Aplikacje oparte na produktach serwisu *European Ground Motion Service*: przegląd

https://egms.land.copernicus.eu

Land Monitoring

Marek MRÓZ
Michele CROSETTO

Uniwersytet Warmińsko – Mazurski w Olsztynie
Wydział Geoinżynierii, Katedra Geodezji
ul. Oczapowskiego 1, 10-719 Olsztyn marek.mroz@uwm.edu.pl

Centre Tecnològic de Telecomunicacions de Catalunya - CERCA (CTTC-CERCA)
Av. Carl Friedrich Gauss 7
08860 Castelldefels (Barcelona) Hiszpania
mcrosetto@cttc.cat

IV Akademia Kartografii i Geoinformatyki
„Modelowanie czasoprzestrzenne"
Wrocław 22-24 maja 2024r.

Copernicus Europe's eyes on Earth

European Commission

Politechnika Wrocławska

Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii

Czym jest EGMS?

EGMS - akronim od słów *European Ground Motion Service*
– komponent Copernicus Land Monitoring Service

Cel EGMS:

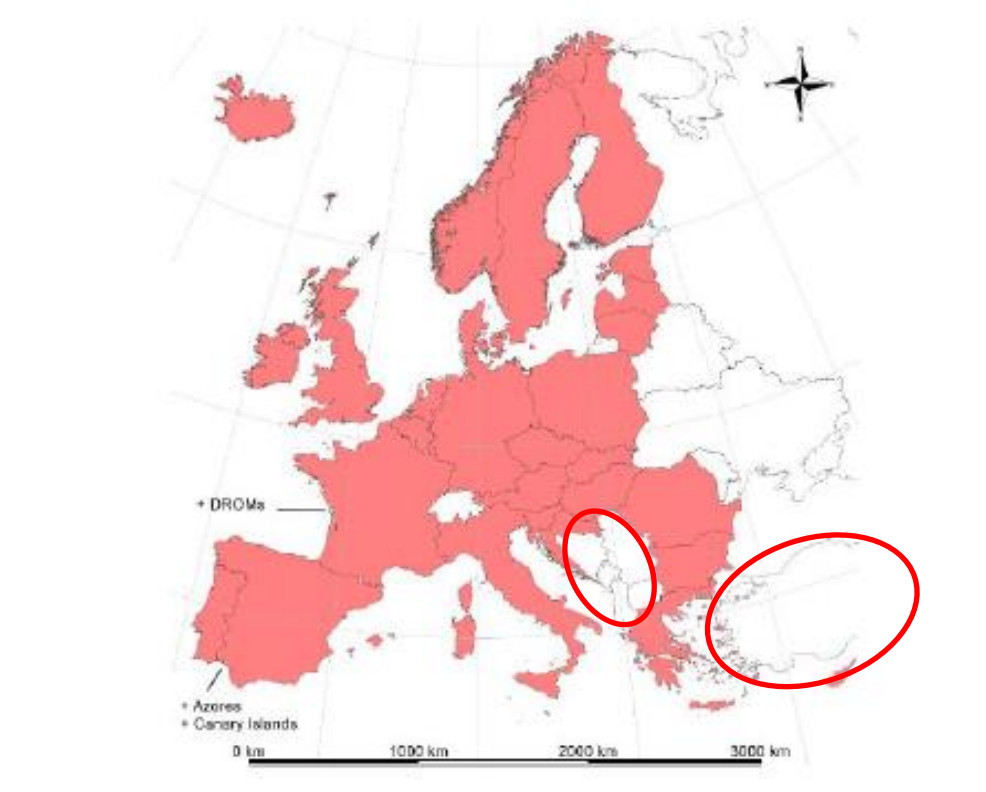
Dostarczenie **spójnej, aktualnej, standaryzowanej, wiarygodnej i zharmonizowanej transgranicznie** informacji o naturalnych i antropogenicznie wywoływanych deformacjach i przemieszczeniach terenu (gruntu i/lub infrastruktury) dla obszaru Europy.

Podstawowe informacje:

- Jest to **największy** do tej pory serwis pomiarów deformacji z wykorzystaniem **PSInSAR**
- Stanowi część portfolio programu **COPERNICUS** Land Monitoring Service
- Udostępnia dane **bezpłatnie,** wykorzystuje obrazy **Sentinel-1 SAR w pełnej rozdzielczości**
- Jest wdrożony przez Europejską Agencję Środowiska (EEA)
- Ma potencjał aby odegrać w Europie rolę „**game changer'a**" **wielkoobszarowego** monitoringu deformacji terenu i infrastruktury

Land Monitoring

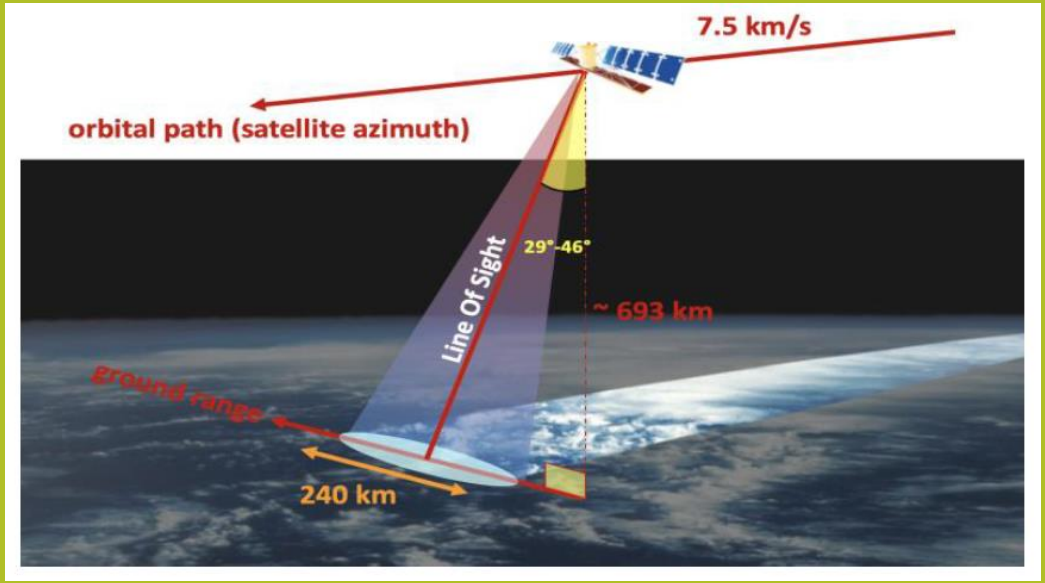
Zasięg geograficzny



Kraje zainteresowane serwisem spoza grupy COPERNICUS

Land Monitoring

Technologia obserwacyjna



Obraz SLC – Single Look Complex

Każdy „piksel" (próbka / „sample")
to para liczb: I oraz Q

$$I = A \cdot \cos \Phi$$
$$Q = A \cdot \sin \Phi$$

A – amplituda sygnału, Φ – faza sygnału

A zatem:

$$Q / I = \sin \Phi / \cos \Phi = tan\, \Phi$$

czyli faza $\Phi = \arctan (Q/I)$

EGMS wykorzystuje dane Sentinel-1 SAR, Level-1 SLC zbierane przez satelity Sentinel-1A i Sentinel-1B*, w paśmie C, długość fali około 5.5 cm (5.405 GHz), w trybie Interferometric Wide Swath (IW), o rozdzielczości przestrzennej 20 m w kierunku azymutalnym i 5 m w kierunku zasięgu, w formie 27 „burstów" (kafelków) – mniejszych fragmentów sceny o wymiarach całkowitych około 250 x 180km. Interwał pomiarowy: 12 dni przed kwietniem 2016r., 6 dni – między kwietniem 2016 a Grudniem 2021, od 2022 – znowu 12 dni. *obecnie tylko 1A

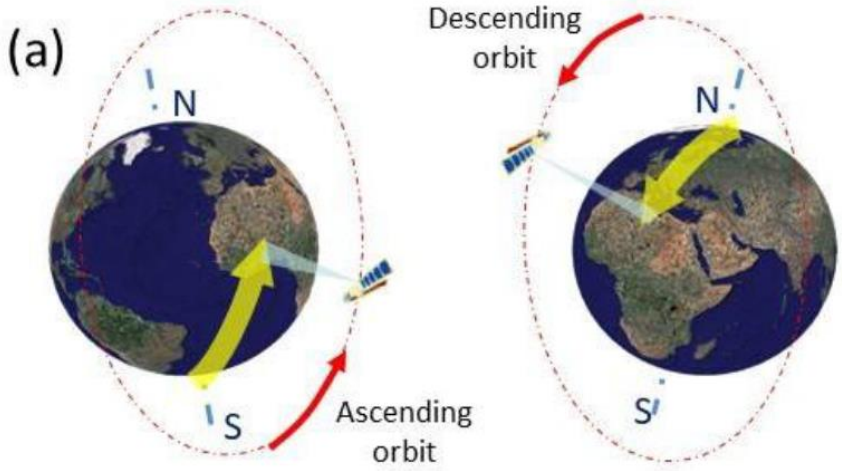
Land Monitoring

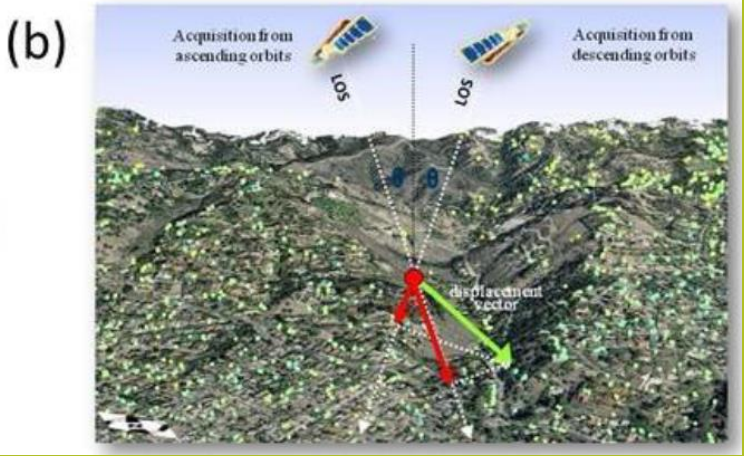
Technologia obserwacyjna

Copernicus

European Commission

European Environment Agency





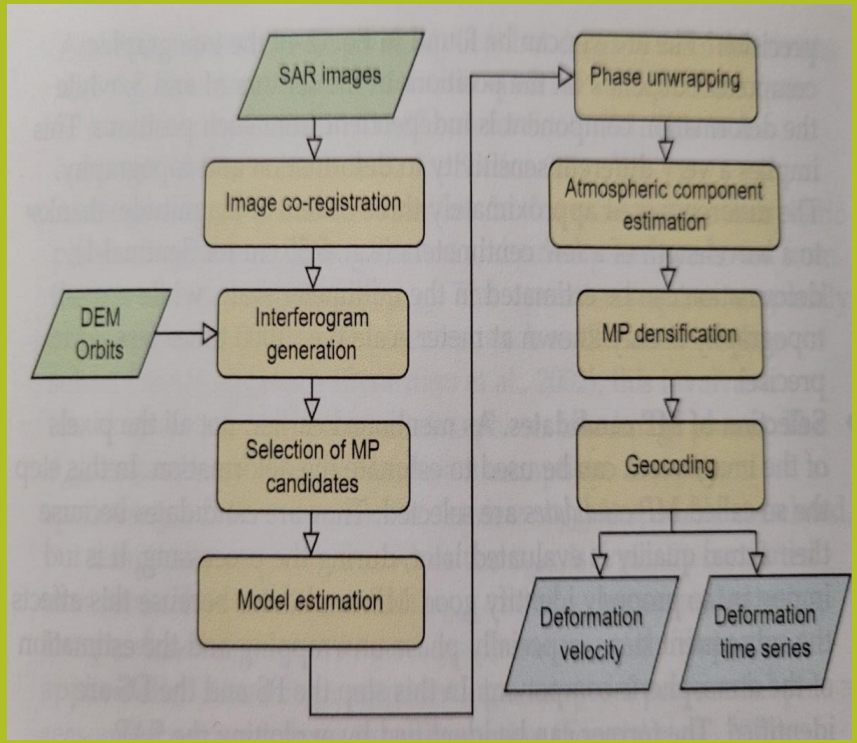
Land Monitoring

Opracowanie danych pomiarowych

Metodyka – dopracowane i pewne algorytmy interferometrii SAR, w szczególności techniki wielokrotnych obserwacji, szeregów czasowych interferogramów różnicowych, w pełnej rozdzielczości, z satelity Sentinel-1 w celu wygenerowania całkowitego przemieszczenia i średniej prędkości w czasie kilku lat, dla każdego zidentyfikowanego punktu pomiarowego (MP) ze zbioru wielu miliardów punktów dla obszaru Europy.

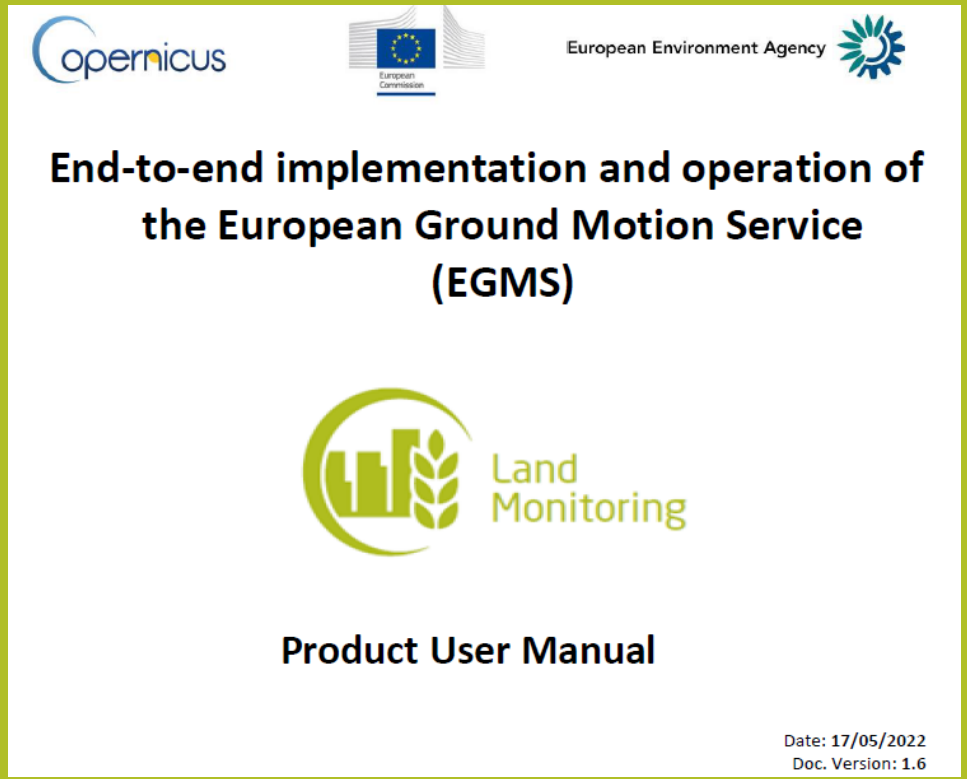
Wytwarzaniem produktu podstawowego oraz trzema kolejnymi rocznymi aktualizacjami zajmuje się konsorcjum „ORIGINAL” (4 główne firmy: e-GEOS, TRE-Altamira, NORCE, GAF oraz sześciu podwykonawców)

Przetwarzanie jest podzielone między wykonawców, którzy realizują je wg. własnych algorytmów. Kontrola zgodności i harmonizacja następuje na podstawie obszarów pokrywających się scen (overlaps)



Land Monitoring

Produkty



Land Monitoring

Produkty

Sentinel-1 → Basic → Calibrated → Ortho

BASIC 2A	Geometria LoS – Line of Sight; geolokalizacja punktu; miary jakości dla indywidualnych punktów pomiarowych (MP); **pomiar względny** – w stosunku do wirtualnego punktu referencyjnego; dla użytkowników zaawansowanych w dziedzinie InSAR; pełna rozdzielczość: 10x10m
CALIBRATED 2B	Zasadniczy produkt EGMS; dla większości odbiorców; poprawiony produkt „Basic" na podstawie permanentnych obserwacji GNSS; kalibrowany/**bezwzględny**; pełna rozdzielczość 10x10m
ORTHO 3	Zdekomponowany na składową pionową (wertykalną) i poziomą E-W; rozdzielczość zredukowana 100x100m (kompatybilna z innymi warstwami CLMS)

*Level 0 – RAW; Level 1 – SLC – dane wejściowe do InSAR

SLC – Single Look Complex – jednostkowy pomiar amplitudy i fazy w formie zespolonej (I / Q)

Land Monitoring

Atrybuty punktów pomiarowych (MPs – Measurement Points)

Typ MP:

PS – Persistent Scatterer (punkt; pow. „0”)
DS – Distributed Scatterer (pow. > „0”)

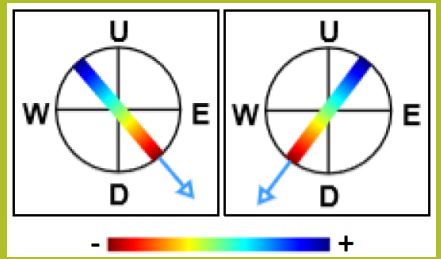
Koherencja czasowa

Stabilność charakterystyki „odbiciowej” punktu pomiarowego MP w czasie określa m.in. koherencja czasowa (0-1).

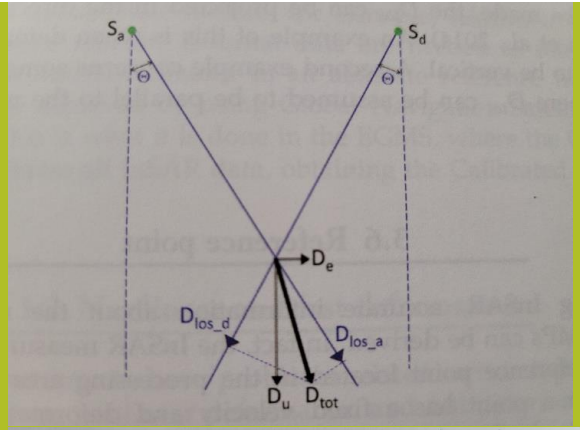
Błąd RMS [mm]

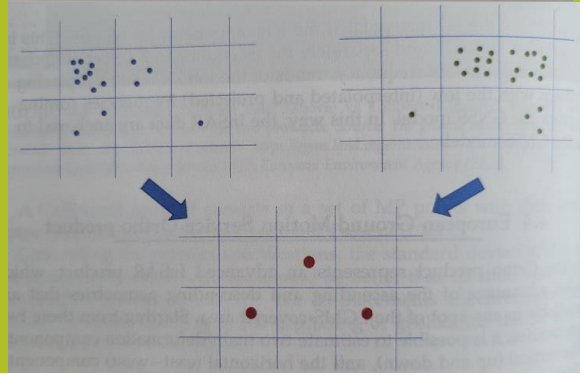
Średnia prędkość [mm / rok]

Sezonowość deformacji



Szeregi czasowe – „historia deformacji” punktu pomiarowego





Land Monitoring

Produkty - przykłady

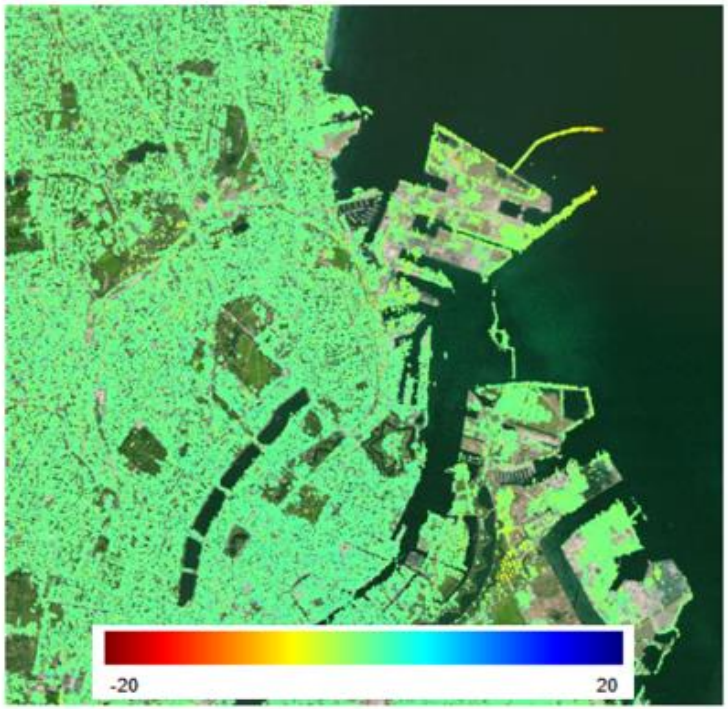


Figure 4 Example of EGMS *Basic* product (City of Copenhagen - Denmark)

Land Monitoring

Produkty - przykłady

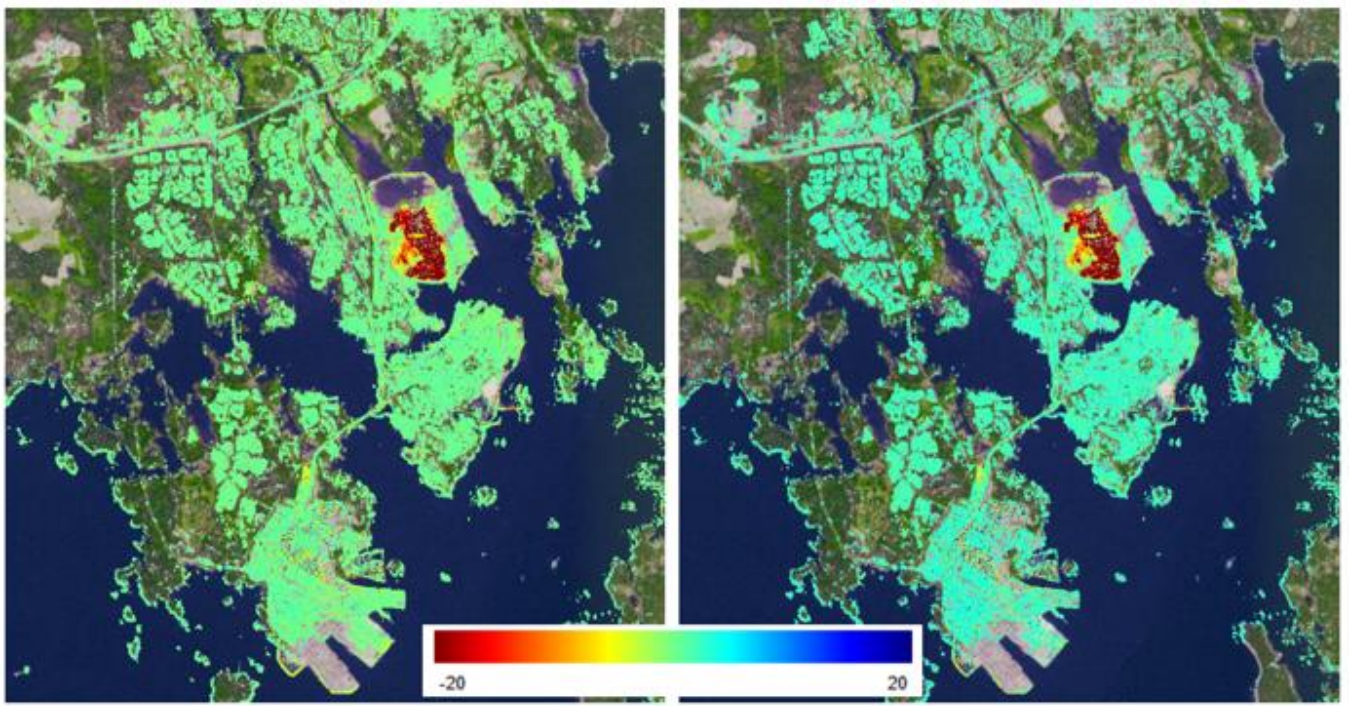


Figure 5 Comparison of *Basic* and *Calibrated* product (City of Kotka - Finland)

Land Monitoring

Produkty - przykłady

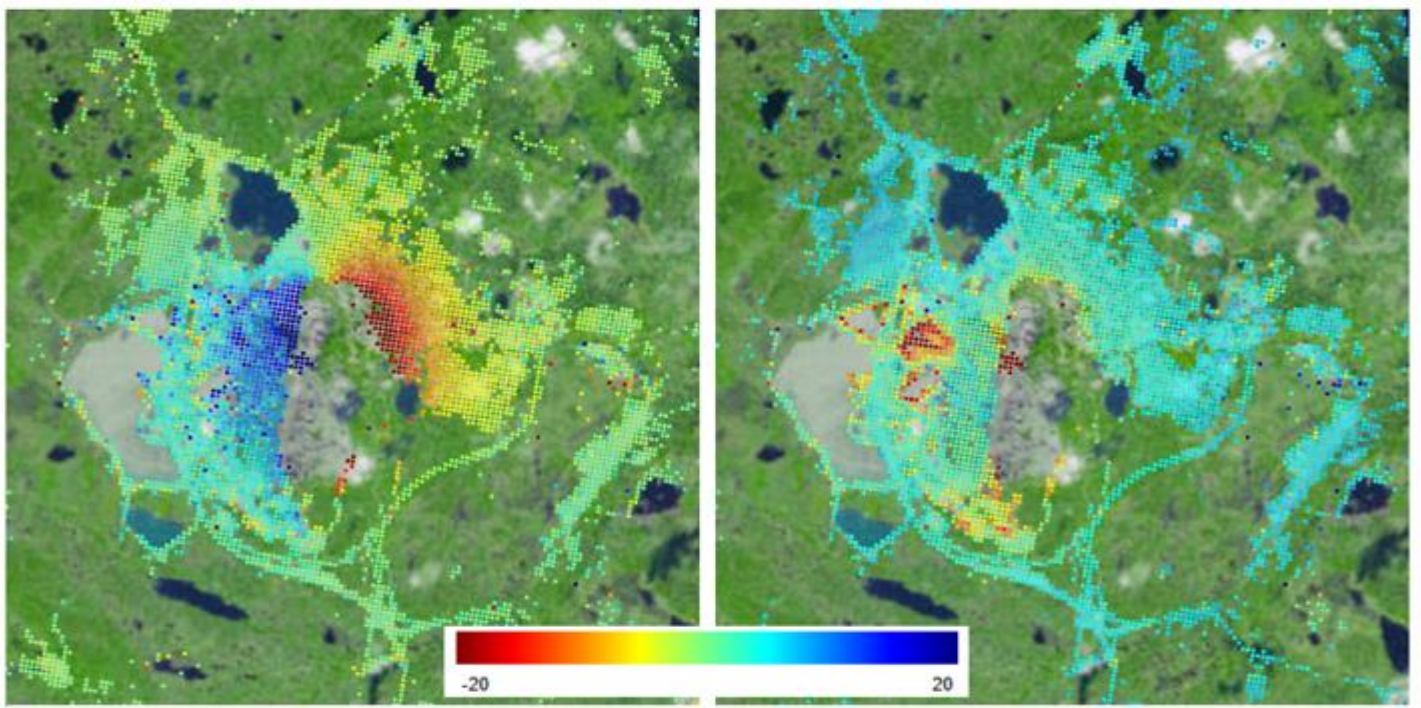


Figure 6 Example of an *Ortho* product – horizontal / East-West (left) and vertical / Up-Down (right) (City of Kiruna - Sweden)

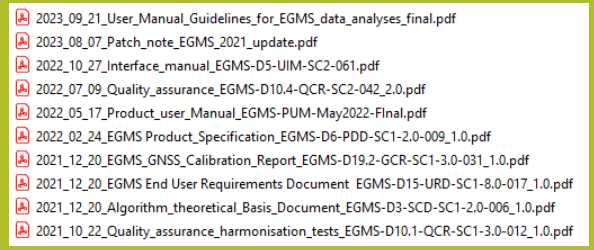
Produkty – udostępnianie i aktualizacja

Udostępnianie

EGMS Explorer *https://egms.land.copernicus.eu/*

Dwie zasadnicze funkcjonalności:

1. Interaktywny WEB GIS
   - ❑ Wizualizacja produktów serwisu
   - ❑ Wykonywanie podstawowych operacji analizy danych
   - ❑ Nie wymaga rejestracji użytkownika
2. Interfejs do poszukiwania i pobierania produktów EGMS (*search and download*)
   - ❑ Dostępny wyłącznie dla zarejestrowanych użytkowników
3. Obszerna dokumentacja



Aktualizacja

Produkty EGMS są aktualizowane corocznie (*updated yearly*); obecnie udostępniane są trzy różne zbiory danych.

- ❖ BAZOWY / Baseline – obejmuje okres 2015- 2020 – opublikowany 2021
- ❖ PIERWSZA AKTUALIZACJA / First update – obejmuje okres 2015- 2021 – opublikowany 2022
- ❖ DRUGA AKTUALIZACJA / Second update – obejmuje okres 2018- 2022 – opublikowany 2023*
- ❖ TRZECIA AKTUALIZACJA / Third update – obejmie okres 2019- 2023 – będzie opublikowany Q4/2024

*od tej aktualizacji „okno" szeregów czasowych będzie wynosiło 5 lat

Produkty – wymagania

Specifications	*Basic*	*Calibrated*	*Ortho*
3D Geolocation accuracy	<10m	<10m	<10m
Mean velocity STD	0.7 mm/yr	0.7 mm/yr	0.7 mm/yr
Displacement STD	4 mm	8mm	8mm
Measurement Density	CORINE Land Cover 18: Class 1.1.1 > 5000 MP/km² Class 1.1.2 > 1000 MP/km² Class 1.2 > 1000 MP/km² Class 3.3 > 100 MP/km²	The same as *Basic*	Reduced due to resampling

Zagęszczenie punktów pomiarowych zależne od rodzaju pokrycia terenu (CLC)

Produkty – charakterystyka i walidacja

Walidacja – różne działania podjęte w celu uwiarygodnienia serwisu na poziomie: **naukowym**, **technicznym** i **komercyjnym**
Pierwszy raport walidacyjny - *https://land.copernicus.eu/en/technical-library/validation-report-2015-2021-dataset/@@download/file.*

Główne kwestie raportu:

1. Kompletność produktów w zakresie **pokrycia przestrzennego** i **gęstości** punktów pomiarowych (MPs)
Zagęszczenie punktów może być niskie poza obszarami zurbanizowanymi oraz na terenach szybkich deformacji (dla 6 dniowego interwału obserwacyjnego to bezwzględna prędkość deformacji około 2mm/ dzień). Pomiary walidacyjne pokazały, że gęstość MP osiąga w przybliżeniu wartości:

110 MPs / km^2 – dla obszarów leśnych
145 MPs / km^2 – dla obszarów rolniczych
7 800 MPs / km^2 – dla obszarów zurbanizowanych

2. Precyzja i **dokładność**
Analizy wykonano na wielu obszarach rozrzuconych na obszarze całej Europy, wykorzystując zróżnicowane dane walidacyjne (tachimetrię, niwelację , GNSS) . Część wyników pokazuje wysoką zgodność pomiędzy EGMS i innymi pomiarami zarówno w zakresie **prędkości deformacji** (bezwzględne różnice mniejsze niż 1-2 mm/rok), jak i **szeregów czasowych** przemieszczenia (odchylenie standardowe różnic poniżej 5 mm).

Niestety nie można tego powiedzieć o wszystkich obszarach testowych!

Wyznaczone wartości bywają dalekie od oczekiwań. Np. 5-10 mm/rok dla prędkości oraz 10-20 mm dla deformacji (przemieszczenia).

Land Monitoring

Produkty – charakterystyka i walidacja – cd.

Przyczyny rozbieżności

1. EGMS **footprint** (pomiar) może **nie koincydować** przestrzennie z pomiarami walidacyjnymi ponieważ „promień poszukiwań" wynosi 50-100m. Na takich odległościach może dochodzić do wyznaczania deformacji innych szczegółów.

2. Różnice mogą wynikać z **błędów danych wejściowych** do generowania produktów EGMS:
   - ❑ **ogólnie niską koherencję** (zwykle wykluczającą MPs)
   - ❑ **czasowo niską** (dotyczącą podzbioru obserwacji pomiarowych)
   - ❑ nawet **obserwacje odstające** dla jednej rejestracji
   - ❑ **błędy szczątkowe** (rezydualne) oszacowania i eliminacji **wpływu atmosfery**

3. Różnice mogą być wynikiem **błędów w danych referencyjnych (**np. wyboru punktu referencyjnego**).**

Land Monitoring

Produkty – charakterystyka i walidacja

Główne kwestie raportu - cd:

3. Użyteczność produktów EGMS dla różnych typów zastosowań

- ❑ Ocena spójności danych EGMS w kontekście geologicznym i środowiskowym danego obszaru walidacyjnego
- ❑ Ocena użyteczności produktów EGMS dla konkretnych zastosowań: np. osuwiska
- ❑ Podkreślenie wartości dodanej serwisu EGMS

Pomimo stwierdzonych odstępstw między produktami EGMS i danymi walidacyjnymi w obszarach o **wysokich czasowo-przestrzennych gradientach deformacji** i przemieszczeń uzyskano bardzo **wysoką zgodność ogólną**.

Land Monitoring

Metody i narzędzia analizy danych EGMS

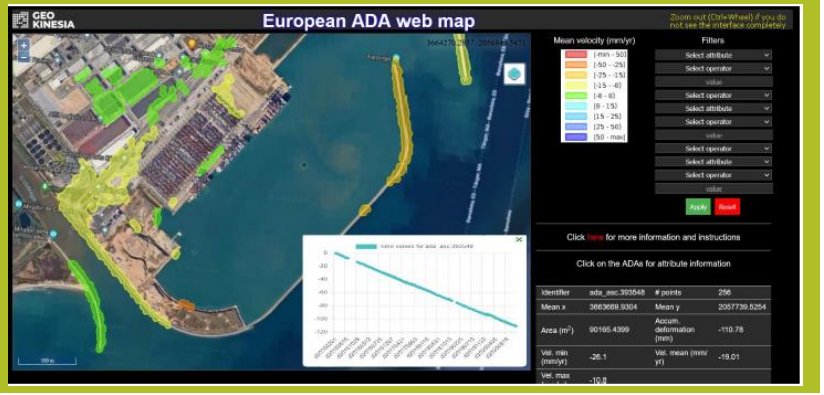
EGMStream - wycinanie, ekstrakcja, konwersja

- Aplikacja bezpłatna i ogólnodostępna
- Pobiera oryginalne dane EGMS CSV i transformuje do formatów ESRI Shapefile oraz GeoPackage
- Operuje na pojedynczych „burstach" lub wycinku AOI

ADA Finder – aplikacja dla „nonexpert" users (**ADA – Active Deformation Areas**)

- Redukcja i filtracja dużych zbiorów danych PSI
- Ułatwiona interpretacja danych
- Identyfikacja skupień (klastrów) MPs lub ADAs o szybkości deformacji powyżej danego progu
- Dołączony indeks jakości (homogeniczność stref ADA + szum dla szeregów czasowych)
- Do analizy stanu infrastruktury na obszarach zurbanizowanych

- https://adatools.cttc.es
- http://groundmotionADAs.com



Land Monitoring

Metody i narzędzia analizy danych EGMS

ADA Classifier – klasyfikacja deformacji geologicznych lub antropogenicznych

- Oparta na regule drzewa decyzyjnego
- Użyteczne narzędzie do przyspieszenia interpretacji produktów EGMS na dużych obszarach
- Klasyfikuje strefy ADA wg. 6 kategorii:
  - osuwisko
  - zapadlisko
  - osiadanie terenu
  - przemieszczenie budynku
  - pęcznienie gleby
  - deformacje termiczne

ADA Supervised ML / Extreme Gradient Boosting technique

- jako INPUT: ADA Finder output + DTM + Land Cover
- Obecnie trzy kategorie:
  - deep-seated gravitational slope deformation
  - landslide
  - Subsidence

ADA Impact – wspomaganie oceny ryzyka

….

PSDefoPAT – temporalny model deformacji (trend i periodyczność)

ADA Finder + ADA Classifier = ADATools

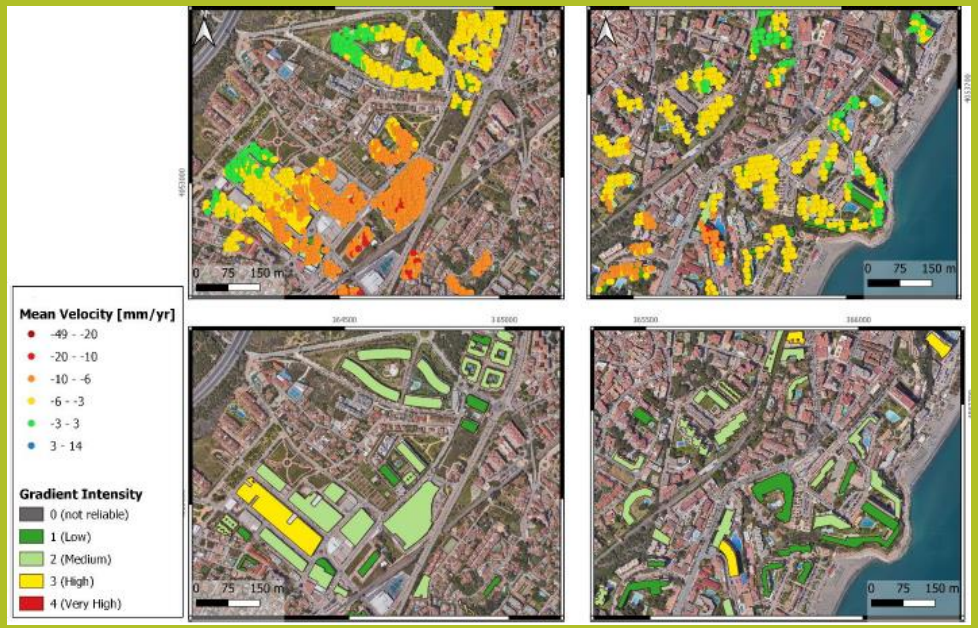
Land Monitoring

Metody i narzędzia analizy danych EGMS

BDD - Building Differential Deformation

- Wymaga jako „input" EGMS Basic product
- + wektorowej mapy budynków i infrastruktury
- Oblicza lokalny spadek i ekspozycję pola deformacji dla poszczególnych budynków

http://groundmotionADAs.com

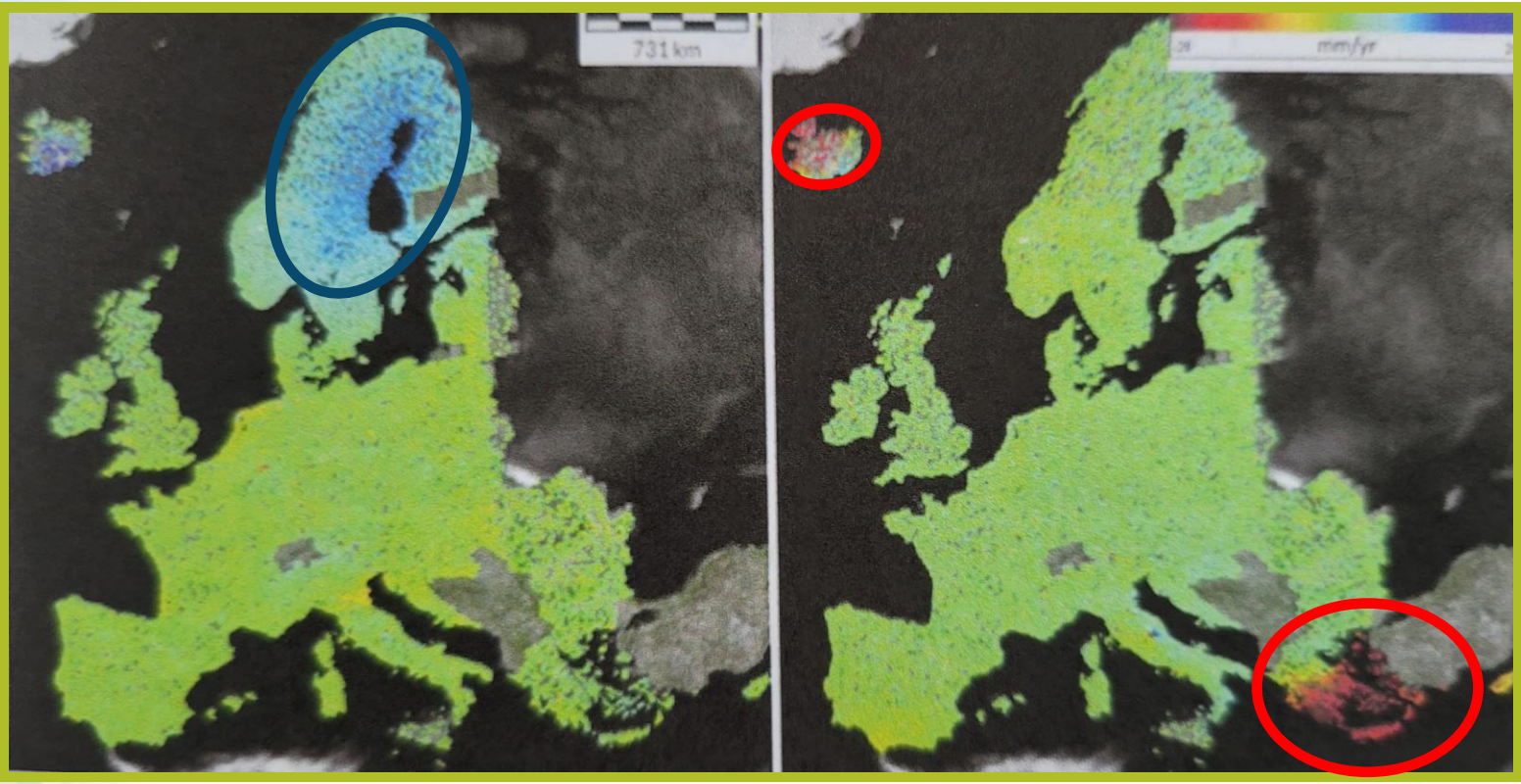


Obszary tematyczne wykorzystania produktów EGMS w ostatnich 3 latach

Dziedzina	Poddziedzina	Referencje (około 50)
Osiadania	Obszary przybrzeżne/ Eksploatacja wód gruntowych	Antoniadis et al. (2023), Thiéblemont et al. (2023), Melet et al. (2021), Evelpidou et al. (2023) Hasan et al. (2023), Mateos et al. (2024), Khan et al. (2024), Beccaro et al. (2023), Ghaderpour et al. (2024)
Osuwiska	Badania lokalne / Rejestr osuwisk	Yishu (2022), Nikolakopoulos et al. (2023), Godone et al. (2023), Dabiri and Nilfouroushan (2024), Torre et al. (2024), Lau et al. (2024) Necula and Niculită (2023), Necula and Niculită (2024), Guinau et al. (2024), Medici et al. (2024)
Geodynamika i tektonika		Atanasova and Nikolov (2023), Metzger et al. (2023), Mildon et al. (2024), Melichar et al. (2024)
Górnictwo	Głębinowe, odkrywkowe, opuszczone kopalnie,	Pawłuszek-Filipiak et al. (2023), Ilieva et al. (2024), Motagh et al. (2024), Tzampoglou and Loupasakis (2023), Yang et al. (2023), Tinagli et al. (2024)
Infrastruktura	Mosty, wały, infrastruktura inżynieryjna, zbiorniki gazu	Tonelli et al. (2023), Eskandari and Scaioni (2023), Ruiz-Armenteros et al. (2023), Costantini et al. (2022), Vasileva (2023), Zêzere et al. (2024), Wang (2023), Fibbi et al. (2023), Fibbi et al. (2024), Rigamonti et al. (2024), Negula et al. (2023)
Obszary zurbanizowane / budynki		Mele et al. (2023), Hlaváčová et al. (2023), Shahbazi et al. (2022), Shahbazi et al. (2024), Rodríguez-Antuñano et al. (2023)
Archeologia i dziedzictwo narodowe		Antonioli et al. (2023), Agapiou et al. (2023), Ioannidis et al. (2024)

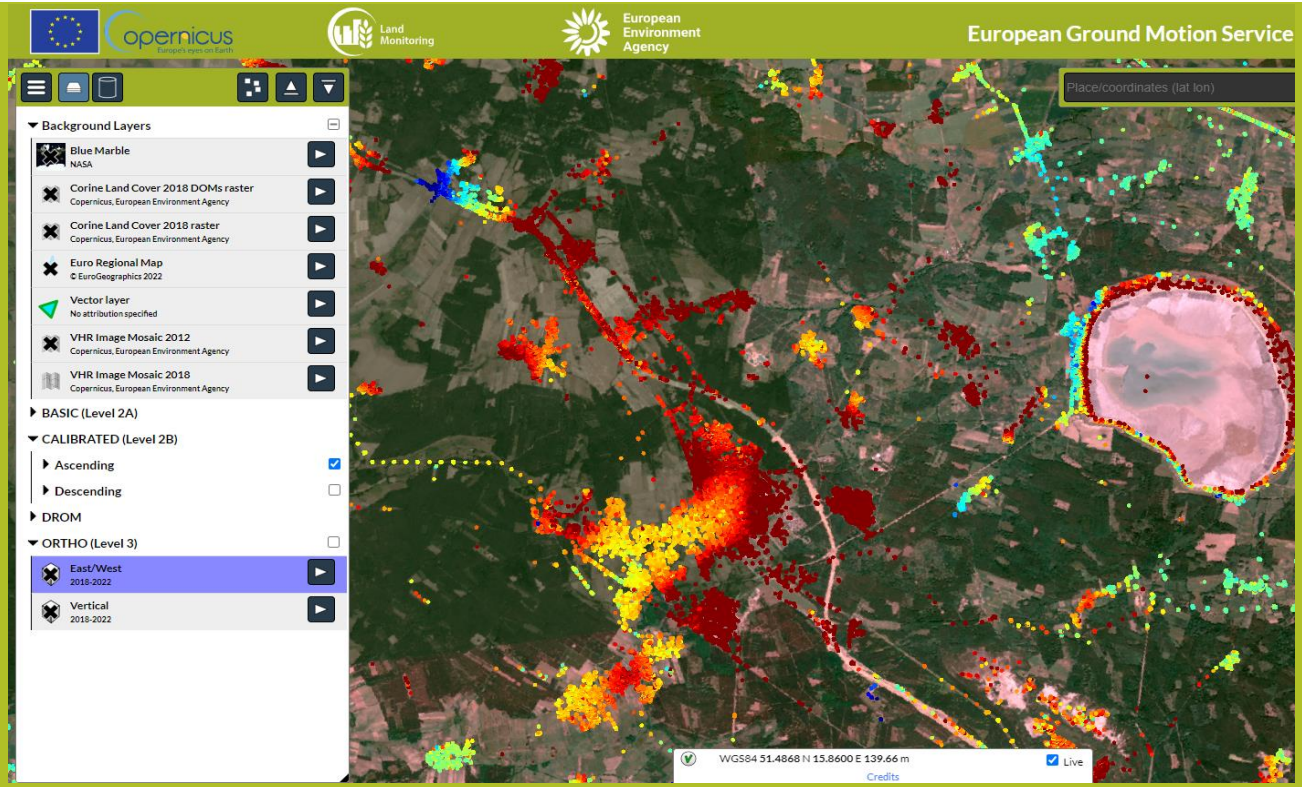
Land Monitoring

PRZYKŁADY



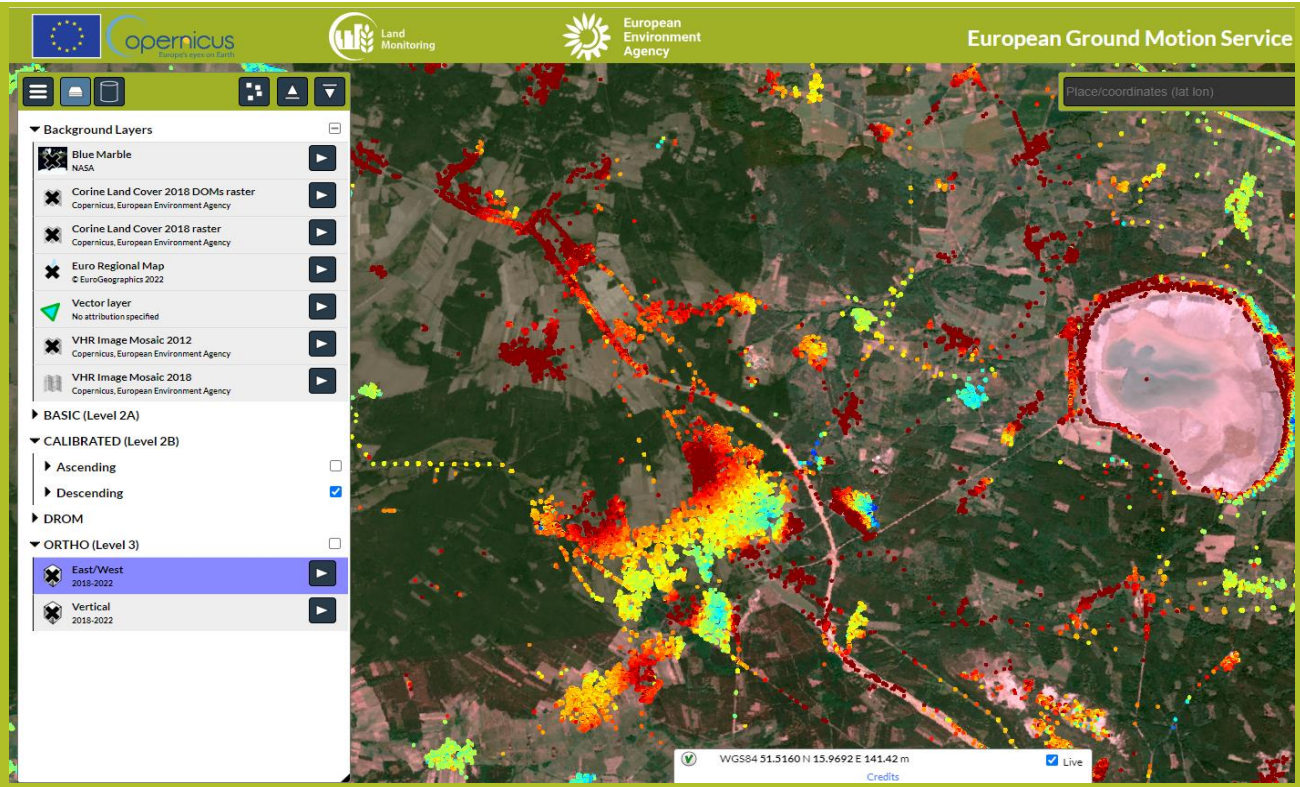
Land Monitoring

PRZYKŁADY



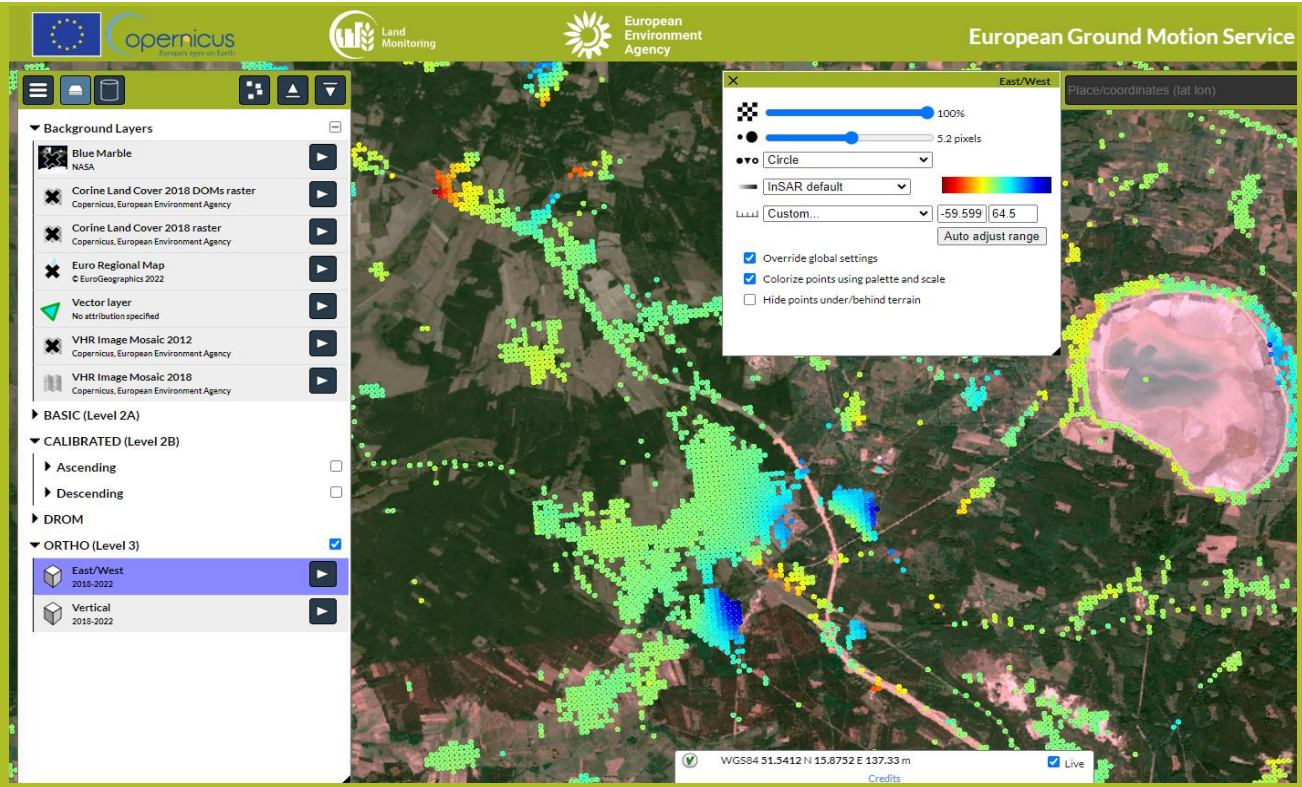
Land Monitoring

PRZYKŁADY



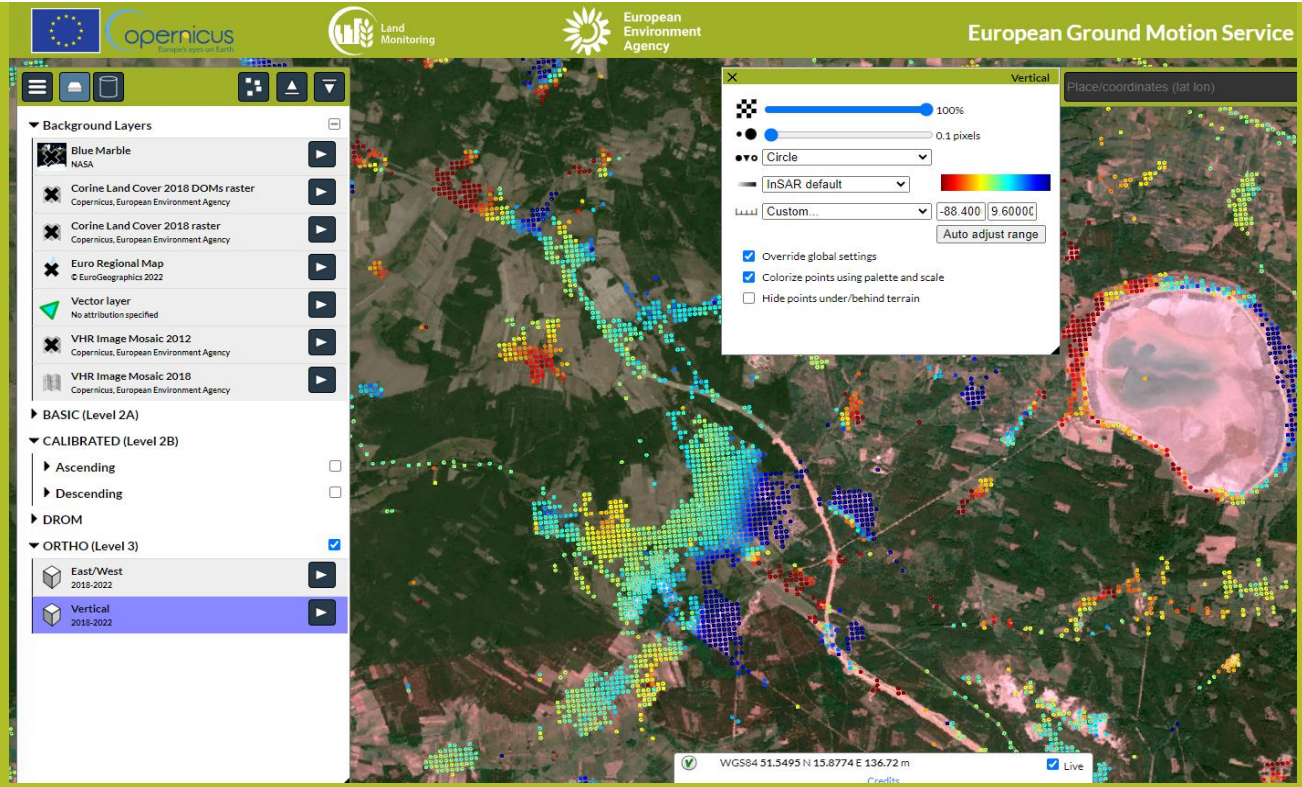
Land Monitoring

PRZYKŁADY



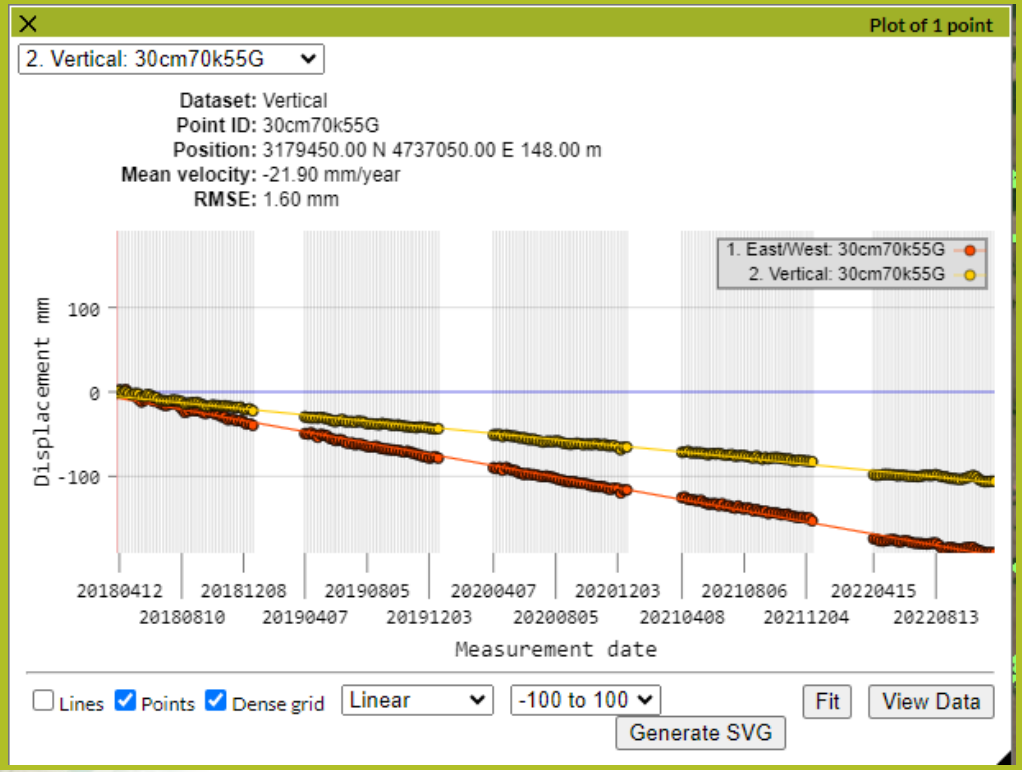
Land Monitoring

PRZYKŁADY



Land Monitoring

PRZYKŁADY



Data

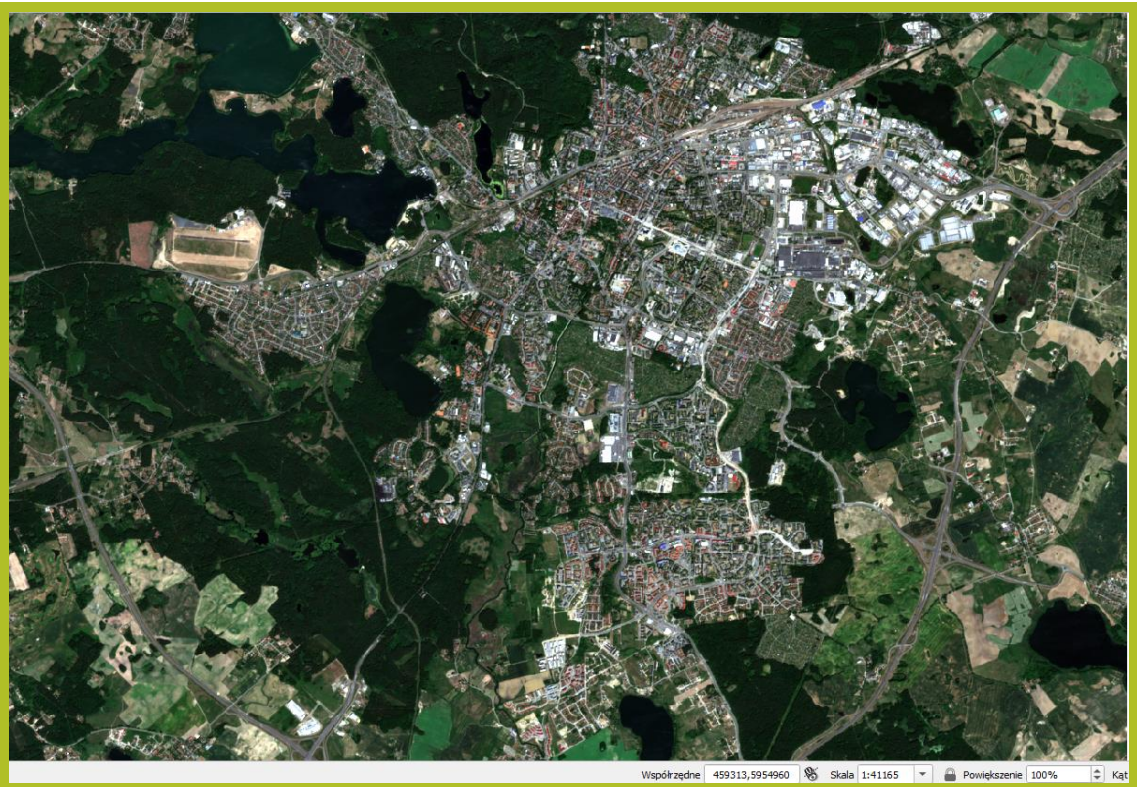
Name	Value
Dataset	Vertical
Point ID	30cm70k55G
easting	4737050
northing	3179450
height	148
rmse	1.60000002
mean_velocity	-21.89999962
mean_velocity_std	0.10000000
acceleration	1.45000005
acceleration_std	0.17000000
seasonality	1
seasonality_std	0.10000000

Data

Name	Value
Dataset	Vertical
Point ID	30cm70k55G
easting	4737050
northing	3179450
height	148
rmse	1.60000002
mean_velocity	-21.89999962
mean_velocity_std	0.10000000
acceleration	1.45000005
acceleration_std	0.17000000
seasonality	1
seasonality_std	0.10000000

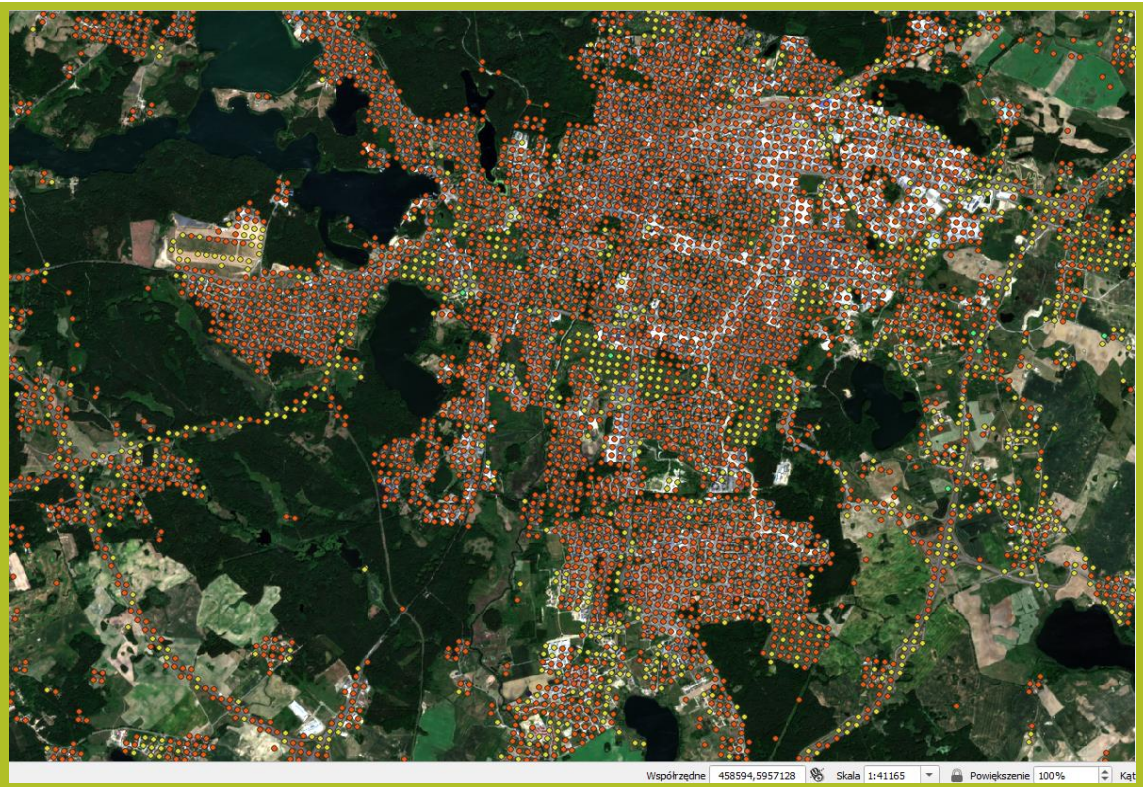
Land Monitoring

PRZYKŁADY



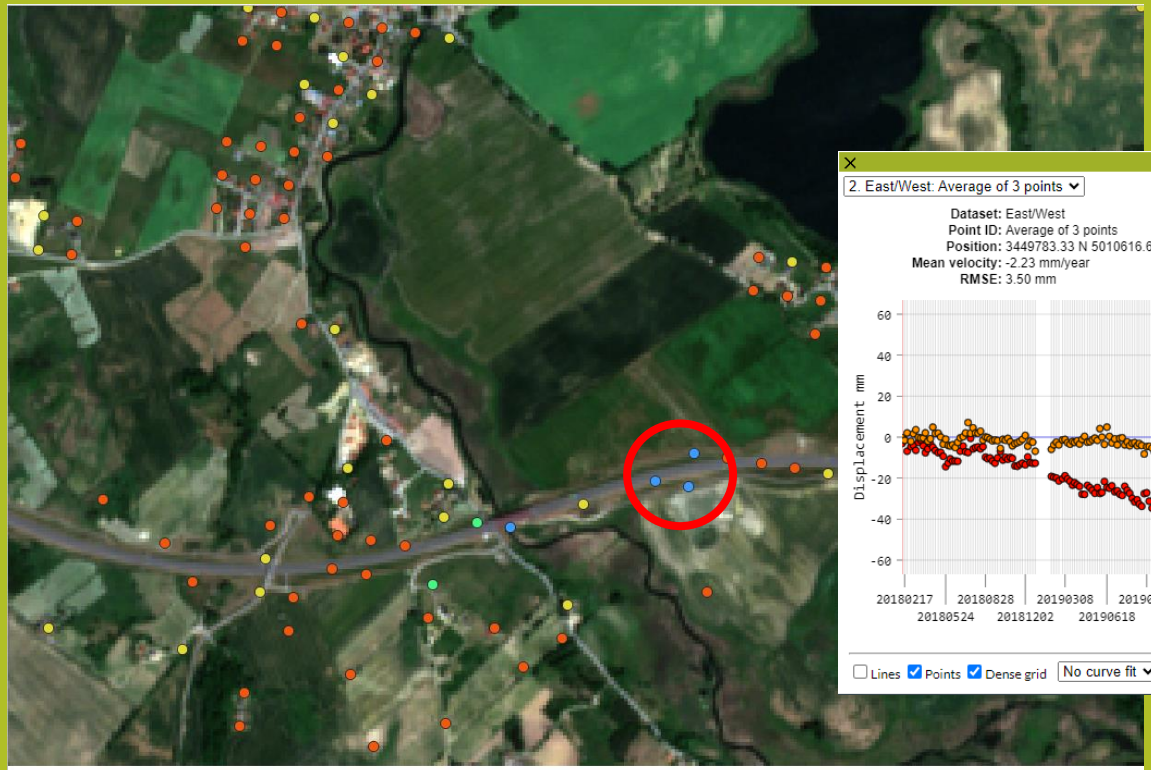
Land Monitoring

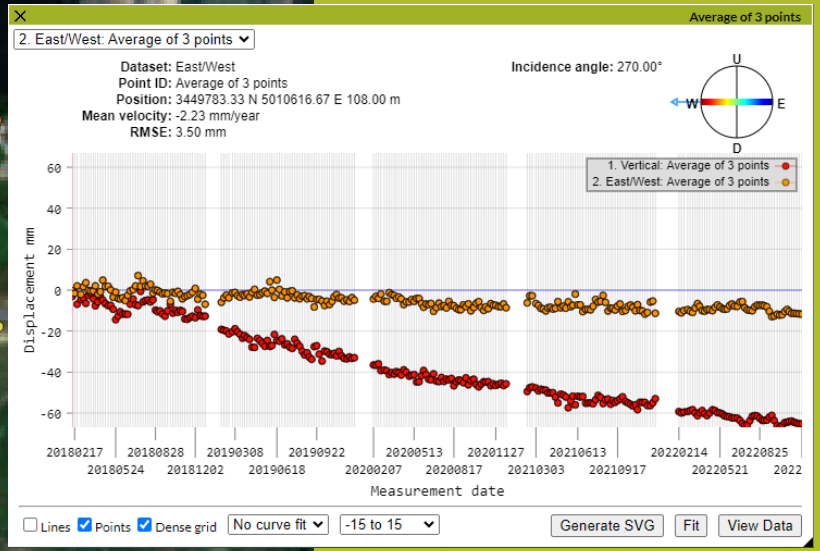
PRZYKŁADY



Land Monitoring

PRZYKŁADY





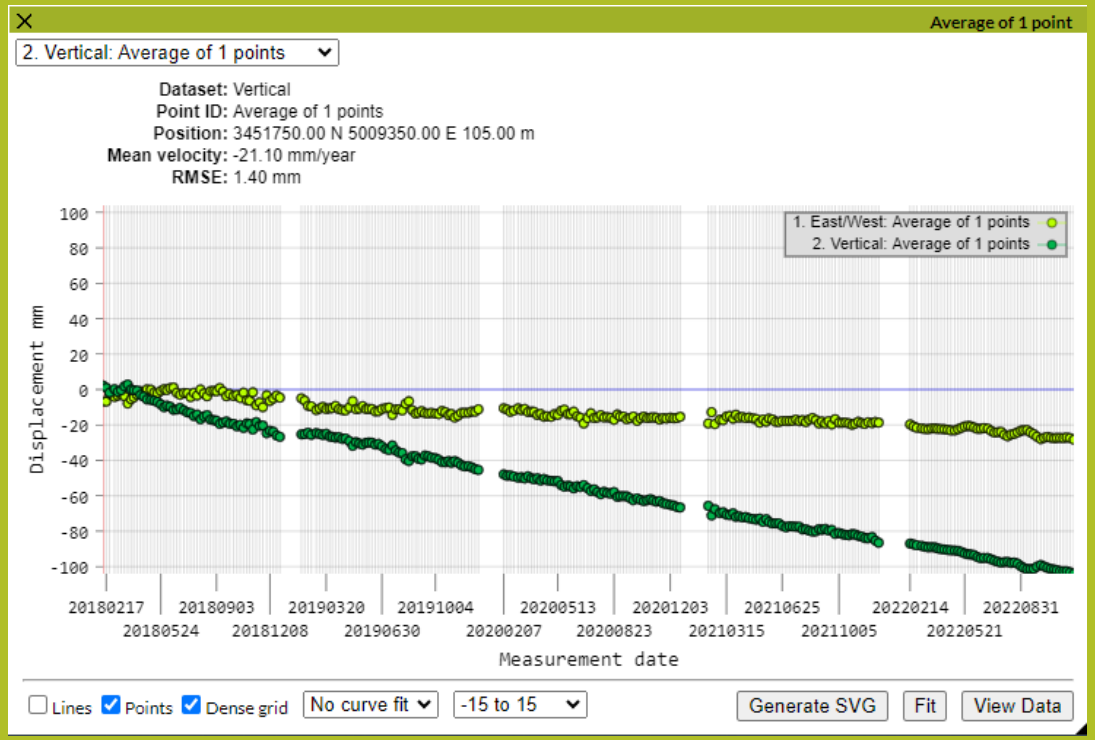
IV Akademia Kartografii i Geoinformatyki
„Modelowanie czasoprzestrzenne"
Wrocław 22-24 maja 2024r.

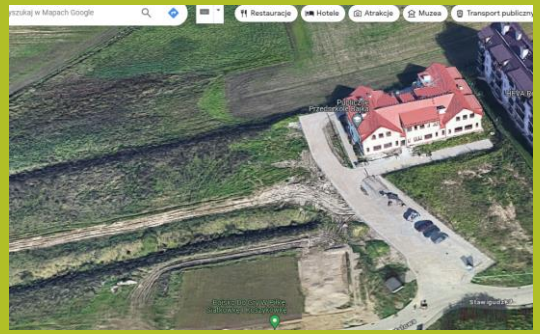
Politechnika Wrocławska
Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii

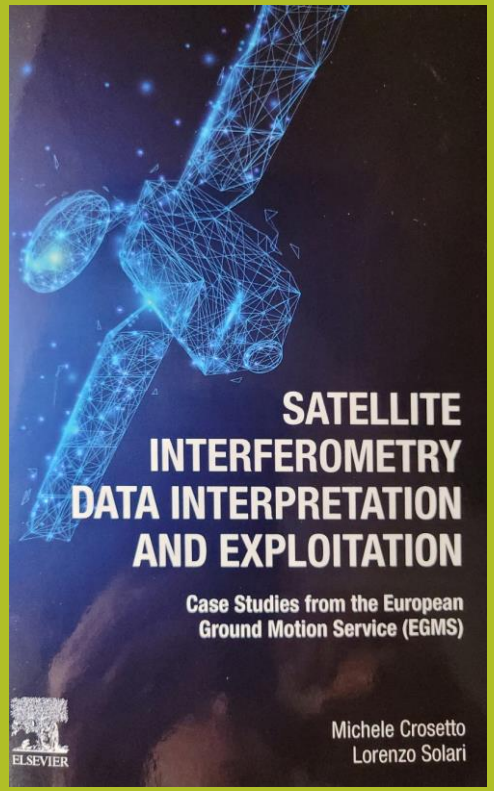
Copernicus
Europe's eyes on Earth

Land Monitoring

PRZYKŁADY





Land Monitoring

Polecam ☺