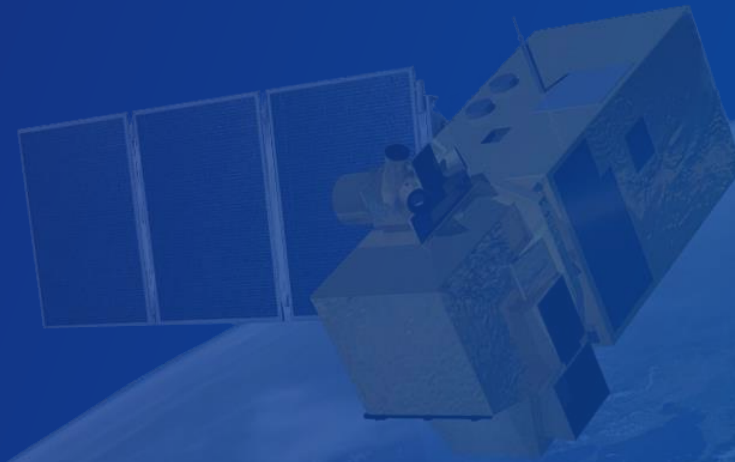


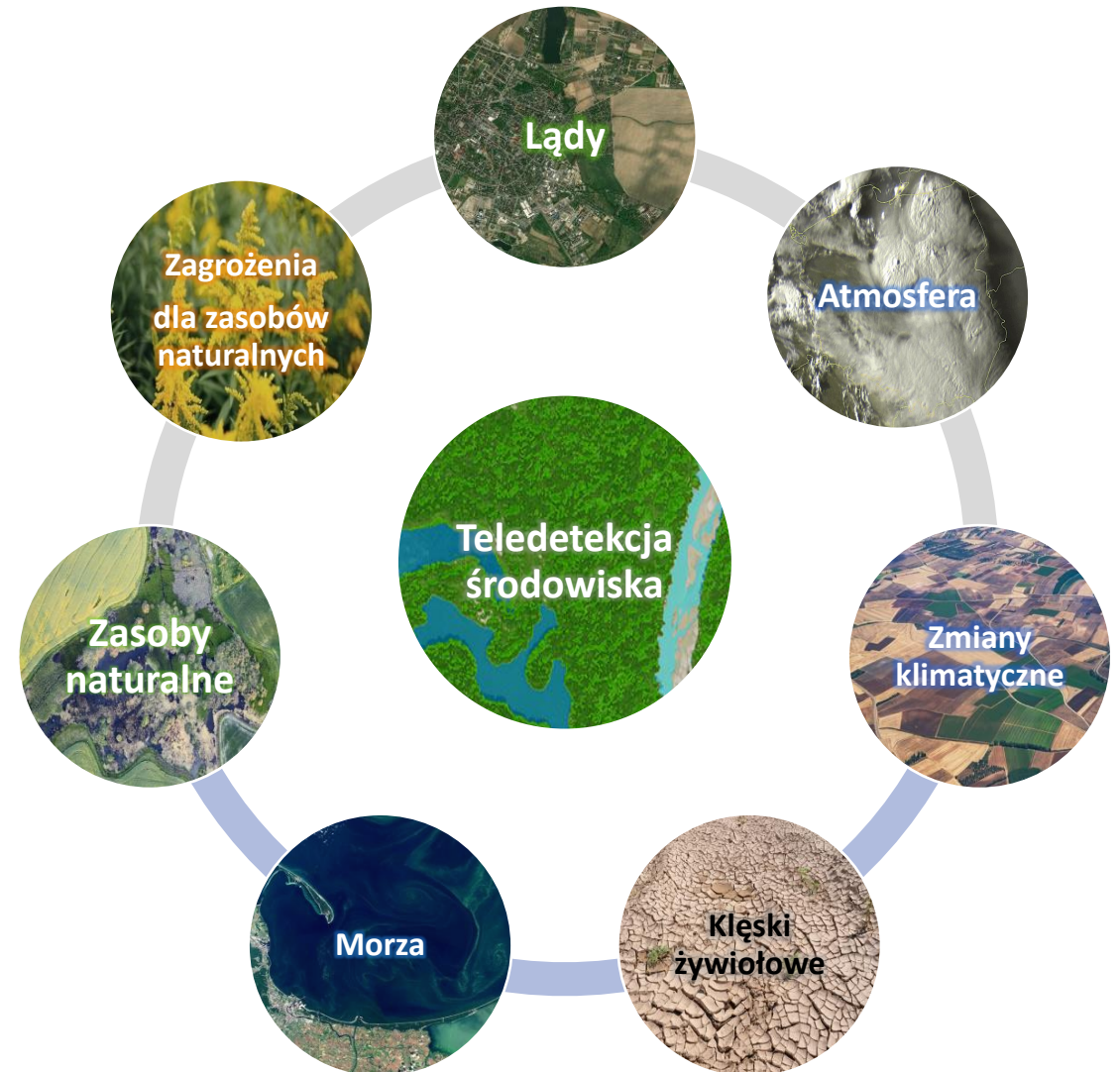
# Przykłady zastosowań obrazów satelitarnych w monitorowaniu środowiska

dr inż. Sylwia Szporak-Wasilewska  
SGGW



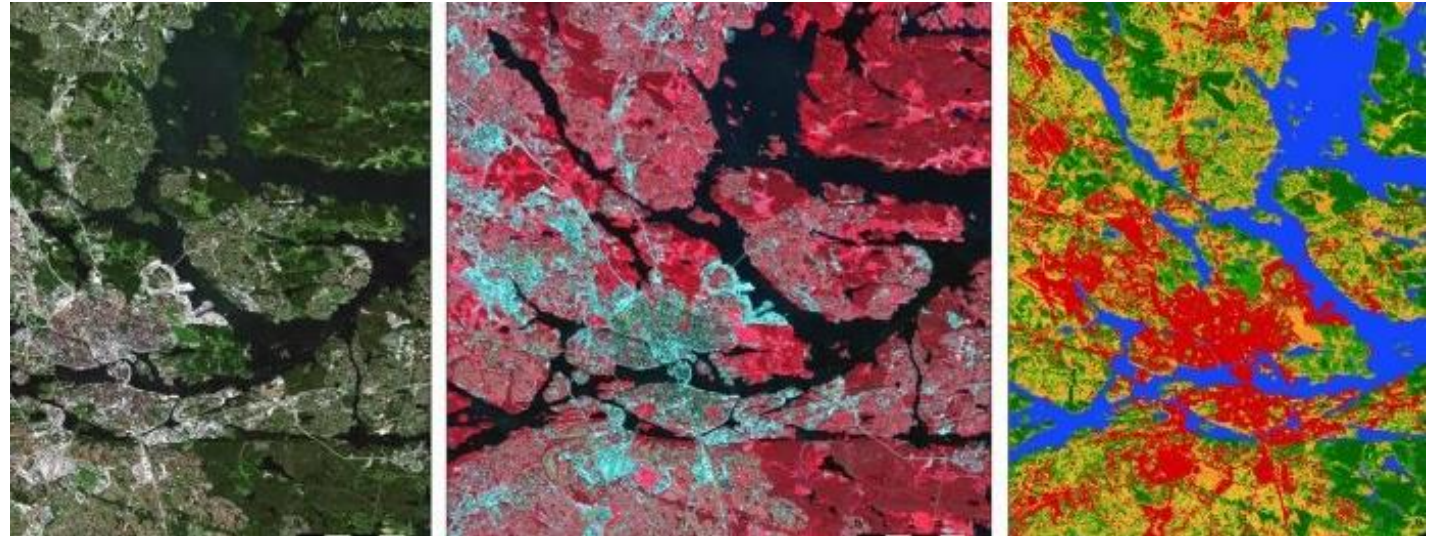
# Plan prezentacji

- Ocena i monitoring pokrycia terenu z detekcją zmian.
- Ocena i monitoring środowiska atmosferycznego.
- Monitoring zmian klimatycznych oraz skutków.
- Ocena i monitoring zasobów naturalnych, ocena zagrożeń.
- Podsumowanie.



Źródło: Szporak-Wasilewska, S.

- Opracowane mapy tematyczne pokrycia terenu, użytkowania gruntów i zachodzących zmian są kluczem do szeregu zastosowań takich jak środowiskowe, leśne, hydrologiczne, rolnicze czy geologiczne.
- Programy zarządzania zasobami naturalnymi, planowania i monitorowania zależą od dokładnych informacji o pokryciu terenu w danym regionie.
- Copernicus Land Monitoring Service (CLMS) dostarcza aktualnych danych o użytkowaniu powierzchni oraz o aktualnym stanie pokrycia (rośliny) oraz bilansie hydrologicznym (globalny, ogólnoeuropejski, lokalny).



Źródło: ESA, 2019

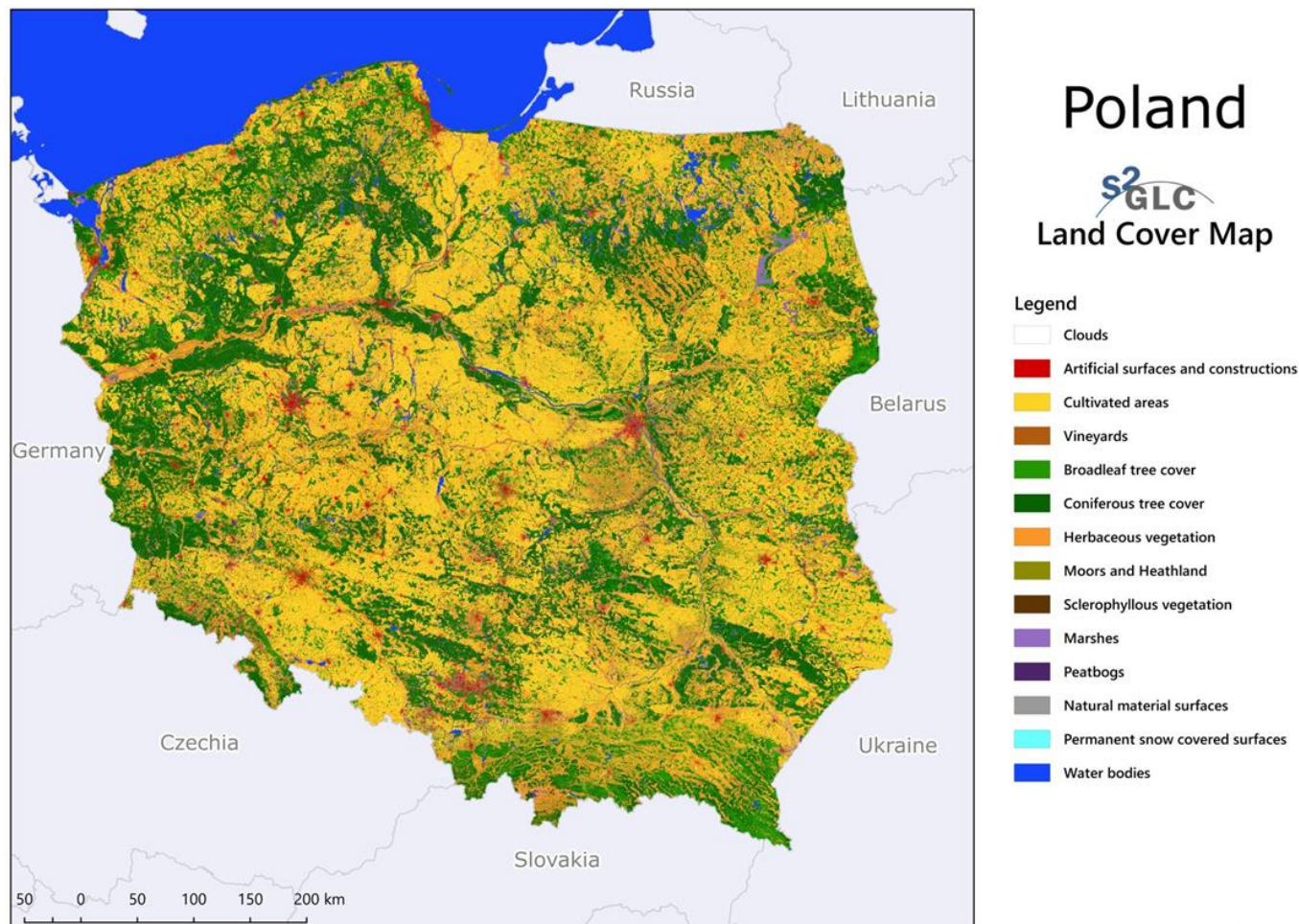
- Średnio- oraz wysokorozdzielcze misje satelitarne umożliwiają badania szczegółowe zarówno w skali lokalnej jak i regionalnej.
- Dostępne sensory satelitarne pozwalają na uzyskanie rozdzielczości przestrzennej do 30 centymetrów zapewniając doskonały materiał do badań zarówno na terenach niezurbanizowanych, jak również do oceny i monitoringu rozwoju obszarów miejskich czy transportu.
- Stosowane obecnie zobrazowania wielospektralne umożliwiają dokładniejszą analizę i klasyfikację warunków środowiskowych.
- Obrazy satelitarne umożliwiają bezpośrednią obserwację powierzchni Ziemi w powtarzających się odstępach czasowych.

## Corine LandCover – CORINE:

- 1990 (Landsat MSS i TM),
- 2000 (Landsat 7 ETM+),
- 2006 (SPOT-4/5 i IRS P6 LISS III),
- 2012 (IRS P6 LISS III i RapidEye),
- 2018 (Sentinel-2 i Landsat-8).

## Sentinel-2 Global Land Cover - S2GLC:

- 2017 (Sentinel-2).

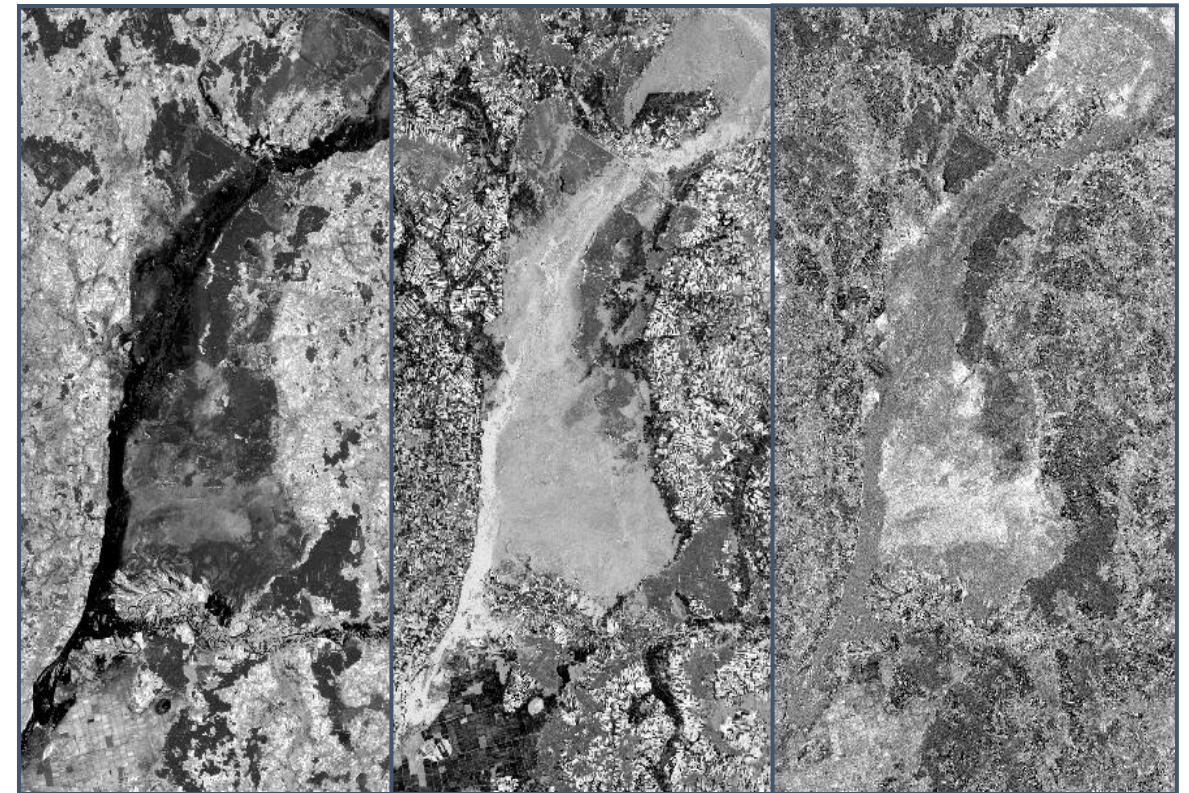


Źródło: ESA, 2019

## Metody detekcji zmian pokrycia terenu.

- Algebraiczne:
  - różnica obrazów,
  - regresja obrazów,
  - dzielenie obrazów,
  - różnica wartości wskaźnika roślinnego,
  - analiza wektora zmian – CVA (Change Vector Analysis).
- Transformacje:
  - Analiza Składowych Głównych – PCA (Principal Component Analysis),
  - Transformacja Kautha-Thomasa – KT (Kauth and Thomas Transformation),
  - Ortogonalizacja Grama-Schmidta – GST (Gram-Schmidt Transformation),
  - Test zgodności chi-kwadrat –  $\chi^2$  (Chi-squared Test).

Pierwsze składowe główne transformacji PCA (Landsat 7)  
– Dolina Biebrzy



PC1

PC2

PC3

Źródło: Szporak-Wasilewska S., 2012

Metody detekcji zmian pokrycia terenu.

- Klasyfikacje:
  - analiza postklasyfikacyjna,
  - detekcja z wykorzystaniem algorytmu EM (Expectation–Maximization algorithm),
  - nienadzorowana detekcja zmian,
  - hybrydowa detekcja zmian,
  - sztuczne sieci neuronowe – ANN (Artificial Neural Networks).
- Modelowanie:
  - model refleksyjności Li-Strahlera,
  - model biofizyczny.
- GIS:
  - integracja danych teledetekcyjnych i GIS.
- Interpretacja wizualna.

Zmiany pokrycia terenu na obszarach niezurbanizowanych.  
 Wskaźnik NDFI (Normalized Difference Fraction Index).

$$\text{NDFI} = \frac{\text{GV}_{\text{Shade}} - (\text{NPV} + \text{Soil})}{\text{GV}_{\text{Shade}} + (\text{NPV} + \text{Soil})}$$

$$\text{GV}_{\text{Shade}} = \frac{\text{GV}}{100 - \text{Shade}}$$

Gdzie:

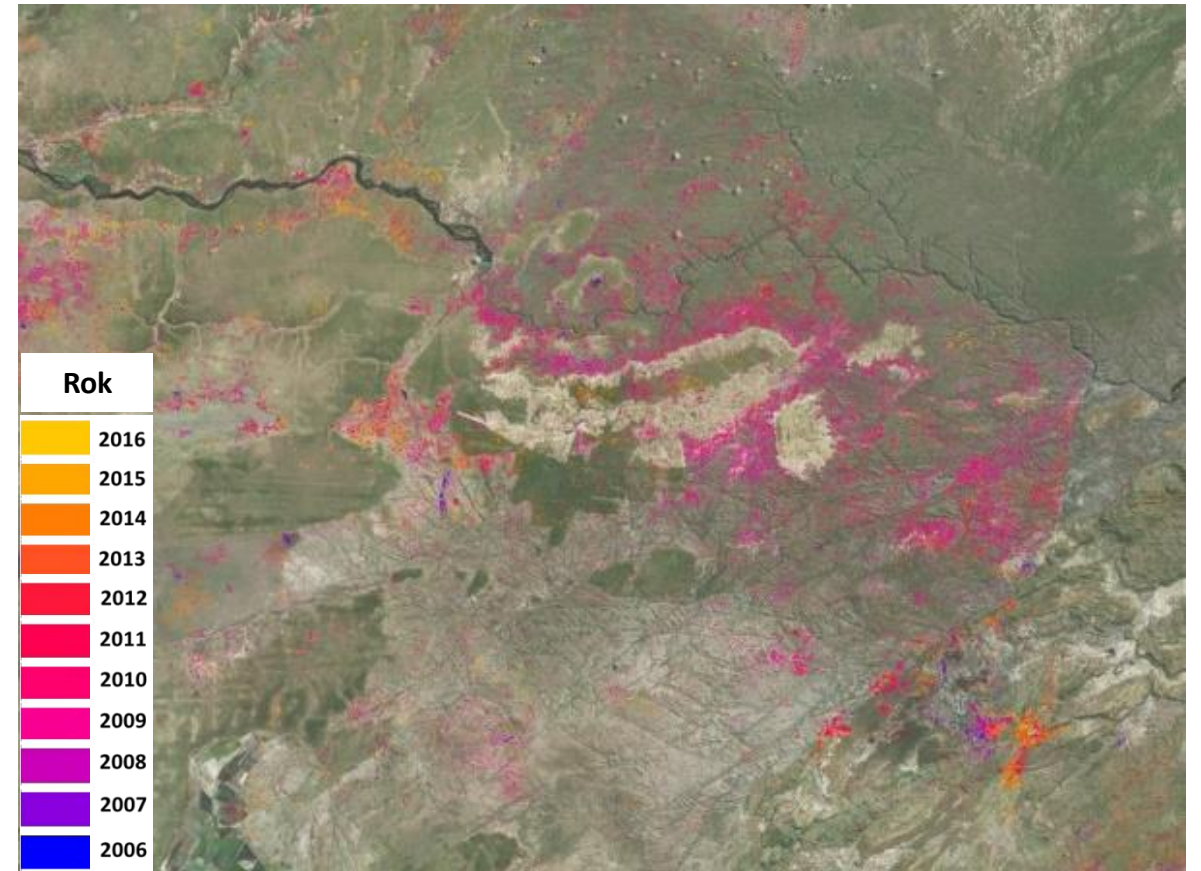
GV – roślinność zielona,

NPV – roślinność nie-fotosyntetyzująca,

Soil – gleba,

Shade – cienie.

Analiza zmian pokrycia terenu w latach 2006-2016 na podstawie wskaźnika NDFI – obszar chroniony Kavango-Zambezi Transfrontier



Źródło: Pettorelli N., Schulte H.B., Shapiro A.C., Glover-Kapfer P., 2018



Zmiany pokrycia terenu na obszarach niezurbanizowanych.

Wskaźnik RSEI (Remote Sensing Based Ecological Index).

$$RSEI = f(\text{Moisture, Greenness, Dryness, Heat})$$

Gdzie:

Moisture – Wilgotność gleby (wskaźnik: Wet index),

Greenness – Kondycja roślin (wskaźnik: NDVI),

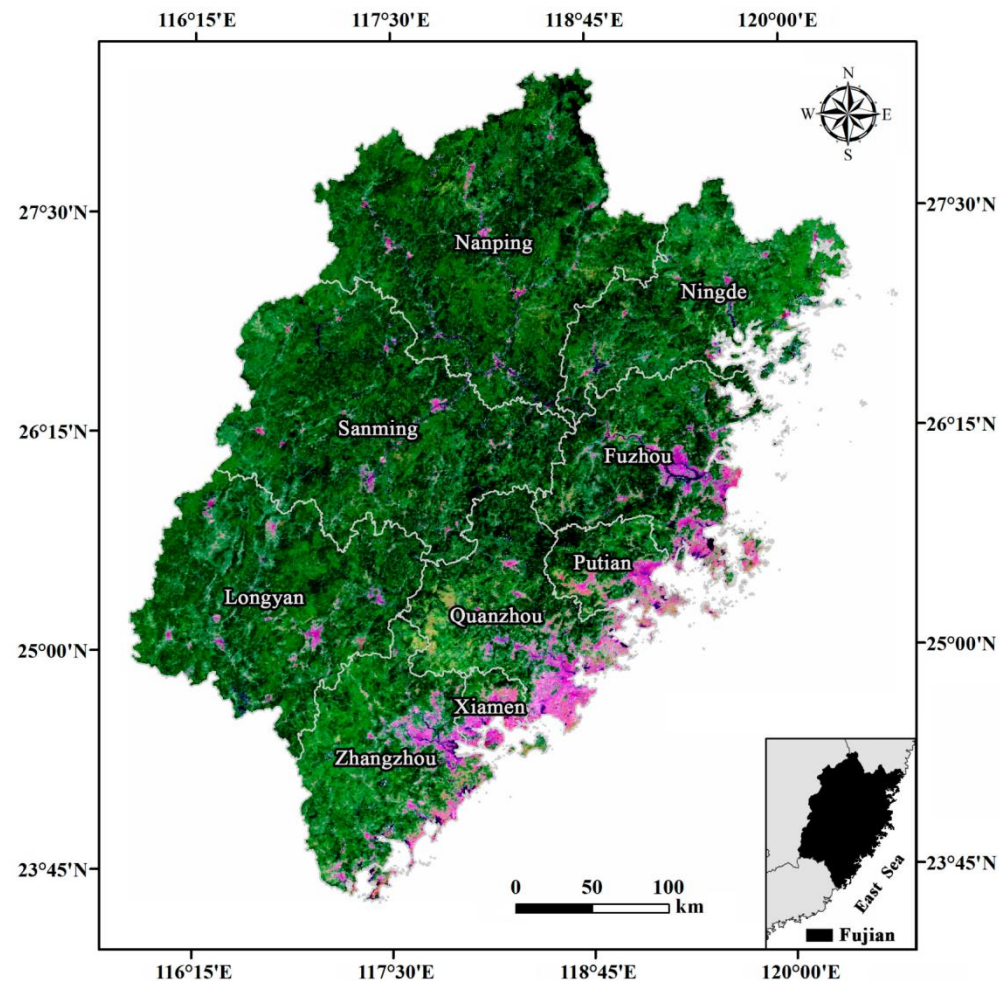
Dryness – Obszary zurbanizowane (wskaźnik IBI),

Heat – Temperatura powierzchni terenu (dane: LST).

Ma odzwierciedlenie we wskaźnikach:

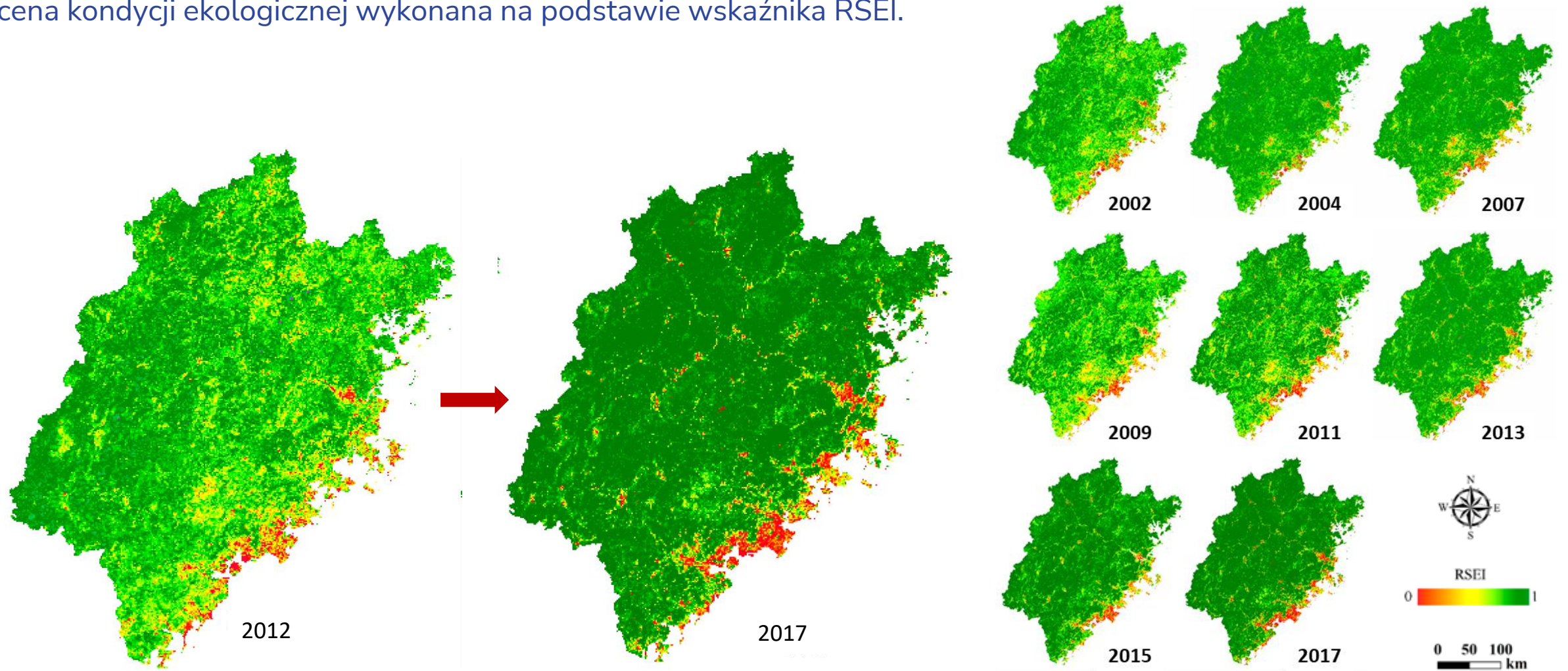
- Wet index (komponent „Wilgotność gleby” transformacji Tasseled Cap)
- NDVI (znormalizowany różnicowy wskaźnik wegetacji),
- IBI (Index-based Built-up Index),
- LST (Land Surface Temperature).

Ocena kondycji ekologicznej w latach 2002-2017 na podstawie wskaźnika RSEI (MODIS) – Prowincja Fujian, Chiny



Źródło: Xu H., Wang Y., Guan H., Shi T., 2019

Ocena kondycji ekologicznej wykonana na podstawie wskaźnika RSEI.

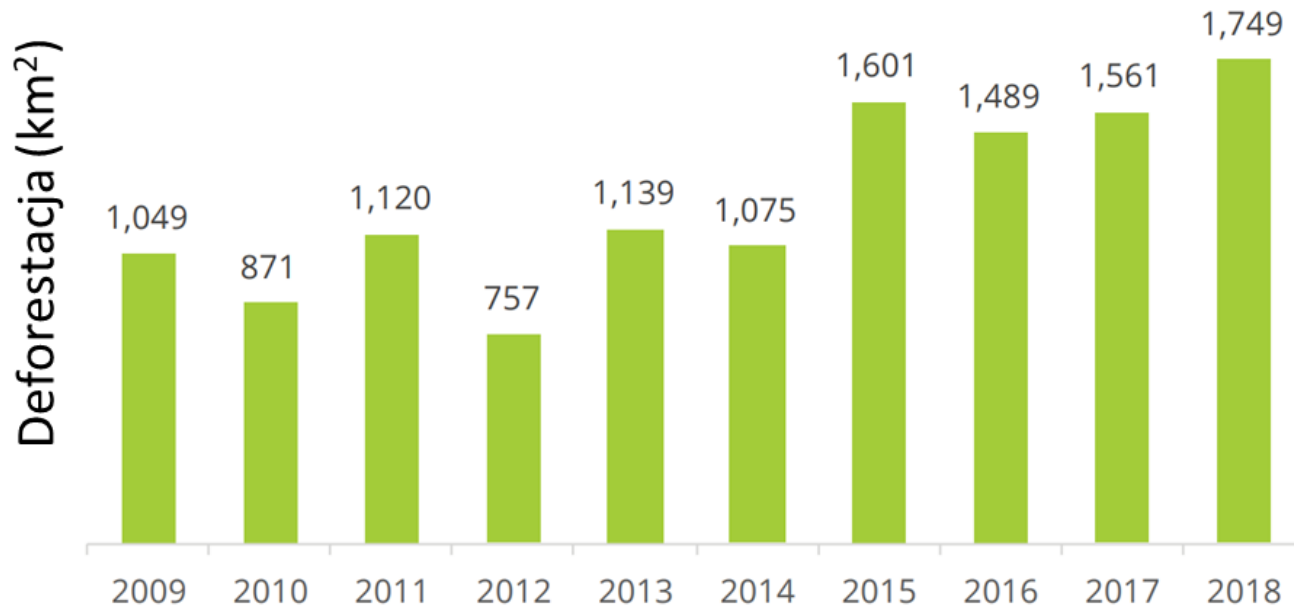


Źródło: Xu H., Wang Y., Guan H., Shi T., 2019

Zmiany pokrycia terenu na obszarach niezurbanizowanych.

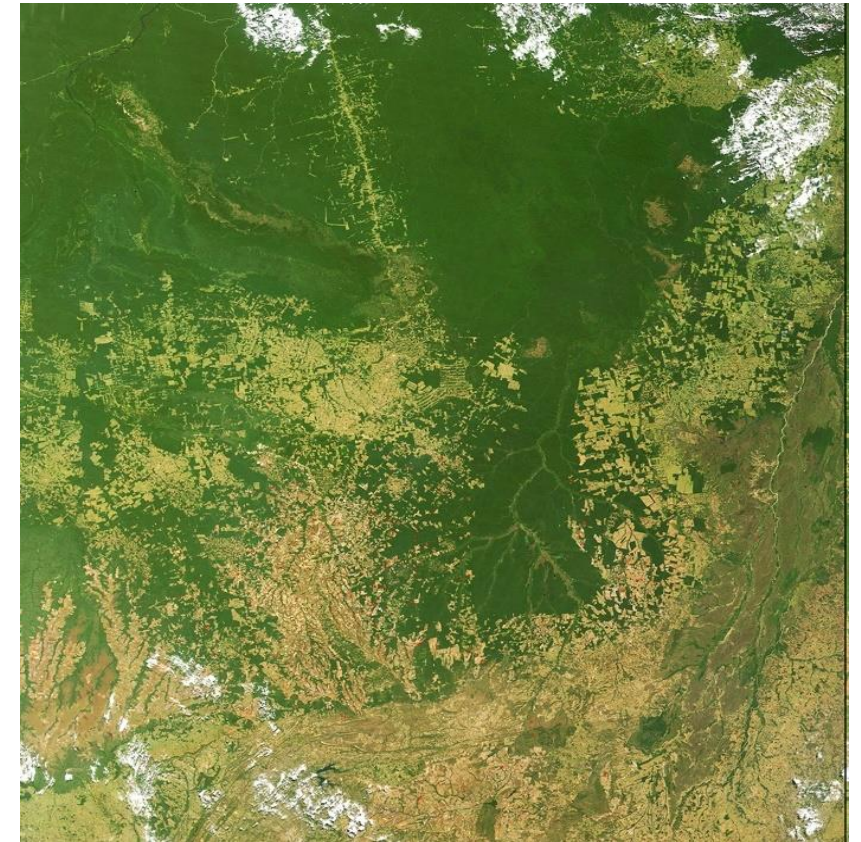
Wylesienie cennych przyrodniczo siedlisk w Puszczy Amazońskiej.

Wylesienie w latach 2009-2018  
– Mato Grosso, Brazylia



Źródło: Instituto Centro de Vida, 2018

Kompozycja barwna RGB Landsat 7  
– Mato Grosso, Brazylia

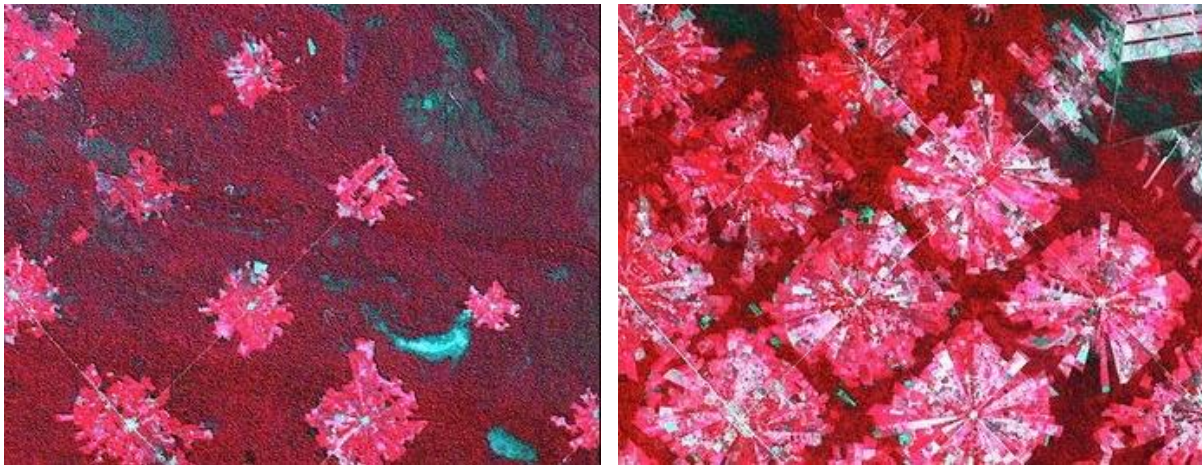


Źródło: Satellite Imaging Corporation (SIC), 2019

Zmiany pokrycia terenu na obszarach niezurbanizowanych.

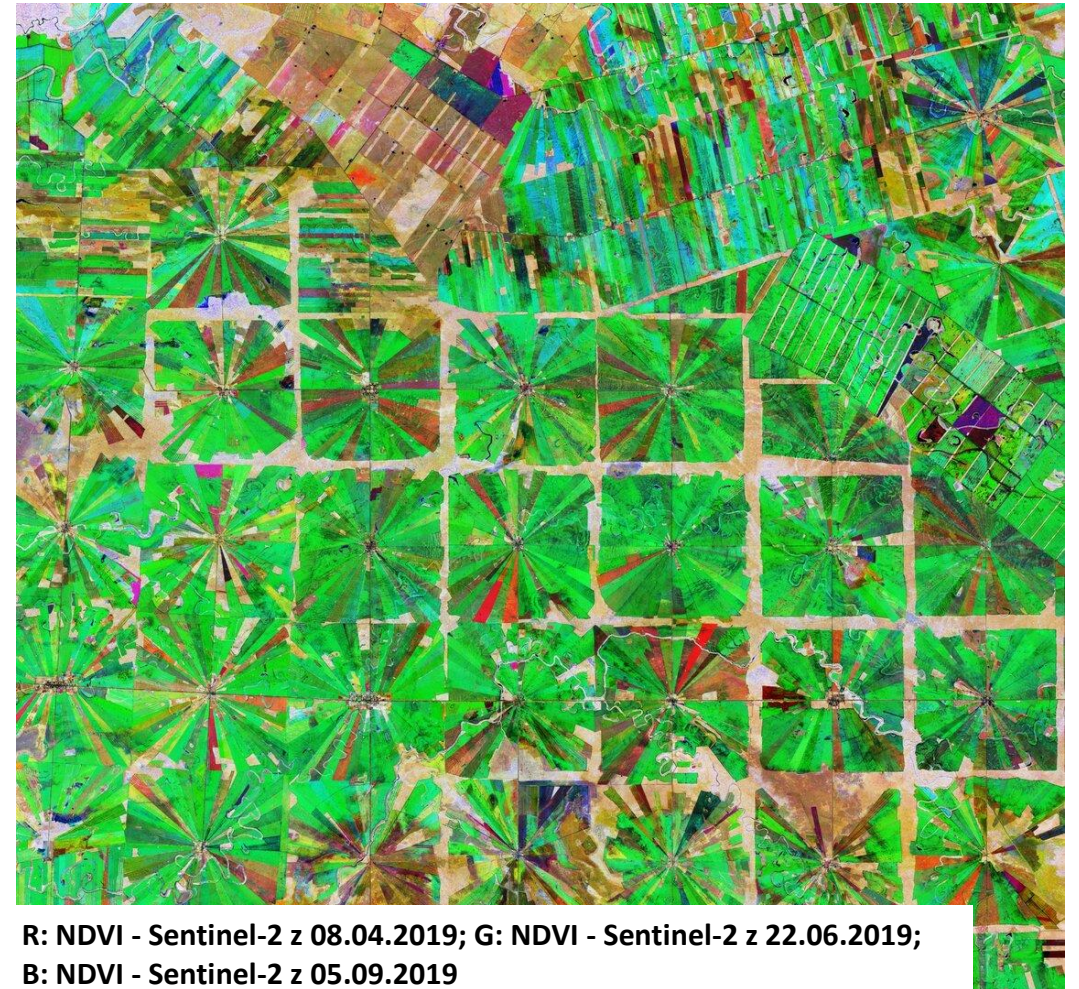
Wylesienie cennych przyrodniczo siedlisk  
w Santa Cruz de la Sierra w Boliwii.

Zmiany na przestrzeni lat 1986 i 2001 (ASTER)  
– Santa Cruz de la Sierra, Boliwia



Źródło: Image Corporation Systems, 2019

Kompozycja wieloczasowa opracowana na podstawie  
wartości wskaźnika NDVI – Santa Cruz de la Sierra, Boliwia



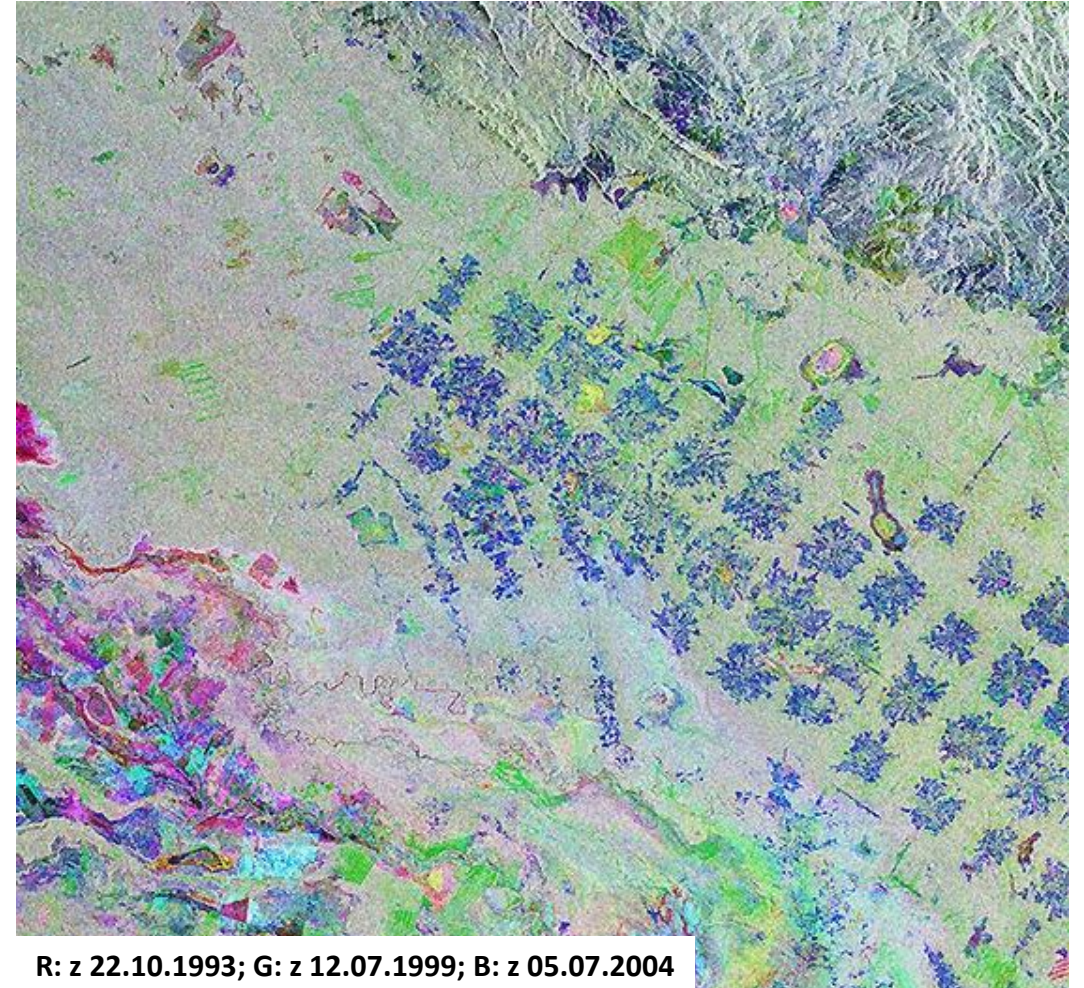
R: NDVI - Sentinel-2 z 08.04.2019; G: NDVI - Sentinel-2 z 22.06.2019;  
B: NDVI - Sentinel-2 z 05.09.2019

Źródło: ESA, 2019

Zmiany pokrycia terenu na obszarach niezurbanizowanych.

Wylesienie cennych przyrodniczo siedlisk  
w Santa Cruz de la Sierra w Boliwii.

Kompozycja wieloczasowa (ERS-1/2, Envisat)  
– Santa Cruz de la Sierra, Boliwia



R: z 22.10.1993; G: z 12.07.1999; B: z 05.07.2004

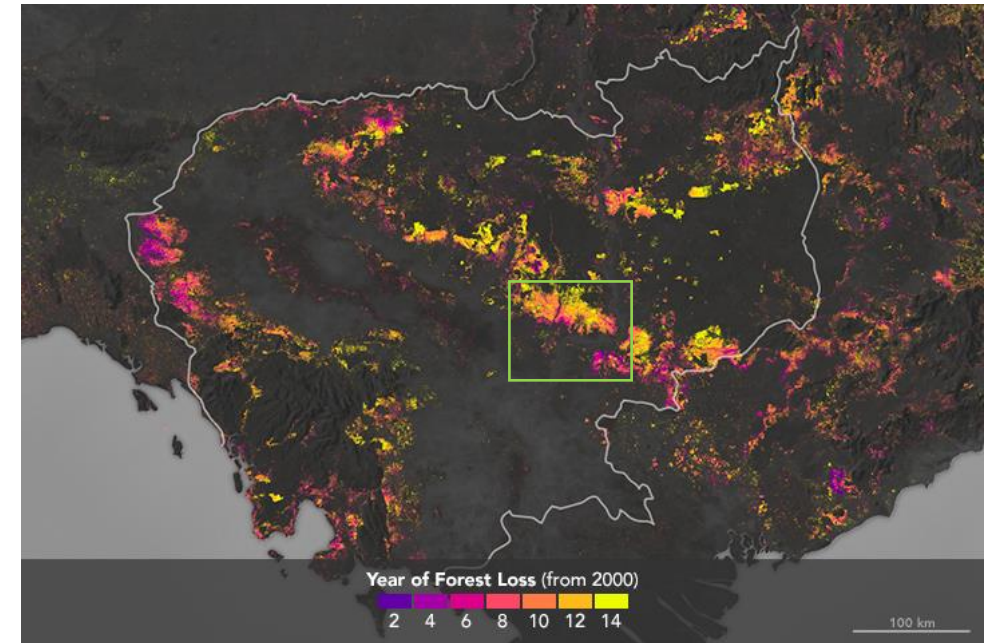
Źródło: ESA, 2019

Zmiany pokrycia terenu na obszarach niezurbanizowanych.

Wylesienie w Kambodży na przestrzeni 15 lat (2001 - 2016).

Utrata 1,59 milionów hektarów lasów na rzecz plantacji kaczukowca skutkowałą uwolnieniem około 550 milionów ton CO<sub>2</sub> do atmosfery.

Wylesienie w latach 2000-2014 – Kambodża



Źródło: Erickson-Davis M., 2017

Fragment obszaru objętego wylesieniem w latach 2001-2016 – Kambodża

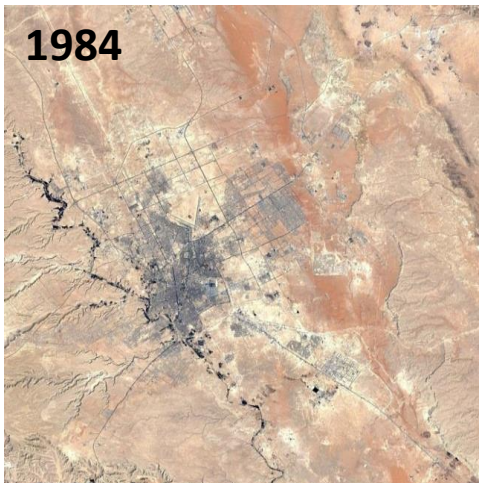


Źródło: NASA, 2017

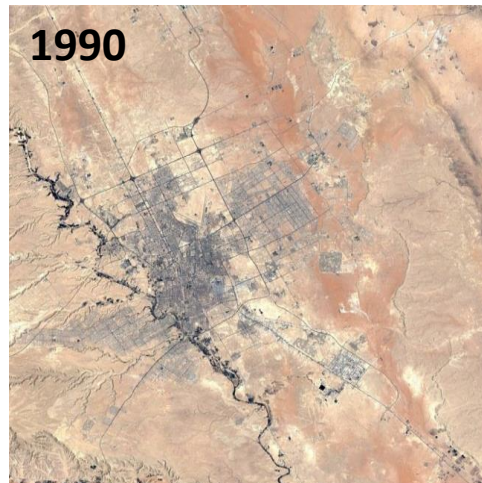
Zmiany pokrycia terenu na obszarach zurbanizowanych.

Miasto Rijad, Arabia Saudyjska.

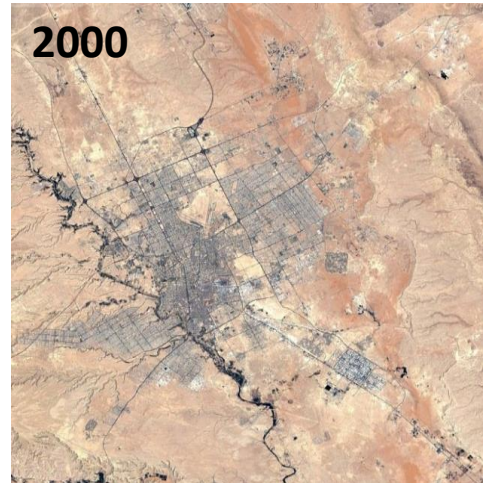
Kolejne zdjęcia z satelitów Landsat przedstawiają Zmiany pokrycia terenu w latach 1984-2016 – Rijad, Arabia Saudyjska



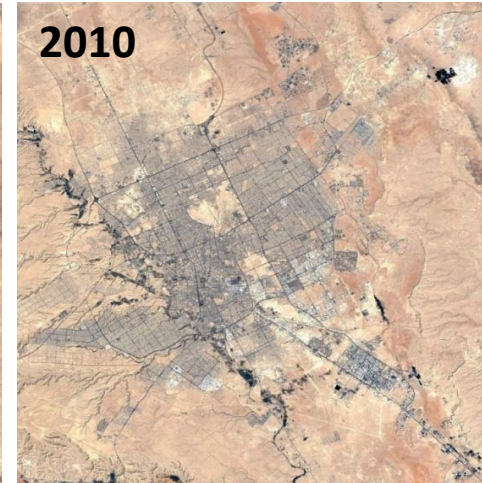
Landsat 4



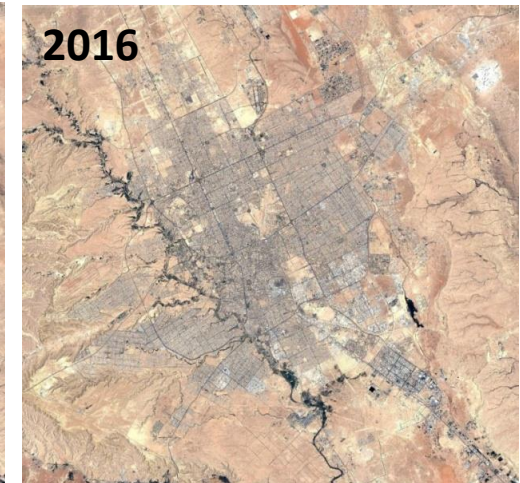
Landsat 5



Landsat 7



Landsat 7



Landsat 8

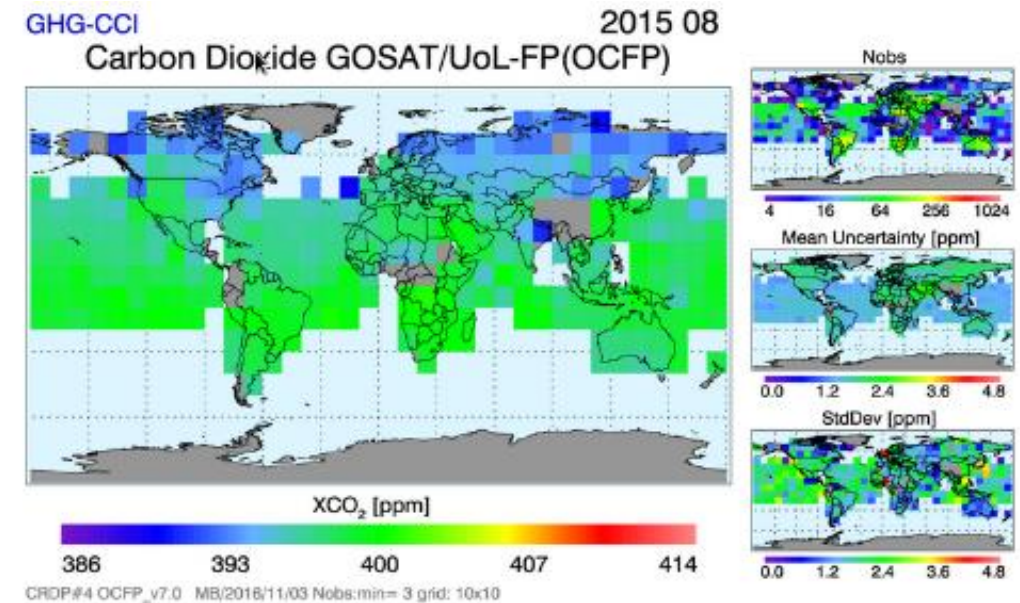
Źródło: ESA, 2017

- Dane w monitoringu zmian klimatu muszą być zbierane ze wszystkich dostępnych źródeł obejmujących zarówno:
  - naziemny system obserwacyjno-pomiarowy,
  - systemy wymiany międzynarodowej,
  - systemy udostępniania danych satelitarnych i radarowych,
  - wyniki modeli meteorologicznych i hydrologicznych.
- Dane te wzajemnie się weryfikują.
- Misje satelitarne dostarczają w sposób niejednokrotnie zautomatyzowany aktualnych zestawów danych teledetekcyjnych dotyczących pokrycia terenu i użytkowania.
- Aktualizacja danych na badanym obszarze pokazująca stan środowiska w danym czasie pozwala monitorować charakter zachodzących zmian jak i określić zasięg ich oddziaływania.
- Copernicus Climate Change Service - serwis monitorowania zmian klimatu dostarczający danych dotyczących wzrostu temperatury, wzrostu poziomu morza, wzrostu temperatury oceanów oraz zanikania pokrywy lodowej i cofania lodowców.



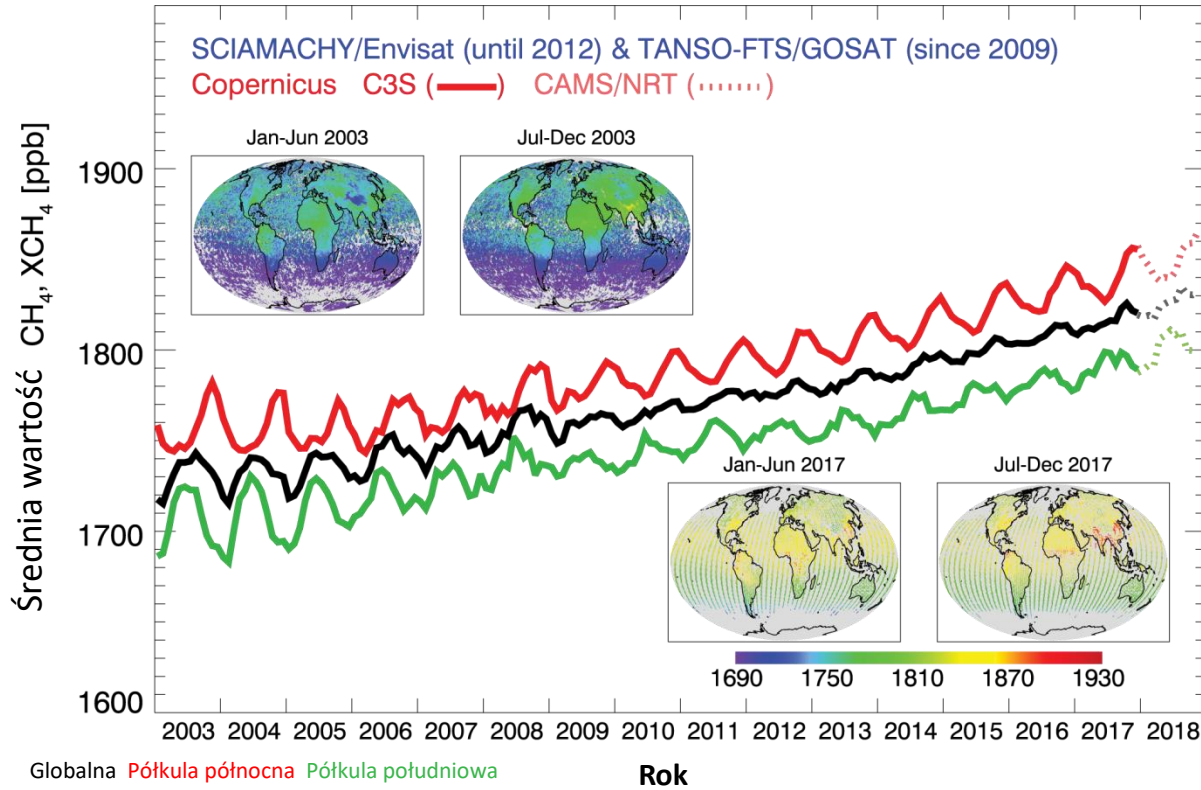
## Cechy monitoringu zmian klimatycznych.

- **Kompleksowość:**
  - obejmująca istotne procesy fizyczne zachodzące w atmosferze i hydrosferze, wraz ze związkami przyczynowo - skutkowymi,
  - wymaga zintegrowanej meteorologicznej i hydrologicznej metodyki badawczej,
  - wymaga zintegrowanego systemu pomiarowo-obszernego,
  - wymaga zintegrowanej techniki i technologii przesyłania, przetwarzania i gromadzenia danych.
- **Skuteczność** – oceniana trafnością przewidywania czasu i miejsca występowania oraz natężenia zjawisk.
- **Powszechność** – oceniana stopniem zaspokajania potrzeb:
  - indywidualnych,
  - zbiorowych,
  - rządowych,
  - samorządowych.



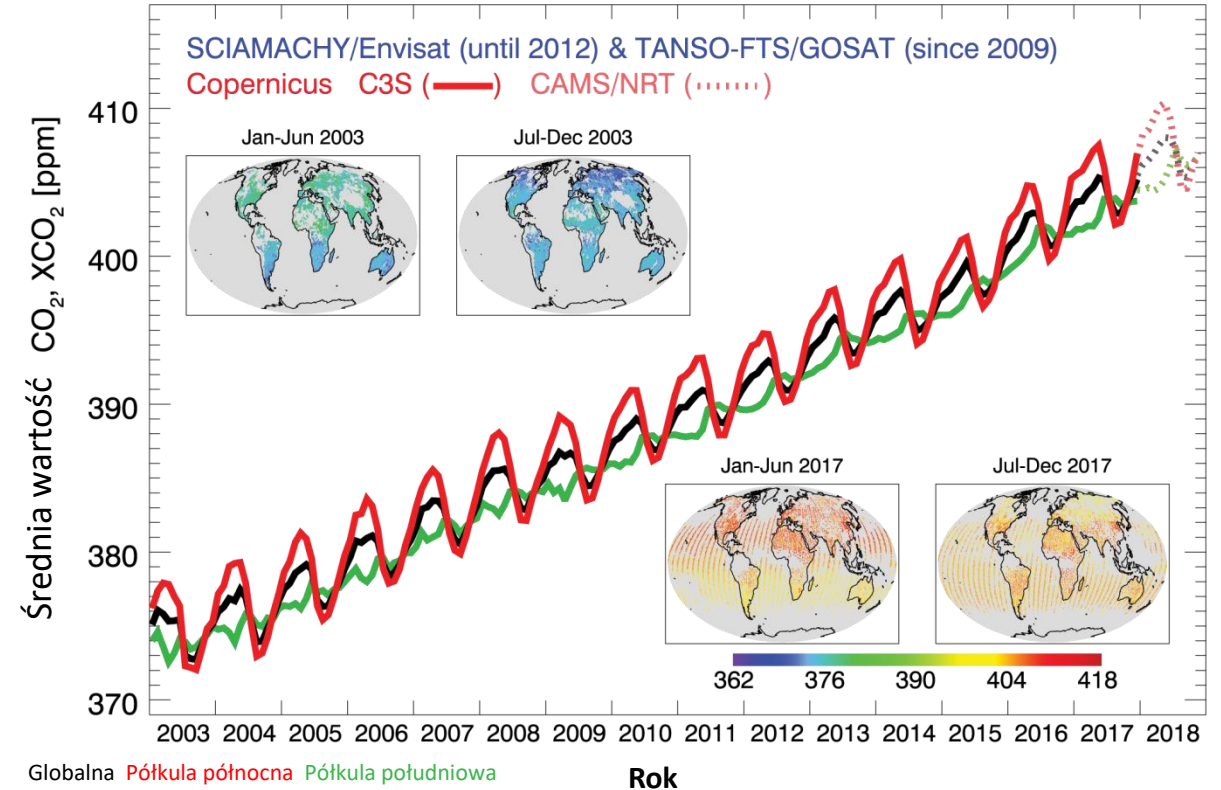
Źródło: ESA, 2015

## Zawartość CH<sub>4</sub> w atmosferze [ppb]



Contact: Michael.Buchwitz@iup.physik.uni-bremen.de Figure: 7-Feb-2019

## Zawartość CO<sub>2</sub> w atmosferze [ppm]



Contact: Michael.Buchwitz@iup.physik.uni-bremen.de Figure: 7-Feb-2019

Dane satelitarne powszechnie wykorzystuje się w monitoringu procesów i zjawisk związanych ze zmianami klimatu a dotyczących:

- dynamiki zmian roślinności,
- dynamiki zmian ekosystemów,
- dynamiki zmian użytkowania,
- monitoringu zagrożeń,
- klęsk żywiołowych,
- oceny stanu,
- zarządzania kryzysowego.

Analiza danych statycznych dotyczących pokrycia terenu (rozmieszczenie, zasięg, typ) i danych dynamicznych (rodzaj i tempo zmian) z wykorzystaniem danych teledetekcyjnych pozwala na identyfikację charakteru zmian i możliwych przyczyn ich wystąpienia.

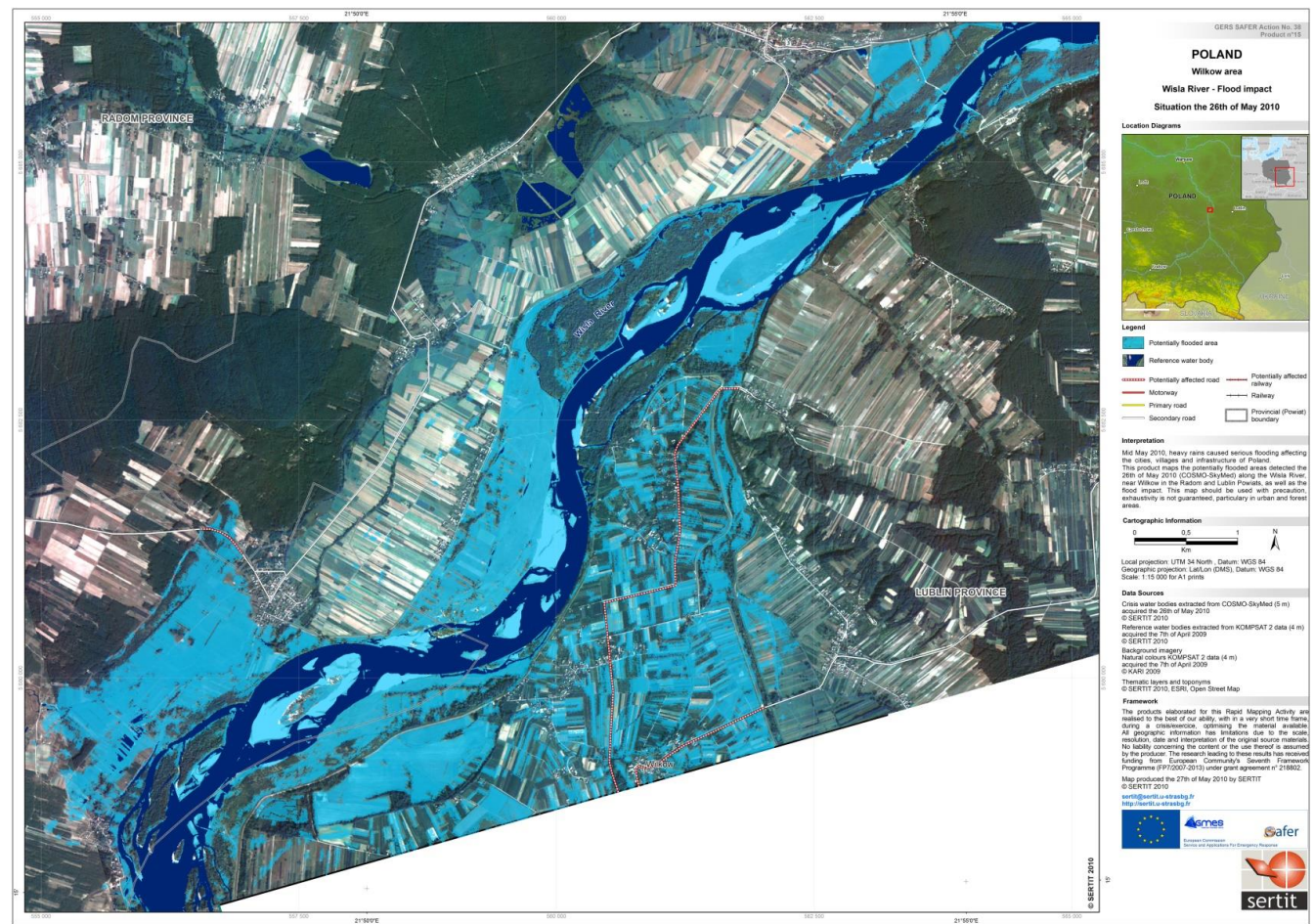
Dane satelitarne w monitoringu powodzi.

- Techniki teledetekcyjne są obecnie najskuteczniejszym i najszybszym sposobem monitorowania obszarów zalanych, planowania akcji ratunkowych oraz szacowania szkód spowodowanych powodzią.
- W monitorowaniu powodzi wykorzystywane są zobrażenia:
  - radarowe – obrazowanie przy niekorzystnych warunkach pogodowych (zachmurzenie), zarówno w dzień jak i w nocy (wykorzystują mikrofałe, charakteryzujące się przenikalnością przez chmury);
  - optyczne – obrazowanie z dużą częstotliwością rewizyt pozwalającą na bieżące monitorowanie powodzi.

Dane satelitarne w monitoringu powodzi.  
Powódź w Wilkowie, rzeka Wisła, Polska.



Mapa powodzi z dnia 26.05.2010 opracowana na podstawie zobrażeń COSMO-SkyMed – Wilków, Polska



Źródło: ICube – SERTIT, 2010

Dane satelitarne w monitoringu powodzi.  
Powódź w powiecie opolskim, rzeka Odra.



Mapa powodzi z dnia 27.05.2010 opracowana na podstawie zobrażeń COSMO-SkyMed – powiat opolski, Polska



Źródło: ICube – SERTIT, 2010

Dane satelitarne w monitoringu powodzi.

Wezbrania w Colusa, w Kalifornii, USA – rzeka Sacramento.

Teren rolniczy przed zalaniem (PlanetScope, 06.10.2016)



Teren rolniczy po zalaniu (PlanetScope, 16.02.2017)



*Źródło: Planet Labs, 2017*

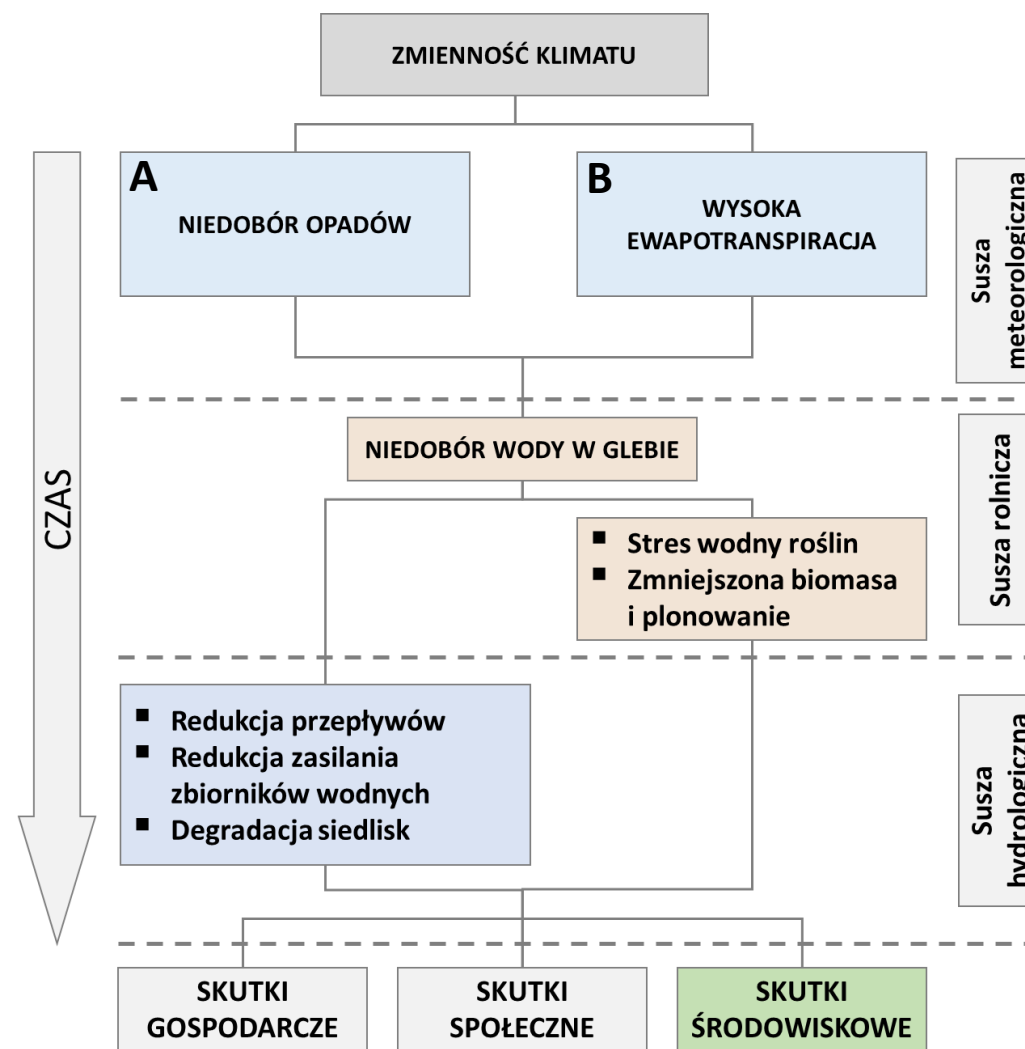
Zmiany klimatyczne – skutki środowiskowe.

**A** - Niedobór opadów skutkuje:

- Ograniczoną infiltracją, odpływem, perkolacją i zmniejszonym zasilaniem wodami gruntowymi.

**B** - Wysoka ewapotranspiracja przyczyny:

- Wysokie temperatury powietrza, silny wiatr, niska wilgotność względna, wysokie ustonecznienie, niskie zachmurzenie.



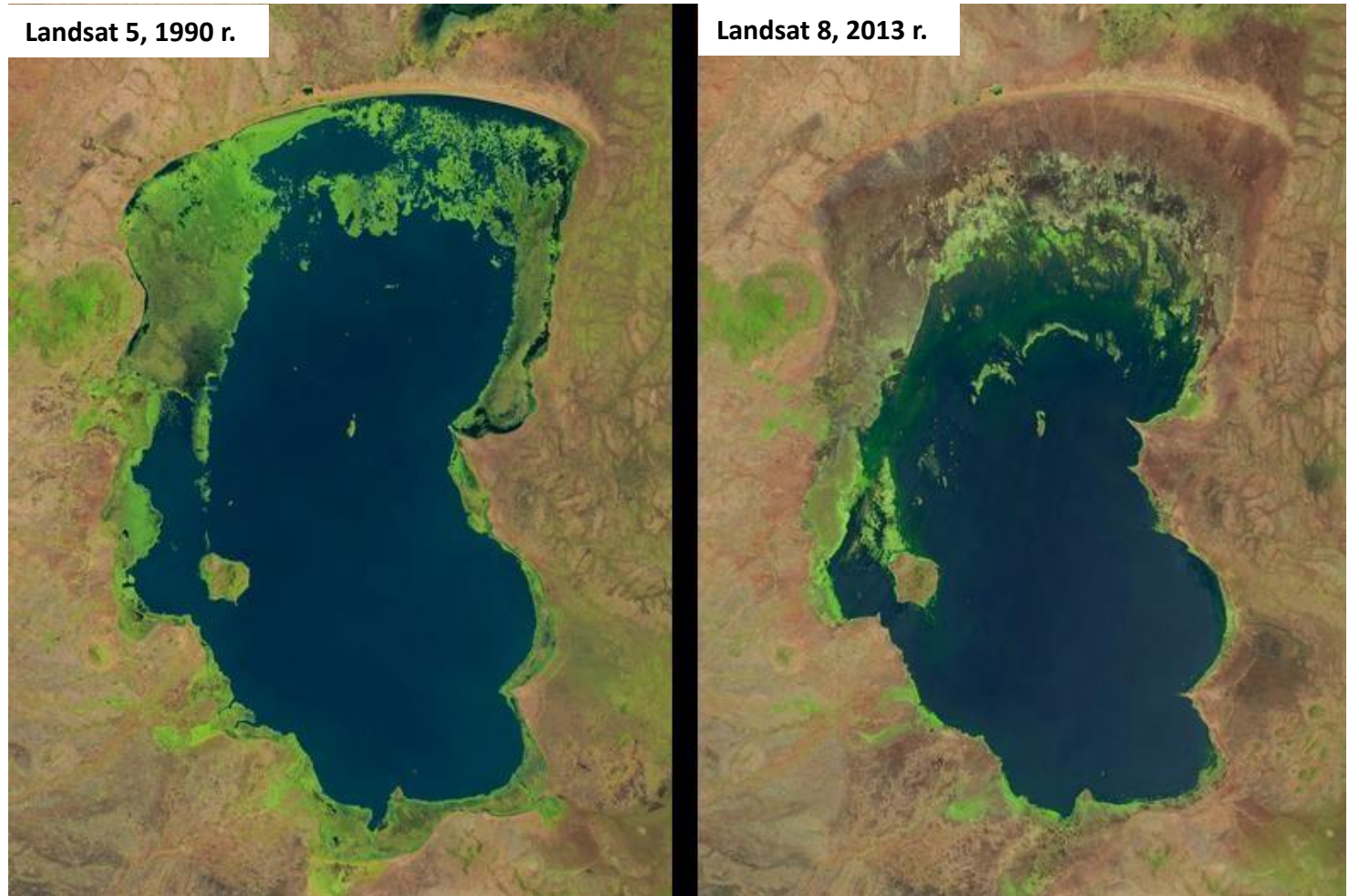
Źródło: Hayes i in., 2012



Dane satelitarne w monitoringu – susze.

Słone jezioro Chilwa, Malawi, Mozambik.

Zmiany zasięgu jeziora Chilwa w latach 1990-2013 – Mozambik

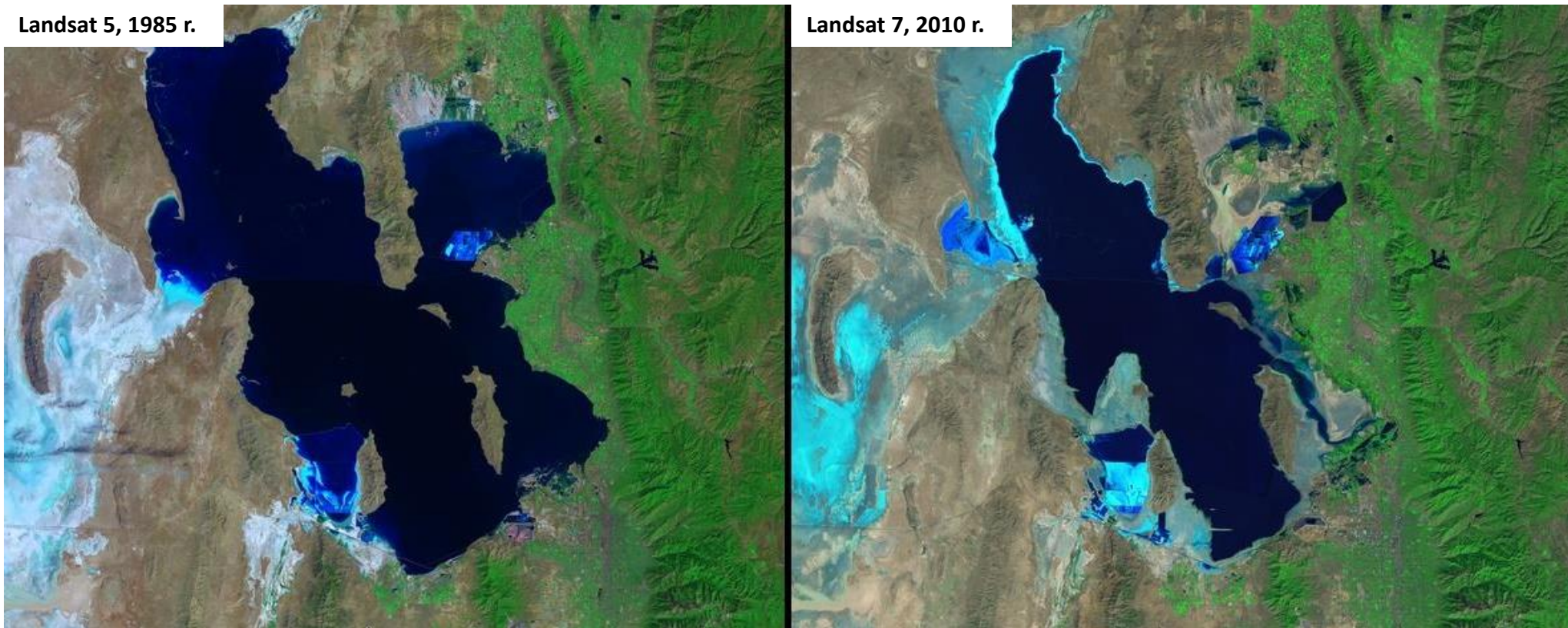


Źródło: USGS, 2013

Dane satelitarne w monitoringu – susze.

Wielkie Jezioro Słone, Utah, USA.

Ubytek wody w Wielkim Jeziorze Słonym w roku 2010 – USA



Źródło: USGS, 2010

Dane satelitarne w monitoringu – susze.

Jezioro San Antonio, w Kalifornii, USA.

## Zanikanie jeziora San Antonio – USA

Landsat 7, 2001 r.



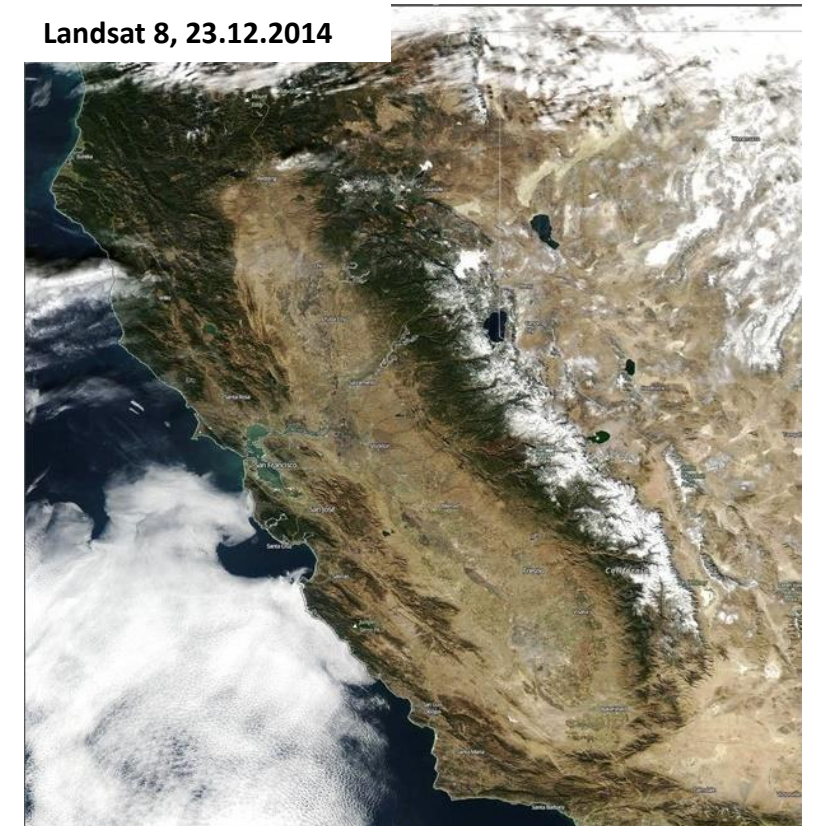
Landsat 8, 2016 r.



Źródło: NASA, 2016

Dane satelitarne w monitoringu – susze.  
Centralna i Południowa Kalifornia, USA.

Pogorszenie kondycji roślinności w wyniku suszy w Kalifornii – USA



Źródło: NASA, 2016

Dane satelitarne w monitoringu – susze.

Wybrane satelity i systemy satelitarne:

- NOAA Advanced Very High-Resolution Radiometer (AVHRR),
- Landsat,
- Sentinel,
- Geostationary Operational Environmental Satellites (GOES),
- Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS),
- Advanced Microwave Scanning Radiometer for Earth Observing System (AMSR-E),
- Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM),
- Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE).

Dane satelitarne w monitoringu – susze.

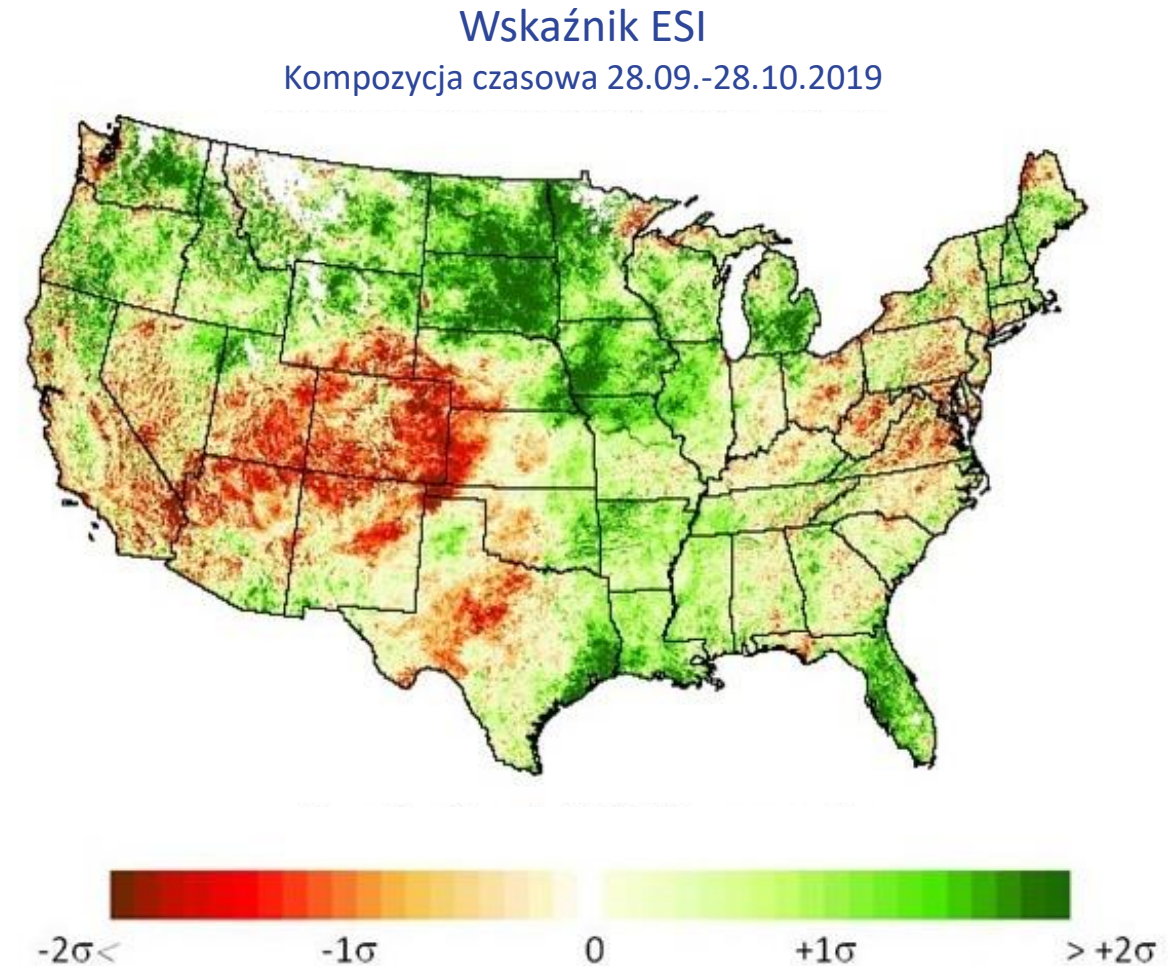
Wybrane teledetekcyjne wskaźniki suszy:

- Vegetation Condition Index (VCI) - Kogan (1990),
- Temperature Condition Index (TCI) - Kogan (1995),
- Vegetation Health Index (VHI) - Kogan (1995),
- Vegetation Temperature Condition Index (VTCI) – Patel i in., 2009,
- Normalized Difference Water Index (NDWI) - Gao (1996),
- Modified Perpendicular Drought Index (MPDI) - Ghulam i in., 2007,
- Weighted Difference Vegetation Index (WDVI) - Richardson i Wiegand (1977),
- Temperature–Vegetation Dryness Index (TVDI) - Sandholt i in., 2002,
- Crop Water Stress Index (CWSI) - Idso et al. (1981); Jackson i in., 1981,
- Evaporative Stress Index (ESI) – Anderson, M.C. I in., 2011.

Dane satelitarne w monitoringu – susze.

Evaporative Stress Index (ESI) – opisuje anomalie czasowe w ewapotranspiracji.

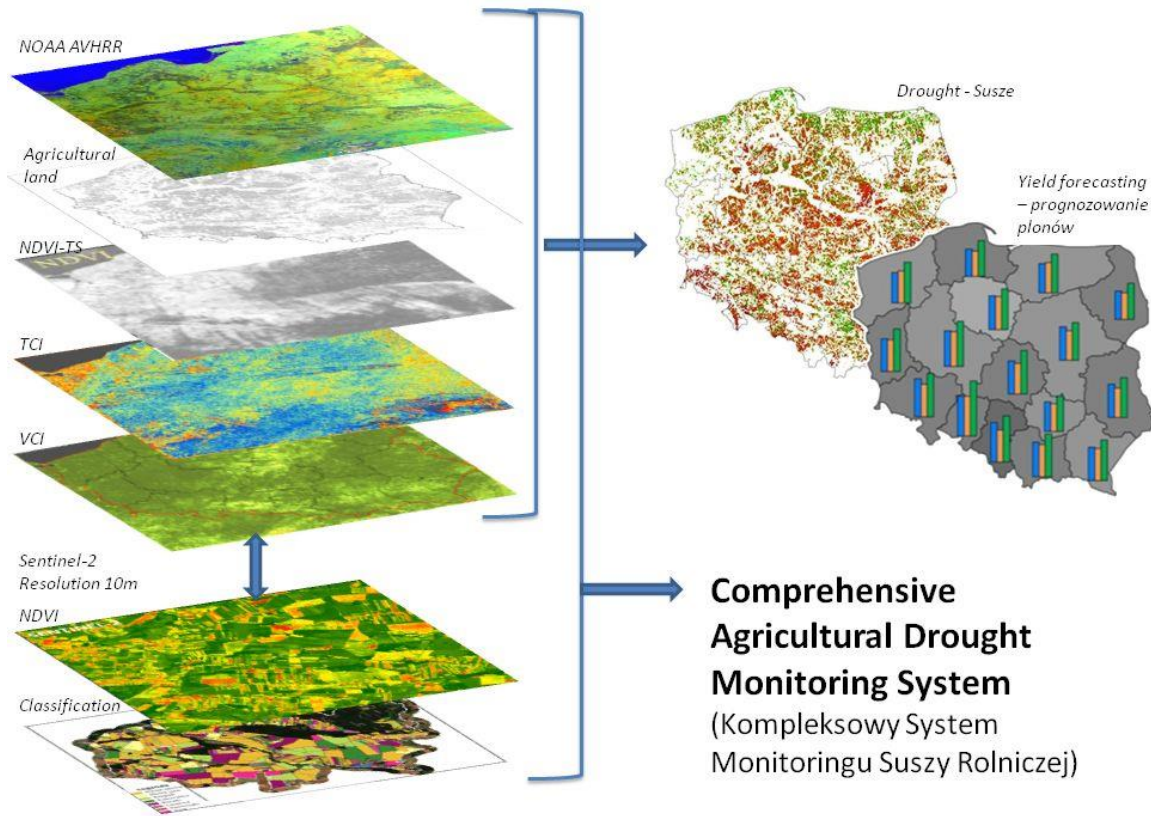
Pierwszą reakcją roślin na stres związany z brakiem wody jest ograniczenie transpiracji w celu oszczędzania wody w roślinie.



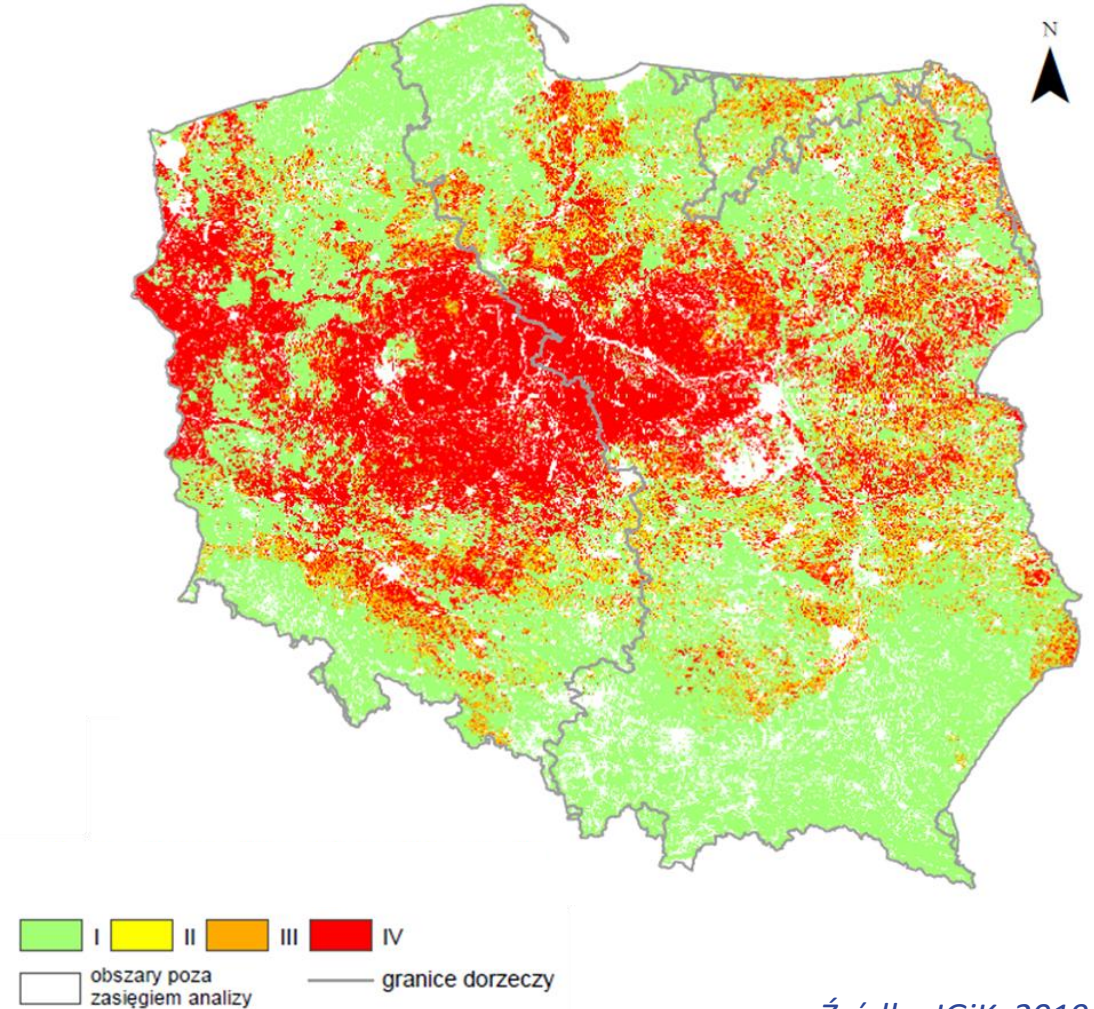
Źródło: NOAA Center for Satellite Applications and Research (STAR);  
USDA-ARS Hydrology and Remote Sensing Laboratory, 2019

Dane satelitarne w monitoringu – susze.

Kompleksowy System Monitoringu Suszy Rolniczej.



Klasy zagrożenia wystąpienia zjawiska suszy rolniczej

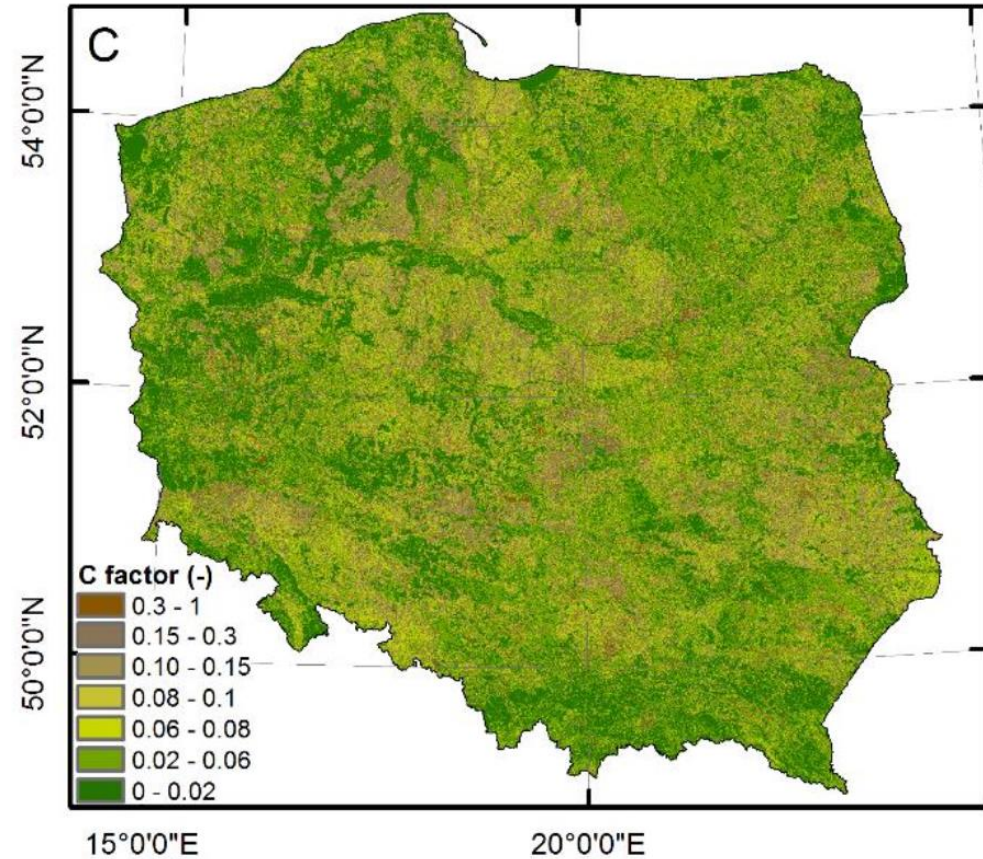


Źródło: IGiK, 2019

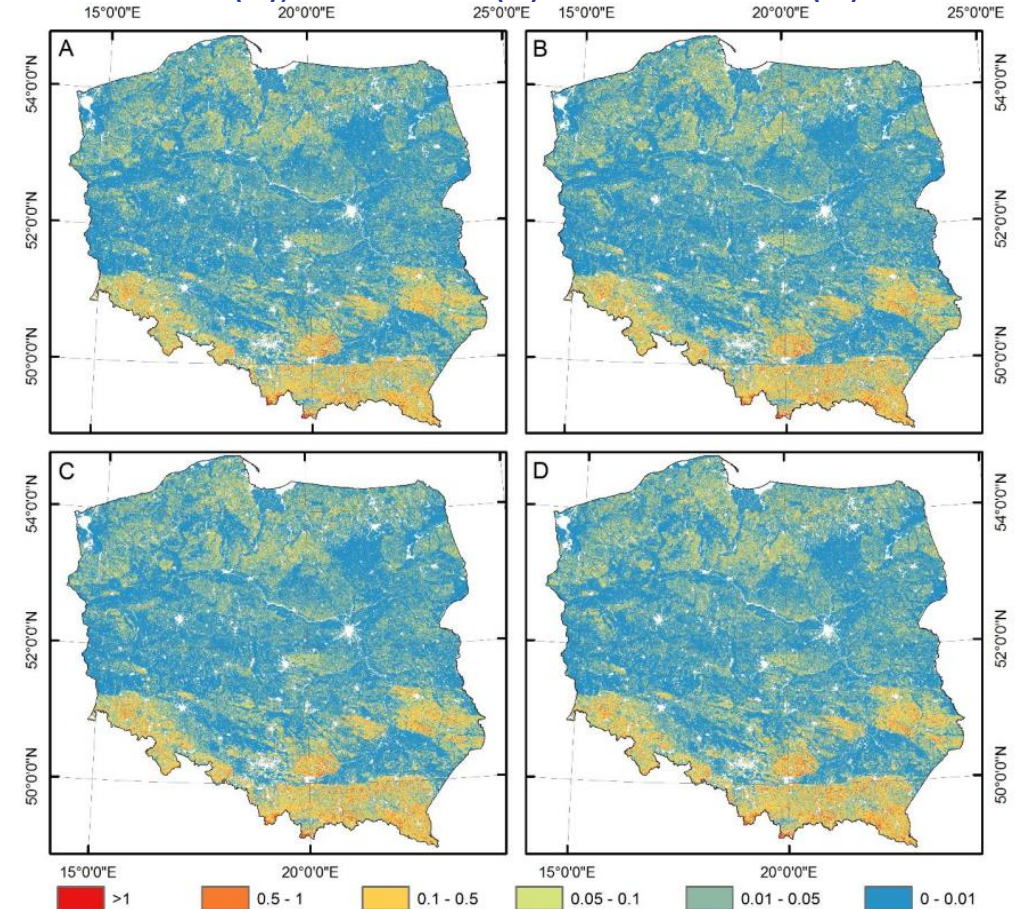


## Ocena zagrożenia gleb erozją wodną - model RUSLE

Mapa współczynnika rodzaju upraw i sposobu użytkowania terenu (C) opracowanego na podstawie danych Sentinel-2



Mapy erozji dla czterech scenariuszy zmian koncentracji dwutlenku węgla RCP4.5-NF (A), RCP4.5-FF (B), RCP8.5-NF (C) and RCP8.5-FF (D).

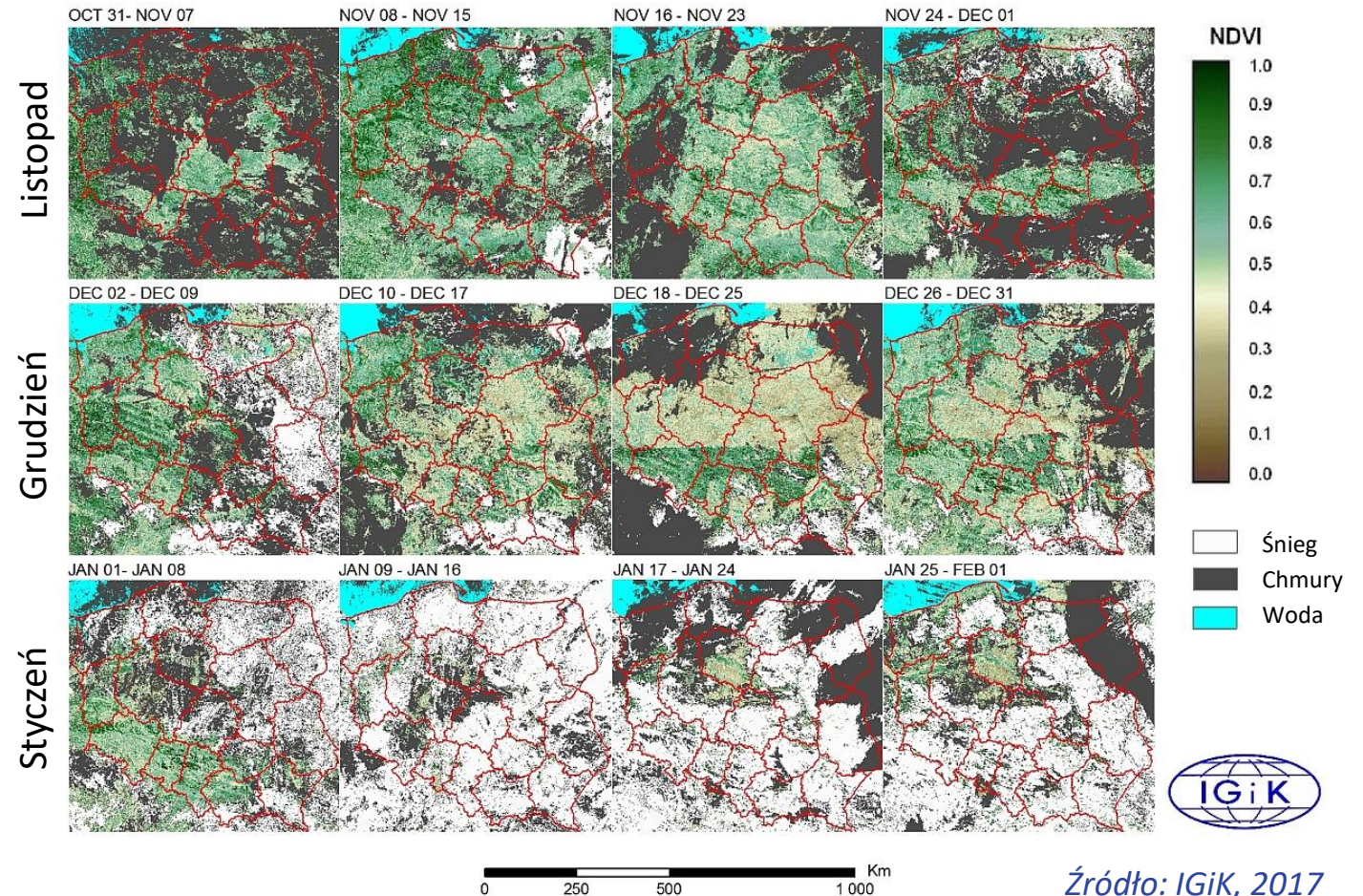


Źródło: Marcinkowski i in., 2022

Dane satelitarne w monitoringu – czas zalegania pokrywy śnieżnej.

Zasięg i czas zalegania śniegu na obszarze Polski.

Mapy pokrycia śniegiem w sezonie zimowym 2016/2017  
opracowane na podstawie danych MODIS

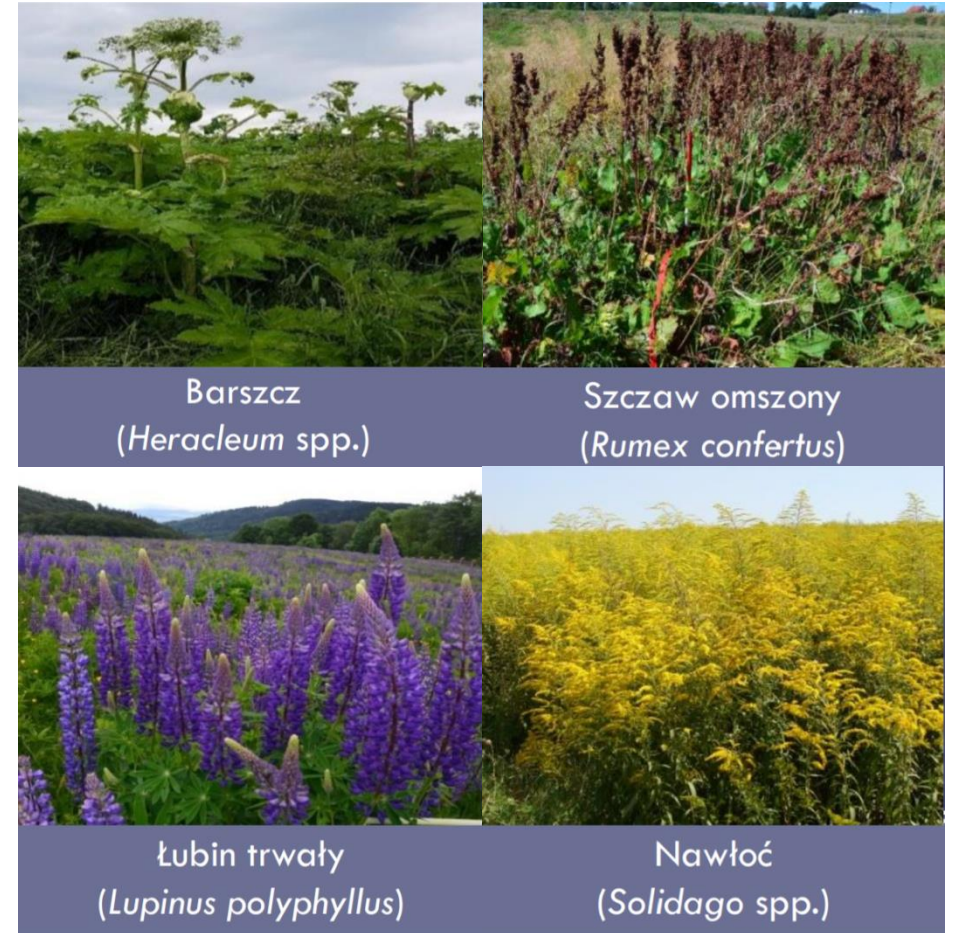


Źródło: IGiK, 2017

Dane satelitarne w monitoringu – wkraczanie obcych inwazyjnych gatunków roślin.

Gatunek inwazyjny – wpływ na środowisko przyrodnicze, zagrożenie dla wielu ekosystemów:

- konkurowanie z rodzimymi gatunkami roślin,
- często uniemożliwiający ich regenerację,
- ograniczanie dostępu do światła,
- zmiany w tempie rozkładu materii,
- ograniczanie lub nawet uniemożliwianie kiełkowania siewek,
- zmiana właściwości fizycznych i chemicznych gleby oraz aktywności mikroorganizmów glebowych,
- oddziaływania allelopatyczne.



Źródło: Szporak-Wasilewska, S., Tokarska-Guzik, B. i in., 2018

Dane satelitarne w monitoringu skutków – wkraczanie obcych inwazyjnych gatunków roślin.



## Identyfikacja obcych inwazyjnych i rodzimych ekspansywnych gatunków roślin



### KLASYFIKACJA

#### Metoda: Random Forest

- Każda homogeniczna grupa poligonów pod względem określonego procentowego pokrycia powinna mieć swoją reprezentację w liczbie minimum 10 poligonów.

#### OCENA STATYSTYCZNA

- Macierz błędów
- Współczynnik KAPPA
- Współczynnik F1

#### OCENA EKSPERCKA

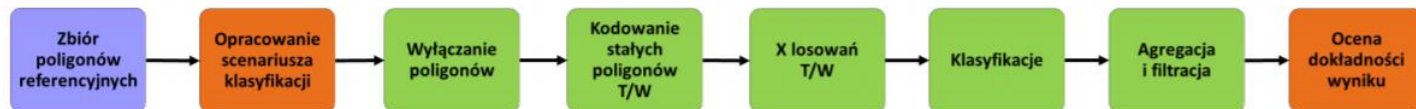
- Weryfikacja w terenie



*Reynoutria spp.*

Suma powierzchni płatów [ha]: 11,50

Udział powierzchni płatów gatunku w powierzchni obszaru badawczego [%]: 1,37

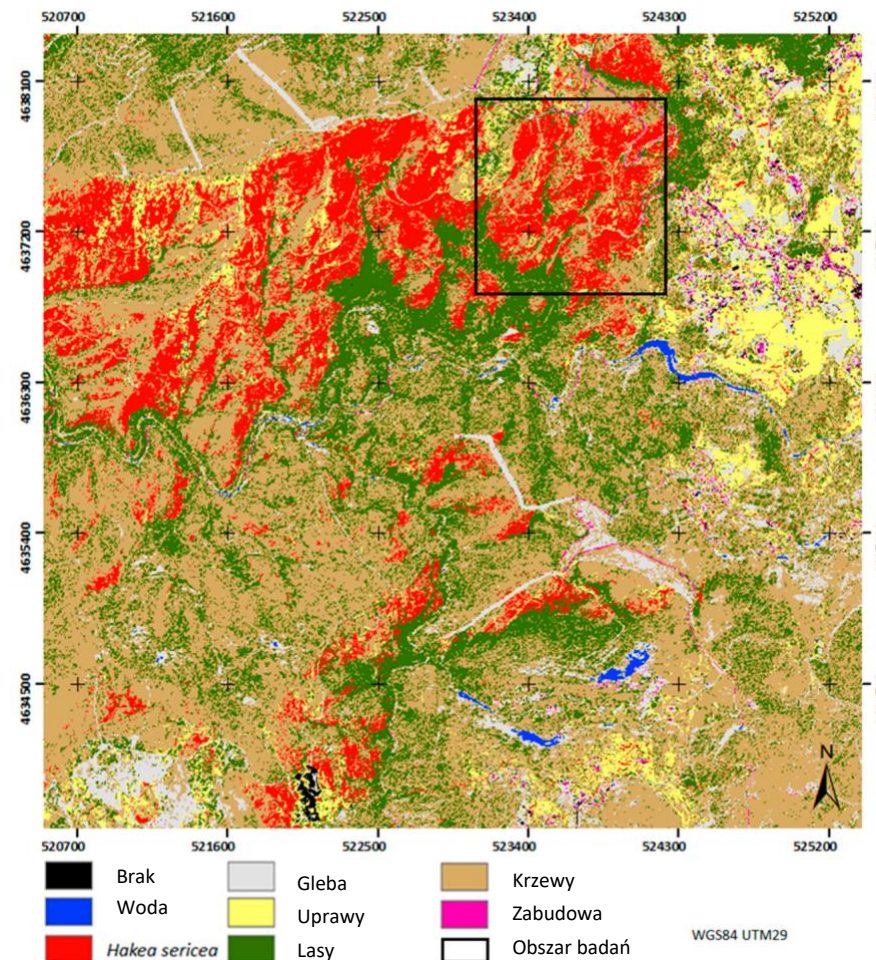


Konferencja Środowisko Informacji – 22 listopada 2018 r. Centrum Nauki Kopernik w Warszawie

25

Źródło: Szporak-Wasilewska, S. i in., 2018

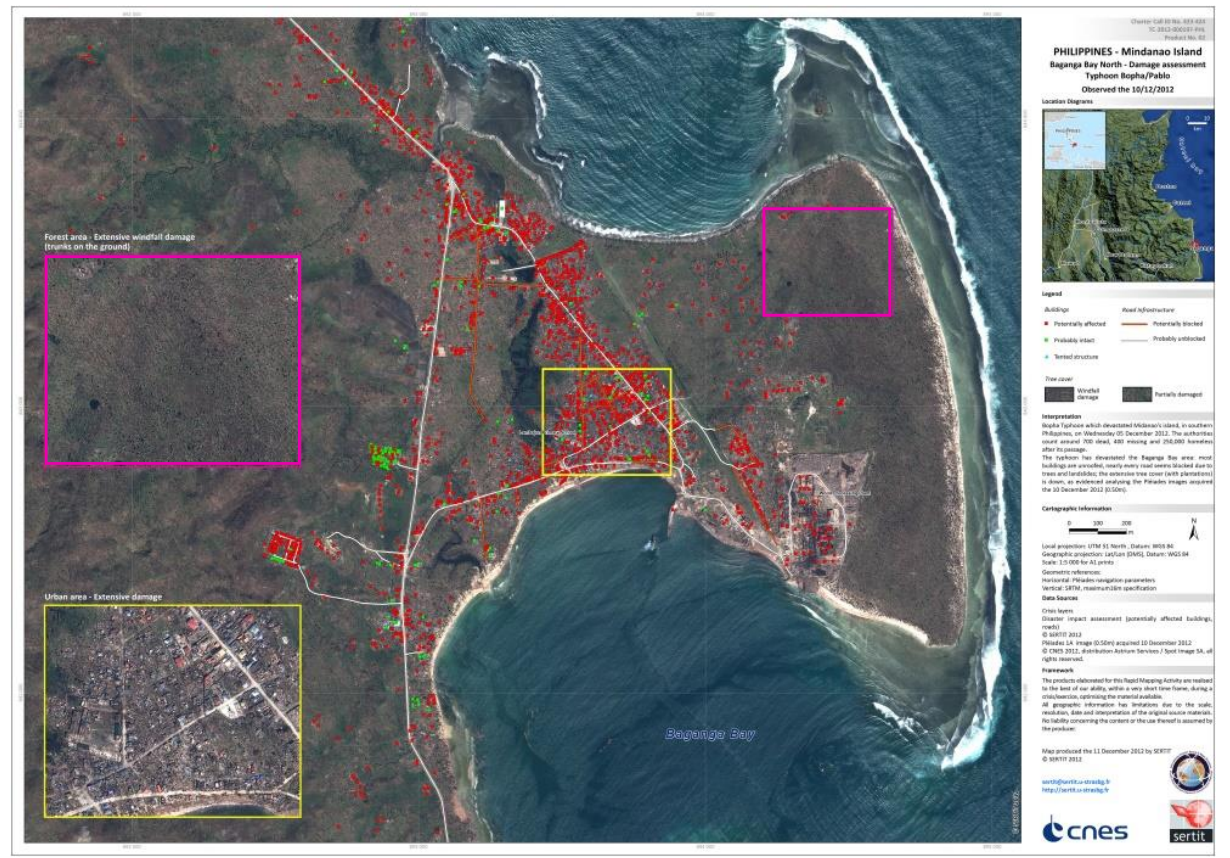
## Mapa występowania *Hakea sericea* na podstawie WorldView-2



Źródło: Alvarez-Taboada B. i in., 2017

Dane satelitarne w monitoringu skutków – klęski żywiołowe (tajfuny).  
Tajfun Haiyan – Filipiny.

Zniszczenia spowodowane przez tajfun opracowane na podstawie zobrazenia Pleiades (GSD 0,5 m, 10.12.2012) – Filipiny



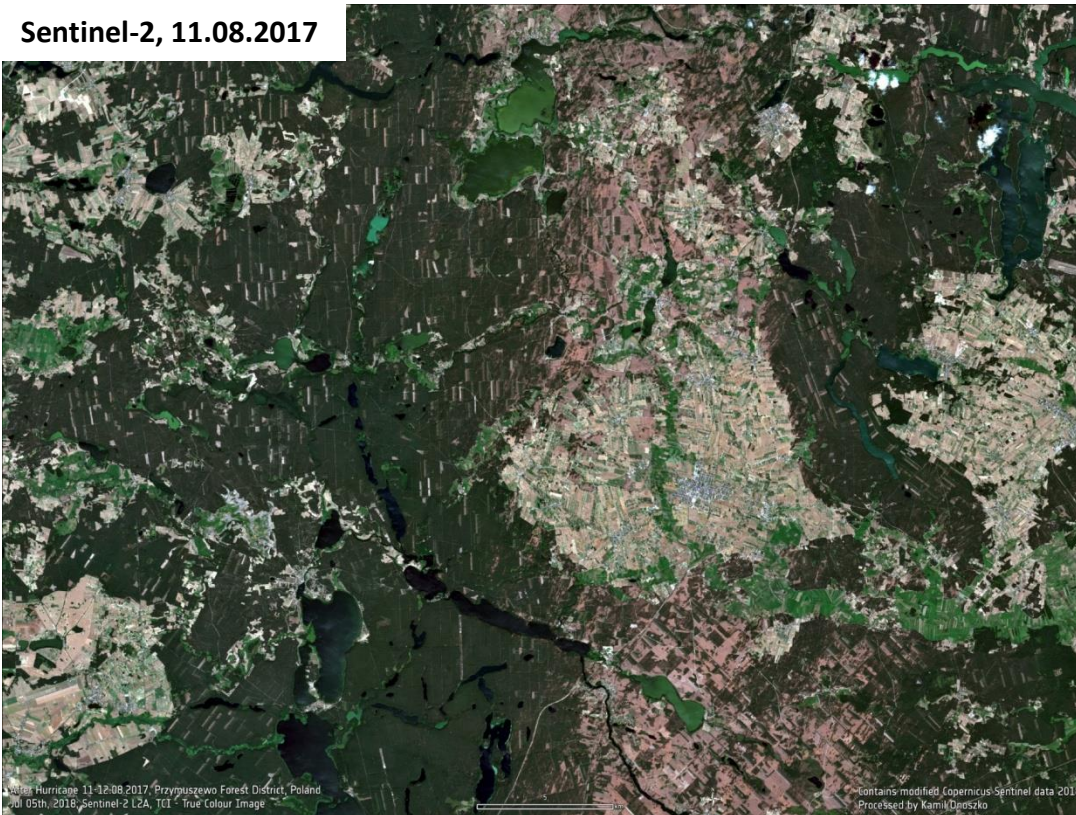
Źródło: ICube-SERTIT, 2012

Dane satelitarne w monitoringu skutków – klęski żywiołowe (tajfuny).

Szkody wyrządzone przez huragan w dniach 11-12.08.2017 r. – N-ctwo Przymuszewo

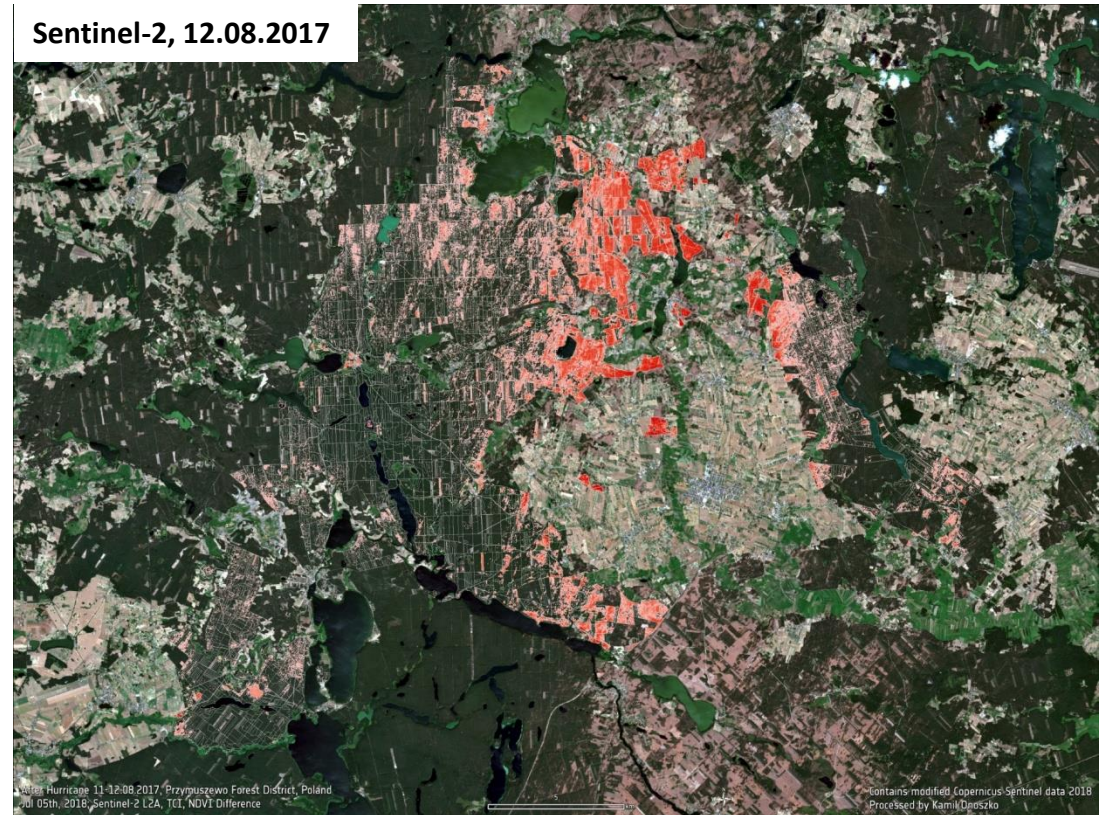
Przed zdarzeniem

Sentinel-2, 11.08.2017



Po zdarzeniu

Sentinel-2, 12.08.2017



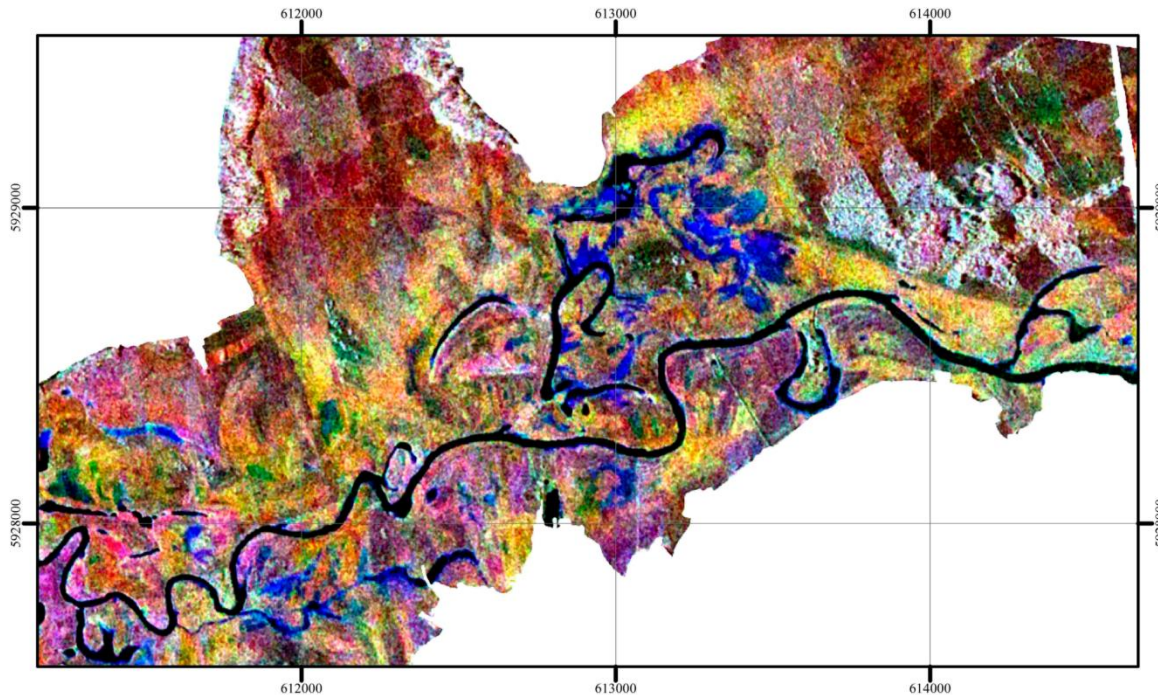
Źródło: Onoszko, K., 2018

Dane satelitarne w monitoringu i ocenie kondycji siedlisk.

- Ochrona siedlisk wymaga pracy na wielu poziomach i obejmuje egzekwowanie prawa, badania i edukację.
- Aktywna ochrona wymaga częstych inwentaryzacji zasobów na obszarach chronionych w celu oceny ich stanu.
- Monitoring obejmuje najczęściej:
  - mapy roślinności i użytkowania terenu,
  - mapy zbiorowisk roślinnych,
  - mapy wilgotności gleb,
  - mapy zasięgów zalewów i podtopień terenu,
  - detekcję zmian wilgotności, pokrycia, procesów fenologicznych i fizjologicznych,
  - mapy spektralnych wskaźników roślinnych kondycji siedlisk i/lub zbiorowisk roślinnych,
  - mapy wskaźników temperaturowych przedstawiających kondycję siedlisk i/lub zbiorowisk roślinnych,
  - mapy wskaźników przedstawiających szorstkość powierzchni, wysokość roślinności, strukturę roślinności,
  - mapy zagrożeń (np. wkraczaniem gatunków inwazyjnych).

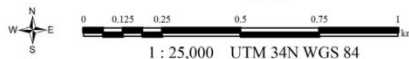
## Dane satelitarne w monitoringu i ocenie kondycji siedlisk.

Kompozycja barwna opracowana na podstawie  
zobrazowań Terra SAR-X/TanDEM-X



Colour composition:  
R: 25 April 2015 VV  
G: 17 May 2015 VV  
B: 19 June 2015 VV

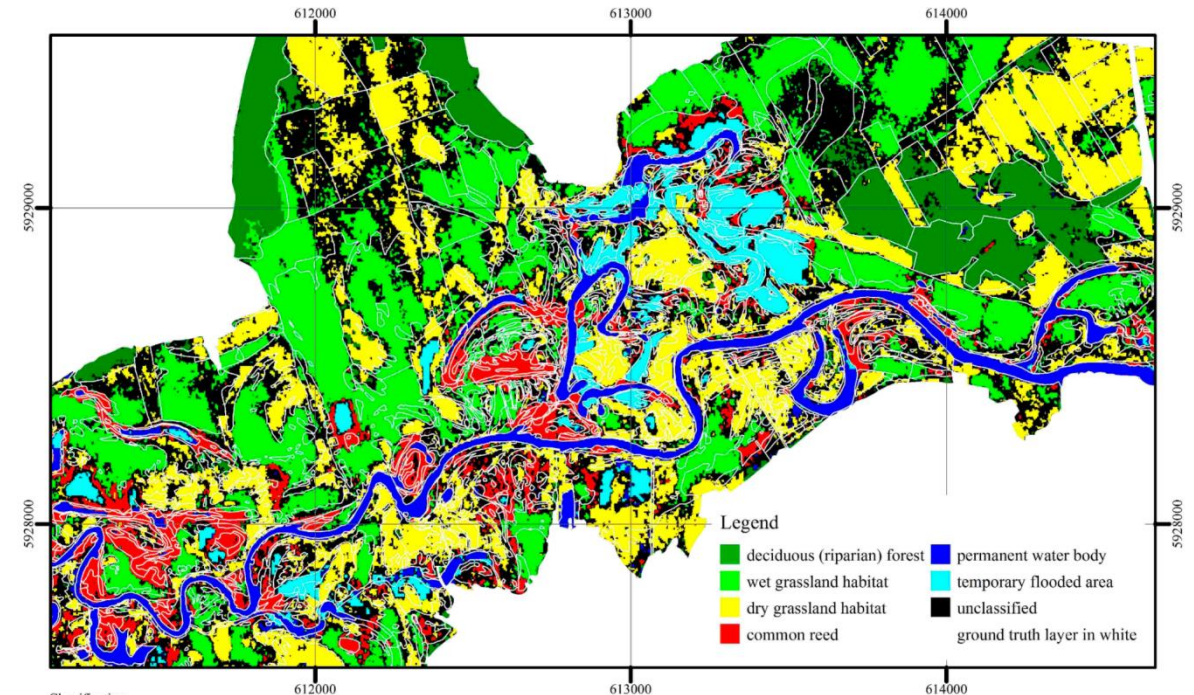
Pixel size: 2.5 m x 2.5 m



1 : 25,000 UTM 34N WGS 84  
**BIEBRZA NATIONAL PARK**

TerraSAR-X / TanDEM-X data © DLR 2015  
TerraSAR-X / TanDEM-X images processed in the framework  
of the project funded by the Polish National Science Centre  
on the basis of decision number DEC-2012/07/B/ST10/04378.

Wynik klasyfikacji metodą Support Vector Machines (SVM)



Classification:  
Kernel Type: RBF, Penalty Parameter:100,  
Gamma: 0.1, Pyramid Level: 2, Pyramid Prob.  
Threshold: 0.9, Class. Prob. Threshold: 0.9  
based on the images taken on:  
25 April 2015, 6 May 2015, 17 May 2015,  
8 June 2015, 19 June 2015, 30 June 2015



1 : 25,000 UTM 34N WGS 84  
**BIEBRZA NATIONAL PARK**

TerraSAR-X / TanDEM-X data © DLR 2015  
TerraSAR-X / TanDEM-X images processed in the framework  
of the project funded by the Polish National Science Centre  
on the basis of decision number DEC-2012/07/B/ST10/04378.

Źródło: Mleczek, M., Mróz, M., 2018



Dane satelitarne w monitoringu i ocenie kondycji siedlisk.

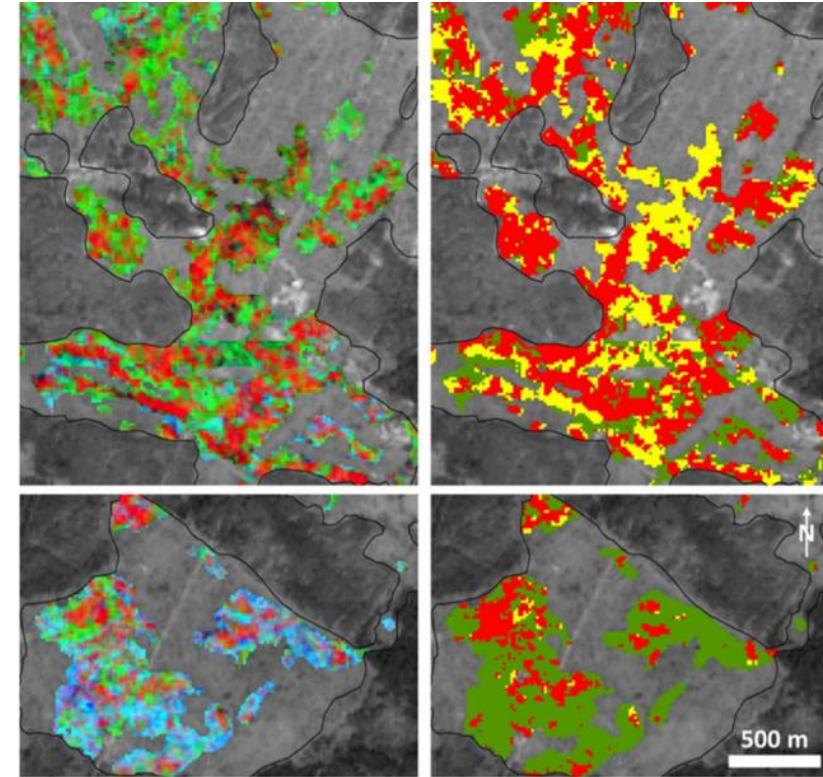
- BIOdiversity Multi-Source Monitoring System: from Space TO Species (BIO SOS) – monitorowanie obszarów Natura 2000 i terenów przyległych.
- Multi-Scale service for MONItoring NATURA 2000 habitats of European community interest (MS.MONINA) - serwis monitorowania obszarów chronionych NATURA 2000 z wykorzystaniem danych teledetekcyjnych na trzech poziomach szczegółowości: poziomie europejskim, krajowym oraz lokalnym.
- System monitorowania obszarów mokradłowych Ramsar z wykorzystaniem danych satelitarnych (POLWET).
- Global Monitoring for Environment and Security (GMES).

Dane satelitarne w monitoringu i ocenie kondycji siedlisk.

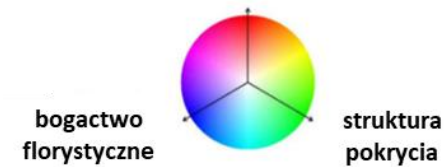
Stan siedlisk Natura 2000 – wrzosowiska.



Mapy stanu wrzosowisk opracowane na podstawie obrazów Sentinel-1 i Sentinel-2



**Pokrycie - Calluna**



**Status**

- A - dobry
- B - średni
- C - zły

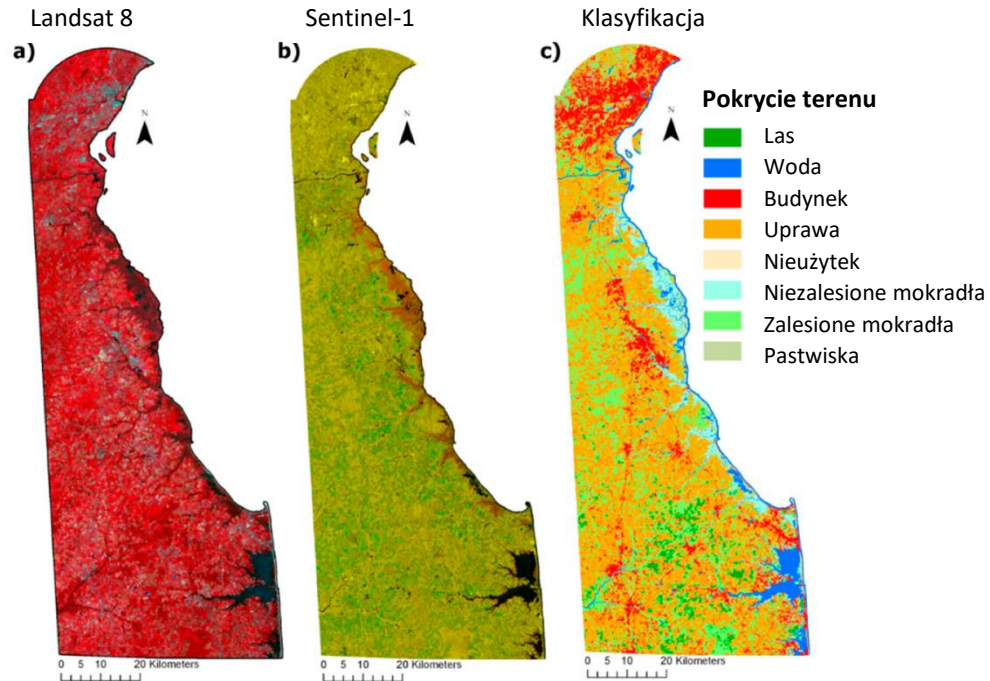
Źródło: Schmidt J. i in., 2017

Dane satelitarne w monitoringu i ocenie kondycji siedlisk.

Stan siedlisk – obszary mokradłowe.

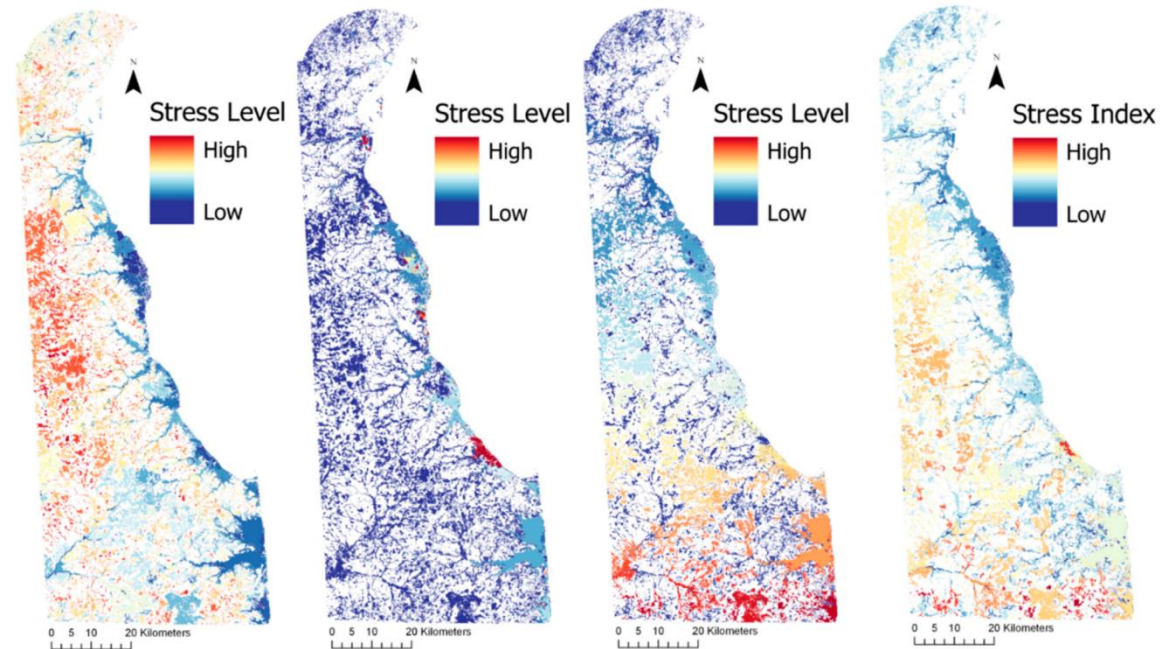
Rapidly Assessed Wetland Stress Index (RAWSI).

Pokrycie terenu



Ocena kondycji mokradeł

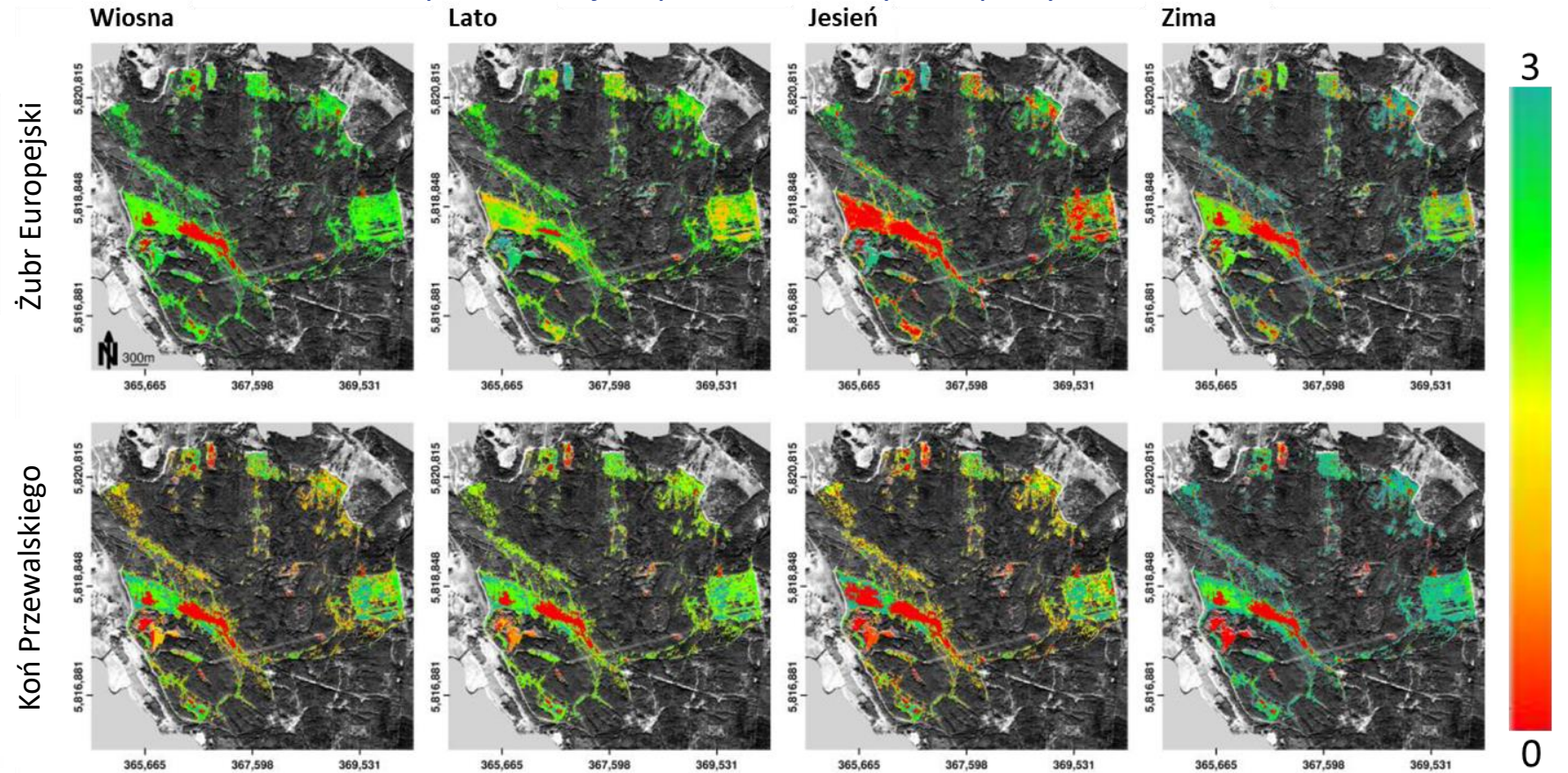
a) pokrycie terenu b) roślinność naturalna c) stres wodny d) roślinność mokradłowa



Źródło: Walter M., Mondal P., 2019

Dane satelitarne w monitoringu i ocenie kondycji siedlisk – fauna.

Preferencje żywieniowe żubra europejskiego i konia Przewalskiego przedstawione na mapie siedlisk opracowanej na podstawie danych RapidEye dla lat 2014-2016



Źródło: Zielke L. i in., 2019

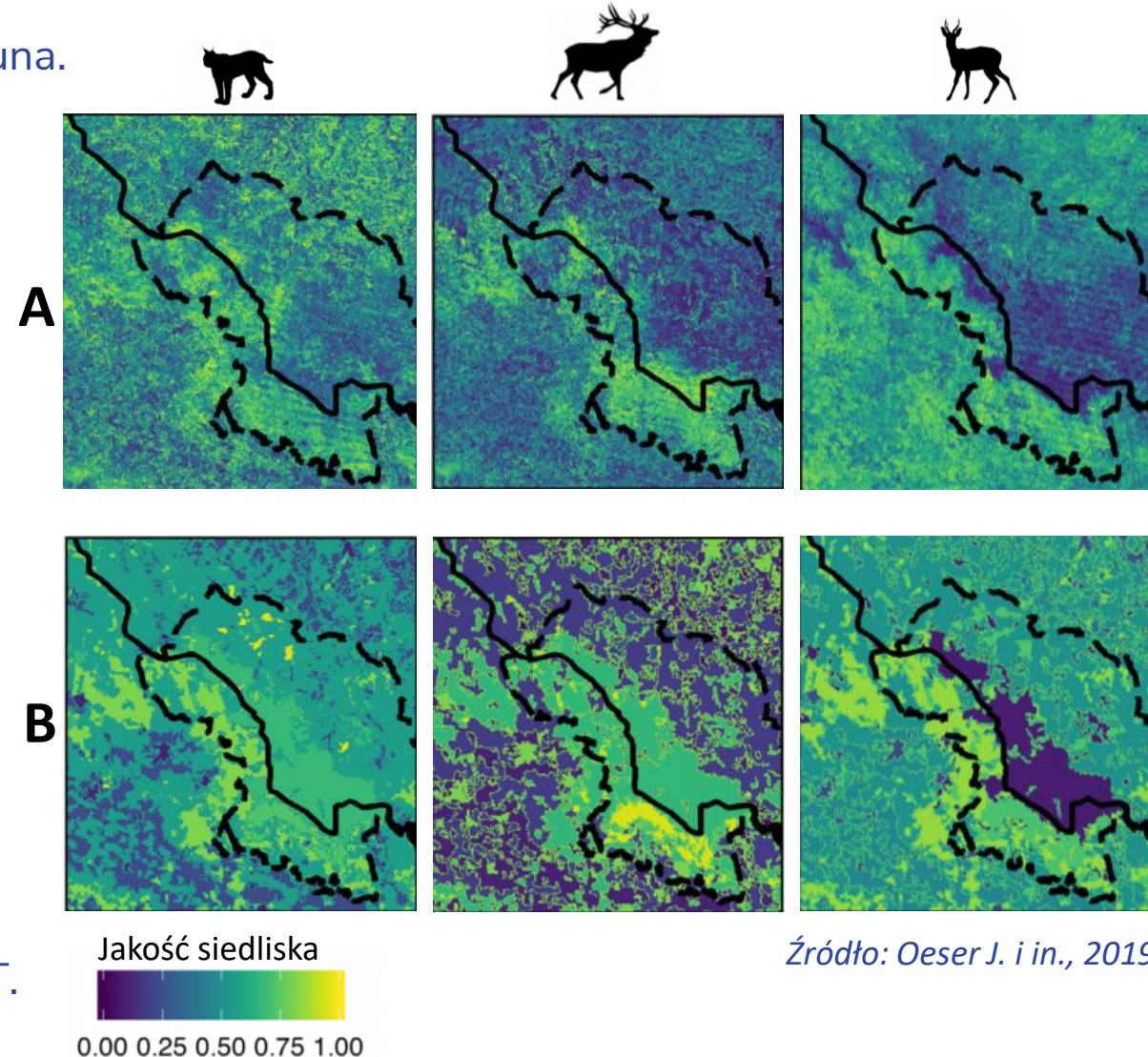
Dane satelitarne w monitoringu i ocenie kondycji siedlisk – fauna.

**A** – jakość siedliska dla wybranych przedstawicieli fauny opracowana na podstawie analizy danych teledetekcyjnych.

**B** – jakość siedliska odniesiona do mapy CORINE LandCover.

Mapę wynikową opracowano na podstawie wieloczasowych produktów teledetekcyjnych dotyczących:

- fenologii,
  - produktywności,
  - zwarcia pokrywy roślinnej,
  - wilgotności gleby,
  - pokrywy śnieżnej.
- Technika modelowania predyktywnego zasięgu – MAXENT.

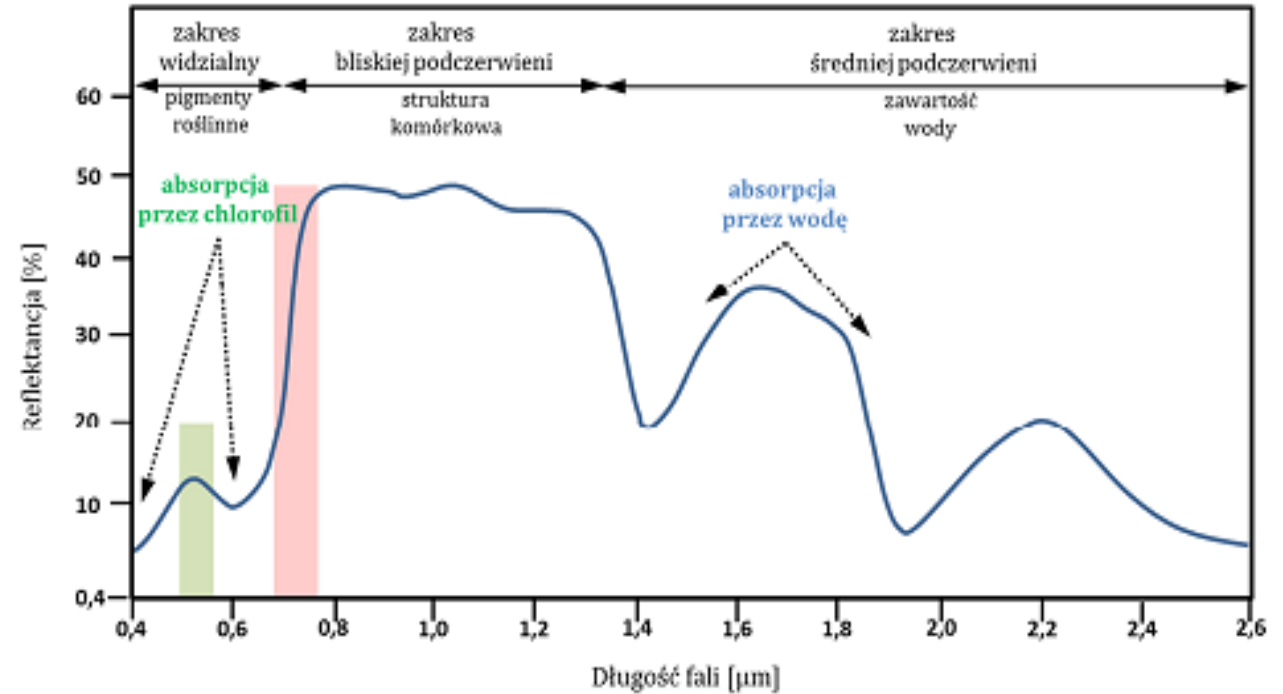


Źródło: Oeser J. i in., 2019

Dane satelitarne w ocenie kondycji roślin – teledetekcyjne wskaźniki spektralne:

- ocena ogólnego stanu roślinności: NDVI, ARVI, GNDVI, TVI, WRDVI,
- ocena ilości barwników fotosyntetycznie czynnych: CRI1, REPI, VREI2, SRPI, ARI2, XES, RARS,
- ocena zawartości azotu: NDNI,
- ocena ilości światła wykorzystywanego w procesie fotosyntezy: PRI, SIPI,
- ocena ilości suchej biomasy i węgla: PSRI, NDLI, CAI,
- ocena zawartości wody: NDWI, AWC, WBI.

Właściwości spektralne roślinności



Źródło: Szporak-Wasilewska S., 2012

Dane satelitarne w ocenie kondycji roślin – teledetekcyjne wskaźniki spektralne.

Znormalizowany wskaźnik zieleni NDVI jest dziś chyba najczęściej wykorzystywanym i najlepiej poznanym wskaźnikiem roślinnym.

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

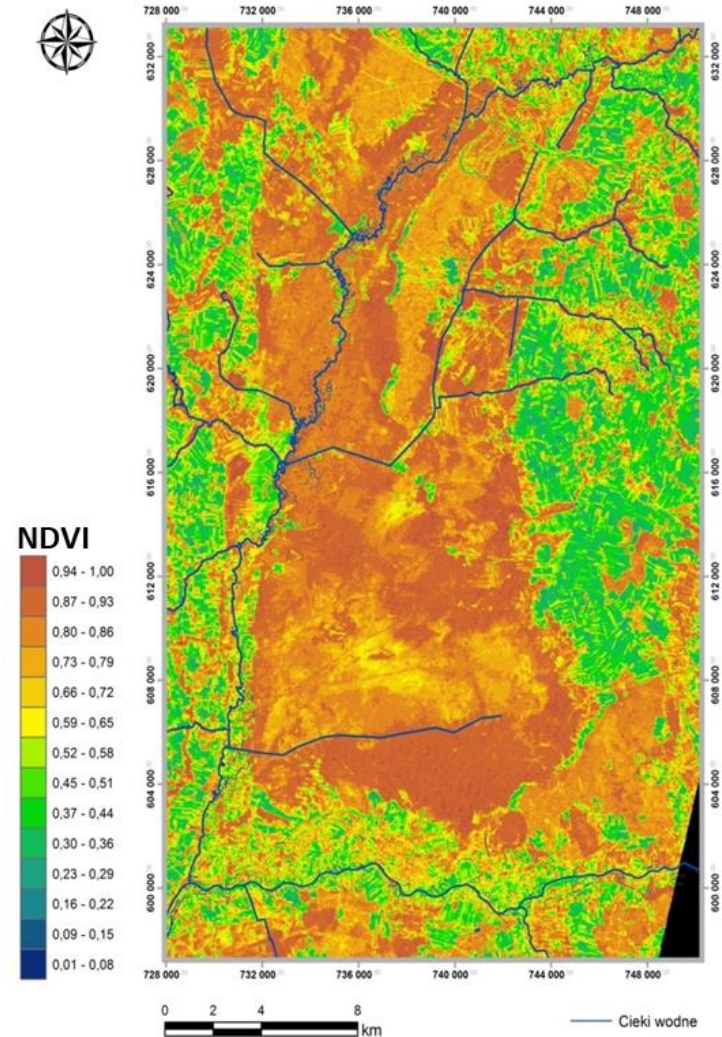
Gdzie:

NIR – wartość odbicia bliskiej podczerwieni

Red – wartość odbicia światła czerwonego

Źródło: Szporak-Wasilewska S., 2012

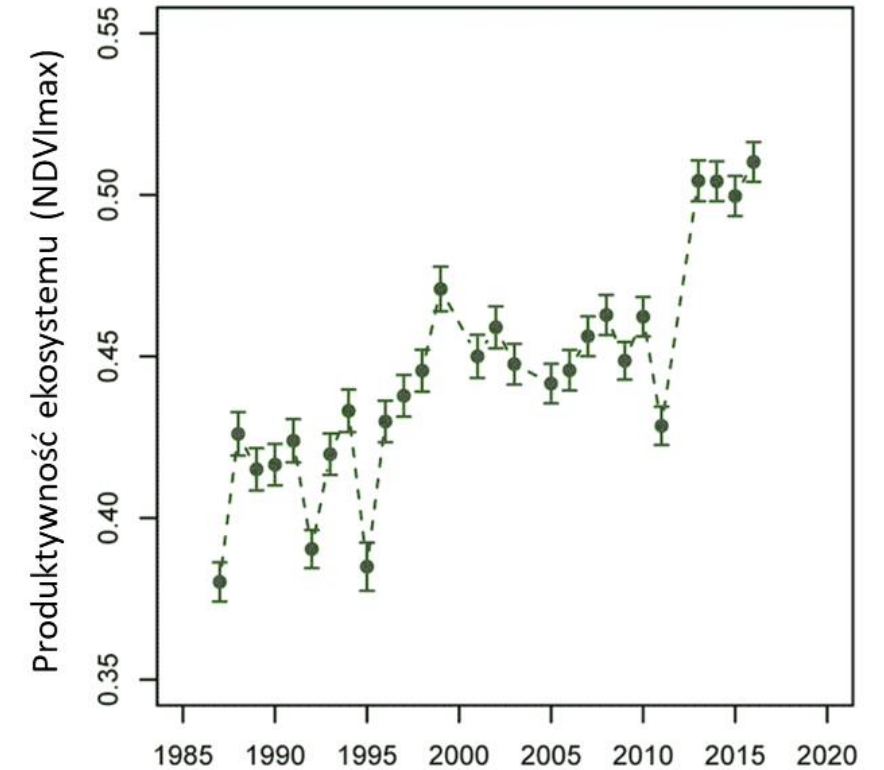
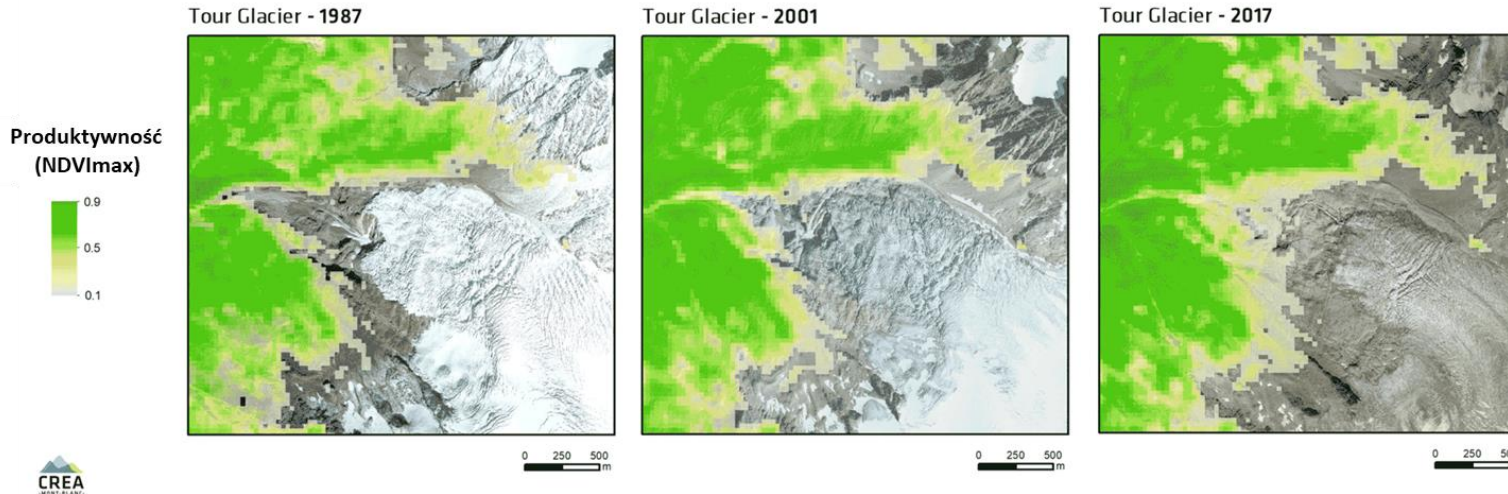
Wskaźnik NDVI opracowany na podstawie danych Landsat 5



Dane satelitarne w ocenie kondycji roślin – teledetekcyjne wskaźniki spektralne.

Ocena produktywności ekosystemów – Mont Blanc, Francja.

Analiza zmian  $NDVI_{max}$  (lato) z wykorzystaniem regresji liniowej opracowana na podstawie obrazowań Landsat – Mont Blanc, Francja



Źródło: Brad Carlson, CREA Mont-Blanc we współpracy z Laboratoire d'Ecologie Alpine (LECA), 2017



Dane satelitarne w ocenie kondycji roślin.

Wskaźnik fAPAR – frakcja akumulowanej energii fotosyntetycznie czynnej.

- Stosunek promieniowania wykorzystywanego przez rośliny w procesie fotosyntezy do promieniowania docierającego do roślin. Frakcja wyraża produktywność roślin.

$$fAPAR = \frac{APAR}{PAR_0}$$

$$APAR = (PAR_0 + PAR_s) - (PAR_c + PAR_t)$$

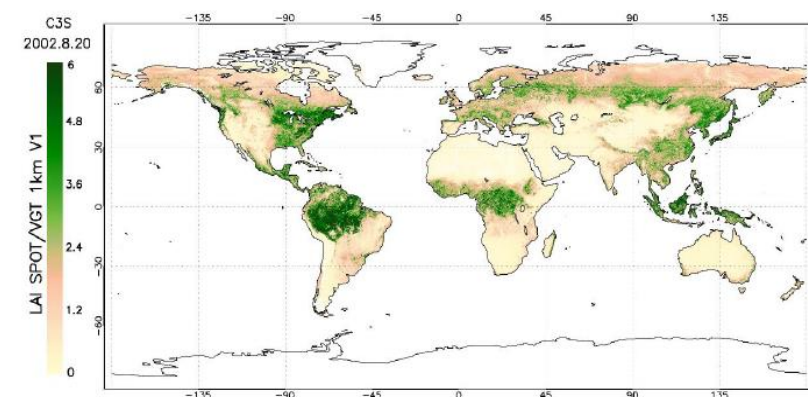
Gdzie:

$PAR_0$  – gęstość strumienia promieniowania bezpośredniego docierającego do roślin

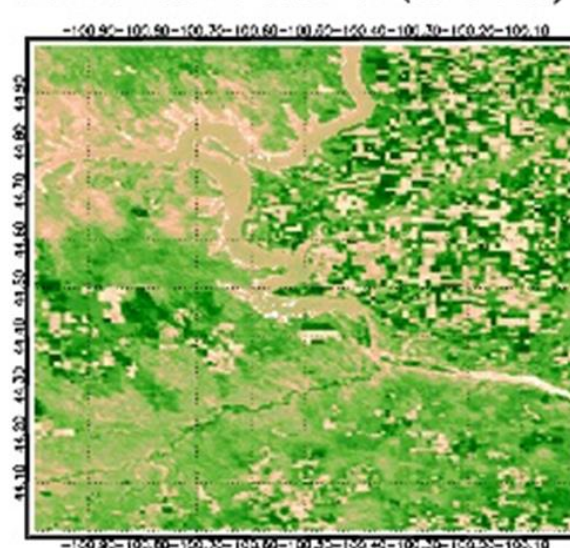
$PAR_t$  – ... przenikającego przez rośliny

$PAR_s$  – ... odbitego od gleby

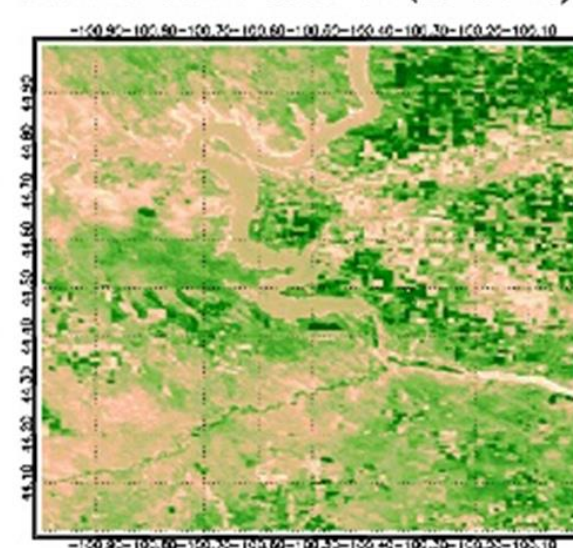
$PAR_c$  – ... odbitego od roślin



FAPAR PROBA-V 300m V1 (2018.6.20)



FAPAR PROBA-V 300m V1 (2018.7.10)



Źródło: ESA, 2018

Dane satelitarne w ocenie kondycji roślin.

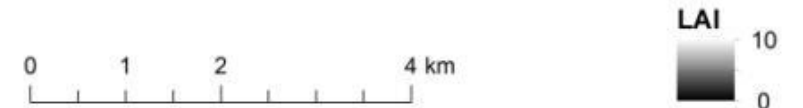
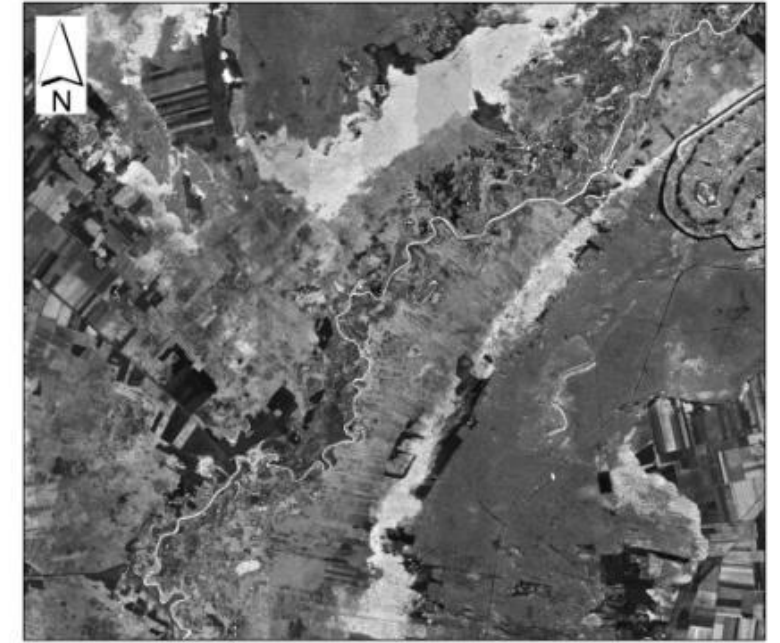
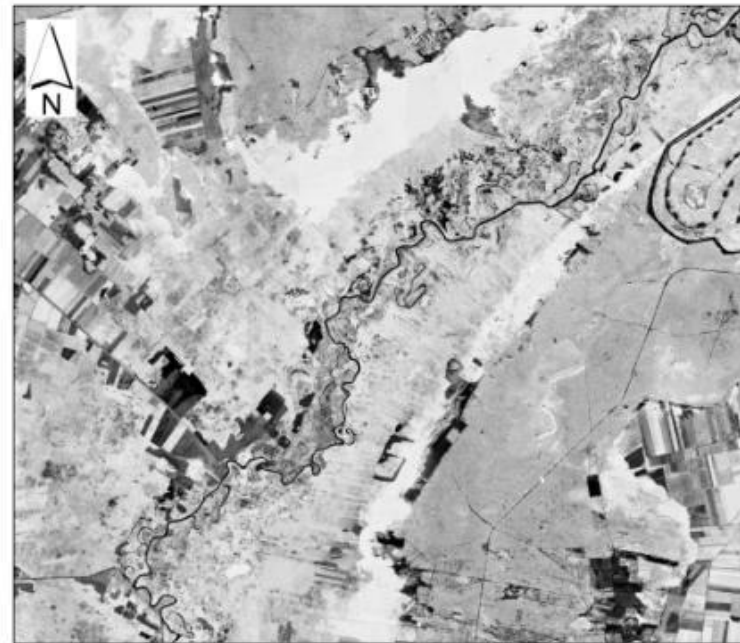
Wskaźniki kondycji roślin – wskaźnik powierzchni projekcyjnej liści LAI (Leaf Area index).

$$LAI = \sqrt{\left(NDVI * \frac{1 + NDVI}{1 - NDVI}\right)}$$

Zastosowanie wskaźnika LAI:

- biomasa,
- fotosynteza,
- intercepcja,
- wymiana gazowa,
- ewapotranspiracja,
- pobór składników pokarmowych,
- produktywność ekosystemów.

Wskaźniki NDVI i LAI opracowane na podstawie zobrażeń Landsat



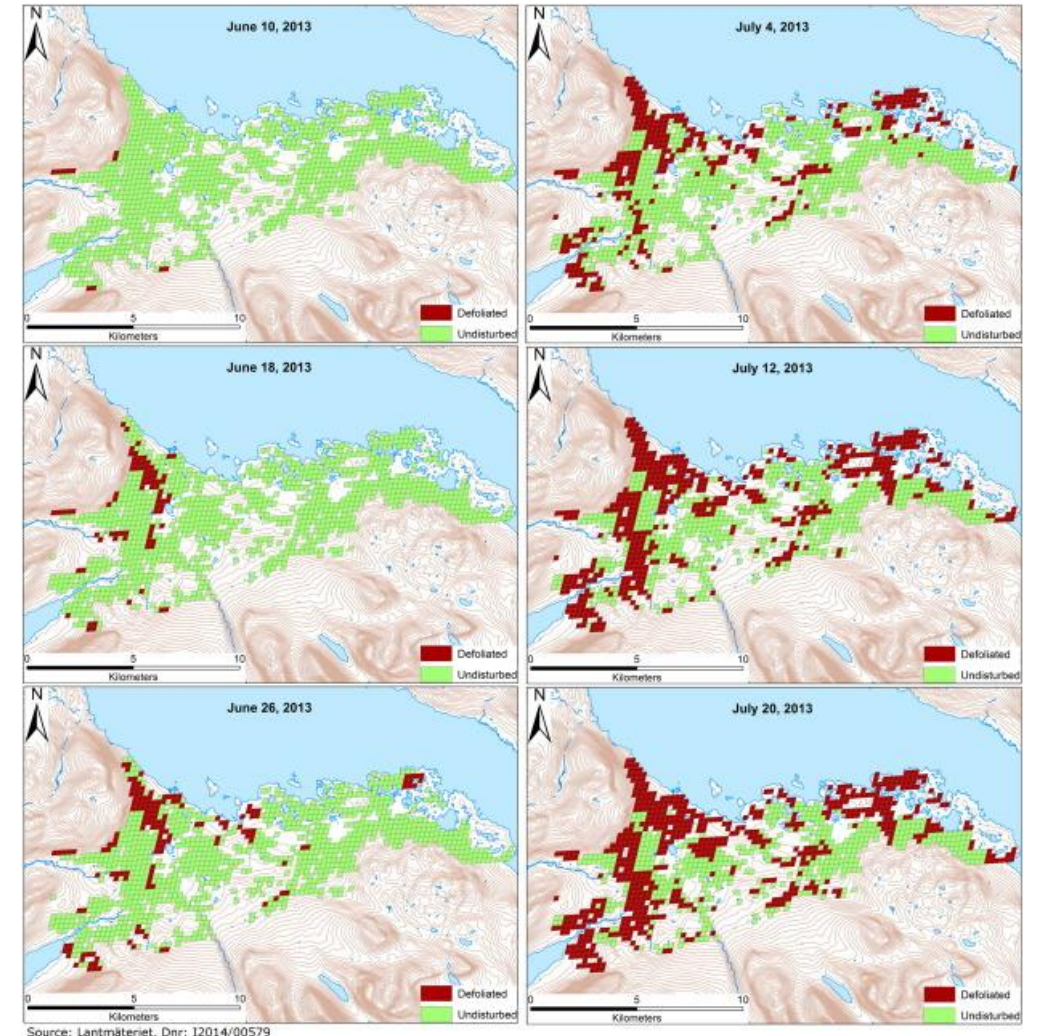
Źródło: Szporak-Wasilewska S., 2012

Dane satelitarne w ocenie kondycji roślin.

Defoliacja liści (MODIS – wskaźnik NDVI).



Mapy defoliacji drzew opracowane na podstawie wskaźnika NDVI (MODIS)



Źródło: P.O. Olsson i in., 2016

Dane satelitarne w ocenie zagrożeń – nielegalna działalność niszcząca naturalne siedliska.

Kopalnia złota – niszczenie rezerwatu przyrody (Tambopata National Reserve) na południe od rzeki Malinowski



Źródło: Planet Labs, 2016

Dane satelitarne w monitoringu i ocenie zasobów wodnych:

- monitoring mokradł,
- ocena wilgotności gleby,
- monitoring pokrywy śnieżnej (grubość, ekwiwalent wodny),
- monitoring pokrywy lodowej,
- monitoring wezbrań,
- monitoring zmian delt rzek,
- modelowanie zlewni rzecznych.

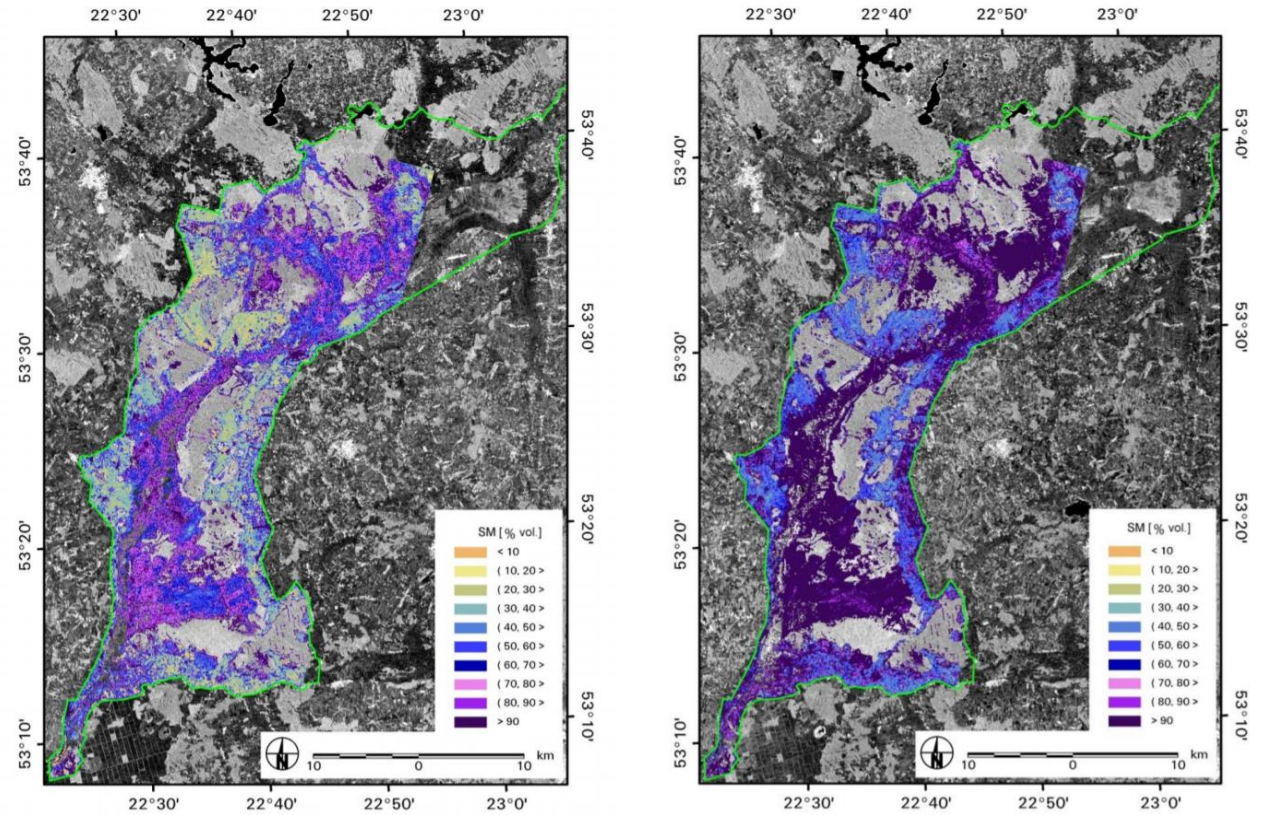
Dane satelitarne w ocenie wilgotności gleby.

- Dane satelitarne - dostosowanie działań ochronnych mających na celu poprawę stosunków wodnych na danym obszarze z uwzględnieniem warunków hydrologiczno-meteorologicznych.
- Satelitarne dane wieloczasowe - efektywne zarządzanie, jak i planowanie działań w celu poprawy warunków.
- Teledetekcyjne wskaźniki glebowe - ocena aktualnego stanu gleb, wilgotności, typu gleb (piasek, glina, gleby organiczne), udziału nekromasy.

Dane satelitarne w ocenie wilgotności gleby.

POLWET - System monitorowania obszarów mokradłowych  
Ramsar z wykorzystaniem danych satelitarnych.

Wilgotność gleby – dolina Biebrzy



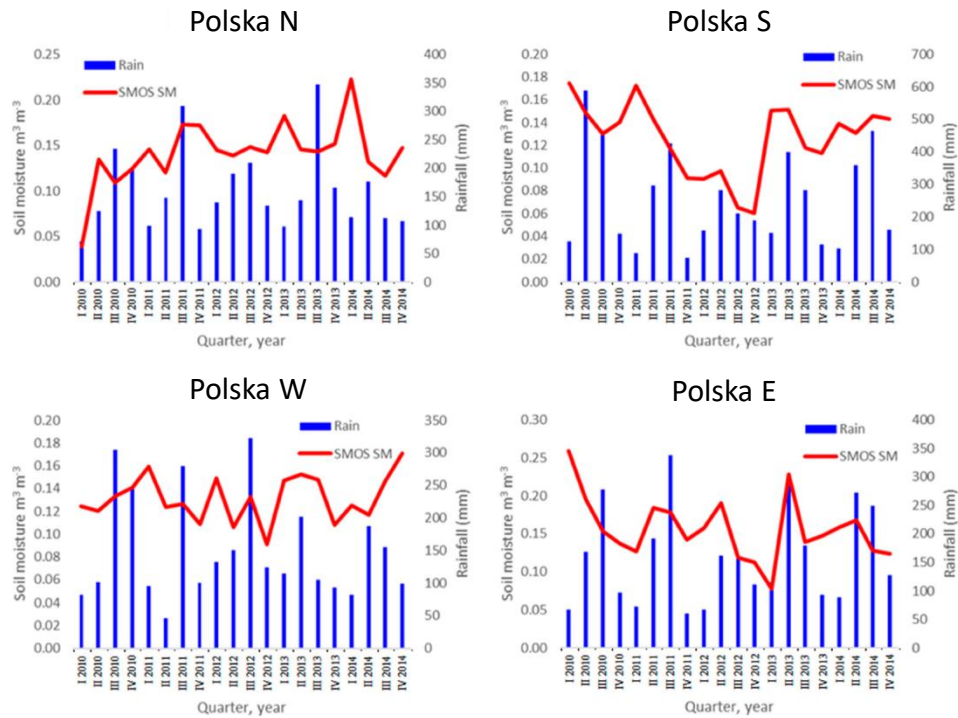
SENTINEL-1 31.10.2014 VV

SENTINEL-1 11.05.2015 VV

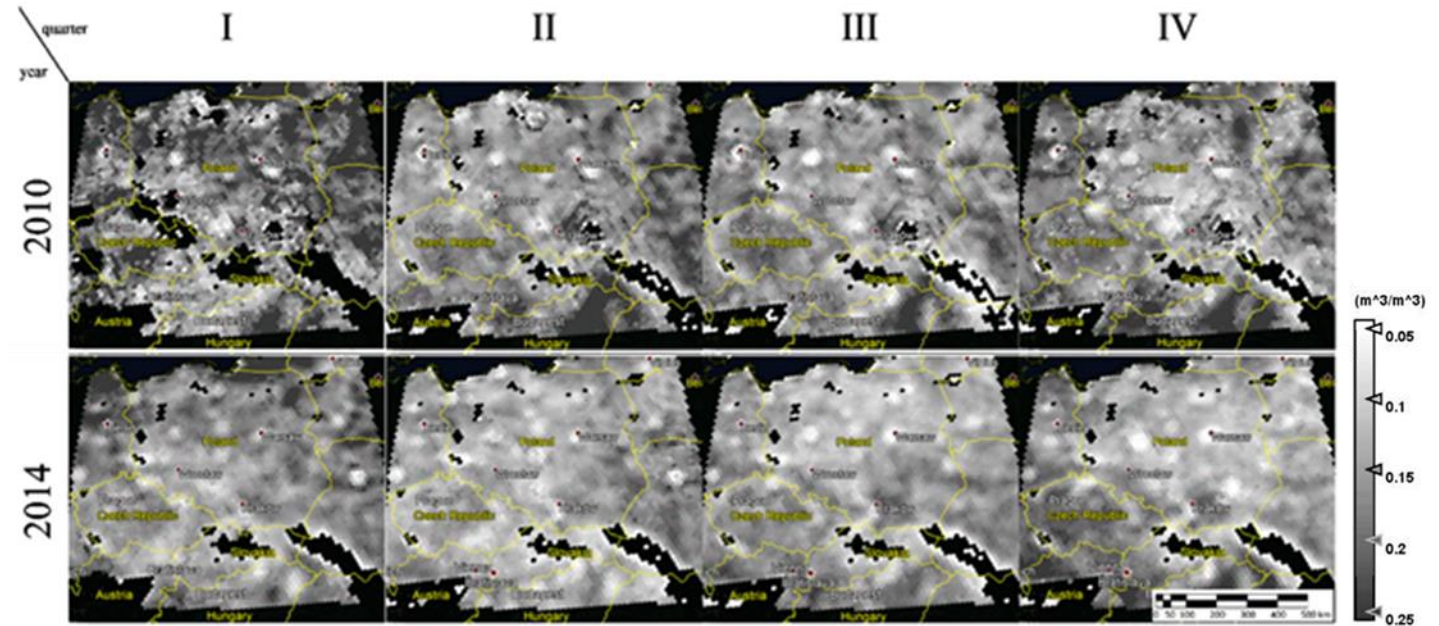
Źródło: Dąbrowska-Zielińska K. i in., 2016

Dane satelitarne w ocenie wilgotności gleby.

Misja Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS) dostarcza globalne mapy wilgotności gleby i zasolenia oceanów. Dane niezbędne do badań hydrologicznych i opisu wzorców cyrkulacji oceanicznej na potrzeby pogłębienia wiedzy o obiegu wody na Ziemi dla poprawy prognoz klimatu, pogody i zdarzeń ekstremalnych.



Mapy wilgotności gleby dla I,II,III i IV kwartału w latach 2010 i 2014 opracowane na podstawie danych SMOS



Źródło: Usowicz B. i in., 2019



Dane satelitarne w monitoringu naturalnych podtopień.

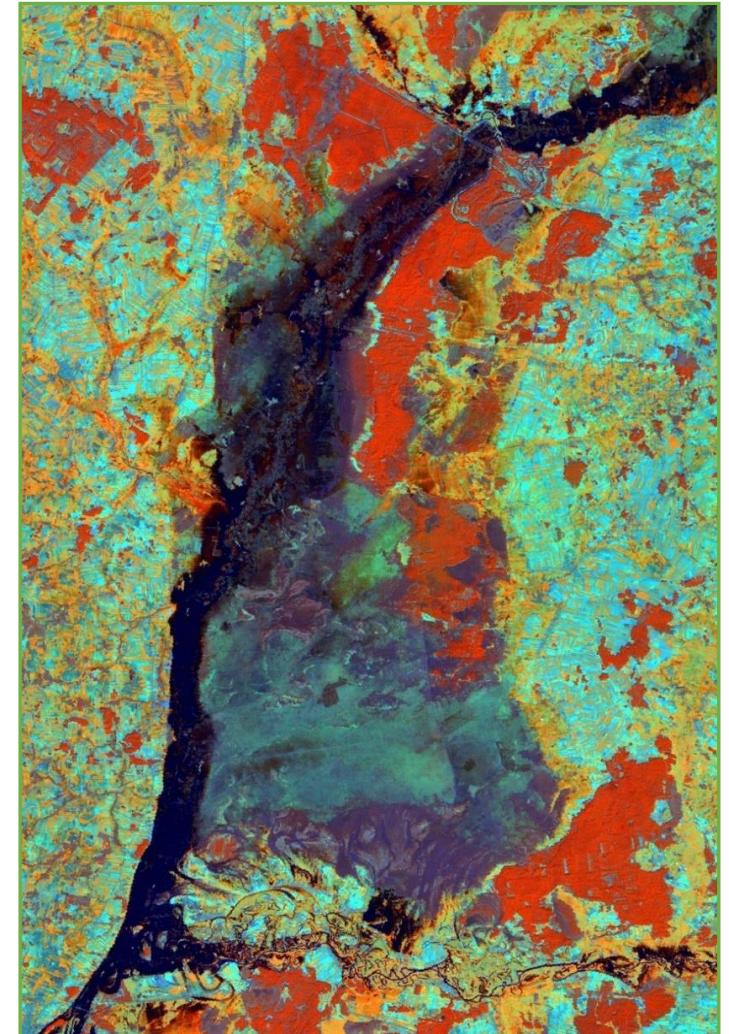
Strefowość poprzeczna doliny – odzwierciedlenie aktualnych stosunków hydrologicznych. Zaznacza się w:

- hydrogenicznych utworach glebowych,
- zbiorowiskach roślinnych występujących w postaci kolejno i równoległe ułożonych do rzeki stref.

Zalewy wodami pochodzenia fluwiogenicznego i soligenicznego kształtują strefowość w dolinie Dolnej Biebrzy.

Źródło: Szporak-Wasilewska S., 2012

Kompozycja barwna Landsat 7  
– dolina Dolnej Biebrzy

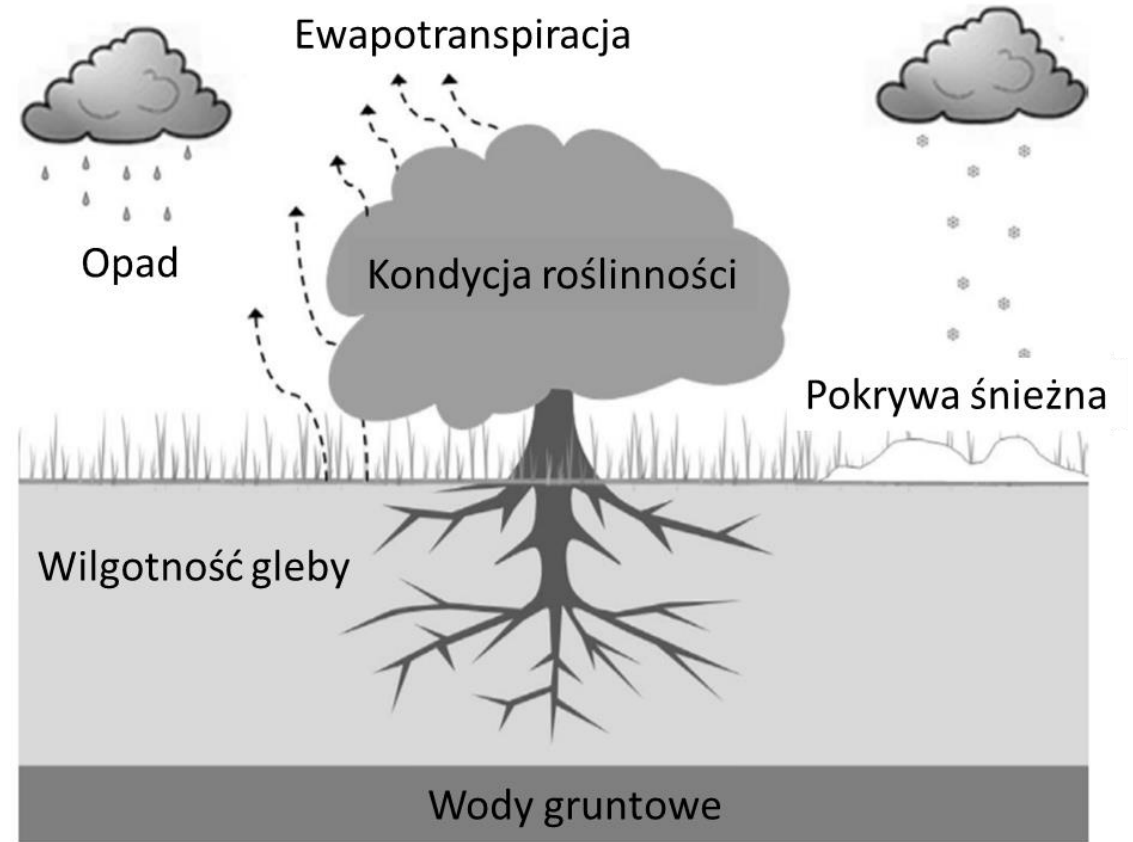
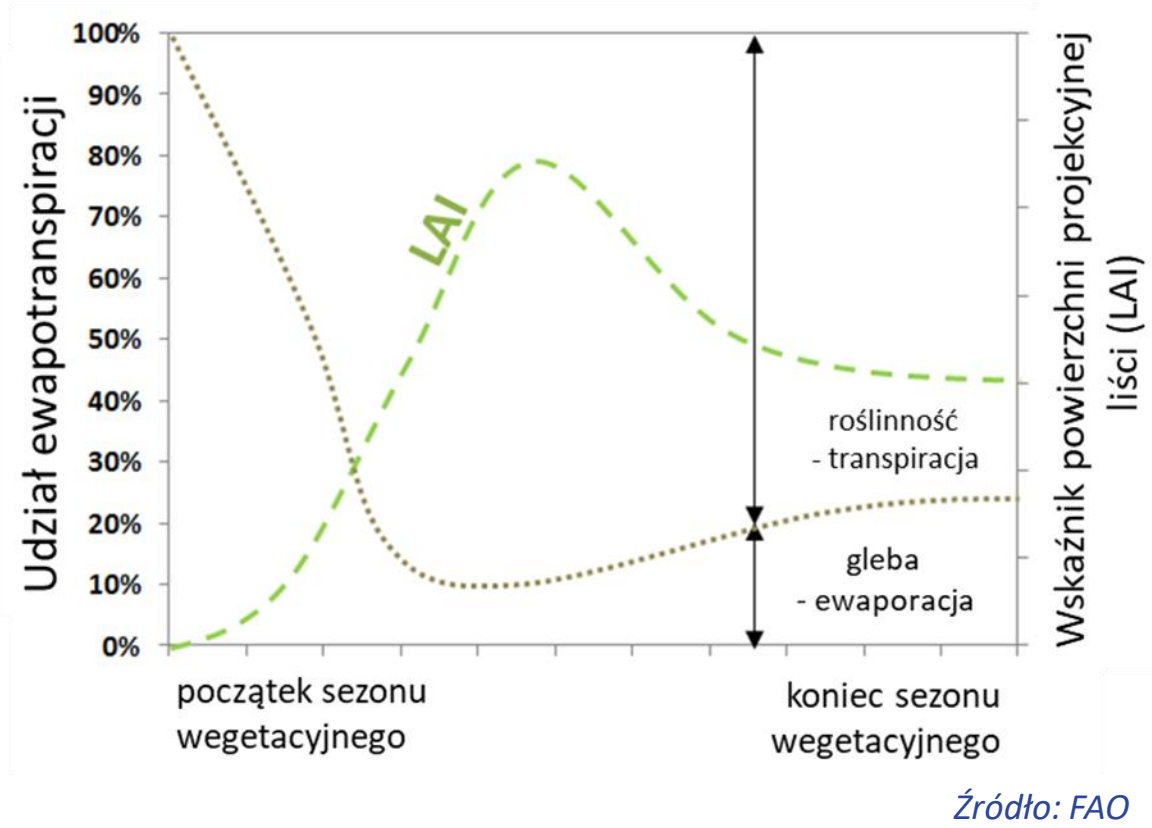


**R – 4/3**

**G – PC1**

**B – 7/4**

Dane satelitarne w monitoringu ewapotranspiracji.

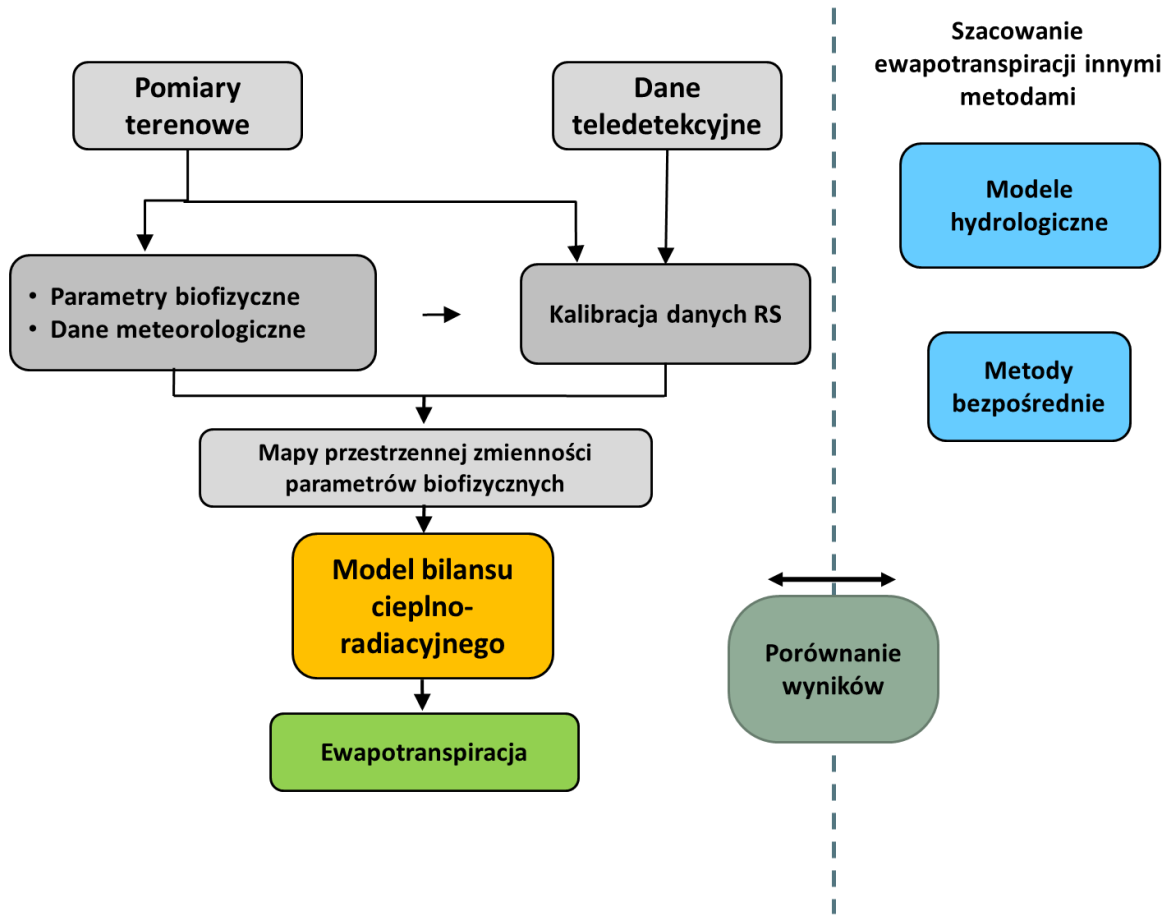


Źródło: Hayes i in., 2012

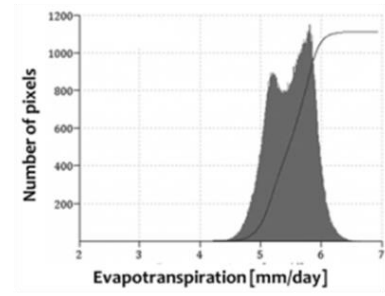
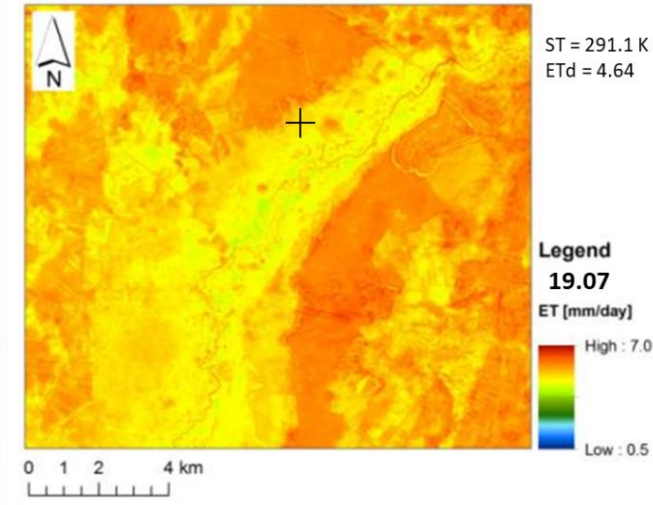
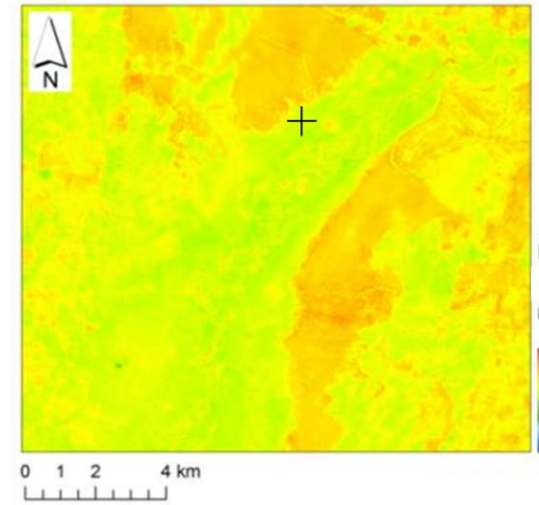
Dane satelitarne w monitoringu ewapotranspiracji.

- Modele jednoźródłowe (Single-Source Models):
  - SEBI (Surface Energy Balance Index),
  - SEBS (Surface Energy Balance System),
  - S-SEBI (Simplified Surface Energy Balance Index),
  - SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land),
  - METRIC (Mapping EvapoTranspiration with high Resolution and Internalized Calibration),
  - SSEB (Simplified Surface Energy Balance).
- Modele dwuźródłowe (Dual-source Models):
  - TSM (Two-Source Model),
  - TSTIM (Two-Source Time Integrated Model),
  - ALEXI (Atmosphere-Land Exchange Inverse),
  - DISALEXI (Disaggregated ALEXI),
  - TSEB (Two-Source Energy Balance),
  - STSEB (Simplified Two-Source Energy Balance).

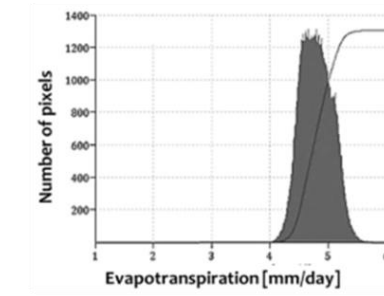
## Dane satelitarne w monitoringu ewapotranspiracji.



$$LE = R_n - H - G$$



Flux [Wm <sup>-2</sup> ]	03.07	19.07
R <sub>n</sub>	555	533
LE	340	316
H	164	160
G	52	58



Źródło: Szporak-Wasilewska S., 2012

Dane satelitarne w monitoringu i prognozowaniu stanu środowiska atmosferycznego:

- GMES (Global Monitoring for Environment and Security) prowadzony przez European Space Agency (ESA),
- MEGAPOLI (Megacities: Emissions, urban, regional and Global Atmospheric Pollution),
- EUCAARI (European Integrated project on Aerosol, Cloud, Climate, and Air Quality Interactions),
- EUSAAR (European Supersites for Atmospheric Aerosol Research),
- ACTRIS (Aerosol, Clouds and Trace Gases Research Infrastructure).

Copernicus Serwis Atmosferyczny (CAMS) dostarcza danych i informacji dotyczących atmosfery.

Serwis dostarcza aktualne dane o składzie atmosfery, prognozę na kilka dni naprzód i analizy retrospektywne:

- jakość powietrza oraz skład atmosfery ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ),
- warstwa ozonowa oraz promieniowanie ultrafioletowe,
- emisje i powierzchniowe wycieki,
- promieniowanie słoneczne,
- zmiany klimatyczne.

Dane satelitarne w monitoringu i prognozowaniu stanu środowiska atmosferycznego.

Satelity meteorologiczne: METEOSAT, GOES, MTSAT, NOAA, METEOP-A, FengYun, GOMS, METOP, EUMETSAT, NPP (NPOESS Preparatory Program).

- Aktualna sytuacja meteorologiczna.
- Temperatura powierzchni.
- Bilans promieniowania.
- Zasięg pokrywy śnieżnej.
- Monitoring ozonu stratosferycznego.
- Stan pokrycia roślinnego.
- Złodzenie Bałtyku.

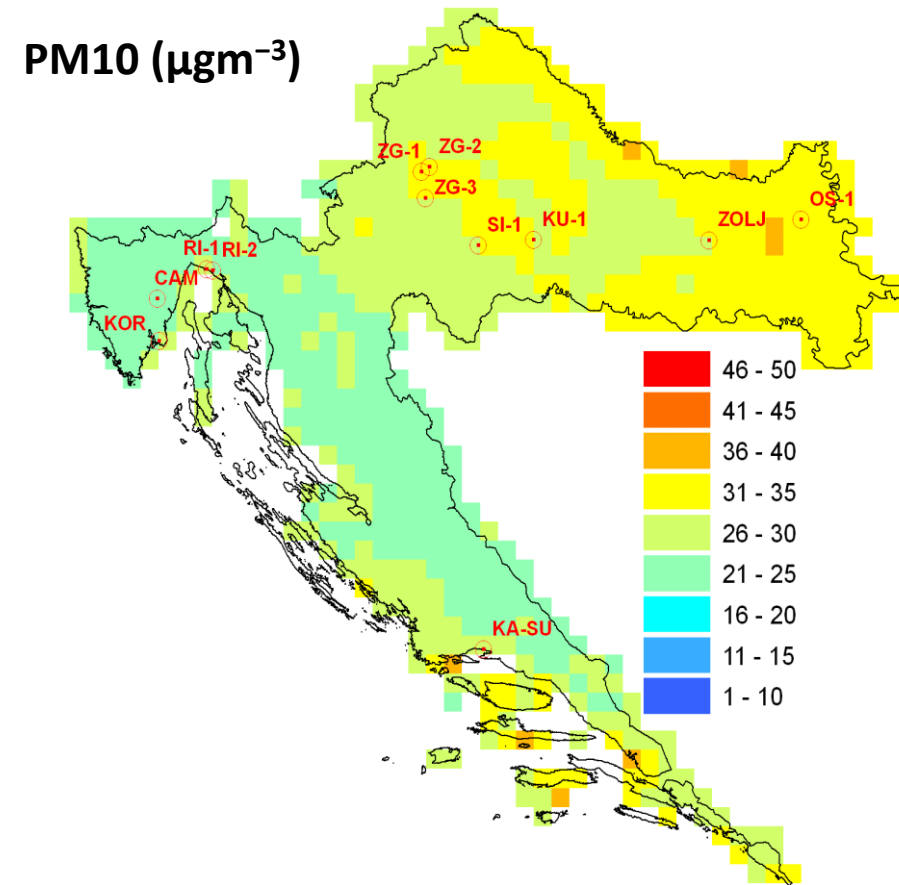
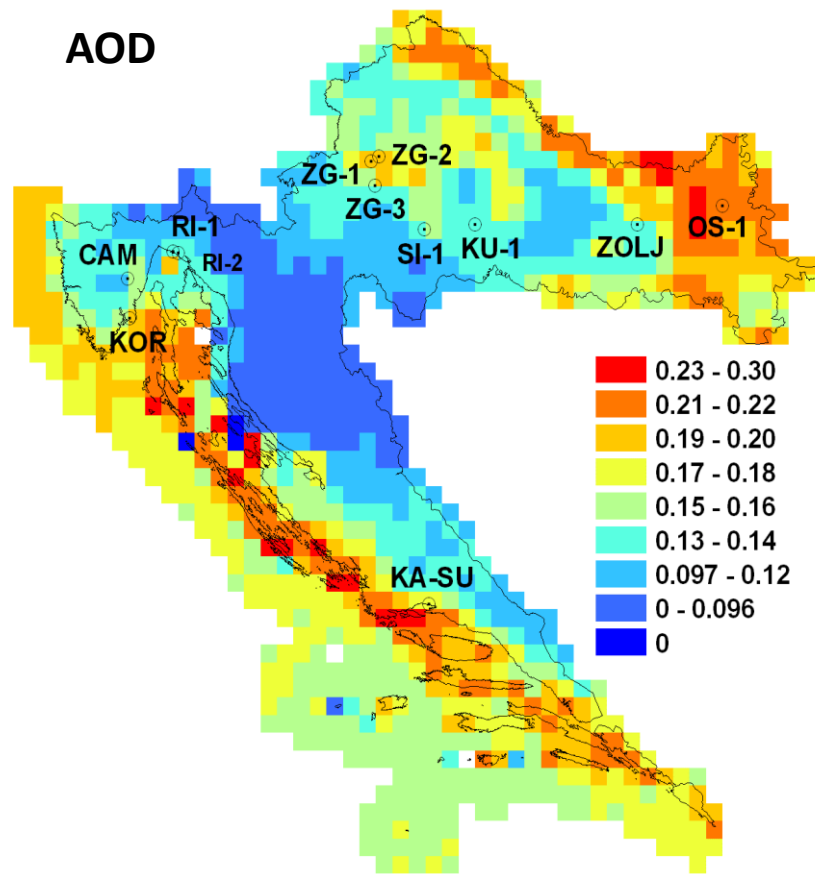
Podstawowe zastosowania poszczególnych kanałów spektralnych radiometru METEOSAT/SEVIRI

Kanał	Zastosowanie
0,6 i 0,8 $\mu\text{m}$	Wykrywanie i śledzenie chmur; identyfikacja obiektów; monitorowanie aerozoli; roślinności.
1,6 $\mu\text{m}$	Rozróżnienie śniegu od chmur; chmur wodnych od lodowych; detekcja mgły w dzień.
3,9 $\mu\text{m}$	Detekcja niskich chmur i mgły (dzień i noc); temperatura powierzchni w nocy; chmury wodne/lodowe; komórki burzowe.
6,2 i 7,3 $\mu\text{m}$	Para wodna w średniej i górnej troposferze; dynamika troposferze; intensywny opad konwekcyjny; wylewy stratosferyczne.
8,7 $\mu\text{m}$	Rozróżnienie chmur wodnych/lodowych; detekcja mgieł – dzień i w nocy.
9,7 $\mu\text{m}$	Ozon; procesy zachodzące w dolnej stratosferze i górnej troposferze.
10,8 i 12,0 $\mu\text{m}$	Całodobowe śledzenie zachmurzenie; pomiar temperatury powierzchni ziemi i morza, wierzchołków chmur; detekcja chmur Cirrus
13,4 $\mu\text{m}$	Określenie wysokości chmur półprzezroczystych; stabilność atmosfery.
HRV 0,4-1,1 $\mu\text{m}$	Początki konwekcji; zjawiska falowe; lokalna mgła w dzień.

Źródło: IMGW, 2019

Dane satelitarne w monitoringu i prognozowaniu stanu środowiska atmosferycznego.

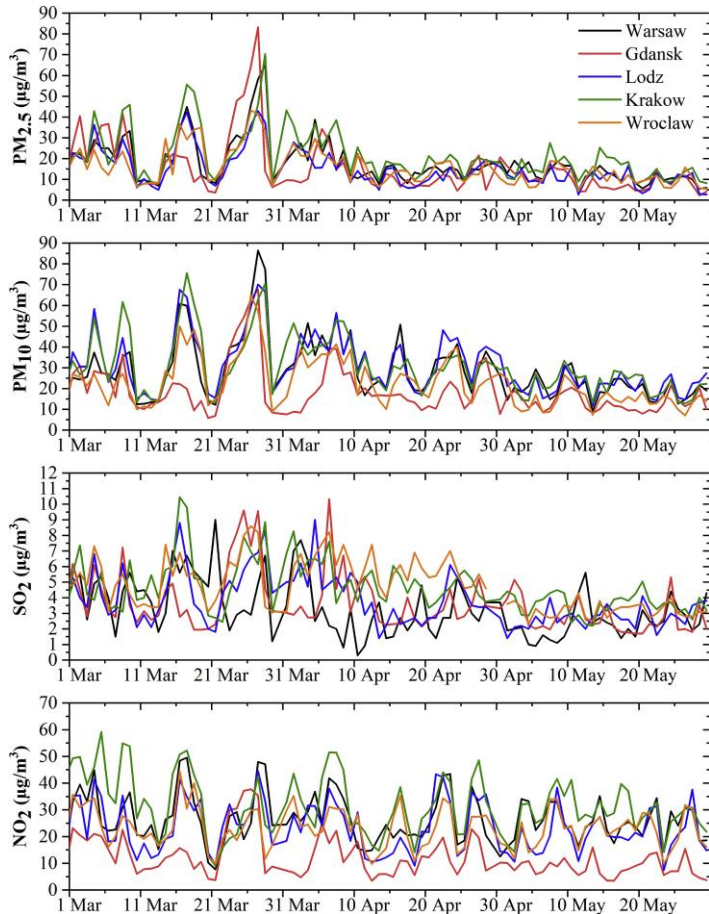
Terra MODIS (Aerosol Optical Depth i Cloud Fraction) – monitorowanie PM10.



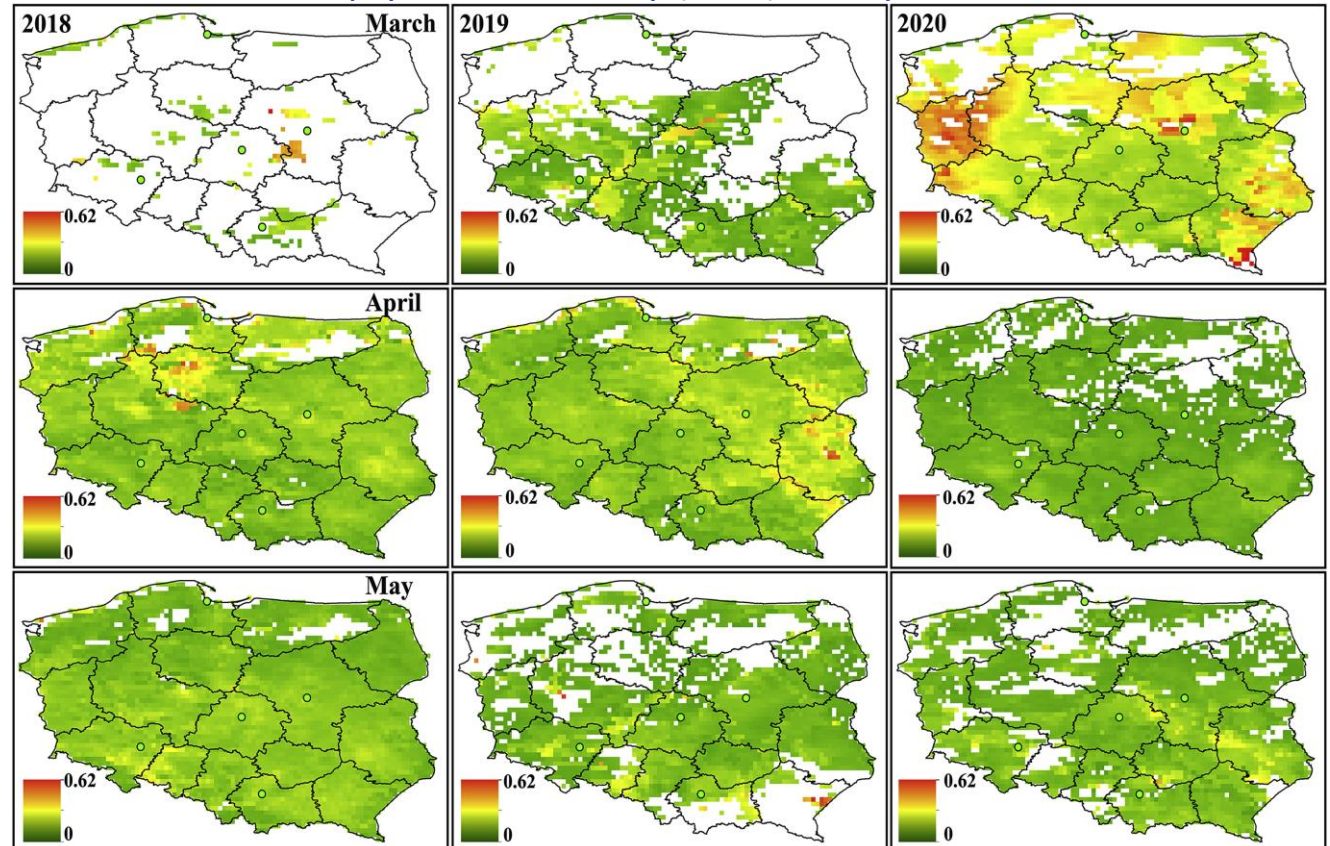
Źródło: Grgurić S. i inni, 2014

Dane satelitarne w monitoringu i prognozowaniu stanu środowiska atmosferycznego.

Terra MODIS (Aerosol Optical Depth i Cloud Fraction) i OMI (Ozone Monitoring Instrument) – monitorowanie PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub> i SO<sub>2</sub>.



Grubość optyczna atmosfery (AOD) z danych Terra MODIS



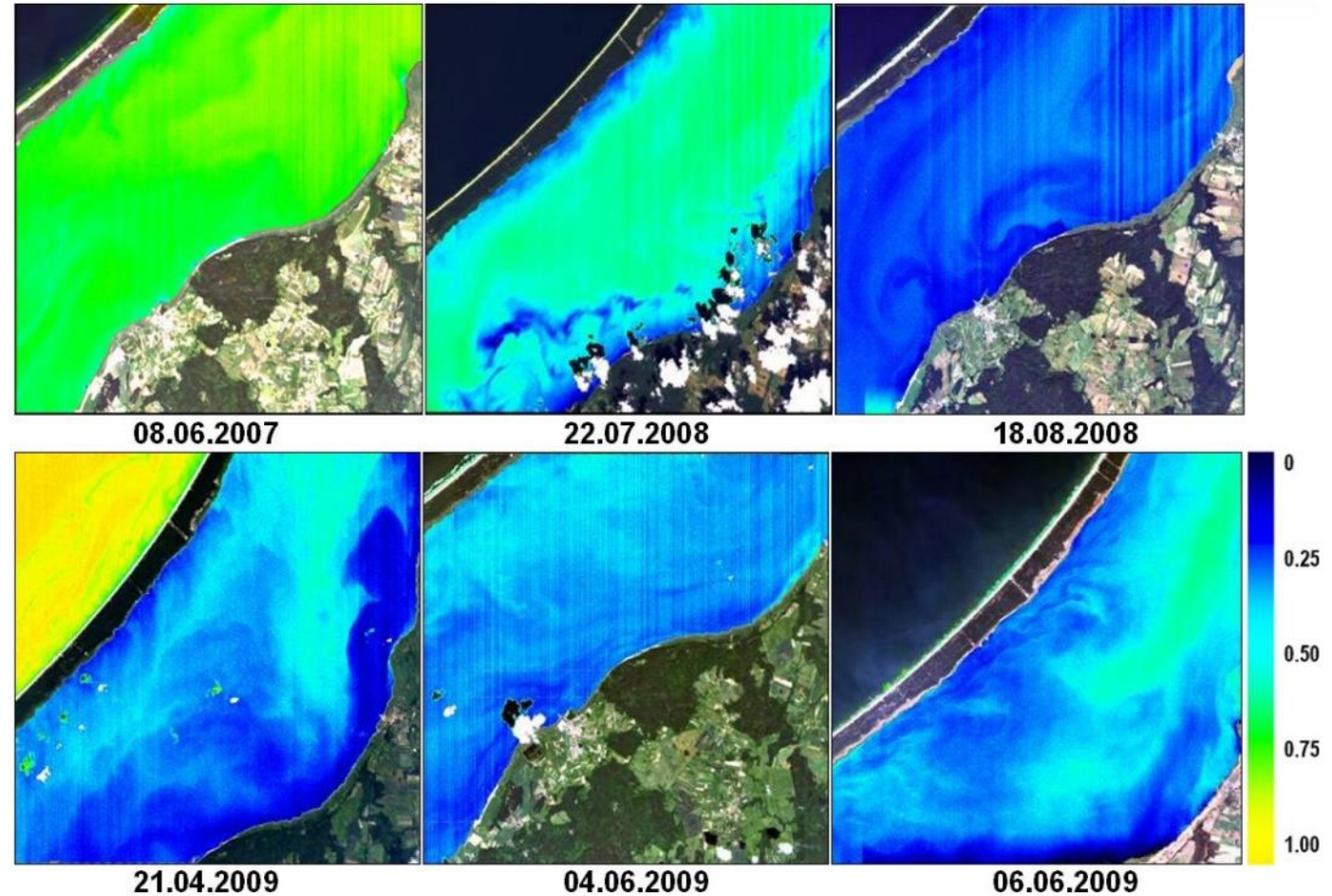
Źródło: Filonchik M. i inni, 2022



- Dane satelitarne w zarządzaniu obszarami wybrzeży:
  - mapy prądów morskich,
  - schematy cyrkulacji regionalnej,
  - batymetria płytkich wód,
  - strefy upwellingu,
  - monitoring temperatury wody,
  - monitoring jakości wody,
  - mapy produktywności mórz,
  - mapy koncentracji fitoplanktonu,
  - monitoring wycieków ropy naftowej,
  - mapy siedlisk wybrzeża.
- Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) dostarcza dla obszarów mórz analizy i prognozy dzienne co pozwala śledzić środowisko morskie.

Dane satelitarne w zarządzaniu obszarami wybrzeży – jakość wody:

- przezroczystość wody,
- mętność wody,
- zawartość chlorofilu a,
- zawartość zawiesin,
- zawartość materii organicznej rozpuszczonej w wodzie,
- zawartość azotu i fosforu.

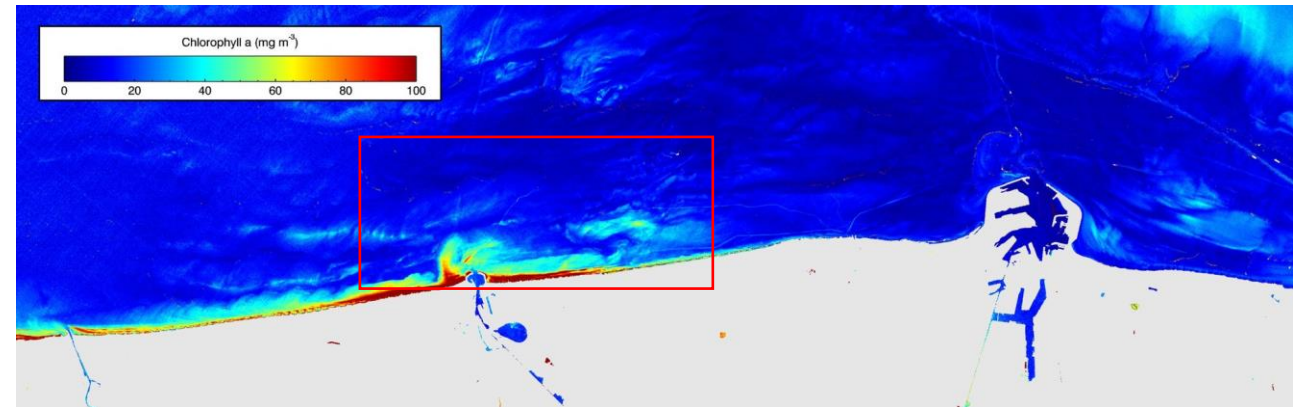


Źródło: Osińska-Skotak K., 2010

Dane satelitarne w zarządzaniu obszarami wybrzeży – jakość wody:

- przezroczystość wody,
- mętność wody,
- zawartość chlorofilu a,
- zawartość zawiesin,
- zawartość materii organicznej rozpuszczonej w wodzie,
- zawartość azotu i fosforu.

Obszary o najwyższej koncentracji chlorofilu a (Sentinel-2)  
– wybrzeże Belgii



Źródło: Royal Belgian Institute of Natural Sciences, 2017

Dane satelitarne w zarządzaniu obszarami wybrzeży – obserwacja środowiska morskiego Bałtyku.

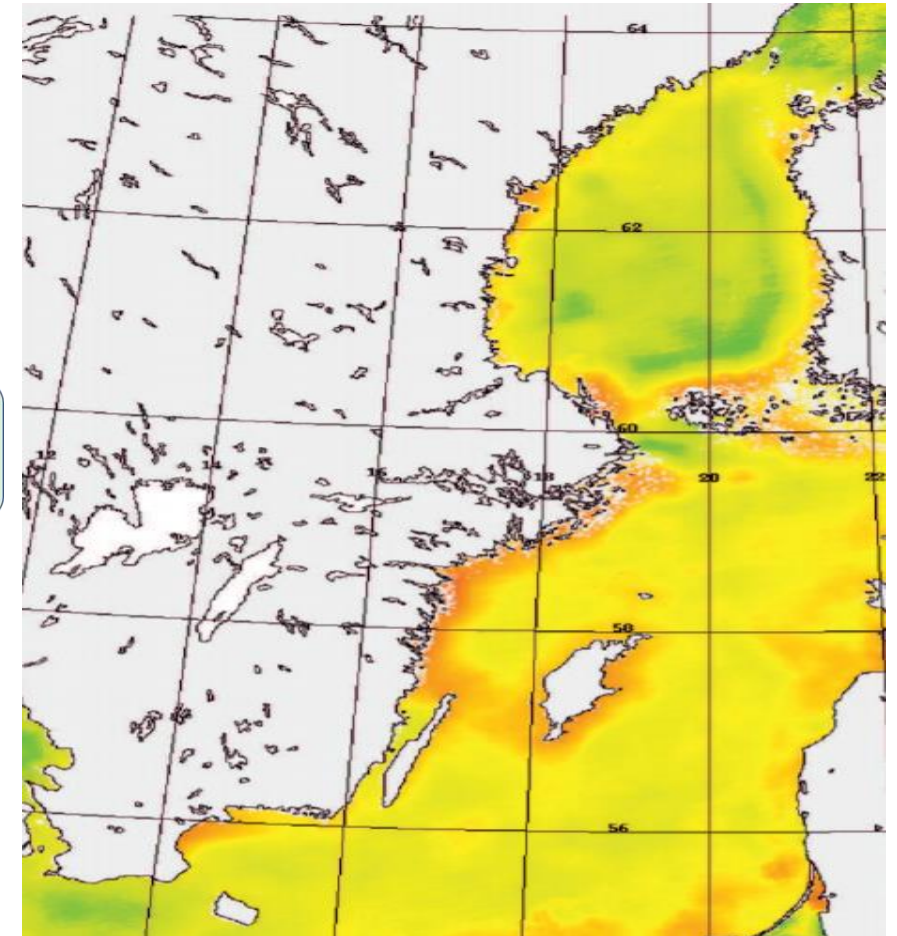
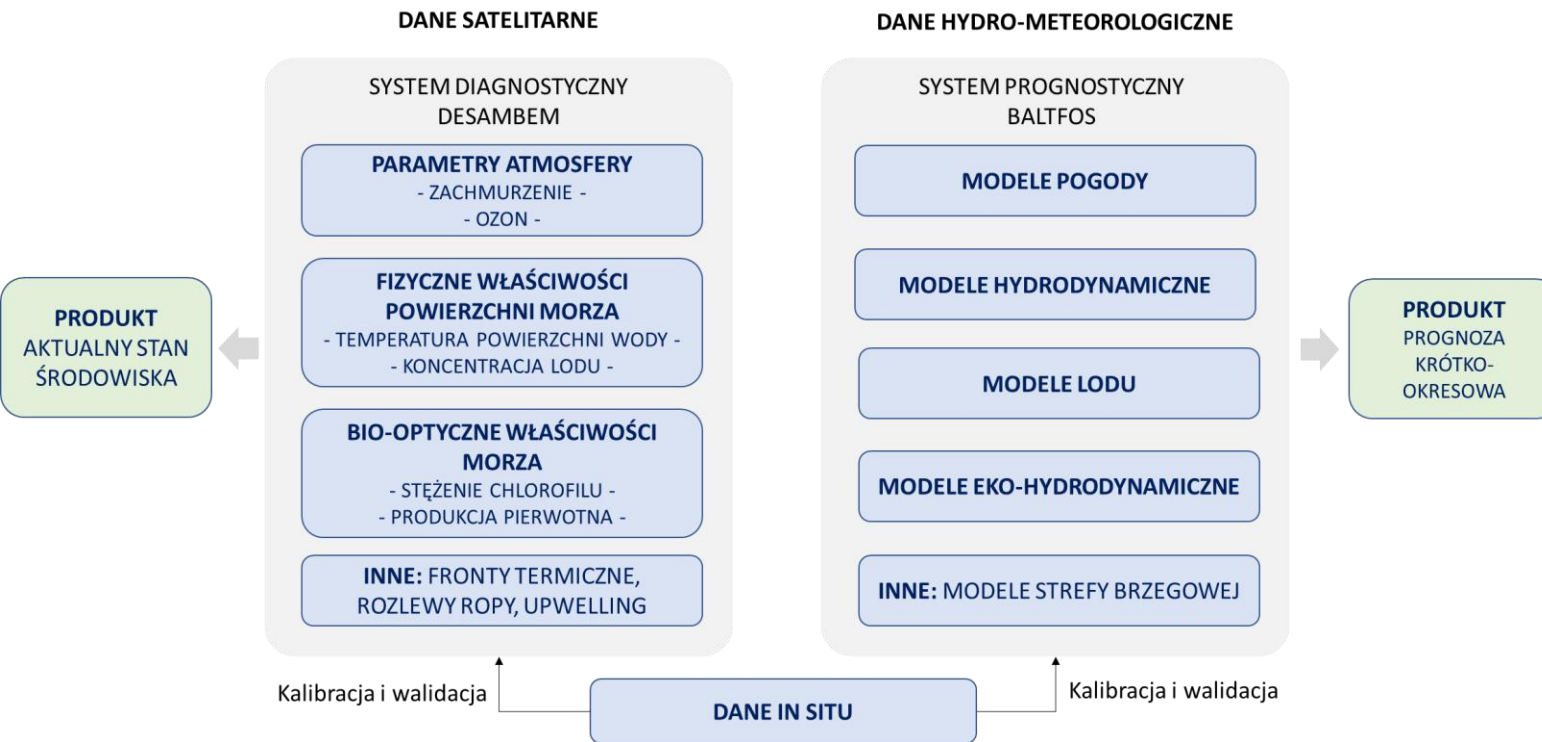
- Bałtyk aktualnie wydziela więcej dwutlenku węgla do atmosfery niż go pochłania.
- Ocieplanie jego wód sprzyja inwazji obcych gatunków flory i fauny morskiej.
- Rozwijają się trujące glony.
- Rośnie liczba pasożytów i chorób zwierząt morskich.
- Maleją zasoby ryb użytkowych.
- Prądy morskie przenoszą zanieczyszczenia z wód terytorialnych jednych krajów do innych.
- Częstsze i bardziej intensywne sztormy niszczą budowle i brzegi morskie i wpływają na liczbę katastrof.



*Źródło: Ostrowska M. i in., 2015*

Dane satelitarne w zarządzaniu obszarami wybrzeży – obserwacja środowiska morskiego Bałtyku.

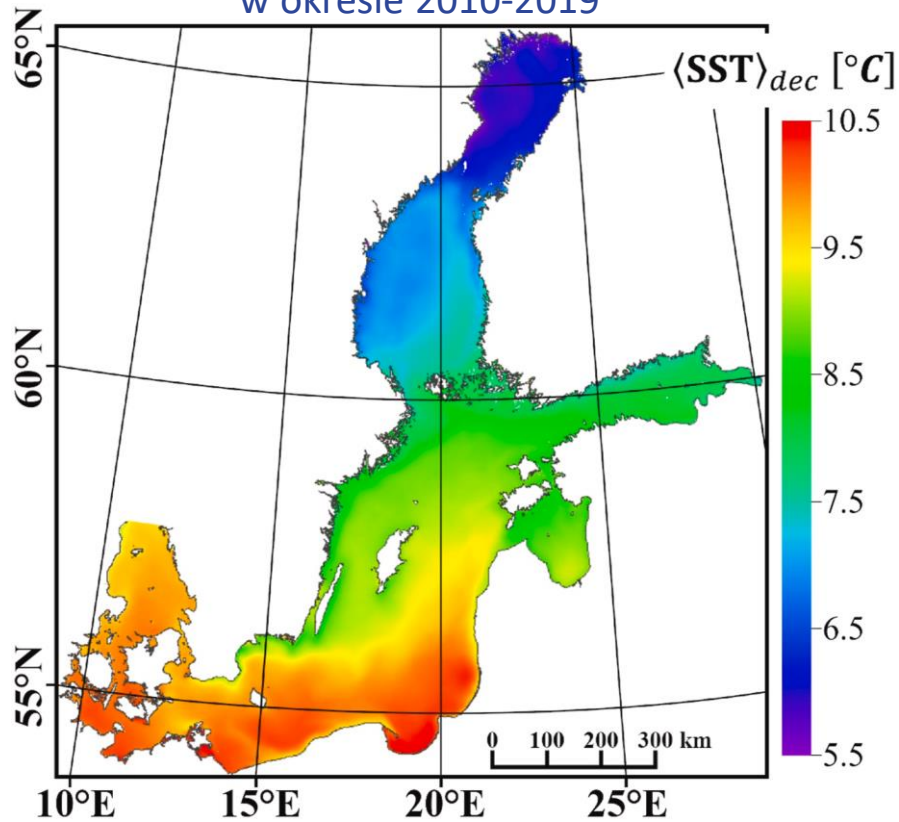
## System SatBałtyk



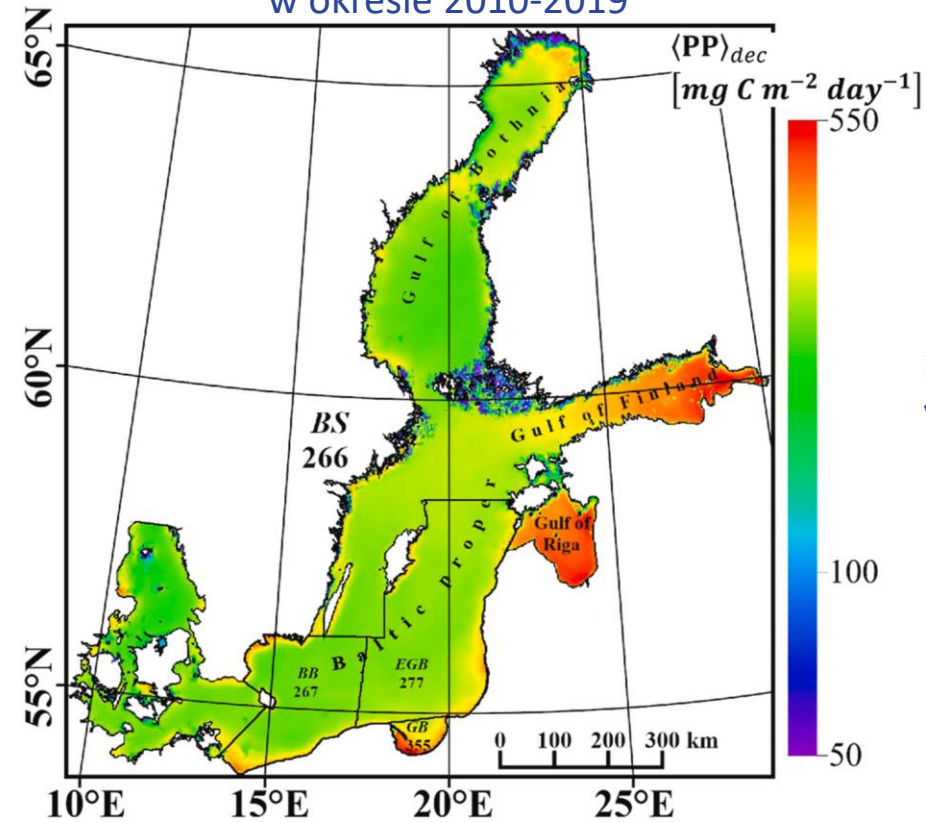
Źródło: Ostrowska M. i in., 2015

Dane satelitarne w zarządzaniu obszarami wybrzeży – obserwacja środowiska morskiego Bałtyku.

Średnia temperatura wody (SST)  
w okresie 2010-2019



Średnia dobowa produkcja pierwotna (PP)  
w okresie 2010-2019

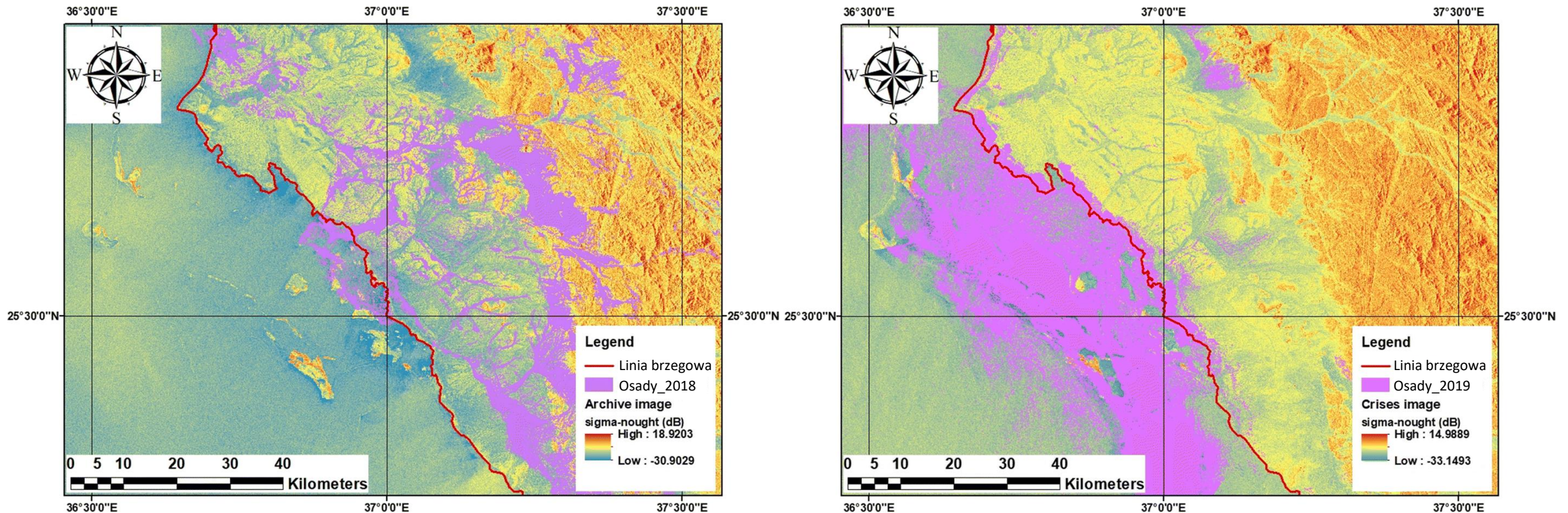


Dane z AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) i SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager)

Źródło: Ostrowska M. i in., 2022

Dane satelitarne w zarządzaniu obszarami wybrzeży – proces sedymentacji.

Wyniki klasyfikacji nienadzorowanych w roku 2018 i 2019 opracowane na podstawie danych Sentinel-1 – wybrzeże Morza Czerwonego w Arabii Saudyjskiej

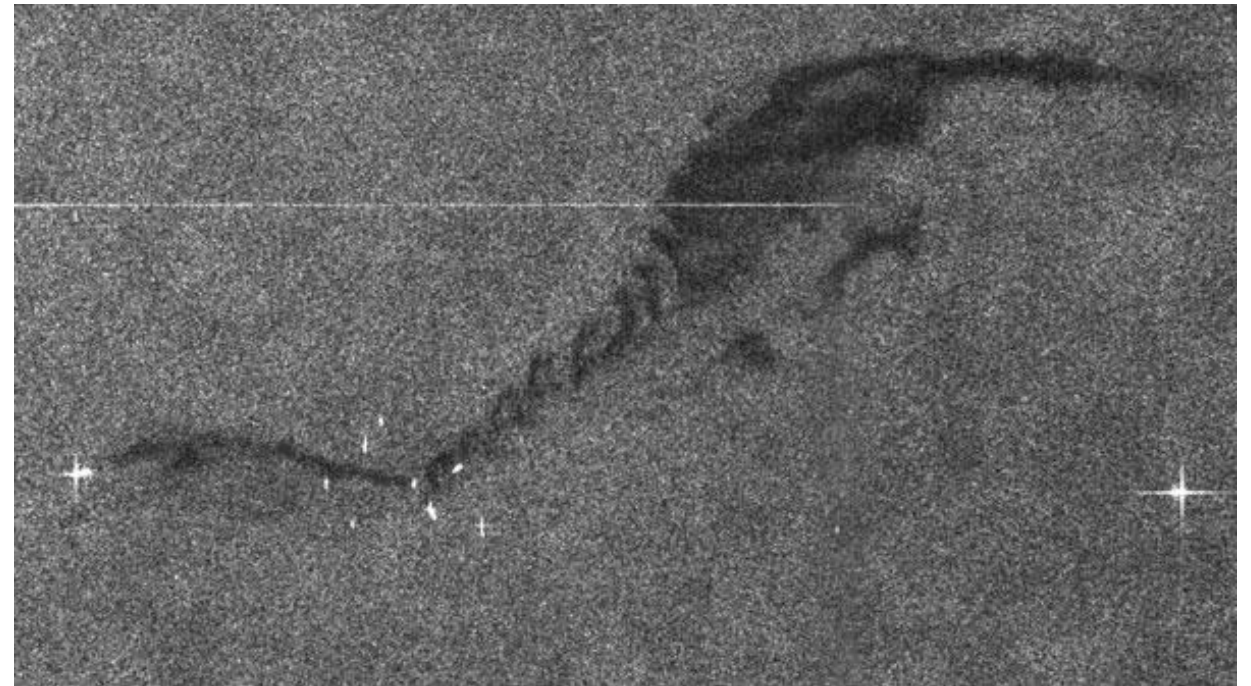


Źródło: Elhag M. i Bahrawi, J.A., 2019

Zdjęcia satelitarne i mapy tematyczne GIS w ocenie skutków wycieków ropy naftowej i olejów.

- Monitorowanie zanieczyszczeń mórz i oceanów.
- Zalety danych radarowych:
  - niezależne od pory dnia,
  - niezależne od stopnia zachmurzenia,
  - efektywne obrazowanie powierzchni wody pokrytej olejem czy ropą naftową.

Plama oleju u wybrzeża Belgii – Sentinel-1 (08.10.2015)

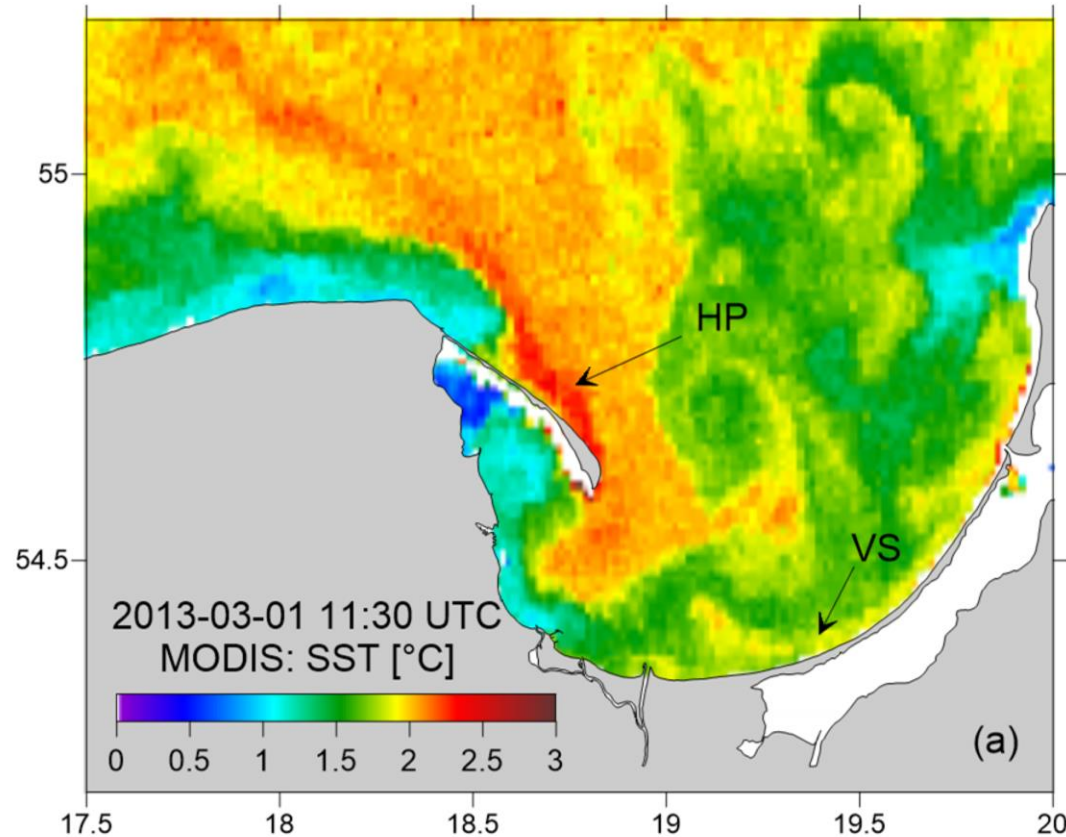


Źródło: ESA, 2015

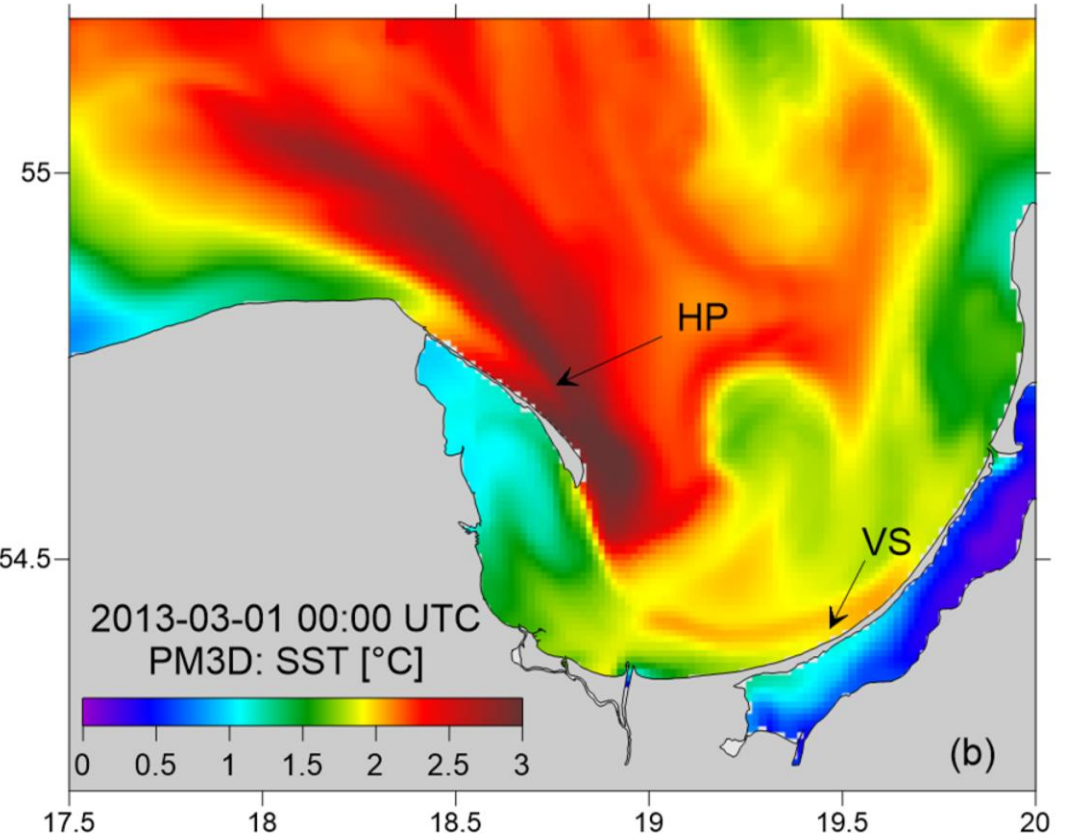


Dane satelitarne w zarządzaniu obszarami wybrzeży – zjawisko upwellingu.

Temperatura powierzchni morza [°C]  
opracowana na podstawie danych MODIS



Temperatura powierzchni morza [°C] –  
Symulacja PM3-D (Parallel Model 3D)



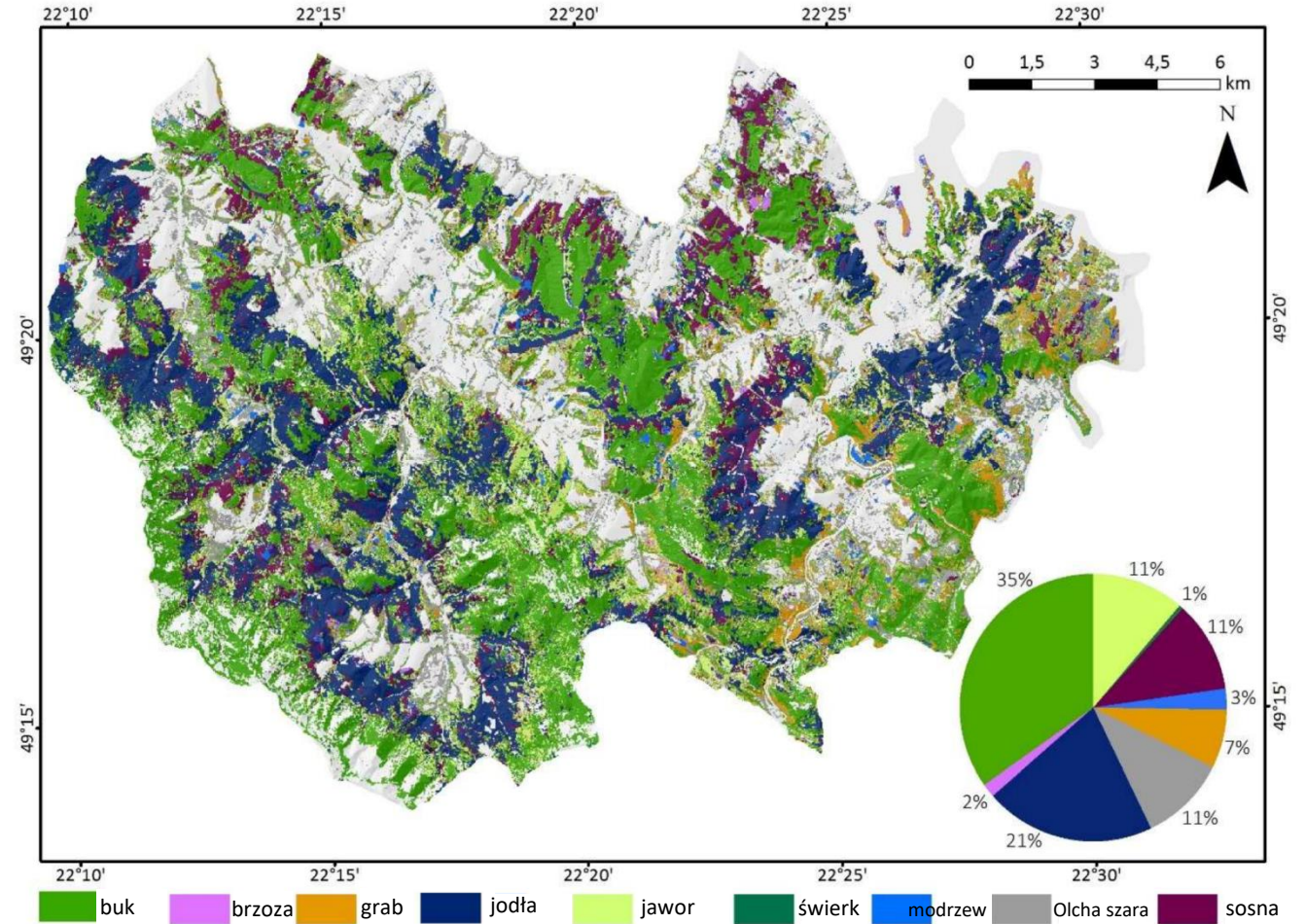
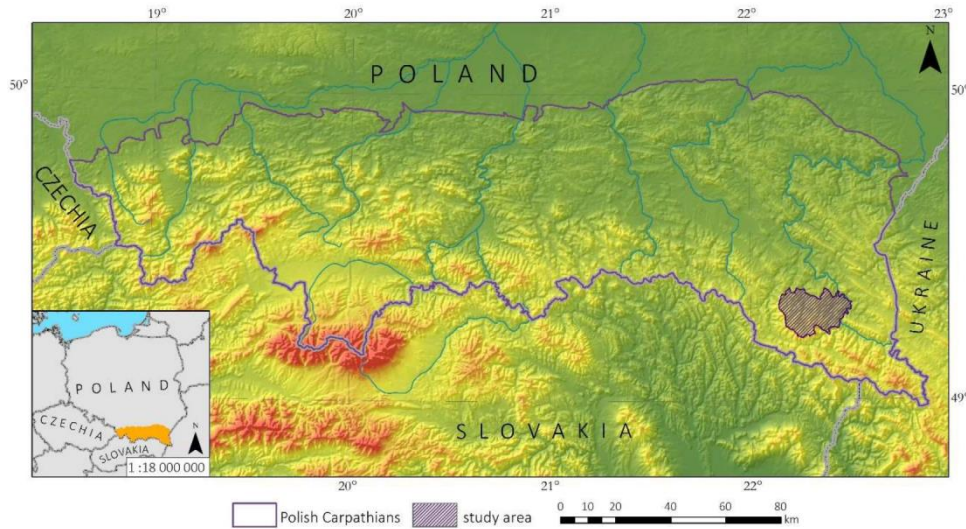
Źródło: Kowalewska-Kalkowska H., Kowalewski M., 2019

Dane satelitarne w zarządzaniu obszarami leśnymi:

- analiza pokrycia terenu,
- analiza oceny różnorodności ekosystemów i gatunków,
- ocena produktywności lasów,
- ocena konieczności ponownego zalesiania,
- analiza kondycji,
- ochrona gleb, zasobów wodnych i analiza obiegu składników pokarmowych,
- mapowanie zagrożeń np. pożarów i skutków huraganów,
- analizy wieloczasowe - ocena skali i tempa wylesiania wynikającego najczęściej z czynników społeczno-demograficznych:
  - wzrost populacji,
  - zwiększone zapotrzebowanie na drewno,
  - zwiększanie arealów terenów rolniczych pod pastwiska i uprawy.

Dane satelitarne w zarządzaniu obszarami leśnymi.

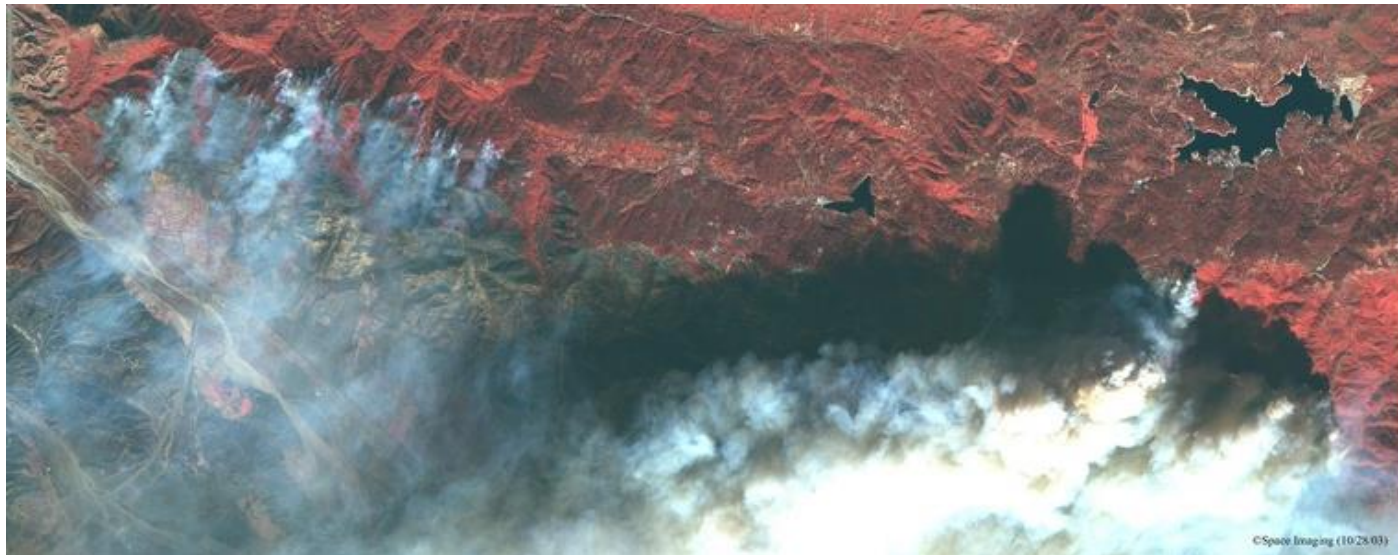
Skład gatunkowy w Nadleśnictwie Baligród opracowany na podstawie danych Sentinel-2 (30.04., 05.05., 14.10., 17.10., 08.11.2018)



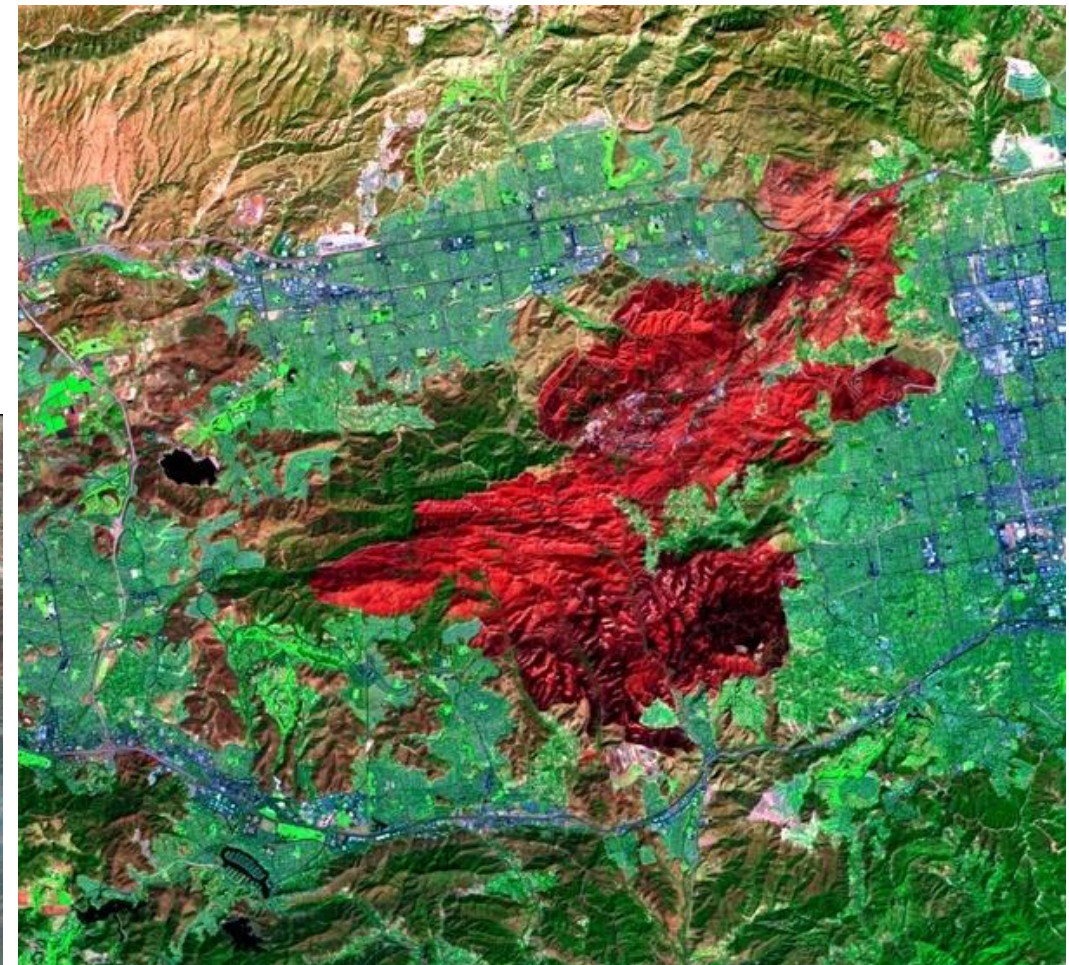
Źródło: Grabska E. i in., 2019

Dane satelitarne w zarządzaniu obszarami leśnymi – pożary.

Zobrazowanie Ikonos prezentujące pożary w San Bernardino – Kalifornia



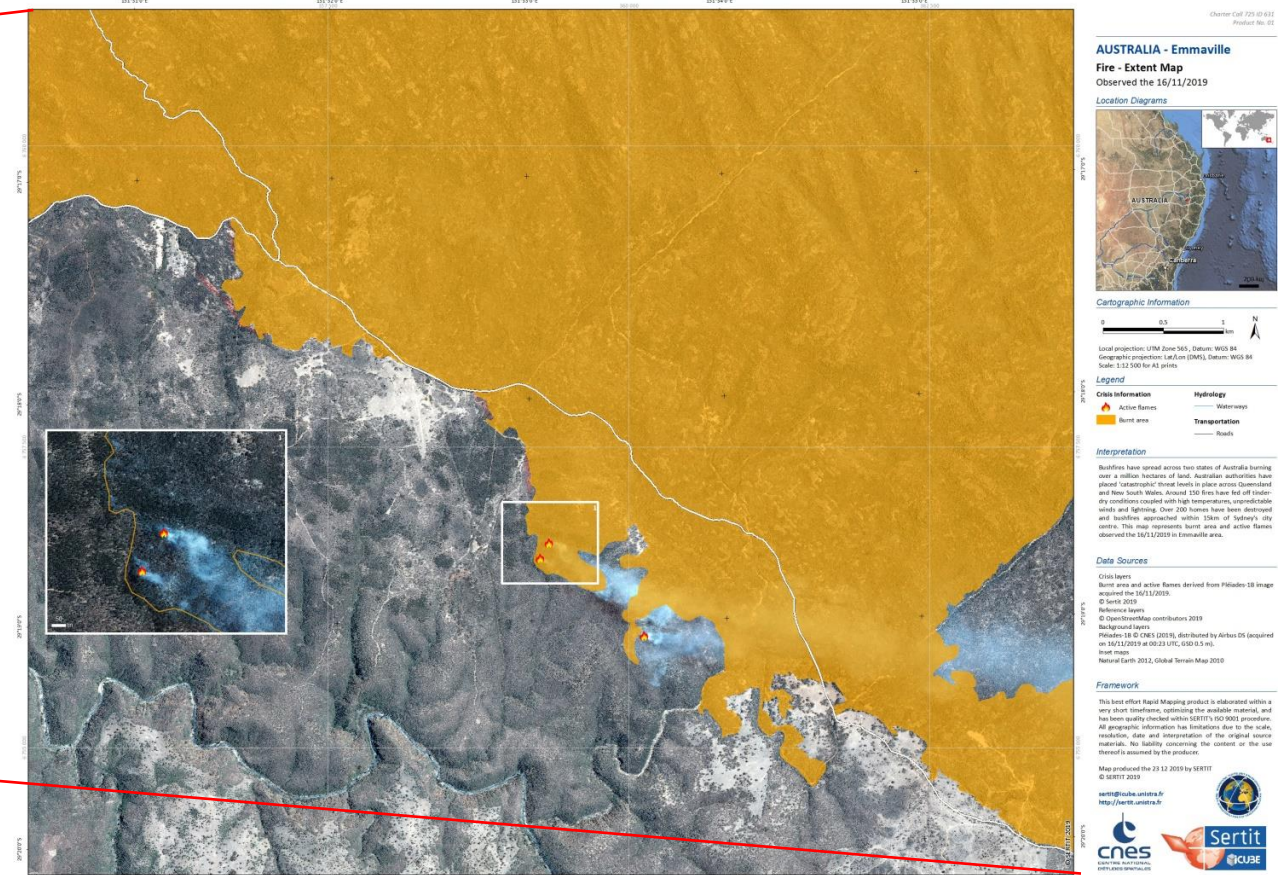
Kompozycja barwna opracowana na podstawie danych ASTER prezentująca pożar w Topandze – Kalifornia



Źródło: NASA, 2019

Dane satelitarne w zarządzaniu obszarami leśnymi – pożary.

Mapa pożaru w Australii opracowana na podstawie zobrażeń Pleiades-1A (16.11.2019)



Źródło: ICube-SERTIT, 2019

- W ostatnich latach obserwuje się rosnące zapotrzebowanie na wykorzystanie rozwijających się dynamicznie technik teledetekcyjnych, zarówno w badaniach przyrodniczych, jak i powiązanych działaniach praktycznych.
- Teledetekcja satelitarna ma coraz szersze zastosowanie w identyfikacji i monitoringu zasobów środowiska (inwentaryzacje i waloryzacje przyrodnicze, monitoring przyrodniczy, ochrona przyrody i krajobrazu), ale także w gospodarce leśnej, w gospodarce rolnej, planowaniu przestrzennym, jak i zarządzaniu kryzysowym.
- Obecne misje satelitarne dostarczające danych od średniej do wysokiej rozdzielczości przestrzennej i spektralnej pozwalają na badania szczegółowe środowiska zarówno w skali lokalnej jak i regionalnej.
- Wymóg realizacji monitoringu stanu środowiska w sposób kompleksowy (obejmujący interakcję pomiędzy roślinnością a glebą i atmosferą), skuteczny (oceniany między innymi trafnością przewidywania czasu wystąpienia, lokalizacji i natężenia) i powszechny (zaspokajający potrzeby indywidualne, zbiorowe, rządowe i samorządowe) staje się obecnie faktem przy wykorzystaniu dostępnych zasobów danych teledetekcyjnych.

**OPRACOWAŁA:**  
dr inż. Sylwia Szporak-Wasilewska

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

