody stagnującej na polach uprawnych.

Dane radarowe



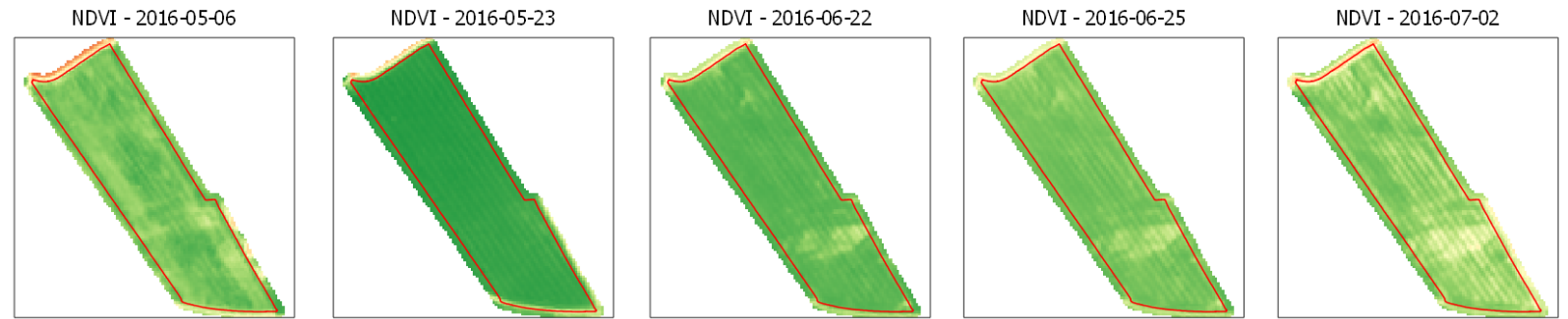
Źródło: Gatkowska M., 2019

Źródło: ESA, 2019

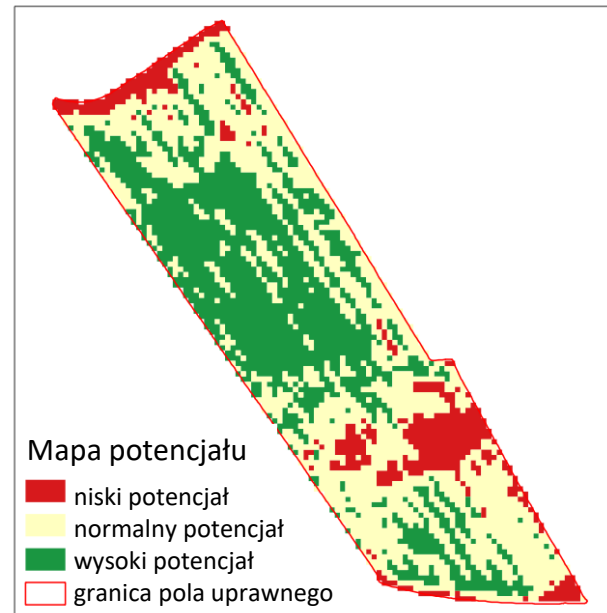
- Analiza przebiegu znormalizowanego różnicowego wskaźnika roślinności (NDVI).
- Analiza przebiegu kondycji upraw.
- Mapa potencjału plonu.
- Prognozowanie plonu.
- Mapa przebiegu suszy glebowej.



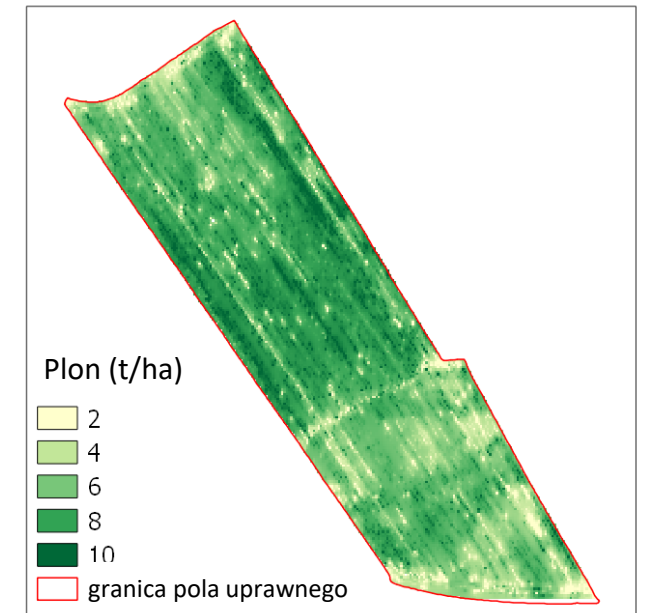
Źródło: ProGEa 4D, 2020



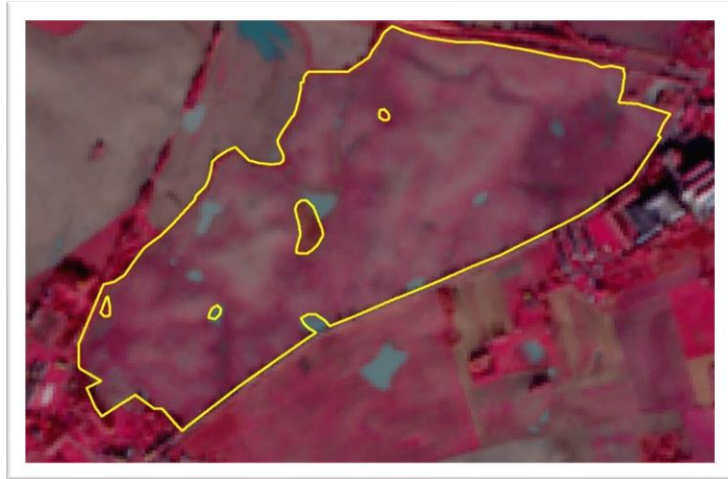
Mapa potencjału pola uprawnego



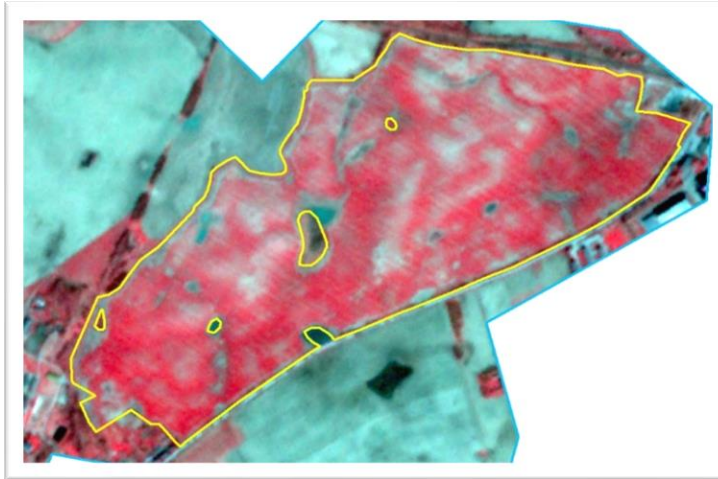
Mapa prognozy plonu



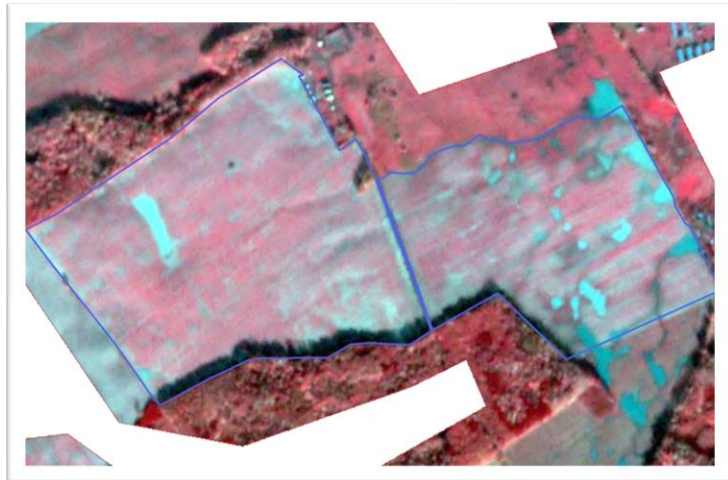
Źródło: IGiK, 2020



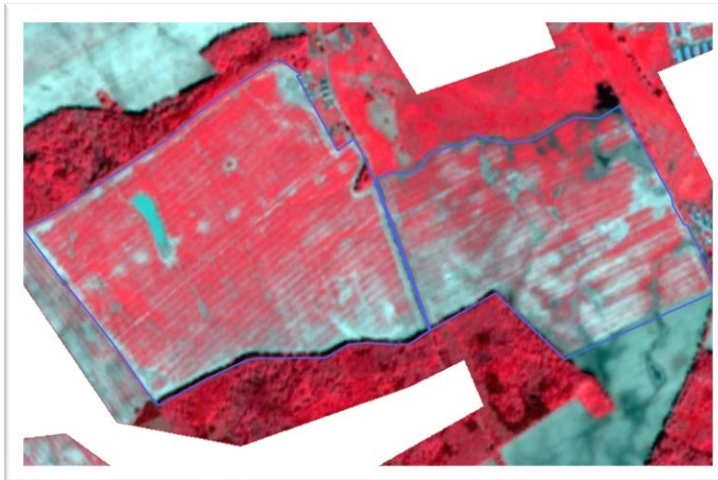
Pszenica ozima, 07.11.2017



Pszenica ozima, 18.04.2018

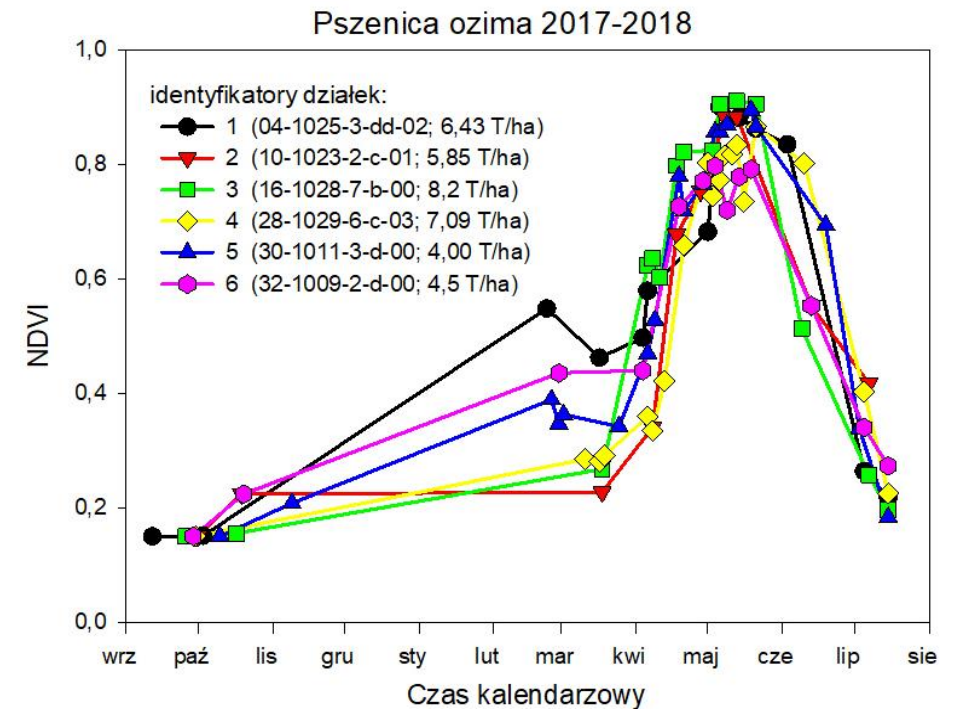


Rzepak ozimy, 31.10.2017



Rzepak ozimy, 05.05.2018

Serie obrazów PlanetScope Dove oraz Sentinel-2 wsparte danymi meteorologicznymi (IMGW), MODIS oraz GIS pozwalają na opracowanie map predykcji plonu z użyciem uczenia maszynowego.



Źródło: ProGea 4D 2020

- Systemy satelitarne pracują w przestrzeni kosmicznej już od lat 60-tych XX wieku i wciąż znajdują nowe zastosowania w wielu dziedzinach życia i gospodarki.
- W zależności od przeznaczenia, satelity poruszają się po różnych orbitach (LEO, MEO, GEO) na różnych wysokościach nad powierzchnia Ziemi.
- Sensory na platformach satelitarnych klasyfikowane są na: aktywne (radarowe, LiDAR) oraz pasywne (optyczne).
- Sensory umieszczone na pokładach satelitów różnią się od siebie rozdzielczościami: przestrzenną, spektralną i radiometryczną. Same satelity mają różne możliwości uchylenia kamer przez co zwiększa się rozdzielczość czasowa.
- Krzywe spektralne w zakresie optycznym dostarczają informacji o badanych obiektach i zachodzących zjawiskach.
- Odpowiednio dobrane kompozycje barwne zobrazowań pozwalają użytkownikowi na subiektywną fotointerpretację obiektów i zachodzących procesów.
- Klasyfikacja obrazu (pikselowa i obiektowa) nie jest zwykle subiektywna gdyż zależy od algorytmu i próby uczącej.
- Fuzja danych satelitarnych z danymi z innych źródeł (np. GIS, BSP) znacznie wzbogaca analizę danych.
- Tworzone z wykorzystaniem danych satelitarnych zaawansowane produkty wspierają procesy decyzyjne podejmowane przez administrację publiczną.

- Misje satelitarne zaprojektowane są w taki sposób, aby zapewnić ciągłość pozyskiwania danych, dzięki czemu można prowadzić monitoring zjawisk i obiektów od lat 70-tych do dnia dzisiejszego (seria Landsat).
- Teledetekcja satelitarna w zależności od typu sensora i konstelacji umożliwia obrazowanie rozległych obszarów w bardzo krótkim czasie (od setek do tysięcy km²).
- W zależności od systemu i konstelacji, powtarzalność rejestracji określonego obszaru, następuje co kilka do kilkunastu dni, a czasem nawet codziennie. Niebawem pojawią się konstelacje wysokorozdzielczych satelitów rejestrujące kilkadziesiąt razy dziennie ten sam obszar dzięki dużej liczbie satelitów na wielu orbitach LEO.
- Obrazy teledetekcyjne dają możliwość ilościowego i jakościowego kwantyfikowania obiektów na podstawie rejestracji przez radiometrycznie skalibrowane sensory umieszczone na satelitach.
- Zróżnicowanie technik rejestracji zobrazowań (radarowe, optyczne – w tym LiDAR) pozwala zaprezentować dany obszar w różnym stopniu szczegółowości i z podkreśleniem wybranych cech obiektów w zależności od potrzeb końcowego użytkownika.
- Dane teledetekcyjne same w sobie są obiektywnym zapisem informacji przestrzennej. Możemy wciąż zmieniać i doskonalić metody klasyfikacji a dane pozostaną takie same.

OPRACOWALI:

dr hab. inż. Piotr Wężyk, prof. URK
CEO ProGea 4D

dr inż. Urszula Cisto-Lesicka
ProGea 4D

