



Ocena ryzyka wystąpienia szkód wywołanych przez inwestycje infrastrukturalne oraz analiza zaistniałych szkód - milimetrowa dokładność osiągnięta za pomocą radarowych danych satelitarnych

Dariusz Ziólkowski, Jan Kryński, Jan Cisak, Magdalena Łągiewska, Łukasz Żak

Instytut Geodezji i Kartografii



Zintegrowany system monitoringu deformacji podłoża gruntowego z wykorzystaniem interferometrii radarowej trwałych reflektorów

II Konkurs PBS (NCBR)

marzec 2014 – wrzesień 2017

Jednoczesna analiza wielkoobszarowych ruchów o podłożu geologicznym, hydrologicznym i lokalnych deformacji wywołanych pracami budowlanymi

Dane radarowe:

ERS-1/2: lata 1992 - 2010

Envisat: lata 2002 - 2010

Sentinel-1: lata 2014 - 2017

CosmoSkymed: lata 2011 - 2016

TerraSAR-X: lata 2011-2012 i 2016-2017

GEOREFERENCJA, KALIBRACJA, WALIDACJA



SZTUCZNE TRWAŁE REFLEKTORY

Rozmieszczone m.in. w bezpośrednim sąsiedztwie stacji GNSS



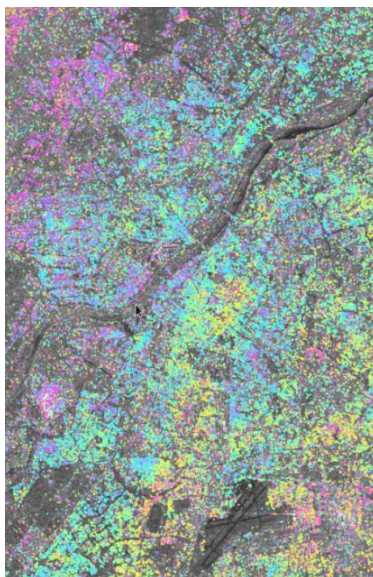
POMIARY ZE STACJI GNSS

Georeferencja, walidacja, połączenie rozłącznych zbiorów ERS-1/2 i CosmoSkymed



NIWELACJA PRECYZYJNA

Ogromna baza pomiarów archiwalnych i aktualnych wykonanych na potrzeby projektu





Charakterystyka pomiarów deformacji metodą PSI



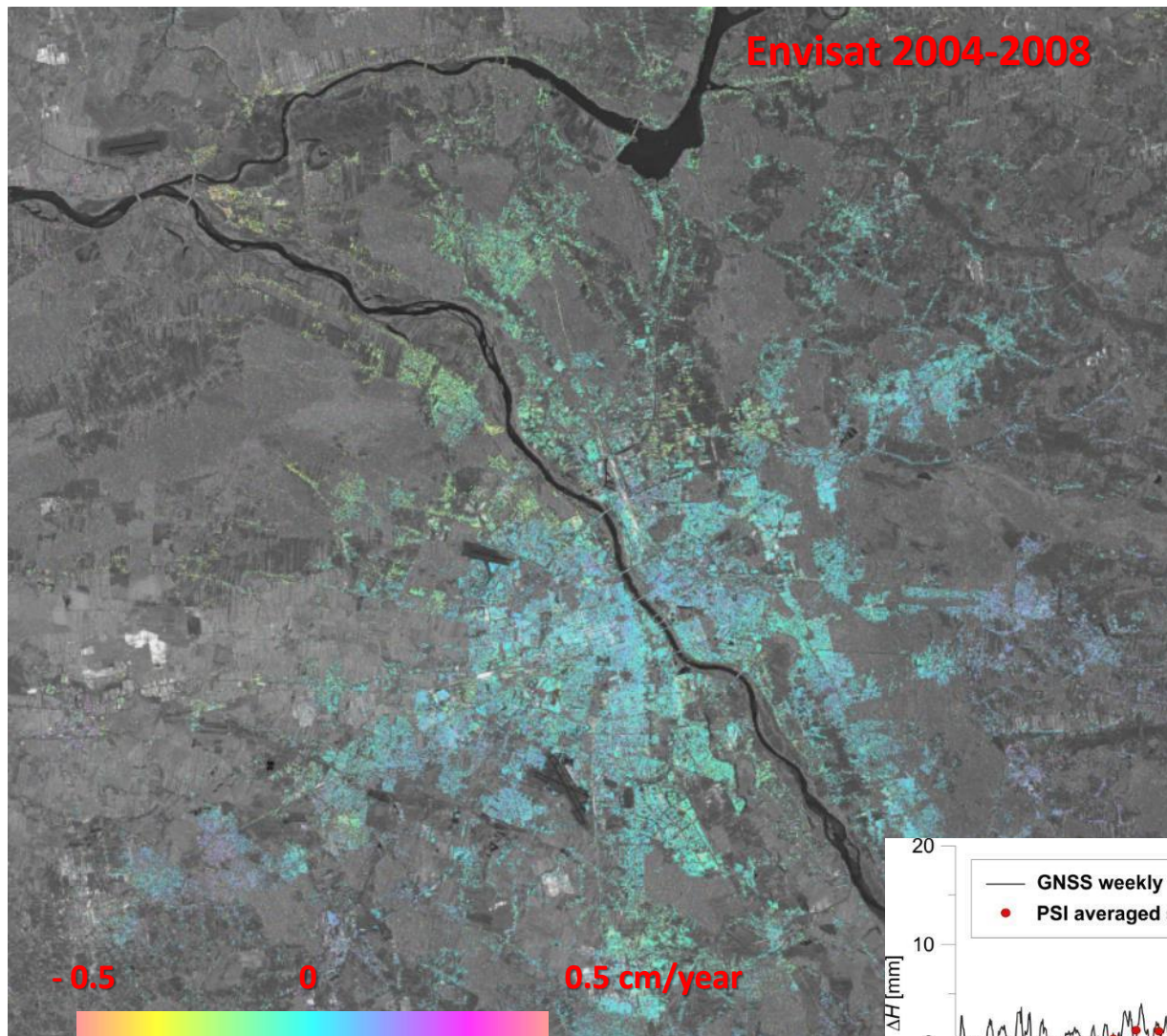
- **Powierzchniowy monitoring deformacji**
- **Bardzo wysoka gęstość przestrzenna** pomiarów (*nawet pow $10^3/\text{km}^2$*)
- Możliwość prowadzenia analiz na bardzo dużych obszarach (**skala całego Kraju** lub więcej w przypadku danych Sentinel-1)
- **Bardzo dobra rozdzielczość czasowa** (*rejestracja obrazów Sentinel-1 co 6 dni, wysokorozdzielcze TerraSAR-X co 11 dni*)
- **Bardzo wysoka precyzja** (*nawet w granicach 1 mm - TerraSAR-X*)
- Możliwość prowadzenia analiz historycznych
- Pomiar wyłącznie na obiektach będących trwałymi reflektorami (*naturalnymi bądź sztucznymi*) – zależność od form pokrycia terenu
- **Integracja** z pomiarami z permanentnych **stacji GNSS** zapewnia **wysoką precyzję w skali całego Kraju** i dowiązanie do **obowiązującego** systemu



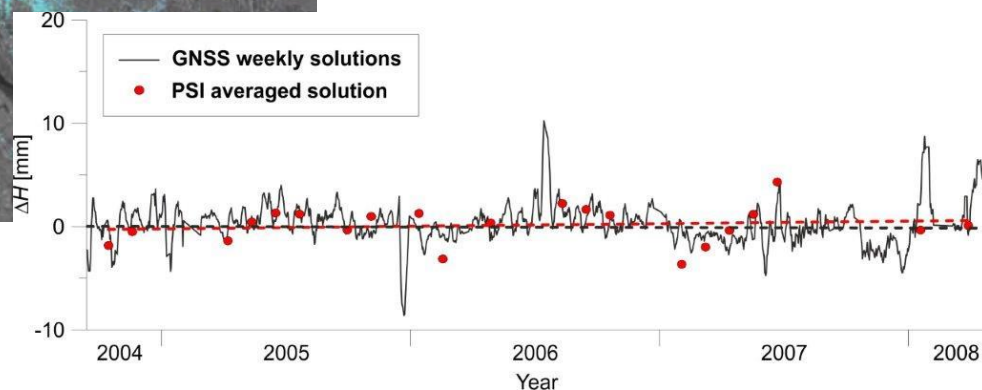
PSI – nowoczesna operacyjna technologia z potencjałem do dalszego dynamicznego rozwoju

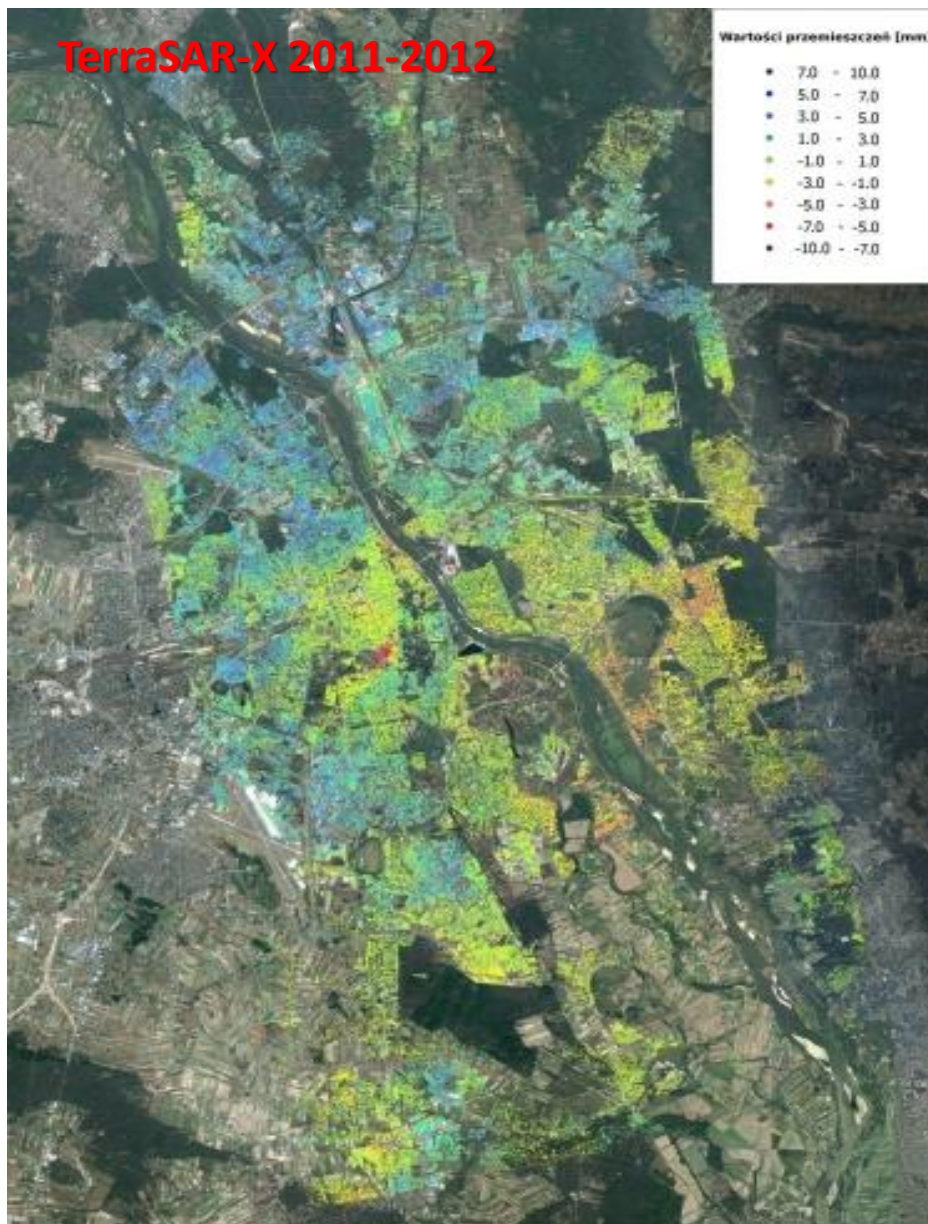


- Interferometria radarowa trwałych reflektorów (*PSI*) jest **technologią operacyjną**
- Może być stosowana do **monitorowania deformacji** w bardzo **różnych skalach od pojedynczych inwestycji po monitoring całego kraju**
- Zintegrowana z innymi technikami (*GNSS, niwelacja precyzyjna*), daje możliwość uzyskania pomiarów z **ogromną precyzją** (ok. 1 mm/rok), **bardzo wysoką gęstością pomiarów**, na **bardzo dużym obszarze**, przy relatywnie **bardzo niskich kosztach**
- **Ogromny potencjał rozwojowy** wynikający m.in. z coraz lepszych systemów satelitarnych oraz poprzez **integrację z innymi metodami pomiarowymi** głównie GNSS, niwelacją precyzyjną i pomiarami grawimetrycznymi

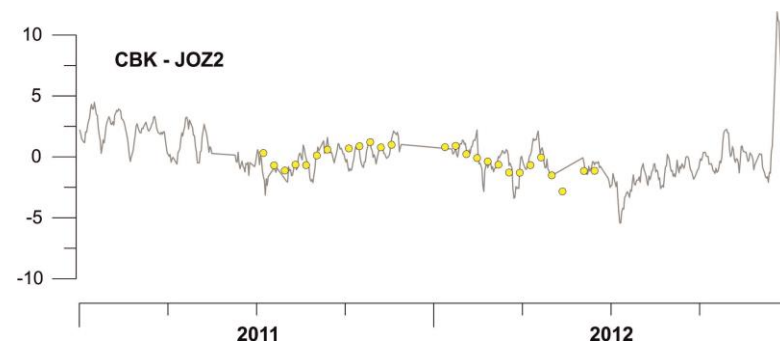


- **Możliwość tworzenia tanich i wielkoobszarowych systemów monitoringu zarówno na bazie archiwalnych danych Envisat, jak również aktualnych obrazach Sentinel-1**
- **Udokumentowana precyzyjna wielkoobszarowa kalibracja i walidacja systemu za pomocą pomiarów z permanentnych stacji GNSS**





Wykorzystanie wysokorozdzielczych obrazów komercyjnych daje możliwość połączenia możliwości monitorowania dużych obszarów i bardzo wysokiej precyzji wymaganej przy monitoringu pojedynczych inwestycji budowlanych



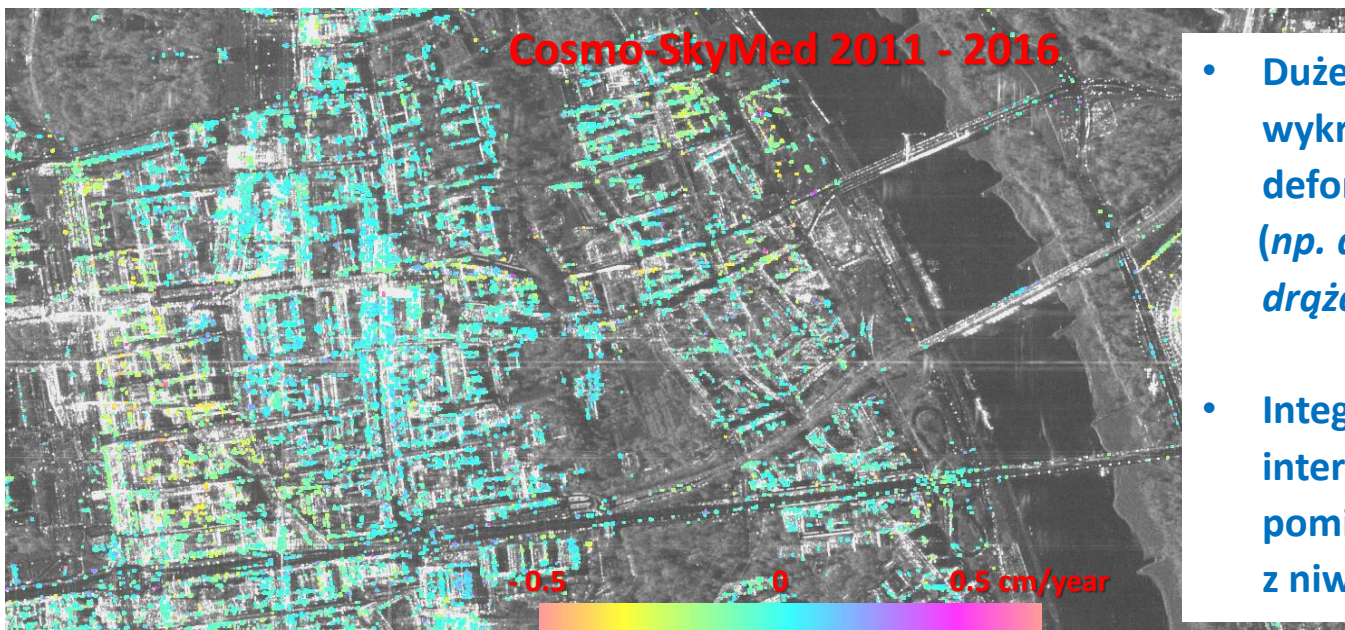
TerraSAR-X 2011-2012







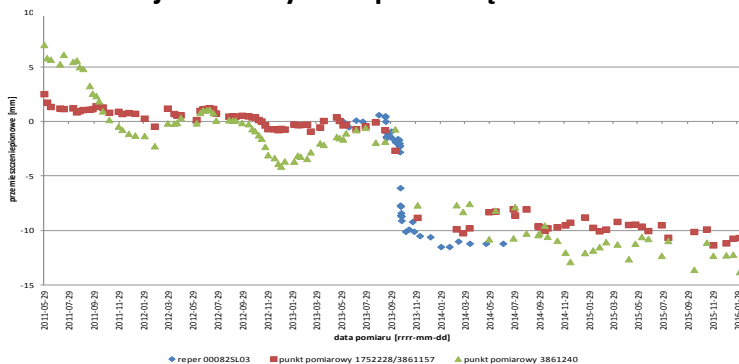
Precyzyjny monitoring bieżących inwestycji infrastruktury budowlanej, np. budowa metra



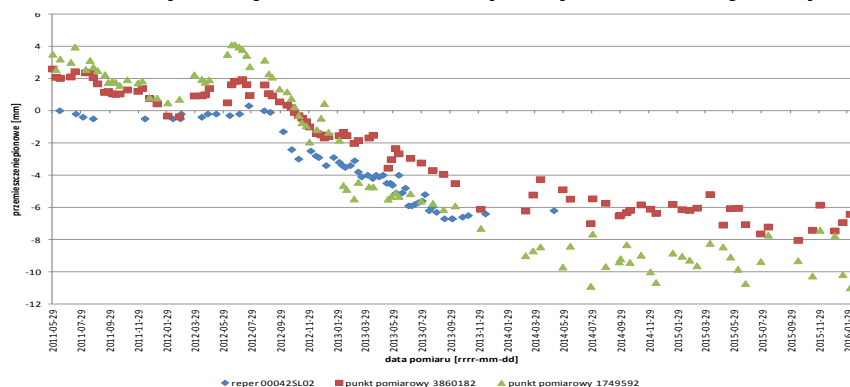
- Duże możliwości w zakresie wykrywania i monitorowania deformacji nieliniowych (np. deformacje w wyniku drżenia tuneli tarczą TBM)
- Integracja pomiarów interferometrycznych z pomiarami ze stacji GNSS oraz z niwelacją precyzyjną

Bardzo wysoka precyzja w określaniu trendów deformacji (poniżej 1 mm/rok) oraz historii deformacji (deformacja na daną datę) – do 2 mm/rok. Udokumentowana wysoka zgodność z pomiarami wykonywanymi metodą niwelacji precyzyjnej

Przebieg tarczy TBM pod ulicą Bartosiewicza



Deformacje w sąsiedztwie budowy stacji Metro Świętokrzyska

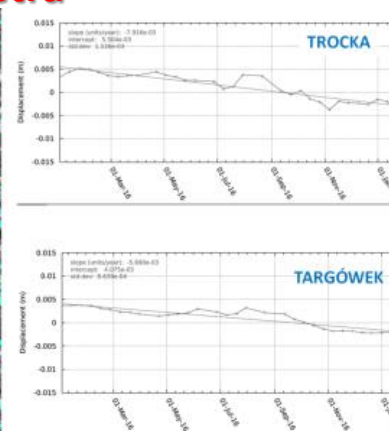
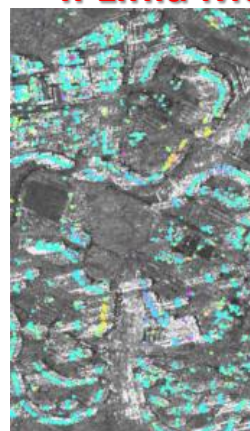
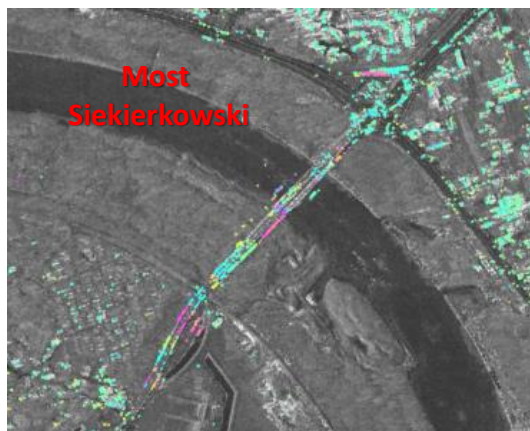




m.in.:

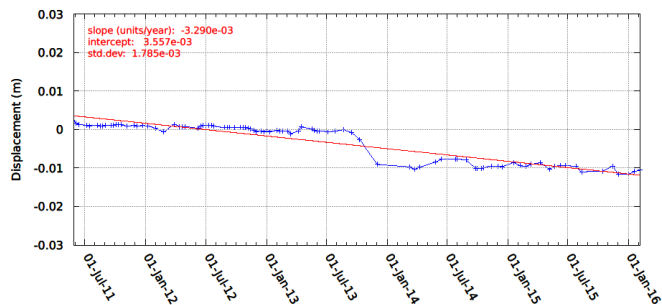
- Deformacje wynikające ze zmian hydrologicznych
- Wyznaczanie obszarów o mniej korzystnych warunkach zabudowy
- Deformacje o genezie geologicznej
- Określanie stabilności obszarów przeznaczonych pod inwestycje
- Monitoring budynków
- Monitoring dróg i mostów
- Monitoring metra i innych obiektów związanych z tunelowaniem

II Linia Metra

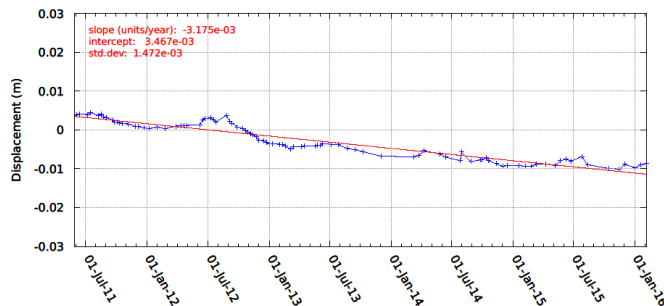


Jednoczesne pomiary dla wielu niezależnych deformacji

Bartosiewicza



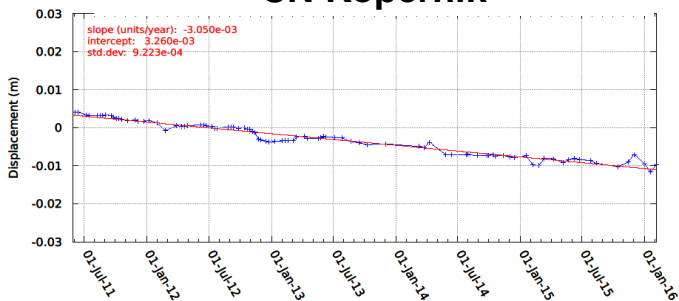
Szkolna



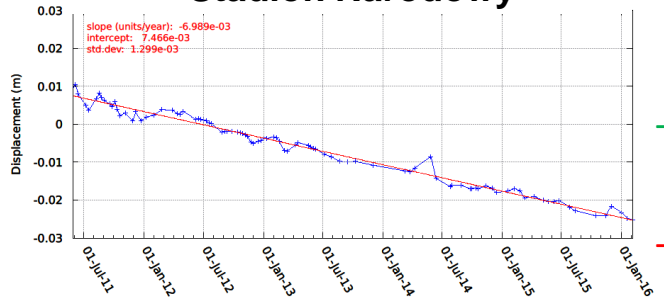
Zapadlisko przy ul. Szkolnej powstałe w trakcie budowy II linii metra



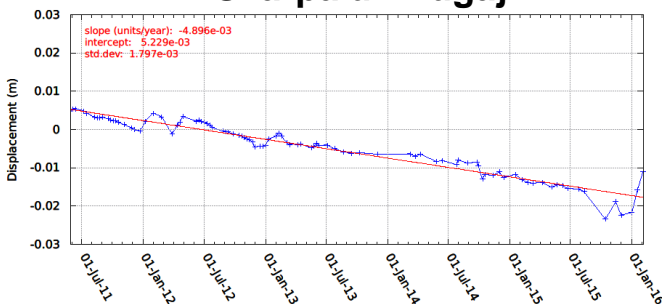
CN Kopernik



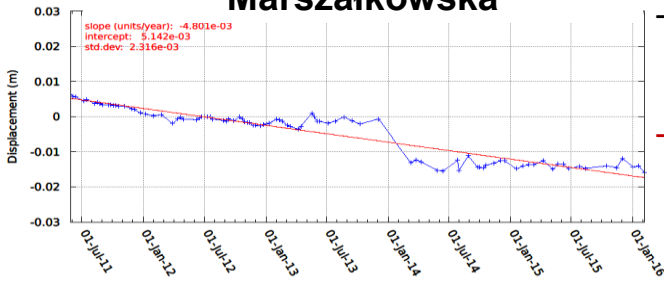
Stadion Narodowy



Skarpa ul. Bugaj



Marszałkowska



- Zapobieganie zagrożeniom
- Ocena ryzyka
- Ubieganie się o odszkodowania
- Ocena oddziaływania na środowisko
- Świadome planowanie nowych inwestycji (infrastruktura krytyczna)



Korzyści z integracji technik pomiarowych



- Techniki PSI, GNSS i niwelacja są wzajemnie **komplementarne**
- Mimo tego, że techniki GNSS i niwelacji precyzyjnej mogą być stosowane z powodzeniem niezależnie od siebie, każda z technik może czerpać korzyści wynikające z wzajemnej integracji

PSI

- Walidacja i uwiarygodnienie uzyskanych wyników na dużych obszarach (*GNSS*) i lokalnie (*niwelacja precyzyjna*)

GNSS

- Uwiarygodnienie uzyskanych wyników
- Możliwość uzyskania informacji o zmianach wysokości permanentnych stacji GNSS z dokładnością wyższą niż poziom szumów pomiarów GNSS analizowanych oddzielnie

Niwelacja precyzyjna

- Możliwość wyznaczania obszarów stabilnych względem siebie przed rozpoczęciem prac projektowych
- Wsparcie w wyznaczaniu lokalizacji reperów odniesienia, określanie w trakcie trwania inwestycji czy zostały posadowione poza zasięgiem jej oddziaływania
- Dowiązanie pomiarów niwelacyjnych do pomiarów PSInSAR i **integracja wszystkich metod w jeden dynamiczny system odniesienia**



Wymierne efekty projektu DefSAR



- Odtworzenie **historii deformacji** obszaru Warszawy na różnych typach danych radarowych (Envisat, Cosmo-SkyMed, TerraSAR-X, Sentinel-1)
- **Wysokorozdzielczy system monitoringu dla Warszawy** bazujący na danych wysokorozdzielczych TerraSAR-X. Analogiczny system może być opracowany dla dowolnego obszaru na terenie kraju
- **Niskorozdzielczy system monitoringu** bazujący na darmowych danych Sentinel-1. Istnieje potencjał do stworzenia na bazie tych danych **systemu monitoringu dla całego kraju**
- **Instrukcja/rekomendacje** dotyczące zasad tworzenia zintegrowanych systemów monitoringu bazującego na interferometrii radarowej trwałych reflektorów, pomiarach z permanentnych stacji GNSS oraz niwelacji precyzyjnej

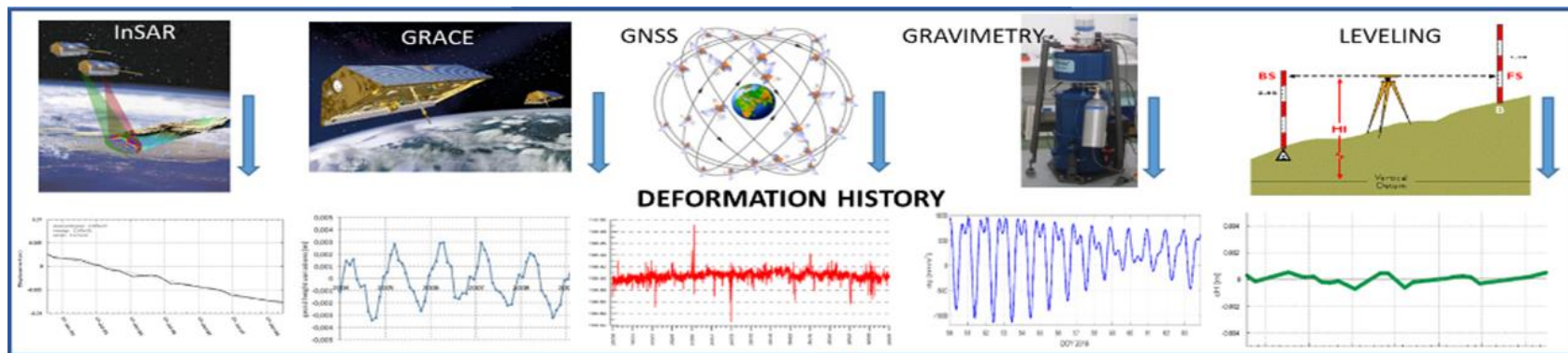


Kontynuacja Zintegrowanego Systemu monitoringu dla Warszawy



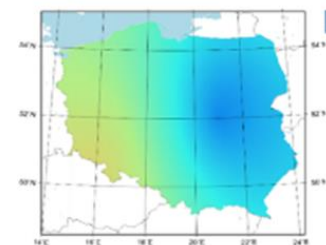
- Opracowany w ramach projektu **DefSAR Wysokorozdzielczy Zintegrowany System Monitoringu jest przygotowany do operacyjnego wdrożenia** po zakończeniu projektu
- Ze względu na dużą liczbę inwestycji infrastrukturalnych na terenie Warszawy (*nowe odcinki II linii metra, tunel Południowej obwodnicy Warszawy pod Ursynowem, liczne biurowce i in.*) mogących mieć wpływ na otaczające budynki, miasto to powinno posiadać proponowany system monitoringu
- **Ze względu na konieczność analizy wpływu inwestycji na pojedyncze obiekty powinien to być system wysokorozdzielczy**
- Duża liczba obiektów, które powinny zostać objęte monitoringiem sprawia, że **system ten jest bardzo efektywny ekonomicznie**. Potencjalne korzyści (*obniżenie strat*) z tytułu posiadania bardziej dokładnej informacji pochodzącej z systemu wysokorozdzielczego uzasadniają poniesienie wyższych kosztów.
- **Efekt skali: system monitoringu dla całego miasta jest tańszy** niż kilka systemów dedykowanych poszczególnym obiektom
- **System poprawia możliwości oceny ryzyka przed rozpoczęciem inwestycji, w trakcie jej trwania oraz po jej zakończeniu**
- Częstotliwość uaktualniania informacji o deformacji zależna od oczekiwań potencjalnego odbiorcy
- **System taki możemy zbudować dla dowolnego miasta w Polsce**

Integracja z pomiarami grawimetrycznymi naziemnymi i satelitarnymi



- Nadanie fizycznego sensu obserwowanym deformacjom
- Lepsze możliwości interpretacyjne
- Jeden globalny punkt referencyjny
- Precyzyjna walidacja włącznie z walidacją powierzchniową za pomocą danych z satelitarnej misji grawimetrycznej GRACE
- Zwiększenie gęstości i precyzji pomiarów poprzez usunięcie efektu pływów litosferycznych

HYDROLOGY AND EARTH TIDES



GEOLOGY



Potencjał do stworzenia krajowego dynamicznego systemu monitoringu deformacji



Krajowy Zintegrowany Dynamiczny System Monitoringu Deformacji Podłoża Gruntowego



- **Krajowe systemy monitoringu deformacji są tworzone już w wielu krajach europejskich**, m.in. w Niemczech, Włoszech, Danii, Norwegii i Holandii
- Możliwość stworzenia takiego systemu dają darmowe dane radarowe pochodzące z satelitów Sentinel-1 Europejskiej Agencji Kosmicznej rejestrowane od września 2014 r.
- Naturalnymi beneficjentami takiego systemu są służby geodezyjne i geologiczne, administracja samorządowa, Towarzystwa Ubezpieczeniowe i Reasekuracyjne (działalność w skali całego Kraju)
- Stworzenie Zintegrowanego Systemu Krajowego Deformacji na bazie rozwiązań proponowanych przez Instytut Geodezji i Kartografii (*intergracja z pomiarami z permanentnych stacji GNSS i pomiarami grawimetrycznymi*) daje gwarancję najwyższej jakości i spełniania kryteriów geodezyjnych (*udokumentowana wysoka precyzja pomiarów dla dużych obszarów*)



Krajowy Zintegrowany Dynamiczny System Monitoringu Deformacji Podłoża Gruntowego



Wybrane korzyści:

- Szczegółowa precyzyjna informacja o deformacjach w skali całego Kraju (*częstotliwość pomiarów nawet co 6 dni*)
- Możliwość wykrywania i monitorowania deformacji wielkoobszarowych, np. ewentualne deformacje w obrębie strefy T-T
- Możliwość stworzenia jednego precyzyjnego zintegrowanego systemu odniesienia, do którego mogą być dowiązywane inne pomiary, np. niwelacyjne
- **Obniżenie kosztów systemu poprzez zastosowanie efektu skali, wiele obiektów podlegających deformacjom w obrębie jednej sceny radarowej**
- Korzyści dla administracji publicznej, jak również impuls do rozwoju przedsiębiorczości poprzez dostęp do danych bardzo istotnych w wielu dziedzinach gospodarki, **zwiększenie dostępności do tego typu produktów dla małych odbiorców** – znaczne podwyższenie bezpieczeństwa
- **Wzmocnienie konkurencyjności polskich instytucji na arenie międzynarodowej**



Krajowy Zintegrowany Dynamiczny System Monitoringu Deformacji Podłoża Gruntowego



Wybrane korzyści:

- Monitoring oddziaływania działalności górniczej na infrastrukturę
 - Monitoring oddziaływania dużych inwestycji
 - Lepszy nadzór nad firmami prowadzącymi inwestycję
 - Ocena przydatności terenów pod zabudowę
 - Ocena stabilności obszarów przeznaczonych pod budowę infrastruktury krytycznej
 - Lepsze zapewnienie bezpieczeństwa dzięki możliwości szybszego przeciwdziałania zagrożeniom
 - Lepsza, szybsza i tańsza ocena przyczyn deformacji
 - **Poprawa oceny ryzyka w działalności ubezpieczeniowej, na każdym etapie inwestycji**
 - Możliwość ubiegania się o odszkodowania
- I wiele innych



Dziękuję za uwagę