



**Wydział Geodezji
i Kartografii**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

**Zakład Geodezji
i Astronomii Geodezyjnej**

Precyzyjne pozycjonowanie GNSS

Dominik Próchniewicz

100
lecie

Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

Prace badawcze dotyczące precyzyjnego pozycjonowania GNSS

- Badania naukowe dotyczące **metod precyzyjnego pozycjonowania GNSS** (GPS+GLONASS+Galileo+BeiDou) z wykorzystaniem metod statycznych oraz kinematycznych (DGNSS, NRTK, PPP, GNSS+INS).
- Prace badawcze obejmują: **rozwój algorytmów pozycjonowania GNSS/GNSS+INS, realizacji i konserwacji krajowych układów odniesienia, zagadnienia metrologiczne** (testowanie systemów pomiarowych GNSS, bazy kalibracyjne GNSS/EDM, komparator systemów niwelacyjnych), lokalne **badania geodynamiczne** w rejonie Pienin i Tatr.
- **Infrastruktura badawcza:** precyzyjne odbiorniki Multi-GNSS, anteny z indywidualną kalibracją, stacje referencyjne (JOZE, WUT, HORN), generatory sygnału GNSS (Spirent, Spectracom), jednostki inercyjne INS.



Projekty i prace badawcze

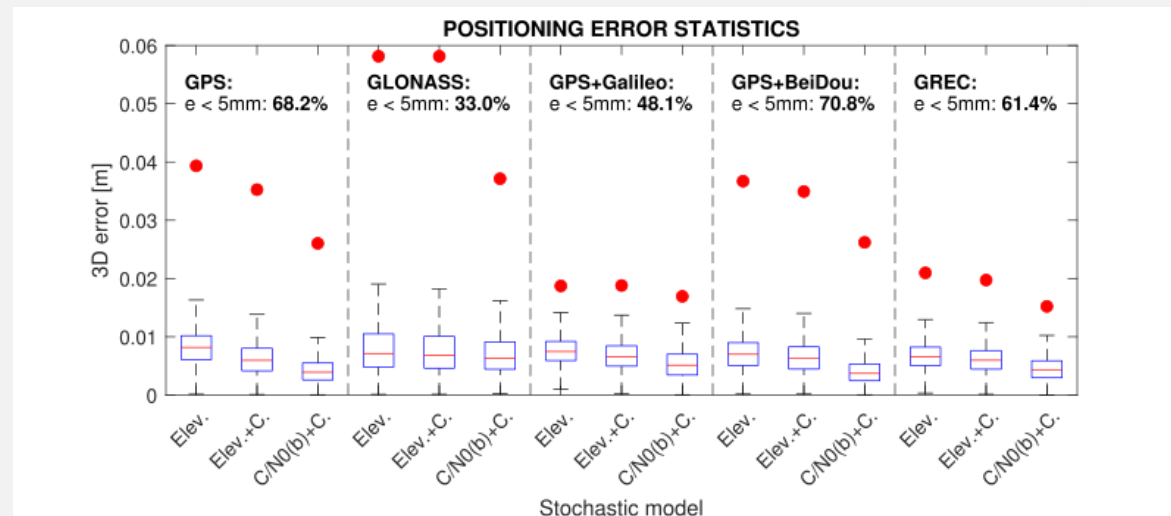
- Badania podstawowe finansowane przez **Narodowe Centrum Nauki** z zakresu rozwoju algorytmów precyzyjnego pozycjonowania GNSS.
- Badania w ramach programu **HORYZONT2020** dotyczące precyzyjnych baz kalibracyjnych.
- Badania finansowane przez **Główny Urząd Geodezji i Kartografii** dotyczące systemów stacji referencyjnych w Polsce.
- Badania prowadzone w ramach programu **Inicjatywa Doskonałości - Uczelnia Badawcza** (Beyond POB) dotyczące odporności technologii GNSS na zakłócenia sygnałów.
- Monitorowanie stanu jonosfery w rejonach polarnych we współpracy z **Instytutem Geofizyki PAN**.



Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

Rozwój algorytmów i modeli pozycjonowania

- Badania nad **modelowaniem stochastycznym** obserwacji GNSS.
- Udoskonalenie metody **pozycjonowania NRTK** poprzez włączenie informacji sieciowych do modelu stochastycznego.
- Rozwój metod opisu **wiarygodności pozycjonowania NRTK**.



Projekty: „Modelowanie stochastyczne obserwacji GNSS na potrzeby precyzyjnego pozycjonowania kinematycznego” NCN, 2017-2021; „Badania nad nowymi metodami opisu wiarygodności precyzyjnego pozycjonowania GNSS-RTK wykorzystującymi wskaźniki jakości rozwiązania sieciowego” NCN, 2013-2015



Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

Wielkoskalowe pomiary przestrzenne dla geodezji

- Celem projektu **GeoMeter** jest rozwinięcie i udoskonalenie łańcucha spójności pomiarowej na potrzeby metrologii długości w geodezji.
- **Opracowanie i walidacja wzorców terenowych** (podstawowego i roboczego) na potrzeby przenoszenia jednostki metra na bazy referencyjne o długości **5 km z niepewnością pomiaru poniżej 1 mm**.
- **Opracowanie technologii, metod i procedur** oceny niepewności na potrzeby naziemnej weryfikacji jednostek SI satelitarnych pomiarów geodezyjnych takich jak SLR i GNSS, dla odległości co najmniej 5 km z niepewnością nie gorszą niż 1 mm oraz ich **wdrożenie do europejskiego wzorca referencyjnego**.
- Projekt realizowany w ramach programu **HORYZONT2020** we współpracy z m.in: **PTB, BKG, GUM**.
- Infrastruktura projektu: bazy kalibracyjne **EURO5000** (Pieniny) i **EURO200** (Józefosław).



Wielkoskalowe pomiary przestrzenne dla geodezji

- EURO5000



- EURO200



100
lecie

Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

Badania geodynamiczne

- Badania geodynamiczne w obrębie **Pienińskiego Pasa Skałkowego** oraz **Tatr** z wykorzystaniem technologii GNSS, grawimetrii absolutnej i względnej oraz niwelacji precyzyjnej.
- Monitorowanie wpływu **zapory w Czorsztynie** na geodynamikę Pienińskiego Pasa Skałkowego.



- geodynamic network stations at the Magura Nappe
- geodynamic network stations at the Pieniny Klippen Belt
- geodynamic network stations at the Podhale Flysh

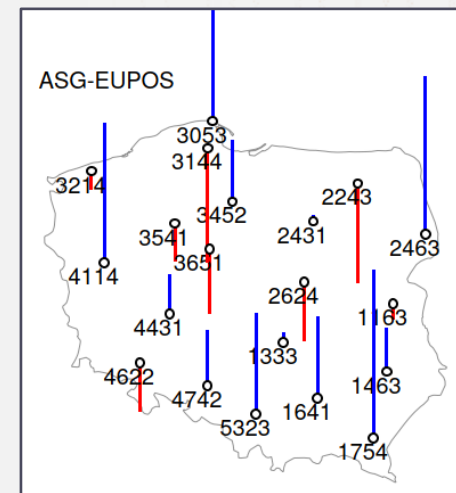
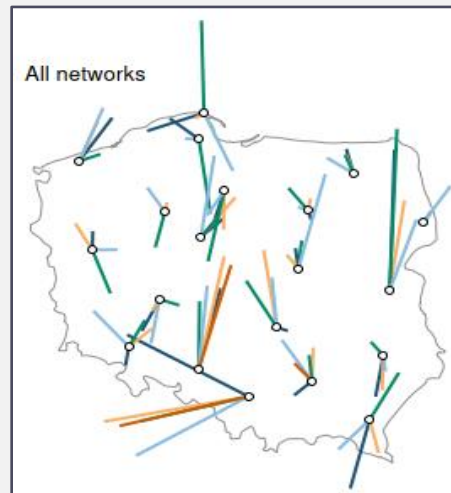
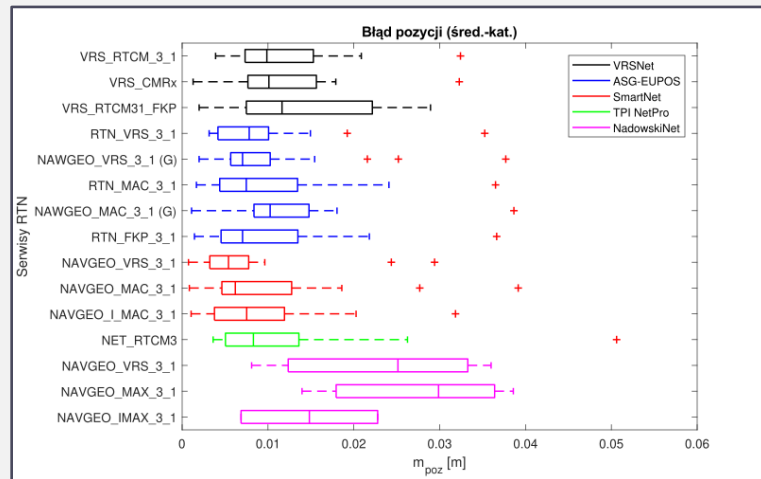


100
lecie

Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

Testy sieci stacji referencyjnych

- Analizy dokładności **serwisów pozycjonowania RTK/NRTK** udostępnianych przez ogólnopolskie sieci stacji referencyjnych.
- Analizy zgodności układów odniesienia realizowanych przez te sieci z układem krajowym.



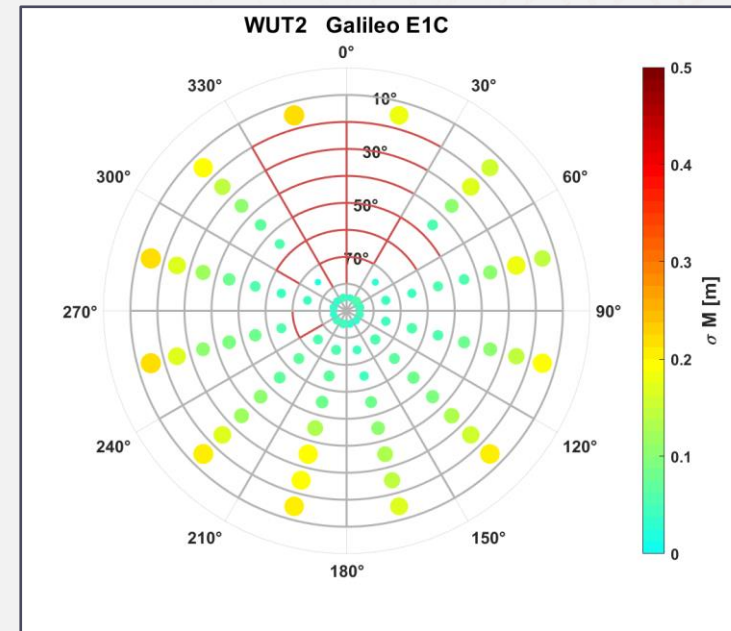
Projekt badawczy zlecony przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii: „Wykonanie testów serwisów systemów referencyjnych GNSS na obszarze kraju”, 2017



Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

Badania odporności sygnałów na zakłócenia

- Badania dotyczące ochrony użytkowników przed błędnym działaniem systemów GNSS spowodowanym intencjonalnymi (jamming, spoofing) oraz przypadkowymi **zakłóceniami sygnałów pomiarowych**.
- Udoskonalanie algorytmów pozycjonowania PPP w warunkach silnych zakłóceń z wykorzystaniem **nowych sygnałów systemu Galileo** udostępnianych w ramach serwisu High Accuracy Service (HAS).
- Badania te wykorzystują: nowoczesny generator sygnałów GNSS (Spirent GSS9000), stacje pomiarowe WUT, odbiorniki GNSS/INS (NaviSoC, Septentrio).



Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

Projekty Beyond POB 2021: „Badania odporności pozycjonowania GNSS na zakłócenia sygnału”; „Badanie możliwości wykorzystania nowych sygnałów Galileo w celu zwiększenia bezpieczeństwa systemów nawigacyjnych”

Badania odporności sygnałów na zakłócenia

- Generator Spirent GSS9000
- Stacje WUT1 i WUT2



100
lecie

Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

Monitorowanie jonosfery w rejonach polarnych

- Wykorzystanie obserwacji GNSS do **badania stanu atmosfery** (opóźnienie jonosferyczne, scyntyłacje) w rejonach polarnych.
- Badania prowadzone we współpracy z Instytutem Geofizyki Polskiej Akademii Nauk na **Polskiej Stacji Polarnej w Horsundzie** (Spitsbergen).



Projekt badawczy dyscypliny ILiT PW pt. „Wykorzystanie obserwacji GNSS z Polskiej Stacji Polarnej w Horsundzie w badaniach geodynamicznych i środowiskowych rejonów polarnych”, 2020

100
lecie

Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej



**Wydział Geodezji
i Kartografii**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

**Zakład Geodezji
i Astronomii Geodezyjnej**

**Ciągłe obserwacje GNSS w Józefostawiu,
centrum analiz obserwacji GNSS,
centrum kombinacji EPN**

Tomasz Liwosz

100 lecie

Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

Obserwatorium w Józefosławiu

Obserwatorium astronomiczno-geodezyjne w Józefosławiu rozpoczęło działalność w 1958 roku i od początku uczestniczy w międzynarodowych programach badawczych dotyczących regionalnej i globalnej geodynamiki

- 1958 – 1997 astronomiczne obserwacje długości i szerokości
- 1966 – 1970 fotograficzne obserwacje sztucznych satelitów Ziemi (SSZ)
- 1983 – 1987 dopplerowskie obserwacje SSZ (TRANSIT)
- 1991 – obserwacje globalnych satelitarnych systemów nawigacyjnych (GNSS)
- 1996 – centrum obliczeniowe GNSS
- 2014 – funkcja Koordynatora Centrów Analiz EPN



Obserwacje GNSS w Józefostawiu

W obserwatorium wykonywane są ciągłe obserwacje do satelitów GNSS:

- GPS, od 1991 roku (ciągłe od 1993 r.)
- GLONASS, od 2002 r.
- Galileo, od 2009 r.
- Beidou, QZSS, Navic, od 2017 r.

Dwa punkty (JOZE, JOZ2) włączone do międzynarodowych programów badawczych:

- IGS – Międzynarodowa Służba GNSS, (JOZE od 1994 r., JOZ2 od 2002 r.)
- EPN – ang. EUREF Permanent Network, (JOZE od 1996 r., JOZ2 od 2002 r.)
- EPOS – ang. European Plate Observing System, od 2020 r.

JOZE (od 1991 r.)



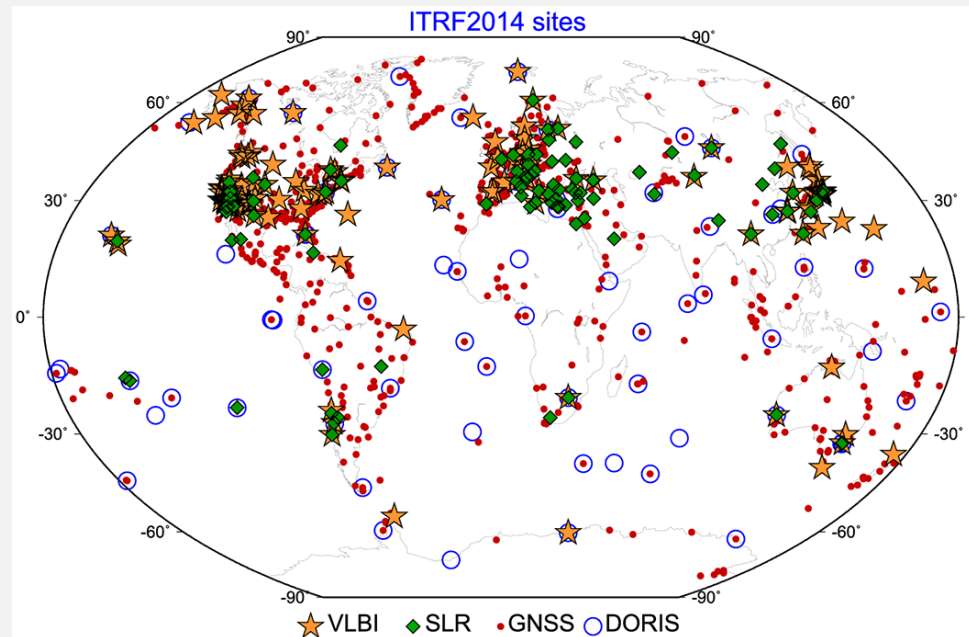
JOZ2 (od 2002 r.)



Punkty GNSS w Józefostawiu a układy odniesienia

Punkty JOZE, JOZ2 to stacje referencyjne w globalnych, regionalnych i krajowych geodezyjnych ziemskich układach odniesienia:

- ITRF2014 – międzynarodowy ziemski układ odniesienia
- IGB14 – ziemski układ odniesienia IGS
- ETRF2014 – europejski układ odniesienia EUREF
- PL-ETRF2000 – układ odniesienia dla Polski



100
lecie

Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

Centrum analiz obserwacji GNSS

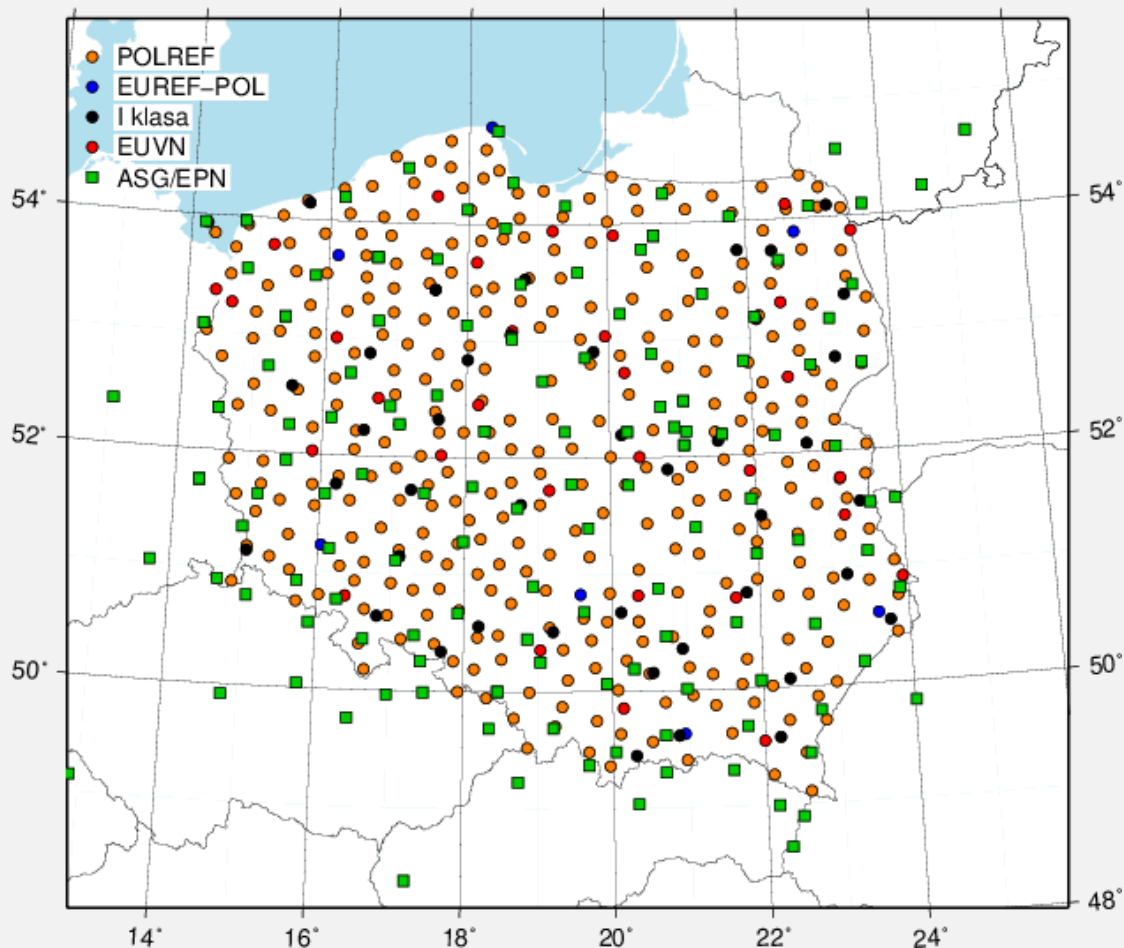
W obserwatorium działa centrum analiz obserwacji GNSS, którego działalność obejmuje:

- Regularne analizy obserwacji GNSS jako Centrum Analiz EPN (WUT EPN AC)
 - Udział w projekcie EPN repro i planowanym Repro 3 (ponowna analiza wszystkich obserwacji GNSS od 1996 r. w spójny sposób, z wykorzystaniem najnowszych modeli)
- Analizy obserwacji GNSS w sieci ASG-EUPOS
- Analizy obserwacji GPS w ramach międzynarodowego projektu geodynamicznego CERGOP (w latach 1994-2008)
- Opracowywanie i testowanie nowych strategii obliczeniowych obserwacji GNSS



Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

Centrum analiz: Współpraca z GUGiK-iem



W 2011 r. opracowaliśmy geodezyjny przestrzenny układ odniesienia dla polskiej osnowy podstawowej (**PL-ETRF2000**)

- Układ przyjęty przez GUGiK w 2013 r. jako oficjalny geodezyjny układ odniesienia w Polsce
- Układ obowiązuje do dzisiaj

100
lecie

Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

Centrum analiz: Współpraca z GUGiK-iem

W 2015 r. opracowaliśmy nową realizację układu odniesienia dla polskiej osnowy podstawowej w celu weryfikacji PL-ETRF2000.

- Nowy układ został zaakceptowany przez organizację EUREF jako najwyższej klasy zagęszczenie europejskiego geodezyjnego systemu odniesienia – ETRS89 (ang. European Terrestrial Reference System 89).



Różnice pomiędzy nowym rozwiązaniem a PL-ETRF2000

100
lecie

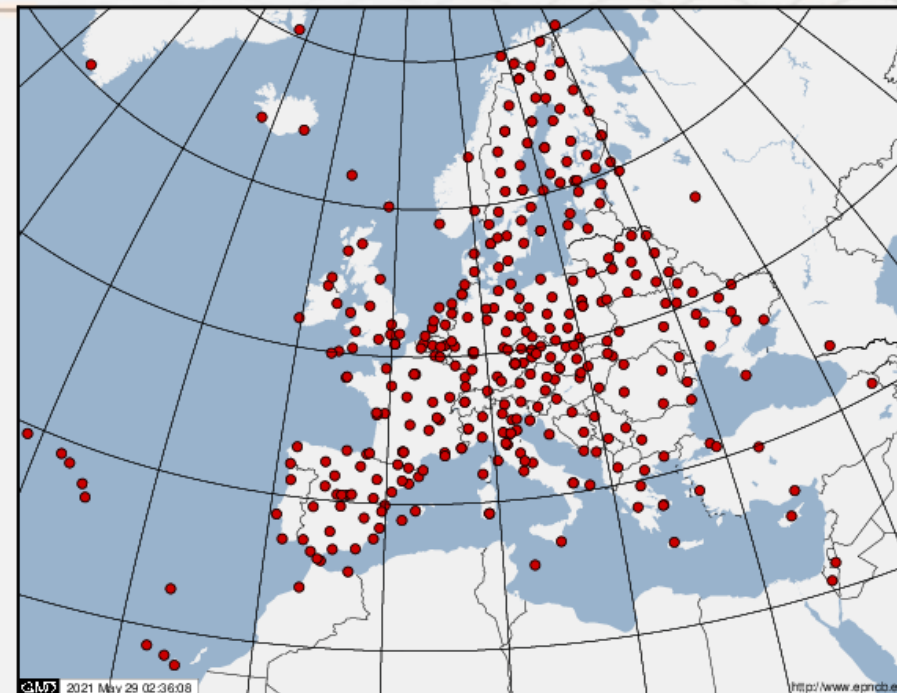
Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

Współpraca z EUREF

Organizacja EUREF jest podkomisją Komisji 1 „Układy Odniesienia” Międzynarodowej Asocjacji Geodezji, której zadaniami są definicja, realizacja i utrzymanie ETRS89. Utrzymanie ETRS89 odbywa się za pomocą sieci ok. 360 punktów permanentnie obserwujących satelity GNSS (EPN, ang. EUREF Permanent Network).

Współpraca z EUREF obejmuje:

- prowadzenie ciągłych obserwacji GNSS na stacjach pracujących w Obserwatorium Astronomiczno-Geodezyjnym w Józefosławiu (JOZE od 1996 r., JOZ2 od 2002 r.)
- prowadzenie centrum obliczeniowego WUT EPN (od 1996 r.)
- pełnienie funkcji Koordynatora Centrów Analiz EPN (ACC, ang. Analysis Centres Coordinator) (od 2016 r.)



100
lecie

Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

Ośrodki obliczeniowe EPN

ID	Instytucja	Państwo
ASI	Italian Space Agency, Space Geodesy Center	Włochy
BEK	Bavarian Academy of Sciences and Humanities	Niemcy
BEV	Federal Office of Metrology and Surveying	Austria
BKG	Bundesamt fuer Kartographie und Geodaesie	Niemcy
COE	Center for Orbit Determination in Europe	Szwajcaria
IGE	Instituto Geografico Nacional	Hiszpania
IGN	Institut national de l'information géographique et forestière	Francja
LPT	Federal Office of Topography swisstopo	Szwajcaria
MUT	Wojskowa Akademia Techniczna	Polska
NKG	Nordic Geodetic Commission	Szwecja
RGA	Republic Geodetic Authority	Serbia
ROB	Royal Observatory of Belgium	Belgia
SGO	Lechner Knowledge Center	Węgry
SUT	Slovak University of Technology	Słowacja
UPA	University of Padua	Włochy
WUT	Politechnika Warszawska	Polska



Centrum Analiz: współpraca z EUREF – WUT EPN AC

Centrum Analiz EPN (ang. EUREF Permanent Network) zajmuje się analizą obserwacji GNSS rejestrowanych przez część stacji permanentnych sieci EPN.

- Istnieje od 1996 roku
- Aktualnie 138 stacji GNSS
- GNSS: GPS, GLONASS (od 2010 r.), Galileo (od 2019 r.)

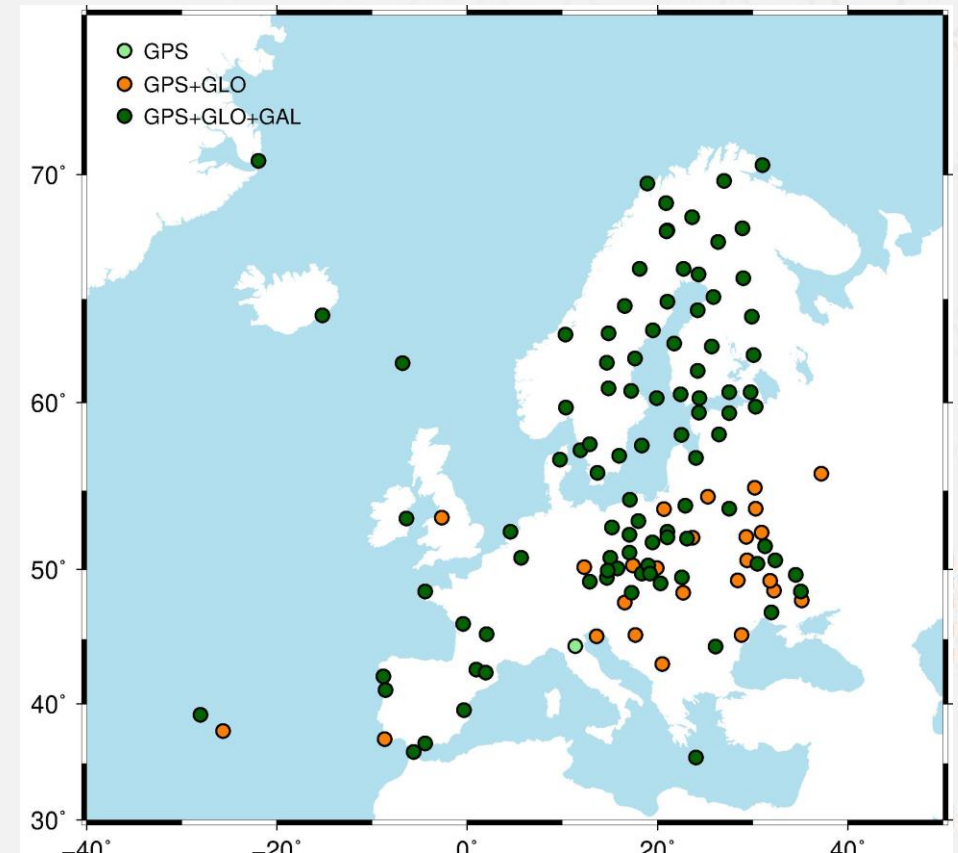
Wyniki:

1. Finalne

- Raz na tydzień
- Współrzędne stacji, troposfera

2. Szybkie (rapid)

- Codziennie
- Współrzędne stacji
- Obliczenia całkowicie automatyczne



Koordynator Centrów Analiz EPN

Od 2016 r. pełnimy funkcje Koordynatora Centrów Analiz EPN:

- Kombinacja współrzędnych GNSS tworzonych przez 16 europejskich ośrodków obliczeniowych EPN
- Monitorowanie rozwiązań AC (spójność współrzędnych, strategii obliczeniowych)
- Prace nad poprawianiem zgodności rozwiązań centrów analiz i dokładności rozwiązań kombinowanych

Funkcja Koordynatora Centrów Analiz:

- 1996–1999 Uniwersytet w Bernie (AIUB), Szwajcaria
- 2000–2013 Urząd Geodezji i Kartografii (BKG), Niemcy
- 2014– Konsorcjum PW i WAT
 - 2014–2015 Wojskowa Akademia Techniczna, Polska
 - 2016– Politechnika Warszawska, Polska



Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

Charakterystyka rozwiązań Centrów Analiz EPN

AC	Oprogramowanie	Rozwiązania			# stacji	GNSS ¹
ASI	GipsyX 1.6	Final	Rapid	NRT	76	GRE
BEK	Bernese 5.2	Final	Rapid	–	110	GRE
BEV	Bernese 5.2	Final	–	–	130	GRE
BKG	Bernese 5.2	Final	Rapid	NRT	133	GRE
COE	Bernese 5.3	Final	–	–	40	GR
IGE	Bernese 5.2	Final	Rapid	–	91	GRE
IGN	Bernese 5.2	Final	Rapid	–	64	GR
LPT	Bernese 5.3	Final	Rapid	NRT	61	GRE
MUT	GAMIT 10.71	Final	–	–	148	GE
NKG	Bernese 5.2	Final	Rapid	–	100	GRE
RGA	Bernese 5.2	Final	–	–	53	GR
ROB	Bernese 5.2	Final	Rapid	–	108	GRE
SGO	Bernese 5.2	Final	Rapid	–	47	GRE
SUT	Bernese 5.2	Final	Rapid	NRT	58	GRE
UPA	Bernese 5.2	Final	Rapid	–	71	GRE
WUT	Bernese 5.2	Final	Rapid	–	138	GRE

¹ GNSS: G – GPS, R – GLONASS, E - Galileo



Rozwiązania kombinowane

- Rozwiązania centrów analiz są kombinowane na poziomie równań normalnych za pomoc oprogramowania Bernese GNSS Software.
- Typy tworzonych rozwiązań:
 - ostateczne dobowe (final): wykorzystywane dalej do tworzenia rozwiązania wieloletniego EPN (współrzędne średnie i prędkości stacji EPN; rozwiązanie wieloletnie tworzone jest w Królewskim Obserwatorium Belgii)
 - szybkie dobowe: monitorowanie pozycji stacji EPN
 - szybkie godzinne: monitorowanie pozycji stacji EPN
- Nasze rozwiązania kombinowane dostępne są na serwerze danych EPN:

Ostateczne dobowe i tygodniowe:

`ftp://igs.bkg.bund.de/EUREF/products/WWWW/eurWWW[0-7].[snx|crd|sum].Z`

Szybkie dobowe:

`ftp://igs.bkg.bund.de/EUREF/products/WWWW/eurWWW[0-6]r.[snx|crd|sum].Z`

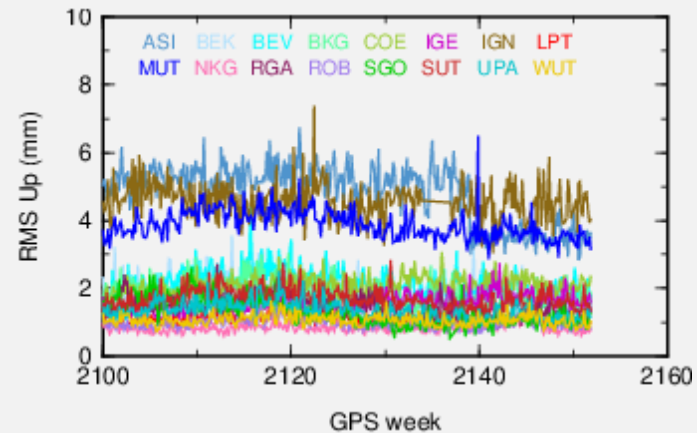
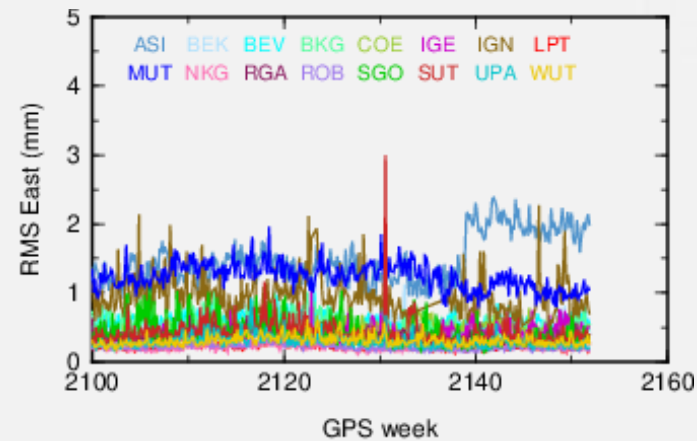
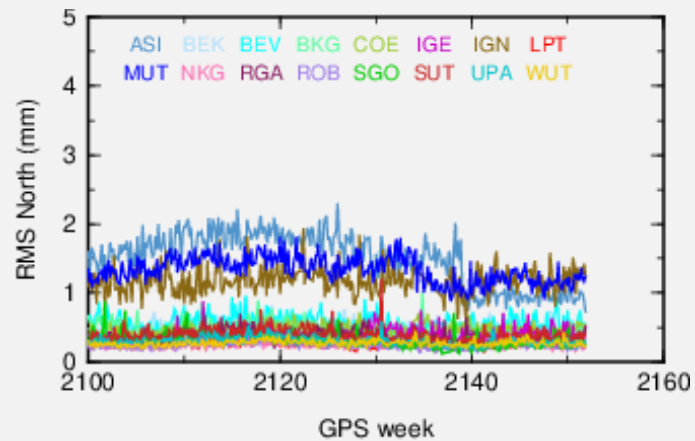
Szybkie godzinne:

`ftp://igs.bkg.bund.de/EUREF/products/WWWW/nrt[0-6]/eurWWW[0-6]_[00-23].[snx|crd|sum].Z`



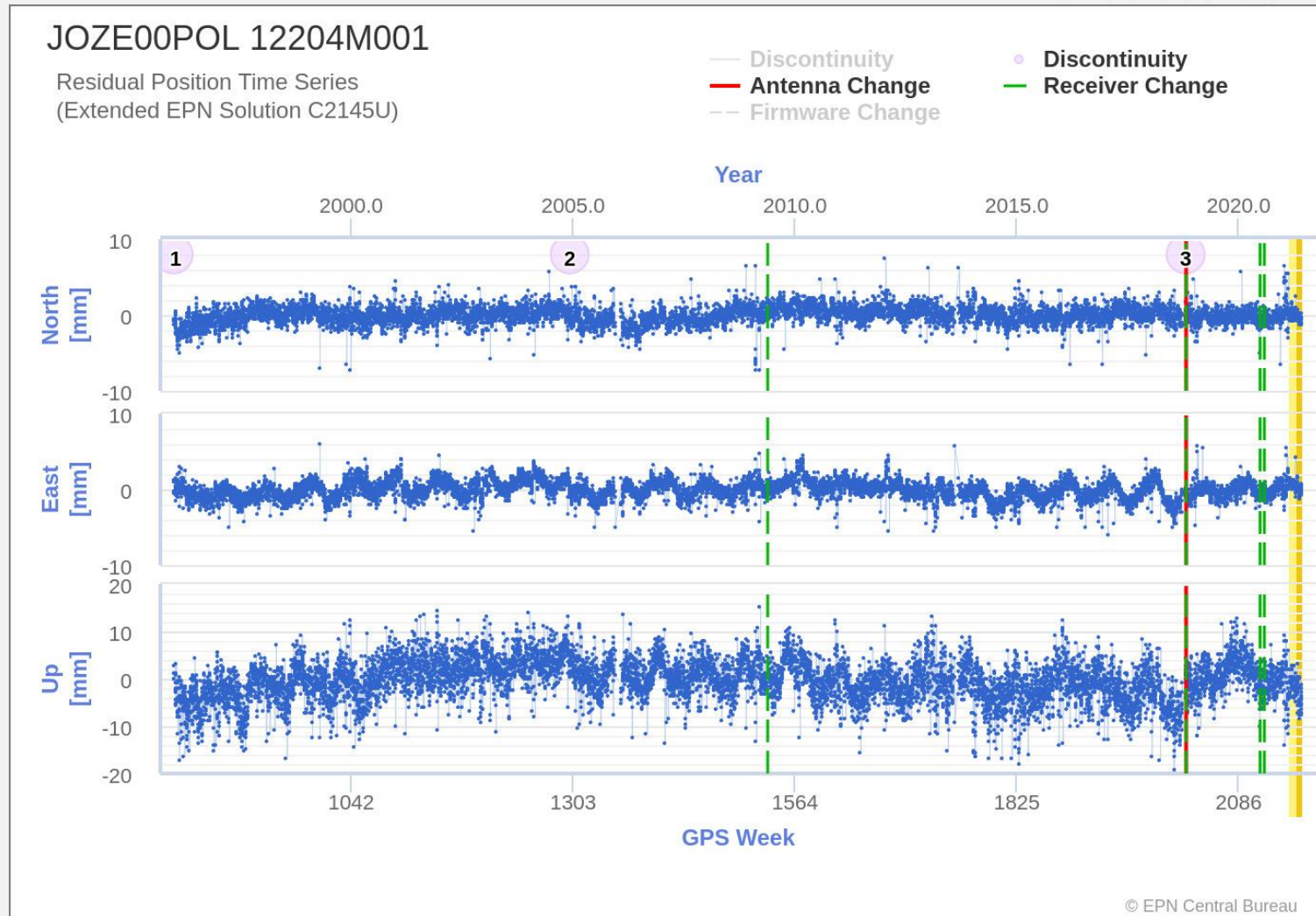
Spójność rozwiązań AC względem rozwiązania kombinowanego

- RMS residuów współrzędnych pomiędzy finalnymi rozwiązaniami AC a rozwiązaniem kombinowanym



Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

Zmiany współrzędnych stacji GNSS w Józefosławiu – JOZE (1/2)

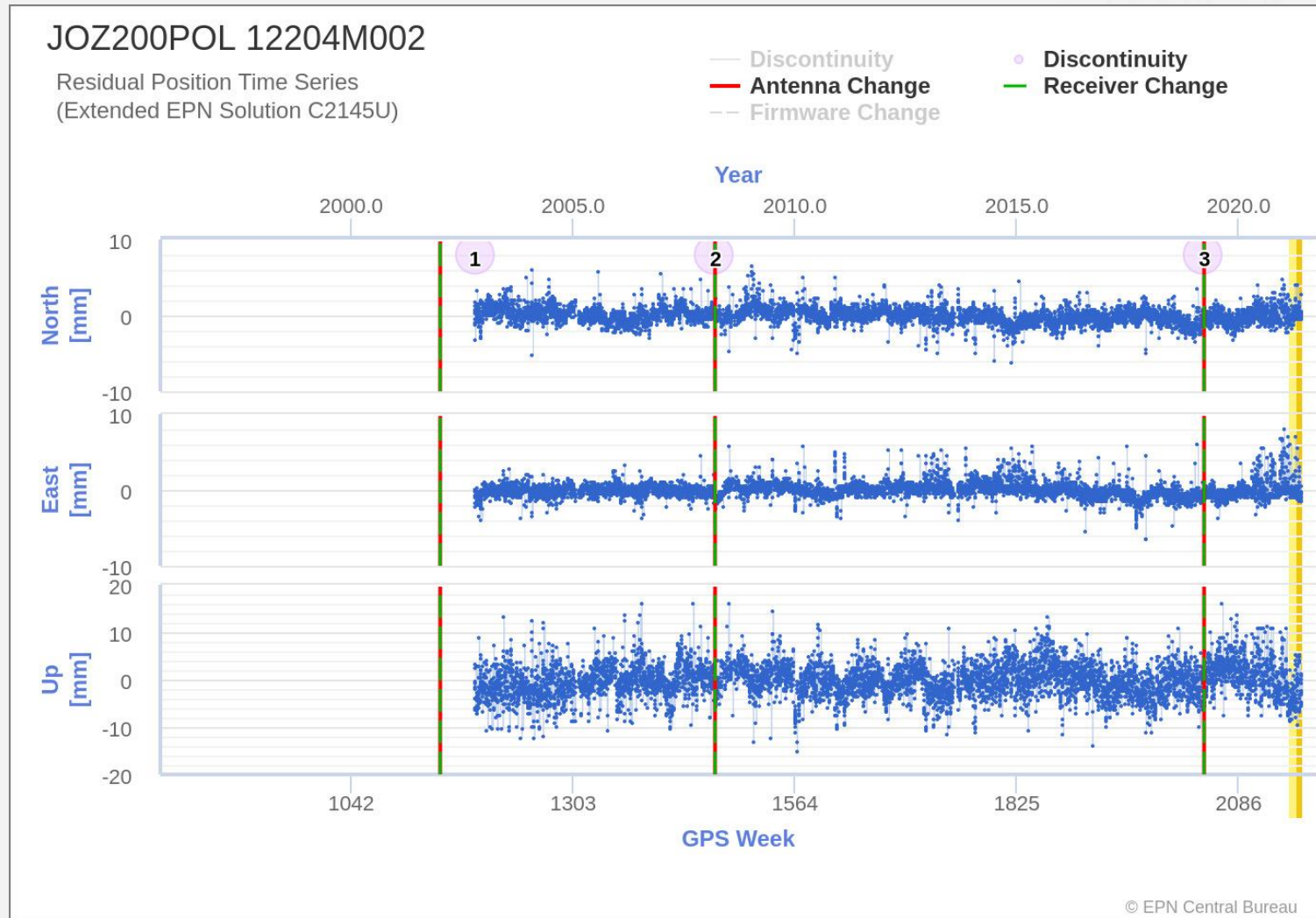


(źródło: www.epncb.eu)



Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

Zmiany współrzędnych stacji GNSS w Józefosławiu – JOZ2 (2/2)



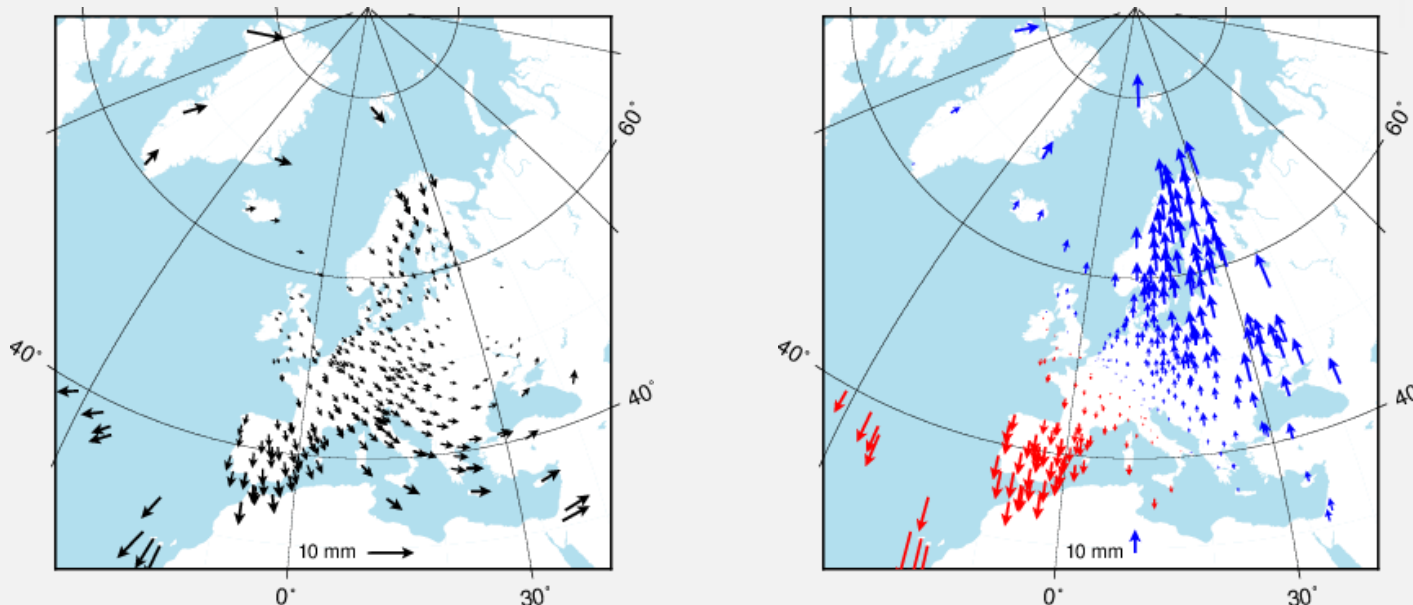
(źródło: www.epncb.eu)



Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

Analiza obserwacji GNSS – prace badawcze

- Wpływ modelowania nieptywowych efektów deformacyjnych wywołanych obciążeniem powierzchni Ziemi atmosferą, wodą kontynentalną, oceanami na regionalne rozwiązania współrzędnych GNSS (współrzędne prędkości, szeregi czasowe współrzędnych, nawiązanie do układu odniesienia)
- Wpływ obserwacji Galileo na współrzędne stacji GNSS
- Wpływ stacji globalnych na współrzędne rozwiązań regionalnych GNSS



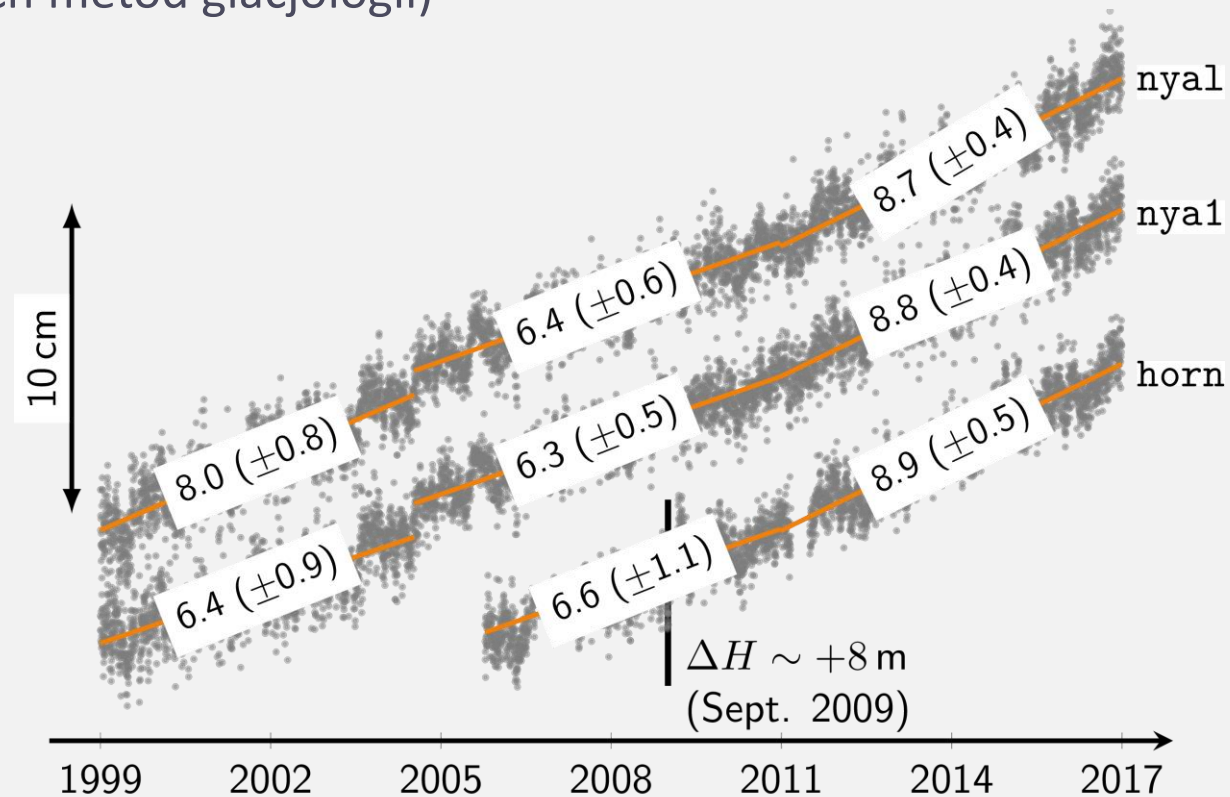
Różnice współrzędnych pomiędzy rozwiązaniem globalnym i regionalnym



Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

Analiza obserwacji GNSS – prace badawcze

- Analiza szeregów czasowych współrzędnej wysokościowej stacji GNSS w Hornsundzie
 - Możliwość wnioskowania o regionalnym bilansie masy (uzupełnienie klasycznych metod glaciologii)



100
lecie

Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

Współpraca, m.in.:

- Centrum Badań Kosmicznych PAN
- Główny Urząd Geodezji i Kartografii
- Instytut Geofizyki PAN
- Główny Urząd Miar
- Instytut Geodezji i Kartografii
- Państwowy Instytut Geologiczny
- Wojskowa Akademia Techniczna
- Akademia Górniczo Hutnicza



Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

Współpraca zagraniczna, m.in.:

- Politecnico di Torino, Department of Electronics and Telecommunications
- Universitat Politècnica de València, Department of Cartographic Engineering, Geodesy and Photogrammetry
- Physikalisch-Technische Bundesanstalt
- Technische Universität Berlin, Institute of Geodesy and Geoinformation Sciences
- University of Messina, Department of Engineering
- Technická Universita Bratislava
- EUREF
- GFZ



Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej