

Satelitarna interferometria radarowa w pomiarach deformacji powierzchni terenu

Zbigniew Perski, Tomasz Wojciechowski i zespół

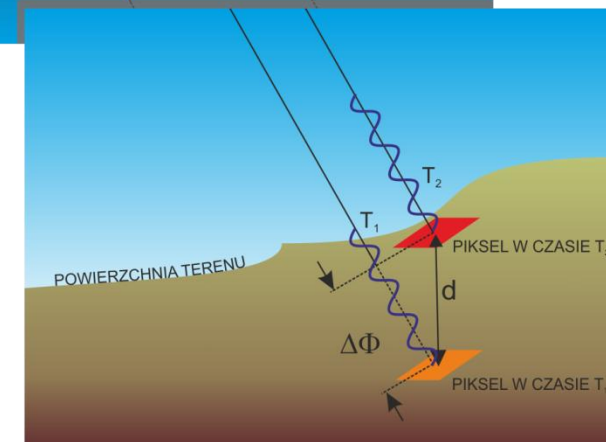
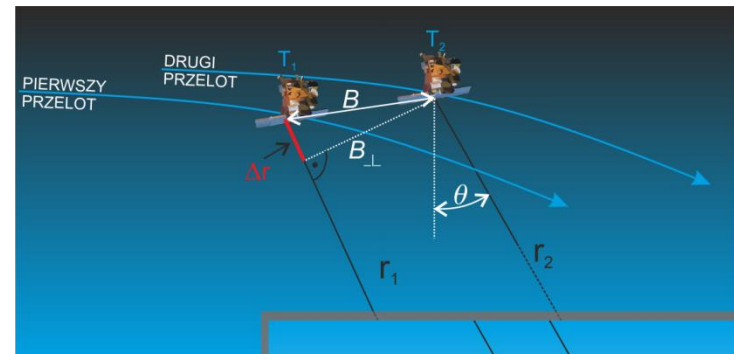
Satelitarna Interferometria Radarowa InSAR

Satelitarna Interferometria Radarowa (InSAR) to metoda wykorzystująca wzajemne przesunięcia (różnice) fazy dwóch zobrażeń SAR samego obiektu.

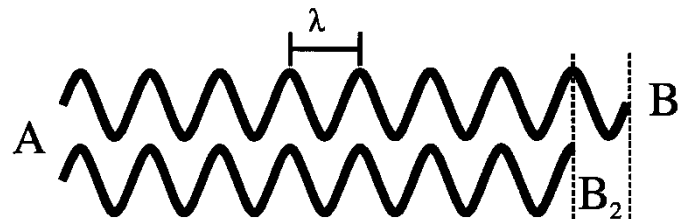
Baza geometryczna – różnica pozycji sensora pomiędzy obserwacjami

Baza czasowa – czas jaki upłynął pomiędzy wykonaniem obserwacji

Koherencja – współczynnik korelacji fazy obrazów SAR



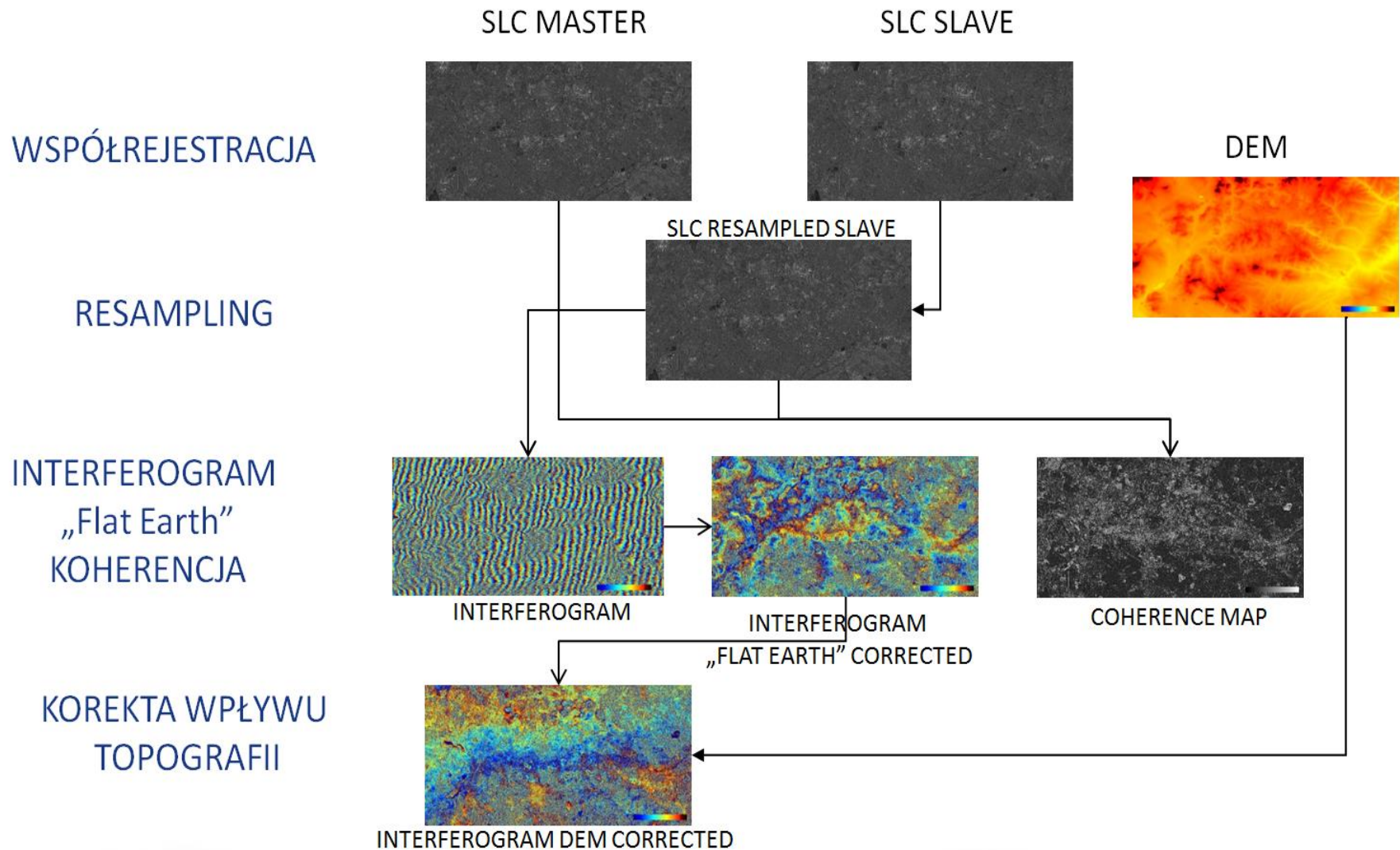
zasada pomiaru fazowego →



$$\begin{aligned}\Delta\phi &= (d/\lambda)2\pi \\ &= (3/4)2\pi \\ &= (3/2)\pi \\ &= 270^\circ\end{aligned}$$

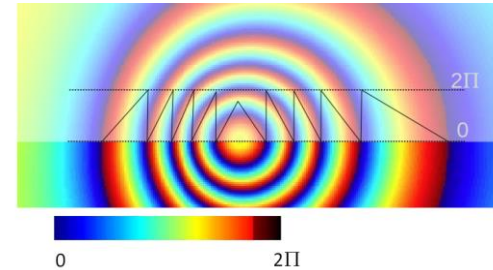


InSAR – przetwarzanie danych



Interferogram

- Faza „zawinięta” w cykle $[-\pi, +\pi]$, liczba cykli nieznana
- Jeden „prążek” to cykl fazy 2π widoczny jako sekwencja barw



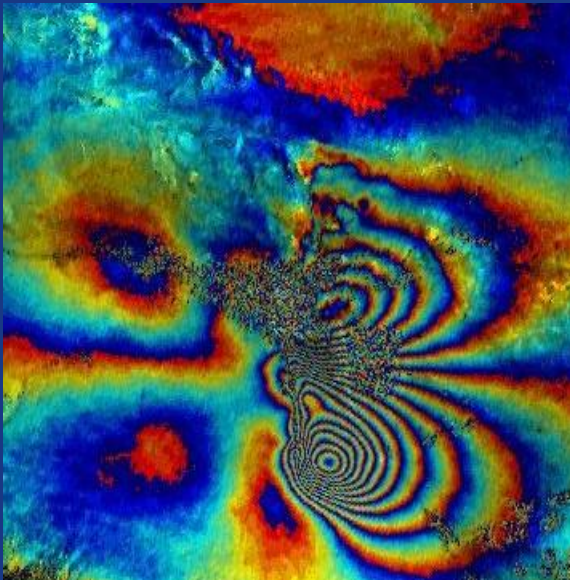
Wynikowa faza jest sumą składowych:

$$\Delta\phi = \Delta\phi_{topo} + \Delta\phi_{diff} + \Delta\phi_{atm} + \Delta\phi_{noise}$$

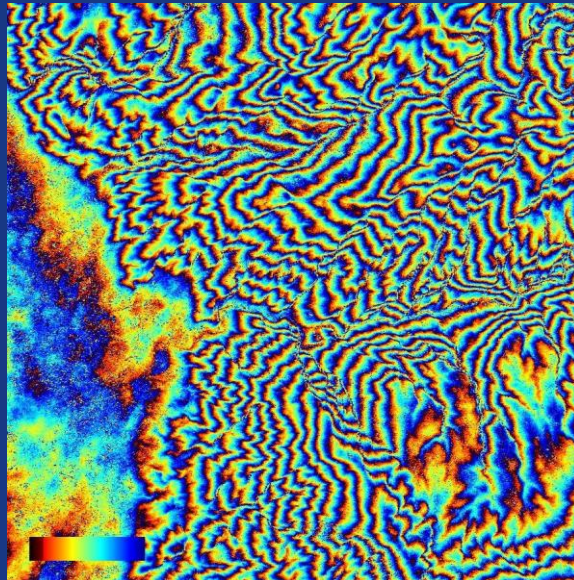
topografii + deformacji + atmosfery + innych błędów (niedokładności orbit, szumy itp.)

SKŁADOWE FAZY

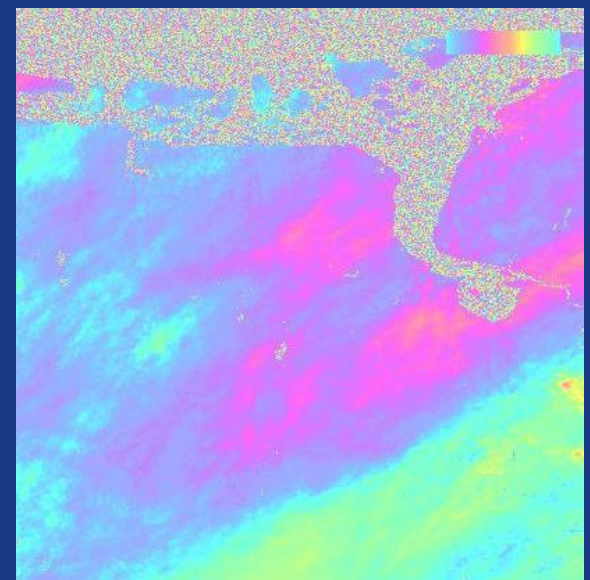
Deformacja



Topografia



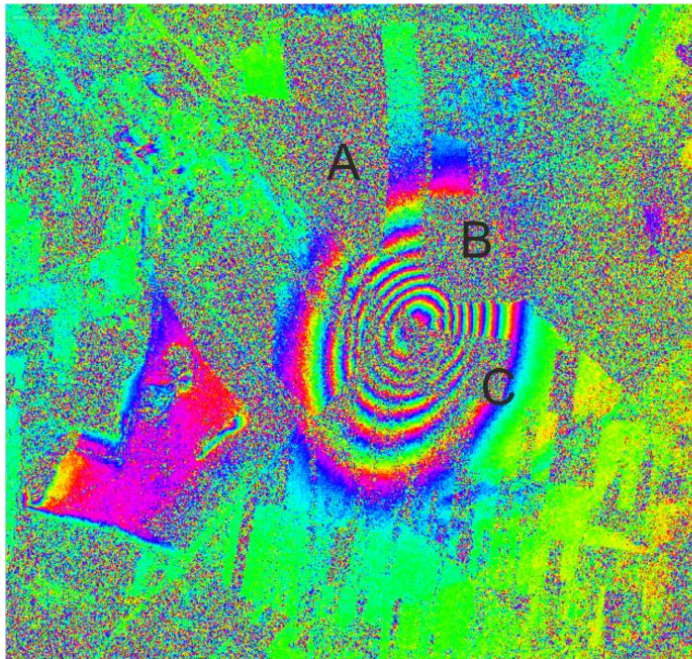
Atmosfera



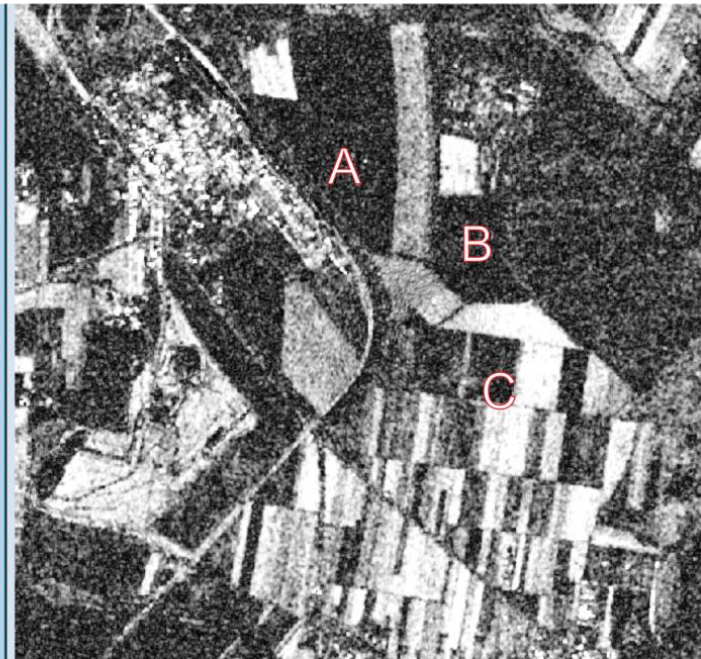
Mapa koherencji

Wielkość koherencji wskazuje zmiany, jakie dokonały się pomiędzy wykonaniem kolejnych rejestracji, a obszary o słabej koherencji (ciemne) wyznaczają miejsca, w których pierwotna faza sygnału została zmieniona przez czynniki zewnętrzne

INTERFEROGRAM



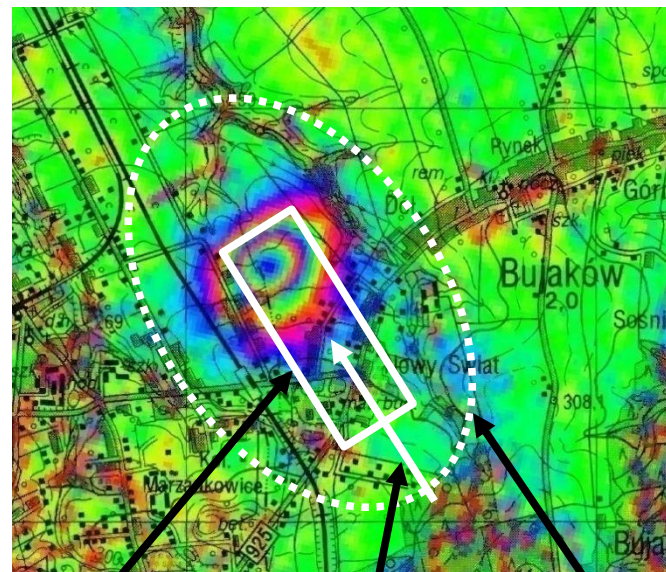
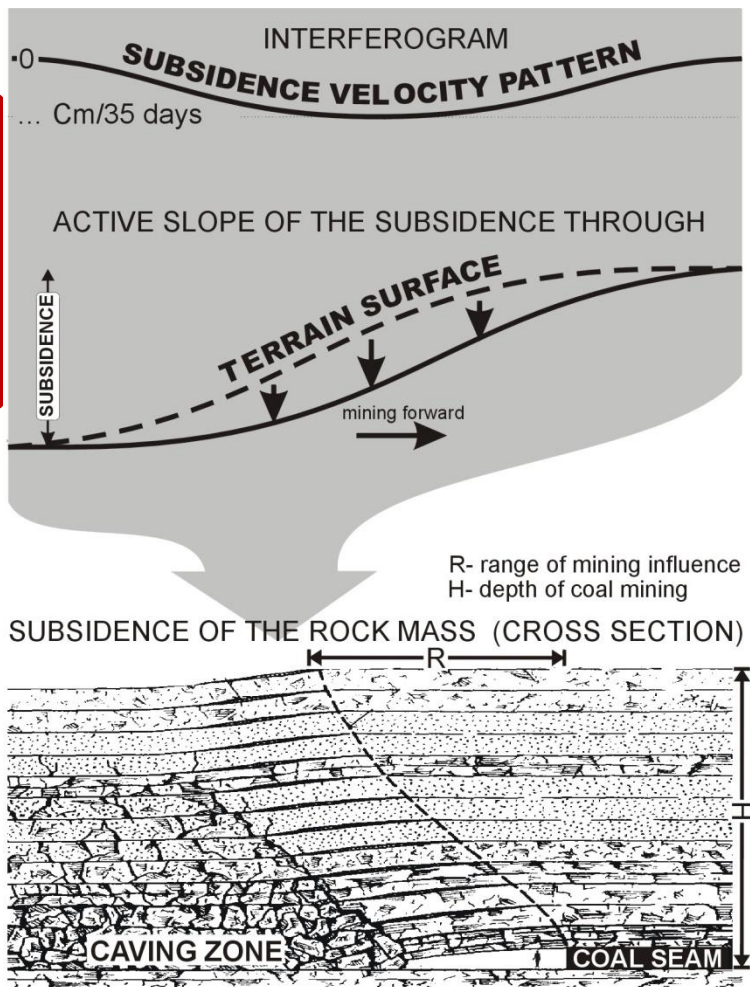
KOHERENCJA



*Interferogram i koherencja dla obszaru górniczego KWK Bogdanka (dane wysokorozdzielcze TerraSAR-X).
Zaszumione obszary A, B, C o niewidocznych prążkach interferometrycznych na interferogramie odpowiadają obszarom o słabej koherencji (ciemne)*

Górnnicze obniżenia terenu na interferogramach

www.pgi.gov.pl



Ściana wydobywcza

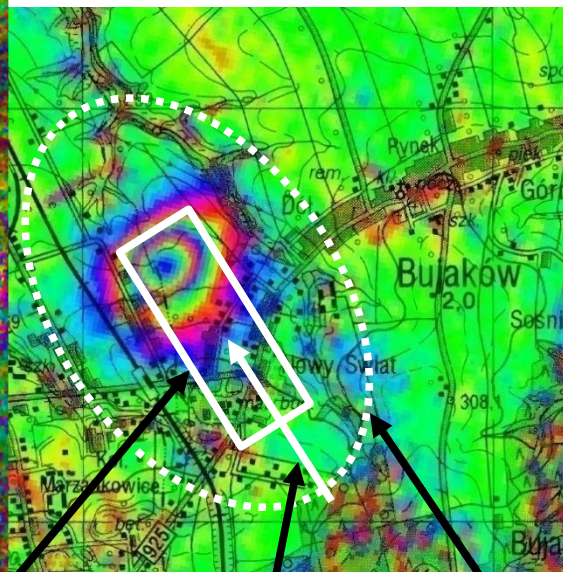
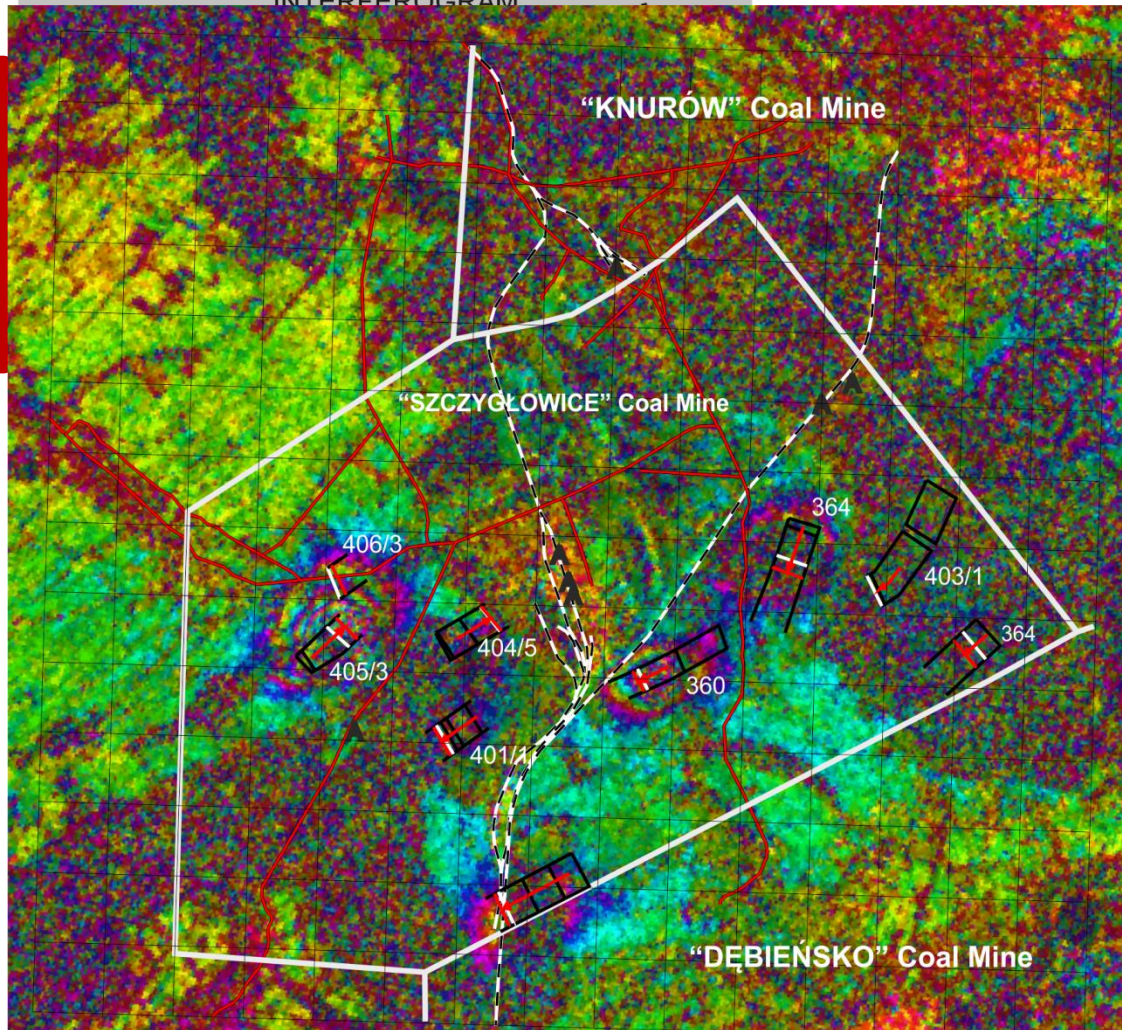
Kierunek wybierania

Zasięg OSTATECZNEJ niecki obniżeniowej po wybraniu całej ściany



Górnnicze obniżenia terenu na interferogramach

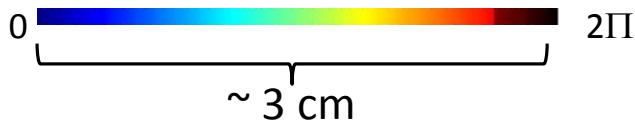
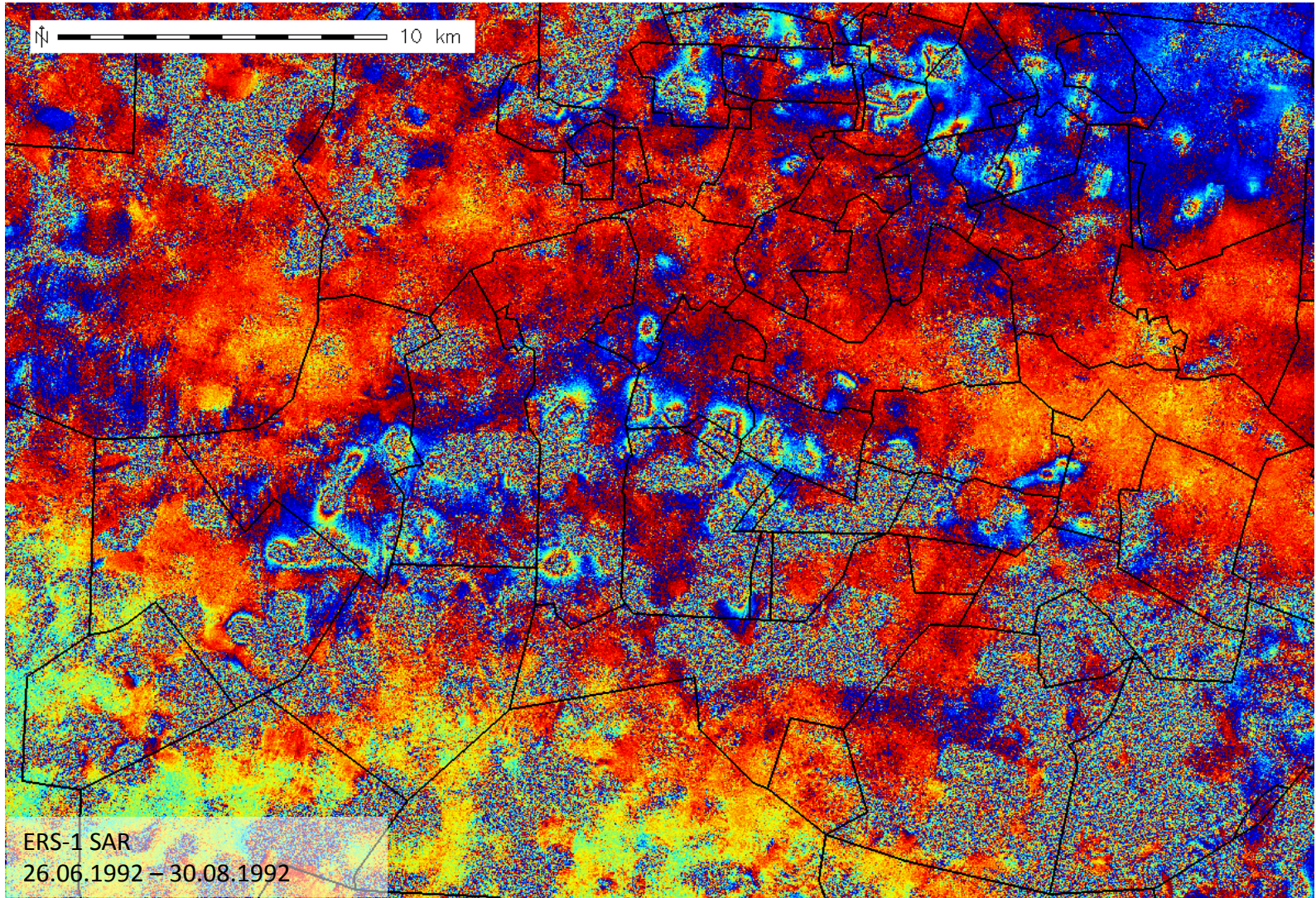
INTERFEROGRAM



...ywcza
...nek wybierania
...OSTATECZNEJ niecki obniżeniowej
...po wybraniu całej ściany

GZW – obraz regionalny

www.pgi.gov.pl



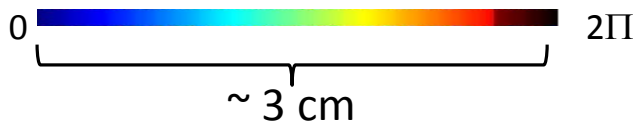
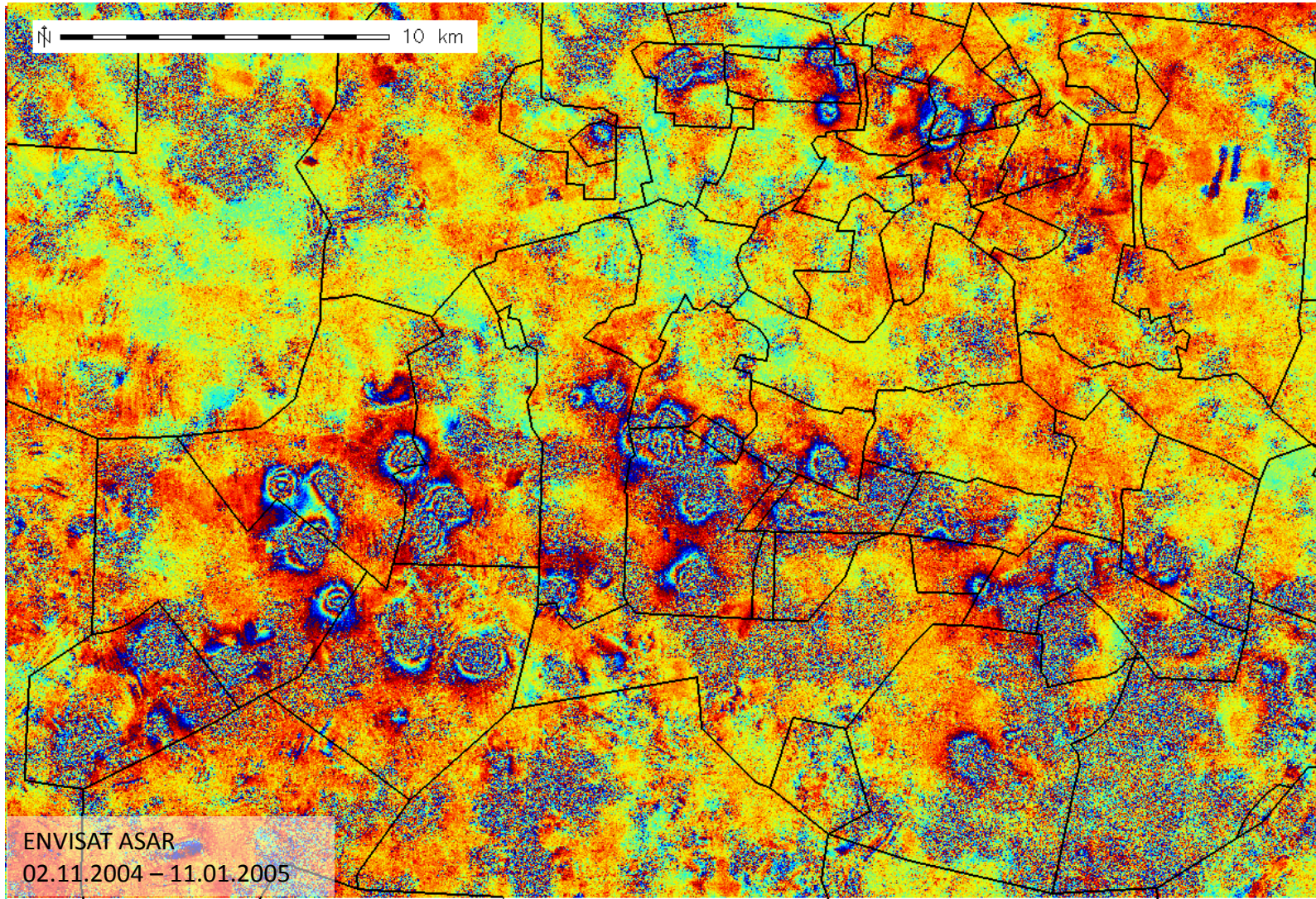
ENVISAT ASAR
02.11.2004 – 11.01.2005



Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy

GZW – obraz regionalny

www.pgi.gov.pl

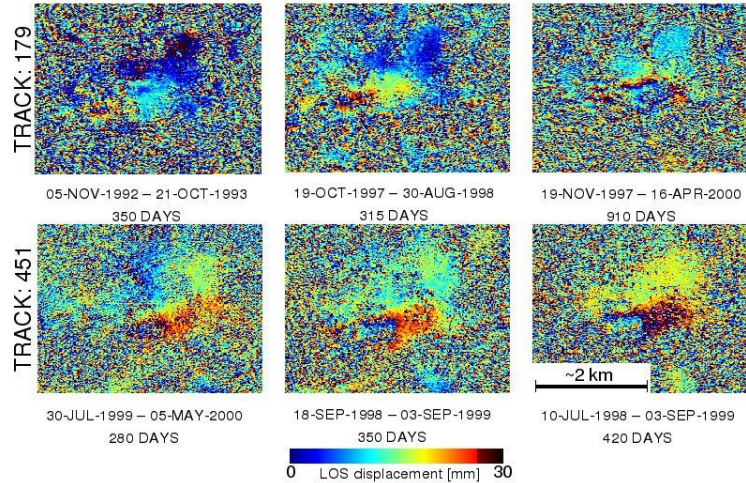


ENVISAT ASAR
02.11.2004 – 11.01.2005

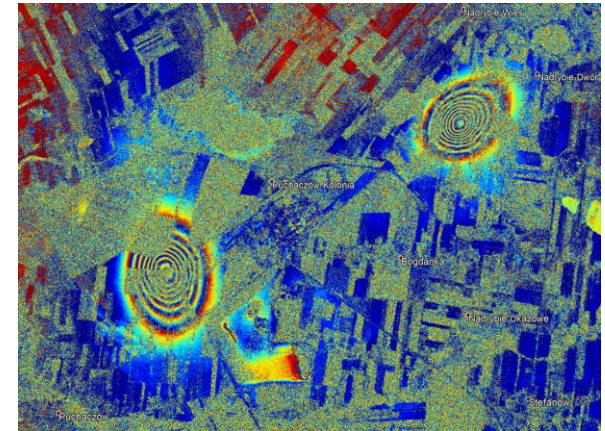


Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy

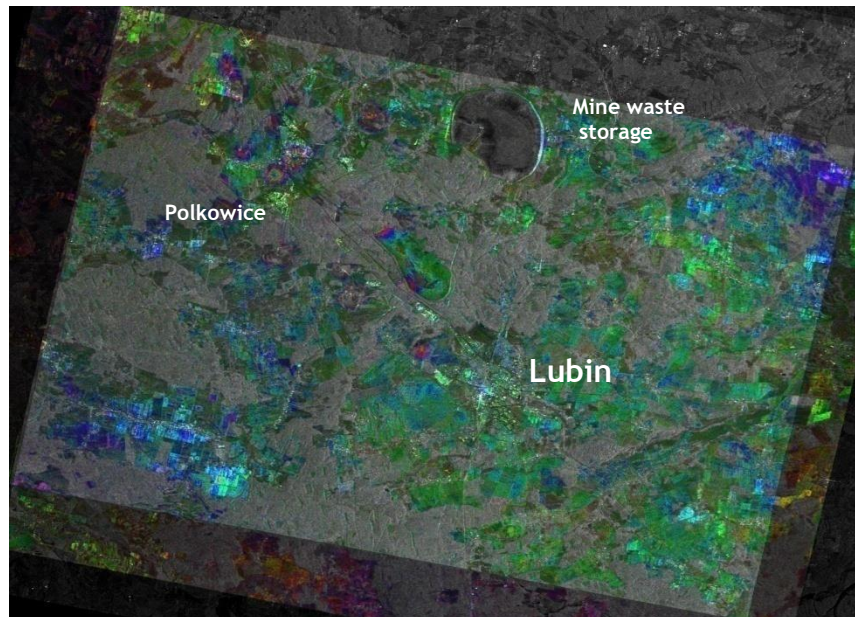
Stosowalność InSAR dla różnych obszarów wydobywczych w Polsce



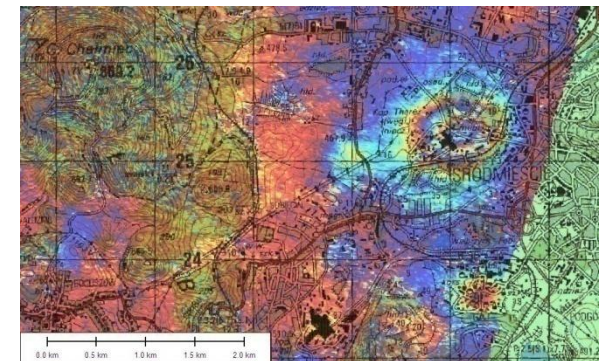
Wieliczka 1992 – 2000 (Perski et. al. 2009)



KWK Bogdanka TerraSAR-X
 (2014.11.02 – 2014.11.13)



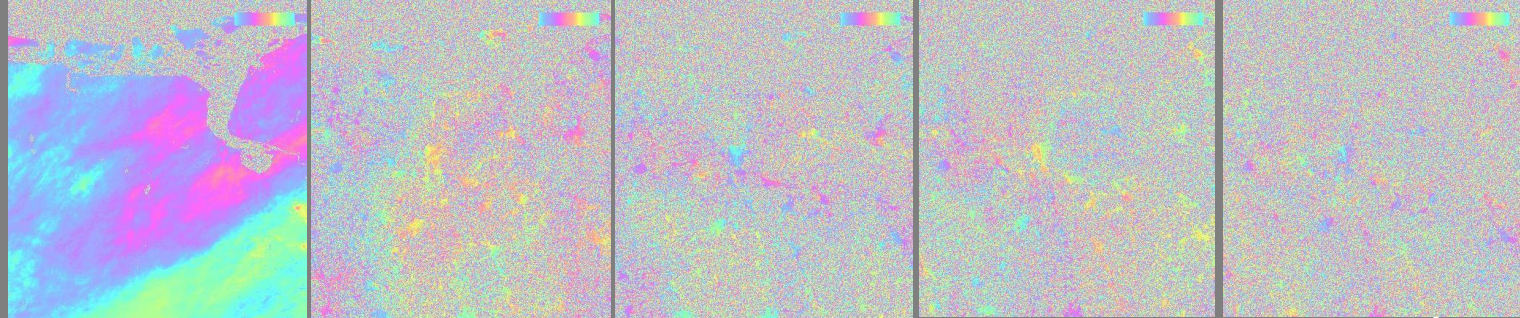
LGOM ERS-1
 10/01/94 - 11/03/94
 (Krawczyk, Perski 2000)



Miasto Wałbrzych baza czasowa 60 dni,
 styczeń-luty 1993, ERS-1 SAR



InSAR - interferogramy



Baza czasowa

1 dzień

1 rok

2 lata

3 lata

6 lat

- Źródła błędów:
 - **Utrata koherencji w czasie**
 - Atmosferyczne opóźnienia propagacji sygnału
 - Dekorelacja geometryczna
- Ograniczenia stosowalności metody:
 - Małe przyrosty deformacji w czasie ~ 1 cm/rok
- Wrażliwość na źródła błędów (szata roślinna, atmosfera)
- **ROZWIĄZANIE:**
 - **Metody WIELOCZASOWE (analizy serii interferogramów)!**

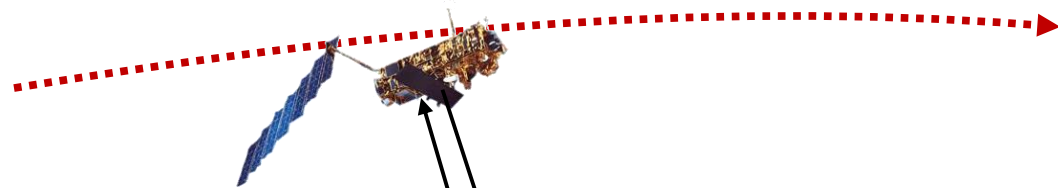


PSI: rozpraszacz stabilny (PS)

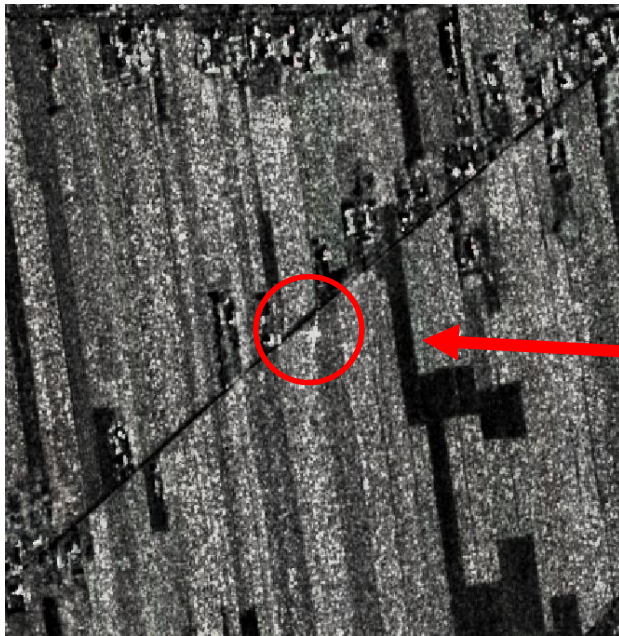
• **Obiekt fizyczny charakteryzujący się bardzo wysokim rozpraszaniem wstecznym którego amplituda jest dominująca dla wartości piksela**

• Dla obiektów tego typu, obie składowe sygnału: faza i amplituda wykazują bardzo wysoką stabilność w czasie (dla kolejnych obserwacji).

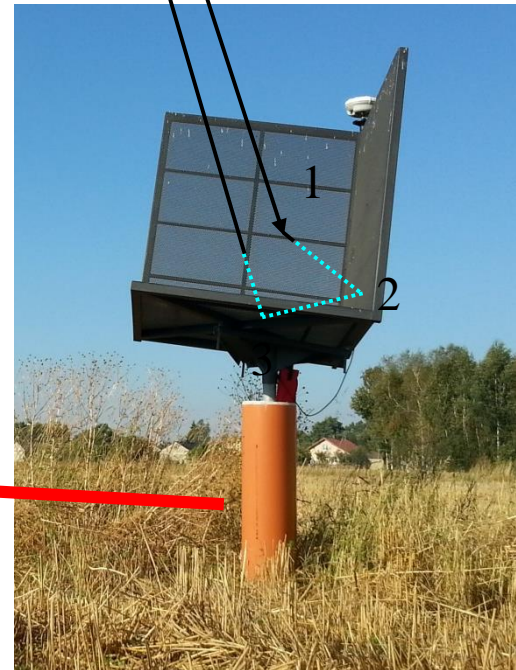
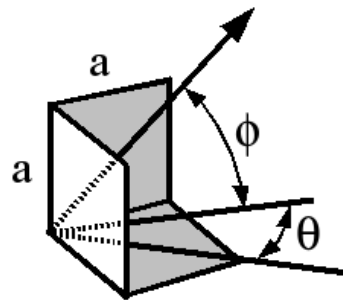
coherent target, coherent scatterer, PS: persistent scatterer, permanent scatterer



www.pgi.gov.pl



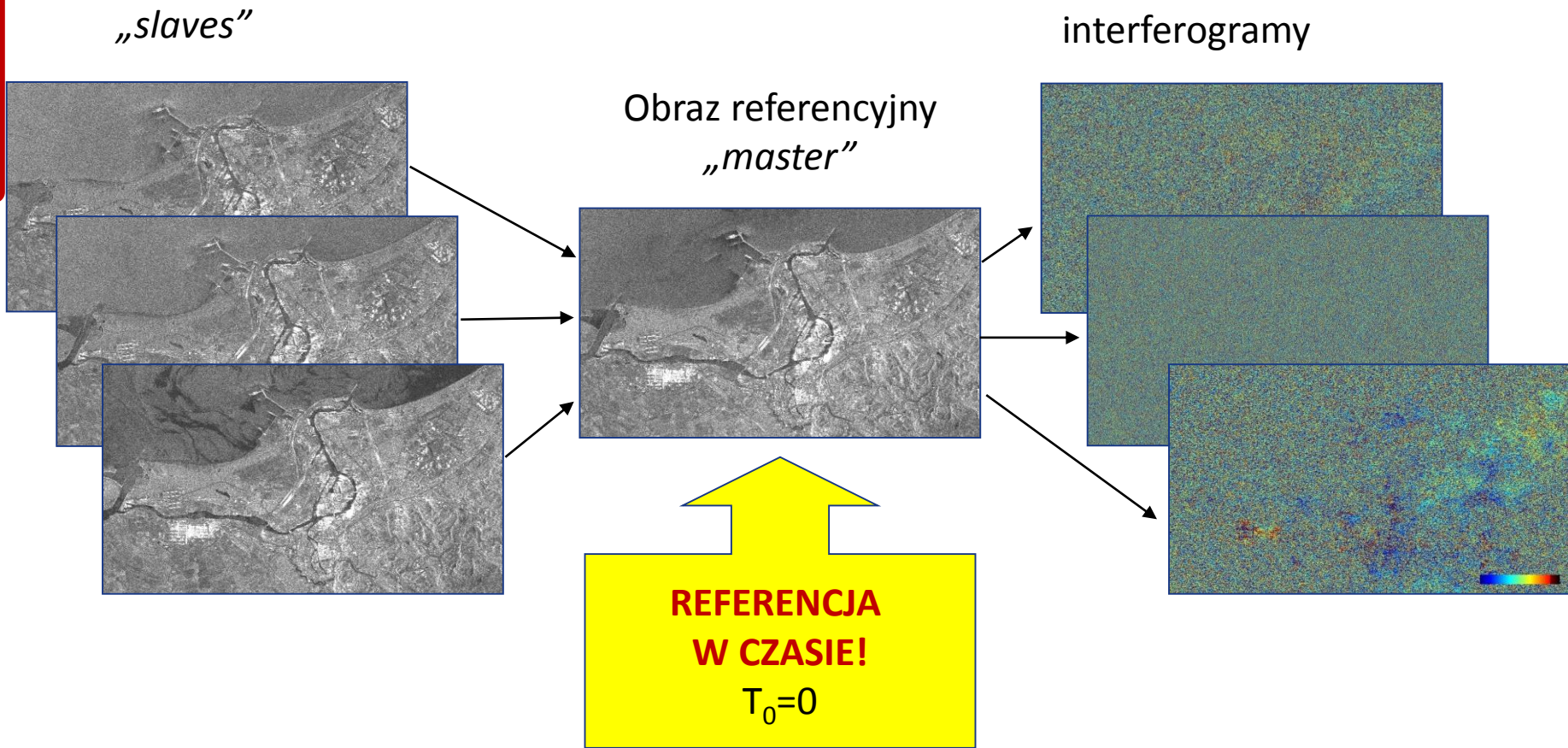
Reflektor tróścienny



Obraz amplitudowy SAR (TerraSAR-X)

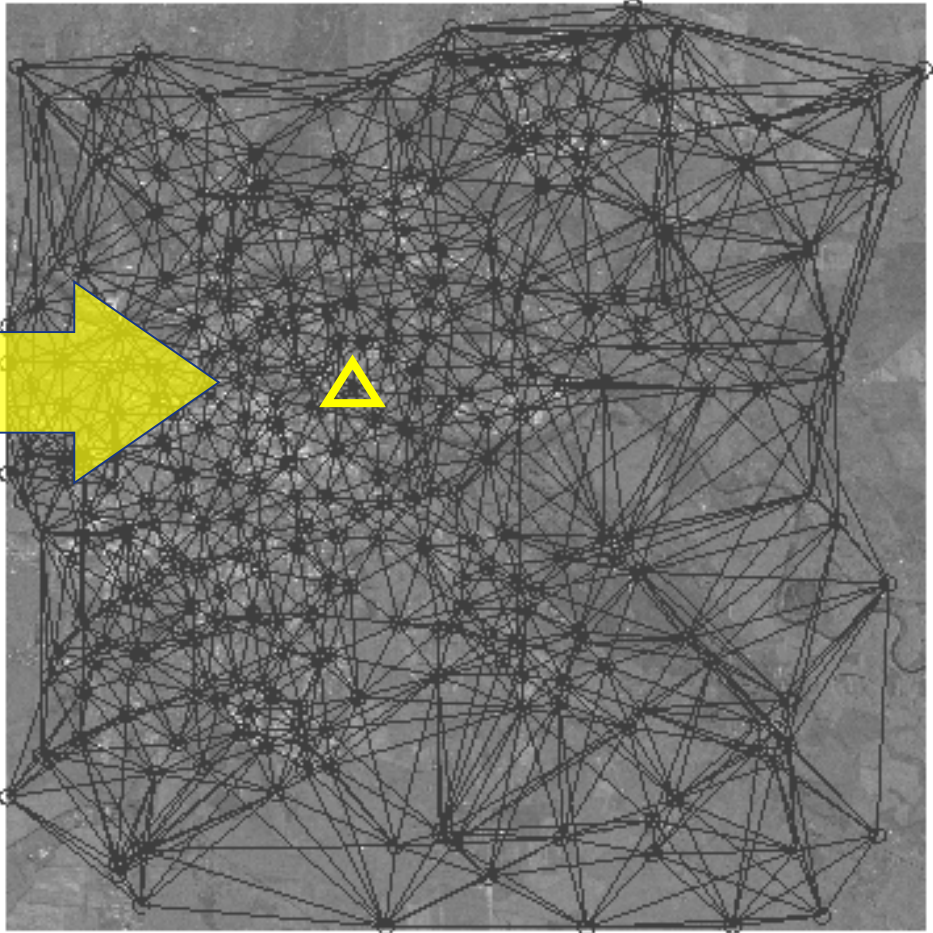


Metoda PSI – tworzenie interferogramów



PSI – sieć PSC

Referencyjny PS
Defo = 0 topo=0
**REFERENCJA
W PRZESTRZENI!**



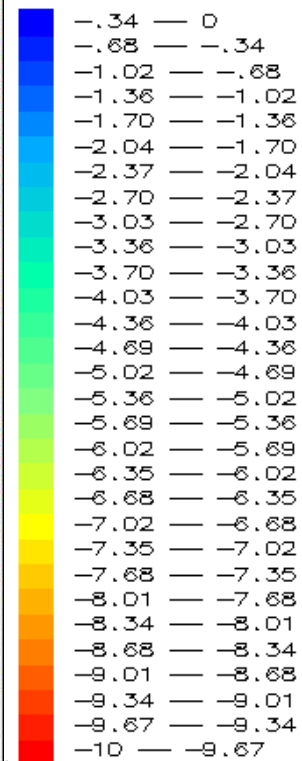
PSC – punkty o najbardziej
stabilnej w czasie fazie sygnału
InSAR
(Persistent Scatterers Candidates)



PSI GZW

dane ERS-1/2
(1995 – 1999)

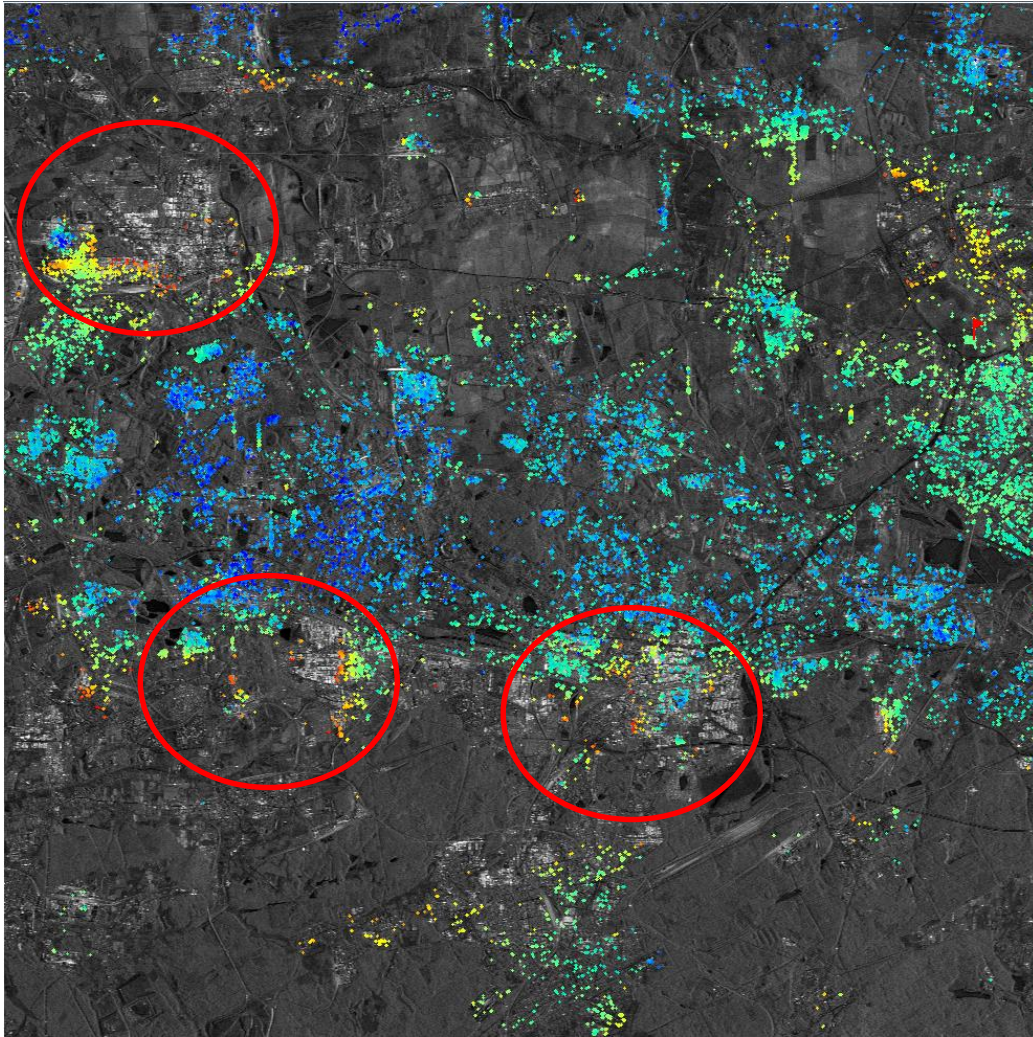
Przyrost deformacji
[mm/rok]



??? !!!!!



Problem deformacji nieliniowych

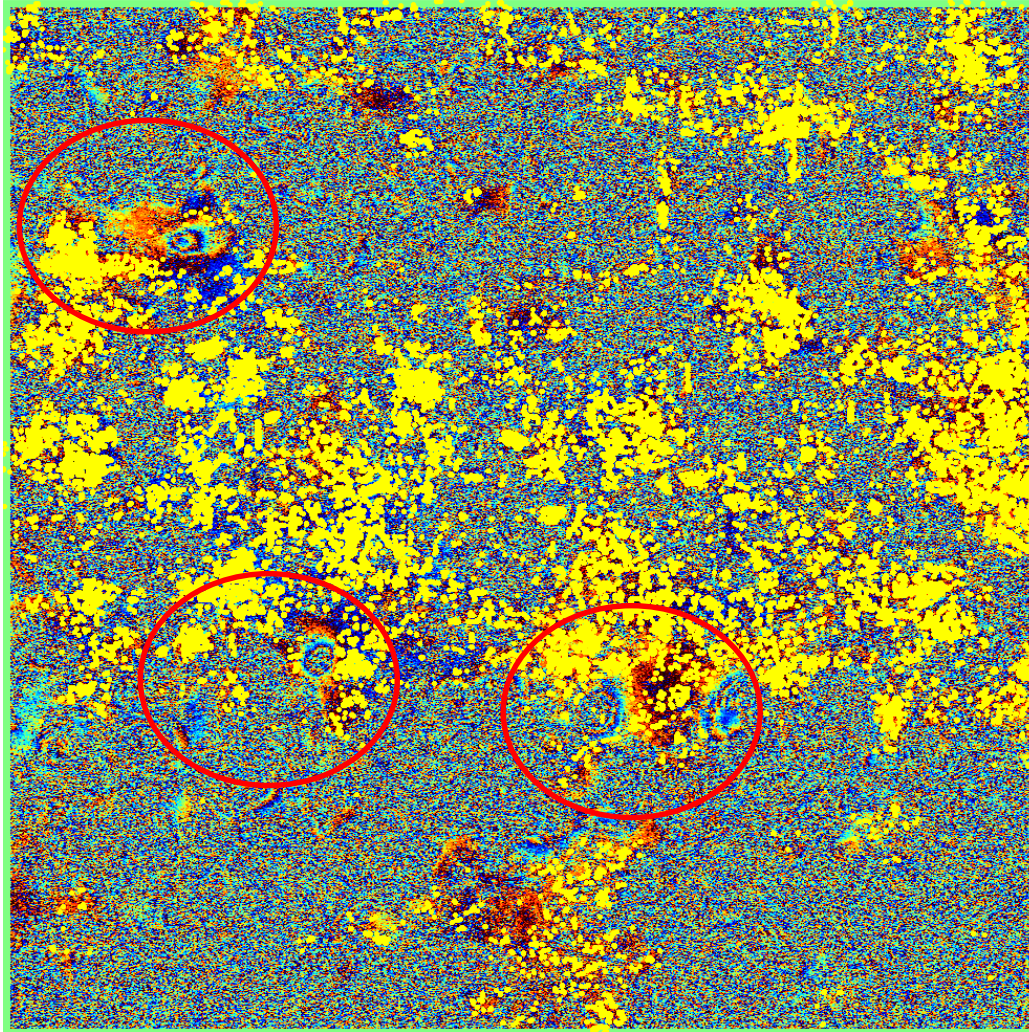


www.pgi.gov.pl



Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy

Problem deformacji nieliniowych

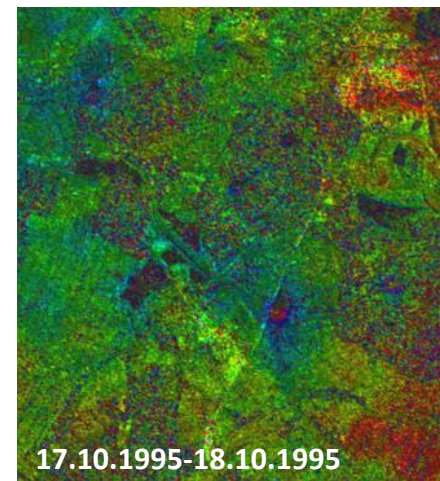
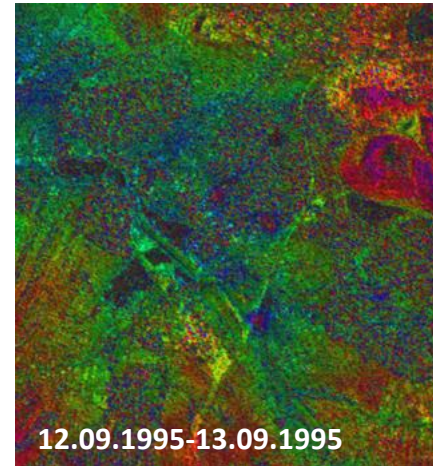
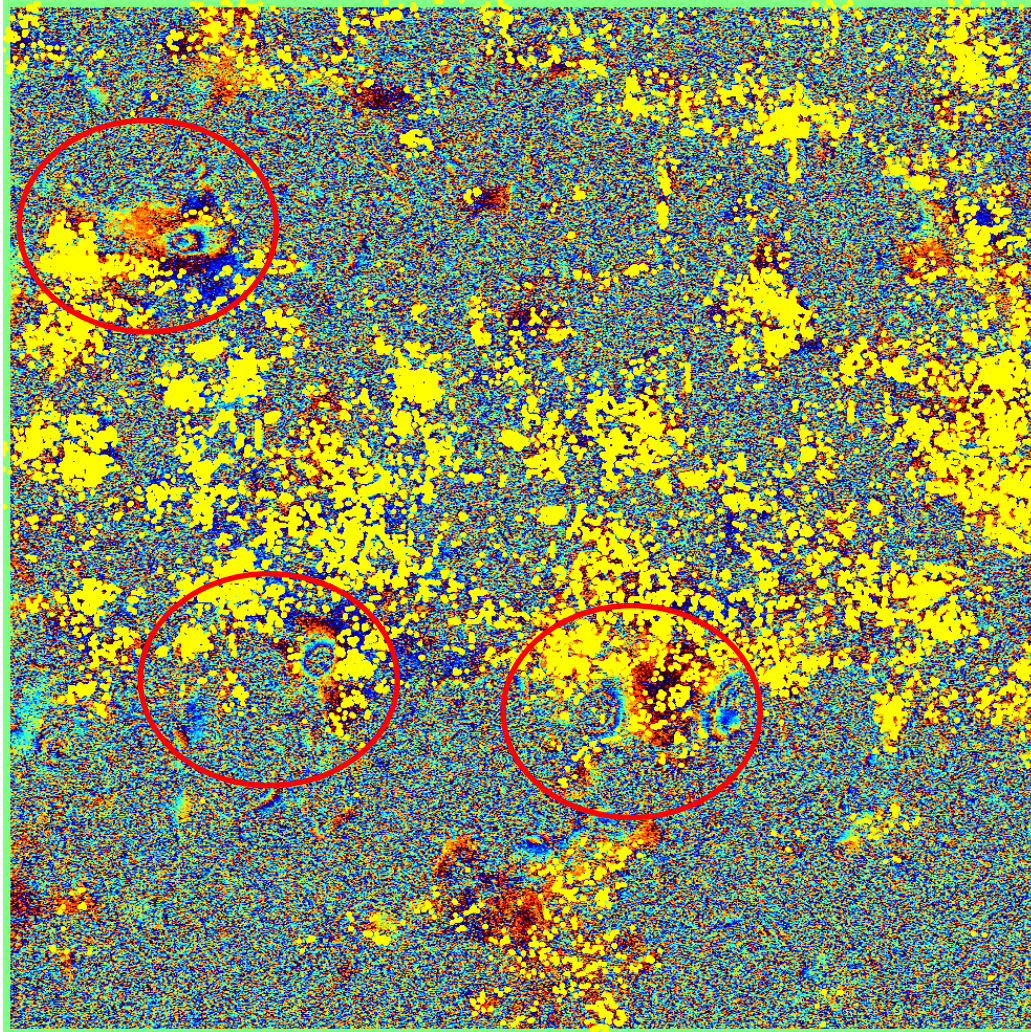


www.pgi.gov.pl



Problem deformacji nieliniowych

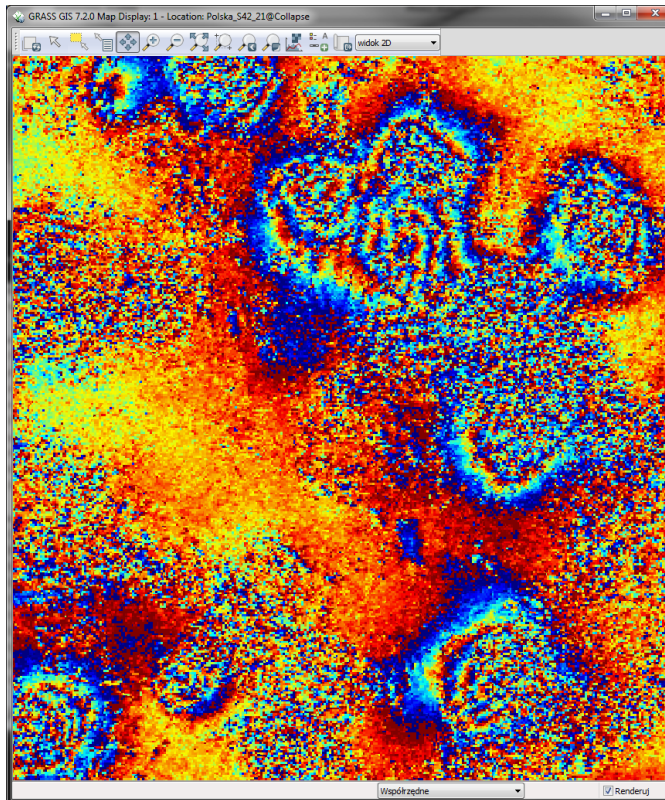
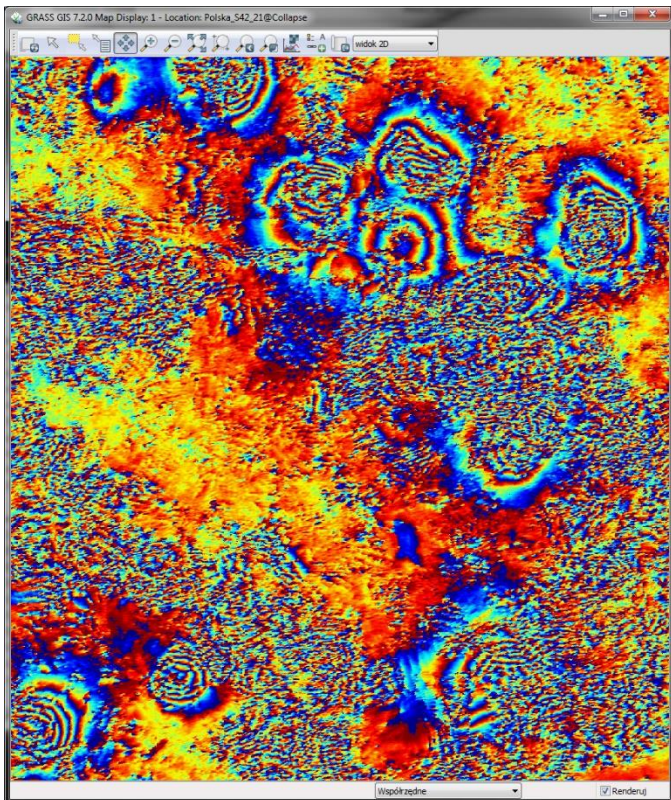
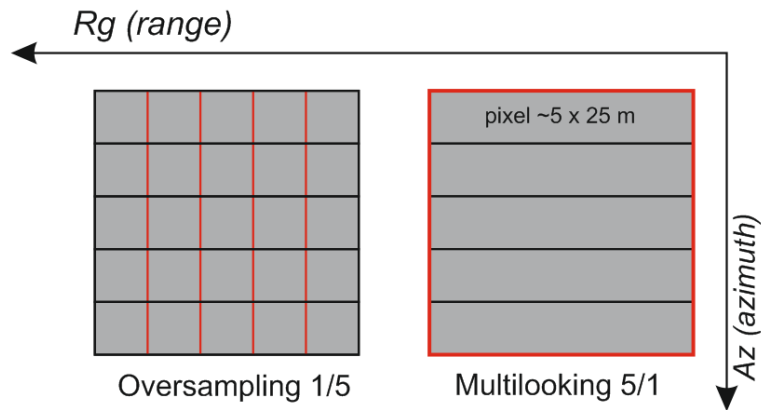
www.pgi.gov.pl



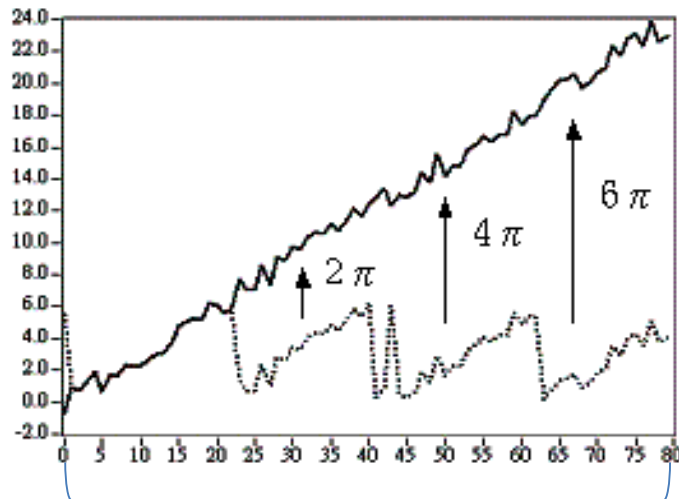
Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy

Interferogramy: niedoszacowanie deformacji

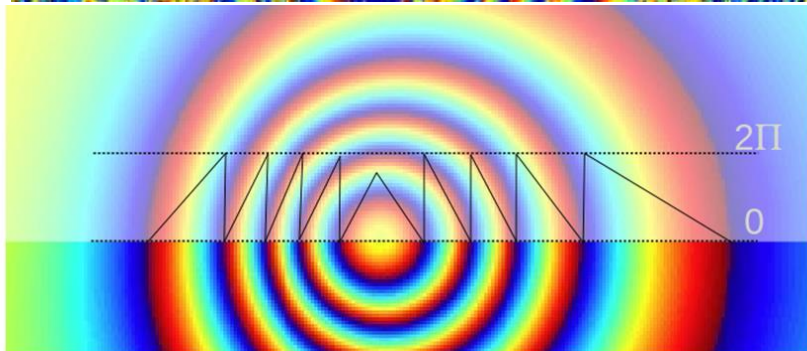
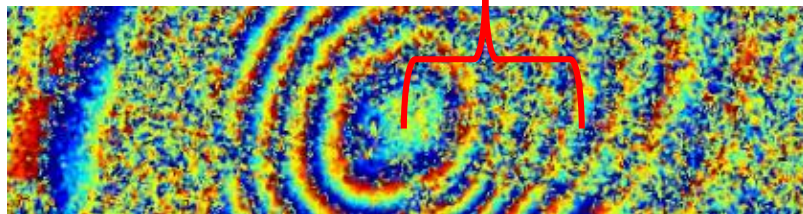
Interferogram Envisat 02.11.2004 – 11.01.2005



Problem rozwijania fazy

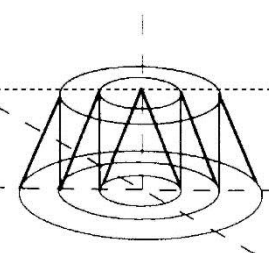


DANE RZECZYWISTE

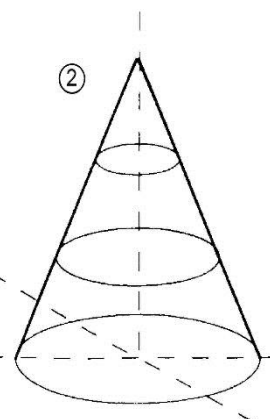


MODEL

①



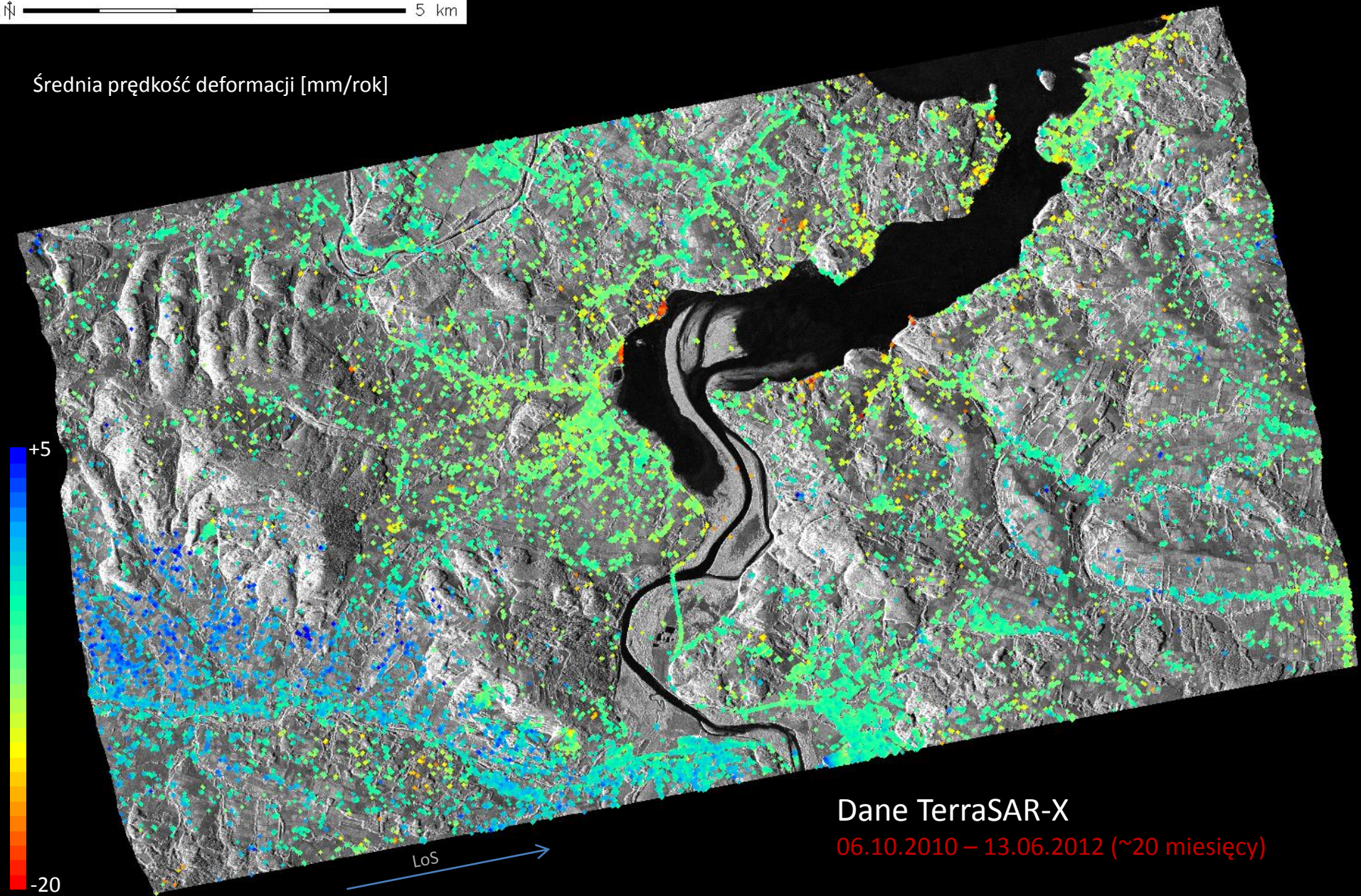
②



Problem interpretacji danych

5 km

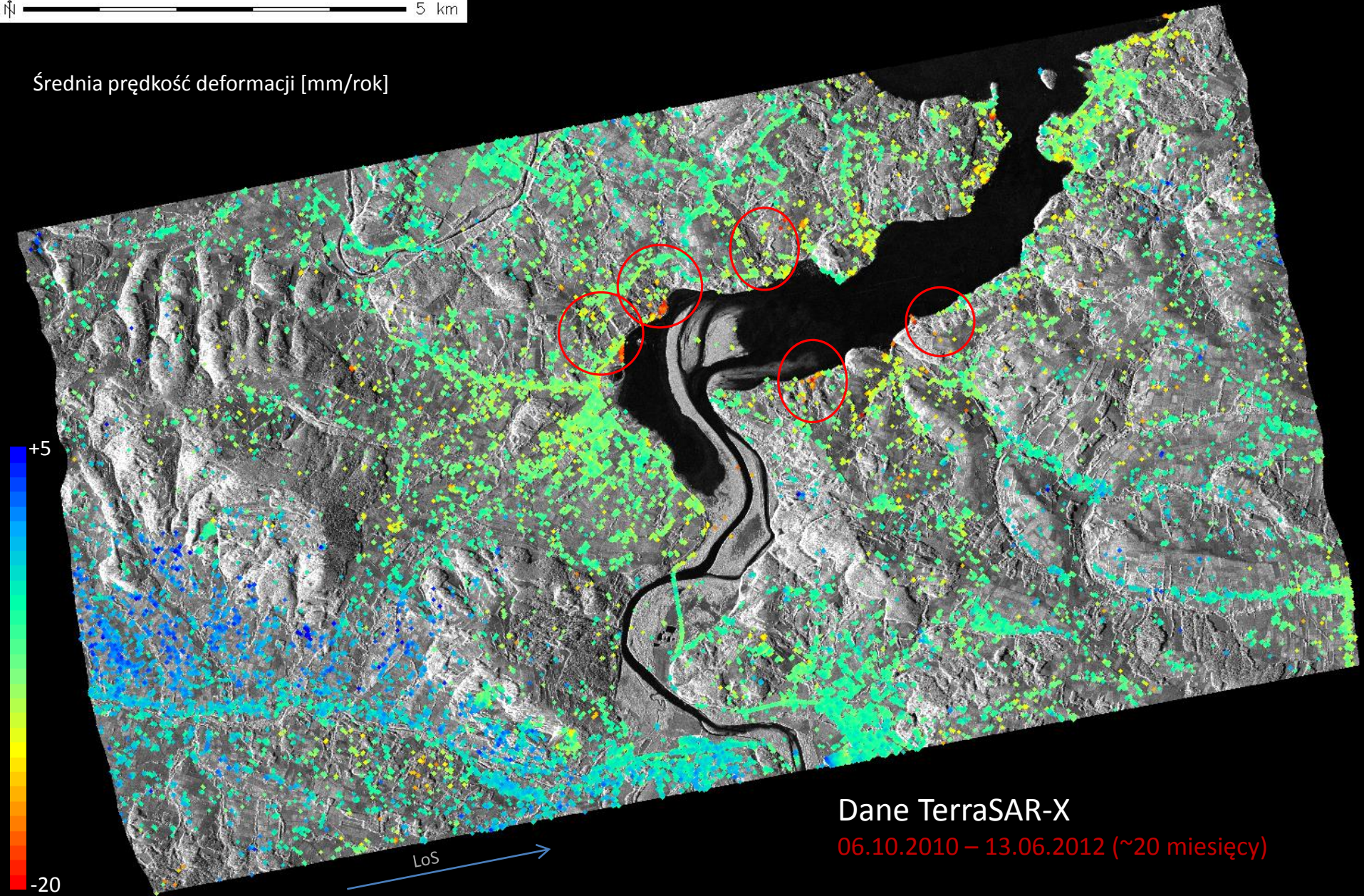
Średnia prędkość deformacji [mm/rok]



Problem interpretacji danych

5 km

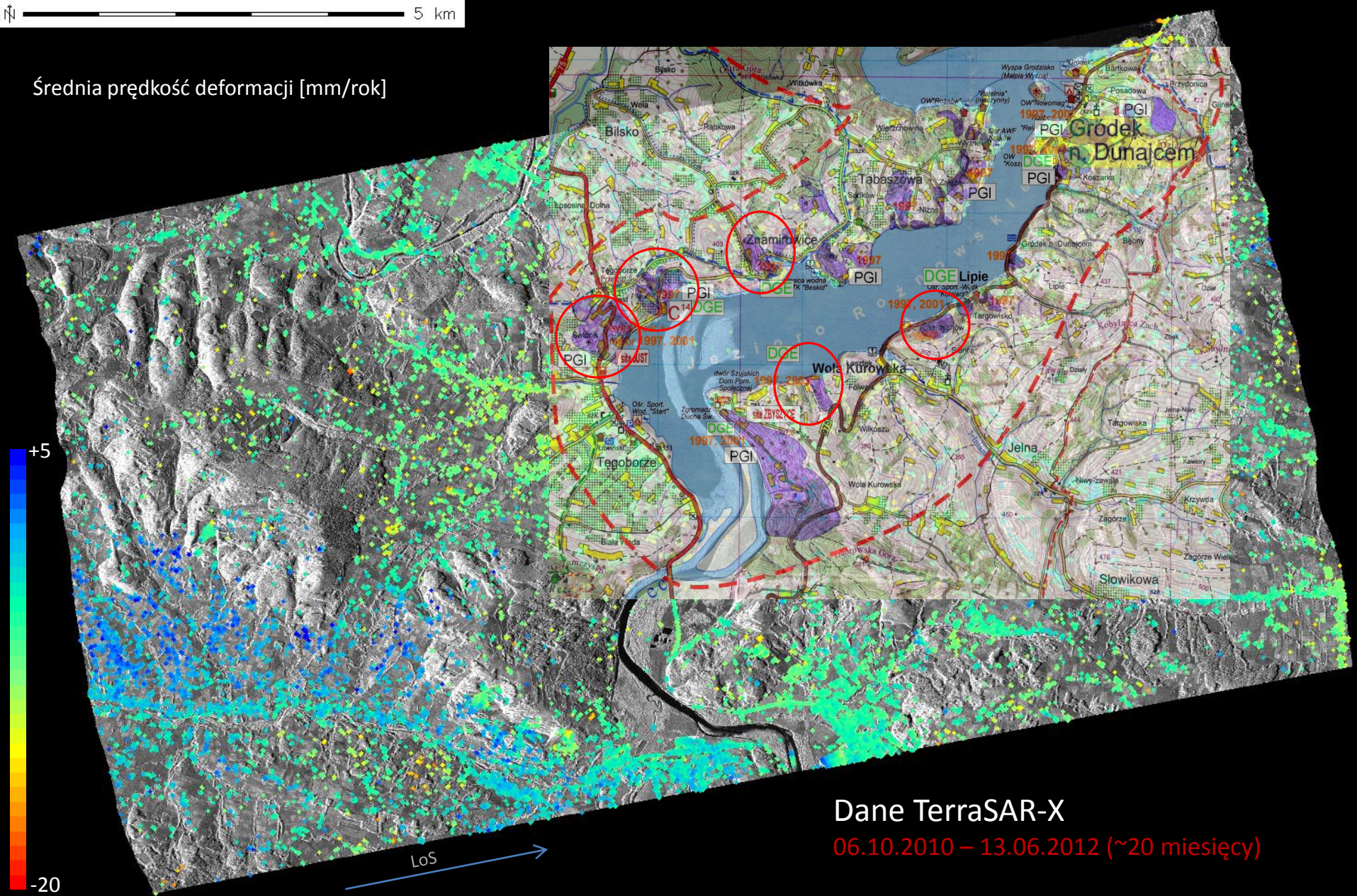
Średnia prędkość deformacji [mm/rok]



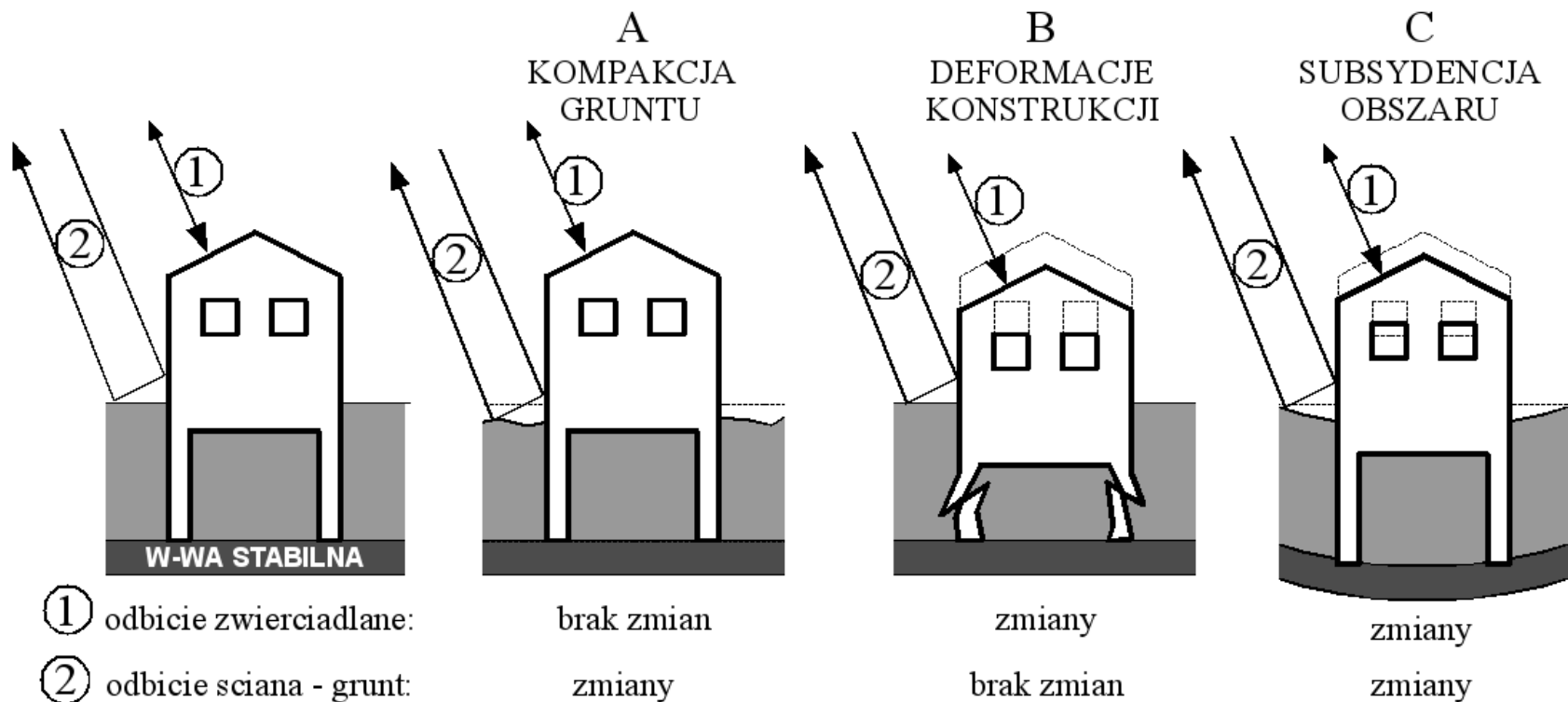
Problem interpretacji danych

5 km

Średnia prędkość deformacji [mm/rok]

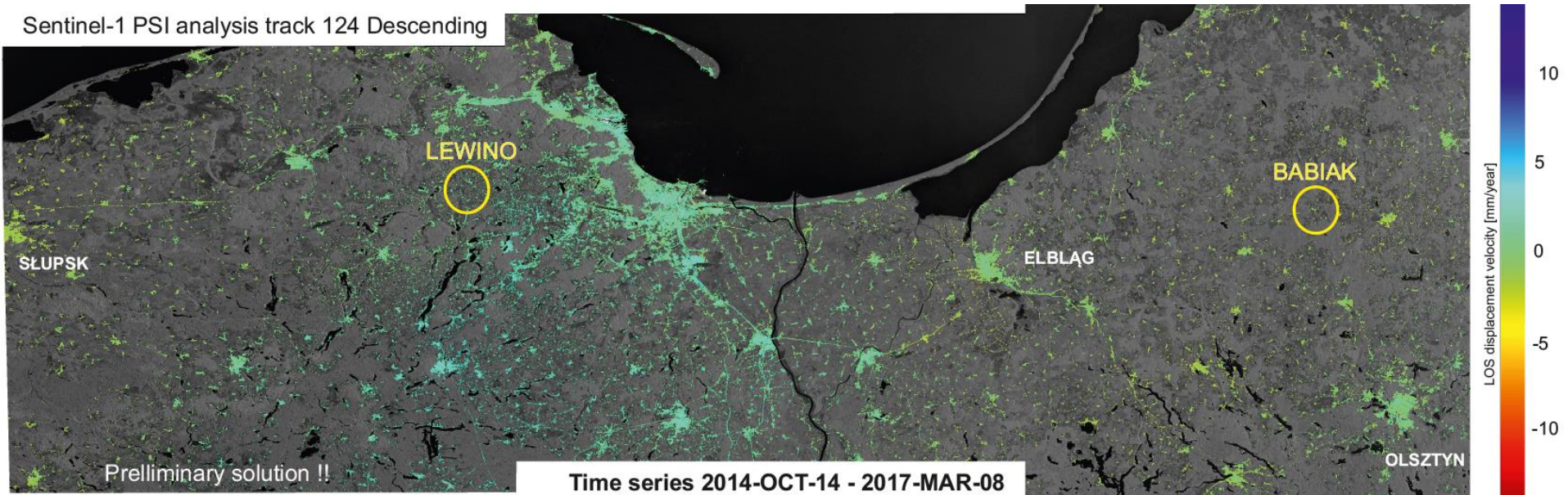


Problem dekompozycji składowych deformacji i interpretacji

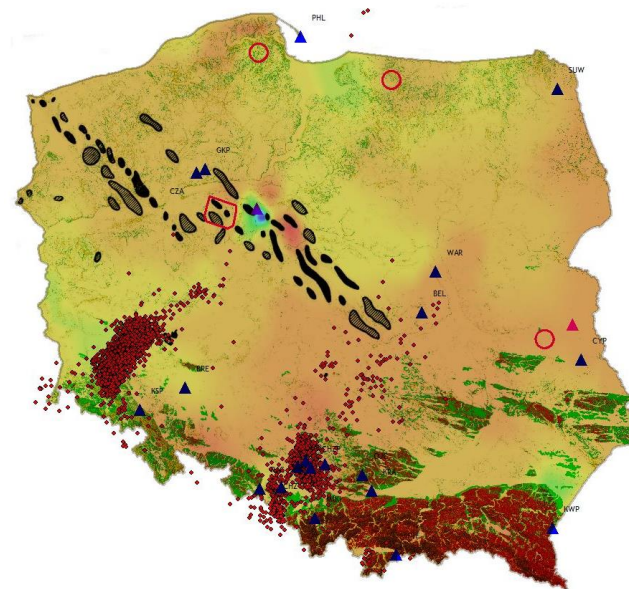


Problem walidacji danych InSAR

Sentinel-1 PSI analysis track 124 Descending

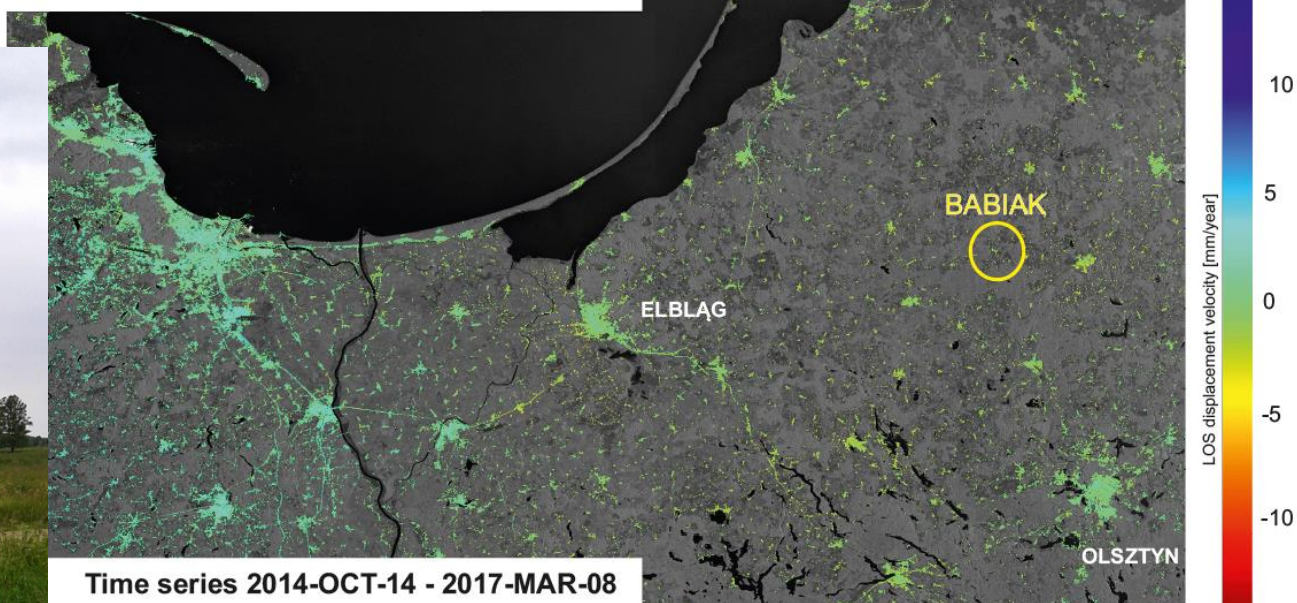


CORNER REFLECTORS



Problem walidacji danych InSAR

Sentinel-1 PSI analysis track 124 Descending

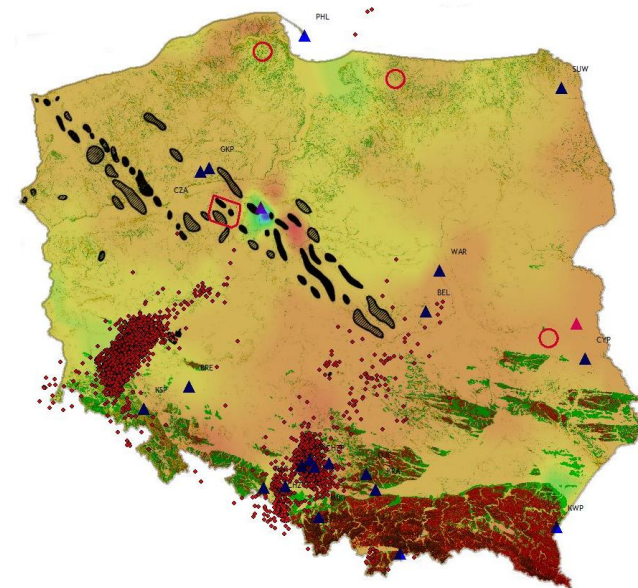


construction: aluminum perforated plates on steel frames

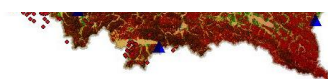
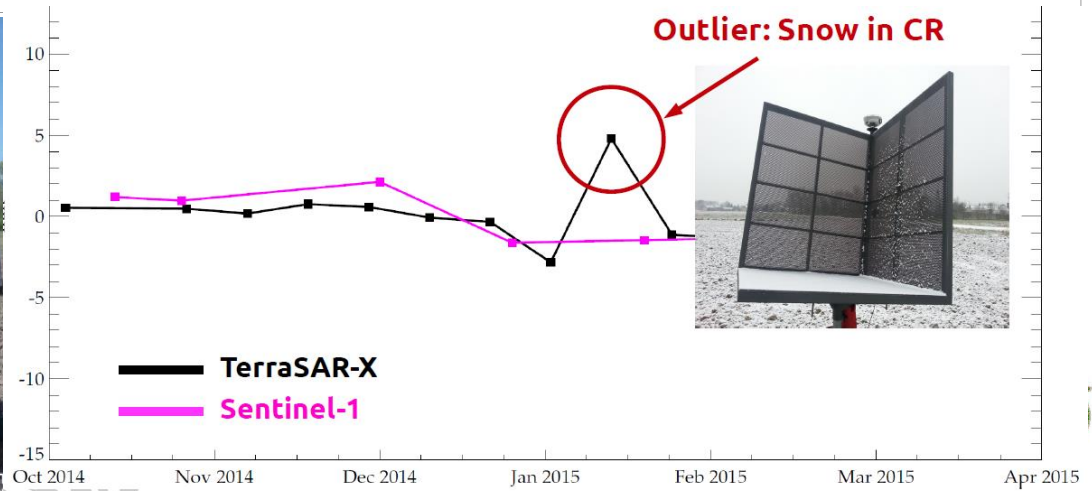
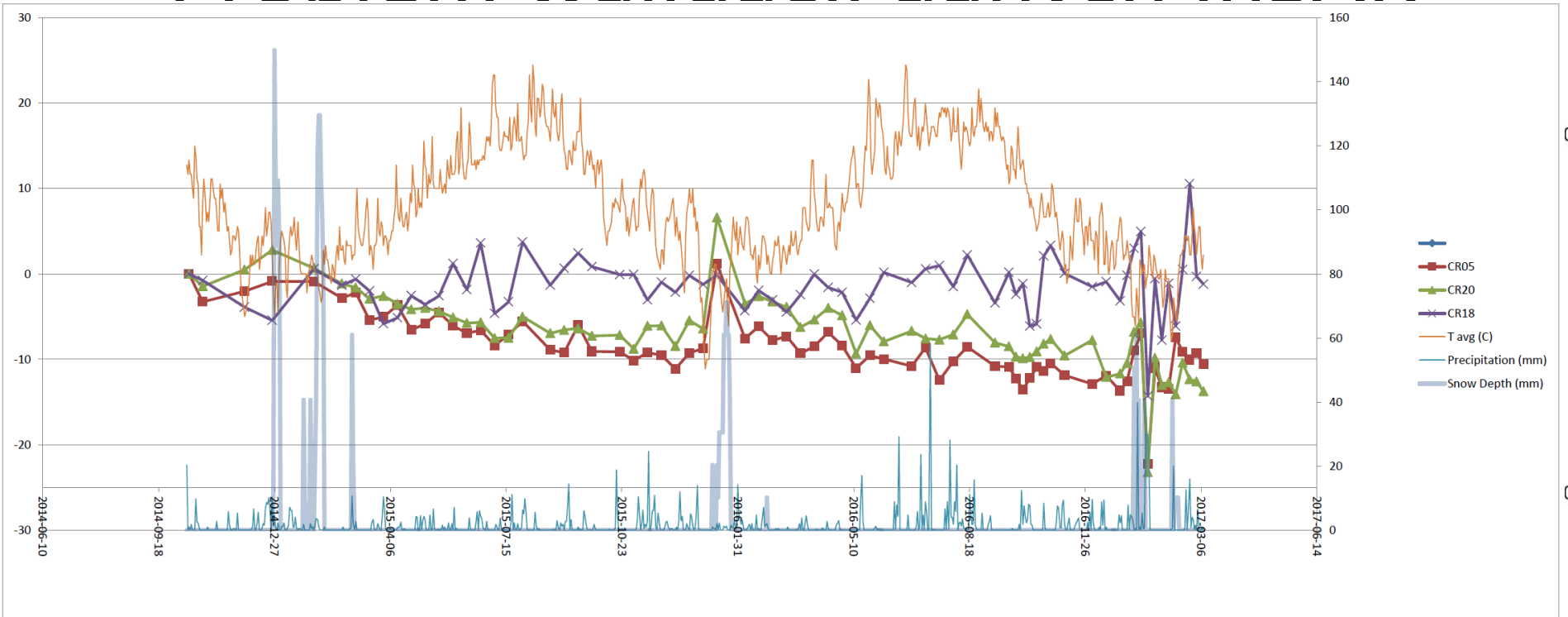
GNSS antenna mounting pin mount - adjustable with fixed tilt 10°

construction: aluminum perforated plates on steel frames

GNSS antenna mounting pin mount - adjustable with fixed tilt 10°



Problem walidacji danych InSAR



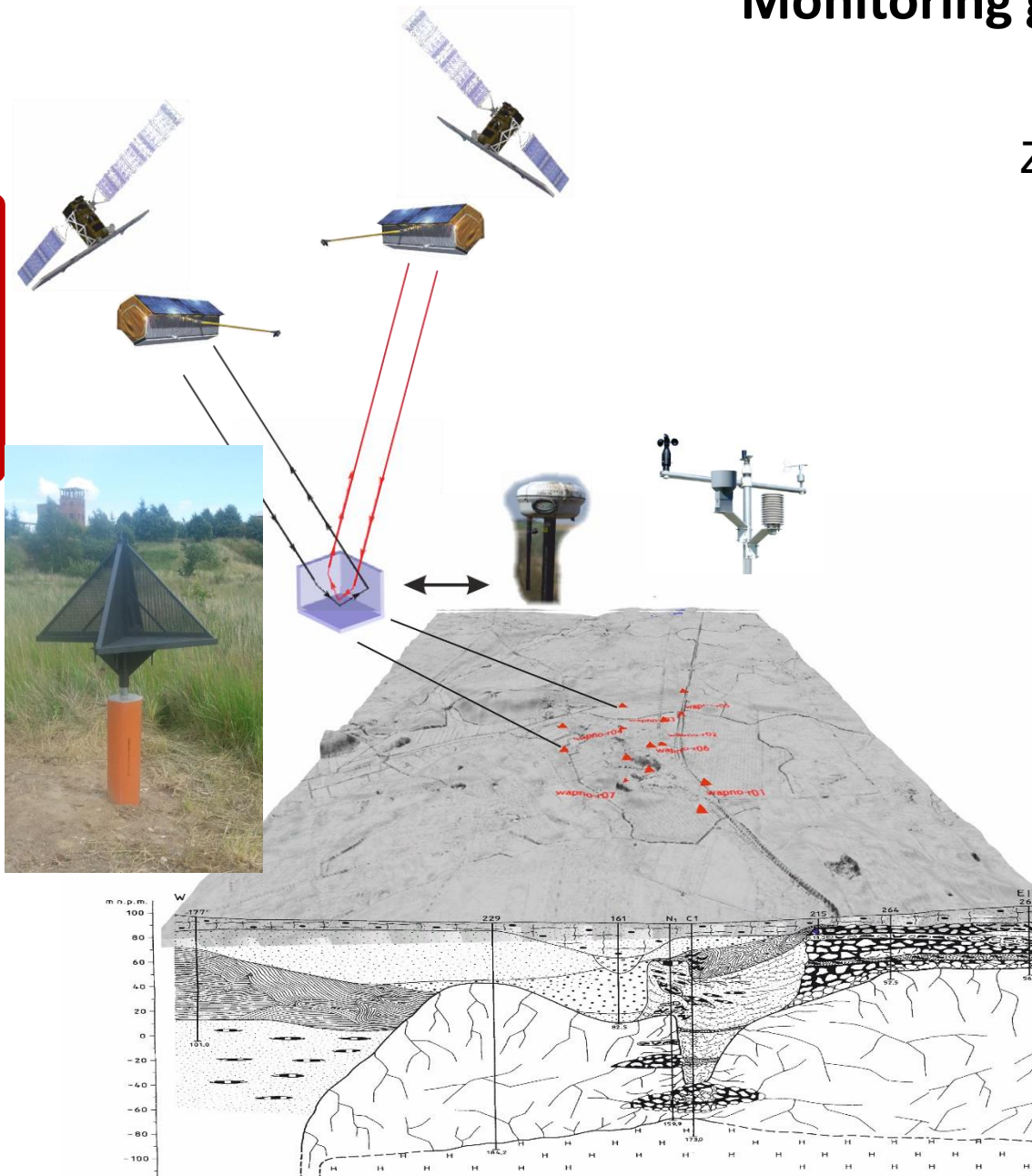
Monitoring geodynamiczny - Wapno

Zintegrowany system monitoringu

7 reflektorów radarowych
10 punktów dla GNSS
10 reperów dla niwelacji prec.

80 rejestracji SAR TSX
+ rejestracje SAR S1 A/B
(od marca 2015)
1 stacja pogodowa

- TSX – co 11 dni (ASC+DSC)
- S1 – co 6 dni (ASC+DSC)
- GNSS – 2 dni/8 h statyka co 6 m-cy – 4 kampanie pomiarowe
- Prec. Niwelacja – co 6 m-cy (4 kampanie)



Wapno: widoczność reflektorów CR na zobrazeniach SAR (terraSAR-X)



ASC

DSC

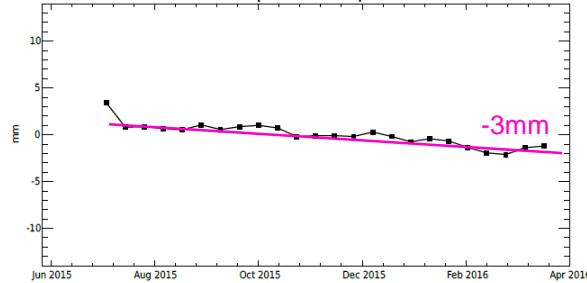
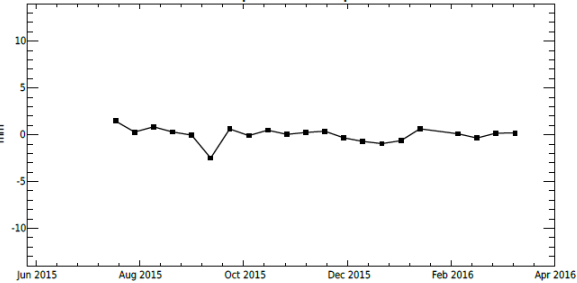


Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy

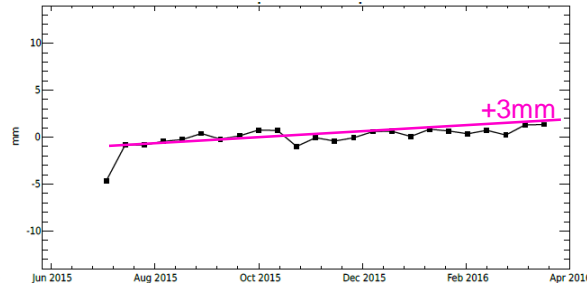
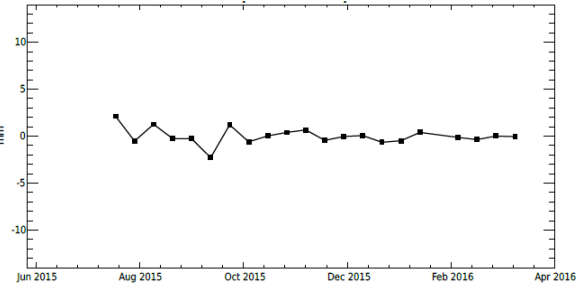
Wapno – wstępna analiza danych CRInSAR

PODWÓJNE RÓŻNICE

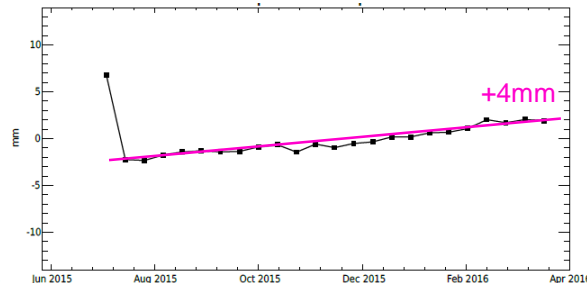
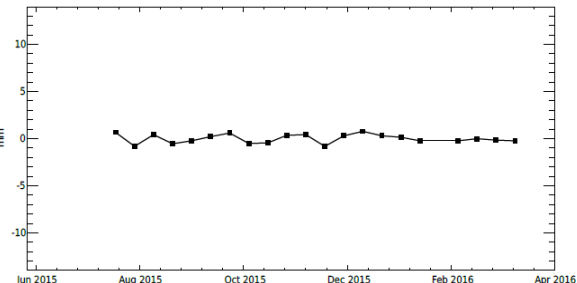
CR06 vs CR02



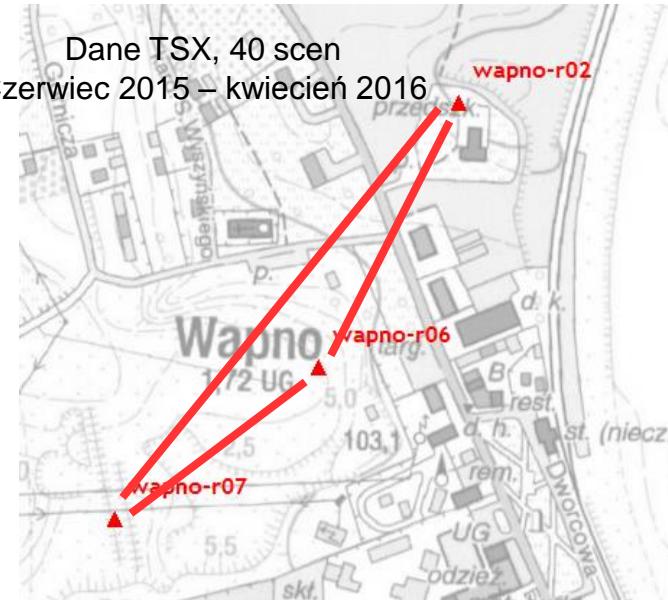
CR07 vs CR02



CR07 vs CR06



Dane TSX, 40 scen
Czerwiec 2015 – kwiecień 2016



ASC



DSC

ASCENDING

DESCENDING

STDDEV fazy TSX ~0.85 mm

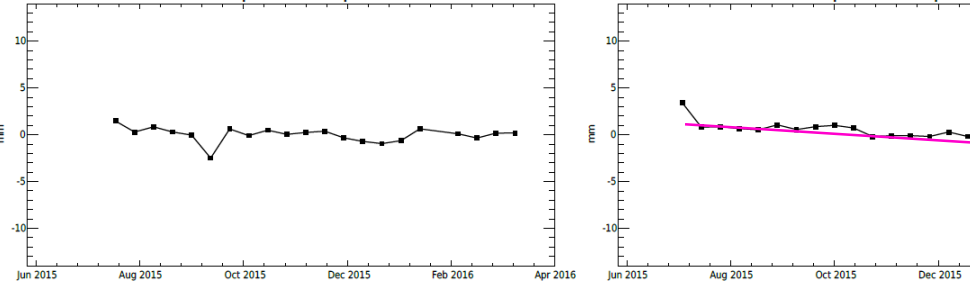


Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy

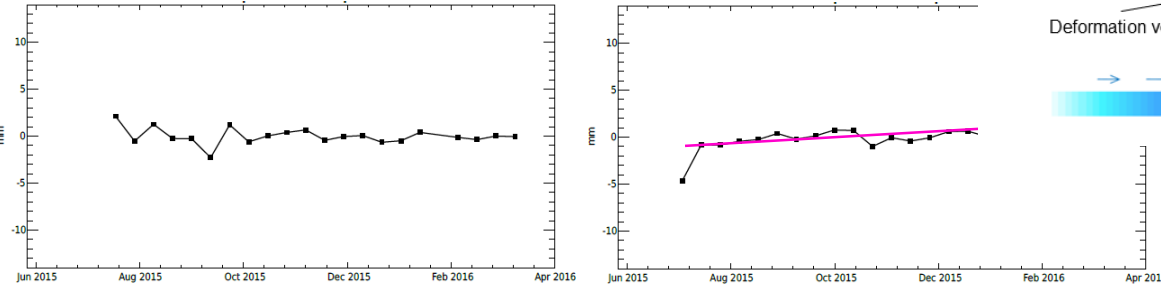
Wapno – wstępna analiza danych CRInSAR

PODWÓJNE RÓŻNICE

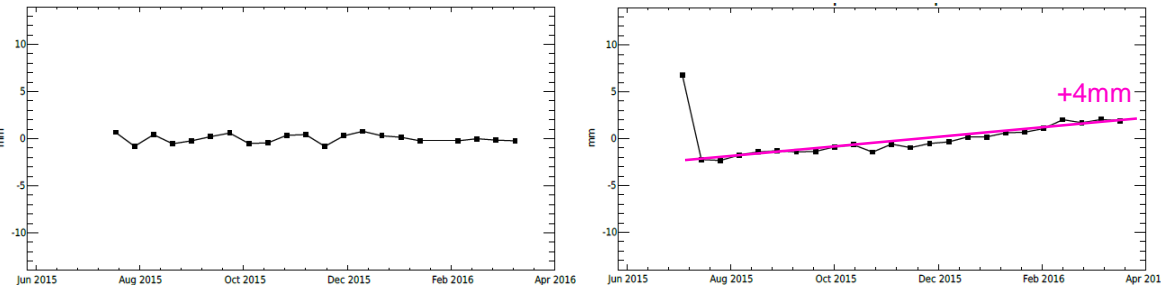
CR06 vs CR02



CR07 vs CR02

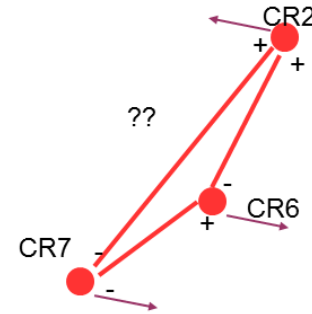


CR07 vs CR06

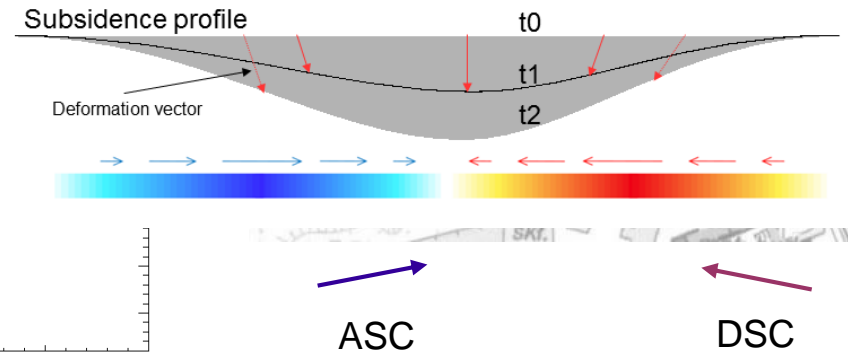


ASCENDING

DESCENDING



The horizontal deformation is proportional to the gradient (tilt) of the bowl. (Knothe 1984)



STDDEV fazy TSX ~0.85 mm



Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy

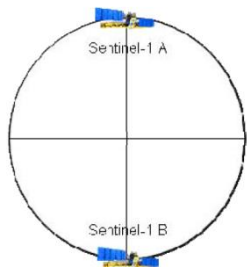
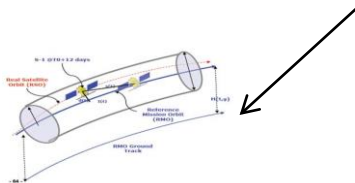
Copernicus Sentinel-1 Earth Radar Observatory



Sentinel-1 single-pass TOPS interferogram
2017.03.08 – 2017.03.02

Kontynuator radarowych misji ESA: ERS-1, ERS-2, Envisat

- **Budowa:** Thales Alenia Space Italy (główny kontraktor ESA) + Astrium GmbH (instrument C-SAR)
- **Orbita:** okołobiegunowa, heliosynchroniczna, wysokość 692 km
- **Okres orbitalny:** 98.6 min, czas rewizyty co **12-dni (6 dni ! S1A+S1B)**
- **Określenie pozycji na orbicie:** GPS < 10 m (3 sigma) dla każdej z osi (real-time), ~5 cm w post-processingu
- Dokładność utrzymania orbity: 50m (*orbital tube*)

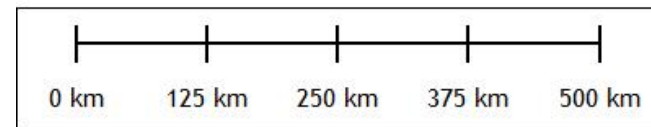
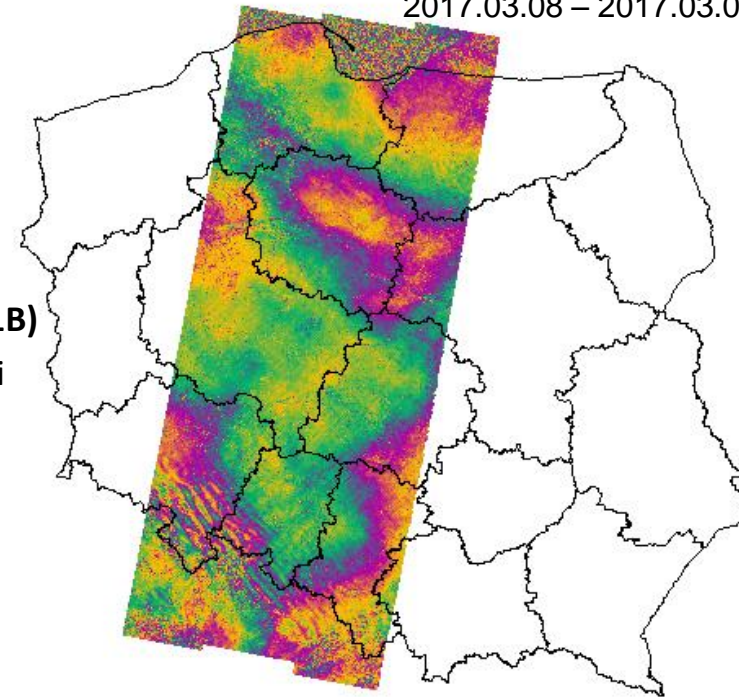


KONSTELACJA SENTINEL-1

Sentinel-1A – 03 kwietnia 2014

Sentinel-1B – 25 kwietnia 2016

Czas misji: 7 lat (mat. eksploatacyjne na 12 lat)



Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy

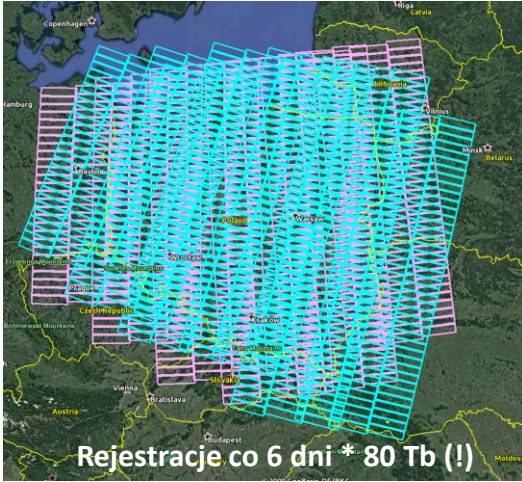
Interferometryczny Monitoring Powierzchni Terenu Polski – nowe zadanie PSG od 2018



Sentinel-1 rejestracja danych radarowych (źródło: ESA)

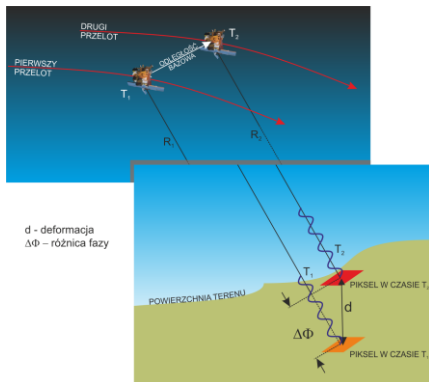
www.pgi.gov.pl

1. Pozyskanie zobrazowań radarowych Sentinel-1 (dane darmowe)

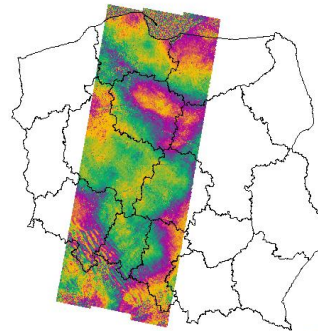


BUDOWA INFRASTRUKTURY!

2. Przetwarzanie metodami Satelitarnej Interferometrii Radarowej



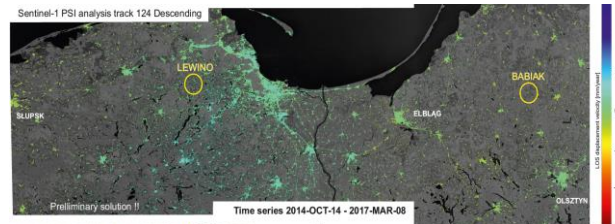
3. Produkty InSAR



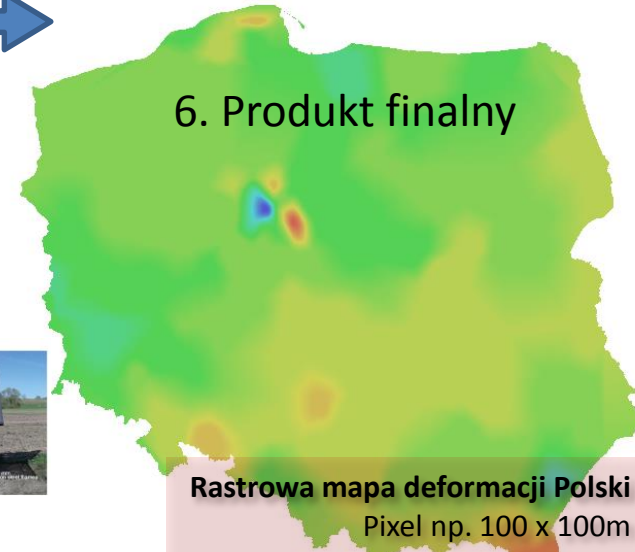
5. Walidacja



4. Serie czasowe obserwacji



6. Produkt finalny



Rastrowa mapa deformacji Polski
 Pixel np. 100 x 100m
 Udostępnianie WMS
 Aktualizacja co np. 6 miesięcy

Własne oprogramowanie InTOP



Państwowy Instytut Geologiczny
 Państwowy Instytut Badawczy

InSAR/PSI/SBAS ograniczenia

- Wyniki są **WZGLĘDNE** w czasie i przestrzeni ← wymagana WALICACJA
- Nie jest możliwa predykcja położenia i liczby PS przed przeprowadzeniem obliczeń (*metoda oportunistyczna*)
- Wymagana jest duża liczba scen SAR >20
- **DOKŁADNOŚĆ METOD InSAR:**
 - „klasyczny” InSAR ~ kilka cm /okres obserwacji
 - PSI ~ 1mm/rok (prędkość deformacji)

