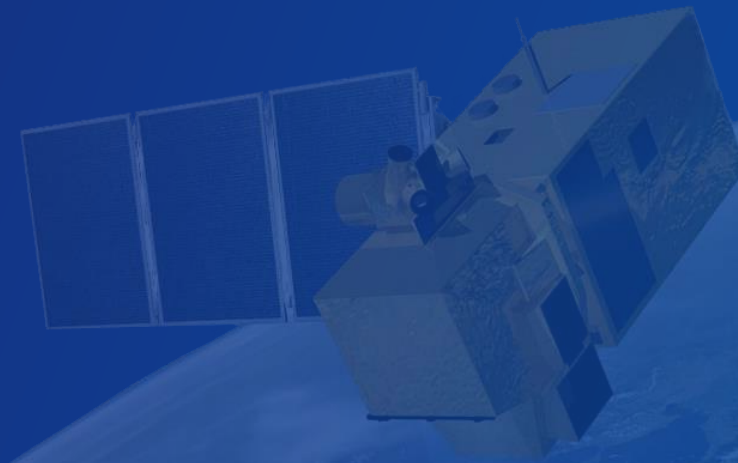


Przykłady zastosowań obrazów satelitarnych w gospodarce wodnej

dr hab. inż. Jarosław Chormański,
prof. SGGW

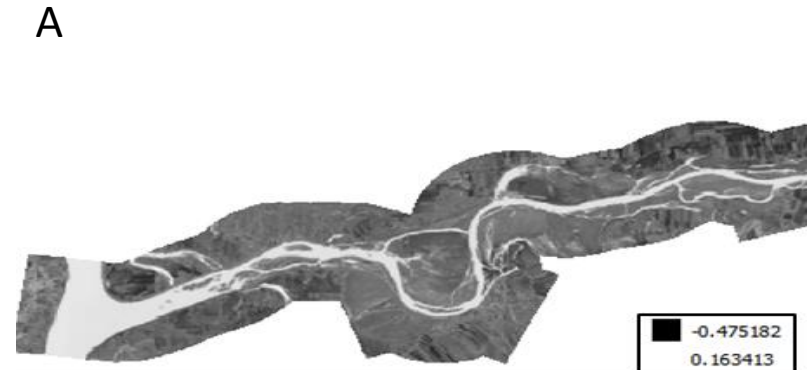


- Identyfikacja zwierciadła wody – pomocne w określeniu zasięgu zbiorników wodnych, rzek oraz powodzi (NDWI).
- Monitoring podtopień na obszarach mokradłowych.
- Archiwalne dane teledetekcyjne i kartograficzne w monitoringu zmian koryt rzecznych.
- Dynamika zmian koryt rzecznych.
- Jakość wód powierzchniowych.
- Monitoring zagrożenia wycieku ropy naftowej.
- Wspomaganie modelowania zagrożenia podtopieniami w obszarach zurbanizowanych
- Możliwości oceny retencyjności wodnej (intercepcji) zbiorowisk roślinnych.
- Detekcja zagrożenia przesuszeniem metodą termalną.
- Numeryczny model terenu i jego zastosowania (różne modele pozyskiwane metodą teledetekcyjną).
- Dwuwiązkowy LiDAR w skanowaniu dna zbiorników wodnych i rzek.

- Identyfikacja powierzchni wody powierzchniowej – zbiorniki i koryta rzeczne
- NDWI - Normalized Difference Water Index (znormalizowany różnicowy wskaźnik wody).
- Najbardziej odpowiedni do mapowania jednolitych części wód.
- Obliczany na podstawie analizy pasm odpowiadających promieniowaniu zielonemu (Green) oraz podczerwieni krótkofalowej (SWIR) :

$$\text{NDWI} = \frac{\text{Green} - \text{SWIR}}{\text{Green} + \text{SWIR}}$$

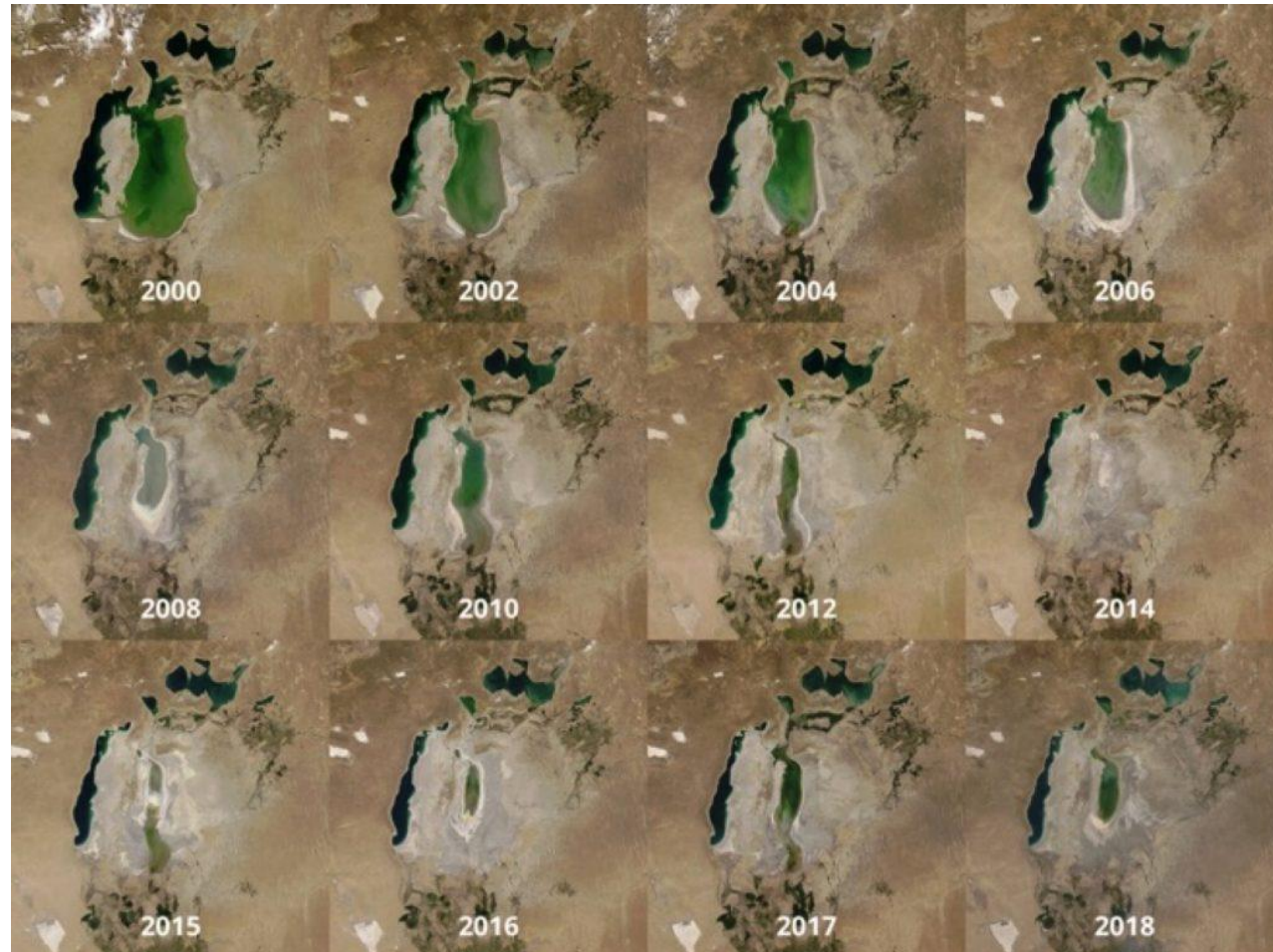
- Woda przyjmuje wartości największe dodatnie, obszary zabudowane mają wartości dodatnie i w okolicach zera, Roślinność poniżej zera (Rysunek A).
- Zwykle należy przyjąć własną wartość odcięcia wody na podstawie obserwacji wizualnej lub terenowej (Rysunek B).



Źródło: NASA, 1985

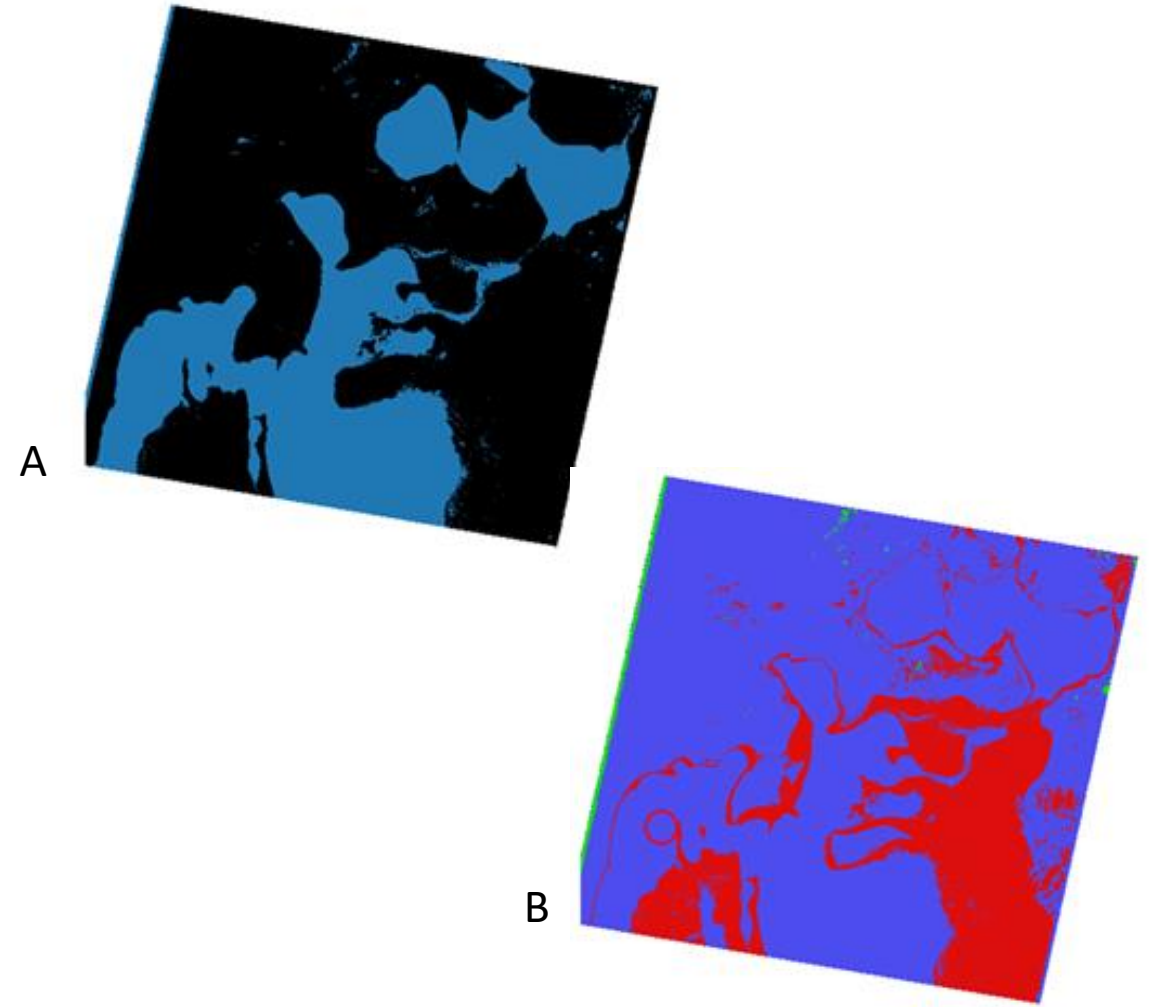
- W latach 60. XX w. czwarte jezioro na Ziemi.
- Z powodu odprowadzania wody do uprawy bawełny z zasilających jezioro rzek Amu-darii i Syr-darii stale się kurczy.
- Detekcja zasięgu jeziora i zmian w czasie może być wykonana z zastosowanie wskaźnika NDWI.

Zmniejszanie się zasięgu Jeziora Aralskiego w okresie ostatnich 20 lat



Źródło: *planeta.com*, 2019 r.

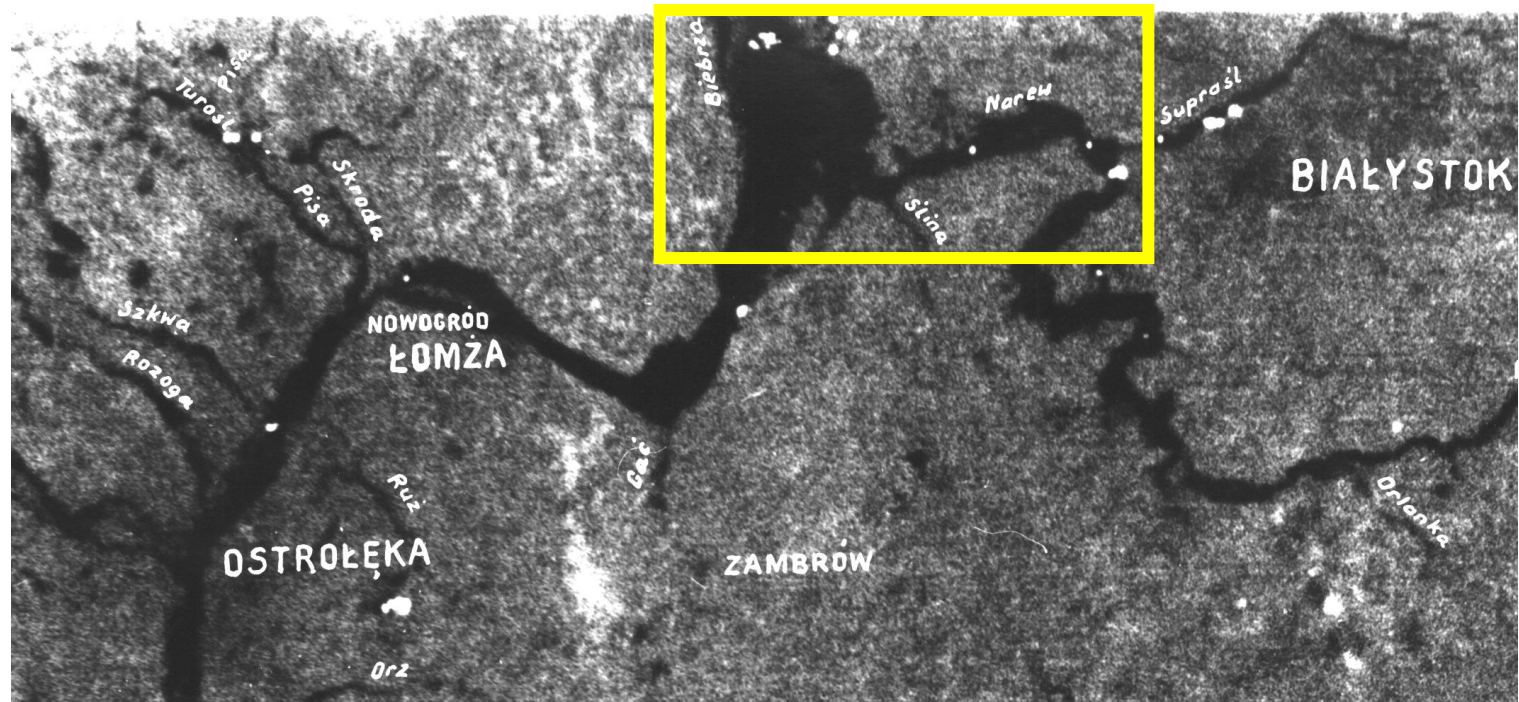
- Wyznaczone mapy powierzchni wody w różnych okresach można ze sobą zestawić, jeśli przygotowane są w formie map, w których wartość „1” przedstawia wodę (kolor niebieski) a „0” przedstawia jej brak (kolor czarny). (Rysunek A).
- W takim zestawieniu możemy wskazać miejsca gdzie wody przybyło w stosunku do poprzedniego zobrazowania (Rysunek B – kolor zielony) oraz ubyło (Rysunek B – kolor czerwony).
- W ten sposób zobrazujemy zmiany zasięgu obszarów pokrytych wodą w wieloletnim lub pomiędzy okresem powodzi lub wysokich stanów, a okresem suchym.



Źródło: NASA, 1985 r., 2000 r.

- Techniczne możliwości interpretacji w latach 70-tych XX wieku.
- Zobrazowanie przetworzone w celu identyfikacji zwierciadła wody.
- Pierwsze w Polsce podejście do zastosowania zobrazowań satelitarnych w analizie zasięgu i skutków powodzi.

Zobrazowanie Landsat MSS (03.04.1979) – ujście Biebrzy do Narwi

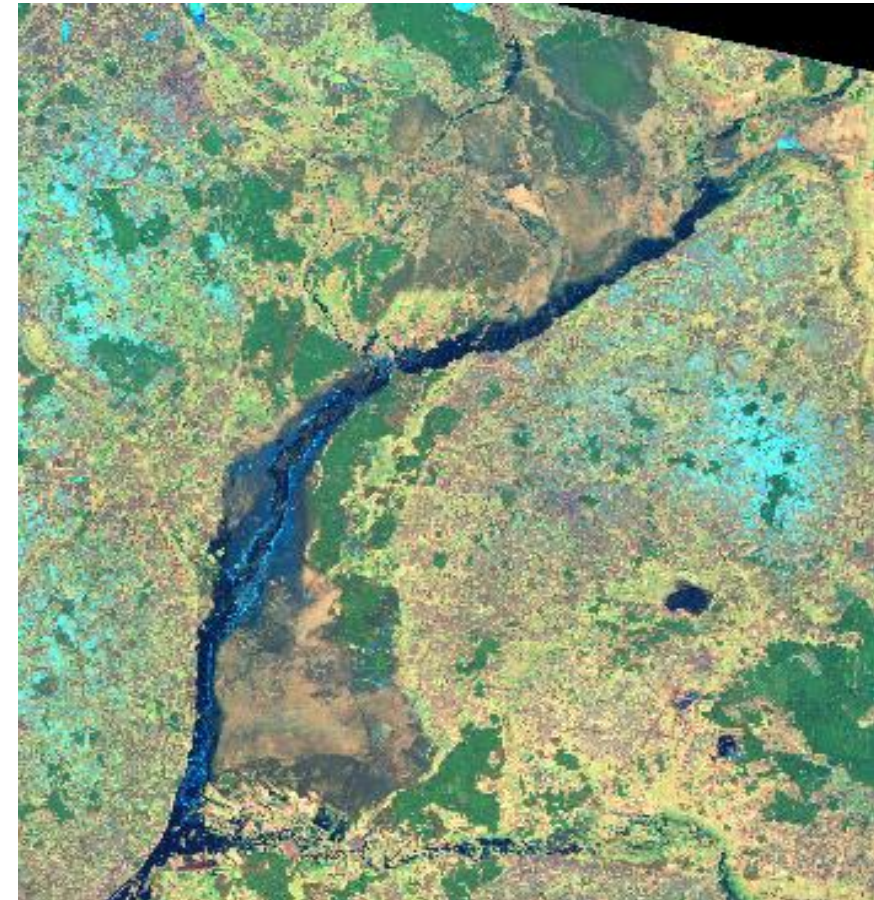


Źródło: NASA, 1979 r.

Zobrazowanie z czasu wiosennych powodzi
na Bagnach Biebrzańskich
Landsat TM (19.03.1999, kompozycja RGB 321)



Zobrazowanie z czasu wiosennych powodzi
na Bagnach Biebrzańskich
Landsat TM (19.03.1999, kompozycja RGB 542)



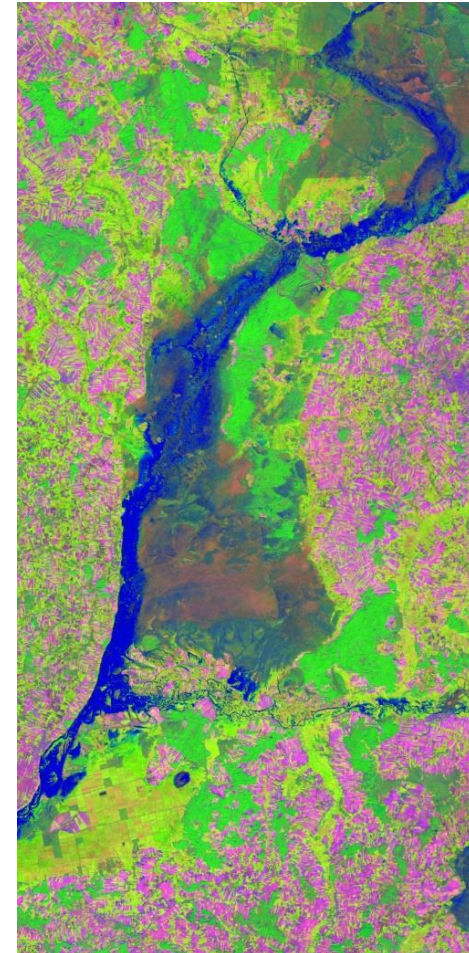
Źródło: NASA, 1999 r.

Transformacja obrazu eliminująca powtarzającą się informację (PCA) oraz podkreślająca obszar wody (b7/b5) i roślinność (NDVI).



Landsat ETM+ (2002, kompozycja RGB w barwach naturalnych R:b3 G:b2 B:b1):

- ograniczone możliwości detekcji podtopień.

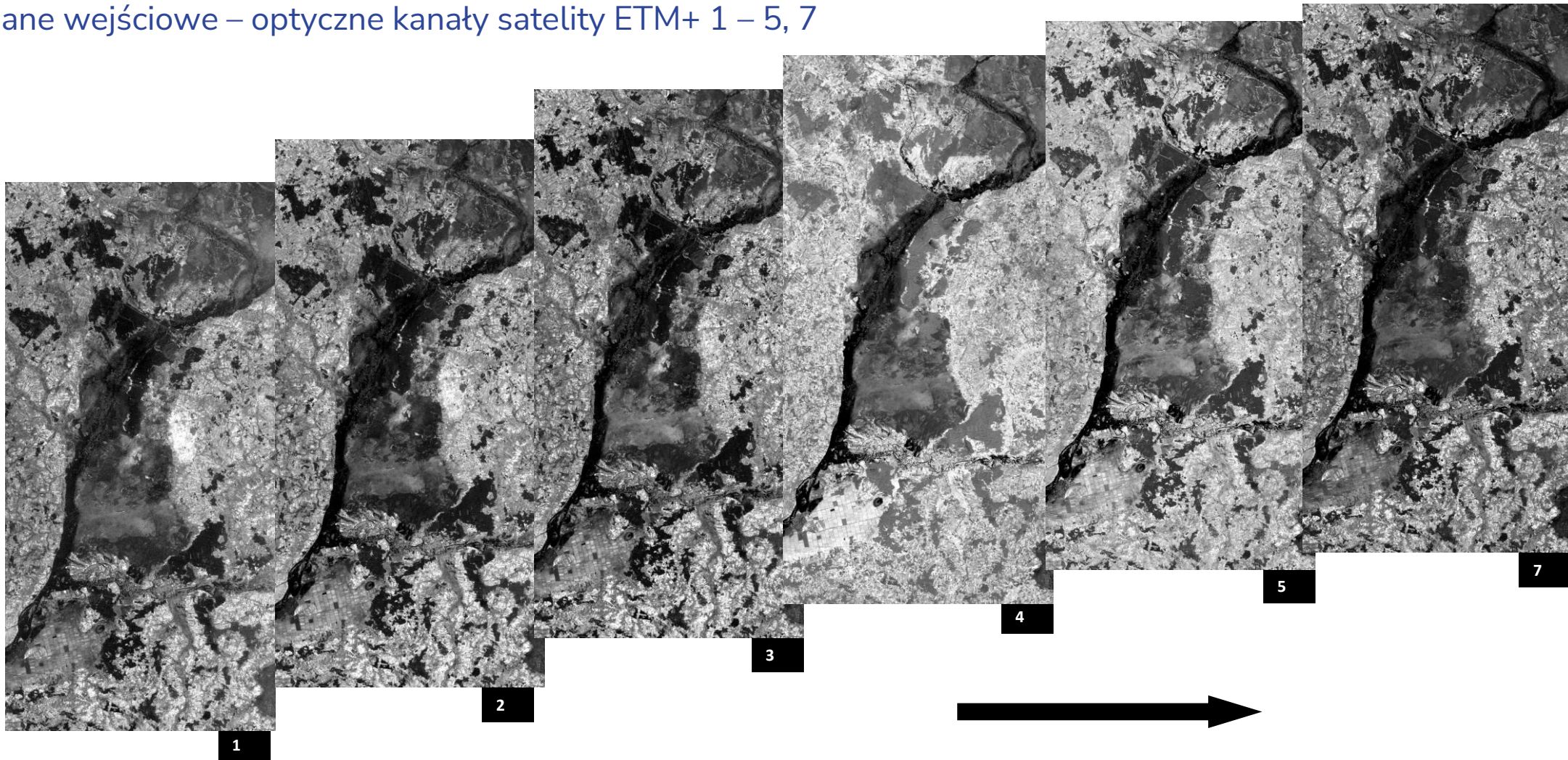


Landsat ETM+ (2002, kompozycja RGB w barwach zafalszowanych R:PC1, G:NDVI, B:b7/b5):

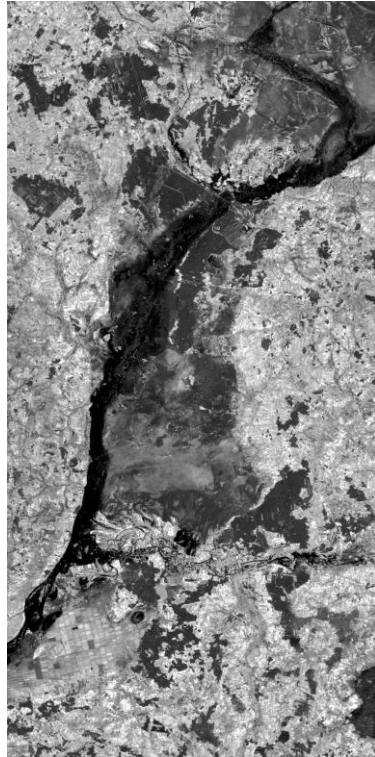
- wizualizacja wyników transformacji i wskaźników teledetekcyjnych,
- wysokie możliwości interpretacji (kolor niebieski w różnych odcieniach to obszary podtopione).

Źródło: NASA, 2002 .

Dane wejściowe – optyczne kanały satelity ETM+ 1 – 5, 7



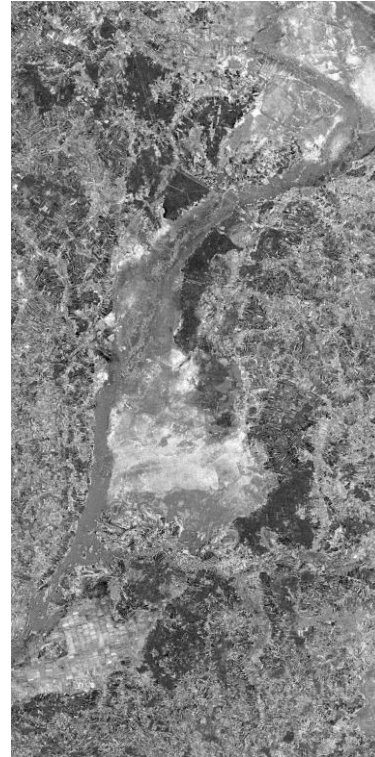
Źródło: NASA, 2002 r.



PC1



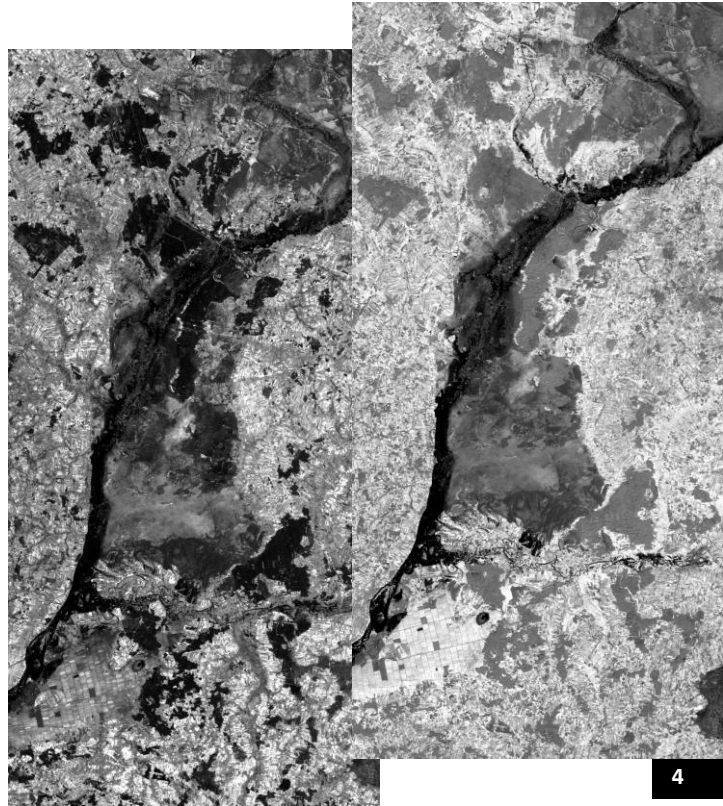
PC2



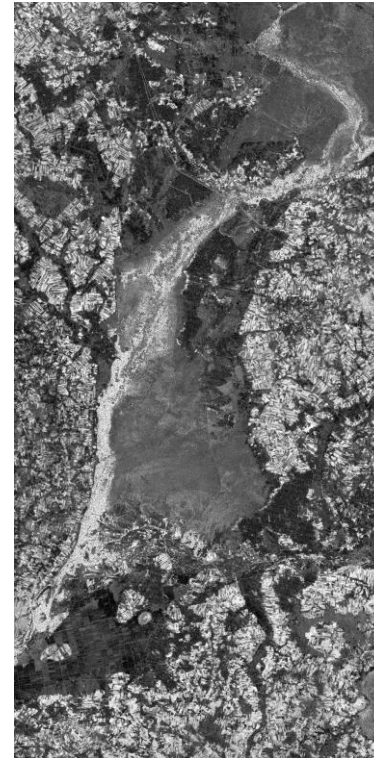
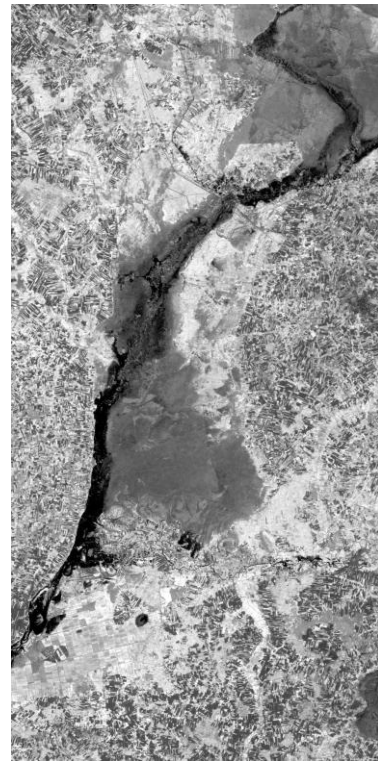
PC3

PC 1-3
99,042%

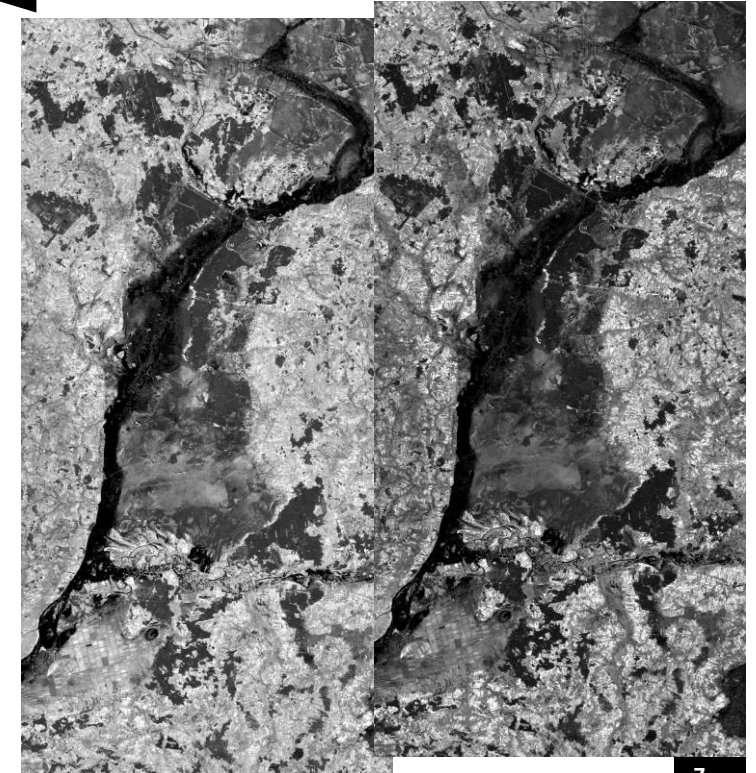
Wskaźniki NDVI i b7/b5



NDVI
 $(b4-b3)/(b3+b4)$



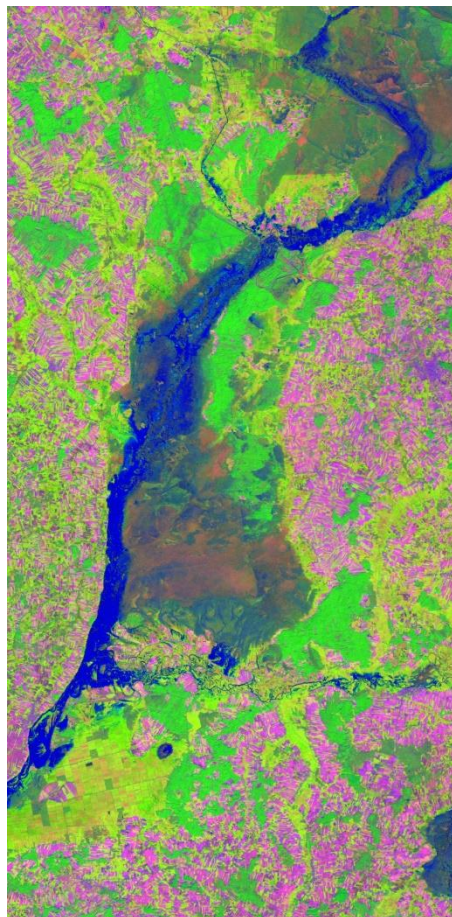
b7/b5



Źródło: NASA, 2002 r.

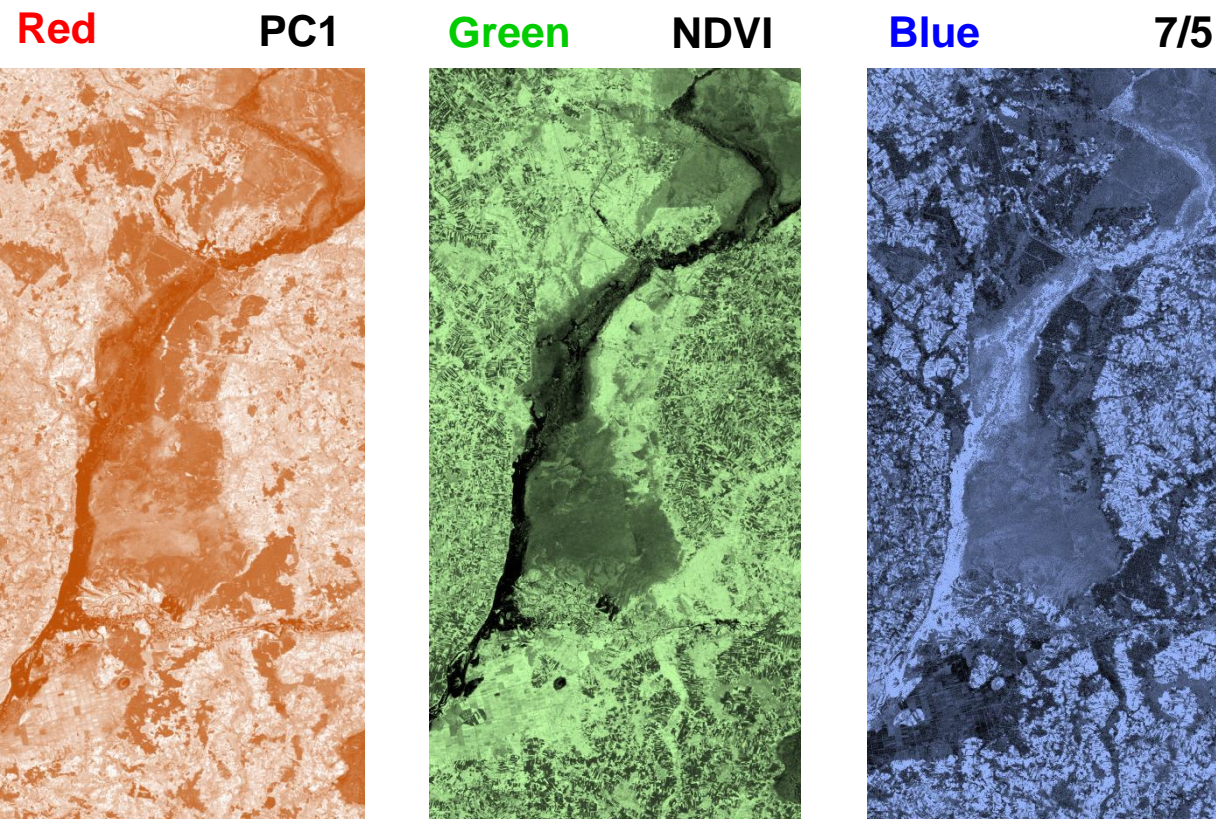
Schemat tworzenia kompozycji barwnej RGB dla wskaźników i transformacji: PC1; NDVI; b7/b5 z wykorzystaniem kanałów:

- b3 – kanał 3 (Red) Landsat ETM+,
- b4 – kanał 4 (Near Infrared) Landsat ETM+,
- b5 – kanał 5 (Mid-infrared) Landsat ETM+,
- b7 – kanał 7 (Mid-infrared) Landsat ETM+.



R – PC1
G – NDVI
B – b7/b5

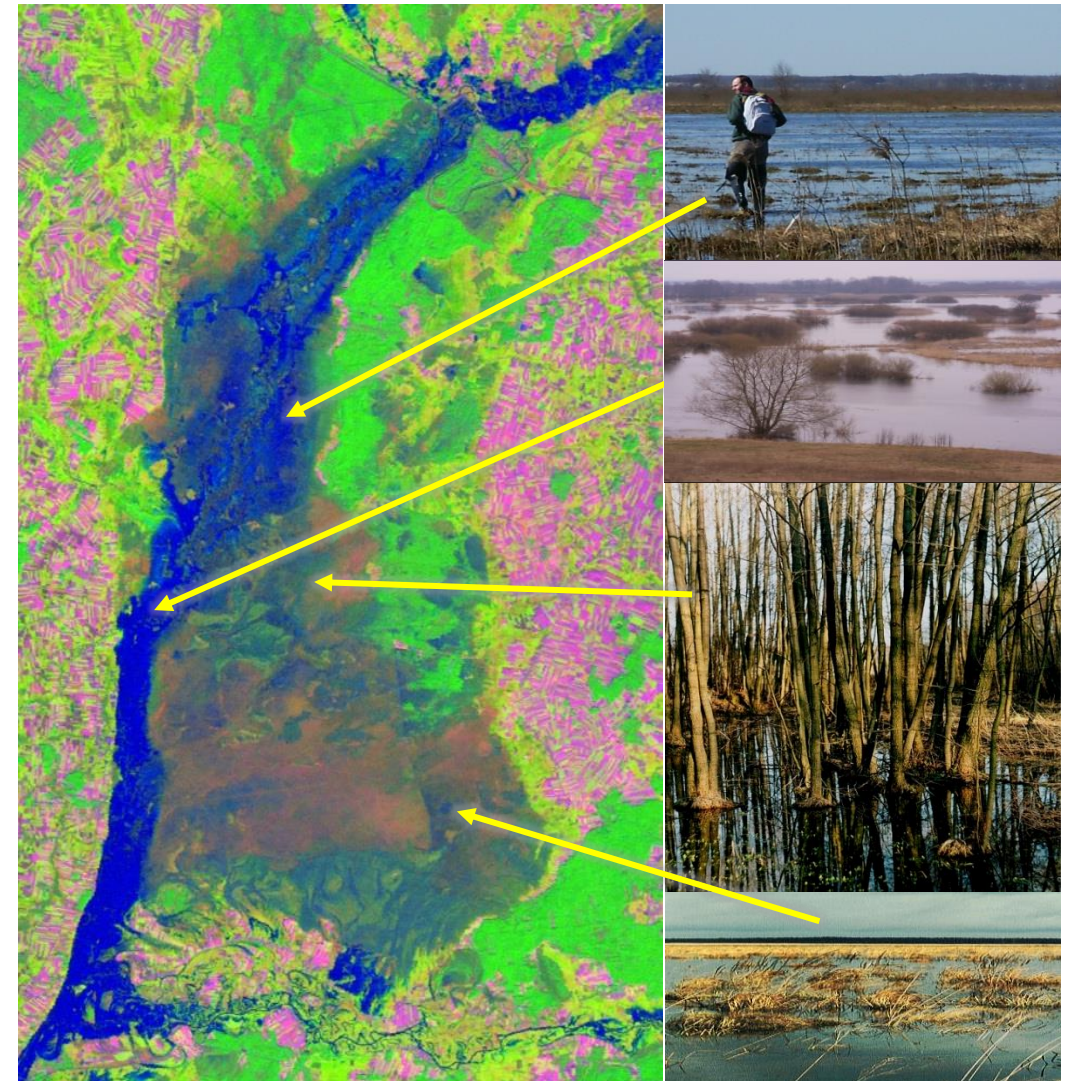
Zobrazowanie Landsat TM (2002, kompozycja w barwach rzeczywistych)



Źródło: NASA, 2002 r.

Ocena zasięgu podtopień – metoda przetwarzania zdjęć satelitarnych.

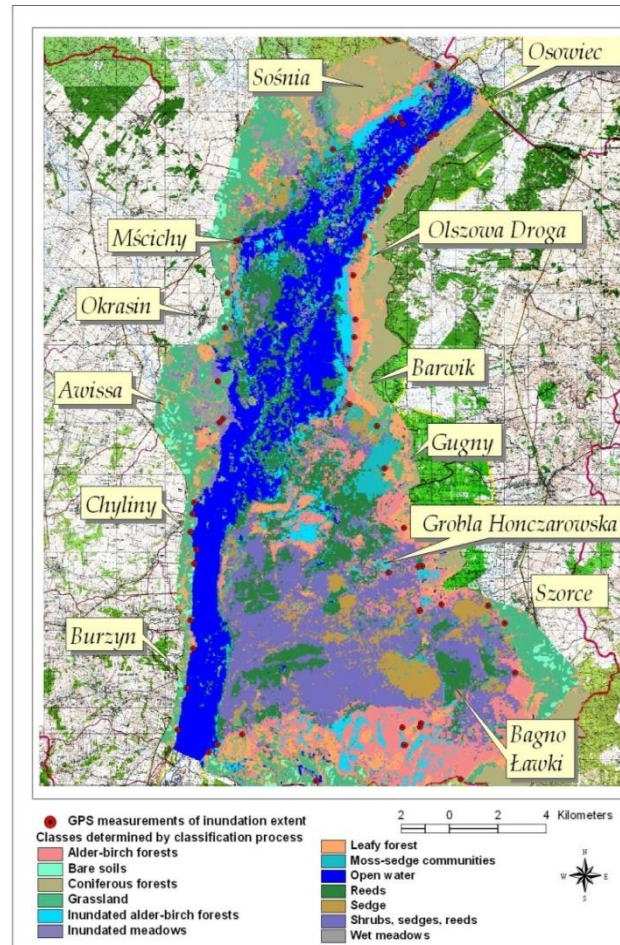
- Obraz z satelity Landsat ETM+ zarejestrowany 17.03.2002 przetworzony w celu wybrania obszarów podtopionych (kolory zimne z odcieniem niebieskiego).
- Obraz transformowany i wizualizowany jako model kompozycji RGB: NDVI jako Red, PC1 jako Green i band7/band5 jako Blue.
- Identyfikacja wizualna poprzedzająca klasyfikację nadzorowaną (np. Maximum likelihood lub Random Forest).



Źródło: NASA, 2002 r.

Wynik klasyfikacji z podziałem na klasy mokre i suche – mapa klas z opisem siedlisk roślinnych identyfikowanych podczas zbierania informacji terenowej.

Mapa klas siedlisk roślinnych

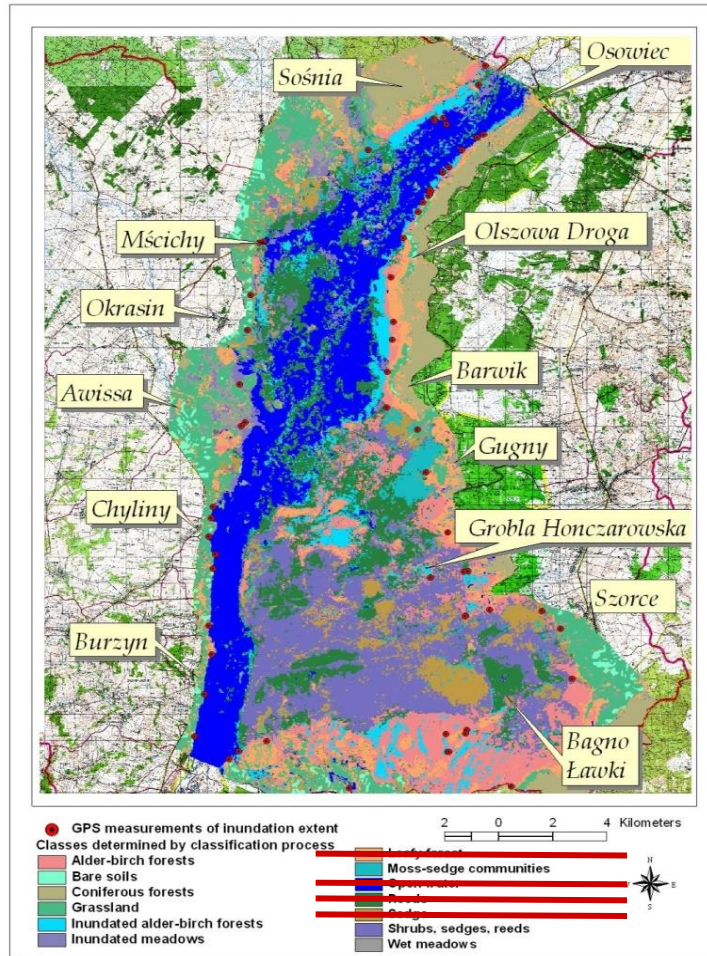


Klasyfikowane typy pokrycia	Powierzchnia [km ²]
Inundated meadows - łąki podtopione (w)	8.19
Reeds, shrubs – szuwar trzcinowy z zakrzaczeniami (w)	39.62
Moss-sedge – turzycowisko mszyste (w)	6.68
Alder-birch forest – ols (w)	32.26
Shrubs, sedges – Szuwar turzycowo-trzcinowy (w)	44.24
Grasslands – pastwisko (d)	33.33
Bare soils – odkryta ziemia (d)	4.37
Leafy forest – las liściasty (d)	22.40
Inundated alder-birch forest – podtopiony ols (w)	16.37
Coniferous forest – las iglasty (d)	24.59
Open water - otwarta woda (w)	48.99
Sedges – turzycowisko (w)	18.40
Podtopienia w sumie	214.75
Klasy suche w sumie	85.69

(w) – mokre (d) – suche

Źródło: Chormański J. i in., 2011 r.

Post-klasyfikacyjne łączenie klas



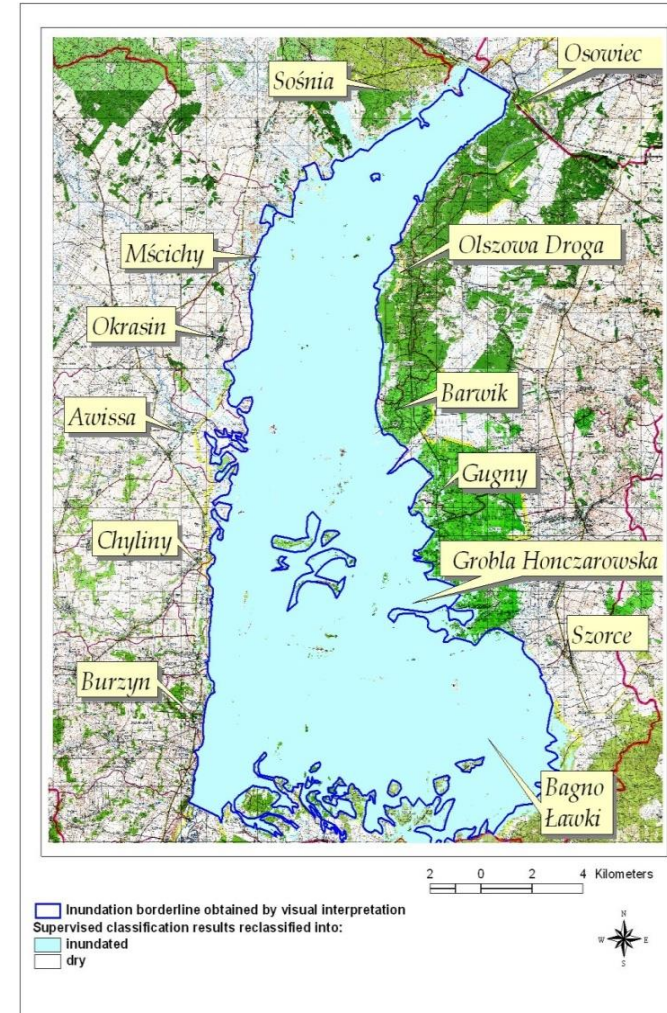
Klasyfikowane	Weryfikacja "Ground truth"									Udokładność użytkownika
	łąki podtopione	ols	pastwiska	odkryta ziemia	las liściasty	podtopiony ols	las iglasty	otwarta woda	Szuwar trzcinowy, turzycowy, turzycy mszyste, zakrzaczenia	
łąki podtopione	32	0	0	0	0	0	0	3	3	84
ols	0	43	0	0	0	1	0	0	3	91
pastwiska	0	0	46	0	1	0	0	0	0	99
odkryta ziemia	0	0	1	42	0	0	0	0	0	98
las liściasty	1	0	0	0	33	0	0	0	0	97
podtopiony ols	0	2	0	0	0	46	0	4	6	79
las iglasty	0	0	0	1	0	0	37	0	0	95
otwarta woda	8	0	0	0	0	7	0	167	3	90
szuwar trzcinowy, turzycowy, turzycy mszyste, zakrzaczenia	2	3	2	0	2	0	0	3	259	96
Dokładność	74	90	95	98	92	85	100	94	95	93

Źródło: Chormański J. i in., 2011 r.

Reklasyfikacja w celu wyznaczenia obszarów podtopionych nie objętych podtopieniami (ang. *dry*).

Połączone klasy identyfikowane jako podtopione – mokre (ang. *inundated*).

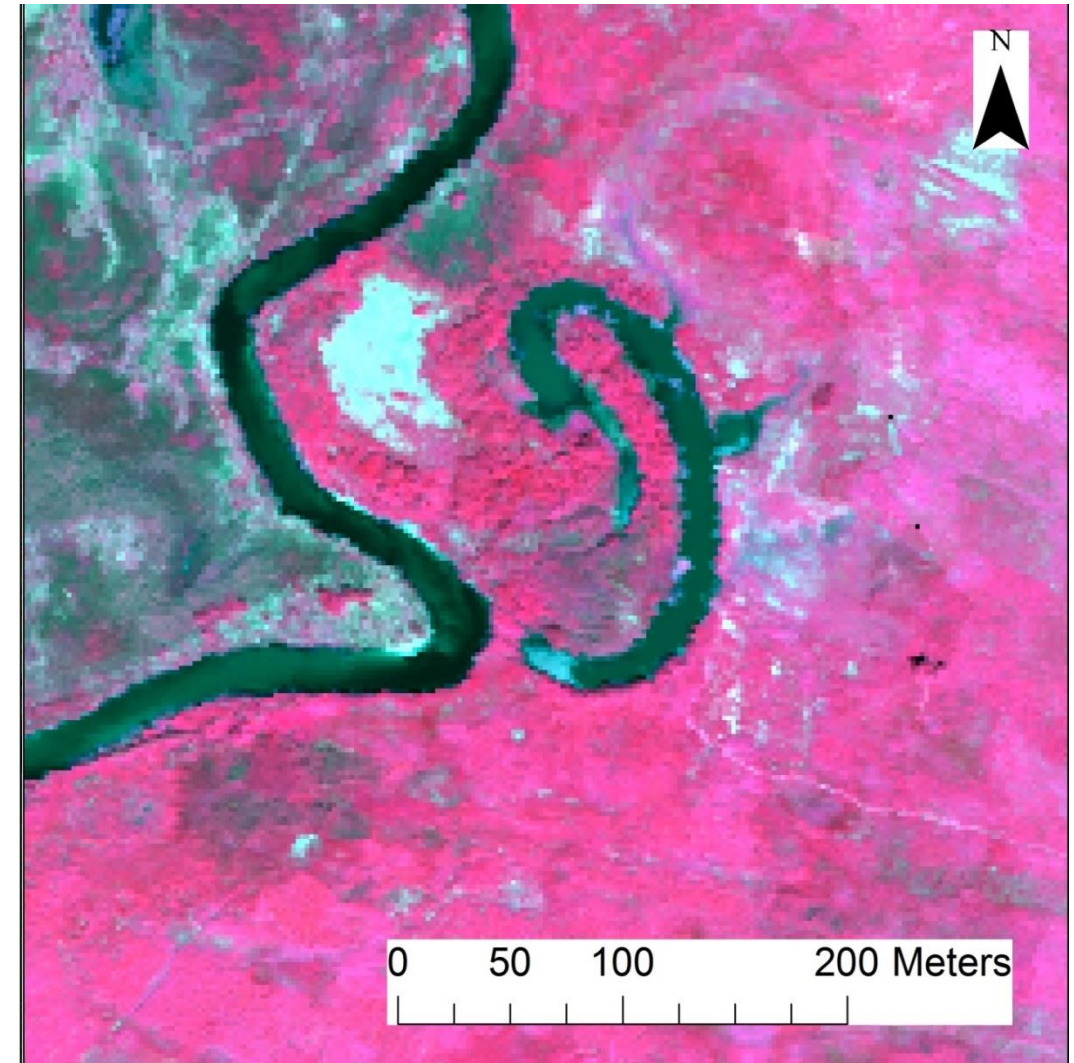
Zasięg występowania obszarów podtopionych



Źródło: Chormański J. i in., 2011

Archiwalne dane teledetekcyjne i mapy (od 1927 do czasów współczesnych) mogą być wykorzystane do wnioskowania o:

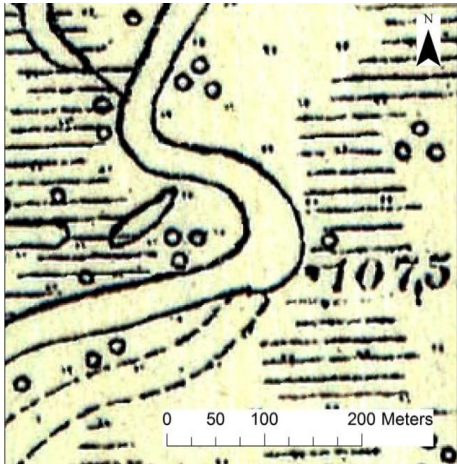
- krętości rzeki,
- dynamice odcięcia meandrów,
- ocenie krzywizny łuków meandra.



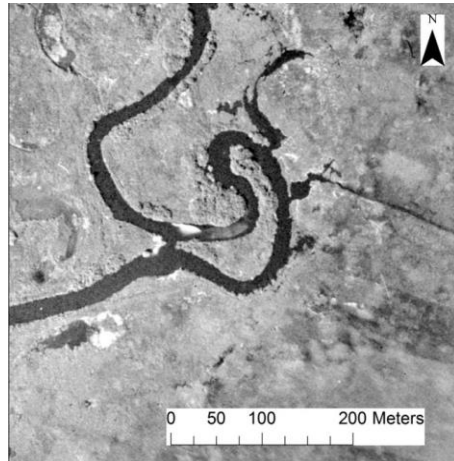
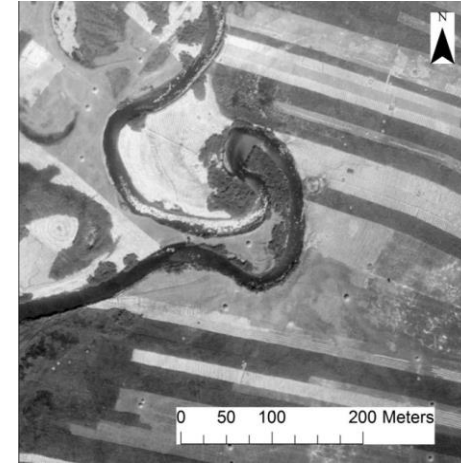
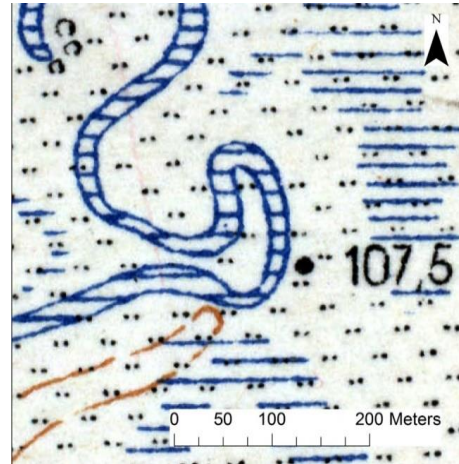
Źródło: Słapińska M. i in., 2014 r.

Rozwój meandry i jego porzucenie na przestrzeni 60 lat.

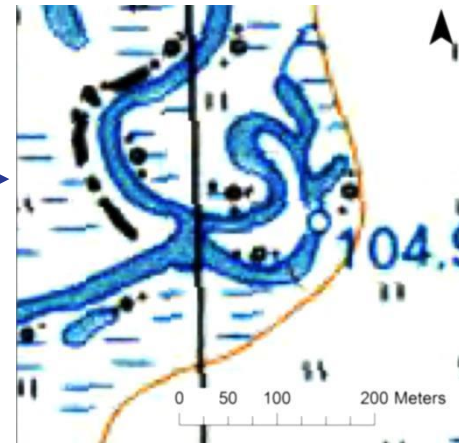
Mapa topograficzna 1927 r.



Mapa topograficzna lata 60-te

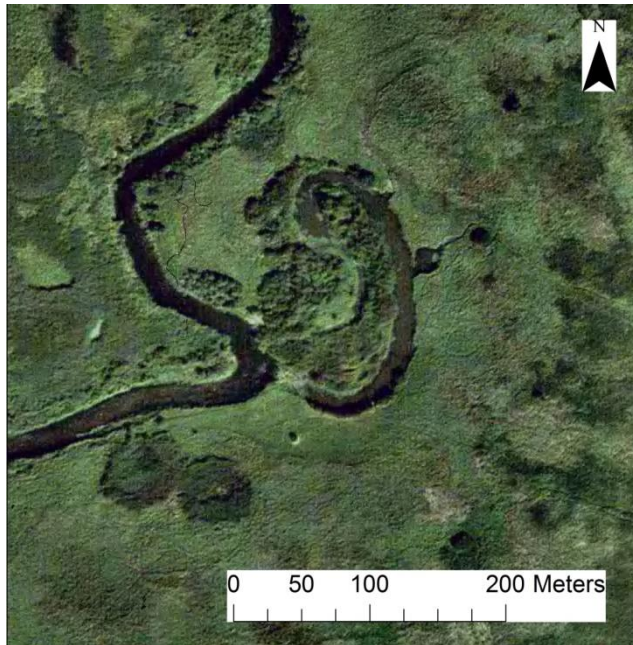


Mapa topograficzna koniec lat 80-tych

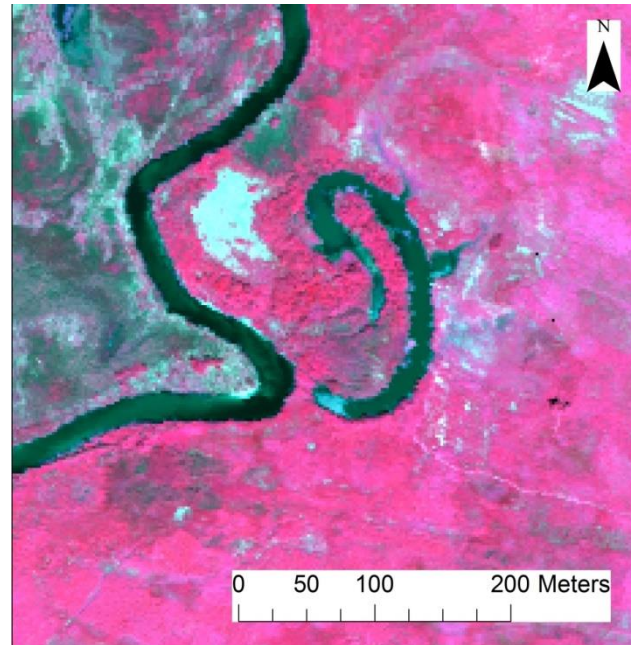


Źródło: Słapińska M. i in., 2014 r.

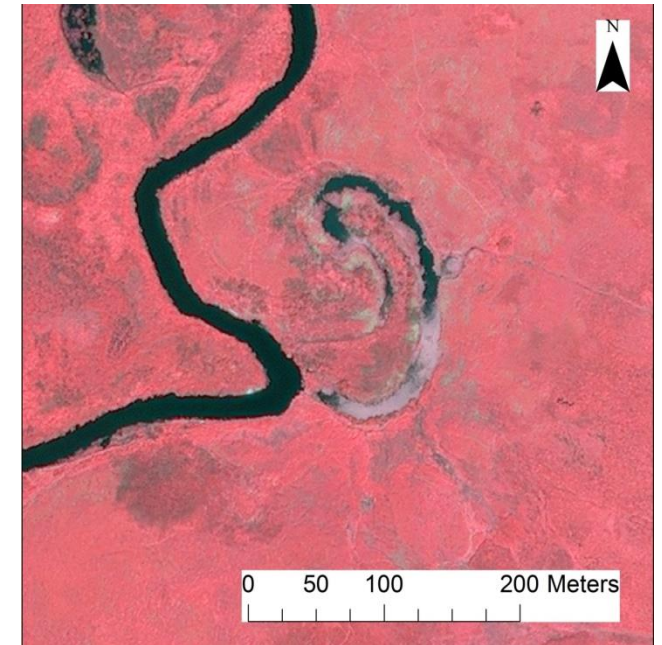
Zdjęcie lotnicze PHARE 1994-1996



IKONOS 2008



Zobrazowanie hiperspektralne AISA 2013



Źródło: Stapińska M. i in., 2014 r.

Dynamika zmian koryt rzecznych i procesu odcinania meandrów na przykładzie meandru Biebrzy

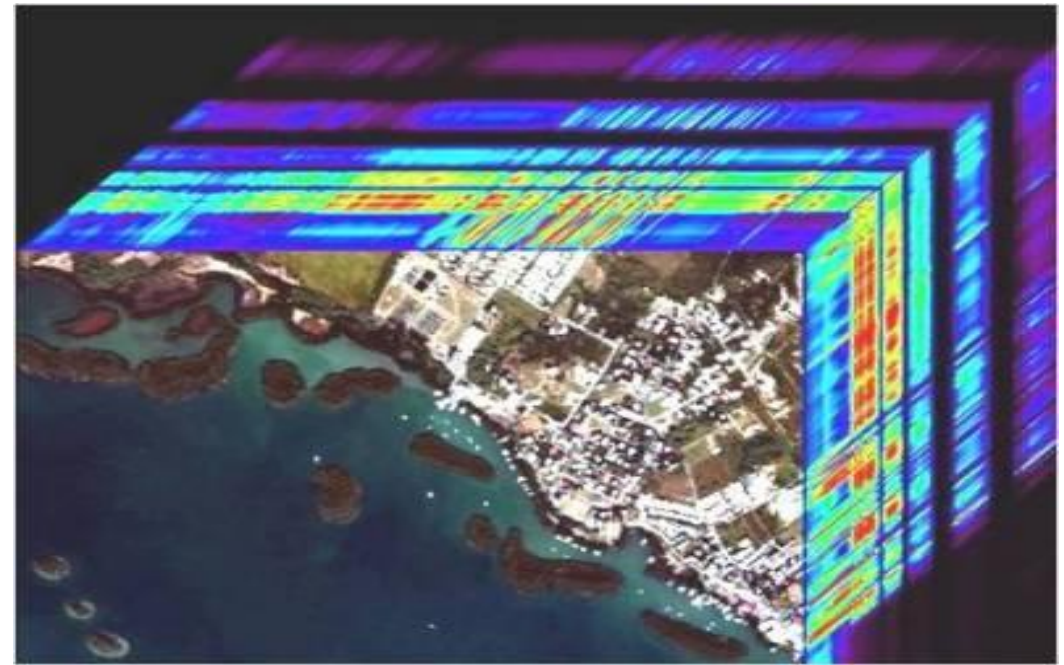
Obserwacje na podstawie analizy dwóch rodzajów obrazowań – lotniczych hiperspektralnych oraz wysokorozdzielczych z satelity IKONOS zarejestrowanych w odstępie 5 lat.

Kamera AISA Eagle, z której pochodzą zdjęcia hiperspektralne ma 129 kanałów w zakresie od 401-997 nm.

Zobrazowanie IKONOS (20.07.2008)
– Biebrzański Park Narodowy



Lotnicze zobrazowania hiperspektralne (02.08.2013)
– starorzecze w Biebrzańskim Parku Narodowym



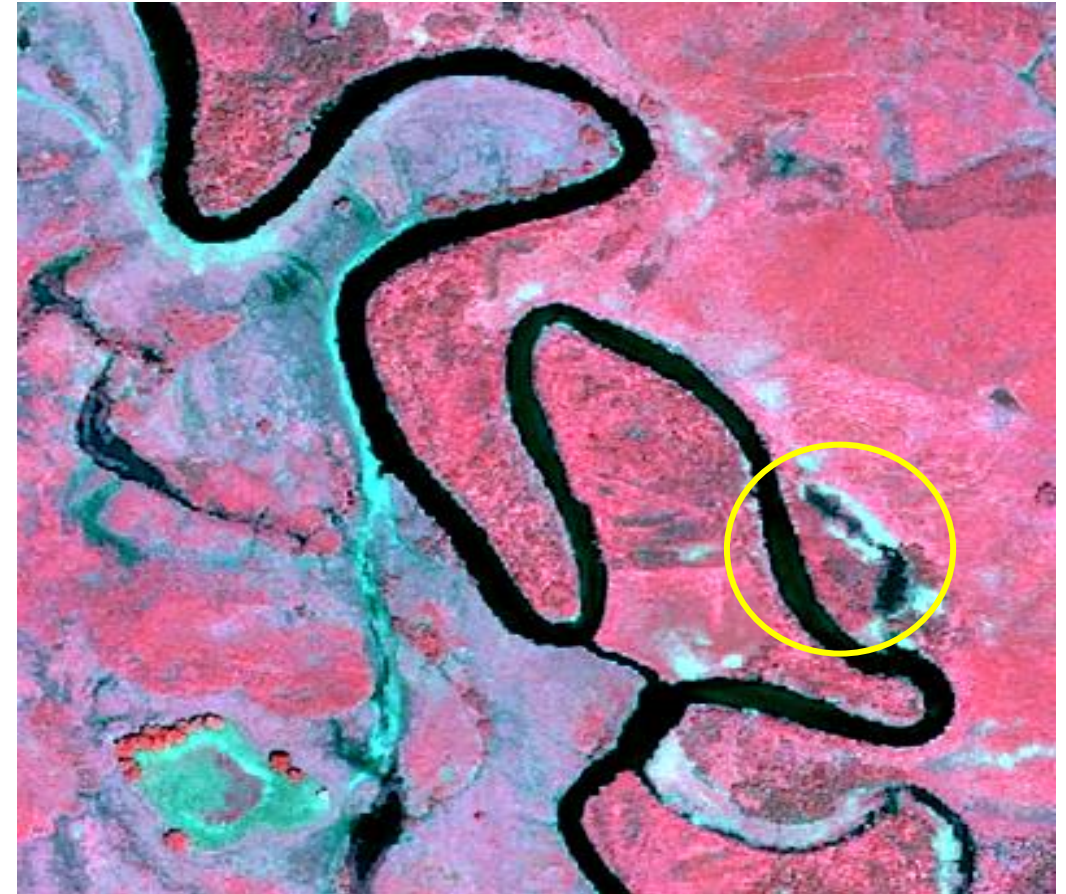
Źródło: *Stapińska M. i in., 2014 r.*

Dynamika zmian koryt rzecznych i procesu odcinania meandrów na przykładzie meandru Biebrzy

IKONOS (20.07.2008, kompozycja w barwach naturalnych)



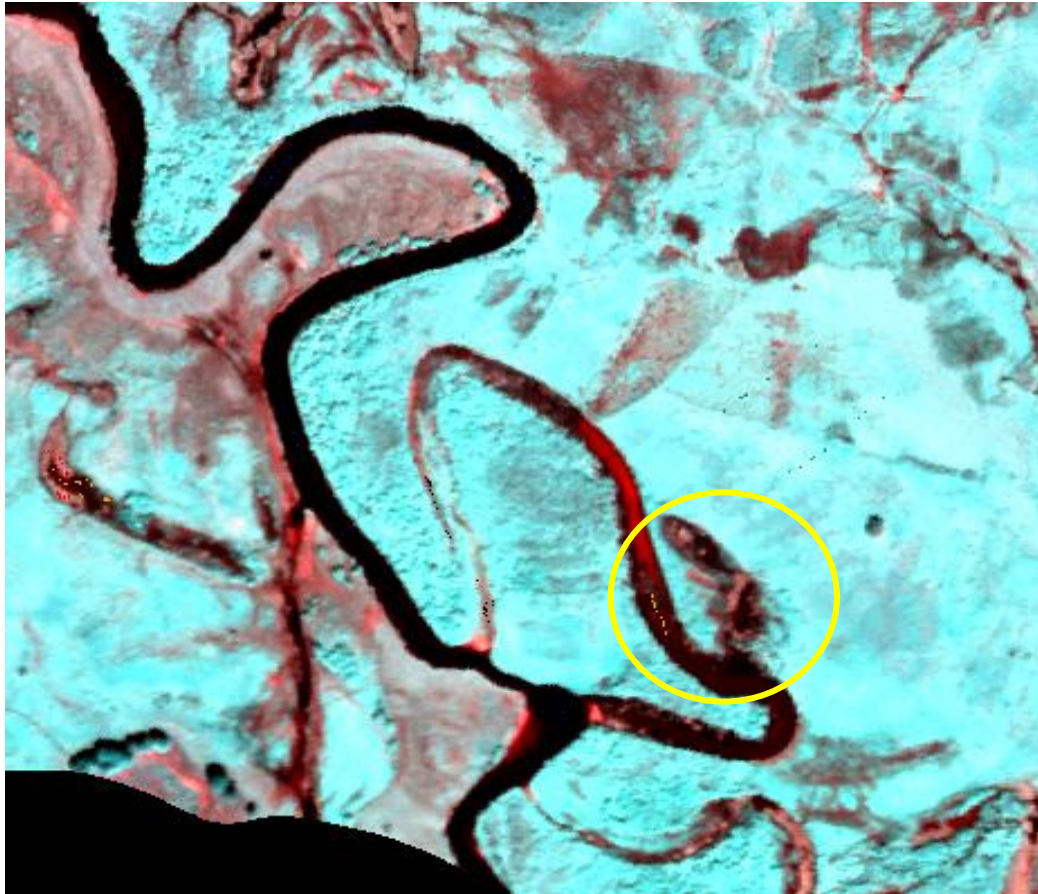
IKONOS (20.07.2008, kompozycja barwna w podczerwieni)



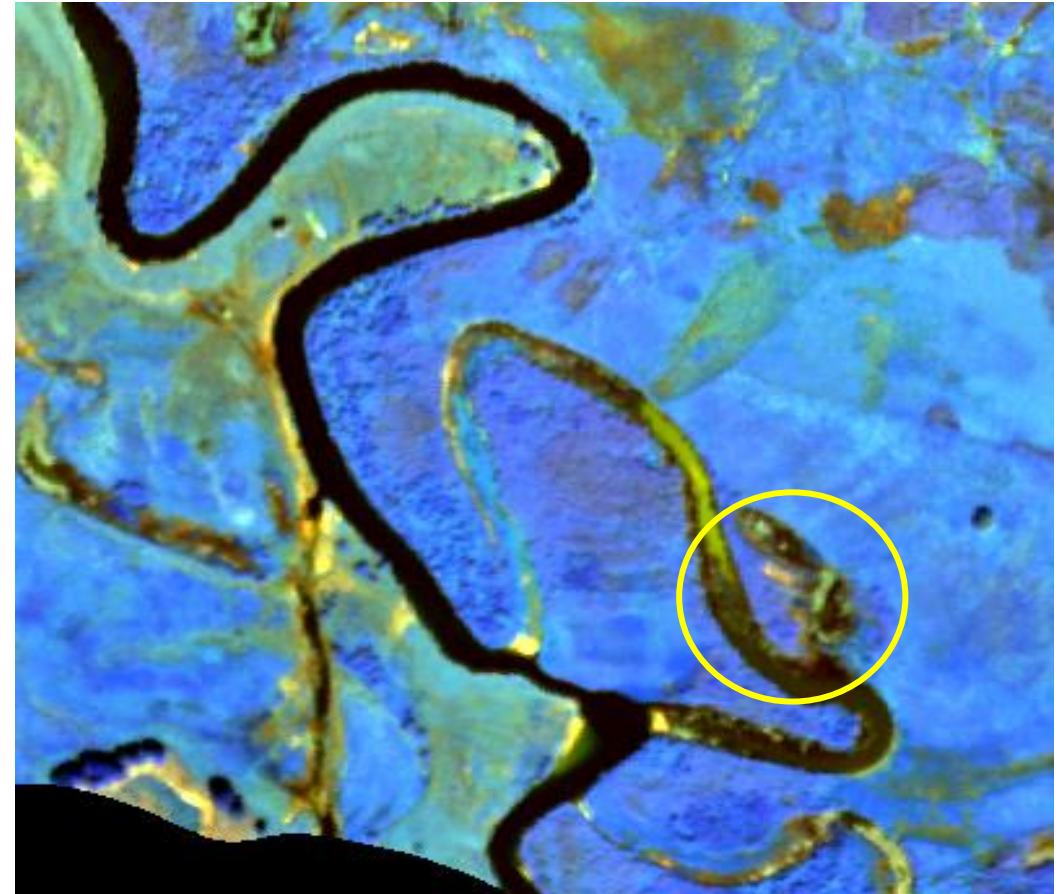
Źródło: Słapińska M. i in., 2014 r.

Dynamika zmian koryt rzecznych i procesu odcinania meandrów na przykładzie meandru Biebrzy

AISA (02.08.2013, kompozycja barwna wykorzystująca podczerwień i pasmo niebieskie dla lepszej obserwacji wody)



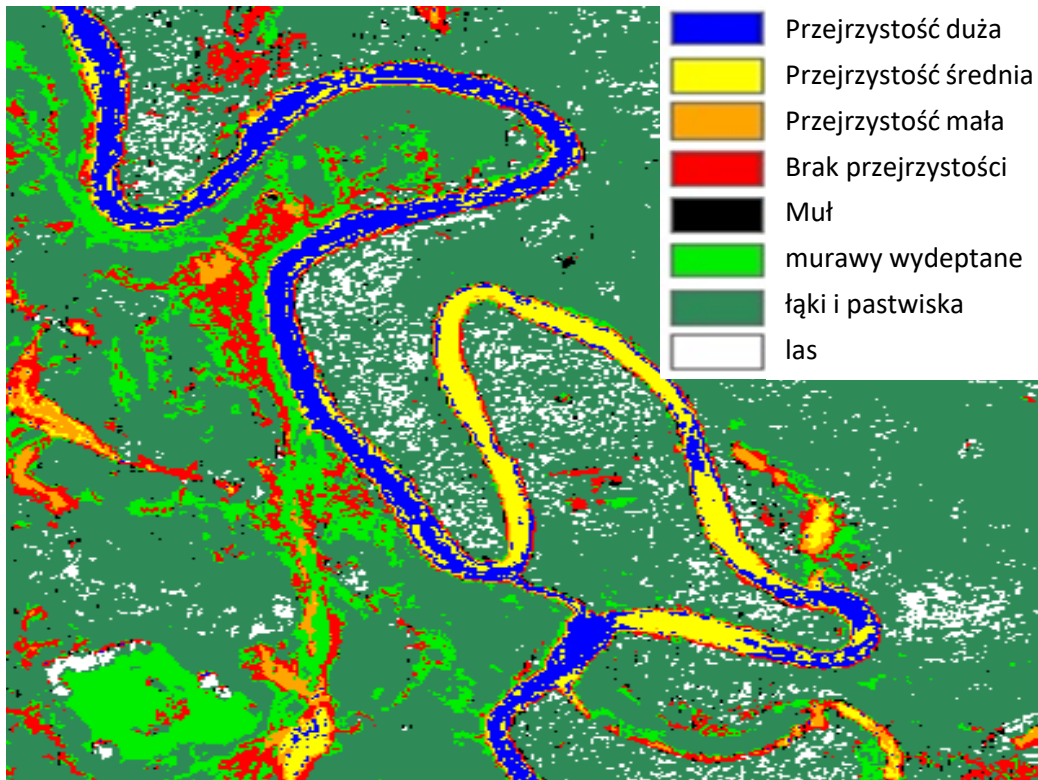
AISA (02.08.2013, kompozycja barwna wykorzystująca podczerwień i pasmo zielone dla lepszej obserwacji chlorofilu)



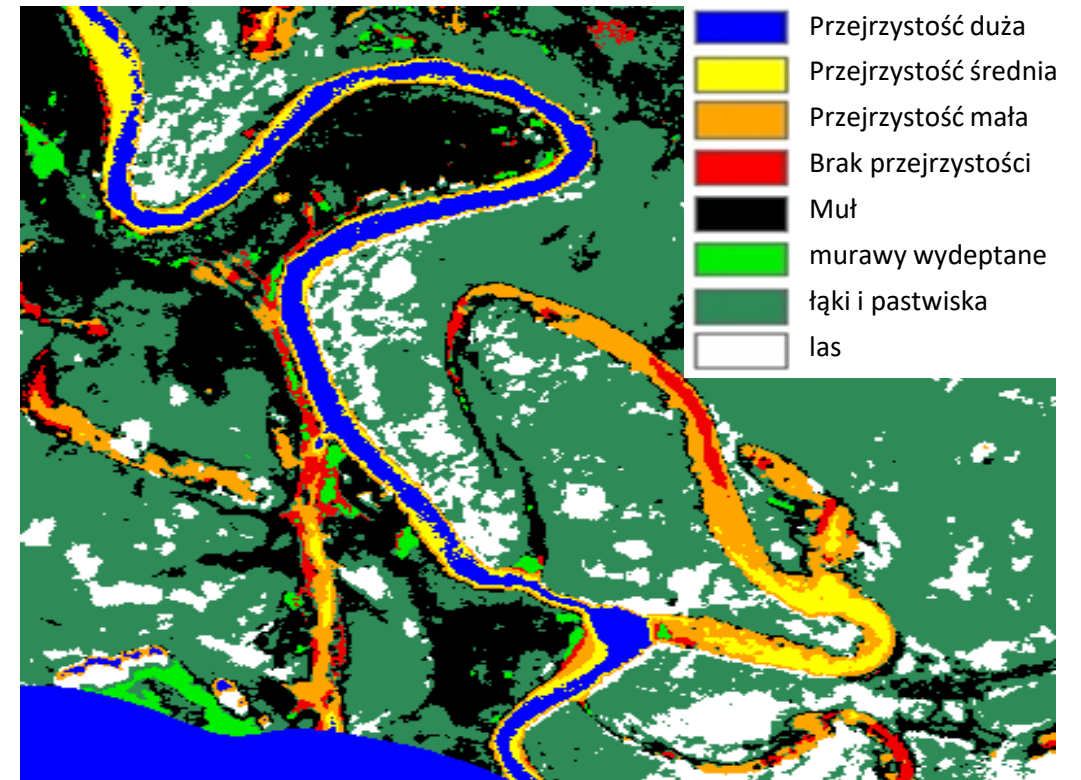
Źródło: Słapińska M. i in., 2014 r.

Porównanie wyników klasyfikacji obu zobrażeń wykonanych w odstępie 5 lat.

Klasyfikacja na podstawie zobrażeń IKONOS 2008



Klasyfikacja na podstawie obrazu AISA 2013

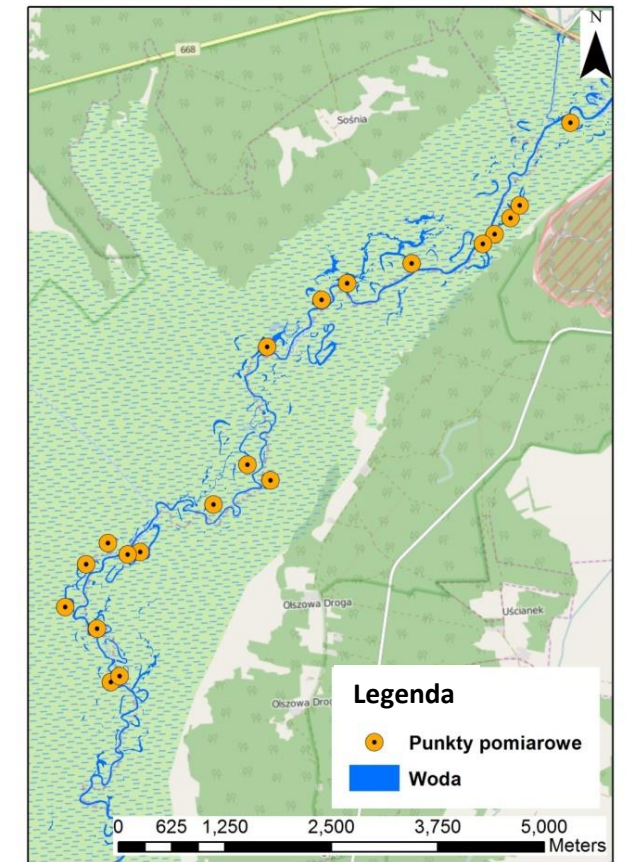
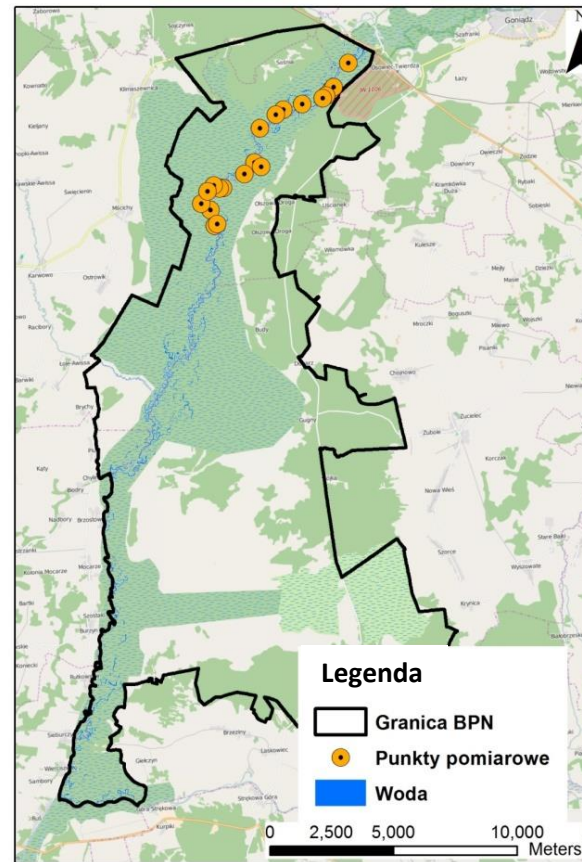


Źródło: Stapińska M. i in., 2014 r.

Do konstrukcji modelu empirycznego wykonano pomiary i pobrano kilkadziesiąt porób wody z rzeki i starorzeczy w kilkadziesiąt lokalizacjach.

Analizy laboratoryjne opisywały fitoplankton ilościowo i jakościowo.

Mapy miejsc poboru próbek wody opracowane na podstawie danych hiperspektralnych HYSPEX – Biebrzański Park Narodowy



Źródło: Stapińska M. i in., 2016 r.

Opracowanie formuły umożliwiających mapowanie charakterystyk jakości wody.

Formuły służące do mapowania parametrów jakości wody w funkcji kanałów rejestrowanych przez kamerę HYSPEX.

Przejrzystość wody

$$SDD = -1976,42 \cdot \frac{847,6 \text{ nm} - 866,8 \text{ nm}}{847,6 \text{ nm} + 866,8 \text{ nm}} + 78,85$$

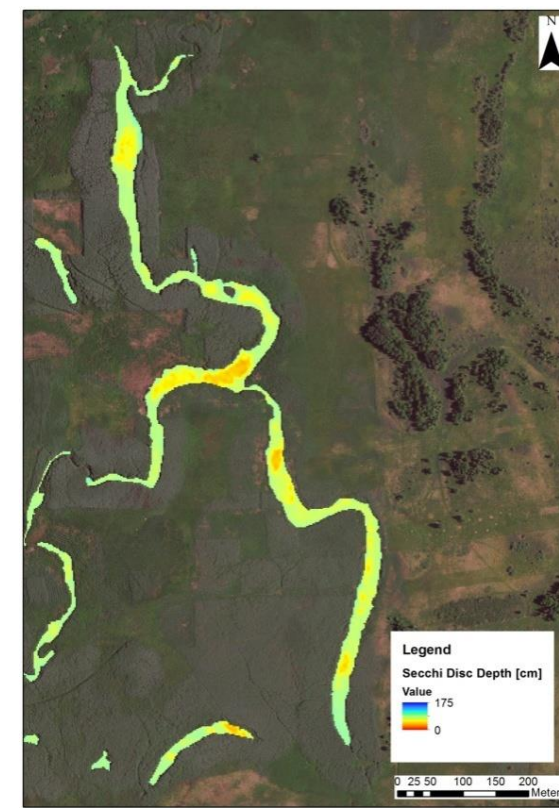
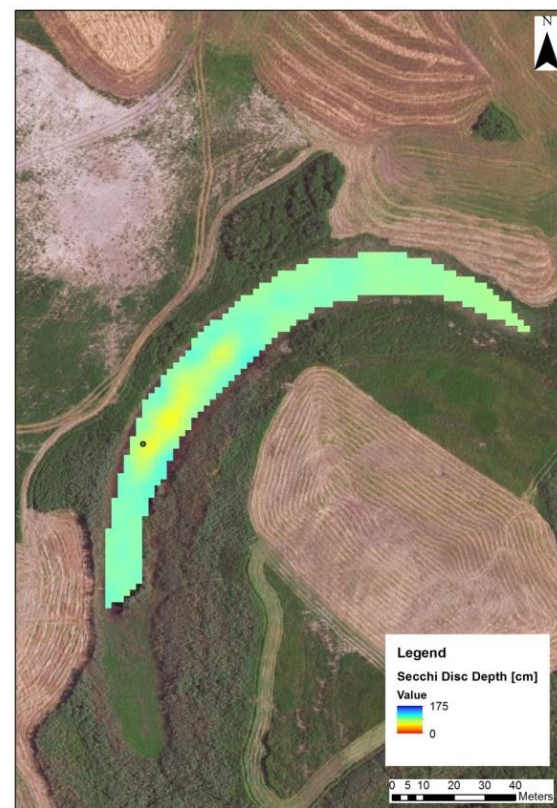
Gdzie:

847,6 nm – odbicie spektralne fali o długości 847,6 nm,

866,8 nm – odbicie spektralne fali o długości 866,8 nm.

Rozdzielczość spektralna kamery 20 nm.

Mapy przejrzystości wody fragmentu doliny Biebrzy obejmującej odcięte starorzecza opracowane na podstawie danych hiperspektralnych HYSPEX – Biebrzański Park Narodowy



Źródło: Stapińska M. i in., 2016 r.

Opracowane formuły umożliwiają mapowanie charakterystyk jakości wody.

Biologiczne zapotrzebowanie na tlen

$$\text{BOD} = -141,51 \cdot \frac{652,7 \text{ nm} - 719,8 \text{ nm}}{625,7 \text{ nm} + 719,8 \text{ nm}} + 39,62$$

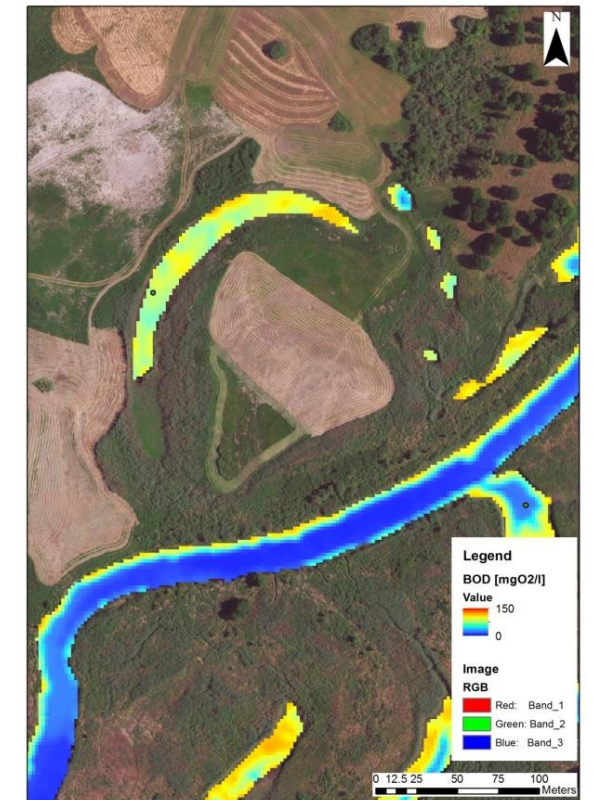
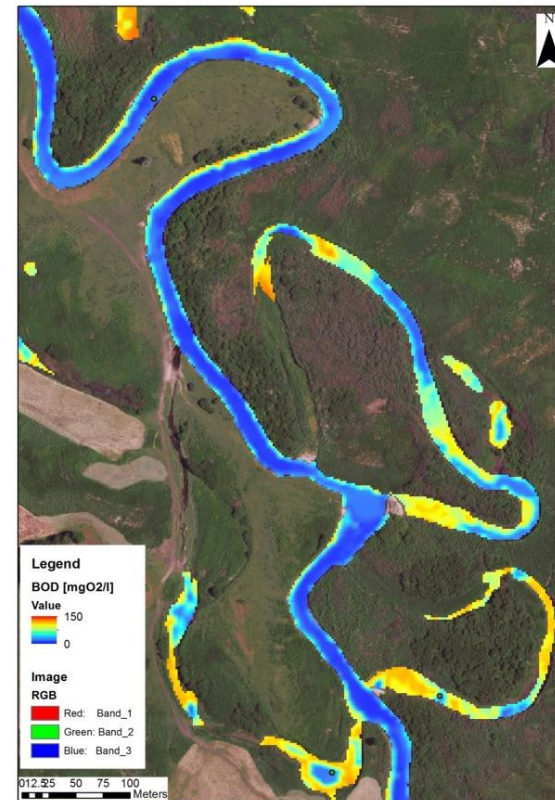
Gdzie:

652,7 nm – odbicie spektralne fali o długości 652,7 nm,

719,8 nm – odbicie spektralne fali o długości 719,8 nm.

Rozdzielczość spektralna kamery 20 nm.

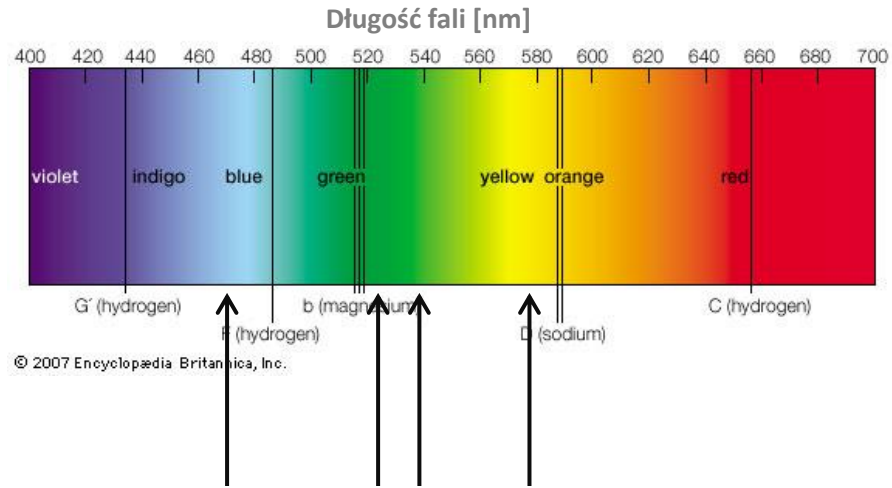
Mapy biologicznego zapotrzebowania na tlen opracowane na podstawie danych hiperspektralnych HYSPEX – Biebrzański Park Narodowy



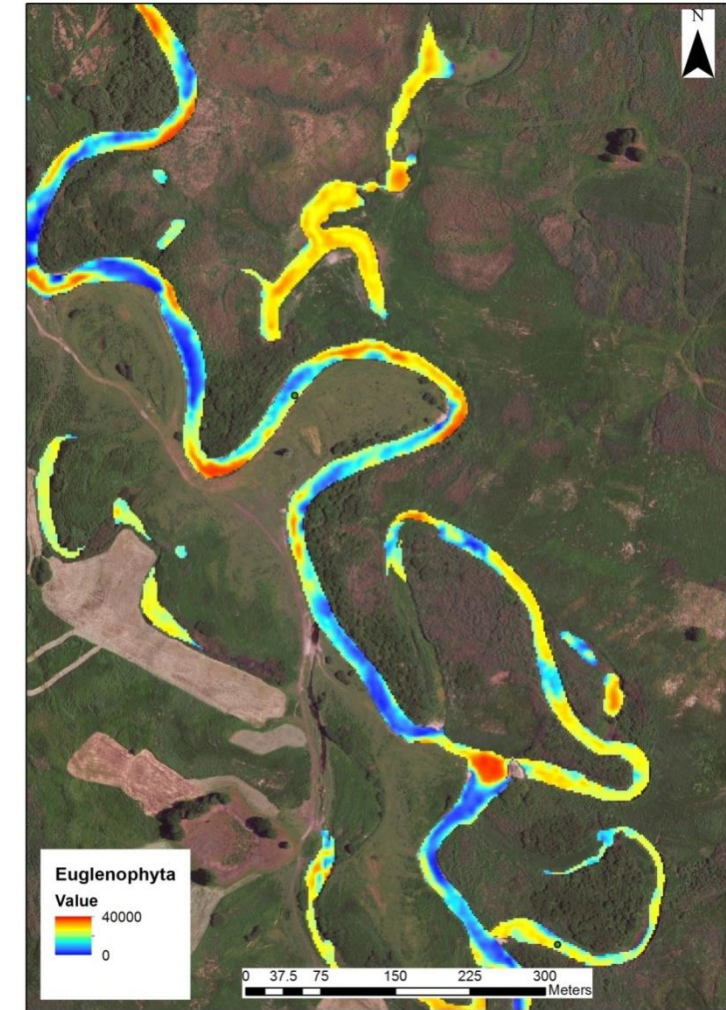
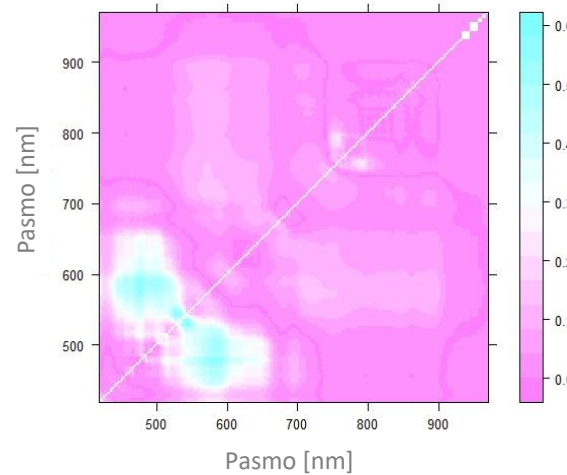
Źródło: Stapińska M. i in., 2016 r.

Mapowanie grupy sinic Cyanophyta. Dane lotnicze hiperspektralne.

- $Y = a + b_1X_1 + b_2X_2$
- $y = 83951 - 546640x_1 - 95908x_2$
- $x_1 = \text{NDVI}$ z kanałów 35 i 40 (524,8 nm i 540,8 nm)
- $x_2 = \text{NDVI}$ z kanałów 18 i 52 (470,5 nm i 579,2nm)
- $R^2 = 0,61$

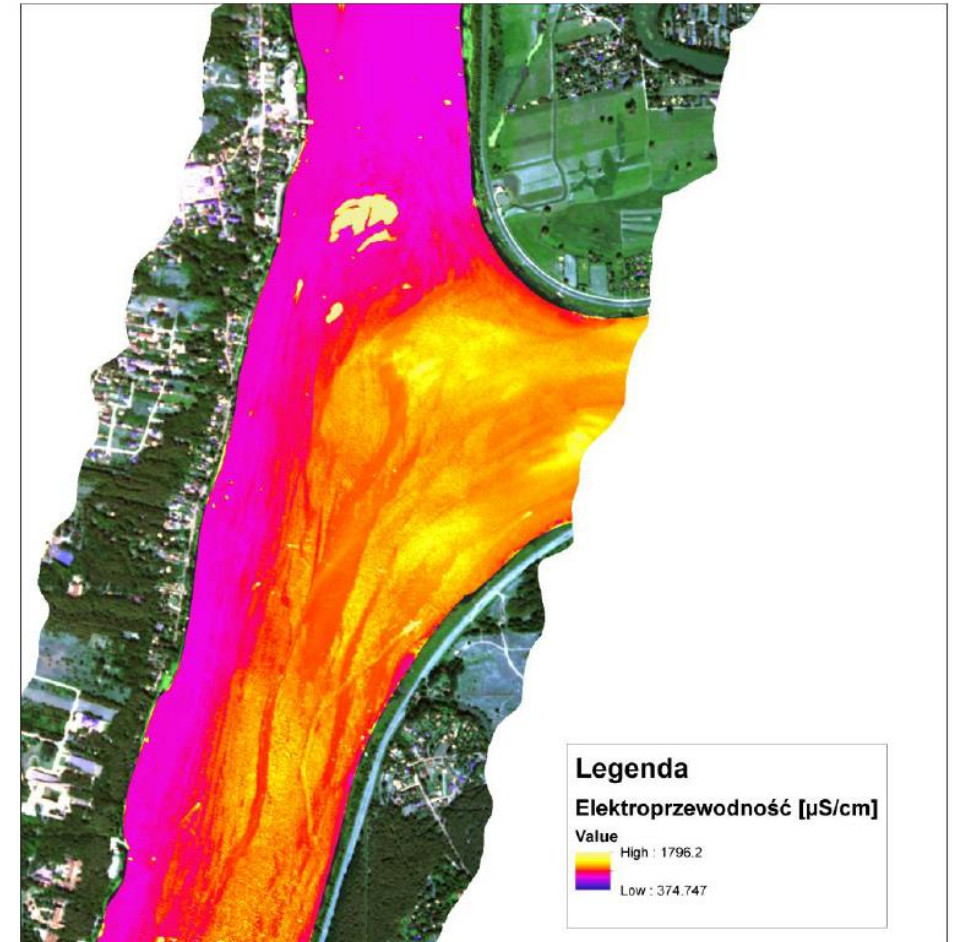
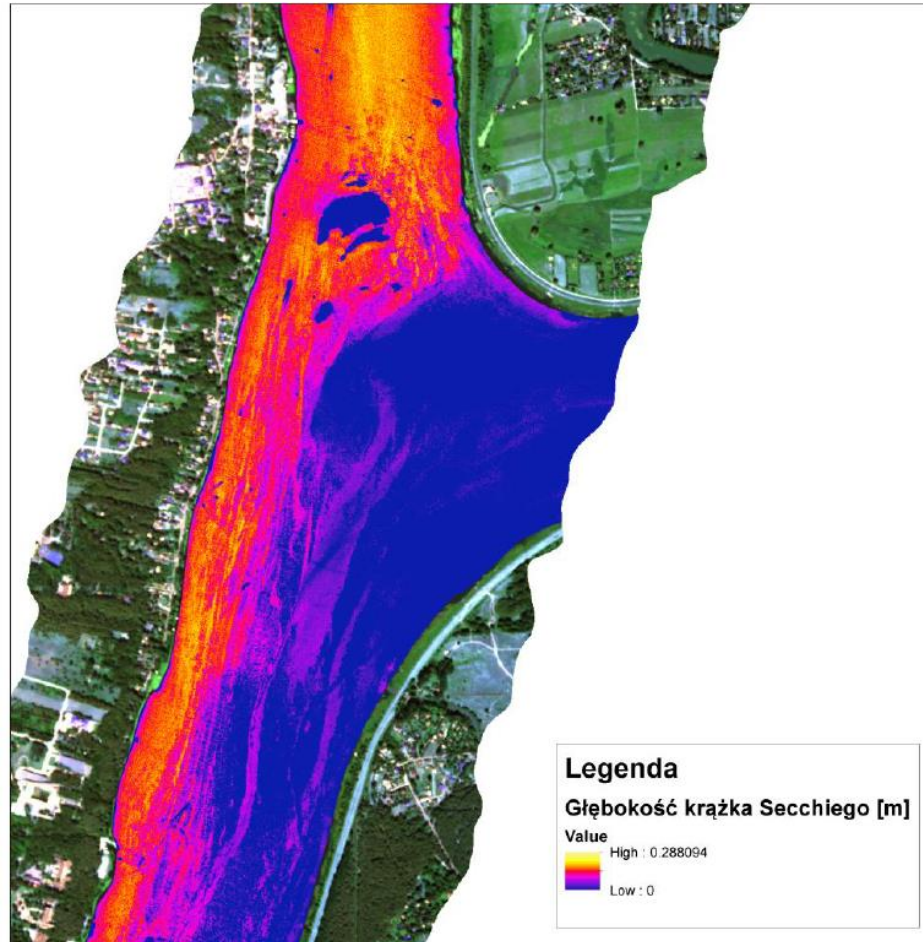
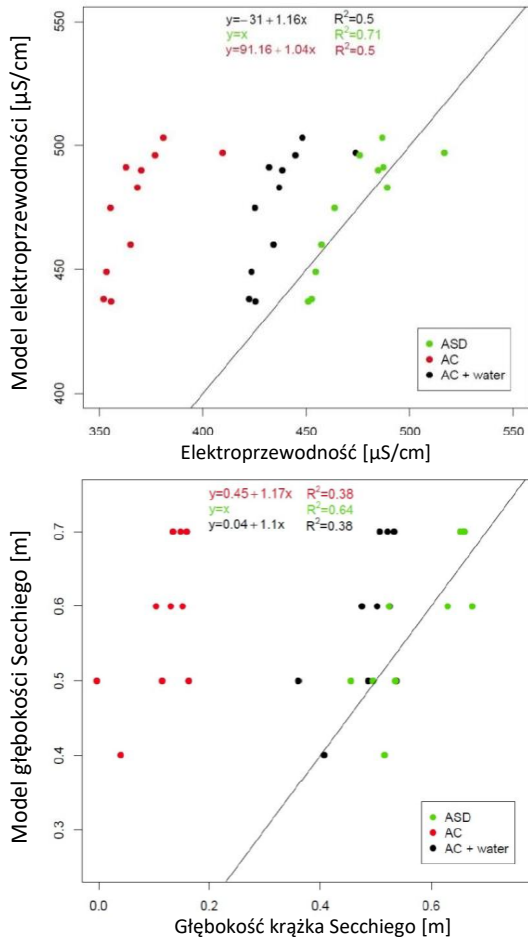


Znormalizowana różnicowa korelacja z Cyanophyta



Źródło: Stapińska M. i in., 2016 r.

Zobrazowania hiperspektralne AISA – Jezioro Zegrzyńskie



Źródło: Słapińska M. i in., 2013 r.

Tematyka zakwitu sinic jest uniwersalna.

Dotyczy zarówno jeziornych zbiorników wodnych jak również mórz na całym świecie.

Zakwity zanieczyszczając ujęcia wód, niszczą instalacje uzdatniania wody, powodują kryzysy dostępności do zasobów wody pitnej.



Zobrazowania Envisat



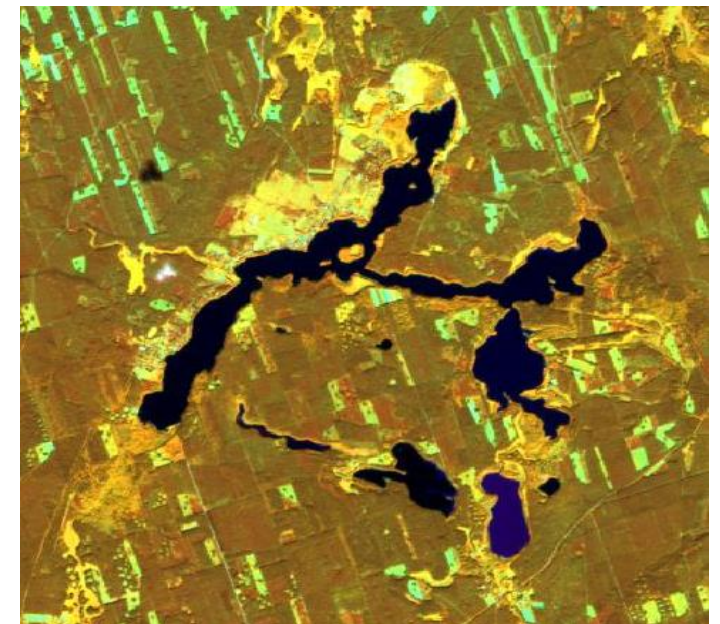
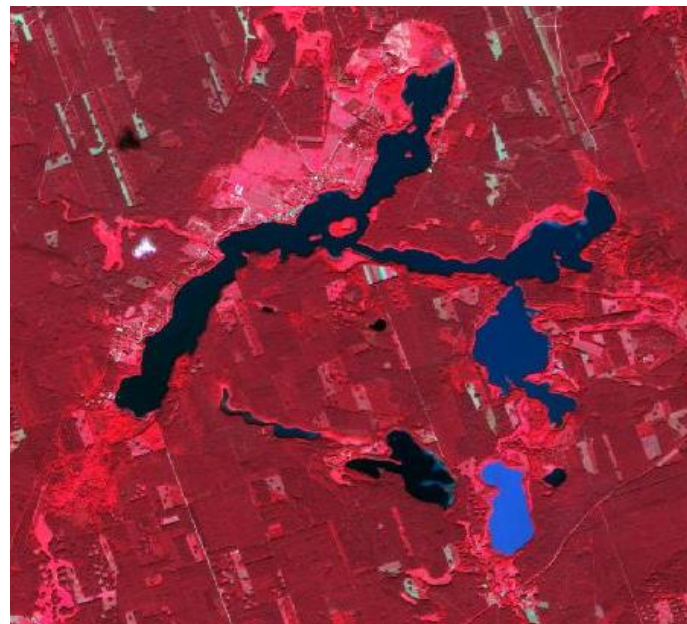
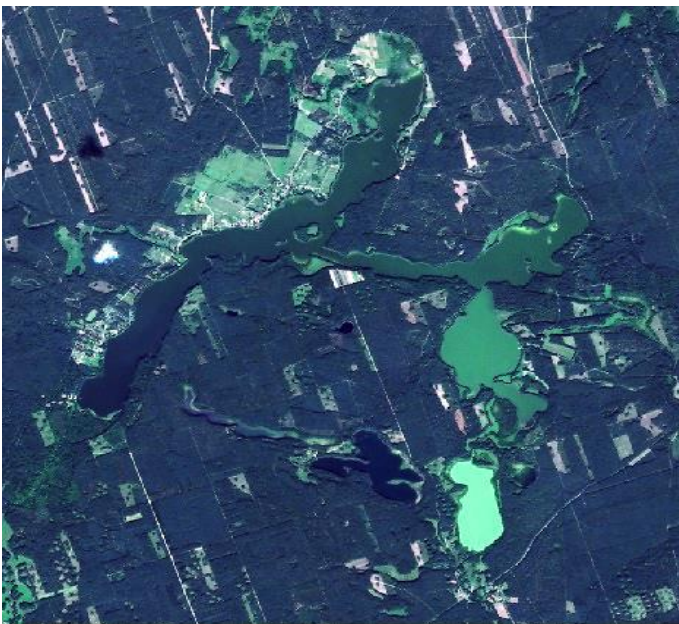
Źródło: ESA, 2013 r.

Jakość wody w zbiornikach kontynentalnych – kompleks jeziora Omulew

Jakość wody w zbiornikach i rzekach można kontrolować także z wykorzystaniem wielospektralnych optycznych danych satelitarnych.

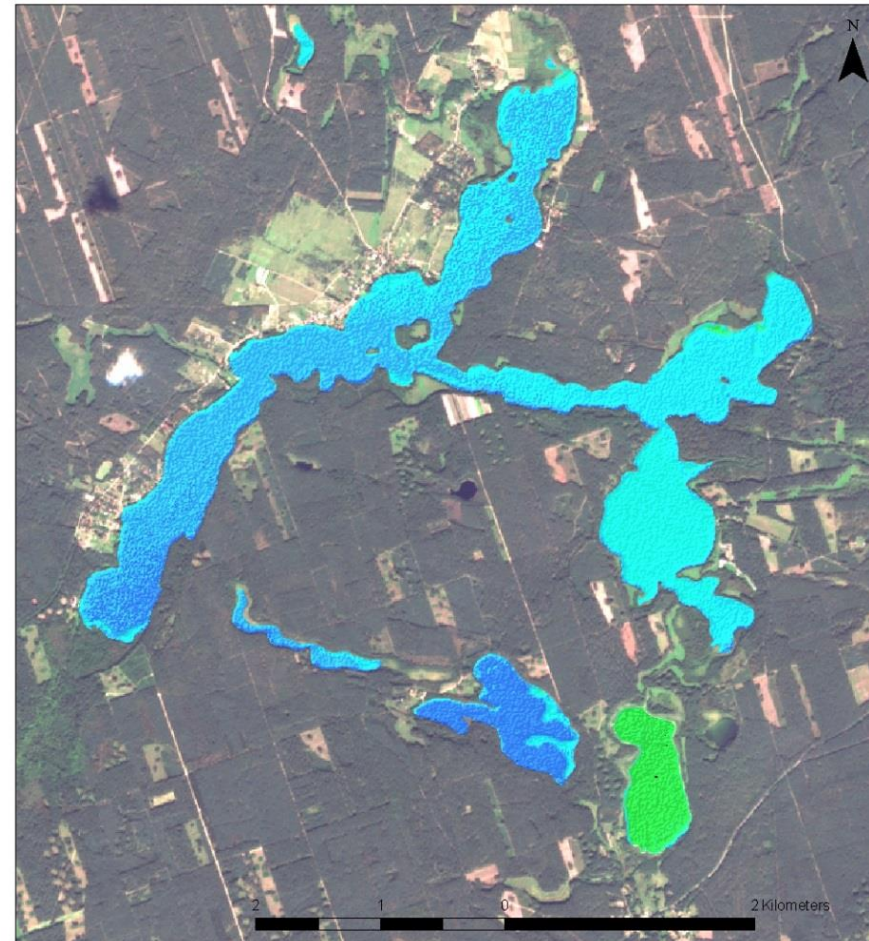
Mniejsze możliwości interpretacji niż produkty pozyskane przy wykorzystaniu kamery hiperspektralnej.

Kompozycje barwne opracowane na podstawie zobrażeń Sentinel-2 – kompleks jeziora Omulew, Polska



Jakość wody w zbiornikach kontynentalnych – kompleks jeziora Omulew

Mapa przejrzystości wody opracowana
na podstawie Sentinel-2



Przejrzystość wody

$$SDD = -12,796 \cdot \frac{560 \text{ nm} - 520 \text{ nm}}{560 \text{ nm} + 520 \text{ nm}} + 1,2986$$

Gdzie:

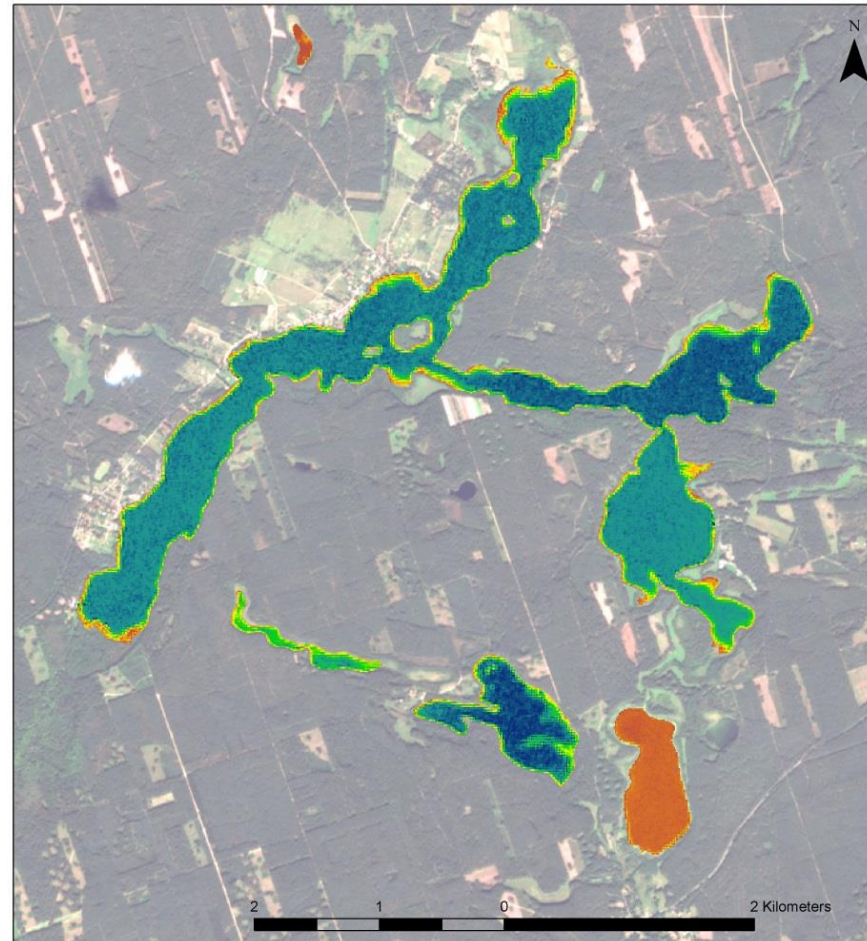
847,6 nm – odbicie spektralne fali o długości 847,6 nm,

866,8 nm – odbicie spektralne fali o długości 866,8 nm.

Źródło: Stapińska M. i in., 2018 r.

Jakość wody w zbiornikach kontynentalnych – kompleks jeziora Omulew

Mapa biologicznego zapotrzebowania na tlen
opracowana na podstawie Sentinel-2



Biologiczne zapotrzebowanie na tlen

$$\text{BOD} = -141,51 \cdot \frac{652,7 \text{ nm} - 719,8 \text{ nm}}{625,7 \text{ nm} + 719,8 \text{ nm}} + 39,62$$

Gdzie:

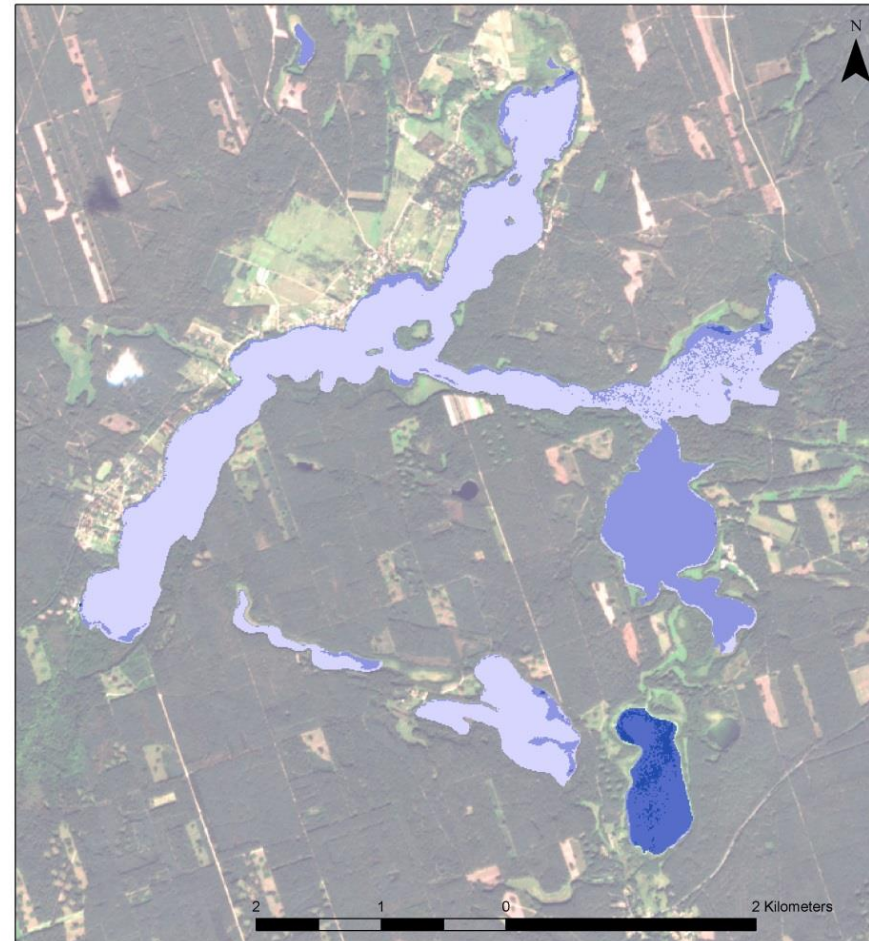
652,7 nm – odbicie spektralne fali o długości 652,7 nm,

719,8 nm – odbicie spektralne fali o długości 719,8 nm.

Źródło: Stapińska M. i in., 2018 r.

Jakość wody w zbiornikach kontynentalnych – kompleks jeziora Omulew

Mapa przewodności elektrycznej
opracowana na podstawie Sentinel-2



Przewodność elektryczna

$$EC = 402,8 + 3121,9 \cdot 731 \text{ nm } [\mu\text{S}/\text{cm}]$$

Gdzie:

731 nm – odbicie spektralne fali o długości 731 nm.

Źródło: Stapińska M. i in., 2018 r.

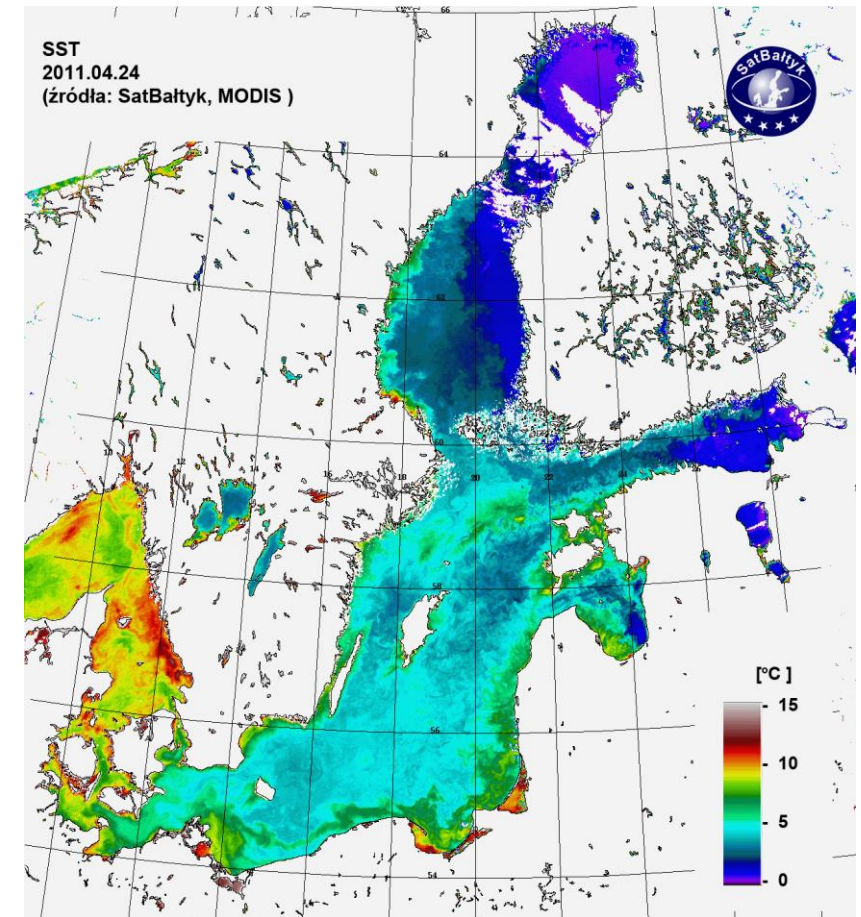
- Zakwity sinic (inaczej cyjanobakterii, blue-green algae) w Morzu Bałtyckim są obserwowane co roku na powierzchni powyżej 200 000 km² (Toming i in., 2017).
- Zobrazowania Sentinel-3 z sensorem OLCI (Ocean and Land Colour Instrument) umożliwiają lepszy niż do tej pory monitoring wody morskiej.
- Sensor ten został zaprojektowany z przeznaczeniem ciągłego monitoringu zmian w środowisku.
- Przy użyciu kanałów z zakresu czerwieni i bliskiej podczerwieni (NIR) możliwe jest pozyskanie informacji koniecznych do poprawnego modelowania parametrów jakościowych wody.

SatBałtyk - satelitarny monitoring stanu środowiska Bałtyku, wykorzystuje dane pomiarowe z ponad dwudziestu urządzeń pracujących na pokładach kilkunastu satelitów.

Dostępne dane na temat:

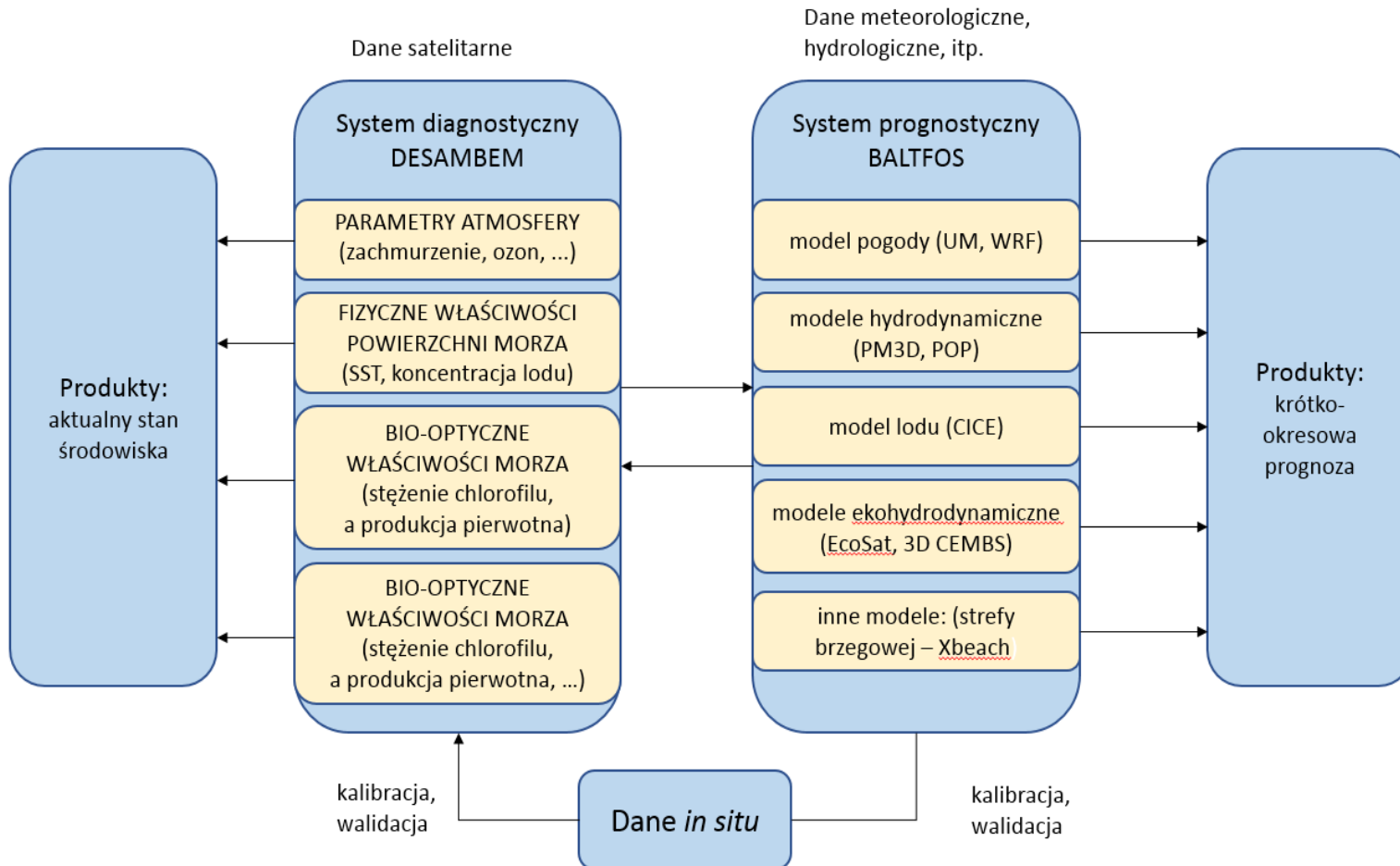
- doływu i charakterystyk energii (PAR1 , UV2),
- rozkładów temperatury,
- stanu dynamicznego powierzchni morza,
- stężenia chlorofilu i innych pigmentów fitoplanktonu,
- zakwitów trujących alg,
- występowania upwellingów,
- pojawiania się plam zanieczyszczeń, w tym rozlewów ropy i in.,
- charakterystyk produkcji pierwotnej materii organicznej.

Rozkład temperatury wody w Bałtyku



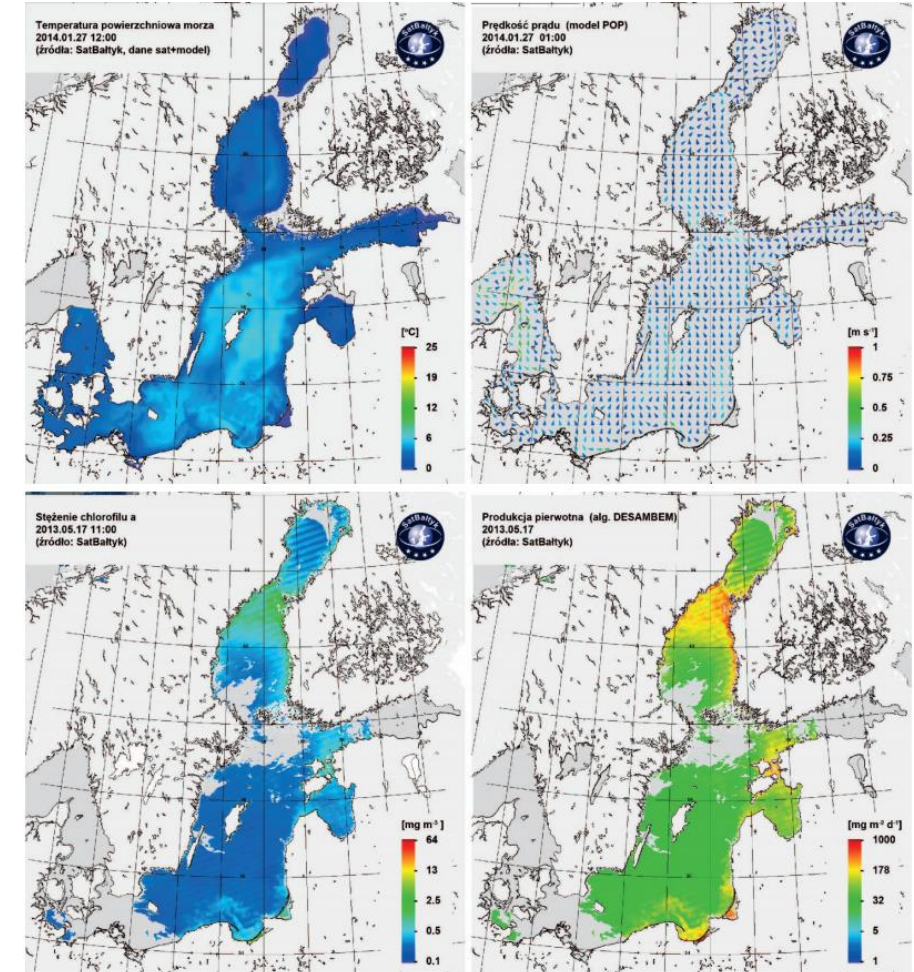
Źródło: SatBałtyk, 2015 r.

System SatBałtyk



Źródło: SatBałtyk, 2015 r.

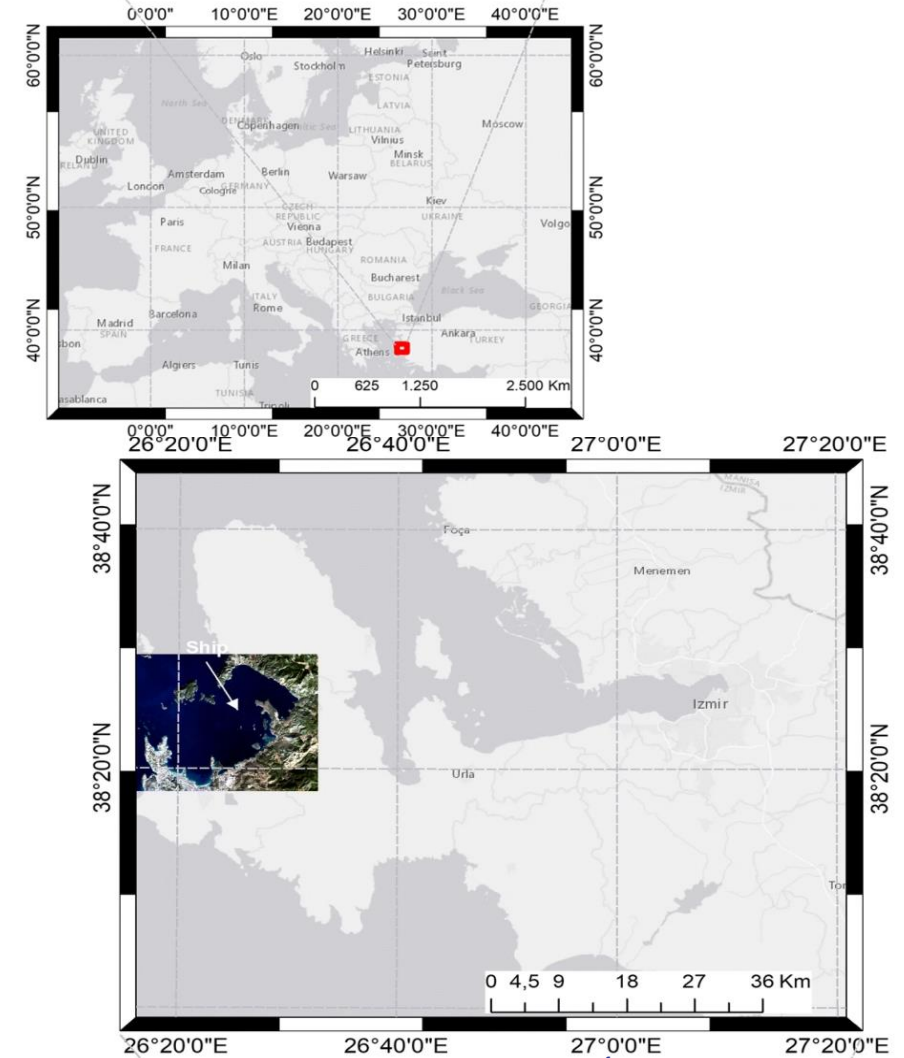
Przykładowe produkty systemu SatBałtyk: temperatura powierzchniowa, prądy, stężenie chlorofilu i pierwotna produkcja materii organicznej



Wykorzystanie danych radarowych w monitoringu plam oleju i innych zanieczyszczeń chemicznych morza

- Dane z satelitów Sentinel-1A i -1B mogą być używane do monitorowania plam oleju w oceanach i morzach w zestawieniu z danymi Landsat 8, obu sensorów optycznego i termalnego.
- Tłumienie sygnału jest podstawą do detekcji plam oleju na podstawie danych SAR; kiedy sygnał radarowy jest wysyłany w stronę morza, tłusta plama oleju osłabia fale kapilarne.

Lokalizacja miejsca katastrofy – okolica wyspy Fener, Turcja



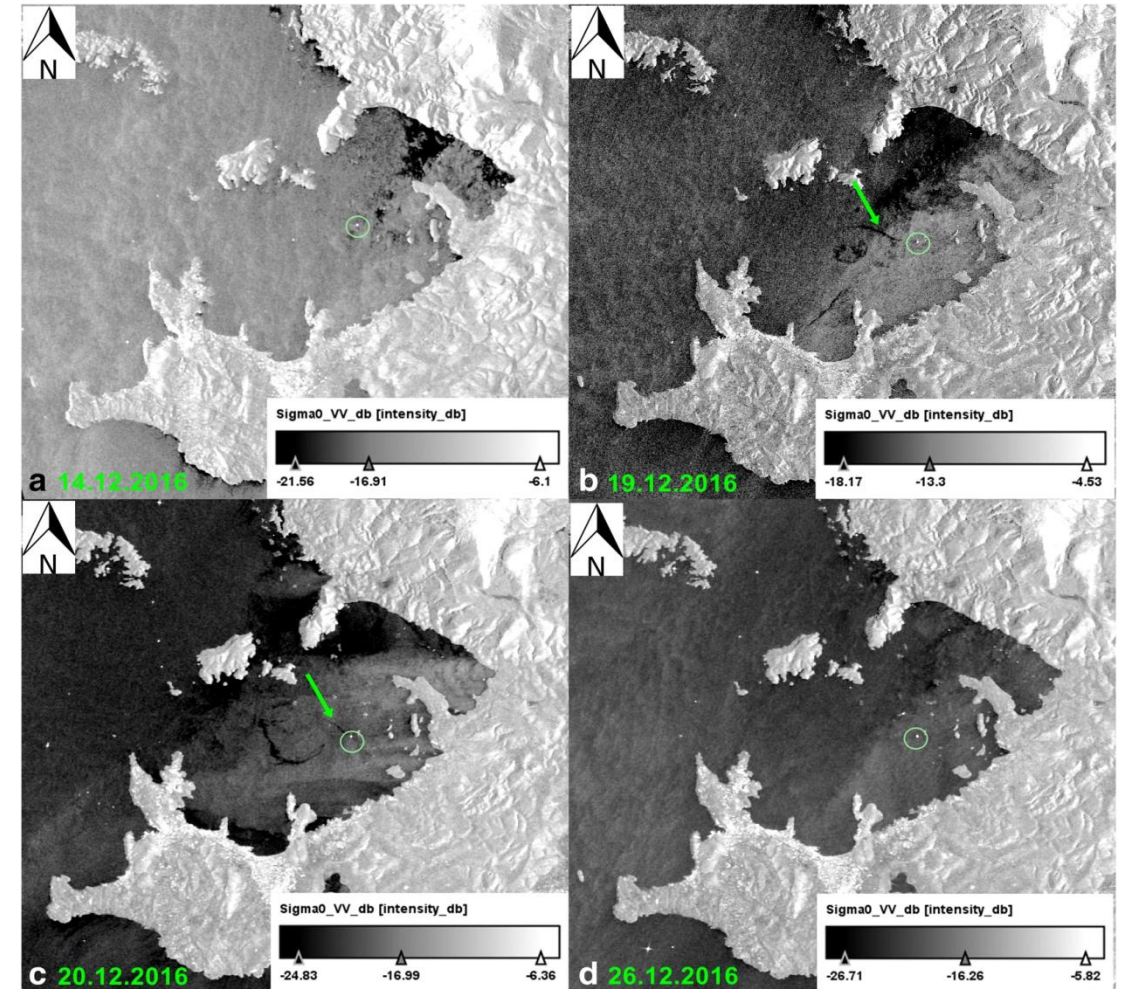
Źródło: Arslan N., 2018 r.

Plamy oleju mogą być zidentyfikowane jako czarne “łaty” na obrazie.

Dodatkowo dane z satelity optycznego np. Landsat 8 mogą być wykorzystane poprzez dodanie dodatkowych filtrów na zobrazowania.

Całościowa analiza pozwala na detekcję skażenia plamami oleju.

Plama oleju w kolejnych 12 dniach od awarii

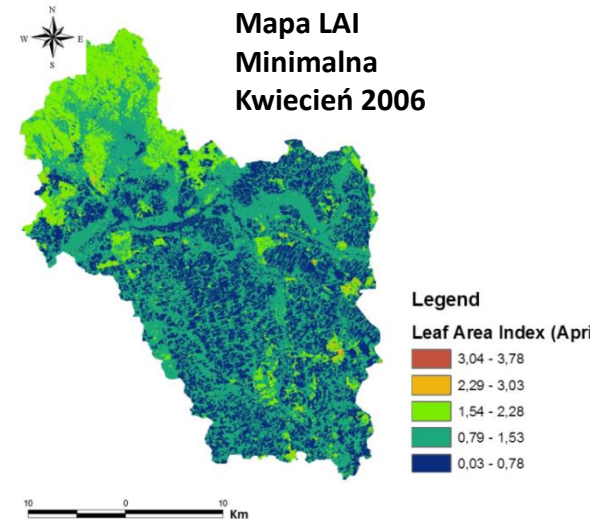


Źródło: Arslan N., 2018 r.

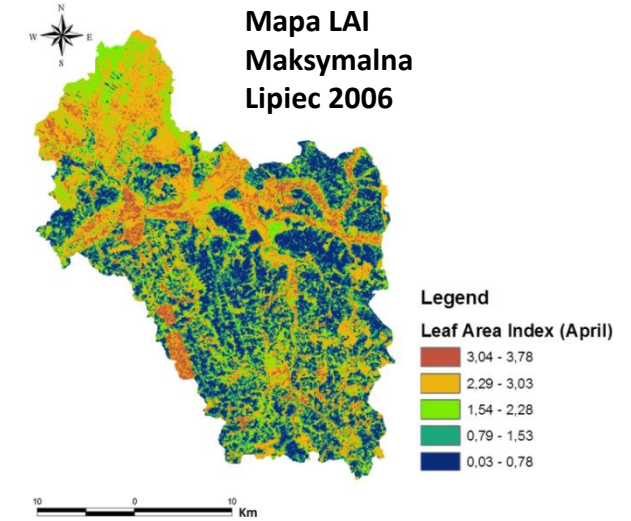
Intercepcja – okresowe zatrzymanie opadów na powierzchni terenu.



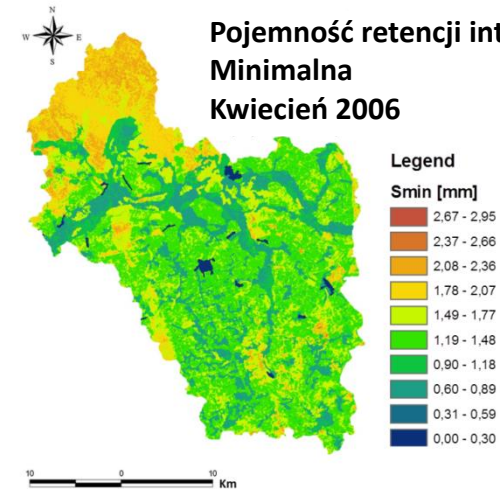
Mapa LAI Minimalna Kwiecień 2006



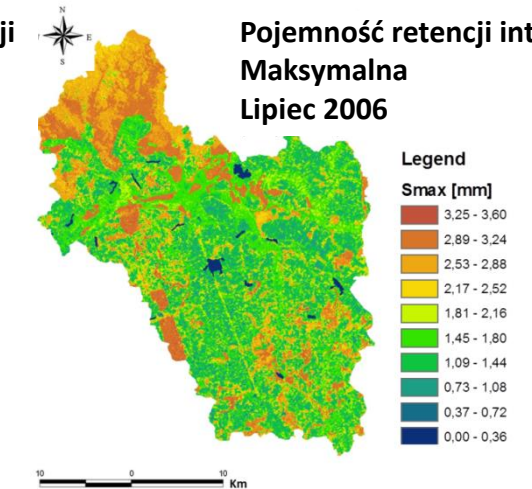
Mapa LAI Maksymalna Lipiec 2006



Pojemność retencji intercepcji Minimalna Kwiecień 2006



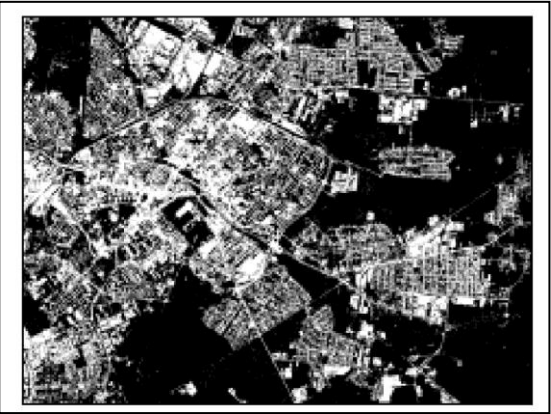
Pojemność retencji intercepcji Maksymalna Lipiec 2006



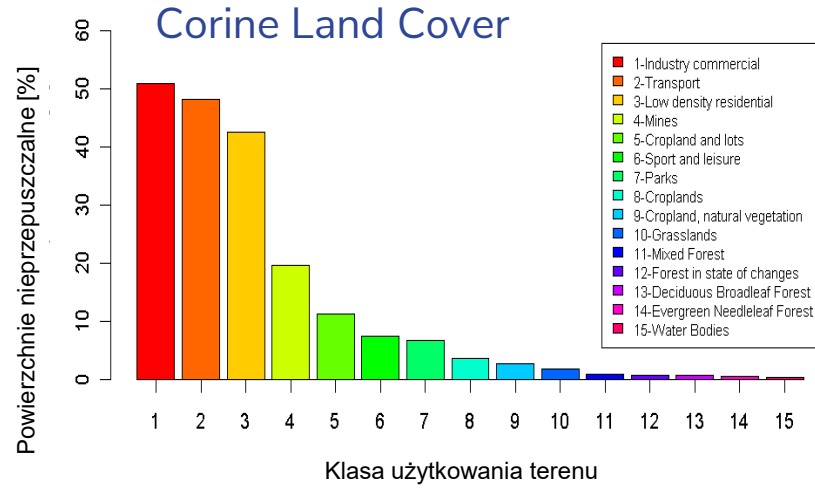
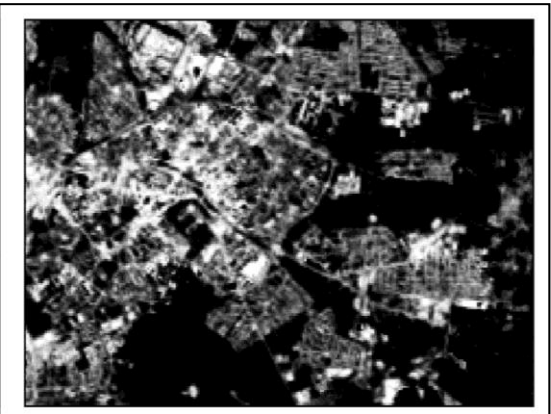
Źródło: Chormański in., 2012 r.

Wspomaganie modelowania zagrożenia podtopieniami w obszarach zurbanizowanych

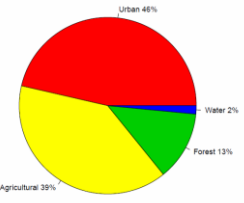
Klasyfikacja VHR



Klasyfikacja super-pixel MR

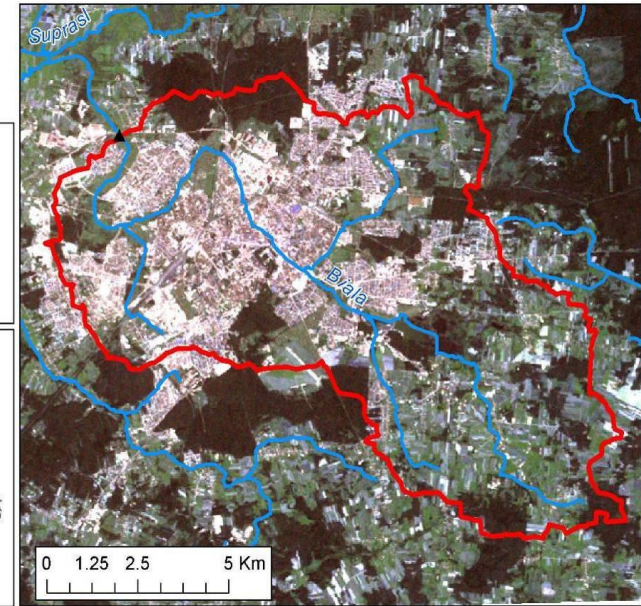
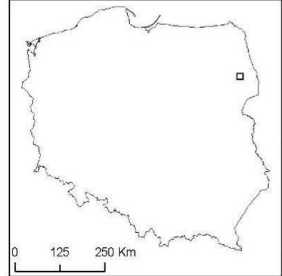
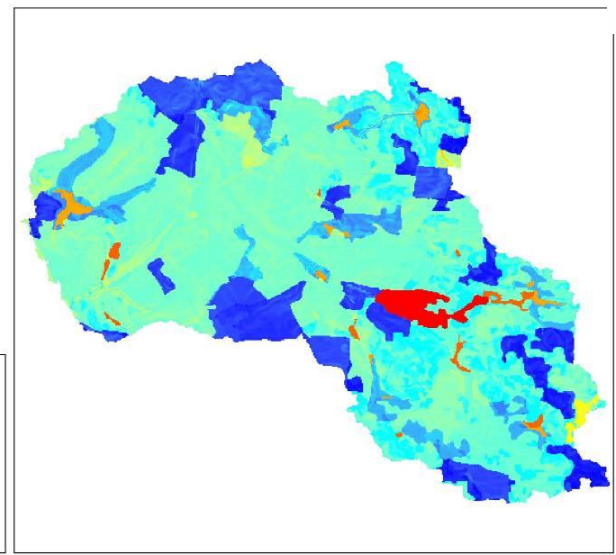
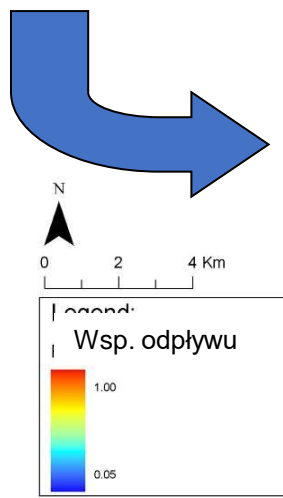


Ok
50%powierzchni
zlewni
zurbanizowana



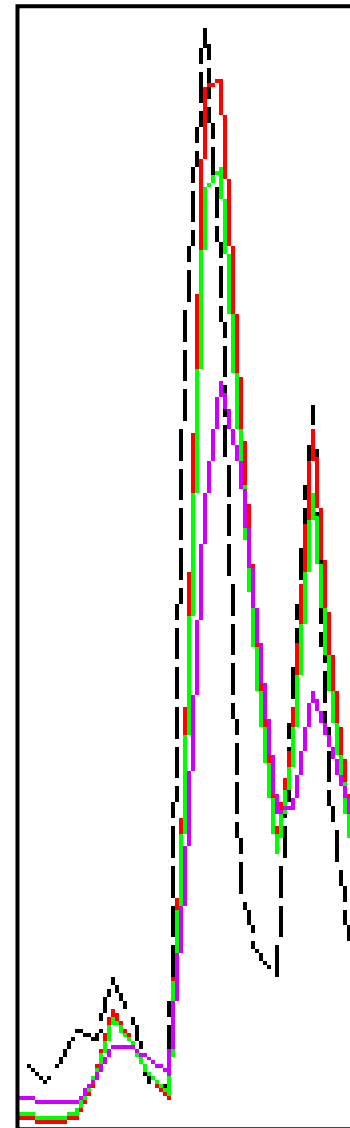
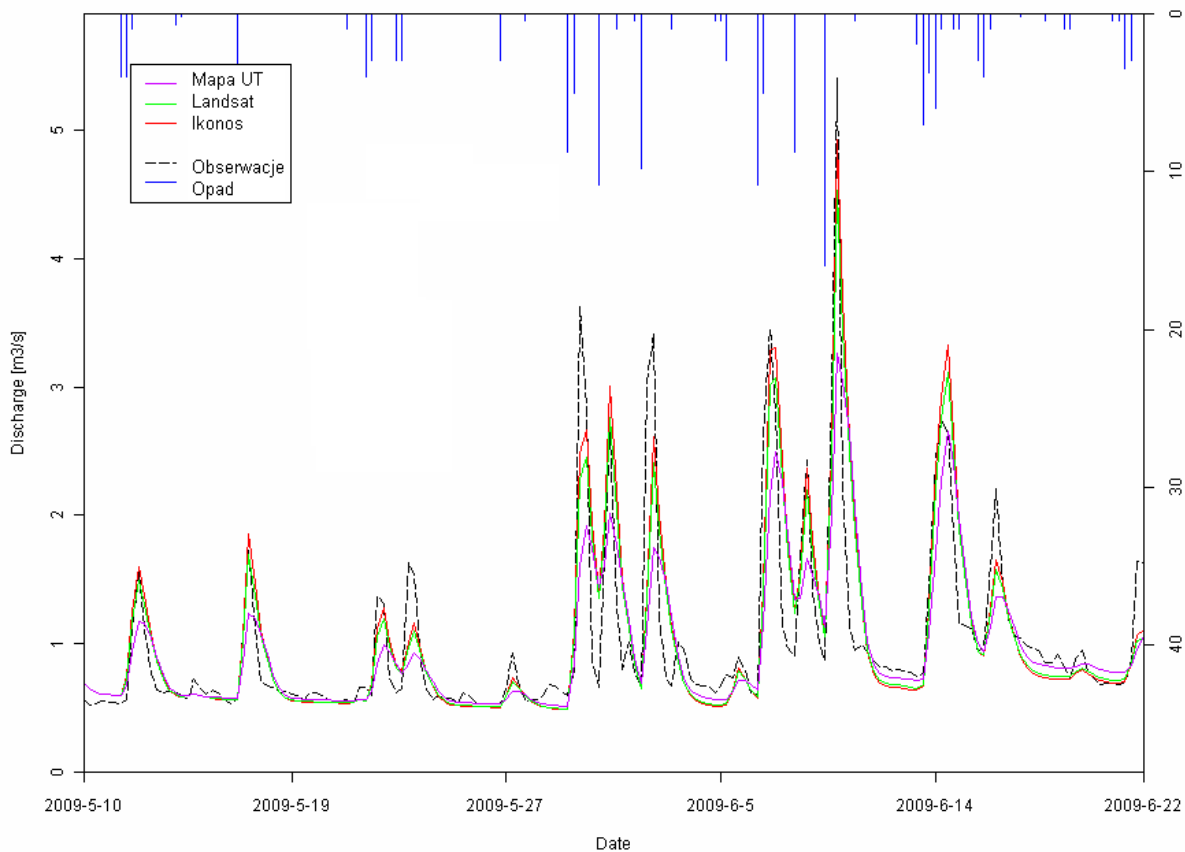
Trzy scenariusze modelowania różnego z uwagi na ujęcie we współczynniku odpływu % udziału pow. nieprzepuszczalnych:

1. uśredniony do klasy CLC (Mapa UT)
2. obliczony dla komórki z VHR 1m (Ikonos)
3. obliczony dla komórki MR 30 m (Landsat) jako relacja z VHR



Źródło: Berezowski i in., 2012 r; Chormański, 2012 r.

Wspomaganie modelowania zagrożenia podtopieniami w obszarach zurbanizowanych

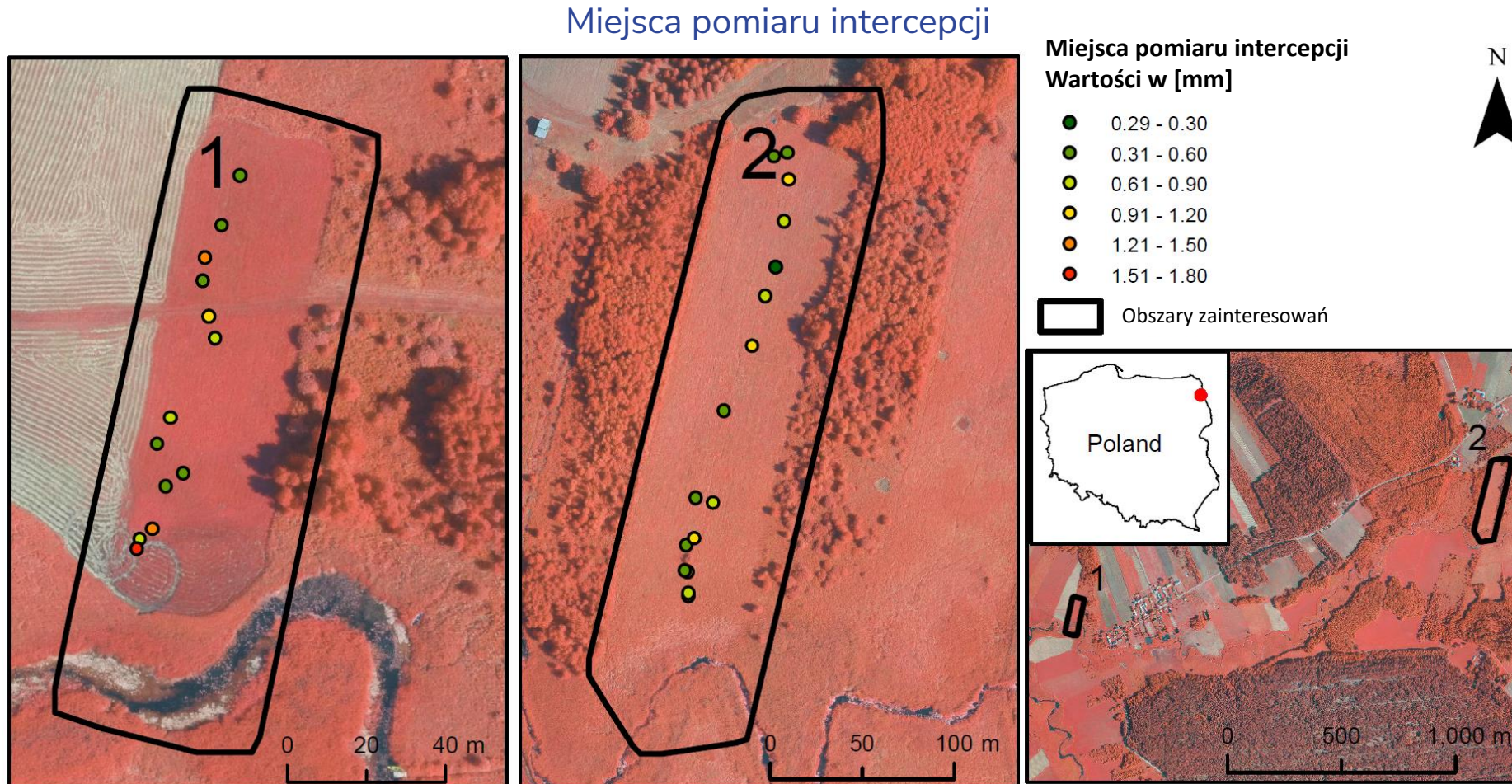


- Trzy kryteria-scenariusze modelowania hydrologicznego
- Zastosowanie metod teledetekcyjnych w parametryzowaniu procesów hydrologicznych:
 - umożliwia precyzyjne określenie parametrów modelowania i ich przestrzenne rozłożenie,
 - poprawia wyniki modelowania odpływu w obszarach zurbanizowanych.

	Mapa UT	Landsat	IKONOS
NS [-]	0.57	0.74	0.72
r ² [-]	0.57	0.74	0.75
MAE [m ³ /s]	0.26	0.21	0.22
SE [m ³ /s]	-0.05	0.00	0.03

Źródło: Berezowski i in., 2012 r; Chormański, 2012 r.

Model intercepcji można zbudować także w oparciu o dane laserowe pochodzące z chmury punktów.

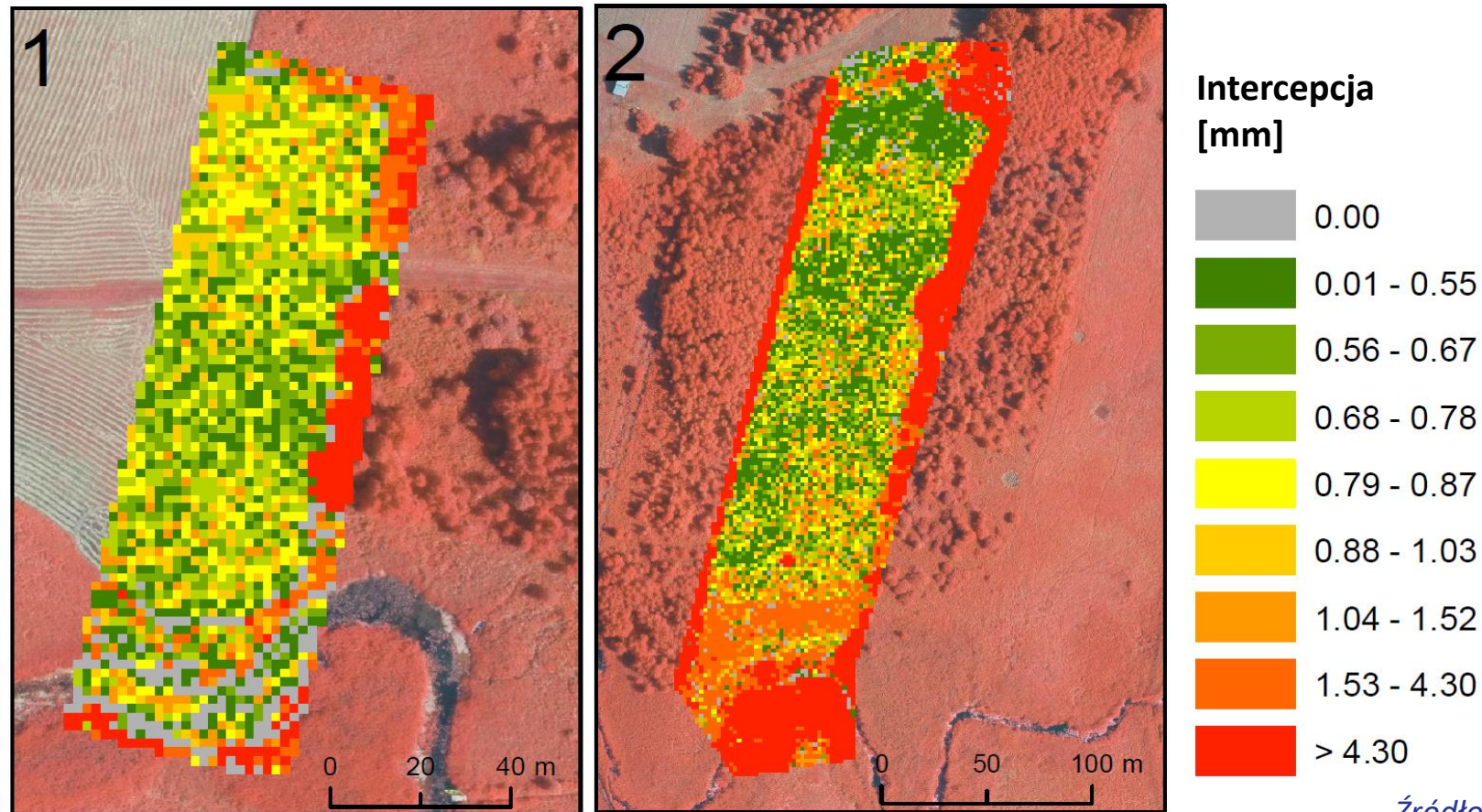


Źródło: Berezowski i in., 2015 r.

Określenie retencji intercepcji z chmury punktów LiDAR – model empiryczny

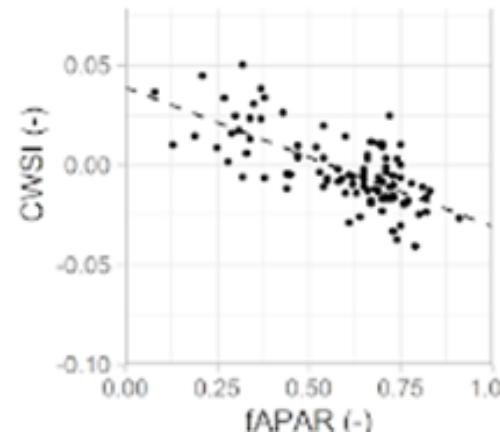
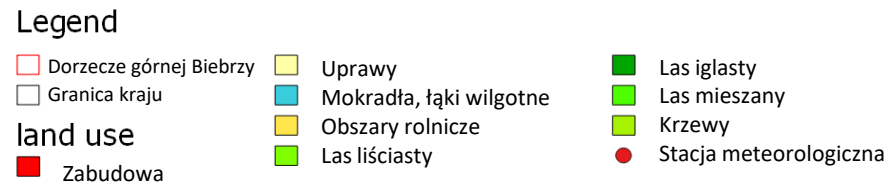
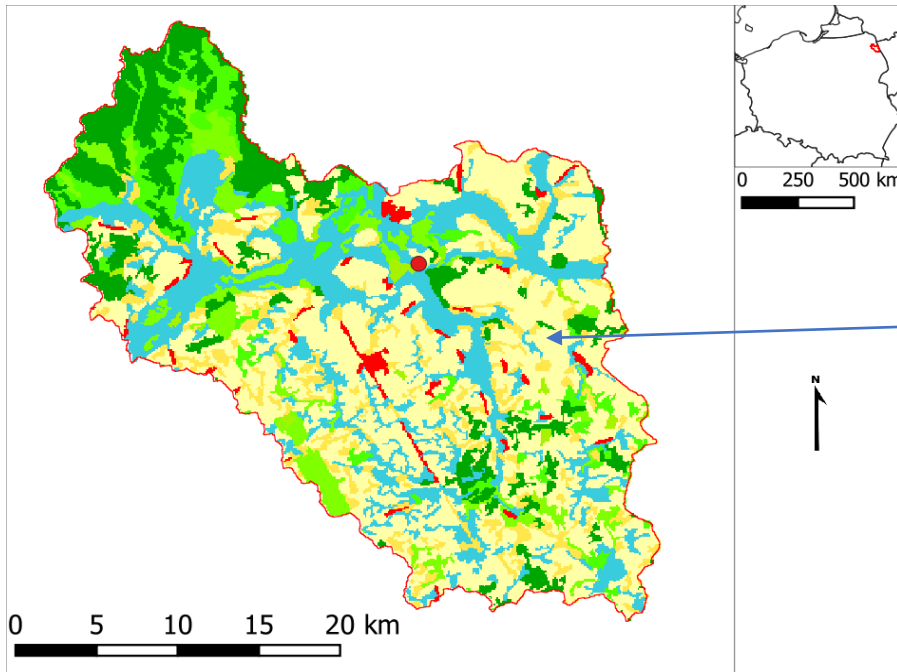
Model jest bardzo wrażliwy na zmienność roślinności naturalnej. Najwyższe wartości intercepcji uzyskaliśmy dla obszaru porośniętego przez trzcinę i w miejscach występowania zakrzaczeń i drzew.

Mapa wilgotności terenu

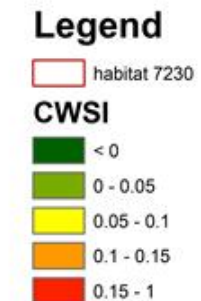
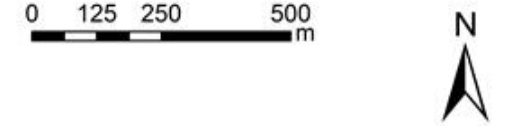
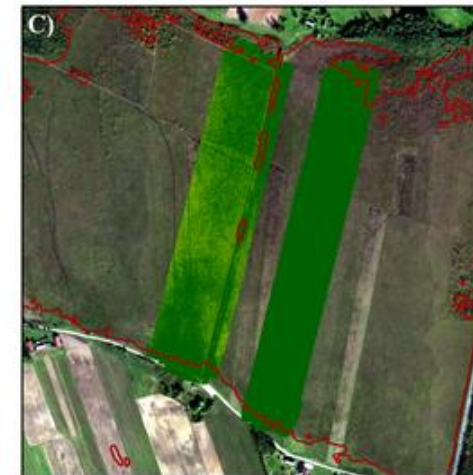
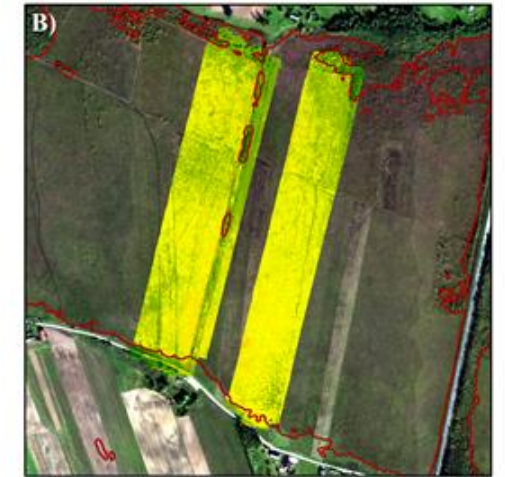
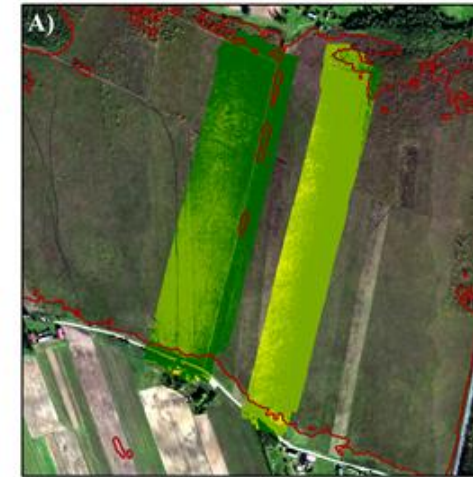


Źródło: Berezowski i in., 2015 r.

CWSI – wskaźnik stresu wodnego jako indyktor niedoboru wodnego gleb organicznych

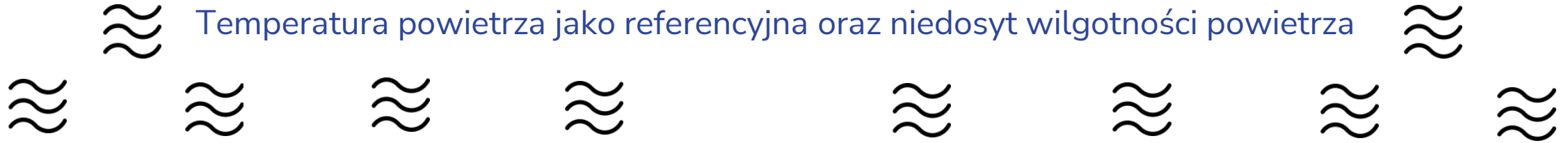


Mapa stresu wodnego roślin opracowana na podstawie zobrażeń Landsat



Źródło: Ciężkowski i in., 2020 r.

Temperatura powietrza jako referencyjna oraz niedosyt wilgotności powietrza



Warunki optymalne

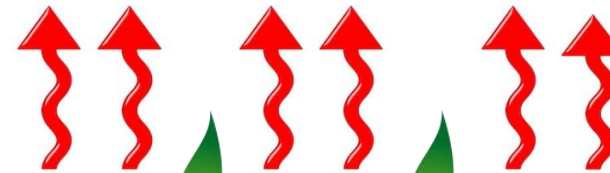


transpiracja normalna,
niska temperatura
rośliny

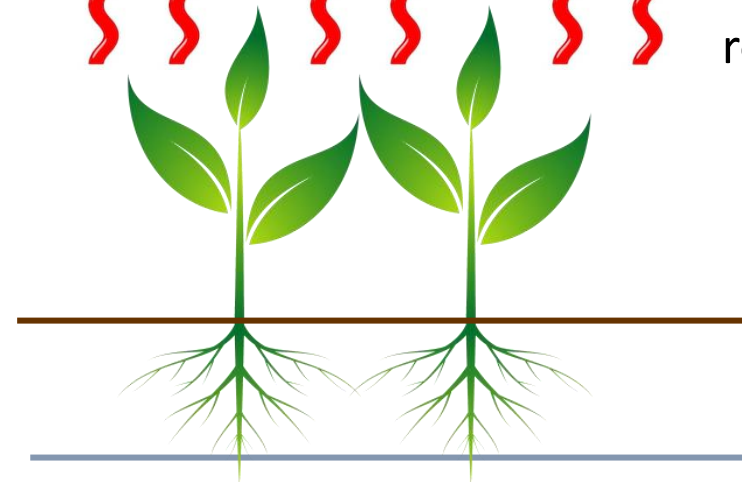


Poziom wody
gruntowej

Warunki suszy

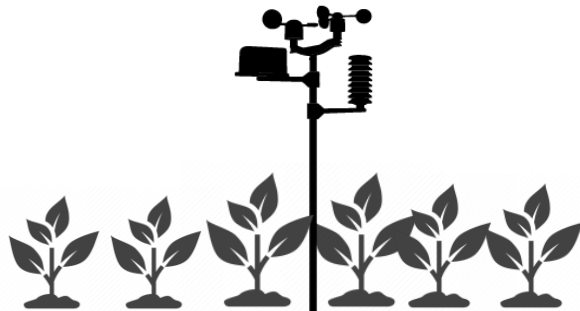
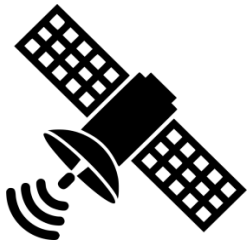


brak transpiracji,
wysoka temperatura
rośliny



Poziom wody
gruntowej

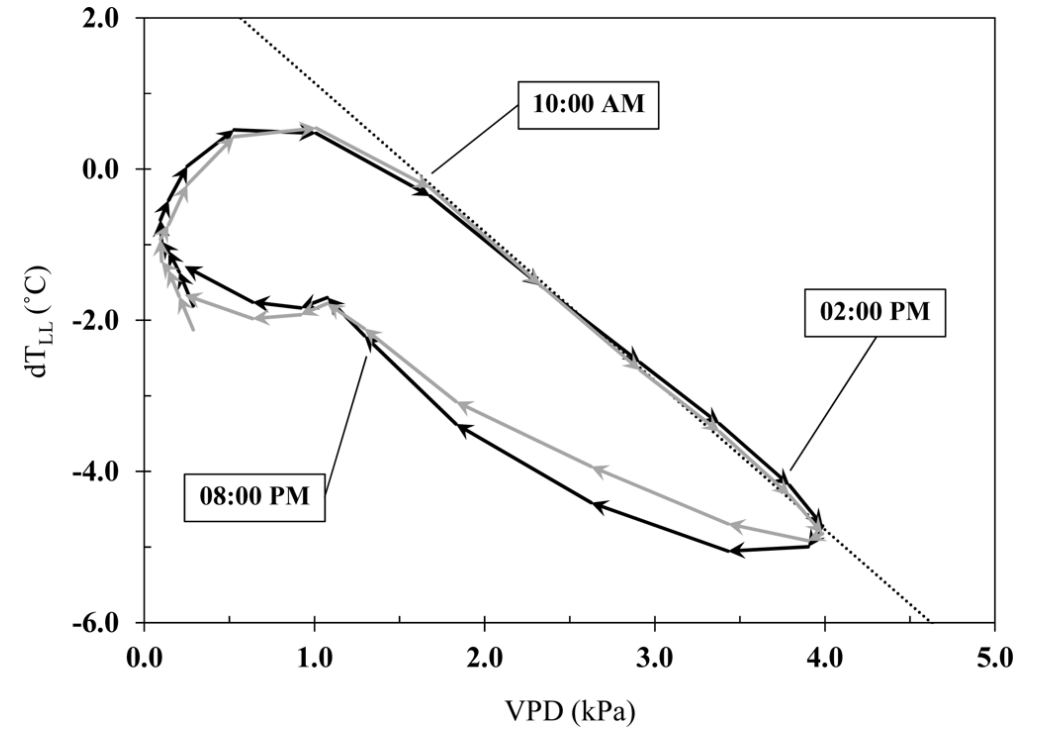
Formułowanie równania metody CWSI



$$CWSI = \frac{dT_m - dT_{LL}}{dT_{UL} - dT_{LL}}$$

Gdzie:

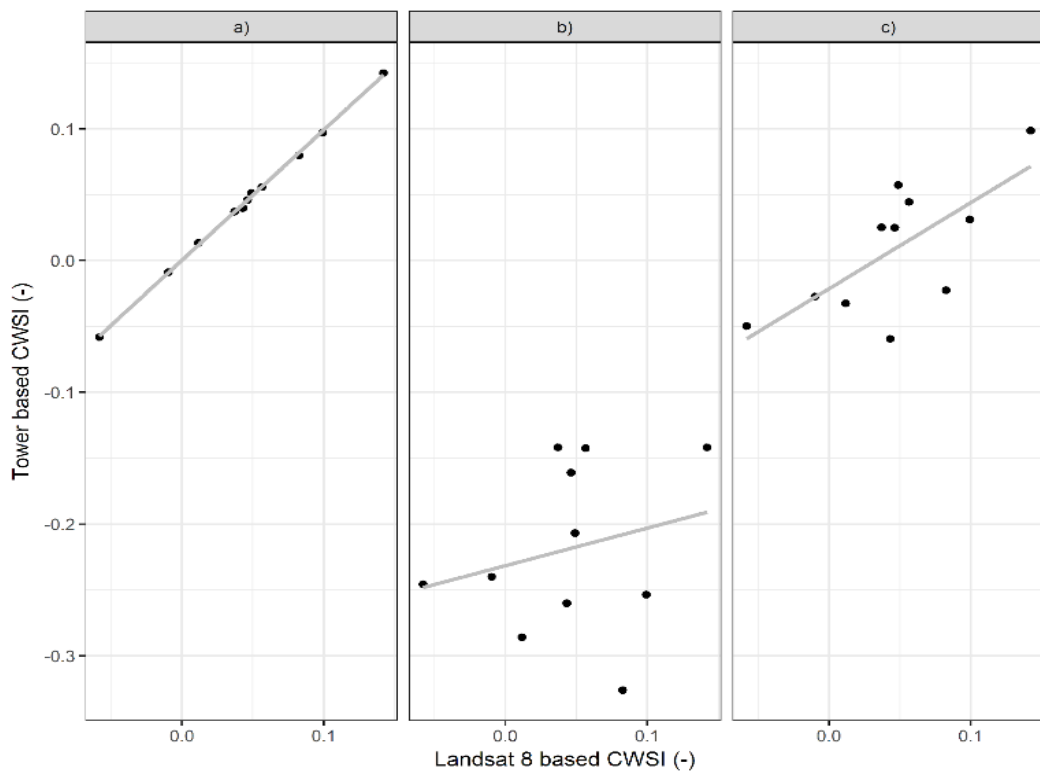
dT różnica temperatur pomiędzy rośliną (T_c) i powietrzem (T_a),
 m – różnica zmierzona w różnych godzinach dnia i w różnych dniach,
 LL – warunek brzegowy, różnica w warunkach stresu,
 UL – warunek brzegowy, różnica w warunkach braku stresu.



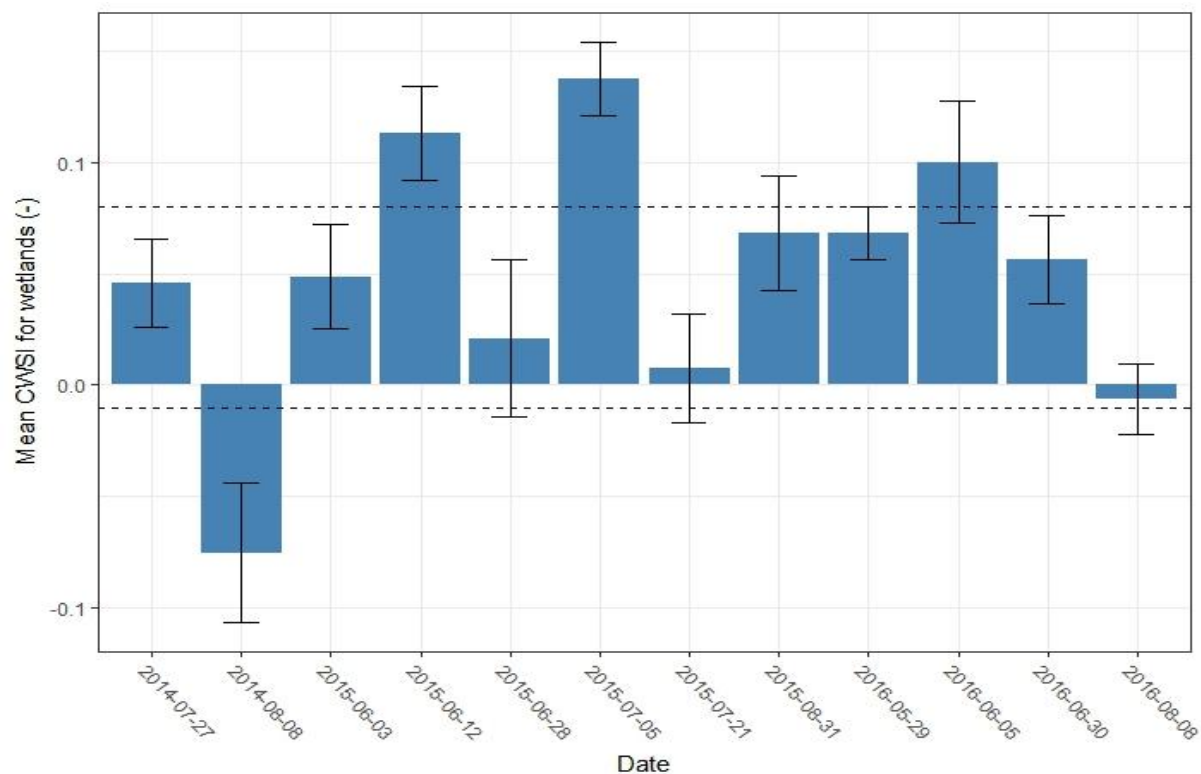
Źródło: Idso i in., 1981 r.

CWSI – wskaźnik stresu wodnego jako indyktor niedoboru wodnego gleb organicznych

Weryfikacja metody CWSI w okresie 2014 – 2016
(oś pionowa – CWSI obliczone z danych ze stacji meteo
Oś pionowa - CWSI obliczone z danych satelitarnych
a) chwilowe, b) śr. dobowe c) w południe

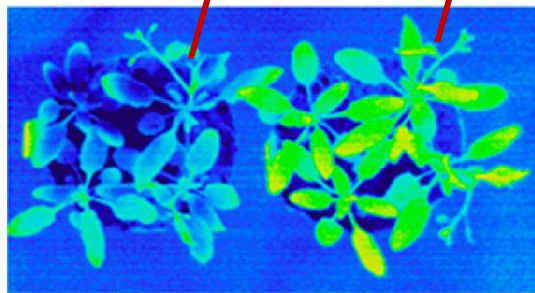
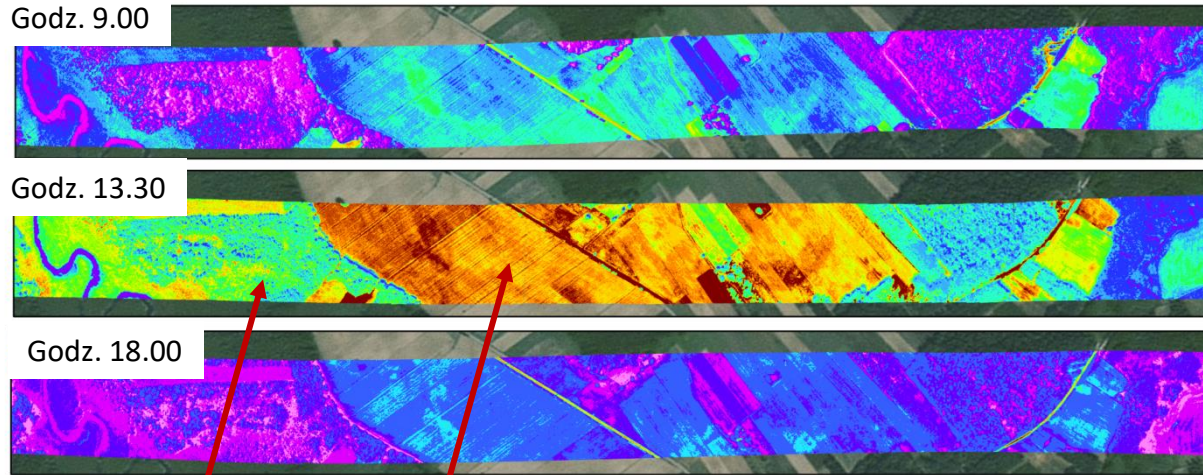


Zmienność wskaźnika CWSI satelitarnego w dolinie Biebrzy w okresie 2014 – 2016
(pionowe linie określają odchylenia standardowe; słupki – wartość średnią i wartość graniczną stresu)

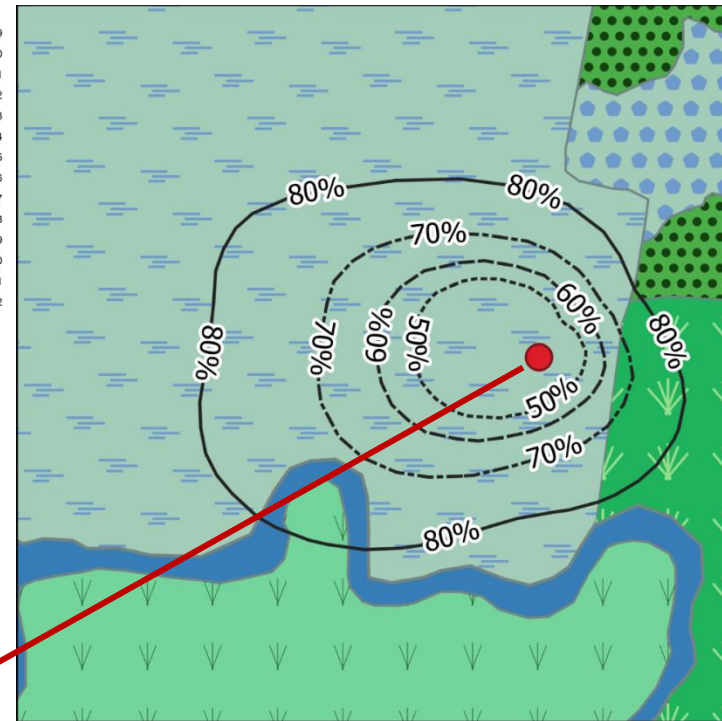


Źródło: Ciężkowski i in., 2019 r., 2020 r.

Zobrazowania termalne pokazujące stan zdrowotny roślinności i zdolności transpiracji w Biebrzańskim Parku Narodowym

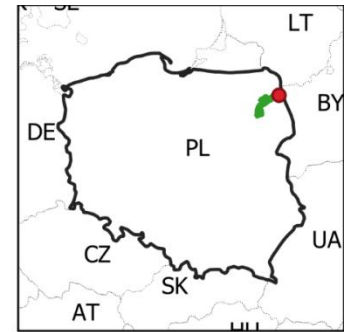


Raport projektu HIWET, 2016 r.

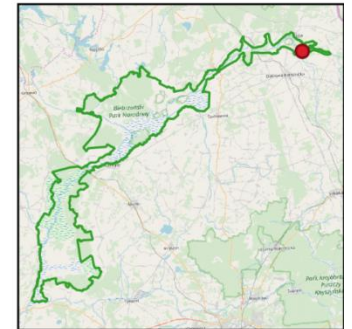


Legenda

- stacja Zosia
- 70%
- 80%
- 50%
- 60%
- obszar źródłowy czujników**
- pokrycie terenu**
- kępy turzycy
- łąka turzycowa
- niskie zadrzewienia
- zarośla wiązówki błotnej
- zarośla trzciny
- rzeka
- granice BPN
- granice państw
- Polska

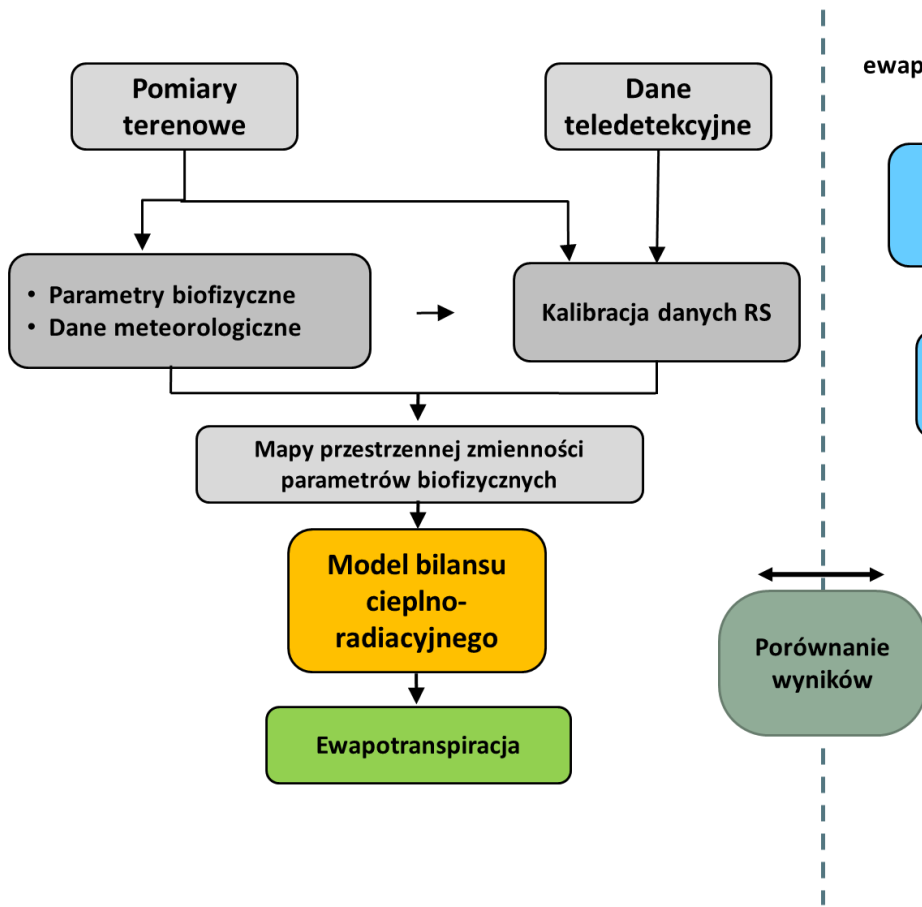


0 150 300 450 600 km

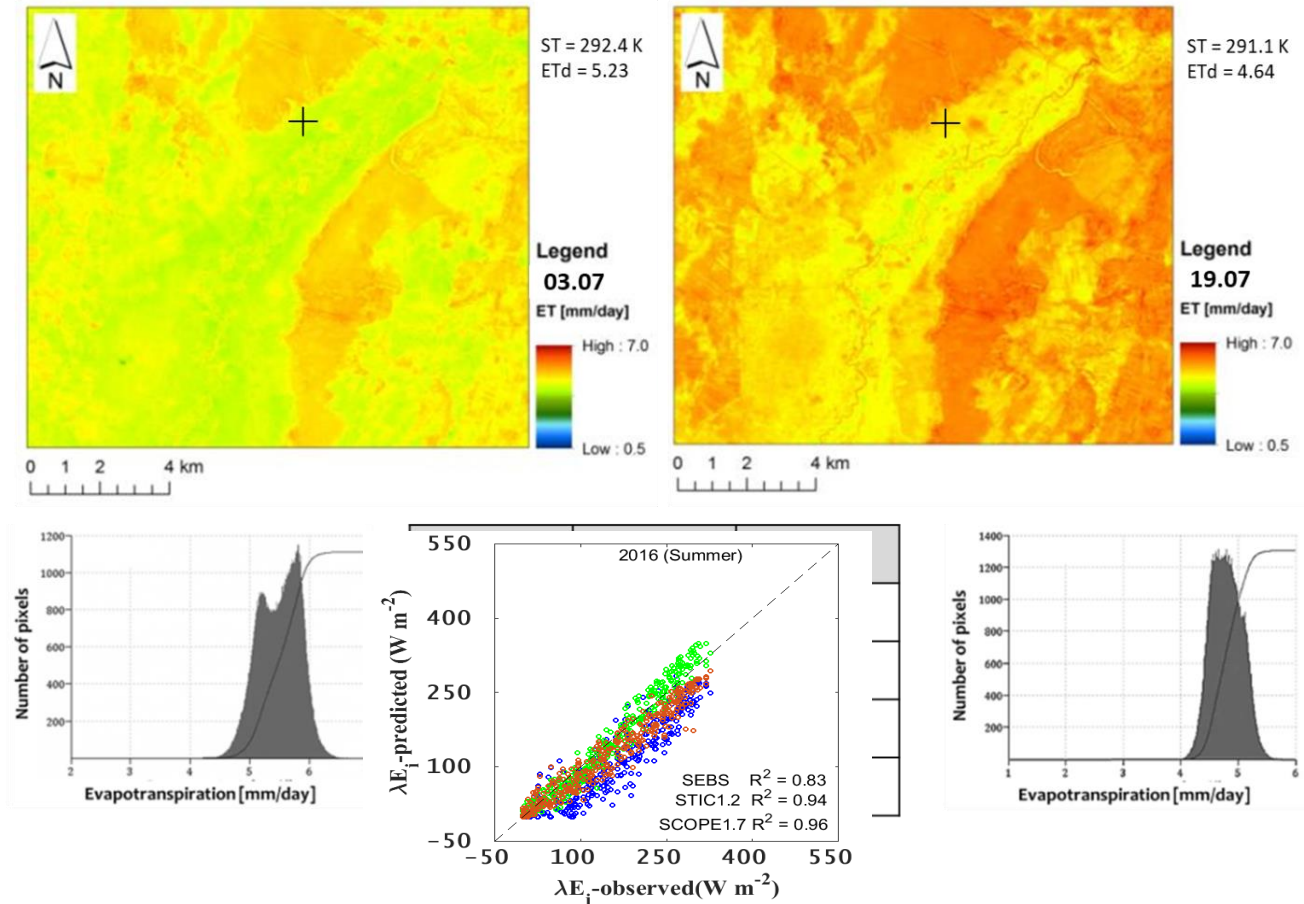


Źródło: Ciężkowski, 2019 r.

Dane satelitarne w monitoringu skutków suszy (ewapotranspiracja)



$$LE = R_n - H - G$$

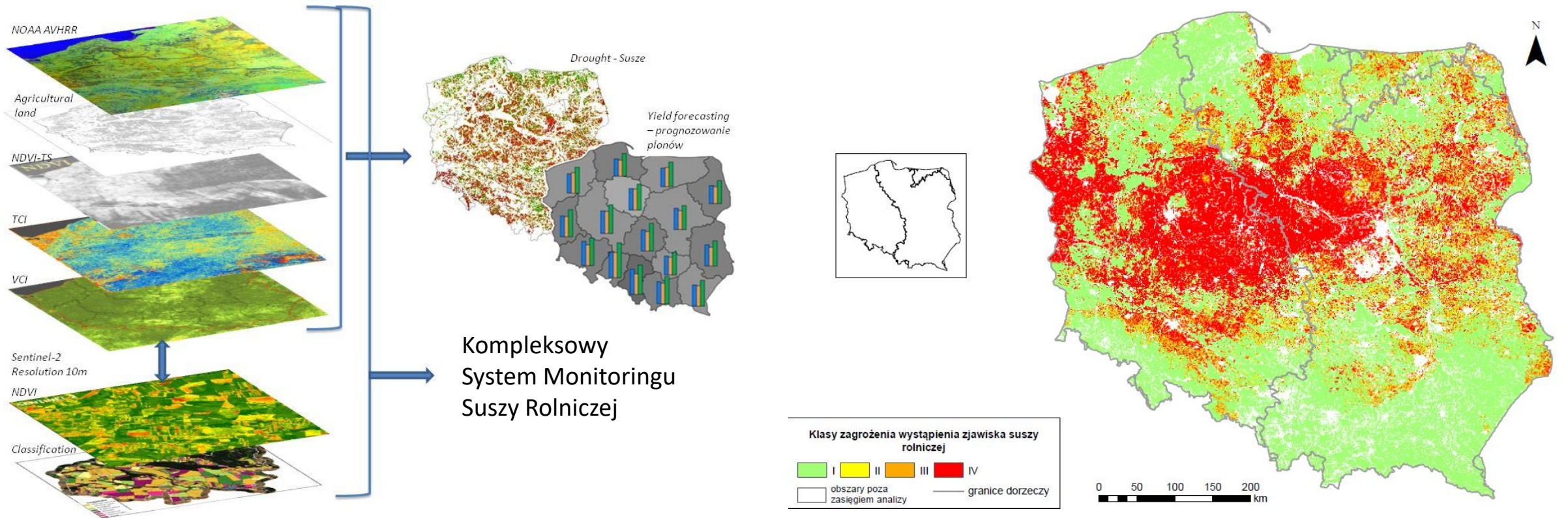


Źródło: Szporak-Wasilewska, 2012 r.

Źródło: Mallick i in, 2018 r.

Dane satelitarne w monitoringu suszy -

- Kompleksowy System Monitoringu Suszy Rolniczej



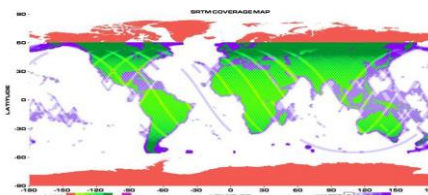
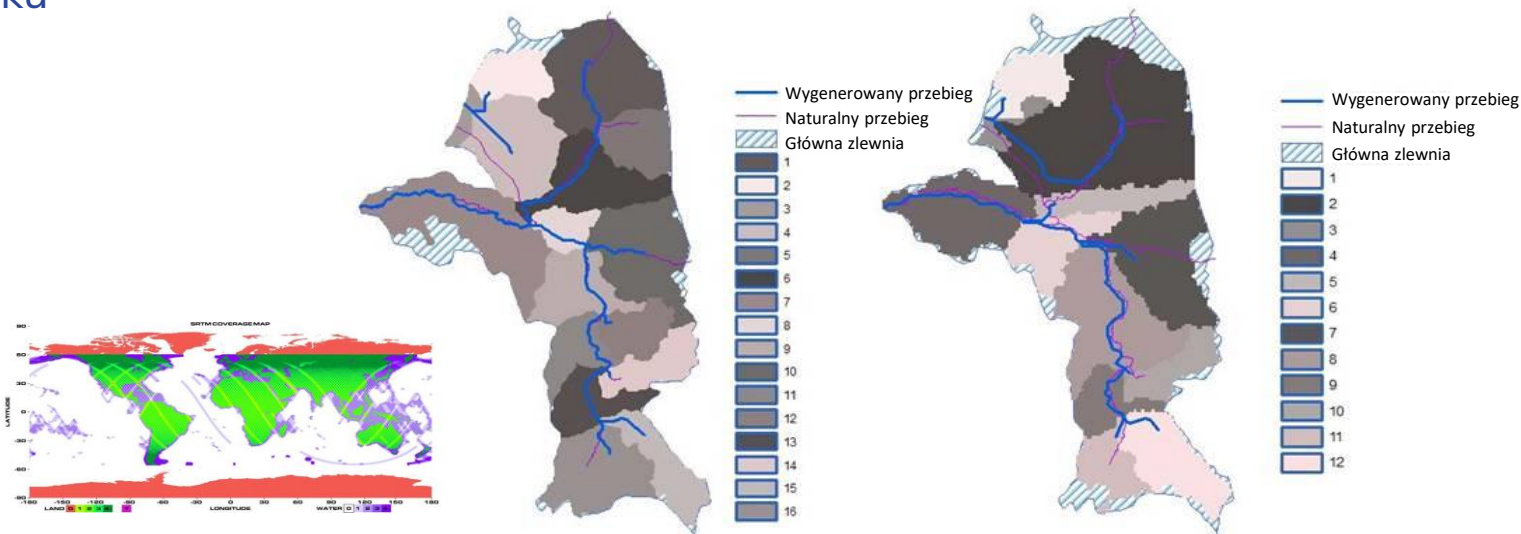
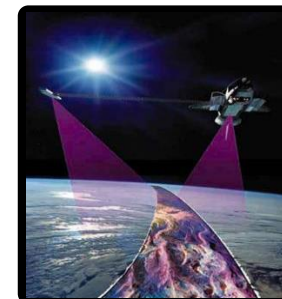
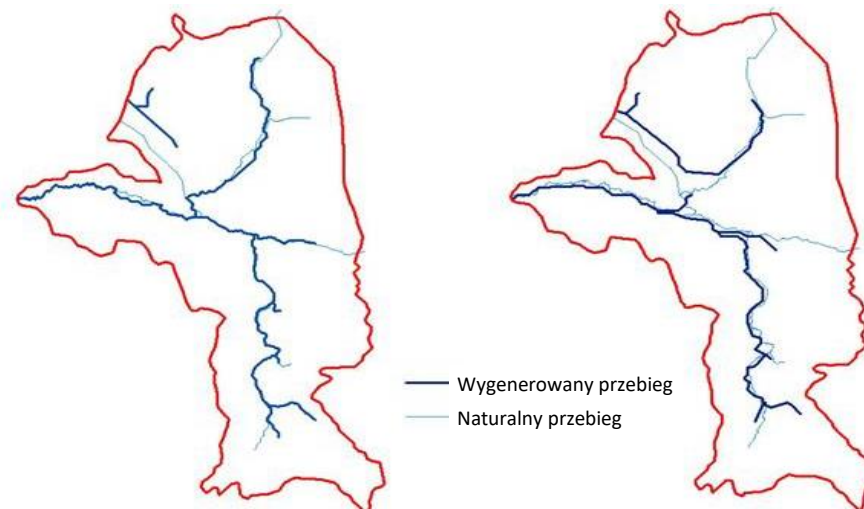
Źródło: IGIK, 2020 r.

Numeryczny model terenu i jego zastosowania

Dane radarowe SRTM – aplikacje hydrologiczne

Wygenerowanie hydrologicznie poprawnego NMT i wyznaczenie sieci cieków i granic zlewni, np. w oprogramowaniu ArcMap lub QGIS.

- Redukcja „SINK”.
- Wyznaczanie mapy kierunków odpływu.
- Wyznaczanie mapy akumulacji odpływu na podstawie mapy kierunków odpływu.
- Wygenerowanie cieków według map kierunku i wielkości odpływu.
- Porównanie z istniejącą siecią rzeczną.
- Określenie granic zlewni elementarnych.
- Porównanie modelu SRTM i topograficznego.



Źródło: Wasilewski, Chormański, 2009 r.

Numeryczny model terenu i jego zastosowania

Stereometria danych ASTER

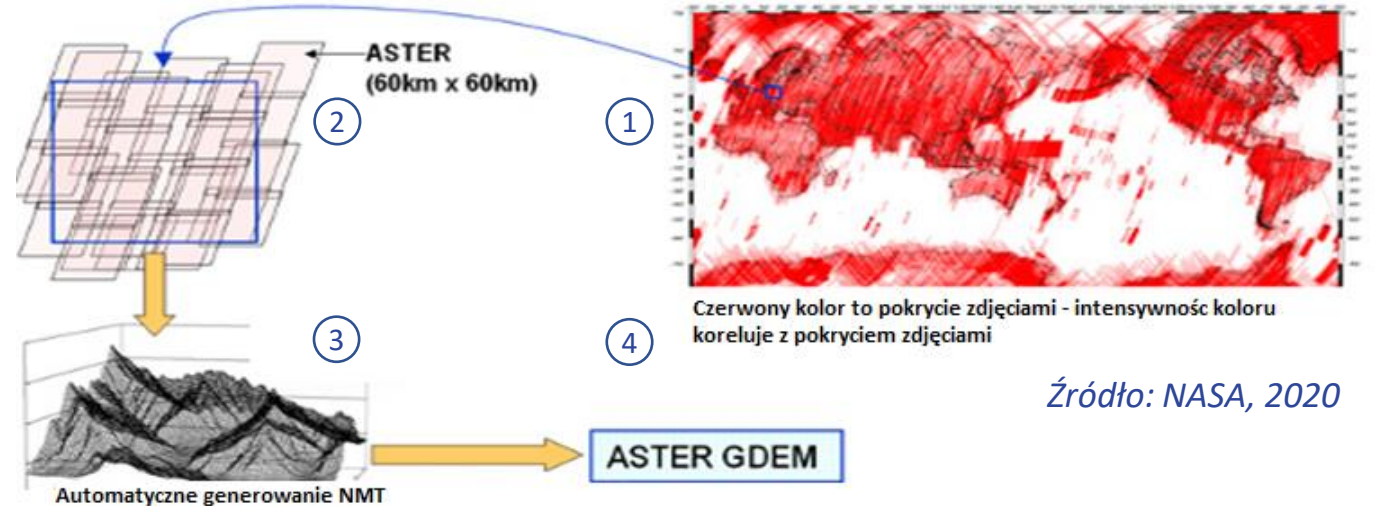
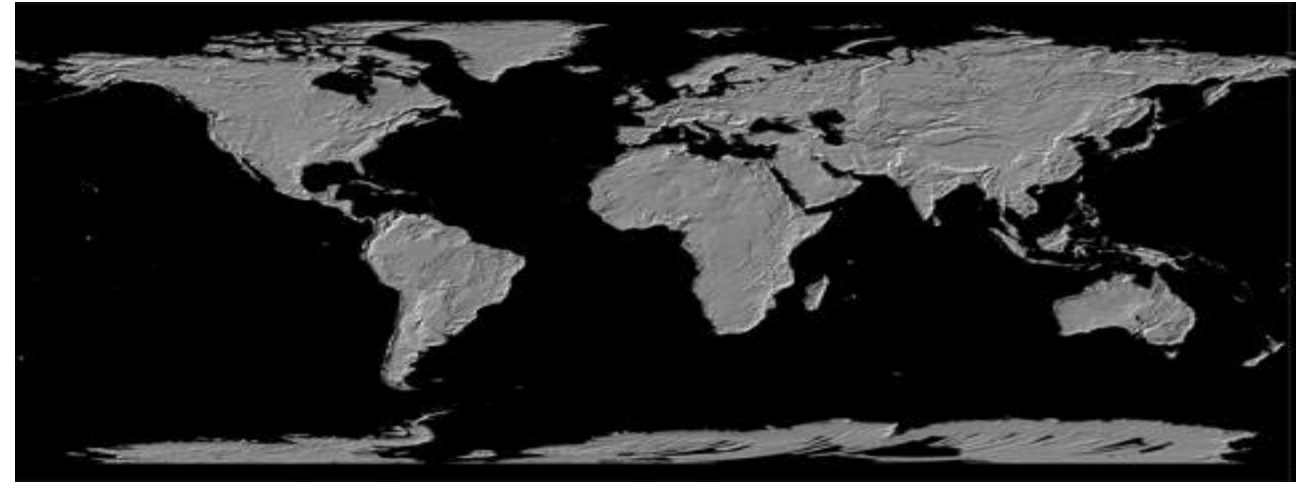
- ASTER GDEM – Globalny NMT dla całego obszaru pokrytego przez zdjęcia z satelity ASTER.
- Obejmuje powierzchnie lądowe między 83°N a 83°S i składa się z 22 702 scen.
- Jest dystrybuowany jako pliki w formacie GeoTIFF.

<http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/>

<https://wist.echo.nasa.gov/~wist/api/imswelcome/>

<http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/>

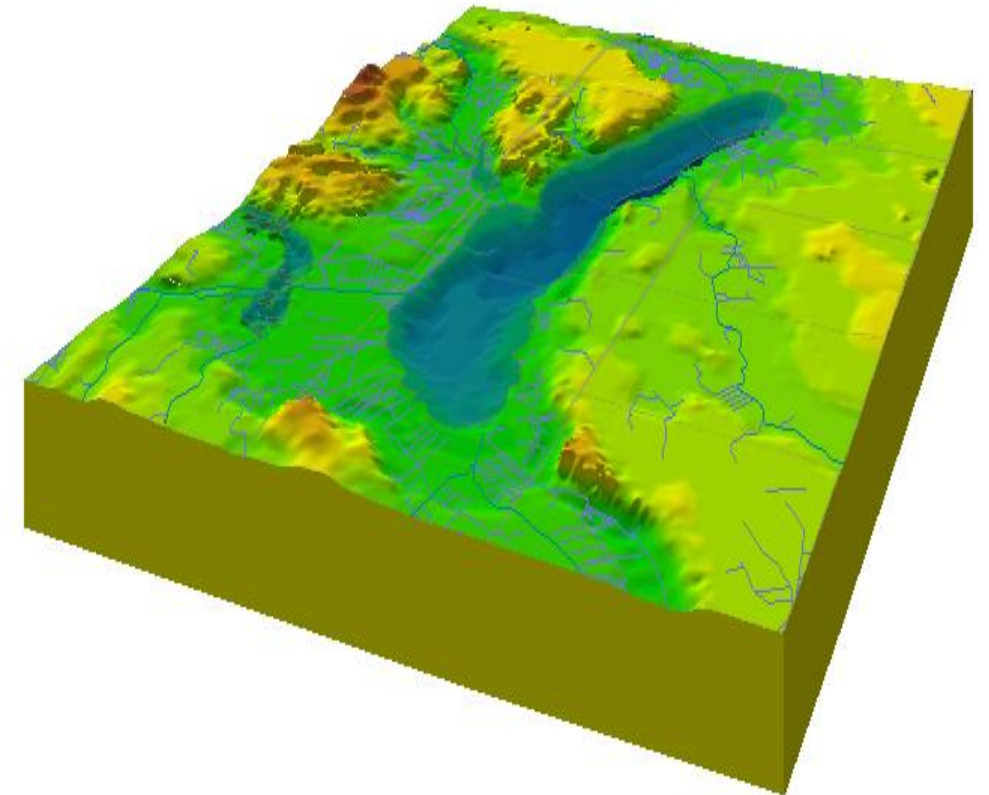
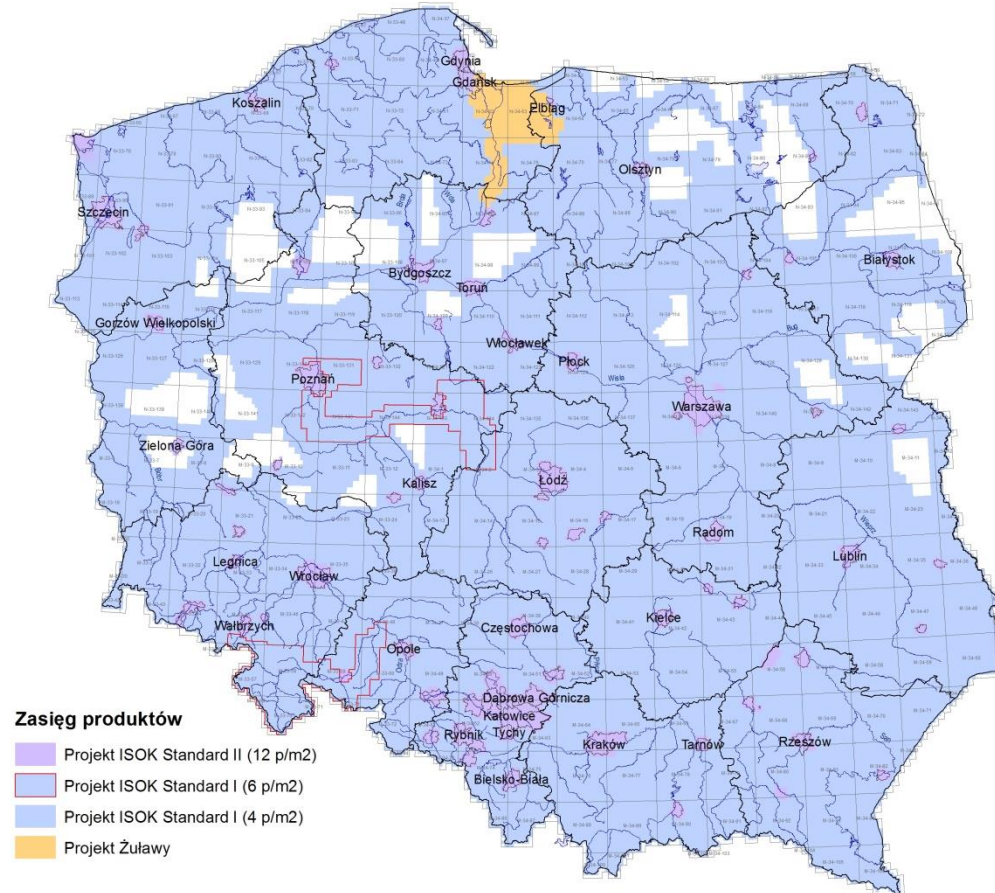
- ① Kolor czerwony – pokrycie zdjęciami ASTER (60km x 60 km scena) – im bardziej intensywny tym w gęstsze pokrycie – stereoskopowym.
- ② Dla wybranego obszaru przygotowane są zdjęcia.
- ③ Generowany automatycznie NMT obszarach lądu.
- ④ Udostępniany dla użytkownika online.



Źródło: NASA, 2020

Źródło: NASA, 2020 r.

Mapa zasięgu materiałów z projektu ISOK dostępnych w PZGIK

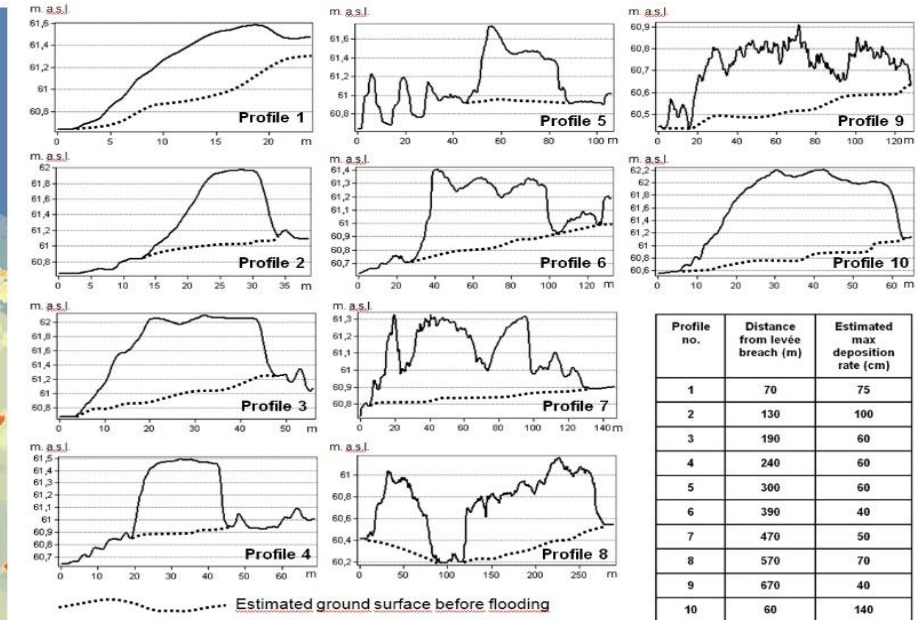
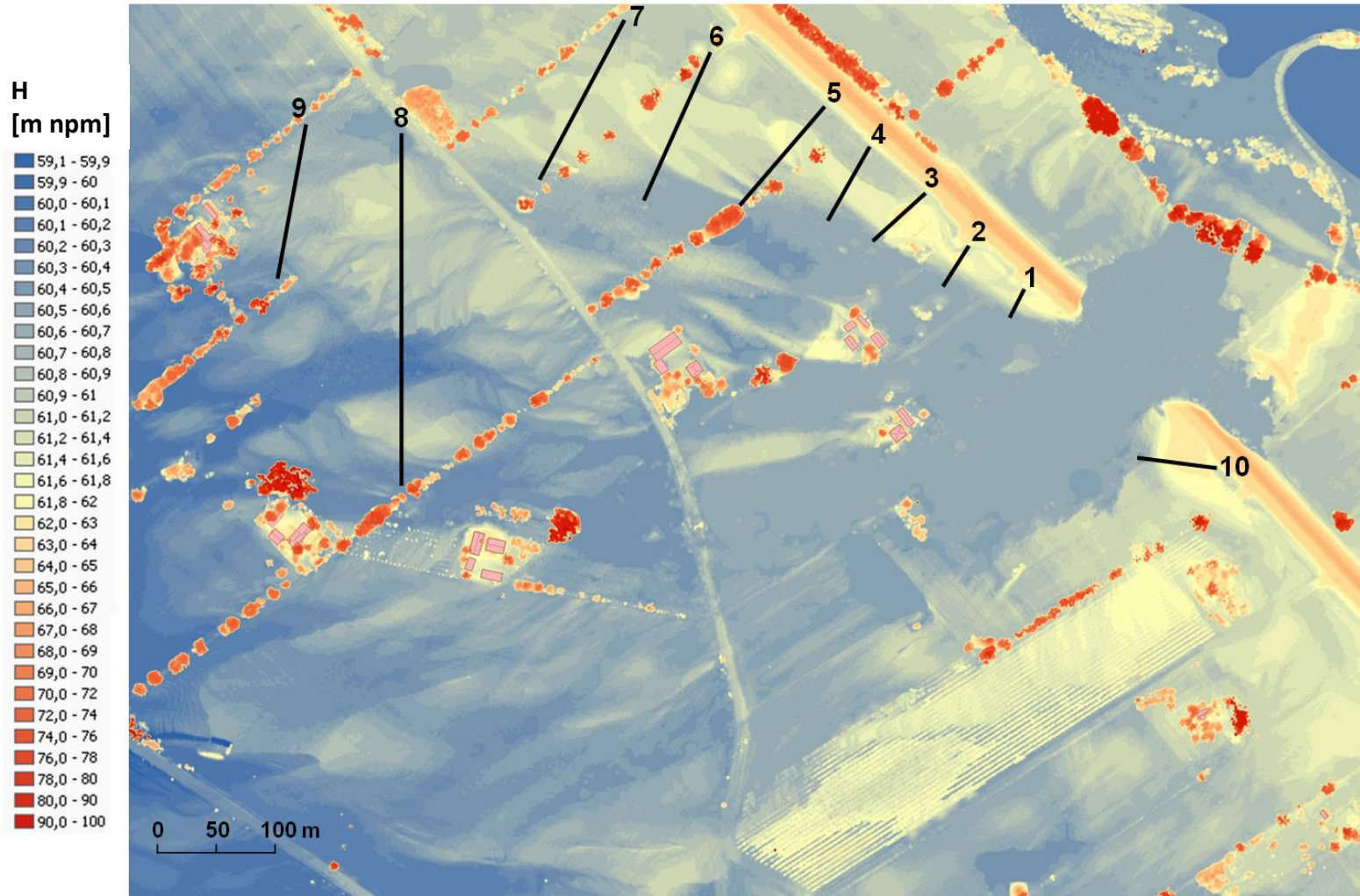


http://mapy.geoportal.gov.pl/wss/service/pub/guest/Stan_ALS/MapServer/WMS/Server

https://mapy.geoportal.gov.pl/imap/lmgrp_2.html?locale=pl&gui=new&sessionID=782301#isok%20link

Numeryczny model terenu i jego zastosowania

Dane LiDAR ISOK – morfometria zmian rzeźby doliny po przerwaniu wału

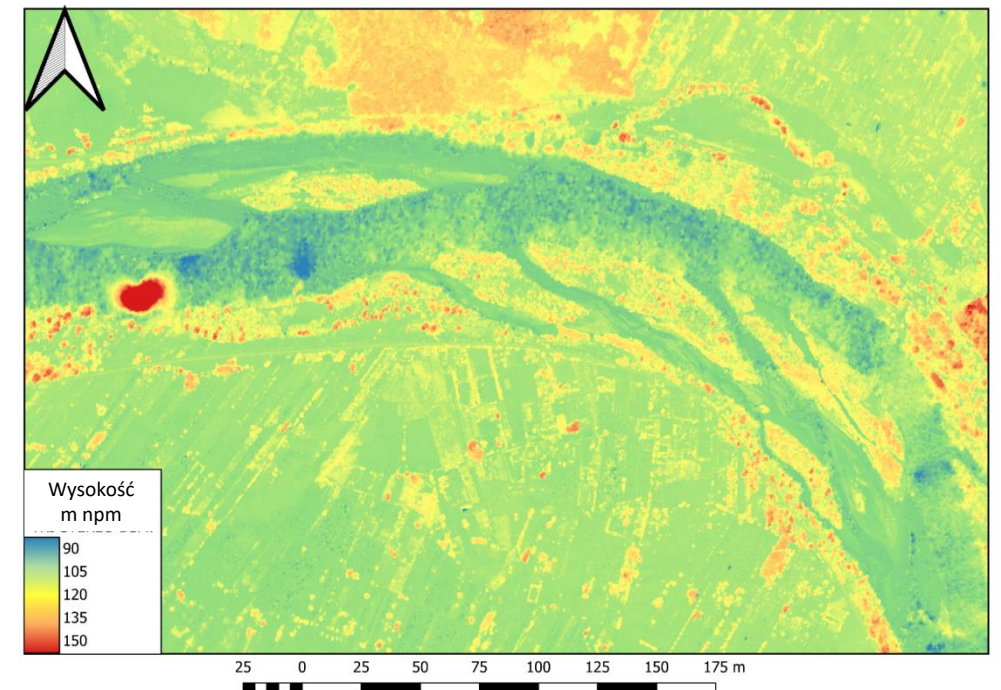
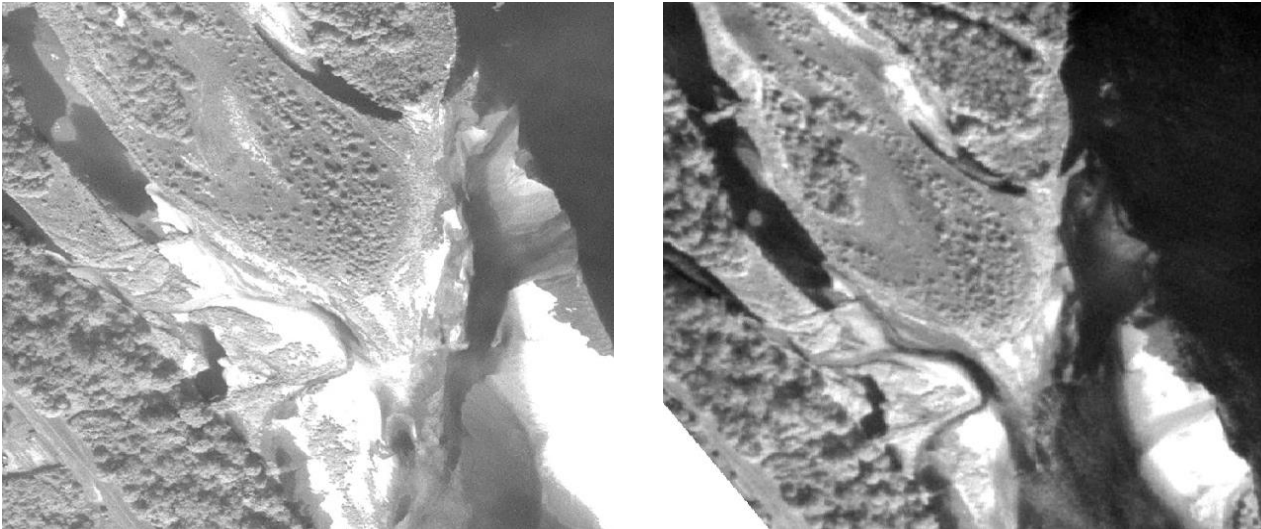


Źródło: Wierzbicki i in., 2013 r.

- Wysokorozdzielcze obrazowania Pleiades i Deimos mogą służyć do generowania NMT.
- NMT opracowany metodą stereometrii satelitarnej.
- Alternatywny do ISOK.
- Można go wygenerować na żądanie.
- Na ile jest on dokładny i czy może służyć do analiz procesów korytowych?

Fragment śródkorytowej wyspy wiślanej poniżej Warszawy

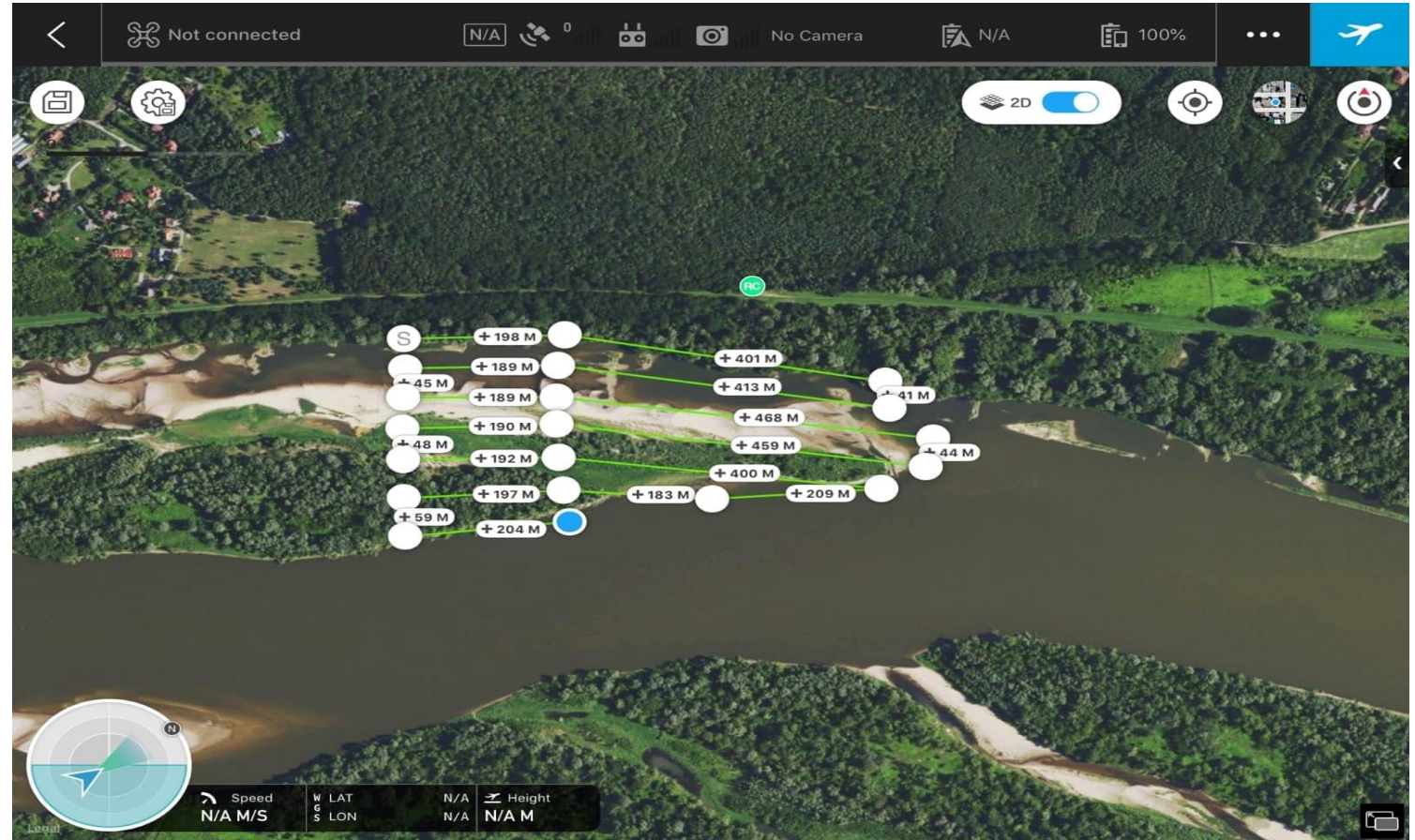
Wysoko rozdzielcze sceny z satelitów Pleiades (po lewej) i Deimos (po prawej)



Źródło: Demarchi L. i in., 2019 r.

Skanowanie laserowe z drona wykonane w tym samym czasie i dla tej samej wyspy dla której pozyskano dane Pleiades/Demos.

- Wysokość lotu drona do 75 metrów nad poziomem terenu.
- Prędkość lotu 5.5 m/s.
- Odległość między ścieżkami 45m.
- Czas lotu do 17 minut.
- 180 ha pokrytych w ciągu 5 dni z rozdzielczością > 100 pkt/m².



Źródło: Demarchi L. i in., 2019 r.

Wyspa wiślana na ortofotomapie o dokładności 5 cm



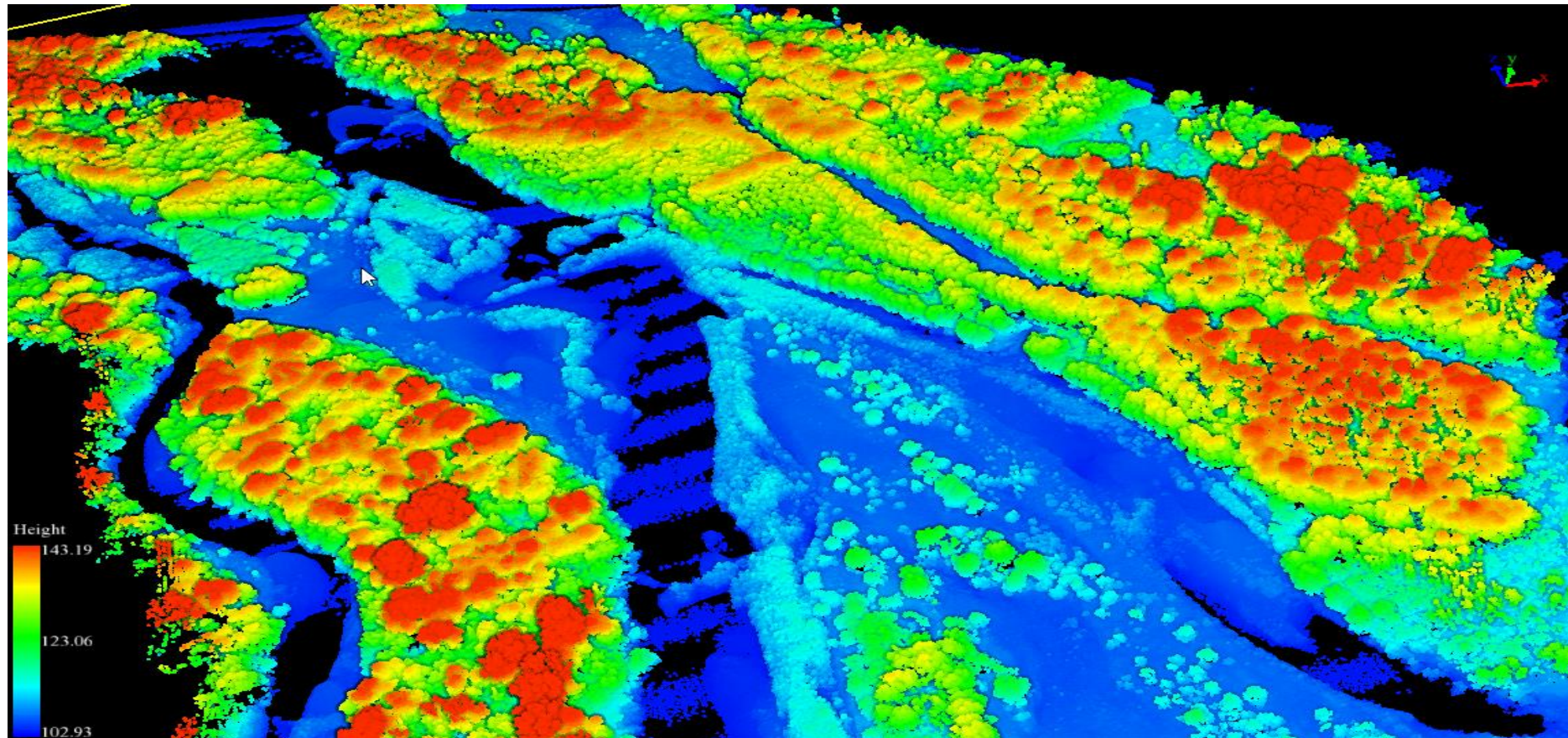
- Miejsca pomiarów fotopunktów

Źródło: Demarchi L. i in., 2019 r.

Numeryczny model terenu i jego zastosowania

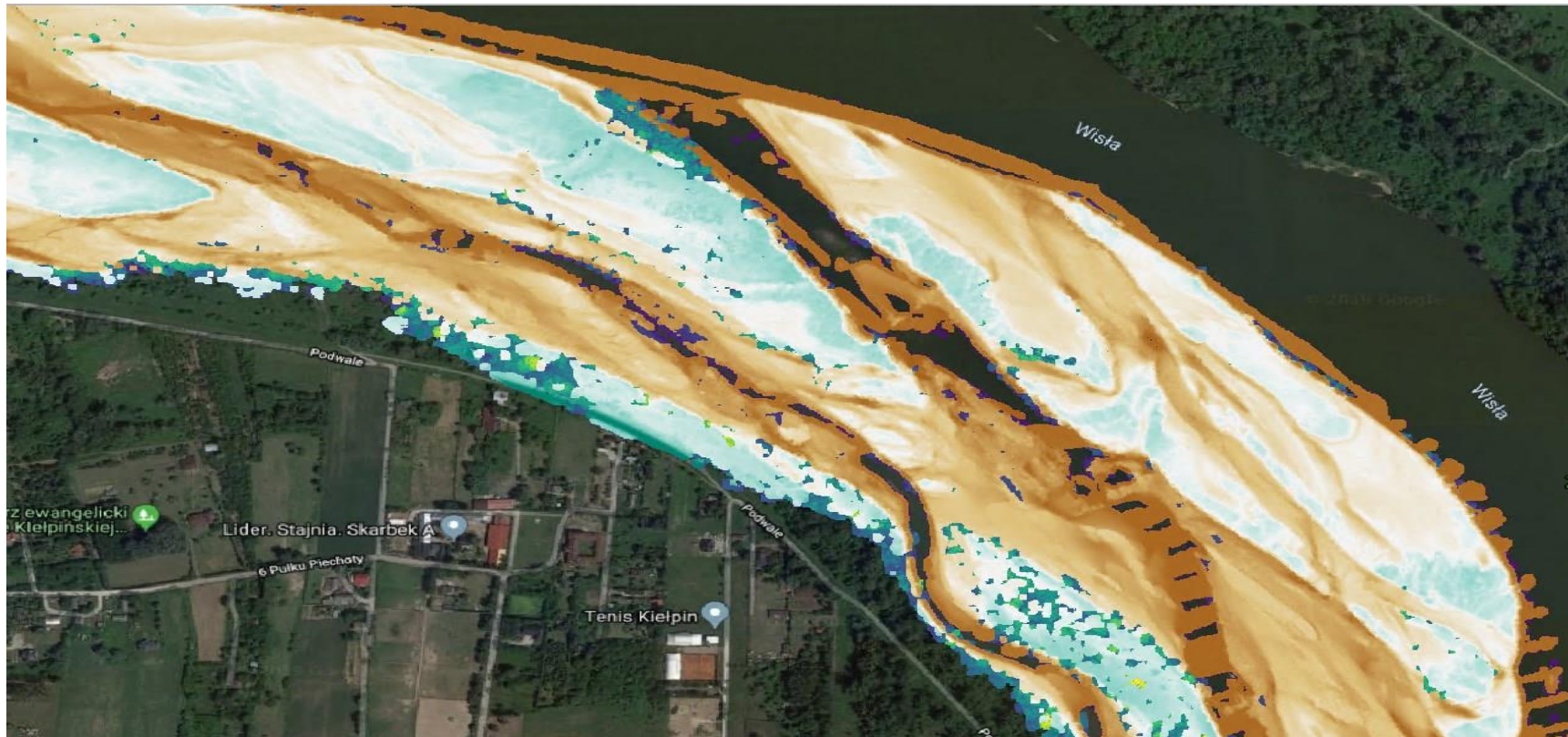
LiDAR i stereometria z bezzałogowego statku powietrznego (BSP)

Chmury punktów pozyskane czujnikiem LiDAR z pokładu BSP
Chmura podlega filtrowaniu, klasyfikacji i edycji



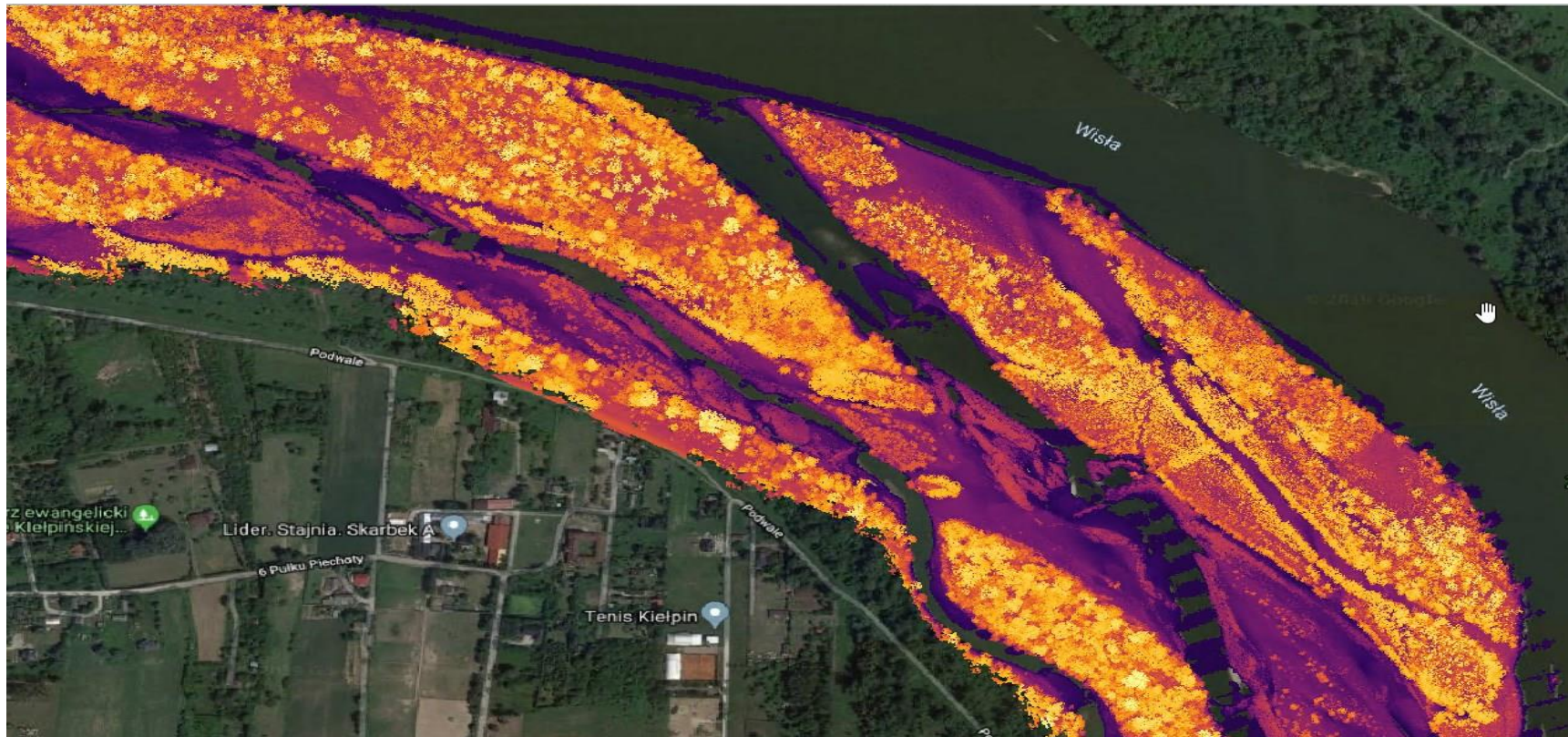
Źródło: Demarchi L. i in., 2019 r.

NMT 40 cm – produkt oczyszczonej chmury punktów



Źródło: Demarchi L. i in., 2019 r.

NMPT 10 cm – produkt oczyszczonej chmury punktów

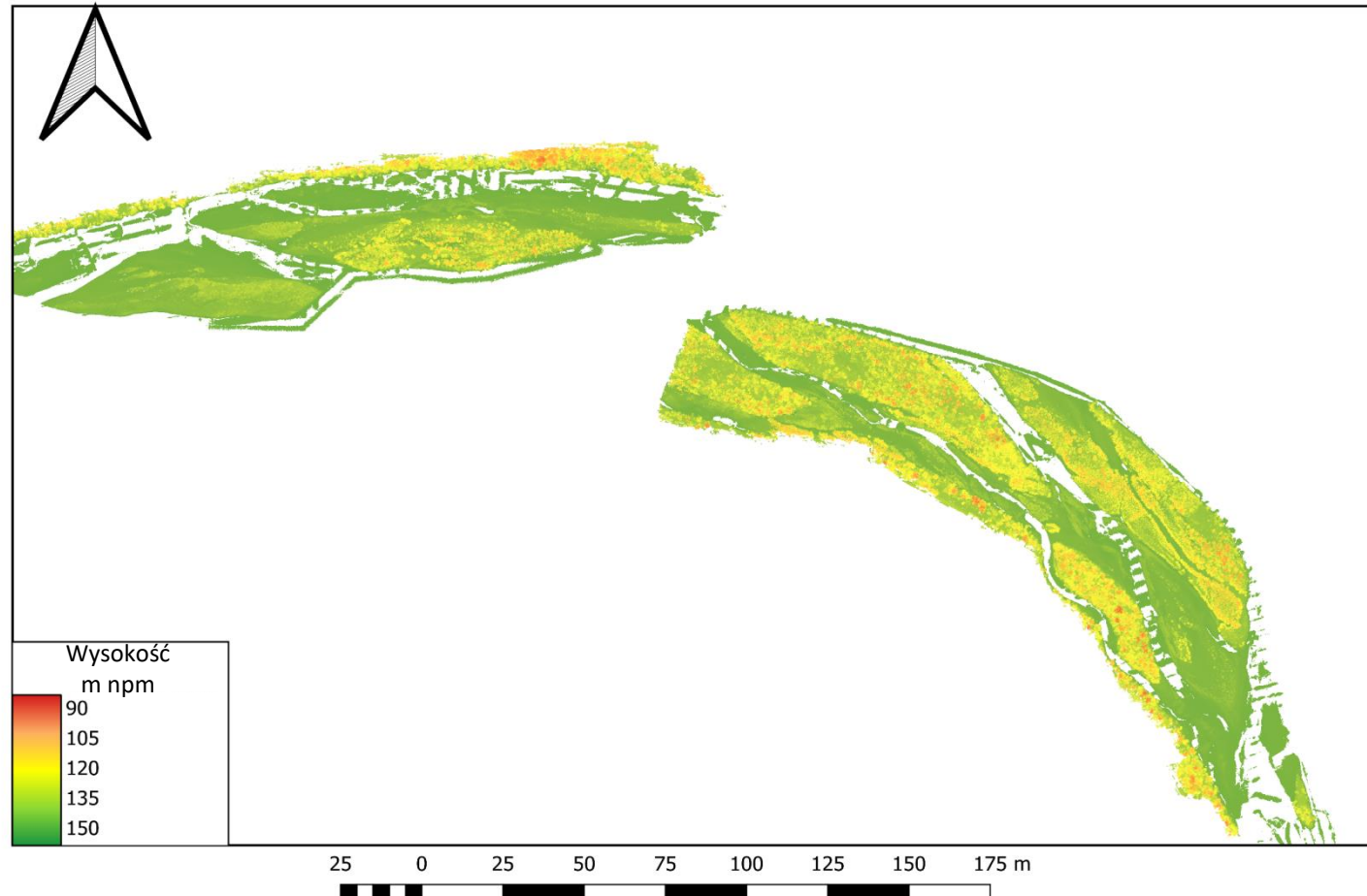


Źródło: Demarchi L. i in., 2019 r.

Numeryczny model terenu i jego zastosowania

LiDAR i stereometria z bezzałogowego statku powietrznego (BSP)

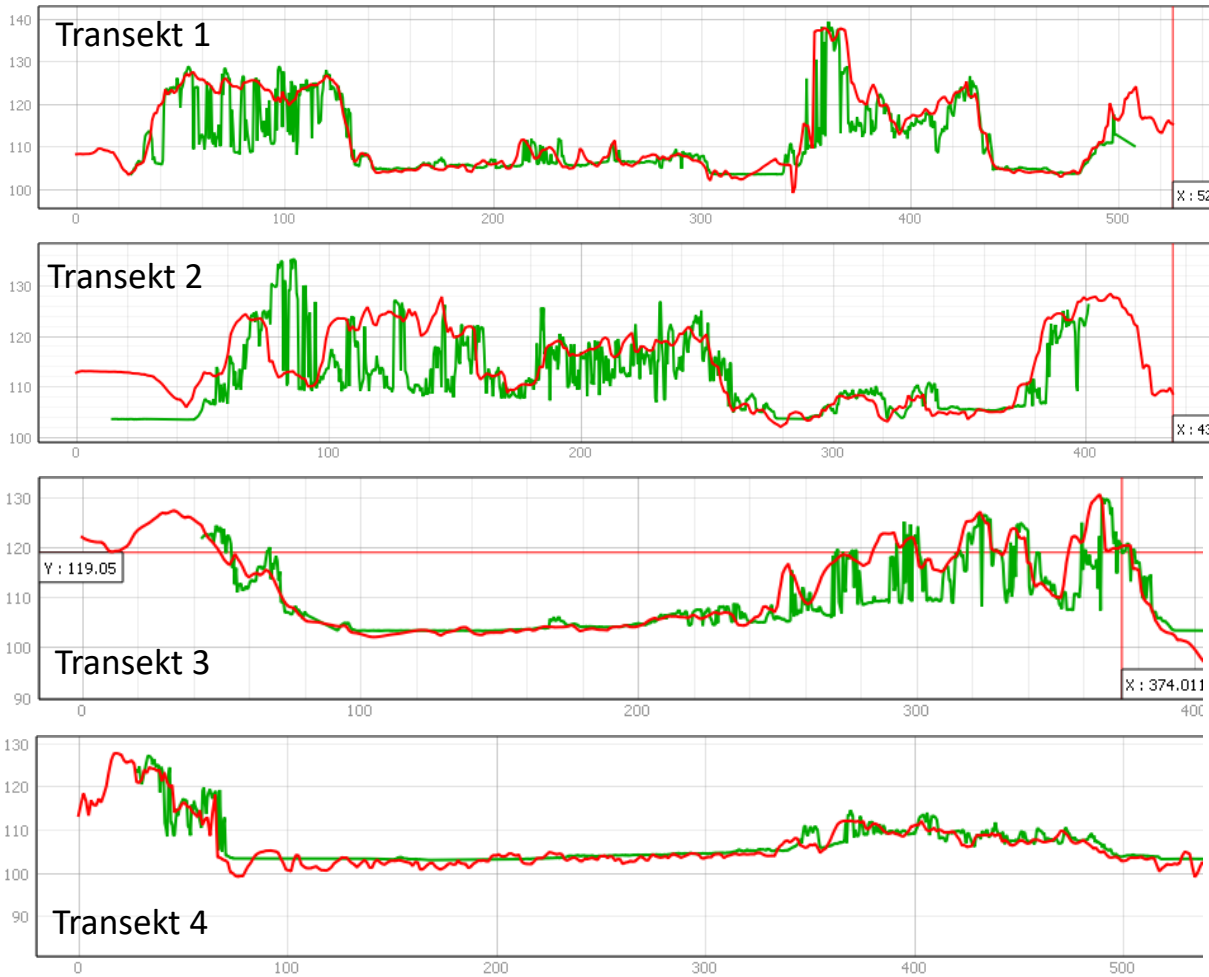
NMT fragmentu wysp korytowych rzeki Wisły opracowany
na podstawie skanowania laserowego z BSP



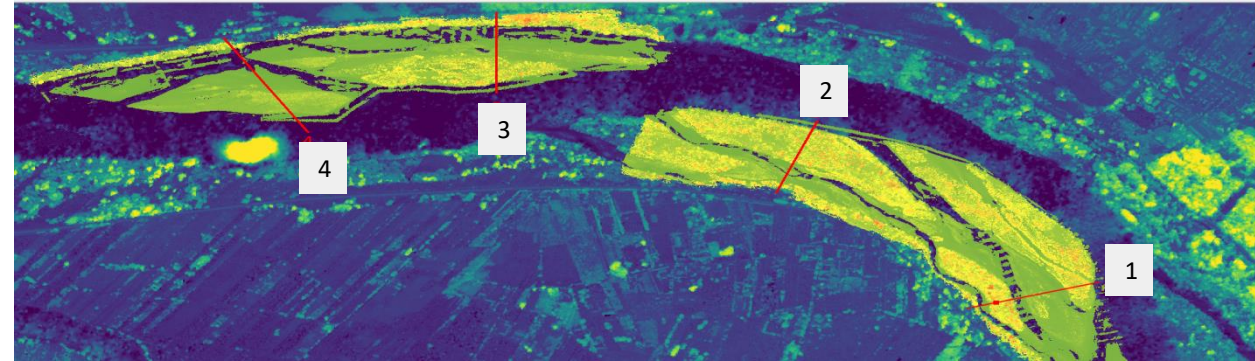
Źródło: Demarchi L. i in., 2019 r.

Numeryczny model terenu i jego zastosowania

Porównanie modeli opartych na Pleiades/Demos i BSP



Lokalizacja transektów porównawczych

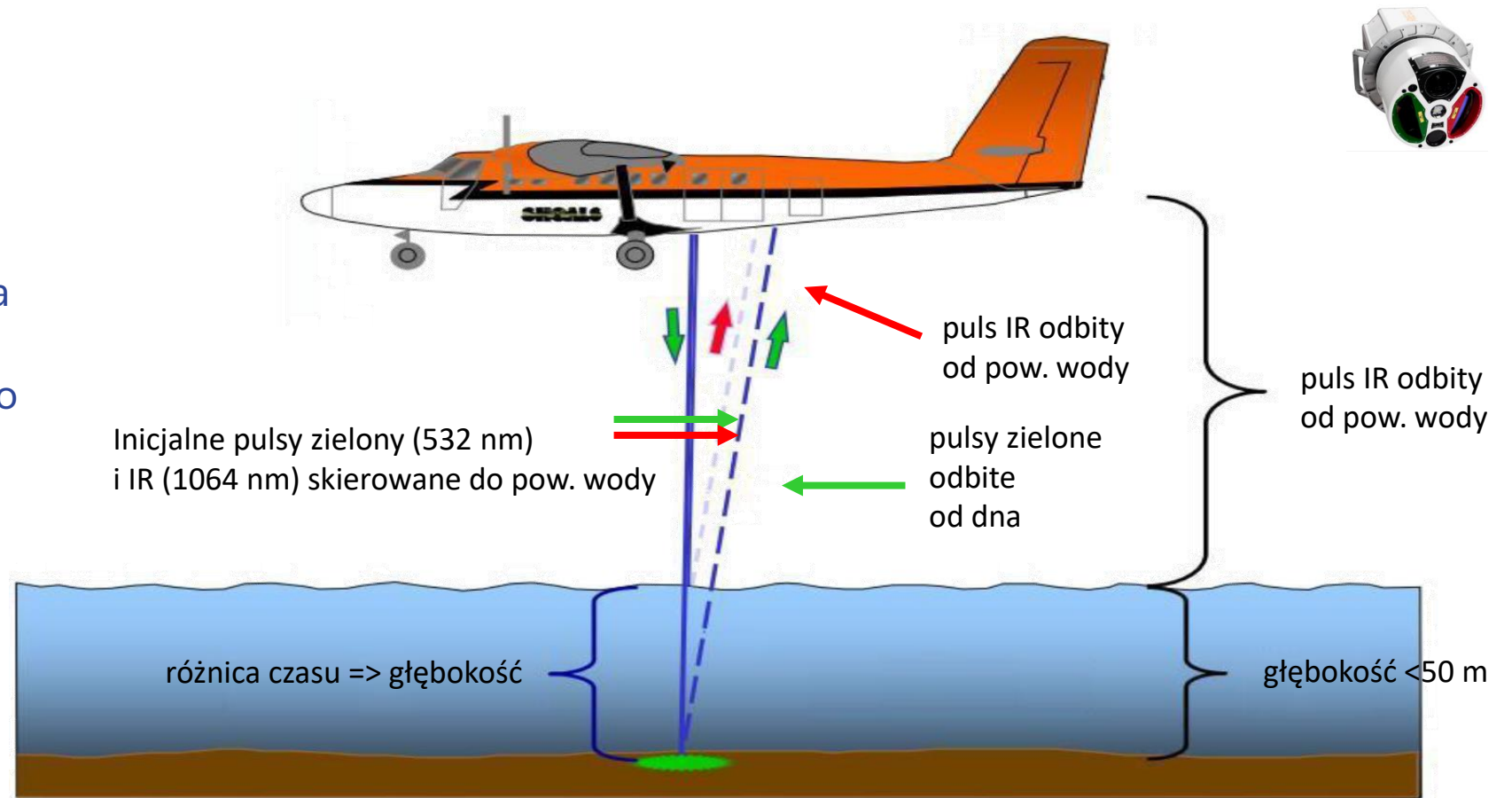


— NMT z satelity
— NMT z BSP

Źródło: Demarchi L. i in., 2019 r.

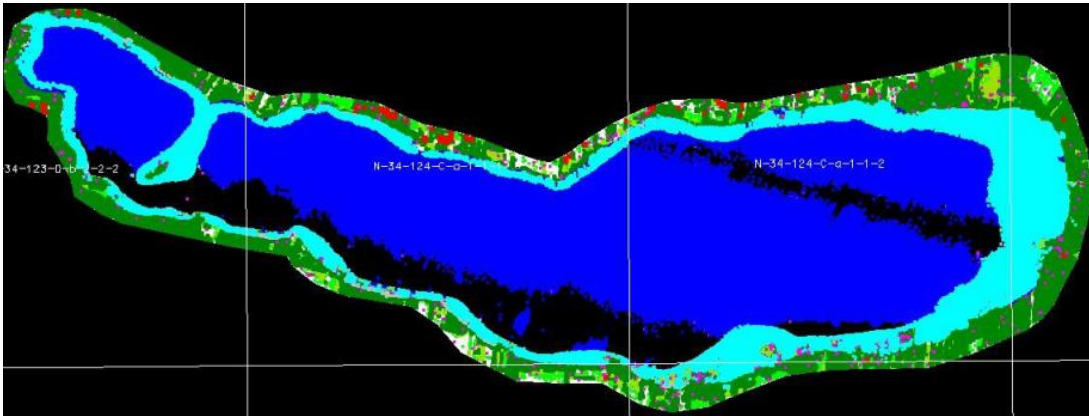
- Metoda skuteczna w detekcji dna pod wodą.
- Wymaga przejrzystej wody i braku turbulencji.
- Dwie wiązki laserowe:
 - podczerwona absorbowana przez wodę,
 - zielona przenika i dociera do dna.

Metoda wykonania skanowania dna zbiornika z pokładu samolotu

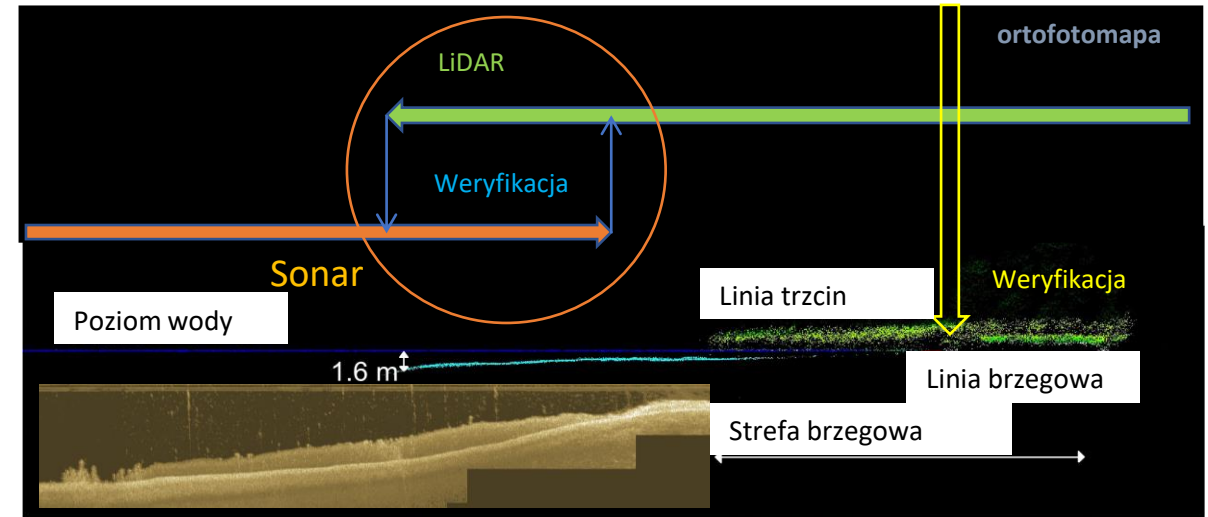


Źródło: Demarchi L. i in., 2019 r.

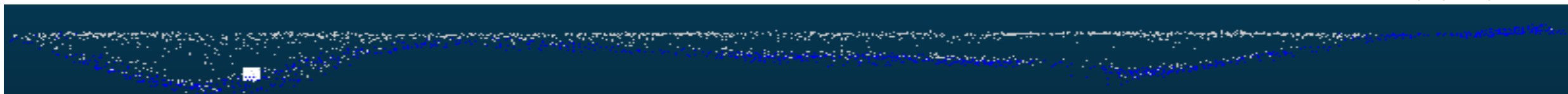
- Skanowanie dwuwieżkowe umożliwia penetrację dna – uzyskanie rzeźby terenu pod wodą.
- Może stanowić uzupełnienie pomiarów echosondą na głębokościach niższych niż zanurzenie sonara lub między transektami.



Jezioro Białe pod Gostyninem przekrój przez strefę brzegową – widoczne dno na głębokości 1,6 m



Źródło: Chormański, J., i in., 2021 r.



Przekrój przez koryto i dolinę (biały kwadrat – rzędna pomierzona GNSS) głębokości 0,1-0,3 m – Liwiec

Źródło: Góraj i in., 2018 r.

- Dane satelitarne służyć mogą do różnych zastosowań w Gospodarce Wodnej.
- Wyznaczanie zasięgu zwierciadła wody z (zbiorników, zasięgu rzek i powodzi) umożliwia wskaźnik NDWI.
- Identyfikacja podtopień w obszarach trudno dostępnych (mokradłowych) wymaga złożenia wybranych wskaźników i transformacji teledetekcyjnych oraz klasyfikacji.
- Archiwalne dane teledetekcyjnych i kartograficzne dają możliwość czasowej analizy zmian koryt rzecznych.
- Detekcja jakości wód powierzchniowych metodami teledetekcyjnymi w zależności od akwenu wymaga zastosowania różnych sensorów i różnych platform rejestracyjnych (UAV, samolot, satelita).
- Możliwości oceny retencyjności wodnej (intercepcji) zbiorowisk roślinnych.
- Zwiększenia dokładności prognozowania miejsc narażonych na podtopienia w miastach.
- Detekcja zagrożenia suszą jest możliwa przy zastosowaniu teledetekcji termalnej.
- Numeryczny model terenu coraz częściej i w różnych skalach pozyskiwany jest metodami teledetekcyjnymi.
- W różnych skalach służy w gospodarce wodnej do różnych celów, np. do oceny hydromorfologicznej cieków lub wyznaczania zlewni i jej parametrów ważny w zastosowaniach hydrologicznych.
- Dwuwiązkowy LiDAR w skanowaniu dna zbiorników i rzek to przyszłość dziejąca się już teraz.

OPRACOWAŁ:

dr hab. inż. Jarosław Chormański, prof. SGGW

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

