

„Aktywne mikrofalowe czujniki satelitarne w monitoringu morza”

Piotr Struzik, Bożena Łapeta
IMGW-PIB Kraków

Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach
Programu Operacyjnego Polska Cyfrowa



**Fundusze
Europejskie**
Polska Cyfrowa



Unia Europejska
Europejski Fundusz
Rozwoju Regionalnego



Plan prezentacji:

1. Skatterometry satelitarne:

- zasada działania,
- historia i stan aktualny,
- zastosowania: pole wiatru na morzu.

2. Wysokościomierze radarowe:

- zasada pomiaru,
- historia, stan aktualny i najbliższa przyszłość,
- produkty i ich zastosowanie.

3. Wybrane sytuacje związane z zagrożeniami na obszarze Morza Bałtyckiego.

4. Sentinel-1 SAR – wykorzystanie do monitorowania morza.

5. Podsumowanie



**Fundusze
Europejskie**
Polska Cyfrowa

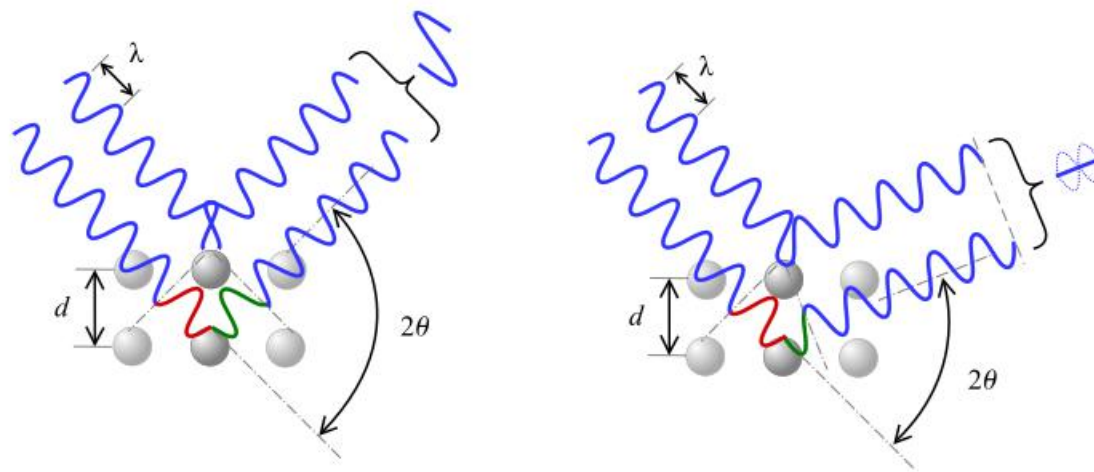


Unia Europejska
Europejski Fundusz
Rozwoju Regionalnego



Skatterometr:

Nazwa pochodzi od wykorzystania odbicia Bragga (Bragg scattering) opisującego zależność odbicia w kryształach od jego geometrii, kąta padania wiązki i długości fali – interferencja powodująca wzmocnienie lub osłabienie promieniowania odbitego.



W przypadku skatterometrów do analizy pola wiatru na morzu, pracujących w zakresie centymetrowym odbicie Bragga zachodzi na falach kapilarnych bezpośrednio związanych z kierunkiem i prędkością wiatru.

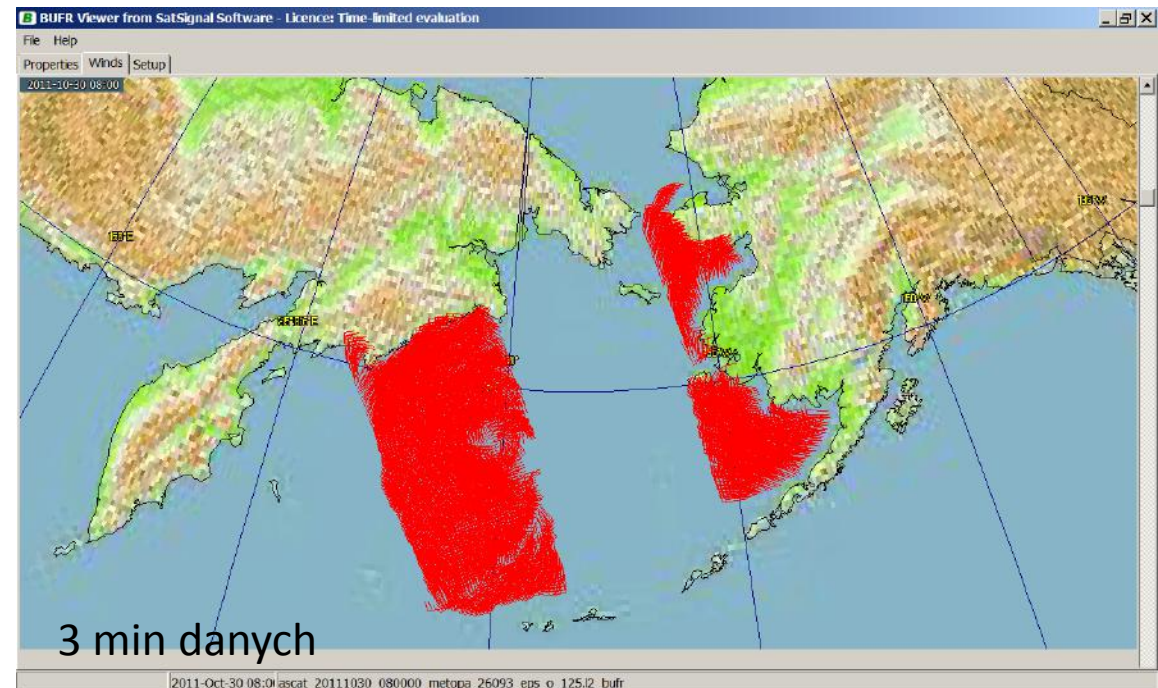
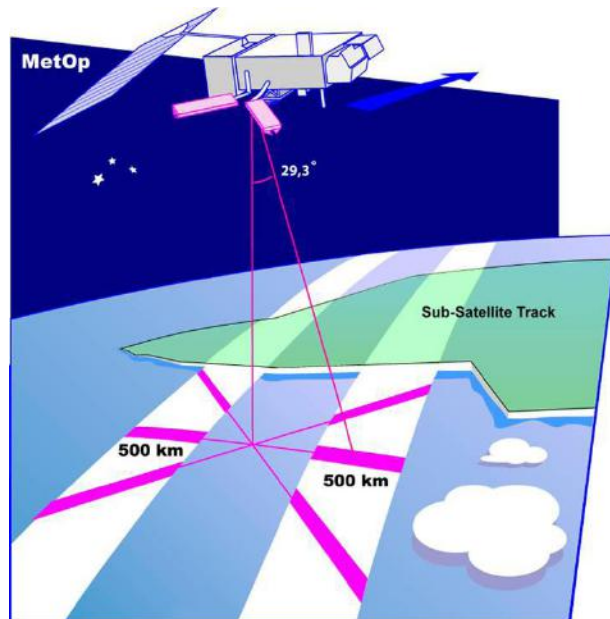
System radarowy zbiera informacje o promieniowaniu odbitym dla różnych kątów azymutu – model GMF (Geophysical Model Function) pozwala na odtworzenie kierunku i prędkości wiatru na poziomie referencyjnym 10m – konieczne wykorzystanie również modelu NWP.

Produkty dotyczące wiatru z przyrządu ASCAT / METOP

ASCAT = Advanced Scatterometer – radar wysyłający długie impulsy z liniową modulacją częstotliwości. Dwa zestawy anten skanują dwa pasy o szerokości 500 km każdy oddalone o 700 km. Rozdzielczość przestrzenna produktów 12.5 i 25 km.

Do odtwarzania pola wiatru na wys. 10m wykorzystywany jest model CMOD5.n Geophysical Model Function (GMF) .

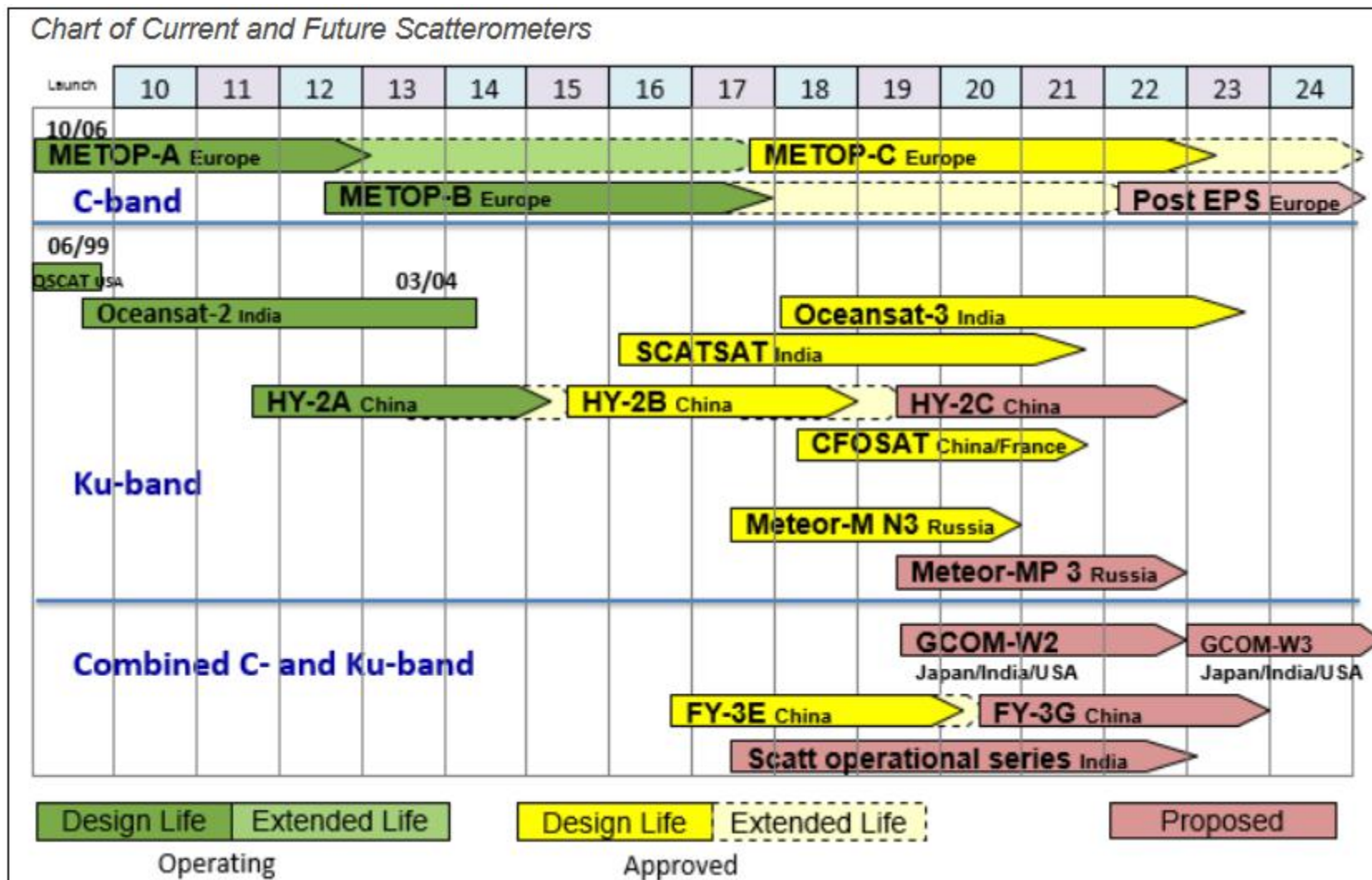
Produkty są transmitowane poprzez system satelitarny EUMETCast jako pliki w formacie BUFR.



Historia

Short Background	Period in Service	Spatial Resolution	Product Grid Spacing	Scan Characteristics	Operational Frequency	Detailed Background
SeaSat-A Scatterometer	1978/7/7 - 1978/10/10	50 km	100 km	Two sided Double swath	Ku band (14.6 GHz)	Background
ERS-1 Scatterometer	1991/7 - 1997/5/21	50 km	50 km	One sided Single swath	C band (5.3 GHz)	Background
ERS-2 Scatterometer	1997/5/21 - 2011/7	50 km	50 km	One sided Single swath	C band (5.3 GHz)	Background
NSCAT	1996/9/15 - 1997/6/30	25 km	25 km	Two sided Double swath	Ku band (13.995 GHz)	Background
SeaWinds on QuikSCAT	1999/7/19 - 2009/11/23	25 km	12.5 km	Conical scan One wide swath	Ku band (13.4 GHz)	Background
SeaWinds on ADEOS II	2002/12 - 2003/10	25 km	12.5 km	Conical scan One wide swath	Ku band (13.4 GHz)	Background
ASCAT-A	2006/10 - Present	50 km	12.5 km	Two sided Double swath	C band (5.255 GHz)	Background
ASCAT-B	2012/10/29 - Present	50 km	12.5 km	Two sided Double swath	C band (5.255 GHz)	Background
OCEANSAT2	2009/9/23 - 2014/	25 km	25 km	Conical scan One wide swath	Ku band (13.5 GHz)	Background
HY-2A	2011/9? - Present	25 km	25 km	Conical scan One wide swath	Ku band (13.256 GHz)	Background
ISS RapidSCAT	2014/09/20 - Present	25 km	12.5 km	Conical scan One wide swath	Ku band (13.4 GHz)	Background

Stan aktualny i najbliższe lata:

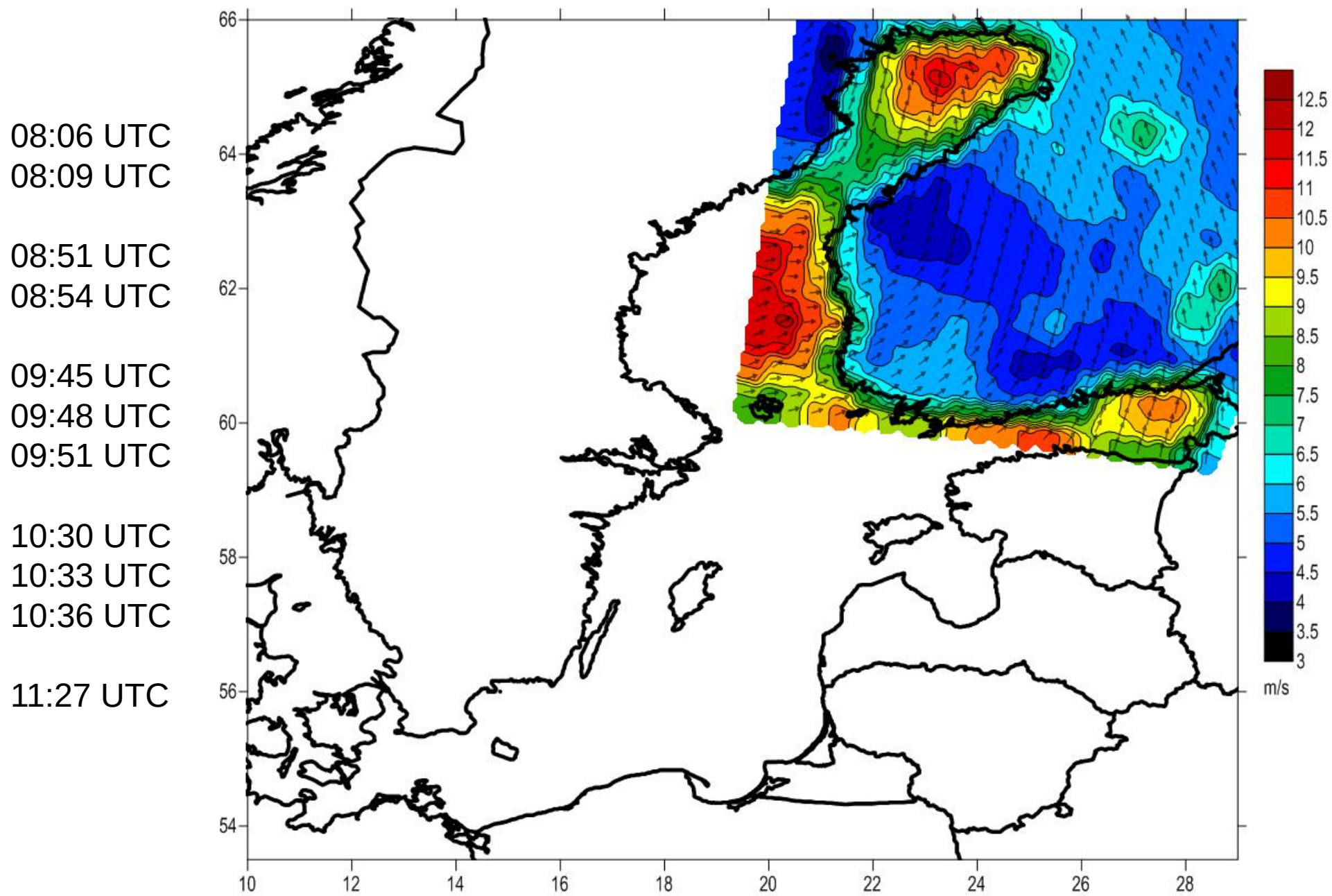


Pole wiatru na morzu:

Zastosowania:

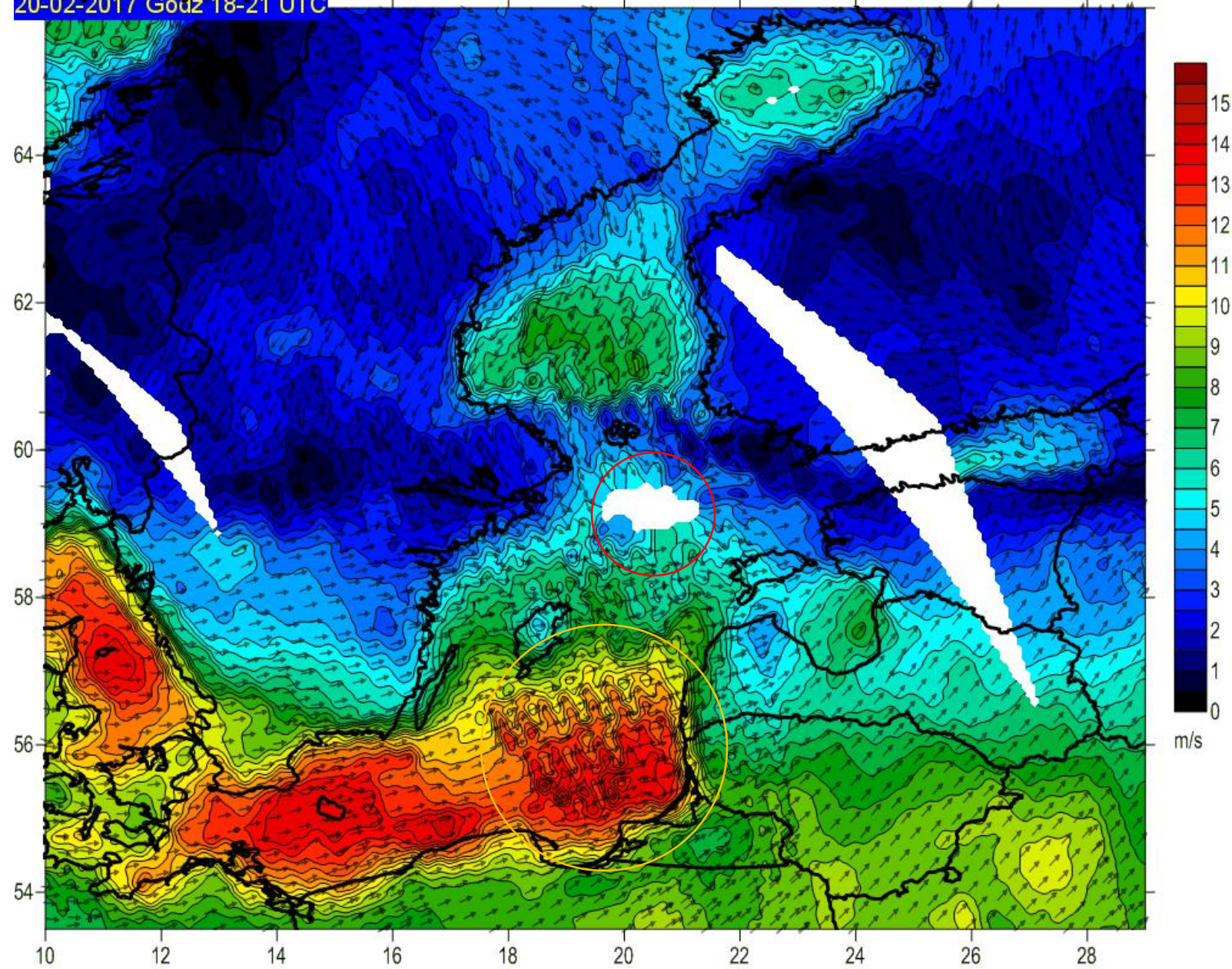
- Prognozowanie pogody i warunków żeglugi na morzu,
- Monitorowanie zagrożenia strefy przybrzeżnej i ujść rzek,
- Bezpieczeństwo na morzu,
- Rybołówstwo,
- Monitorowanie i prognozowanie zjawisk cyklicznych (El-Niño),
- Badania klimatologiczne.

Dostępne segmenty danych satelitarnych Metop-A i B w porze porannej (na przykładzie 16.10.2017)



Szybka zmiana prędkości lub kierunku wiatru pomiędzy kolejnymi przelotami satelitów, niepełne pokrycie regionu, problem dla bardzo niskiej i bardzo wysokiej prędkości wiatru

20-02-2017 Godz 18-21 UTC

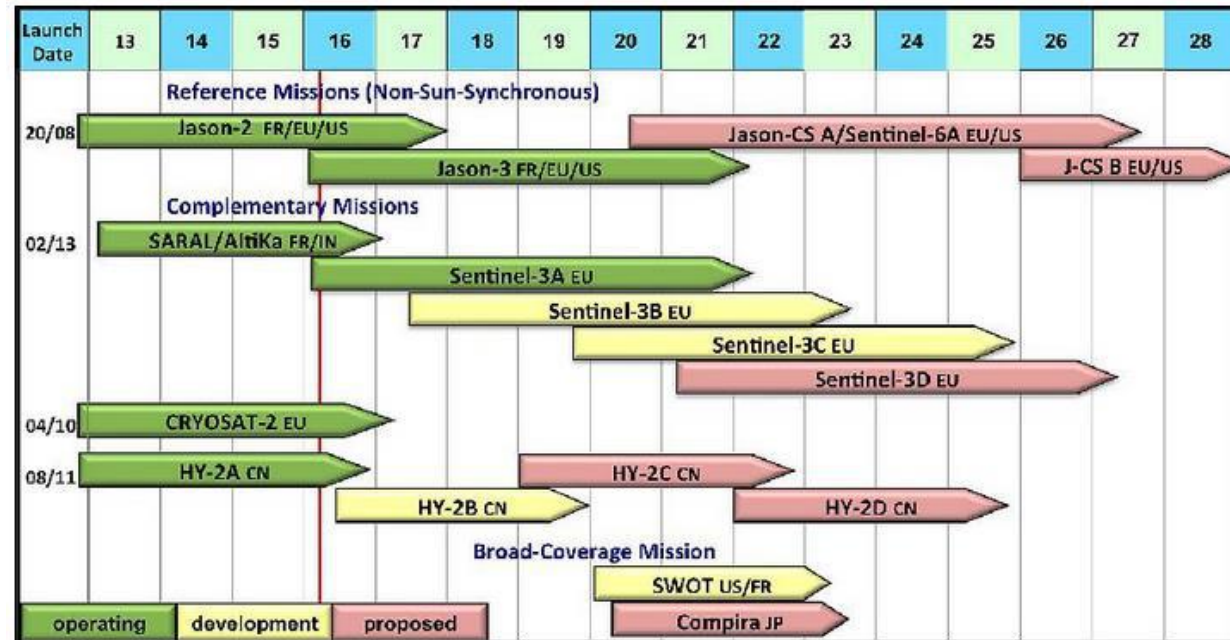


Wysokościomierze radarowe

Satelitarne wysokościomierze radarowe

Historia, stan aktualny i najbliższa przyszłość

Pierwszy altimetr: SKYLAB 1973-1974 dokładność 15m
SeaSat - 26.06.1978



Wysokościomierz radarowy

Wysokościomierz wykorzystuje impulsy radarowe do precyzyjnego określenia odległości pomiędzy satelitą a powierzchnią morza, mierząc czas od wysłania impulsu do odebrania.

Kształt i amplituda echa pozwala dodatkowo na określenie wysokości falowania i prędkości wiatru.

Dodatkowa korekta geofizyczna ma na celu kompensację błędów spowodowanych wpływem atmosfery i jonosfery oraz stanem morza.



Jason-2 i 3: wysokościomierz pracujący w paśmie Ku i C (Ku ma większa dokładność).

Korekcja geofizyczna:

- Stan troposfery: sucha – korekta -2.3m, para wodna – korekta -6 do -40 cm, źródło danych: ECMWF oraz radiometr AMR (3 kanałowy radiometr mikrofalowy na satelicie). Po przeprowadzeniu korekty, błąd mniejszy od 1.2 cm.
- Jonosfera: +0.2 do 20 cm. Po przeprowadzeniu korekty błąd mniejszy od 0.5 cm.
- Falowanie: pomimo stosunkowo dużego pola odbijającego fale radiowe, występuje efekt wynikający z lepszego odbicia od dolin fal niż grzbietów. Korekta empiryczna na podstawie rejestrowanego sygnału. Błąd rzędu 1-2 cm.
- Deszcz – korekta na podstawie radiometru AMR (kanał 18.7 GHz).
- Zlodzenie – flaga wskazująca na zlodzenie na podstawie pomiarów radiometru AMR.
- Pływy – korekta różnych składników pływu (Geocentric Ocean Tide, Long Period Ocean Tide, Solid Earth Tide, Pole Tide).
- Korekta barometryczna (hydrostatyczna odpowiedź wysokości oceanu na ciśnienie atmosferyczne).

Operational GRD (OGDR) – dostępne 3-5 godzin po przelocie satelity

Interim GDR (IGDR – dostępne 1-2 dni po przelocie satelity

Final GDR (GDR) – ok. 60 dni po rejestracji

Auxiliary Data	Impacted Parameter	OGDR	IGDR	GDR
Orbit	Satellite altitude, Doppler correction, ...	DORIS Navigator	Preliminary (MOE using DORIS data)	Precise (POE using DORIS and/or Laser and/or GPS data)
Meteo Fields	Dry/wet tropospheric corrections, U/V wind vector, Surface pressure, Inverted barometer correction, ...	Predicted	Restituted	
Pole Location	Pole tide height	Predicted		Restituted
Mog2D	HF ocean dealiasing correction	Not available	Preliminary	Precise
GIM	Ionosphere correction	Not available	Available	
Radiometer antenna temperatures coeff.	Wet tropospheric correction, Sigma0 rain attenuation, ...	Preliminary		Precise (accounting for radiometer calibration)

Jakość obserwacji wysokościomierzem Jason-2 i 3

Parameter	OGDR 3 hours		IGDR 1 to 1.5 days		GDR 40 days		
	Requirement	Actual	Requirement	Actual	Requirement	Goal	Actual
Altimeter Noise ¹	1.7	1.8	1.7	1.8	1.7	1.5	1.8
Ionosphere ²	1	0.3	0.5	0.3	0.5	0.5	0.3
Sea State Bias ³	3.5	2	2	2	2	1	2
Dry Troposphere	1	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Wet Troposphere	1.2	0.8	1.2	0.8	1.2	1	0.8
Altimeter Range, RSS	5	2.9	3	2.9	3	2.25	2.9
RMS Orbit (Radial Component)	10 ⁽⁴⁾	3.0 ⁽⁴⁾	2.5	1.5	1.5	1.0	1.0
Total Sea Surface Height, RSS	11.2	4.2	3.9	3.3	3.4	2.5	3.1
Significant Wave Height ⁵	10% or 0.5 m	TBD % or 0.12 m	10% or 0.4m	TBD % or 0.12 m	10% or 0.4m	5% or 0.25m	TBD % or 0.12 m
Wind Speed	1.6 m/s	0.9 m/s	1.5 m/s	0.9 m/s	1.5 m/s	1.5 m/s	0.9 m/s
Sigma Naught (absolute)	0.7 dB	0.1 ⁽⁶⁾ dB	0.7 dB	0.1 ⁽⁶⁾ dB	0.7 dB	0.5 dB	0.1 ⁽⁶⁾ dB
System Drift						1 mm/year ⁽⁷⁾	TBD

Satellite altimetry - Ocean Geophysical Data Record

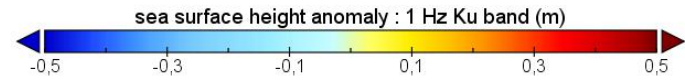
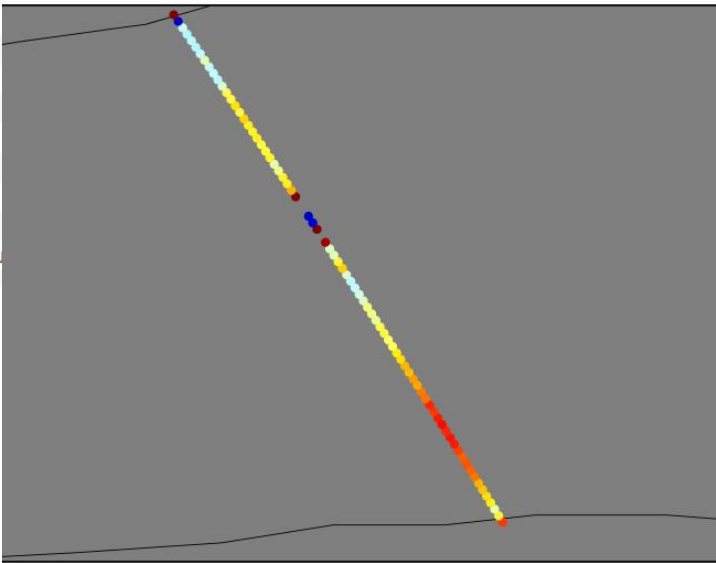
Jason-2, Jason-3, Saral/Altica, Sentinel-3A and 3B, HY-2A, HY-2B

- rednia wysokość morza ponad elipsoidę referencyjną
- mean_topography – średnia dynamiczna topografia ponad geoidę
- anomalia wysokości morza
- altimeter wind speed
- C band – skorygowana wysokość fal znaczących
- Ku band – skorygowana wysokość fal znaczących

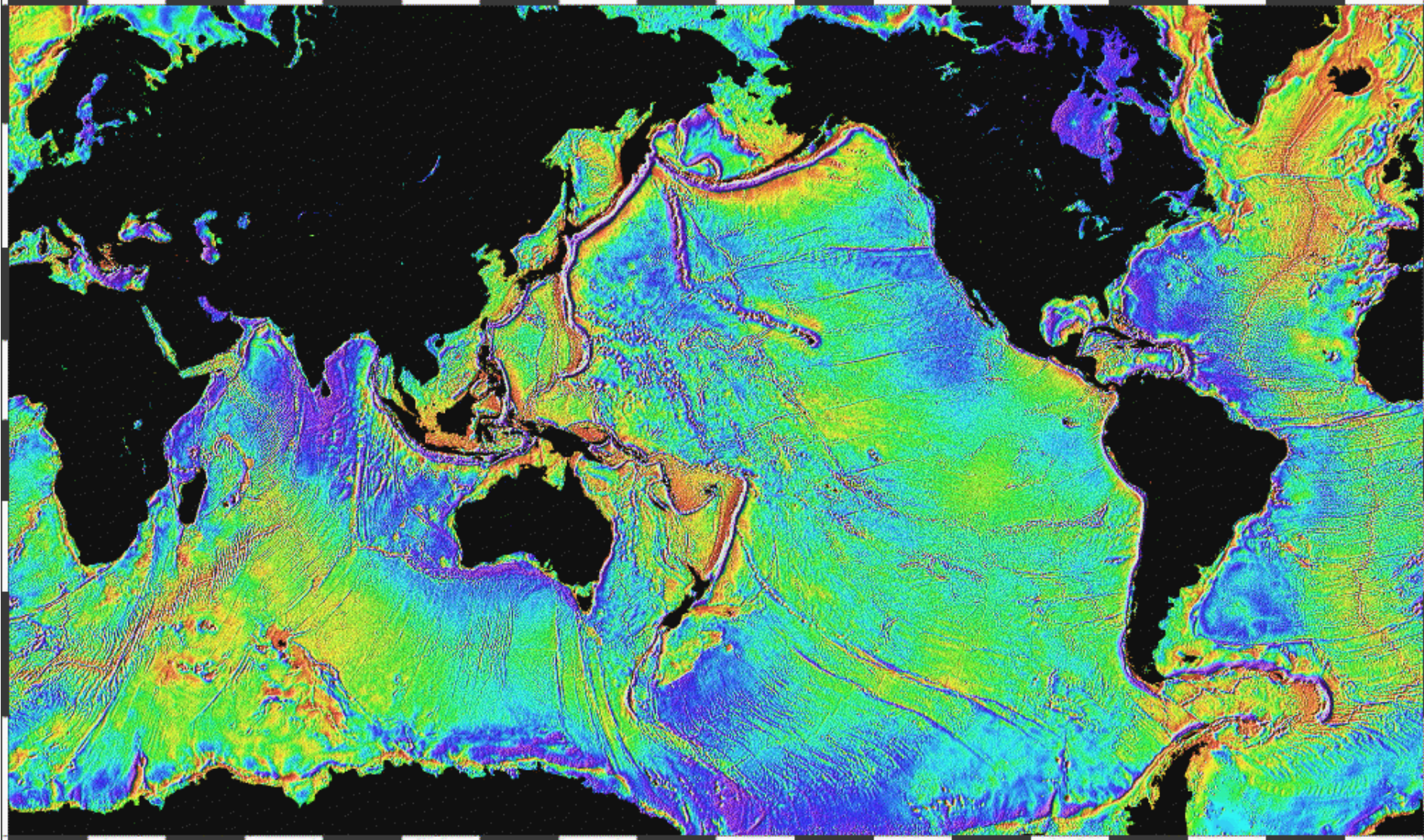
Zastosowania:

- Monitorowanie zmian globalnych – procesy cykliczne i trend,
- krótkookresowe zmiany wywołane przez wiatr i prądy,
- strefa przybrzeżna – powodzie wlewowe,
- hydrologia lądowa – jeziora i rzeki.

sig0_ocean_rms_01_c	RMS of the 'ocean' backscatter coefficient: 1 Hz C band
sig0_ocean_rms_01_ku	RMS of the 'ocean' backscatter coefficient: 1 Hz Ku band
sig0_ocean_rms_01_plrm_ku	RMS of the 'ocean' backscatter coefficient: 1 Hz Plrm Ku band
sig0_ocog_20_c	corrected ocog backscatter coefficient : 20 Hz C band
sig0_ocog_20_ku	corrected ocog backscatter coefficient : 20 Hz Ku band
sig0_sea_ice_sheet_20_ku	corrected 'sea ice' backscatter coefficient : 20 Hz Ku band
slope_first_trailing_edge_ice_20_c	slope of the first part of the trailing edge ('ice'): 20 Hz C band
slope_first_trailing_edge_ice_20_ku	slope of the first part of the trailing edge ('ice'): 20 Hz Ku band
slope_first_trailing_edge_ice_20_plrm_ku	slope of the first part of the trailing edge ('ice'): 20 Hz Plrm Ku band
slope_second_trailing_edge_ice_20_c	slope of the second part of the trailing edge ('ice'): 20 Hz C band
slope_second_trailing_edge_ice_20_ku	slope of the second part of the trailing edge ('ice'): 20 Hz Ku band
slope_second_trailing_edge_ice_20_plr...	slope of the second part of the trailing edge ('ice'): 20 Hz Plrm Ku band
snow_density_20_ku	snow density: 20 Hz Ku band
snow_depth_20_ku	snow depth: 20 Hz Ku band
solid_earth_tide_01	Solid earth tide height : 1 Hz
ssha_01_ku	sea surface height anomaly : 1 Hz Ku band
ssha_01_plrm_ku	sea surface height anomaly : 1 Hz PLRM Ku band
ssha_20_ku	sea surface height anomaly : 20 Hz Ku band
ssha_20_plrm_ku	sea surface height anomaly : 20 Hz Plrm Ku band
surf_class_01	surface classification : 01 Hz
surf_class_20_c	surface classification : 20 Hz C band
surf_class_20_ku	surface classification : 20 Hz ku band
surf_type_01	surface type : 1 Hz
surf_type_20_c	sea surface height anomaly : 1 Hz Ku band
surf_type_20_ku	
surf_type_class_20_ku	
swh_ocean_01_c	
swh_ocean_01_ku	
swh_ocean_01_plrm_ku	
swh_ocean_20_c	
swh_ocean_20_ku	
swh_ocean_20_plrm_ku	
swh_ocean_numval_01_c	
swh_ocean_numval_01_ku	
swh_ocean_numval_01_plrm_ku	
swh_ocean_numval_01_c	

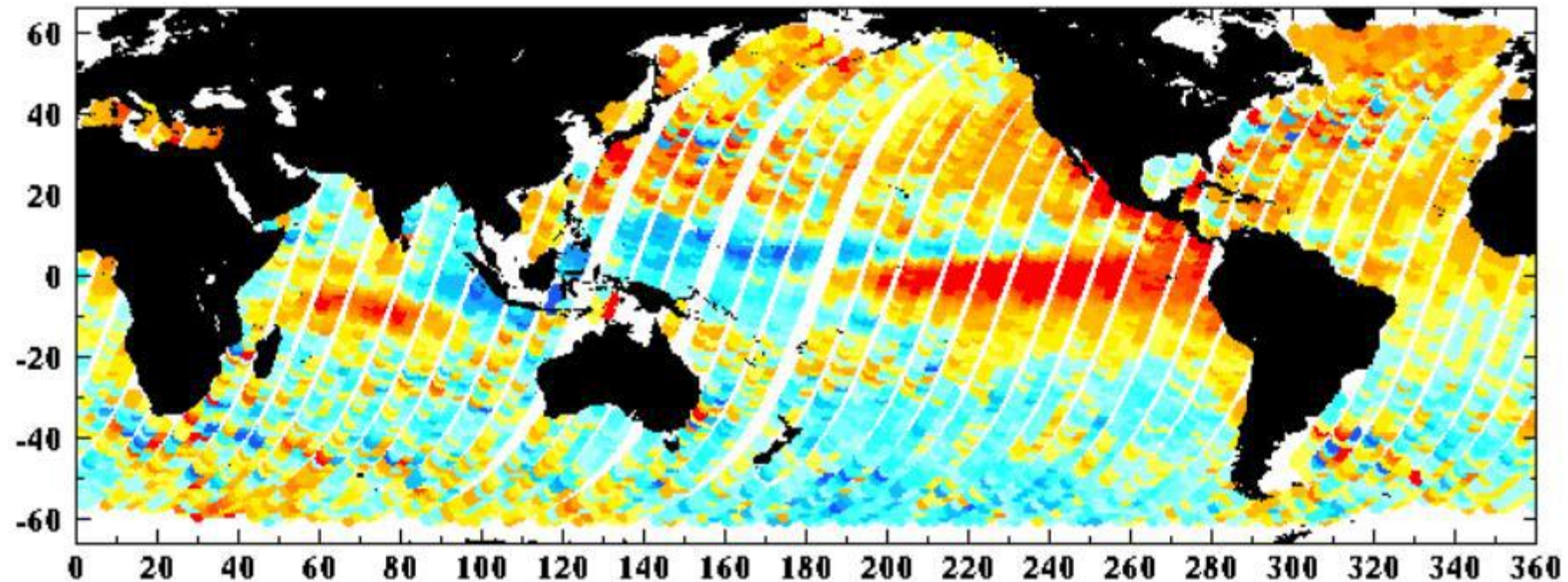


Topografia mórz i oceanów

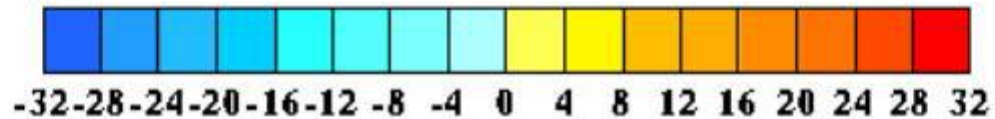


El-Nino 1997

Topex 2-Day IGDR Cycle 189 -A Oct 31-Nov 6, 1997

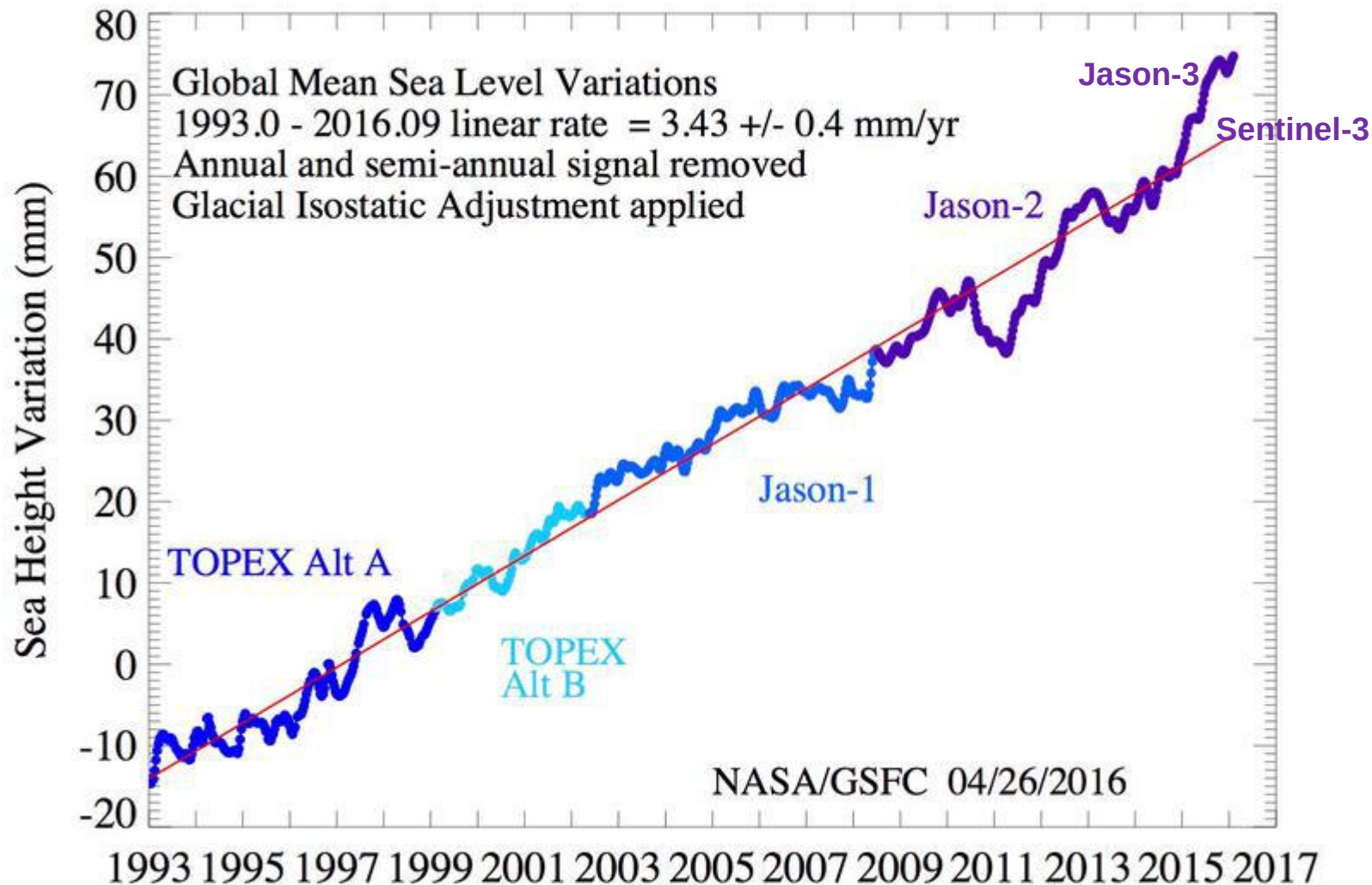


NOAA Laboratory for Satellite Altimetry



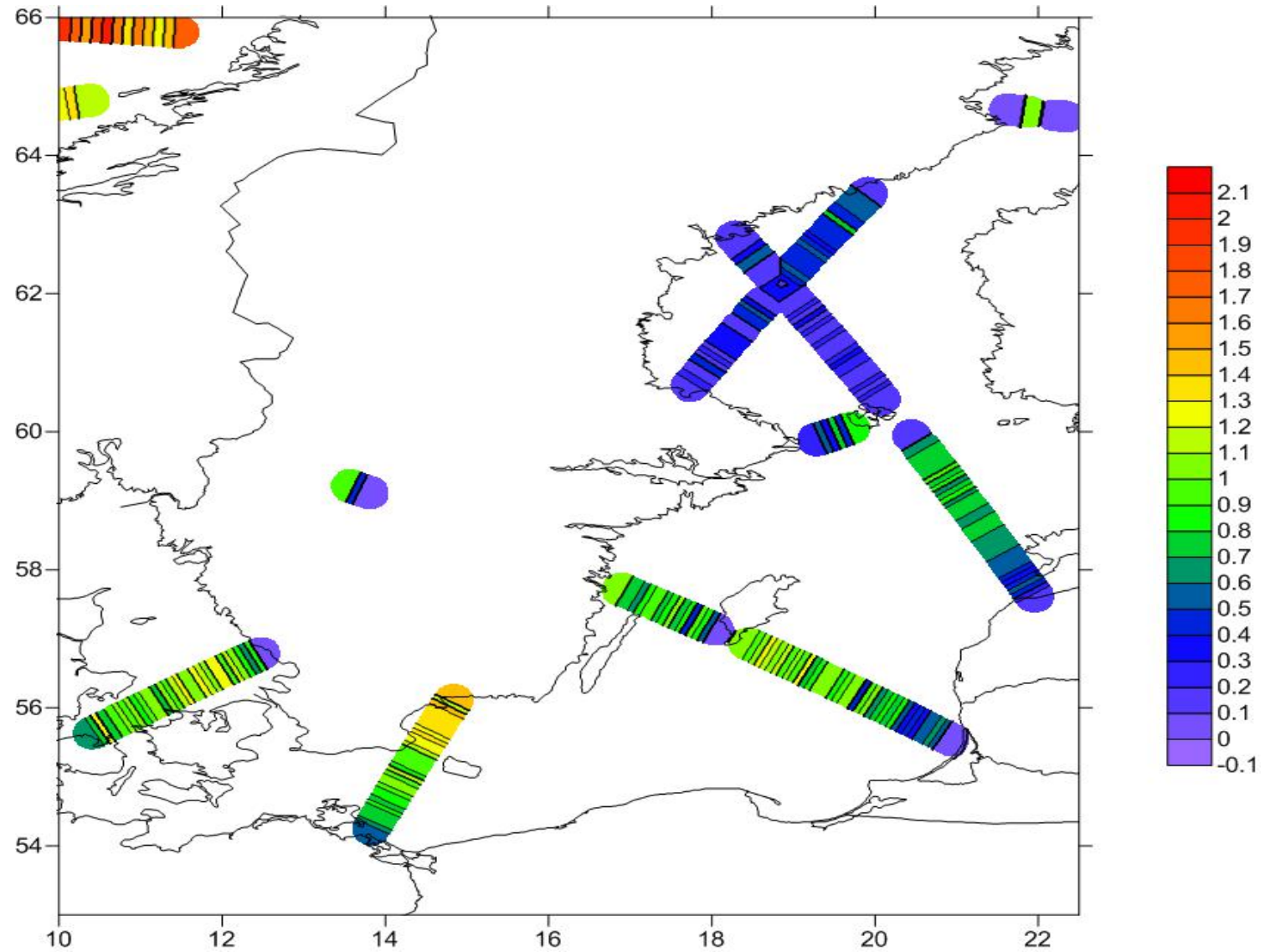
Sea Level Deviation (cm) Wrt 1993-95

Globalne zmiany wysokości poziomu morza na podstawie satelitarnych wysokościomierzy



ftp://podaac.jpl.nasa.gov/allData/merged_alt/L2/TP_J1_OSTM/global_mean_sea_level/GMSL_TPJAOS_V3.jpg

Przykładowe dane z jednej doby 3/4.04.2014, wszystkie dostępne przeloty satelitów Jason-2 i SARAL – wysokość fal znacznych na morzu. Pomiar tylko w nadirze, krok pomiaru ok. 4 km.



**Przykładowe sytuacje związane z
zagrożeniami na Morzu Bałtyckim
– wykorzystanie aktywnych czujników
mikrofalowych:**

„Ksawery” 3-7.12.2013

„Axel” 3-5.01.2017

„Grzegorz” 27-29.10.2017

Ksawery 4-10.12.2013

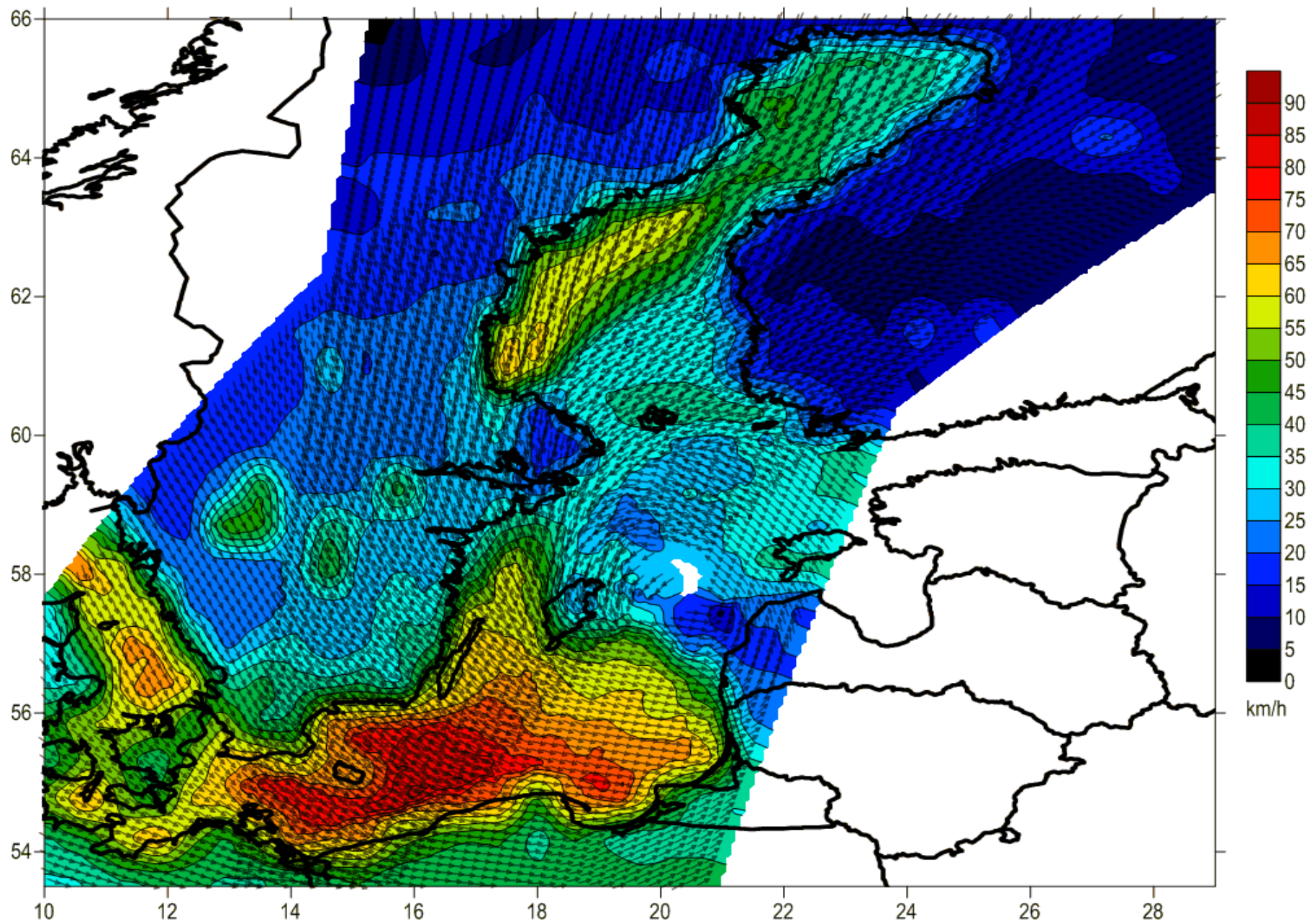
Orkan Ksawery (również Bodil, Sven) – orkan, który od 4 grudnia do 10 grudnia 2013 pustoszył kilka krajów europejskich w tym m.in. Wielką Brytanię, Holandię, Niemcy, Polskę.

Orkan Ksawery spowodował w Polsce pięć ofiar śmiertelnych, 53 osoby zostały poszkodowane, a ponad 500 tys. odbiorców pozostawało bez prądu.

W związku z orkanem i trudnymi warunkami atmosferycznymi Straż Pożarna od czwartku do niedzieli rana, odnotowała w całym kraju ponad 10 tysięcy interwencji. W akcji związanej z usuwaniem zniszczeń uczestniczyło ponad 58 tysięcy ratowników.

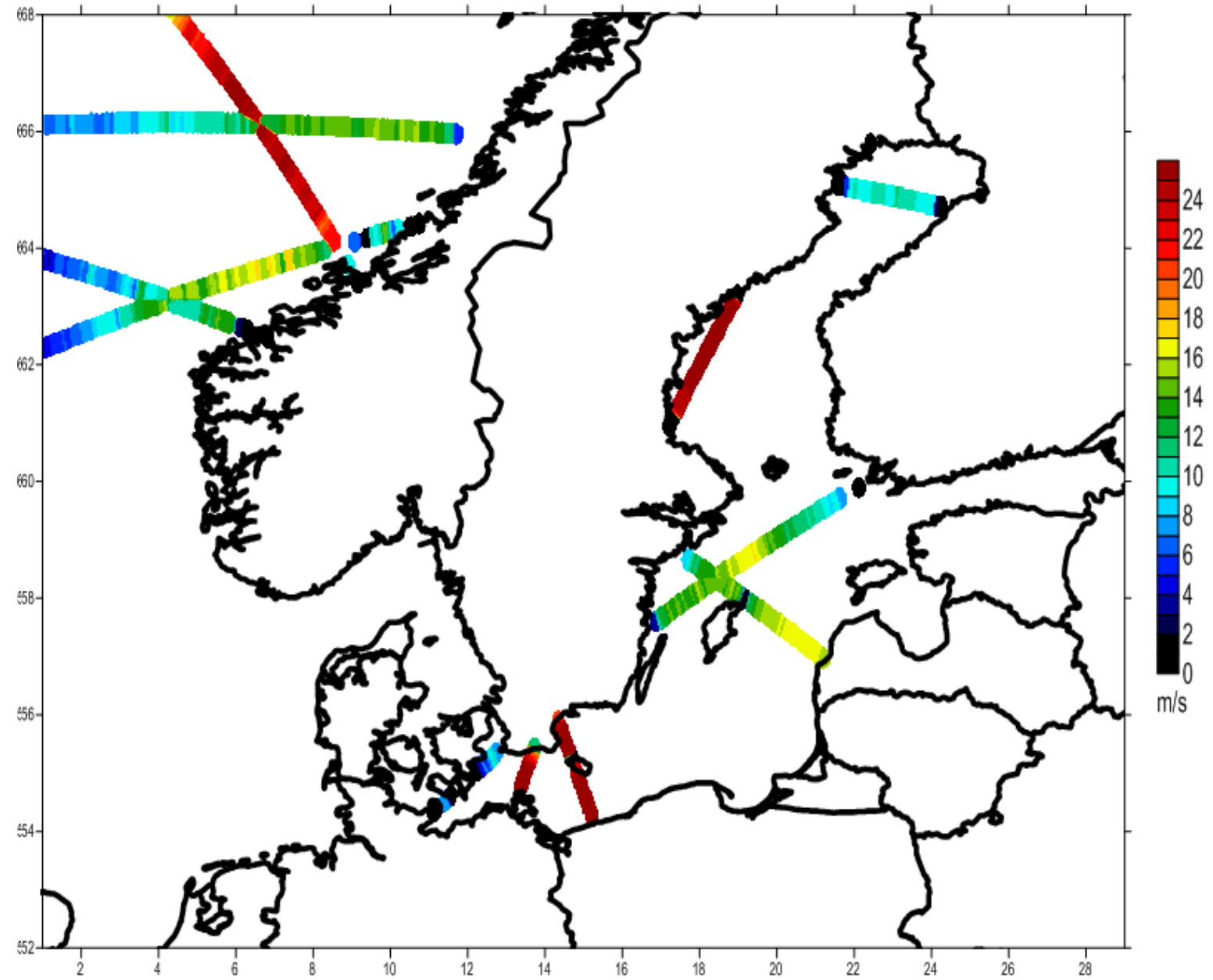
Typ	orkan
Początek	4 grudnia 2013
Koniec	10 grudnia 2013
Najwyższa prędkość wiatru	Aonach Mòr – 229 ^[1] km/h
Najniższe ciśnienie	ok. 960 hPa
Ofiary śmiertelne	15 osób
Dotknięte kraje	 Belgia  Dania  Czechy  Holandia  Niemcy  Norwegia  Polska  Szwecja  Wielka Brytania

Pole wiatru na Morzu Bałtyckim – dostępne dwa razy na dobę dla obszaru
pokrytego przelotami Metop-A – orkan Ksawery 6.12.2013 godziny 8-11 UTC



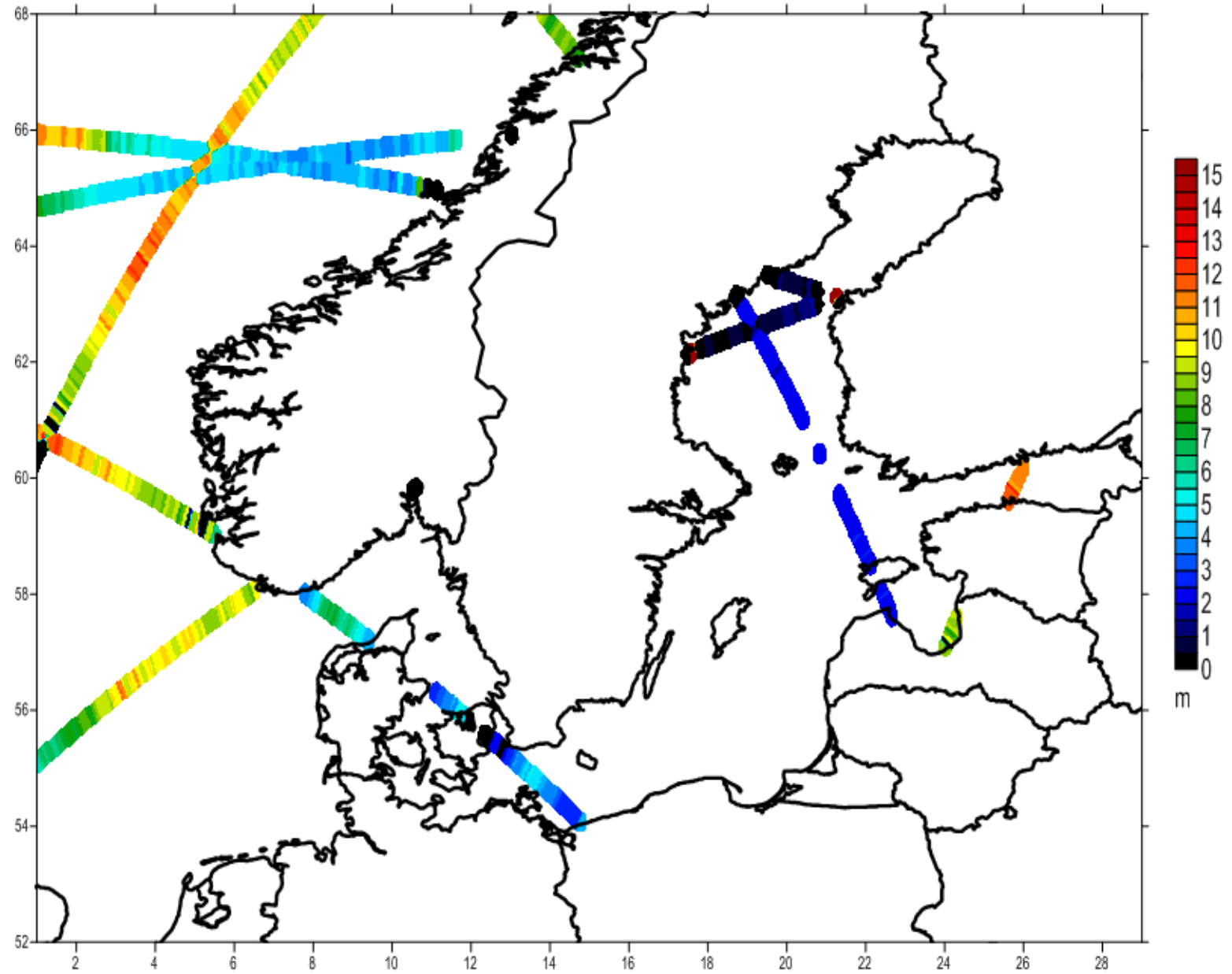
5-7.12.2013 **prędkość wiatru** na podstawie danych z
wysokościomierzy satelitarnych Jason-2, Saral/Altika.

7.12.2013



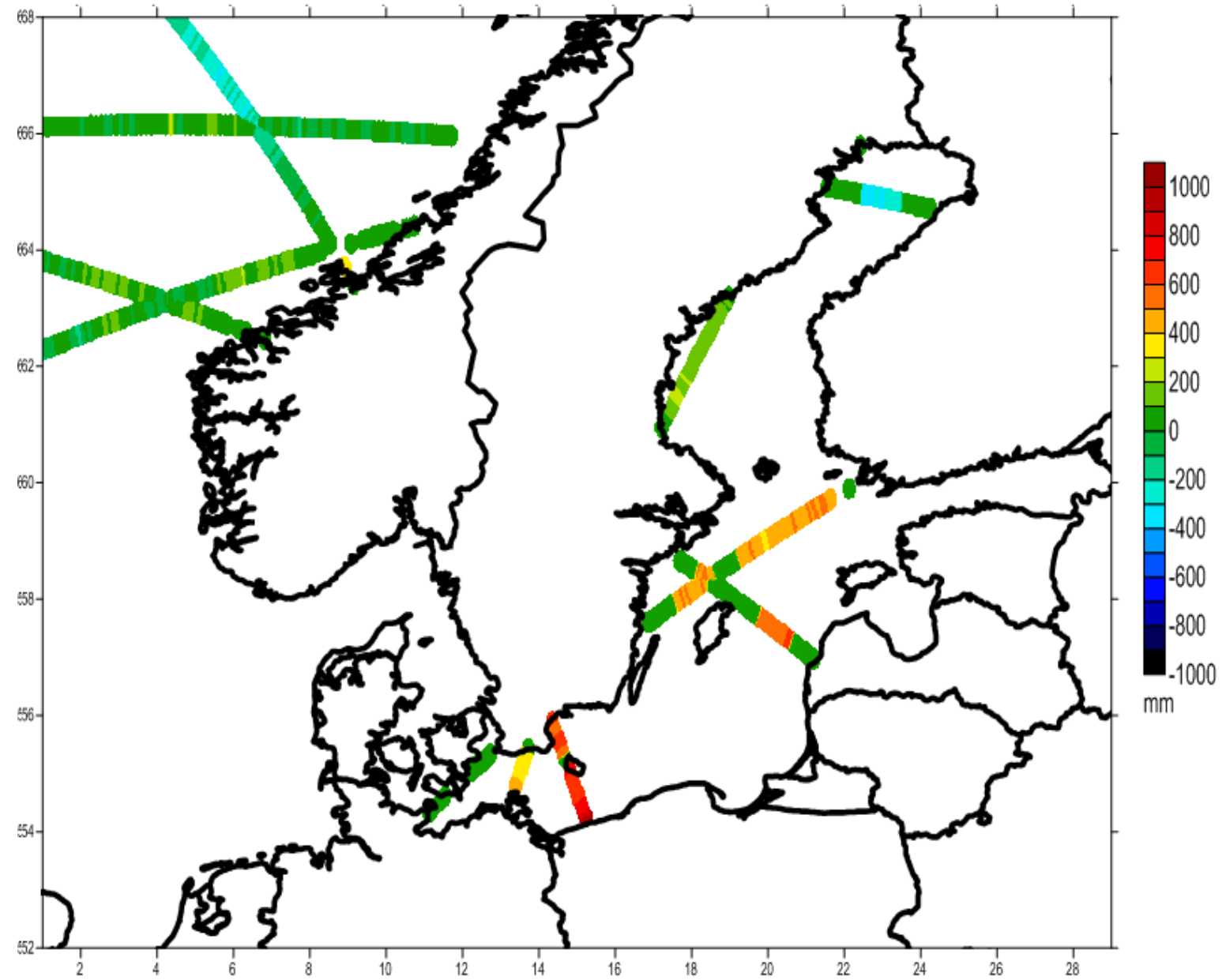
5.12.2013 **wysokość fal znacznych** na podstawie danych z
wysokościomierzy satelitarnych Jason-2, Saral/Altika.

5.12.2013



5-7.12.2013 **anomalia wysokości morza** na podstawie danych z
wysokościomierzy satelitarnych Jason-2, Saral/Altika.

7.12.2013



Axel 3-7.01.2017

Przemieszczający się nad Niemcami niż Axel powoduje przede wszystkim w ich wschodniej i południowej części intensywne opady śniegu i krup o charakterze nawałnic - ostrzega Niemiecka Służba Meteorologiczna (DWD). **Na Bałtyku żywioł spiętrzył wody morskie powyżej normalnego poziomu o 1,4 metra**, a w Wismarze i Lubece nawet o ponad 1,5 metra.

Z powodu silnego wiatru północnego w woj. pomorskim **przekroczone są stany alarmowe wód Bałtyku i rzek na Żuławach**; bez prądu jest ponad 2,6 tys. gospodarstw domowych, strażacy interweniowali ponad sto razy - podało Wojewódzkie Centrum Zarządzania Kryzysowego w Gdańsku.

W wyniku cofki doszło na Żuławach do niegroźnych podtopień, drogi w okolicy zabezpieczone są workami z piaskiem i rękawami wodnymi - to z kolei dane z Centrum Zarządzania Kryzysowego w Olsztynie. Bez prądu w warmińsko-mazurskim jest rano 5,5 tys. gospodarstw.

W województwie pomorskim z powodu silnego wiatru **przekroczone są stany alarmowe wód Bałtyku w niektórych miejscach nawet o około pół metra**, a rzek żuławskich: Świętej w Nowym Dworze Gdańskim o 58 cm, Szkarpawy w Tujsku o 65 cm.

W środę wieczorem w Ustce **stan alarmowy Bałtyku** był przekroczony o około 40 cm, a **woda wdarła się na bulwar portowy**. Stan alarmowy Bałtyku jest przekroczony we Władysławowie (48 cm), Helu (o 29 cm), Gdyni (o 34 cm), Gdańsku, porcie Północnym (o 36 cm) i w Sobieszewie (o 44 cm).

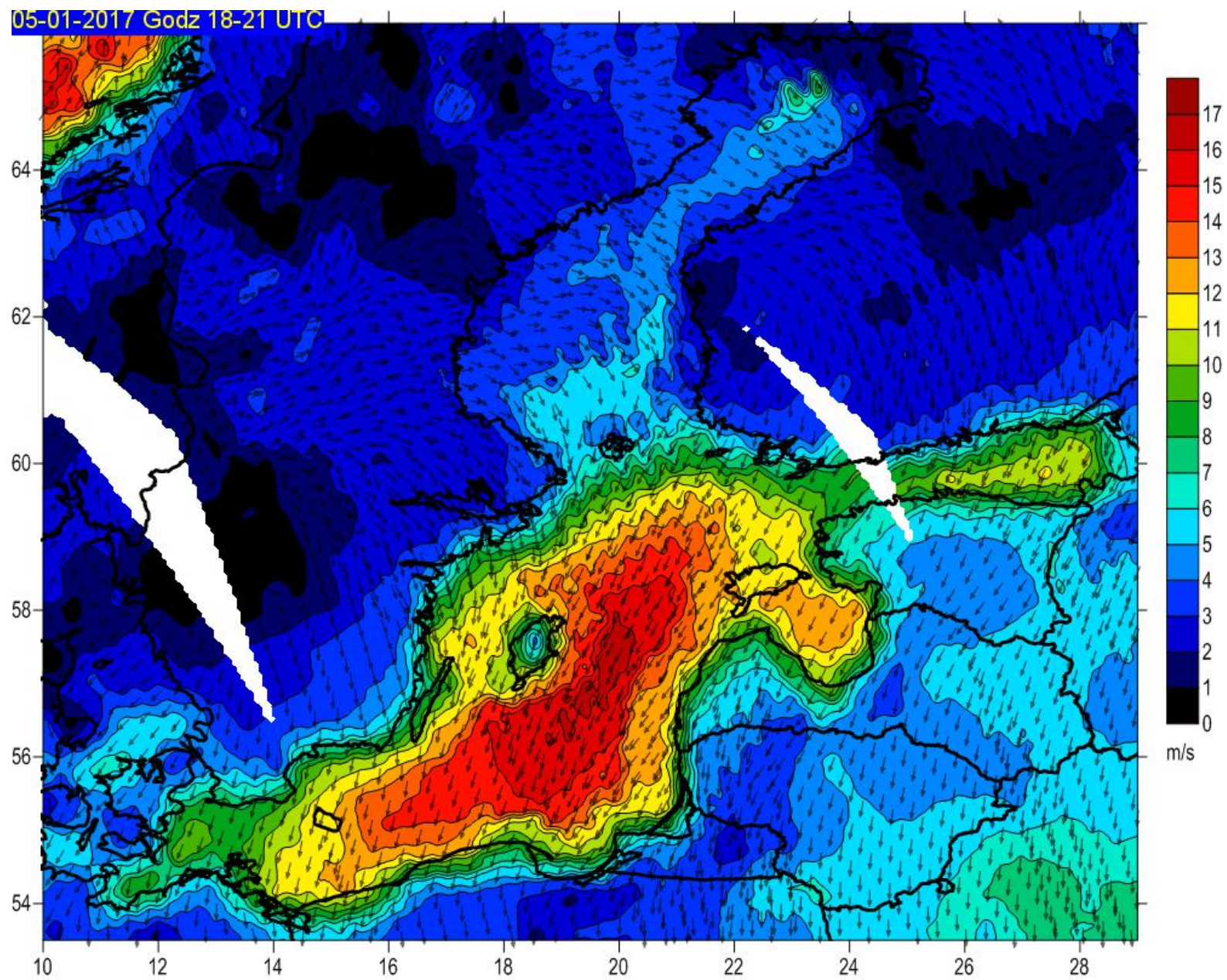


Shutterstock / CARSTEN KOALL

Kołobrzeg Fot. Michał Świdorski

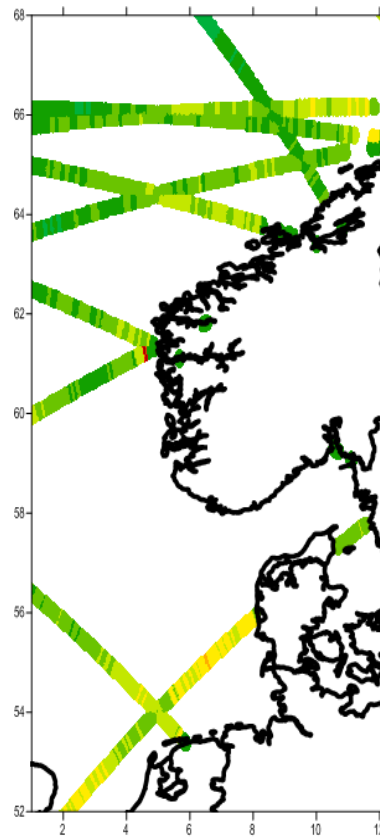
Wind speed and direction over Baltic Sea based on ASCAT/Metop data

5.01.2017 PM



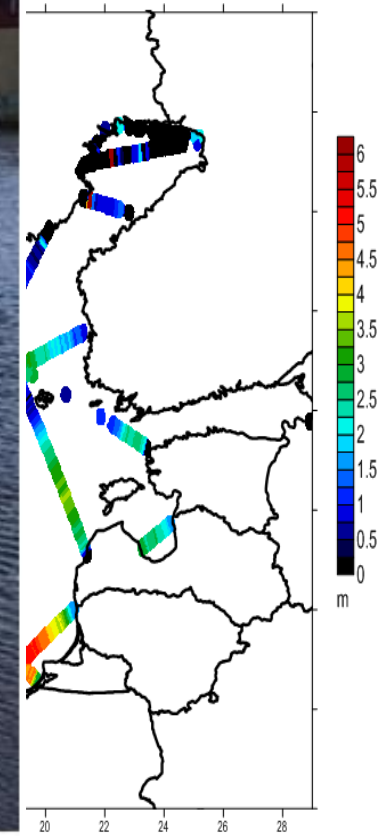
5.01.2017 - Axel Low – Storm on Baltic Sea

Anomalia wy-
morza na po-
wysokościon
Jason-2, Jas
Sentenel-3A



na

rnnych:
tika,



Grzegorz 26-29.10.2017

Orkan Grzegorz w Polsce.

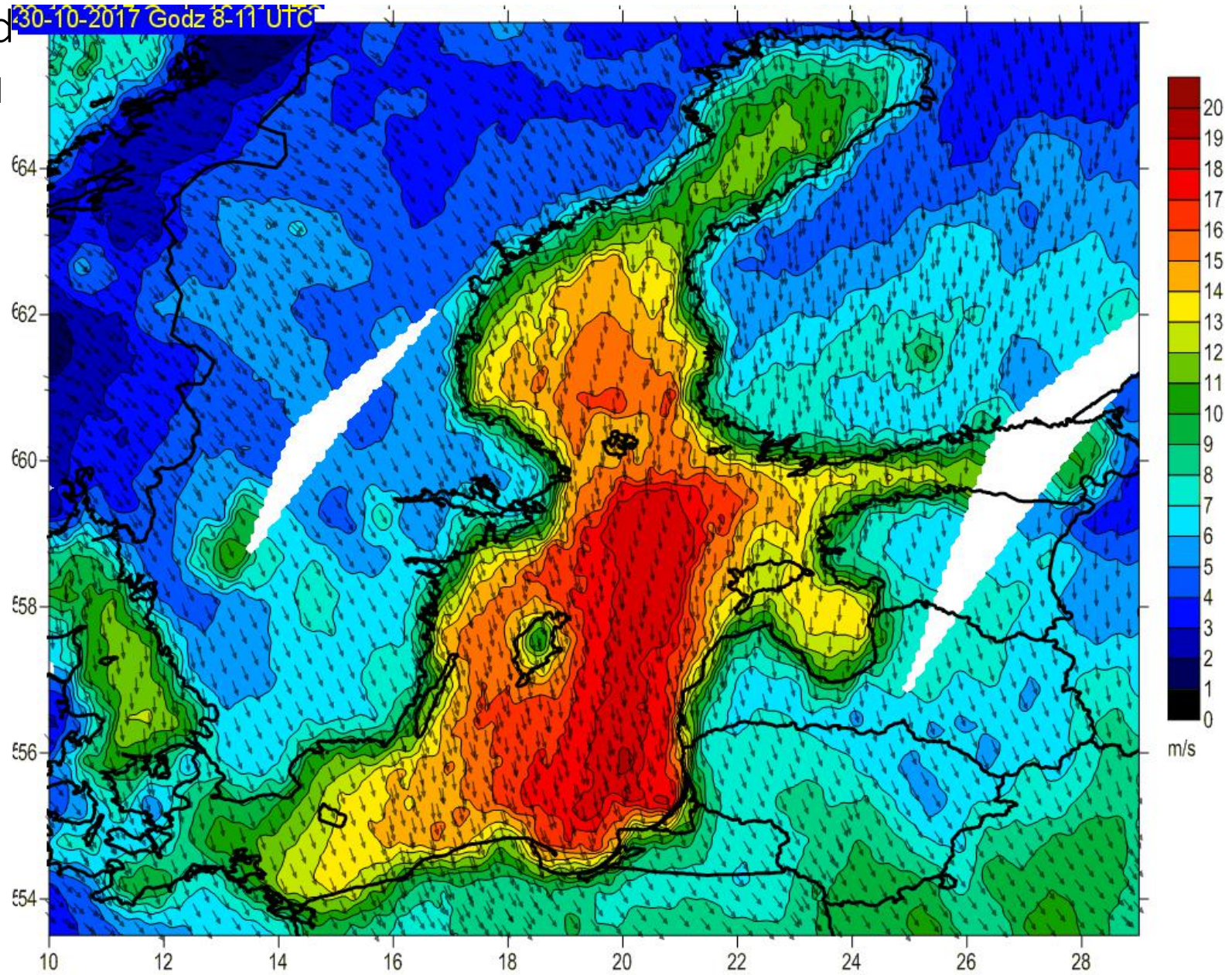
IMGW wydało ostrzeżenia dla wszystkich województw. W całej zachodniej Polsce i na Pomorzu prognozowany jest bardzo silny wiatr - wydano ostrzeżenie 2 stopnia. W województwach nadmorskich dodatkowo wydano ostrzeżenie hydrologiczne 3 stopnia. Najgorzej może być na Żuławach i nad Zalewem Wiślanym. Porywy wiatru od 55 km/h na północnym wschodzie Polski do 110 km/h na zachodzie i nad morzem.



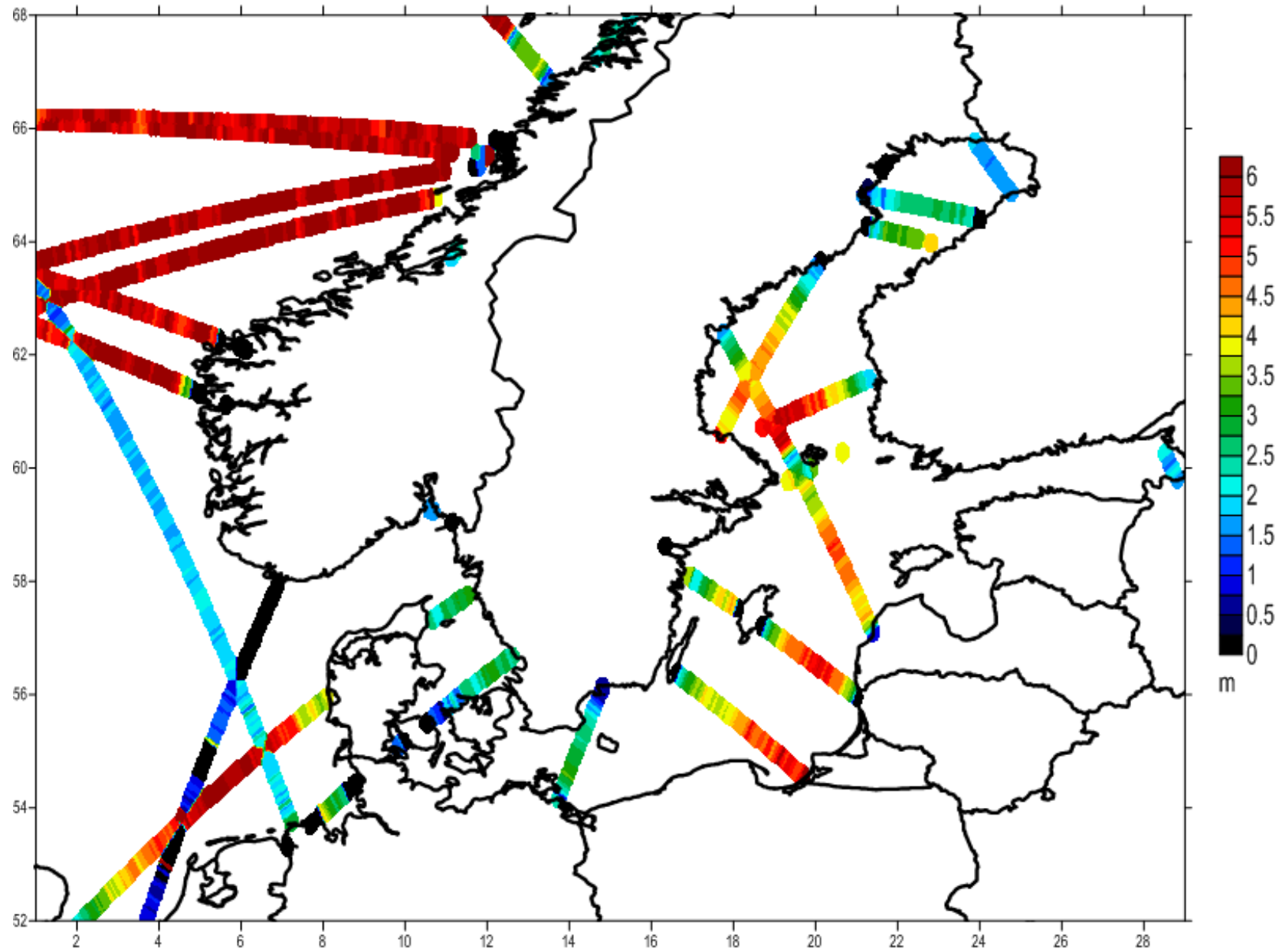


Fot. Tomasz Bolt

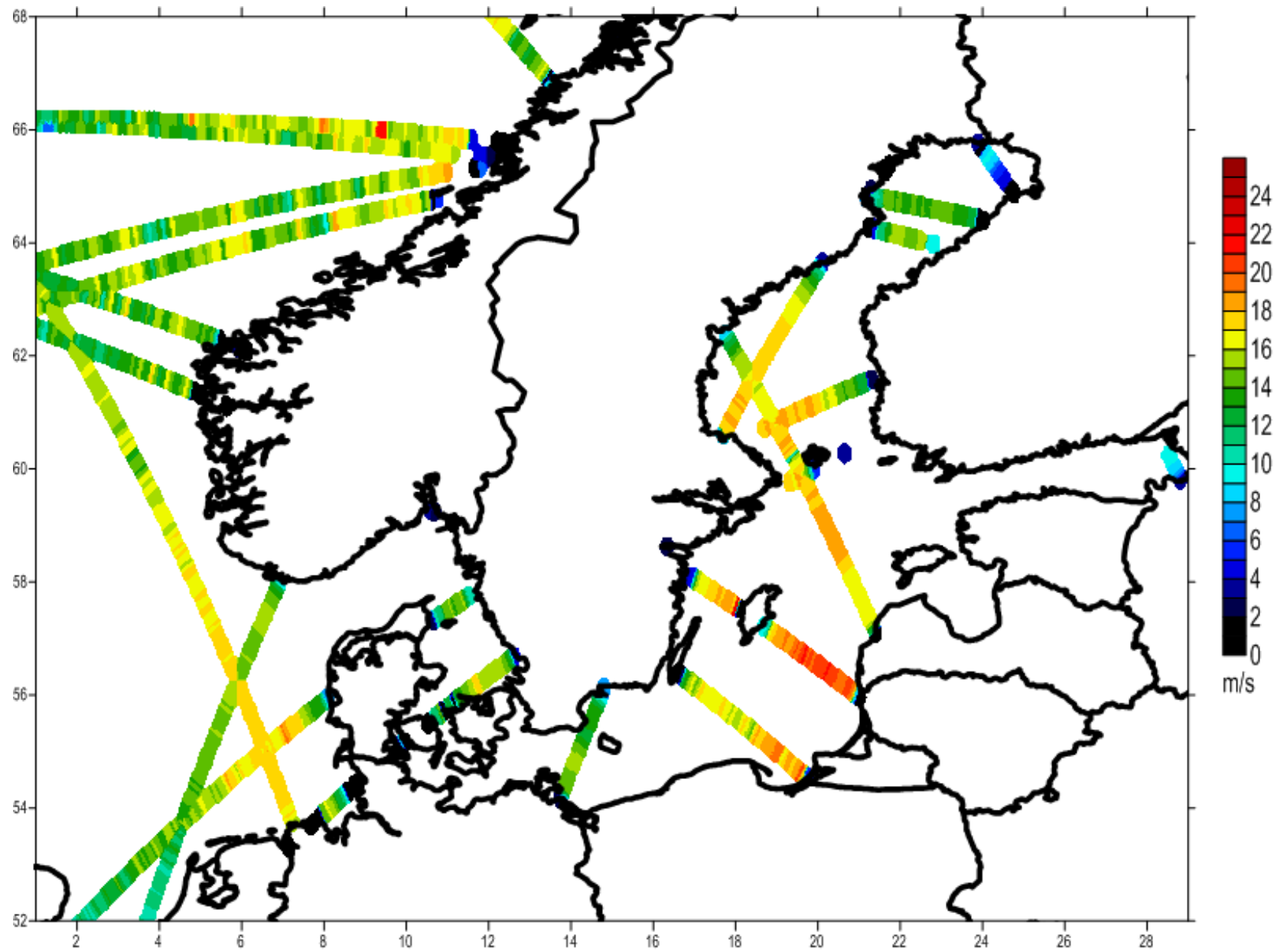
Pole wiatru na podłożu
30.10.2017 AM



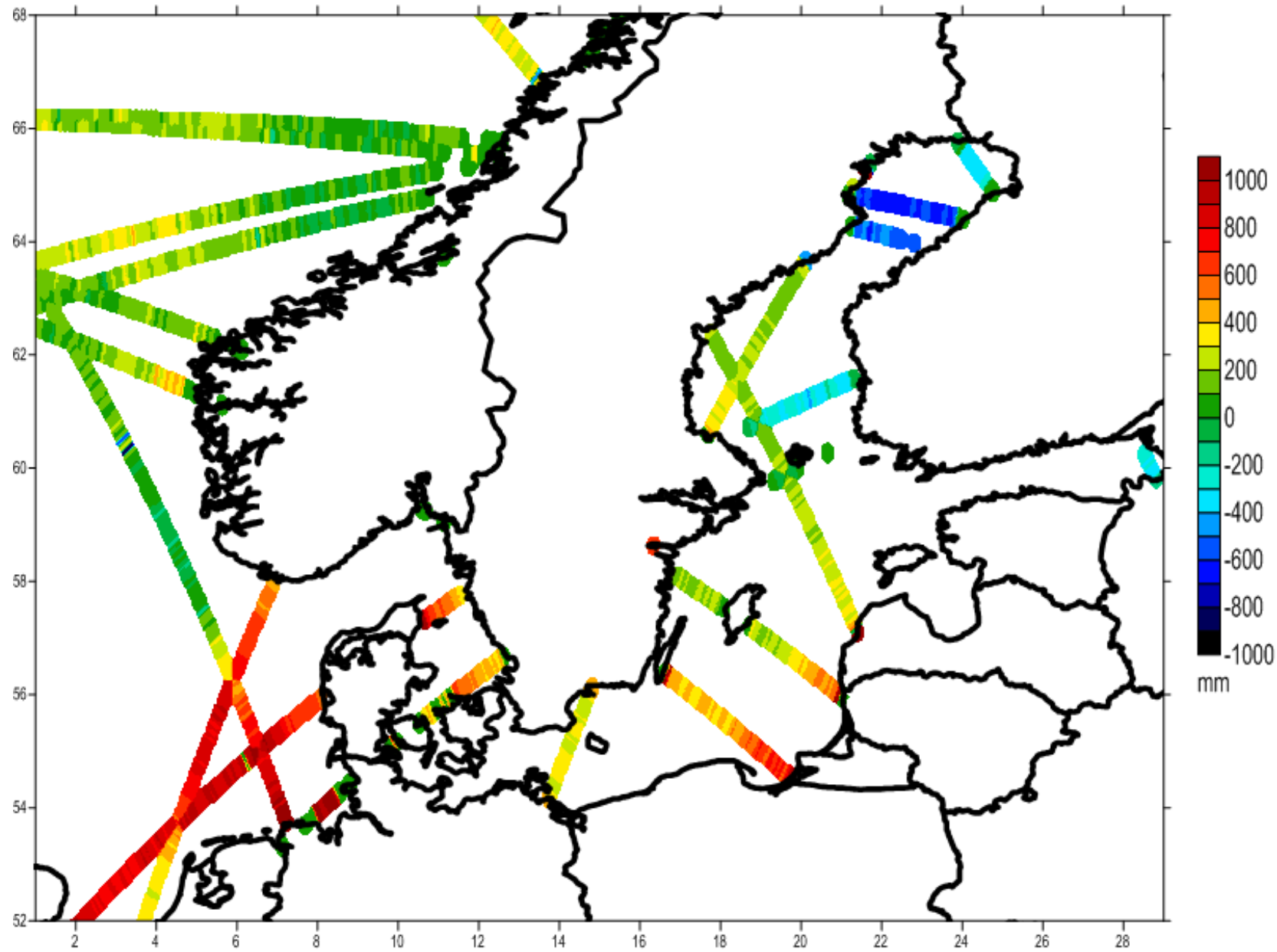
29.10.2017 **Wysokość fal znacznych** na podstawie danych z
wysokościomierzy satelitarnych Jason-2, Jason-3, Saral/Altika,
Sentinel-3A



29.10.2017 **prędkość wiatru** na podstawie danych z
wysokościomierzy satelitarnych Jason-2, Jason-3, Saral/Altika,
Sentinel-3A



29.10.2017 **anomalia wysokości morza** na podstawie danych z
wysokościomierzy satelitarnych Jason-2, Jason-3, Saral/Altika,
Sentinel-3A



Możliwości wykorzystanie danych z z aktywnych przyrządów mikrofalowych satelitów serii Sentinel

Sentinel-1A i 1B – przyrząd SAR (Synthetic Aperture Radar)

Sentinel 3A i 3B - wysokościomierz radarowy SRAL.

Możliwe zastosowania „morskie” (bez względu na pogodę !):

- Detekcja zlodzenia na morzu, zbiornikach śródlądowych i większych rzekach.
- Detekcja zanieczyszczeń ropopochodnych na morzu.
- Detekcja statków.
- Siła wiatru na morzu.
- Obszary zalewowe podczas powodzi w rejonie wybrzeża.



Fundusze Europejskie
Polska Cyfrowa



Unia Europejska
Europejski Fundusz
Rozwoju Regionalnego



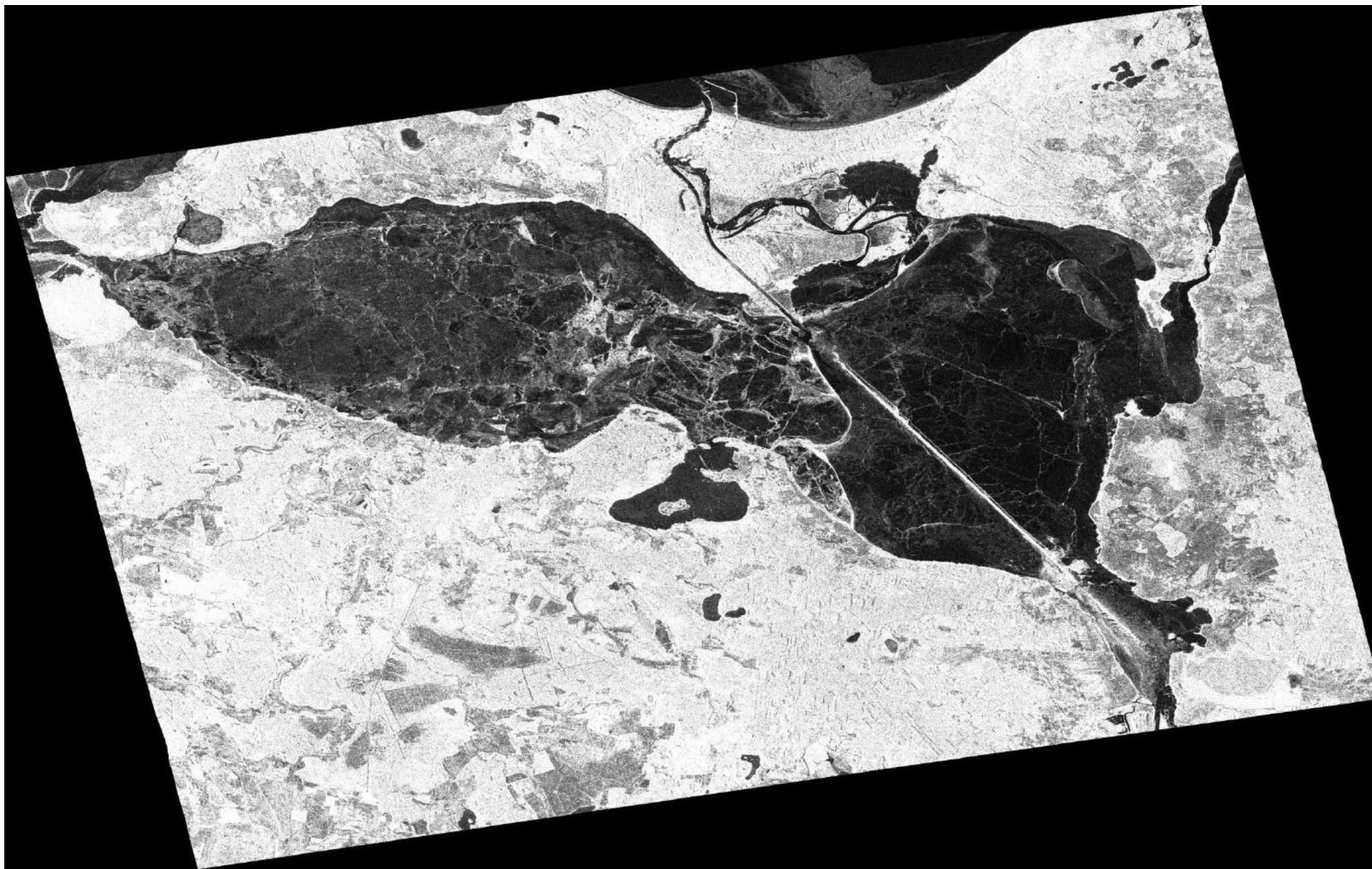
Sentinel-1 SAR

Dostępne dane:

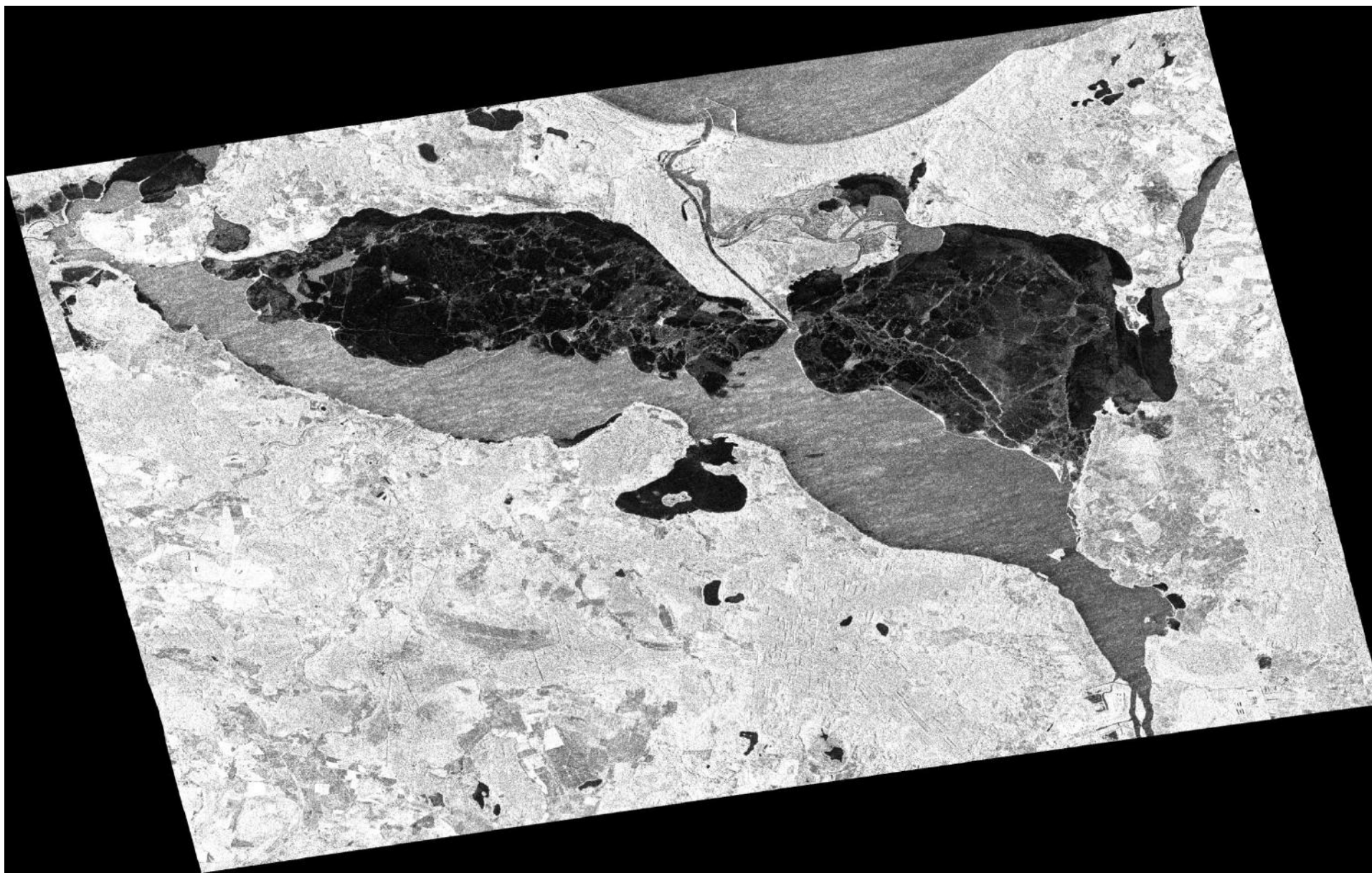
- RAW – surowe dane dostępne ok. 2 godz. po rejestracji.
- GRDH: dale L1b, dostępne ok. 2-3 godz. po rejestracji, piksel 20x22m, odstęp między pikselami 10m, pas 250 km
- SLC: - dale L1b, dostępne ok. 4 godz. po rejestracji, piksel 5x22m, odstęp między pikselami 10m, pas 250 km.
- GRDM: dane w trybie szerokiego skanowania 400 km (bardzo rzadko stosowany tryb), dostępne ok. 6 godz. po rejestracji, piksel 88x87m, odstęp między pikselami 40m

Teoretycznie mogą być dostępne dane w trybie Strip Mode. Wtedy w przypadku danych SLC rozdzielczość wynosi ok. 5x5m, pas 80 km.

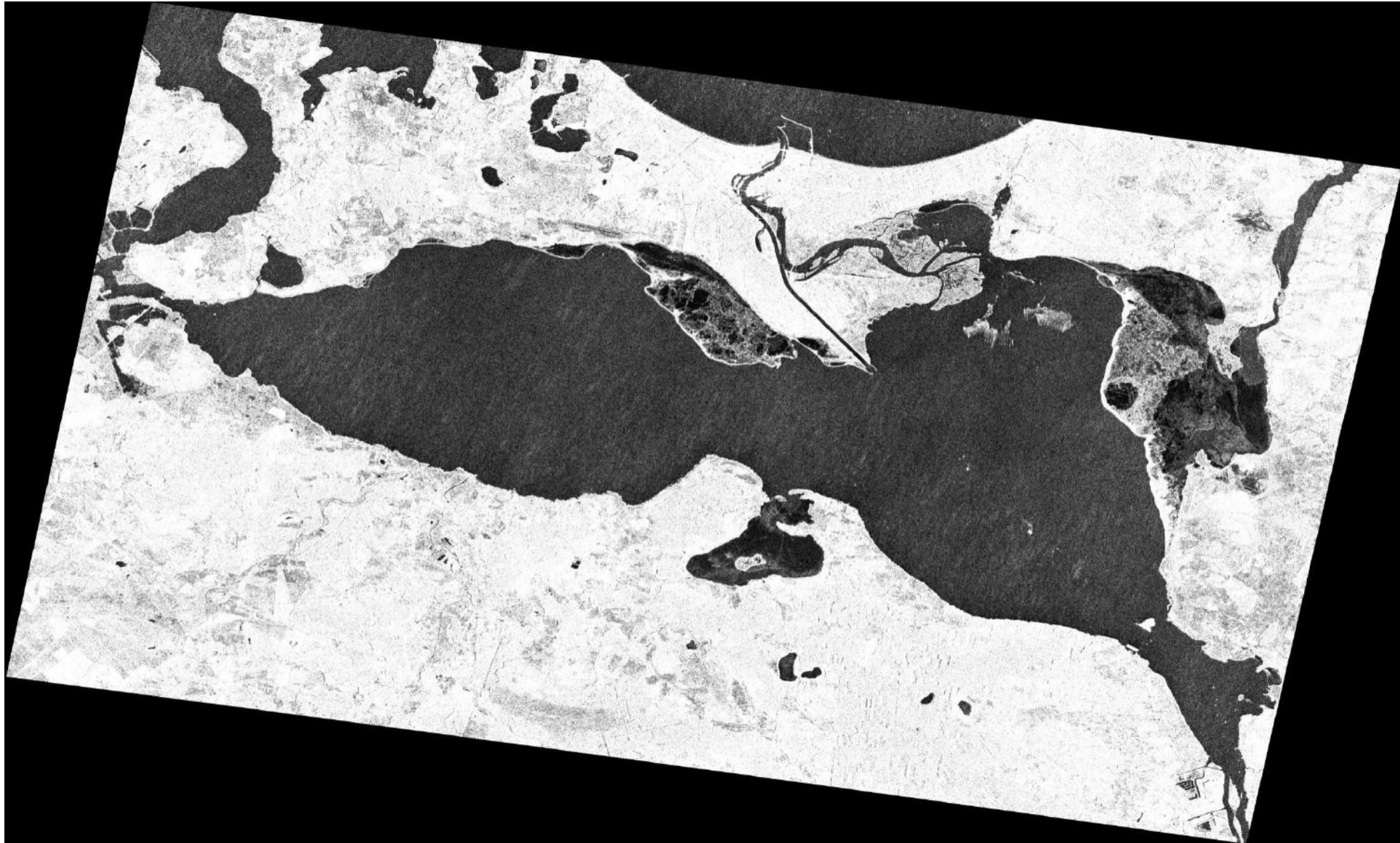
Sentinel-1 SAR 14.02.2017 kanał VV



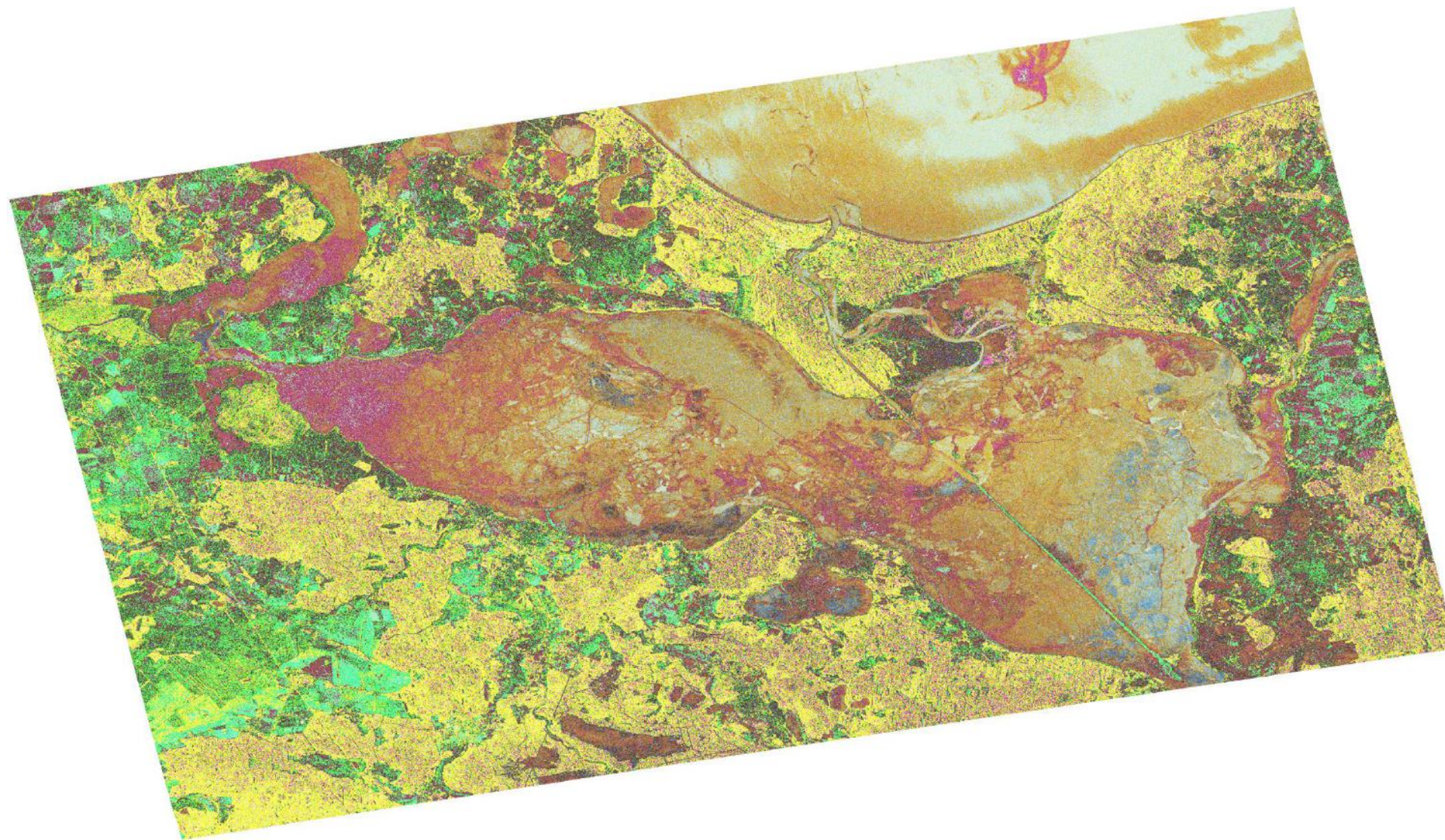
Sentinel-1 SAR 20.02.2017 kanał VV



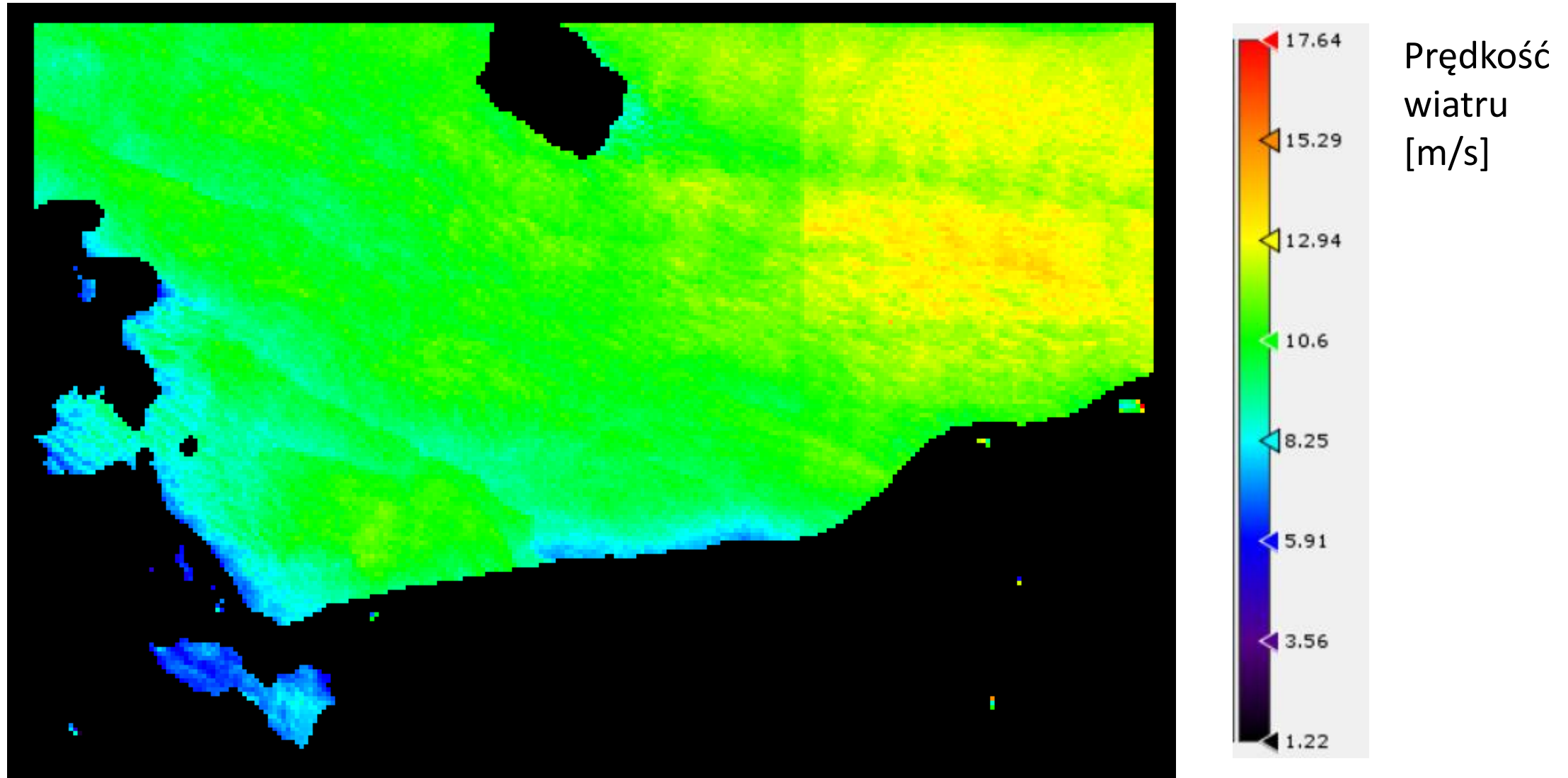
Sentinel-1 SAR 22.02.2017 kanał VV



Sentinel-1 SAR kompozycja barwna RGB (VH-VV-VH/VV)
5.03.2018 16:44 UTC

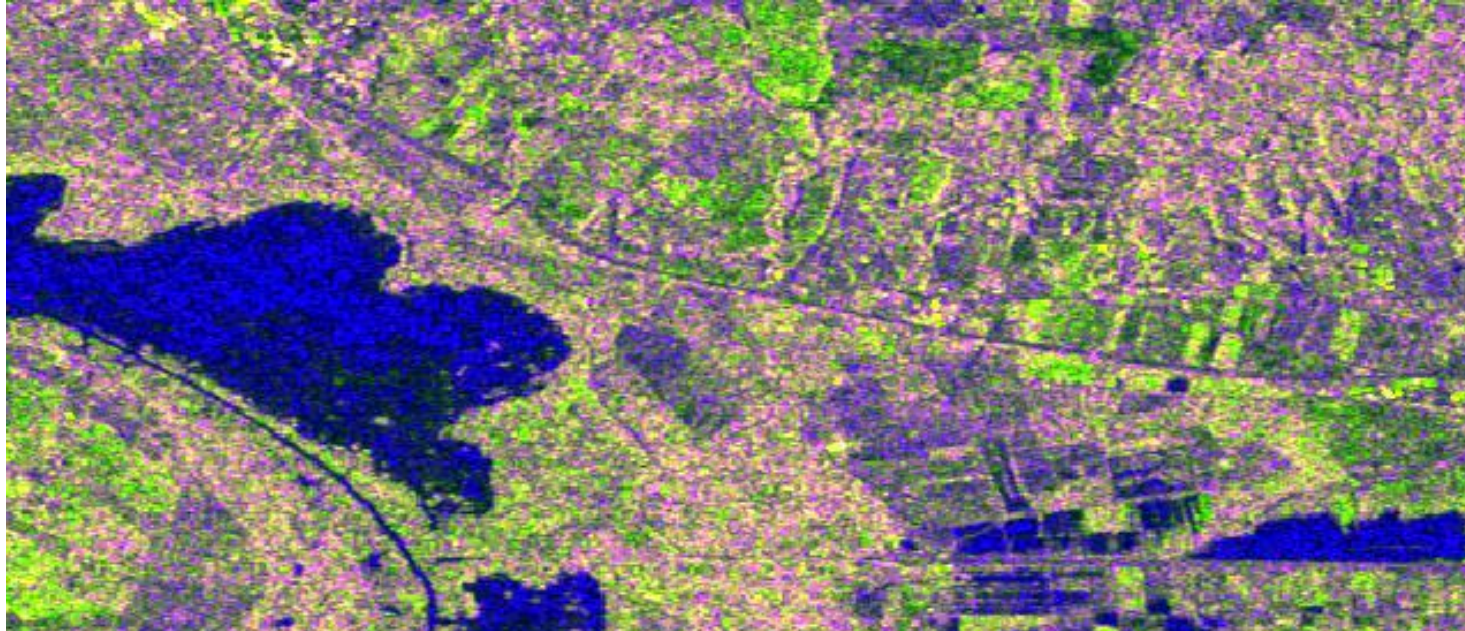


Sentinel-1 OCeaN (OCN) produkt - ocena prędkości i kierunku wiatru na wysokości 10 m ponad powierzchnią, na podstawie danych Level-1 GRD, rozdzielczość pozioma 500-1000m.



20.09.2017

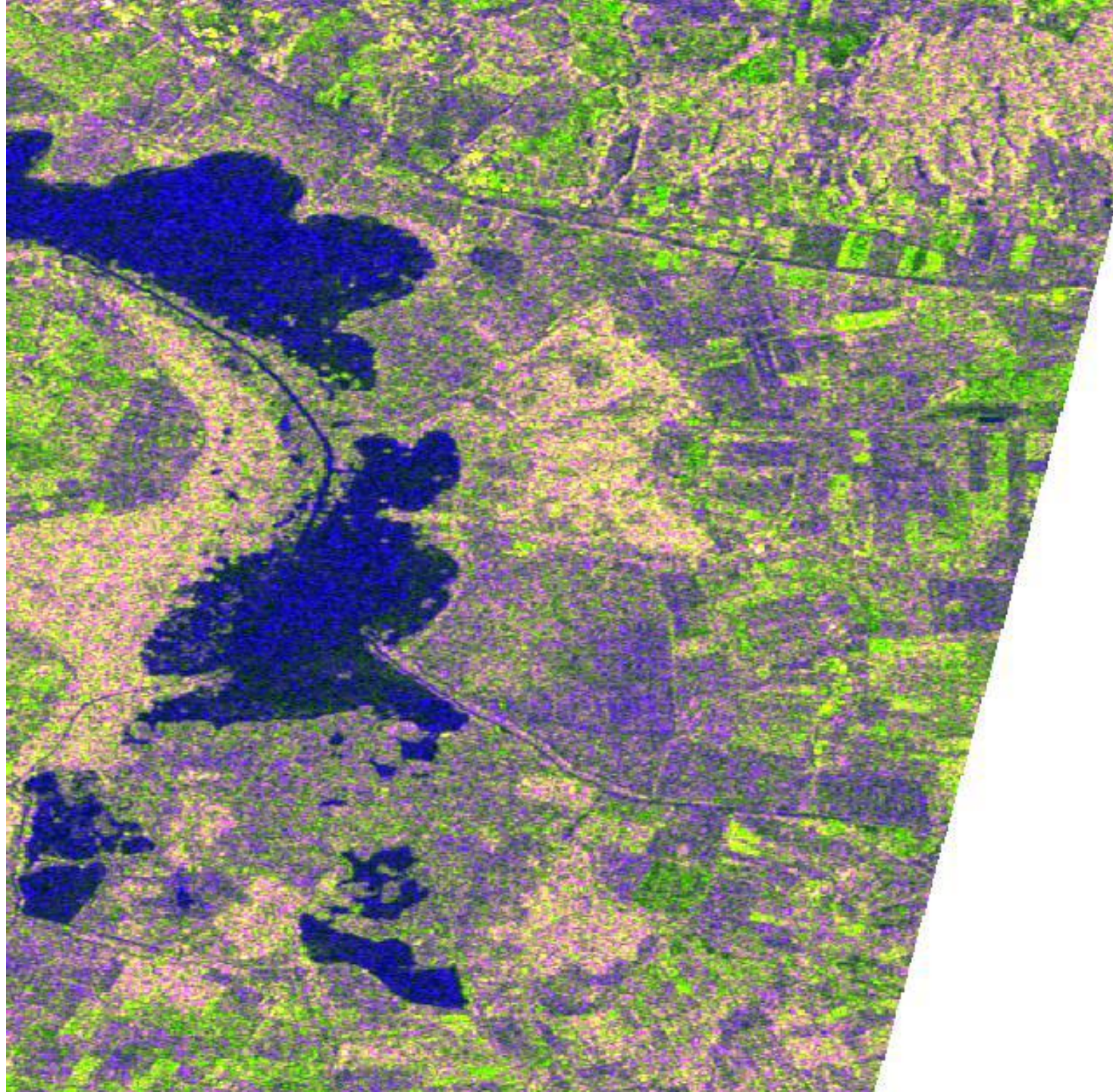
Fragment Żuław



Elblag24.pl

17.10.2017

Fragment Żuław





Wycieki substancji ropopochodnych na Morzu Północnym

PODSUMOWANIE

Skatterometry znajdują szerokie zastosowanie zarówno w środowisku morskim jak i lądowym w aspekcie zagrożeń meteorologicznych i hydrologicznych.

Globalne, regionalne, cykliczne procesy zachodzące w środowisku morskim mają niezwykle ważny wpływ na zmiany klimatu, wysokościomierze radarowe zachowują ciągłość obserwacji od ok. 20 lat.

Dane z przyrządów satelitarnych charakteryzujące aktualny stan morza są bezcenne – brak innych możliwości pomiaru

Wstępnie przedstawiono zagadnienia dotyczące wykorzystania przyrządów typu SAR, a stanowią one coraz ważniejsze narzędzie dla hydrologii, zarówno morskiej, jak i lądowej.

Dziękuję za uwagę

Piotr Struzik
Instytut Meteorologii i Gospodarki
Wodnej
Państwowy Instytut Badawczy
Dział Teledetekcji Satelitarnej
30-215 Kraków, ul. P. Borowego 14
www.imgw.pl
www.pogodynka.pl



**Fundusze
Europejskie**
Polska Cyfrowa



Unia Europejska
Europejski Fundusz
Rozwoju Regionalnego

