



UNIwersytet
Przyrodniczy
we Wrocławiu

Geodynamiczne aspekty układów odniesienia

Krzysztof Sośnica, Radosław Zajdel, Grzegorz Bury, Dariusz Strugarek, Kamil Kaźmierski,
Mateusz Drożdżewski, Joanna Najder, Adrian Nowak, Filip Gałdyn, Marcin Mikoś



UNIwersytet
Przyrodniczy
we Wrocławiu

ITRF2020

- stan obecny

ITRF2020 – najnowsza realizacja ziemskiego układu odniesienia

ITRF2020 został opublikowany 15 kwietnia 2022 r.

Początek:

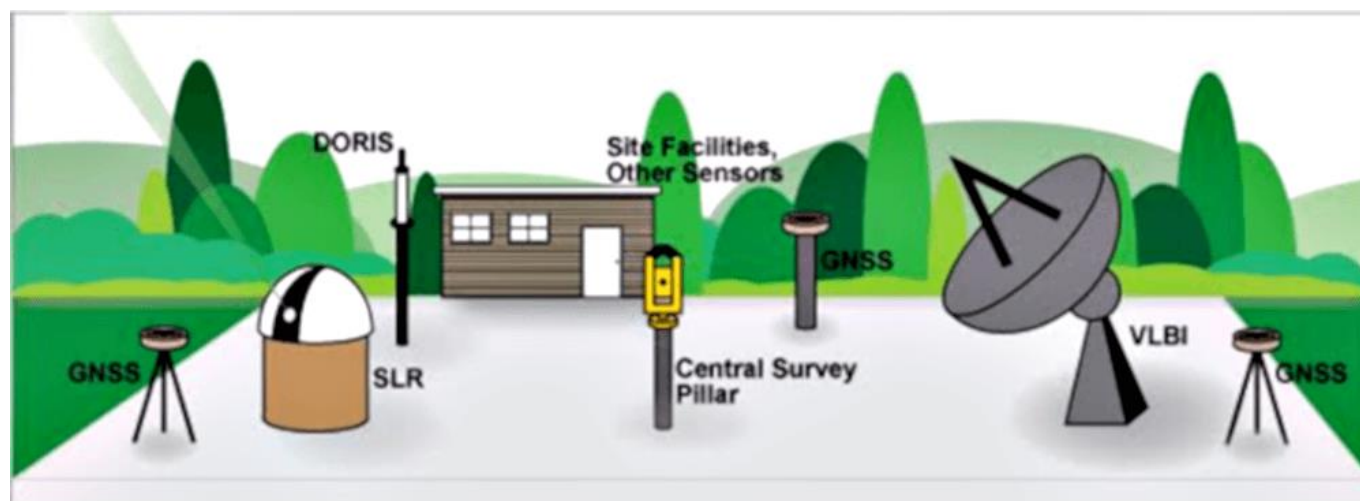
Początek układu jest zdefiniowany w taki sposób, że nie ma parametrów translacji w epoce 2015.0 i zmian translacji między długookresowym rozwiązaniem ITRF2020 a rozwiązaniem ILRS SLR w okresie 1993.0-2021.0. Pochodzenie sygnałów sezonowych ITRF2020 wyrażone w układzie centrum masy - CM (wykrywane przez SLR) jest zdefiniowane w taki sposób, że nie ma translacji sezonowej między sygnałami sezonowymi ITRF2020 a wejściowymi rozwiązaniami SLR w okresie 1993.0-2021.0.

Skala:

Skala ITRF2020 jest określana przy użyciu warunków wewnętrznych, w taki sposób, że występuje zerowa zmiana skali między ITRF2020 a średnimi skalami i współczynnikami zmiany skali wybranych sesji VLBI do 2013.75 i tygodniowych rozwiązań SLR obejmujących okres 1997.7 – 2021.0.

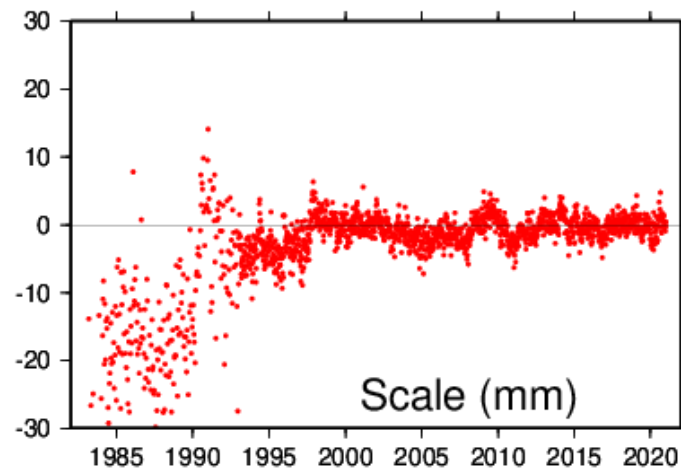
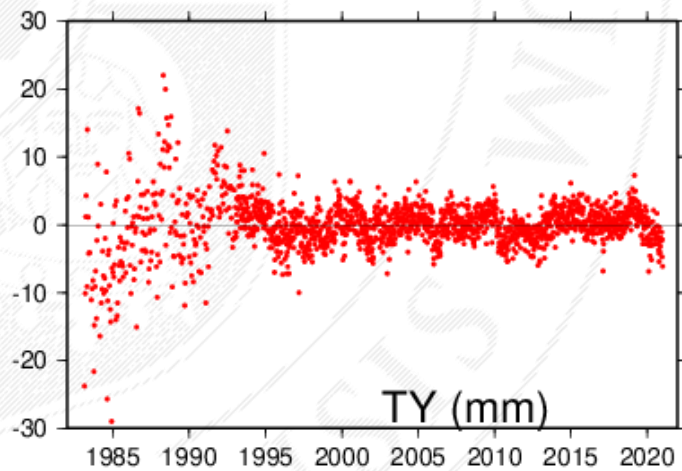
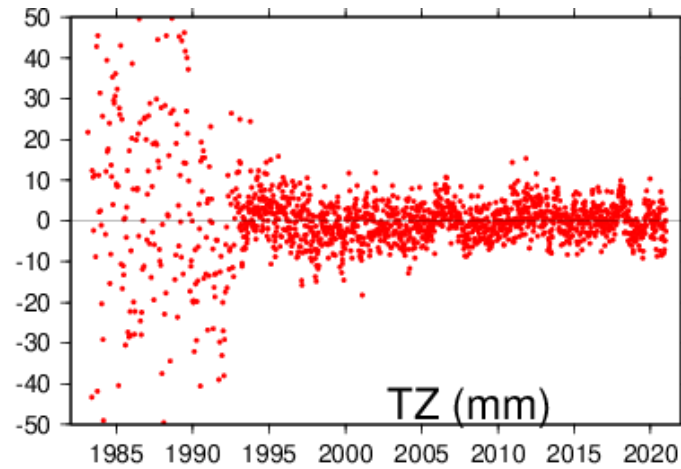
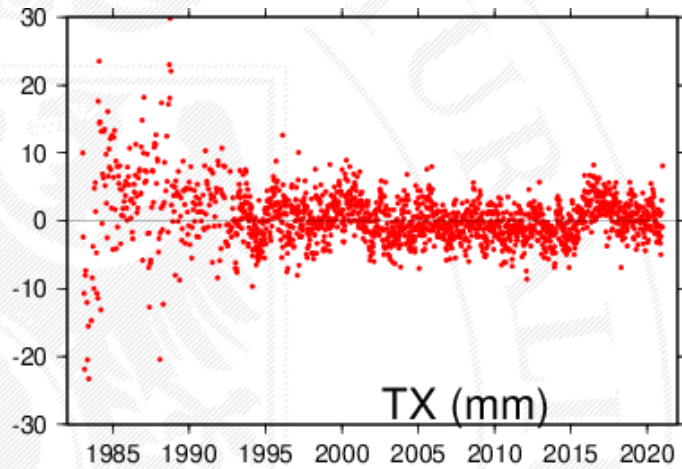
Orientacja:

Orientacja ITRF2020 jest zdefiniowana w taki sposób, że występują zerowe parametry rotacji w epoce 2015.0 i zerowe szybkości zmian rotacji pomiędzy ITRF2020 a ITRF2014.



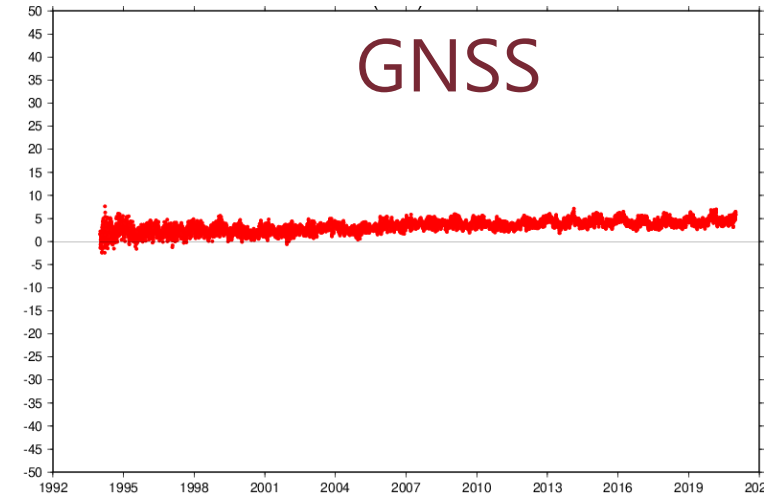
ITRF2020

SLR

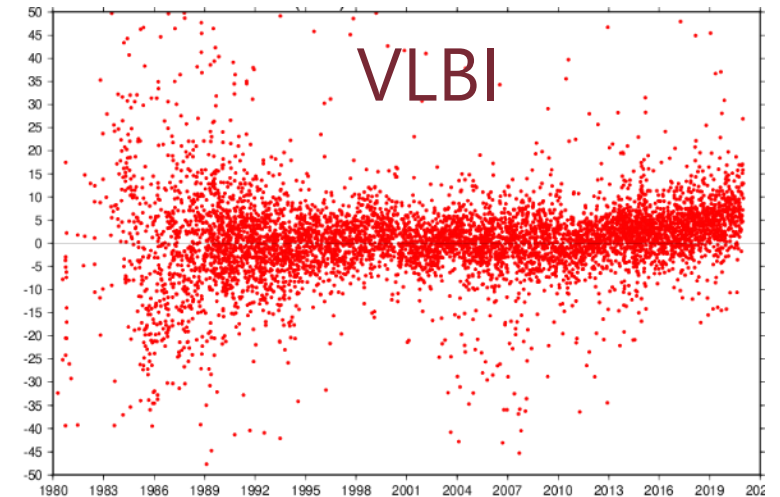


Skala:

GNSS



VLBI



ITRF2020-ITRF2014

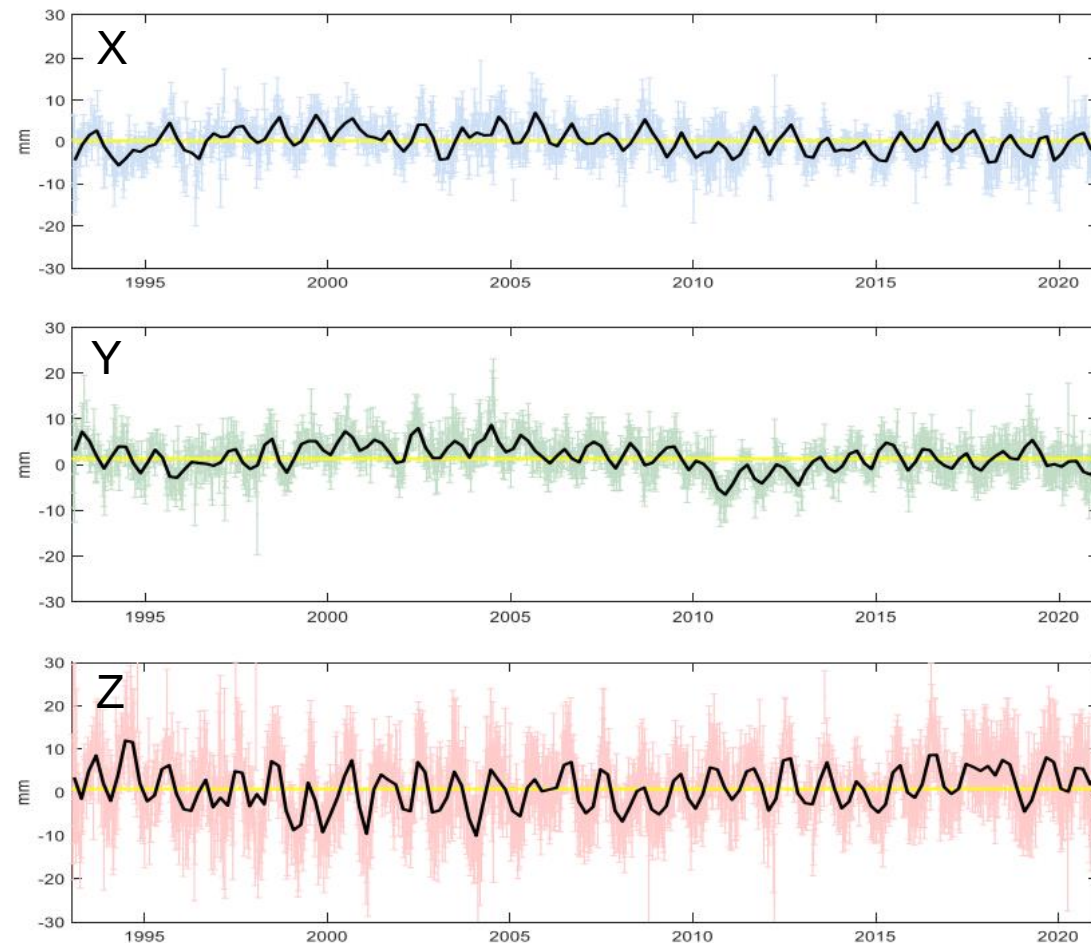
Współrzędne stacji

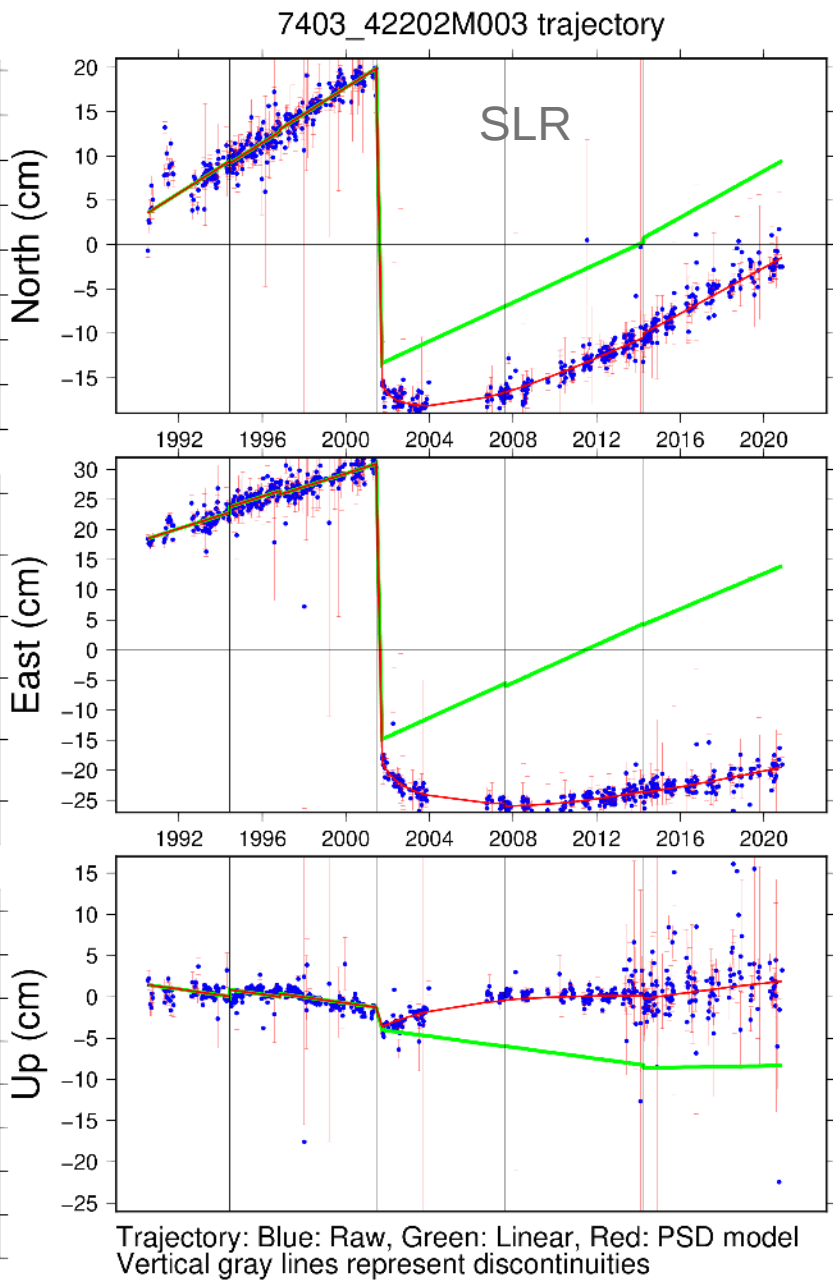
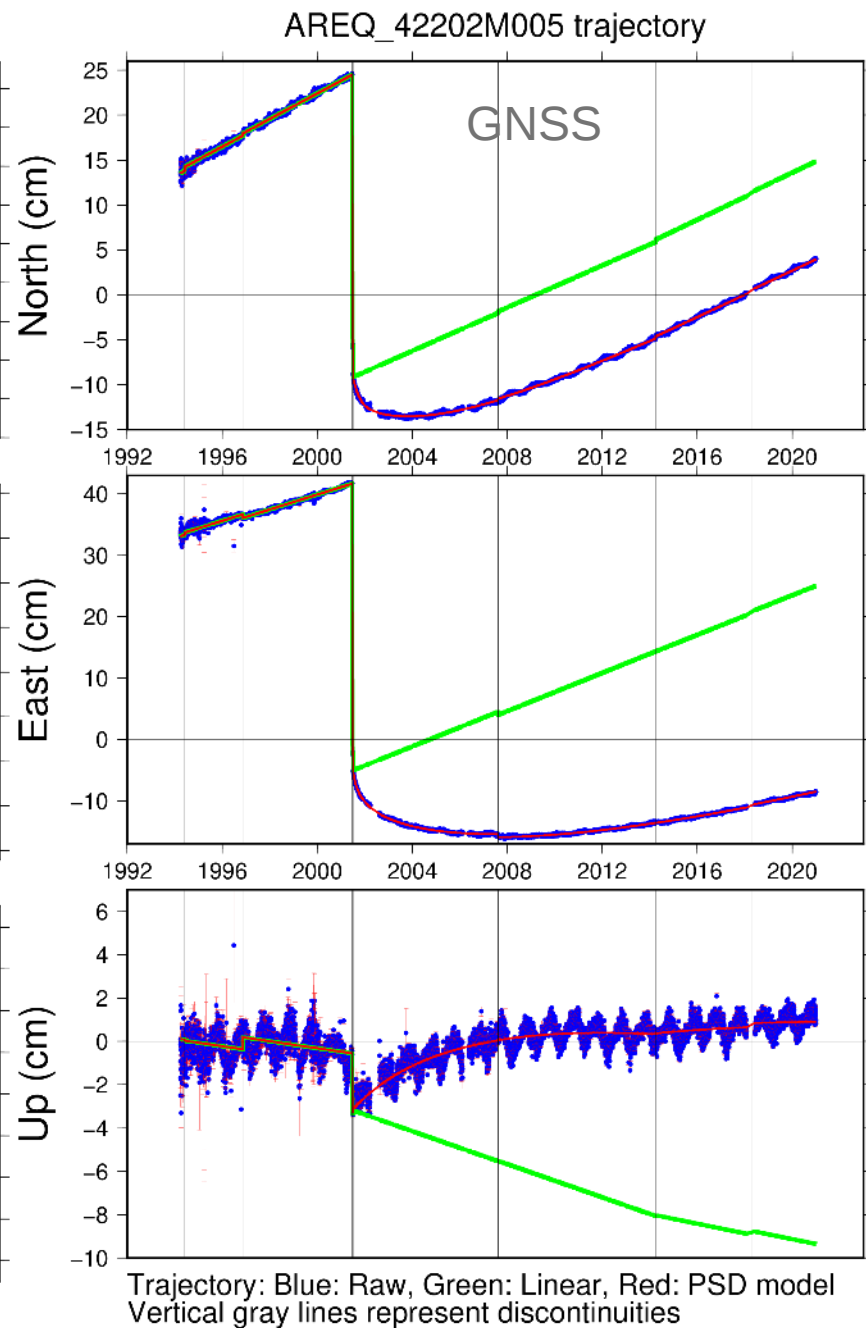
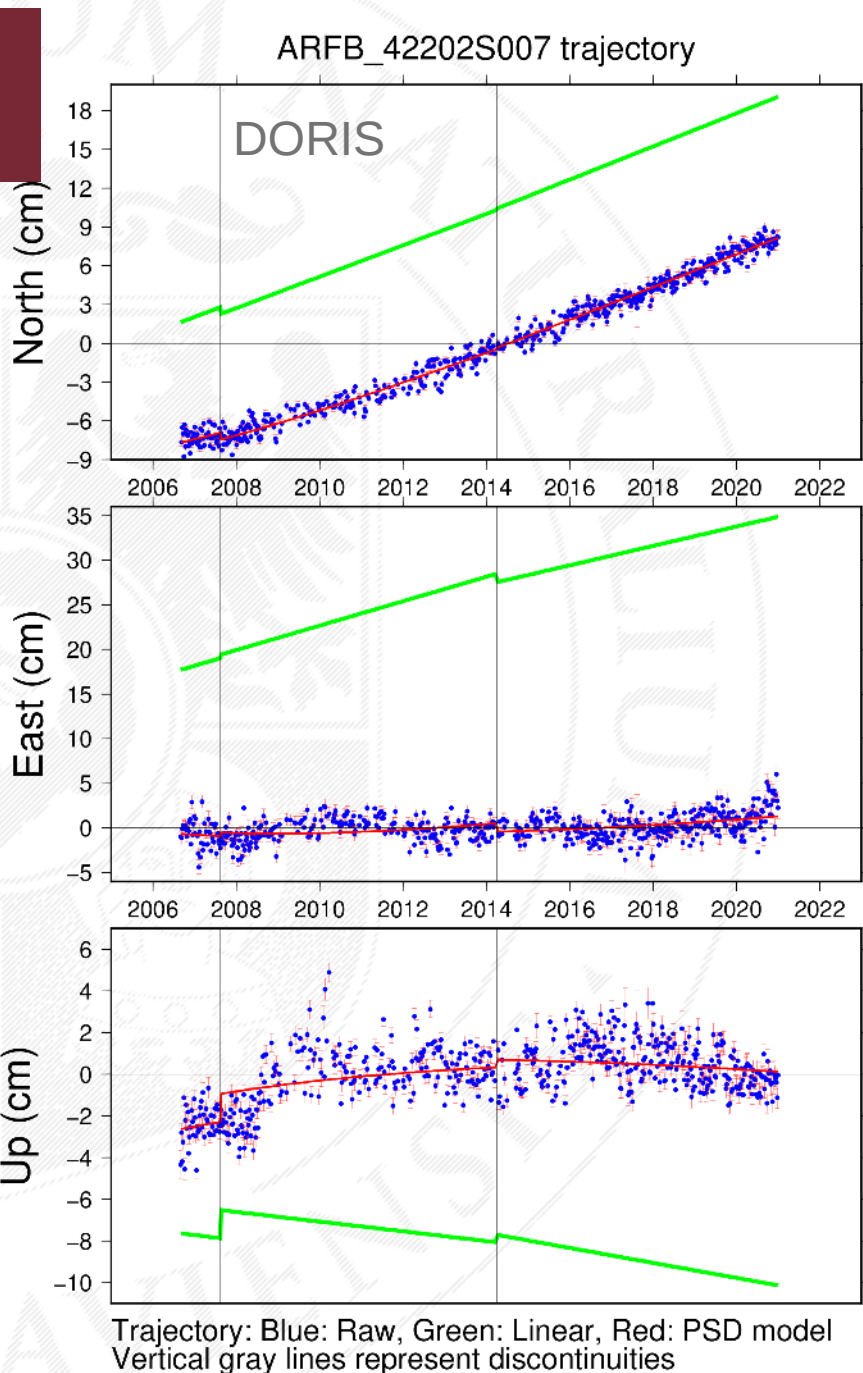
$$X(t) = X(t_0) + \dot{X}(t - t_0) + \delta X_{PSD}(t) + \delta X_f(t)$$

Sygnały sezonowe (transformacja pomiędzy centrum masy CM a centrum figury Ziemi CF):

$$\delta X_f(t) = \sum_{i=1}^2 \begin{pmatrix} a_x^i \\ a_y^i \\ a_z^i \end{pmatrix} \cos(2i\pi t) + \begin{pmatrix} b_x^i \\ b_y^i \\ b_z^i \end{pmatrix} \sin(2i\pi t)$$

		Amplitude (mm)	Phase (Degrees)
annual	X	1.23 +/- 0.16	-123.2 +/- 7.2
annual	Y	3.48 +/- 0.15	152.9 +/- 2.5
annual	Z	2.76 +/- 0.33	-139.5 +/- 6.8
Semi-annual	X	0.49 +/- 0.15	107.2 +/- 18.1
Semi-annual	Y	0.22 +/- 0.15	1.6 +/- 39.0
Semi-annual	Z	1.19 +/- 0.33	30.5 +/- 15.5







UNIwersytet
Przyrodniczy
we Wrocławiu

ITRF2020

- problemy do rozwiązania

ITRF2020 – 5 słabych punktów układu ITRF

Brak redundancji przy realizacji **początku układu** (tylko SLR -> teoretycznie wszystkie techniki satelitarne powinny realizować początek układu)

Połączenie technik za sprawą wektorów łącznych (**local ties**) -> mierzone raz na kilka lat oraz traktowane selektywnie

Brak zgodności skali w technikach **GNSS i DORIS** z SLR i VLBI

Tylko **9% obserwacji SLR** jest wykorzystywanych do ITRF;
91% stanowią obserwacje do GNSS i LEO (niewykorzystane)

Parametry **nutacji oraz UT1** oparte wyłącznie o VLBI (brak redundancji), gdyż LLR zostało pominięte



UNIwersytet
Przyrodniczy
we Wrocławiu

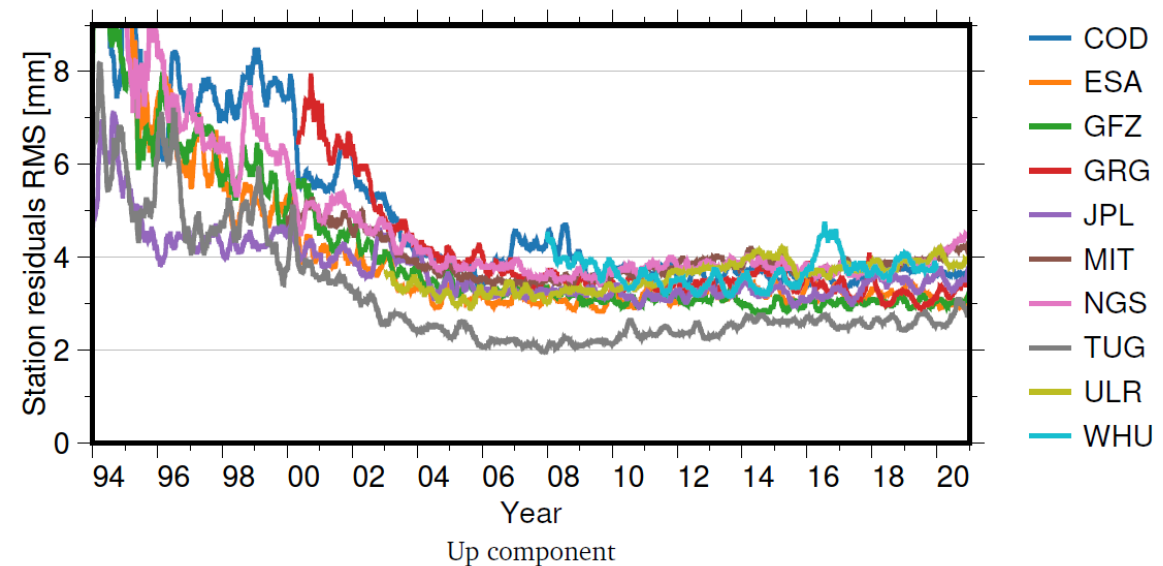
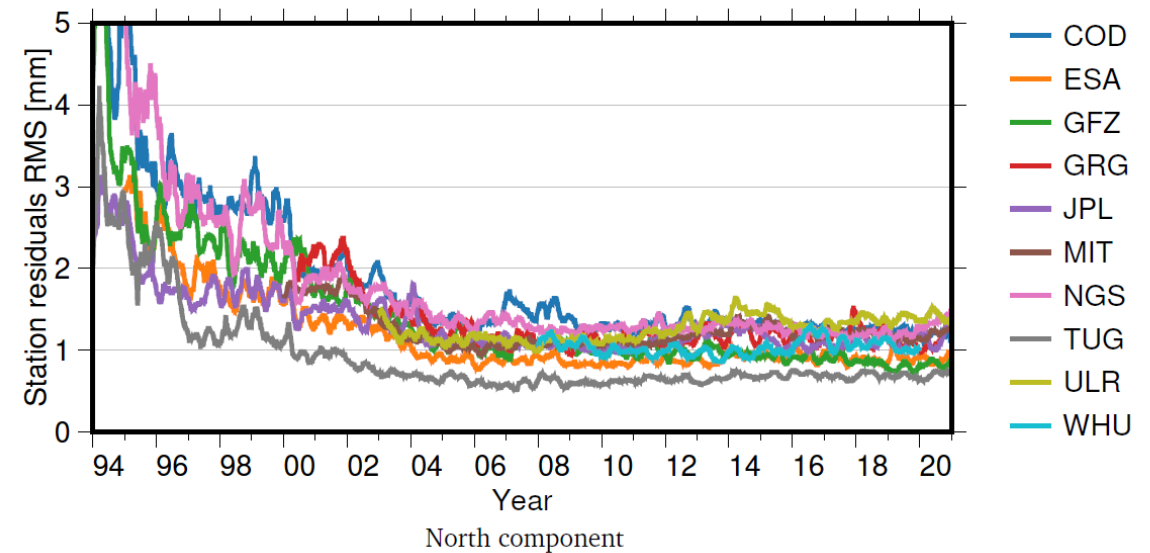
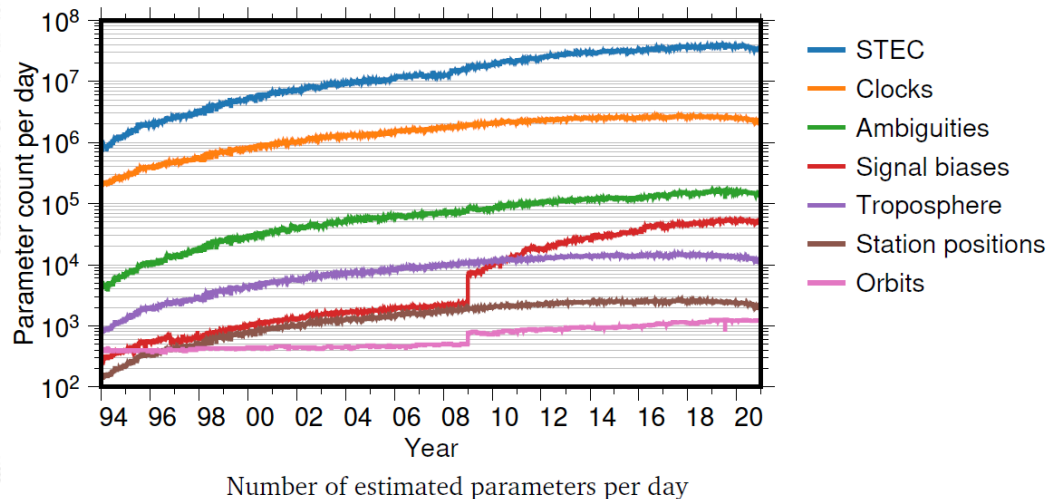
Propozycja ulepszenia przyszłych realizacji ITRF

Rozwiązania nieróżnicowane GNSS - TUG

W ITRF2020 znalazło się po raz pierwszy rozwiązanie TU Graz (TUG), które jest oparte o:

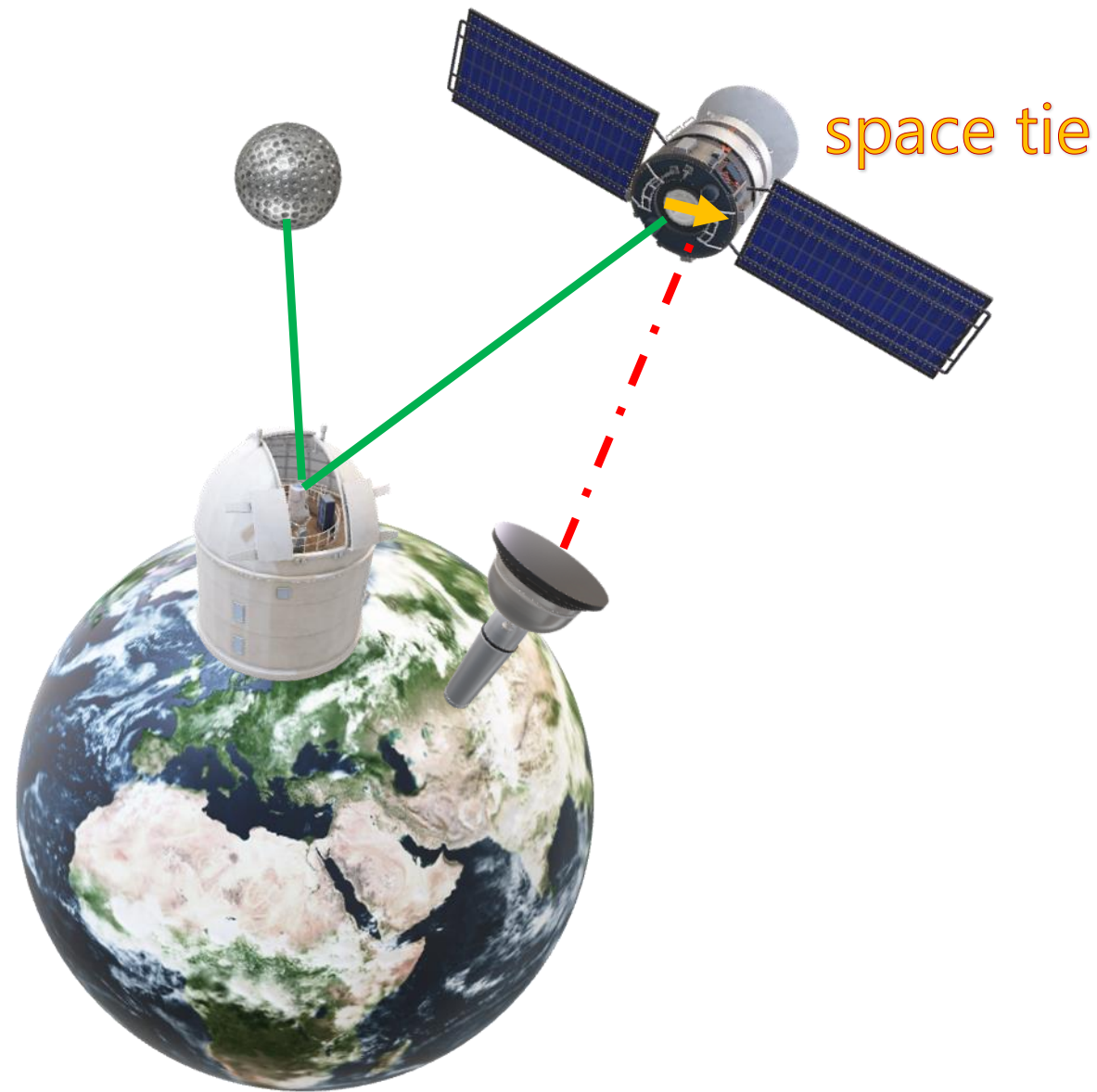
1. Wszystkie częstotliwości nadawane przez satelity bez tworzenia kombinacji ionospheric-free (ale z liczeniem parametrów opóźnienia jonosferycznego)
2. Brak tworzenia podwójnych różnic (ale z liczeniem poprawki zegara każdego satelity oraz każdego odbiornika na każdą epokę wraz z opóźnieniami sprzętowymi)

Uzyskane dokładności: 2.5 mm dla wysokości (!)
oraz 0.7 mm dla składowych poziomych (!!!)



System Galileo

- Dostęp do metadanych w systemie Galileo umożliwia tworzenia modeli a priori orbit (box-wing)
- Absolutne kalibracje anten przed wyniesieniem satelitów pozwalają na realizację skali układu
- Słaby rezonans orbitalny z ruchem obrotowym Ziemi (17:10) stwarza możliwość separacji pływów dobowych i pół-dobowych oraz błędów orbitalnych (co było niemożliwe w systemie GPS)
- Wysoka jakość orbit pokładowych pozwala na rozwiązania PPP z dokładnością < 10 cm bez stosowania poprawek ze stacji referencyjnych
- Integracja GNSS-SLR na pokładzie satelitów



Ko-lokacja w kosmosie

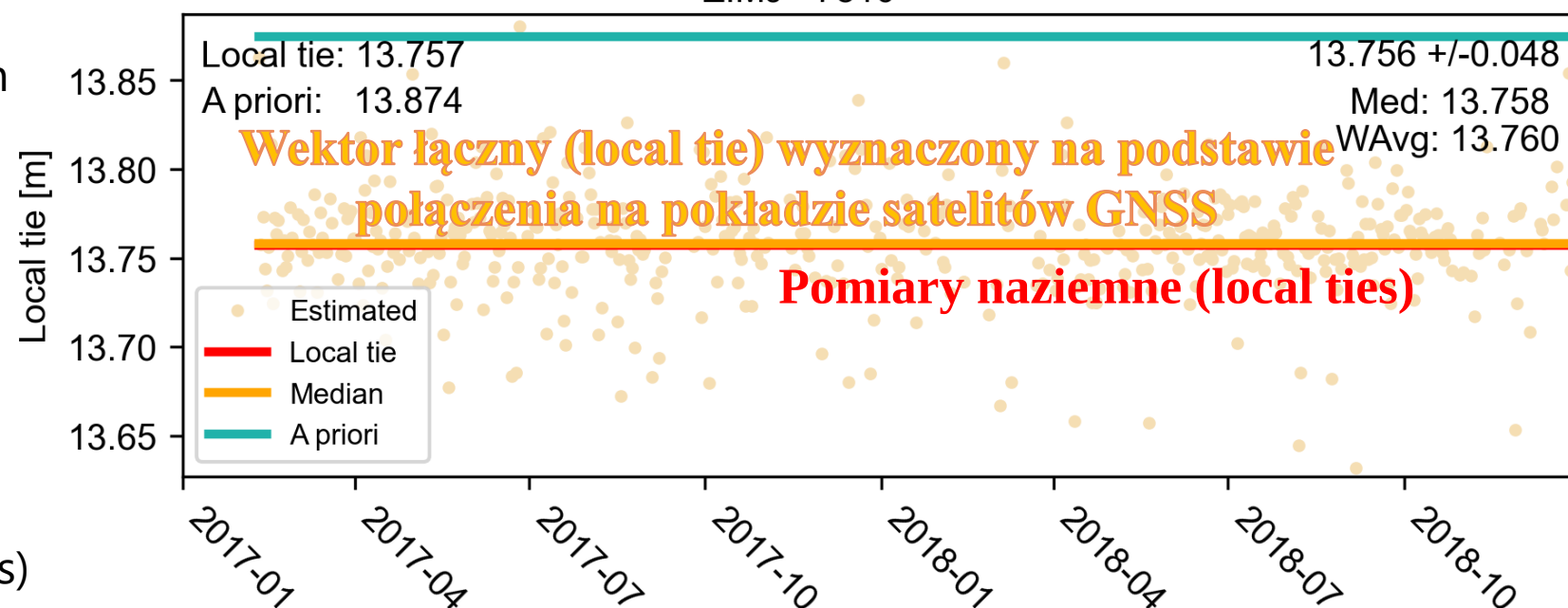
Wektor naziemny zrekonstruowany na podstawie połączenia SLR-GNSS



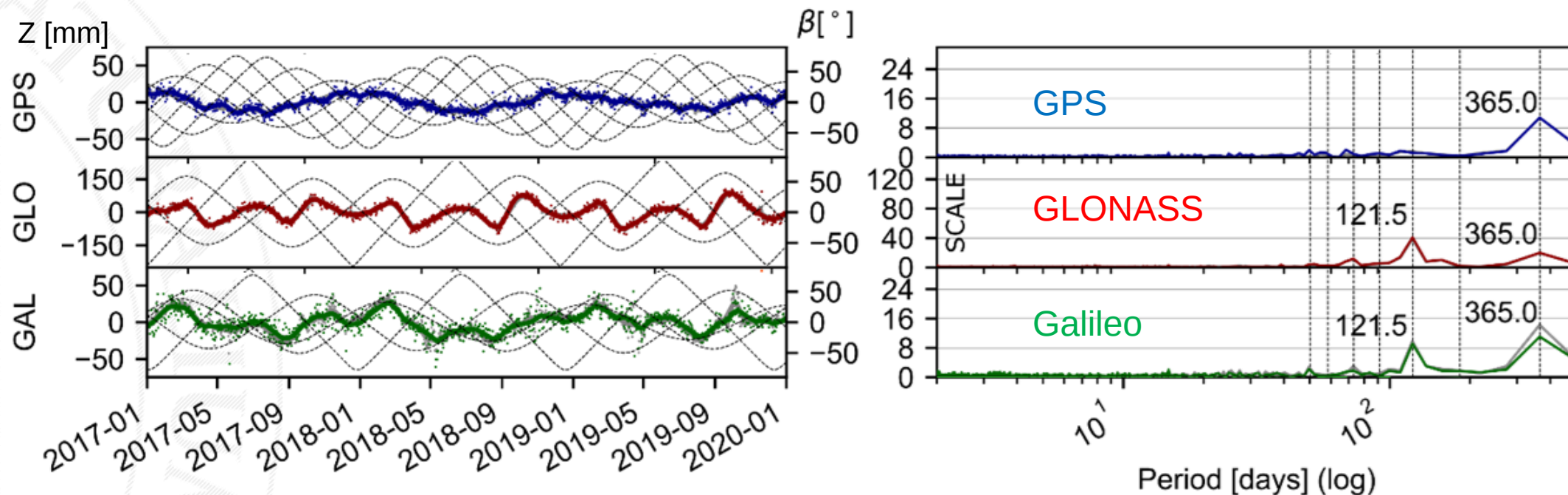
Odległość stacji GNSS-SLR oparta o dane a priori z
ITRF2014/SLRF2014

ZIMJ - 7810

- Zamiast mierzyć wektory łączne raz na kilka lat, połączenie pomiędzy technikami uzyskuje się za każdym pomiarem SLR do satelity GNSS
- W stacji Zimmerwald pomiar naziemny długości wektora: 13.757 m, długość wektora zrekonstruowana poprzez połączenie na satelitach GNSS: 13.756 m (STD: 48 mm dla poj. obs)



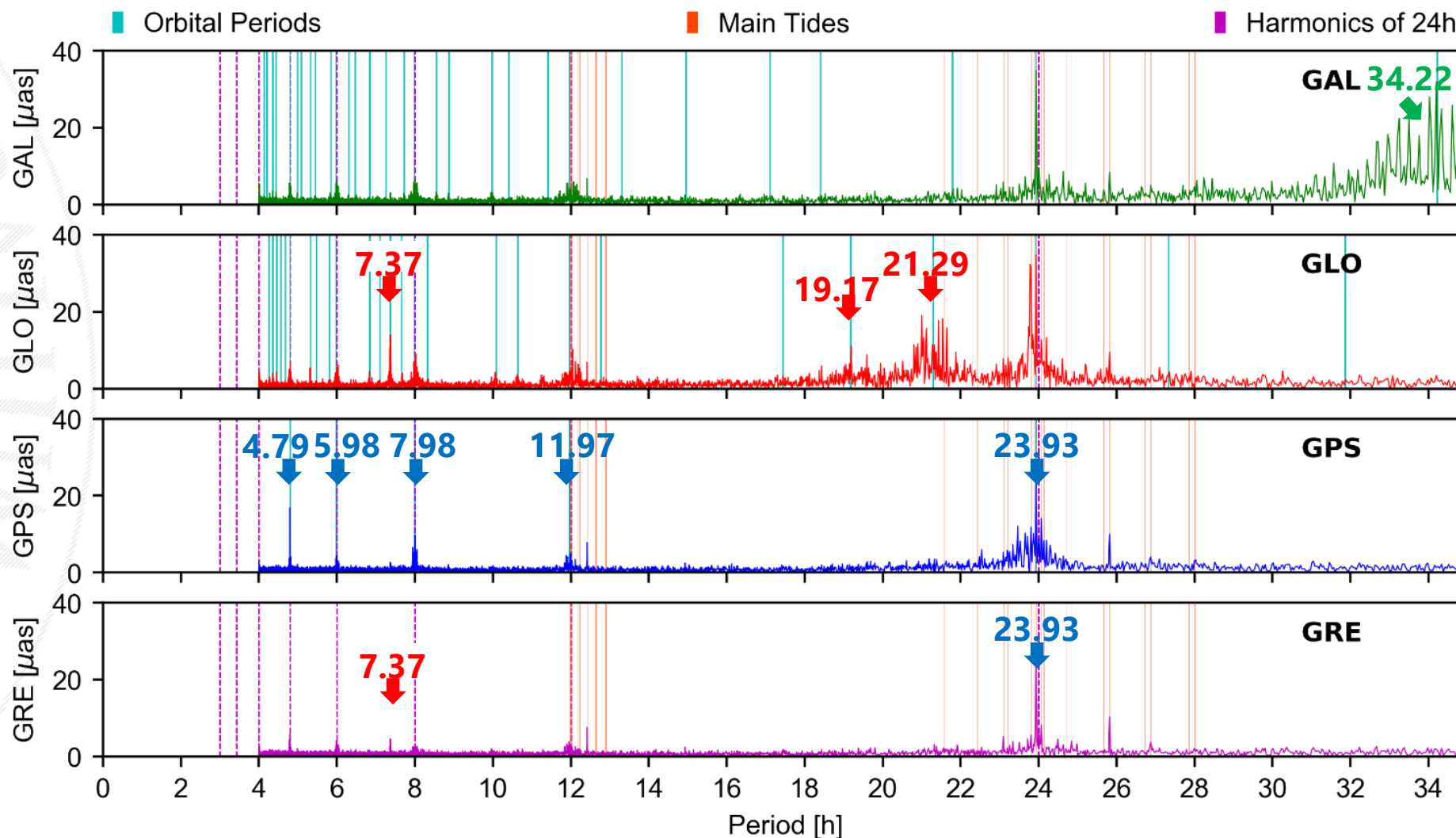
Geocentrum z GPS, GLONASS i Galileo – składowa Z



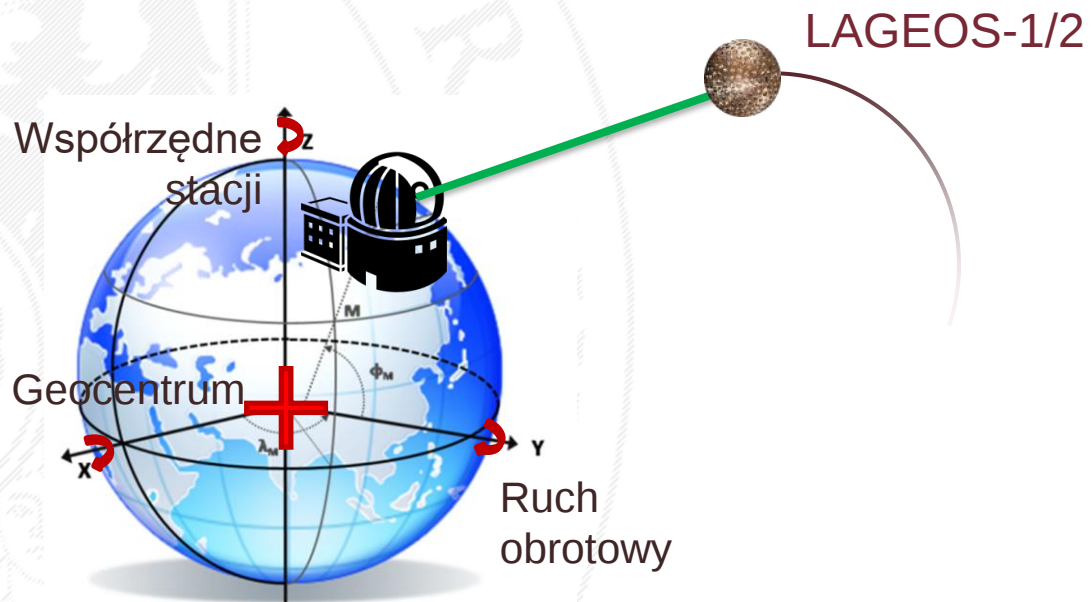
- Więcej płaszczyzn orbit przyczynia się do poprawy jakości wyznaczonego geocentrum za sprawą redukcji korelacji z parametrami orbit
- Sygnał 1/3 roku dragonicznego w rozwiązaniach Galileo (121.5 dnia) jest ok. 5 razy mniejszy niż w rozwiązaniach GLONASS, pomimo 3 płaszczyzn orbit w obu systemach
- Kombinacja GPS i Galileo wydaje się być rozwiązaniem optymalnym w zakresie wyznaczania geocentrum, chociaż amplituda rocznego sygnału nadal jest większa niż z rozwiązań SLR

Sub-dobowe ruchu bieguna wyznaczone z obserwacji GPS, GLONASS i Galileo

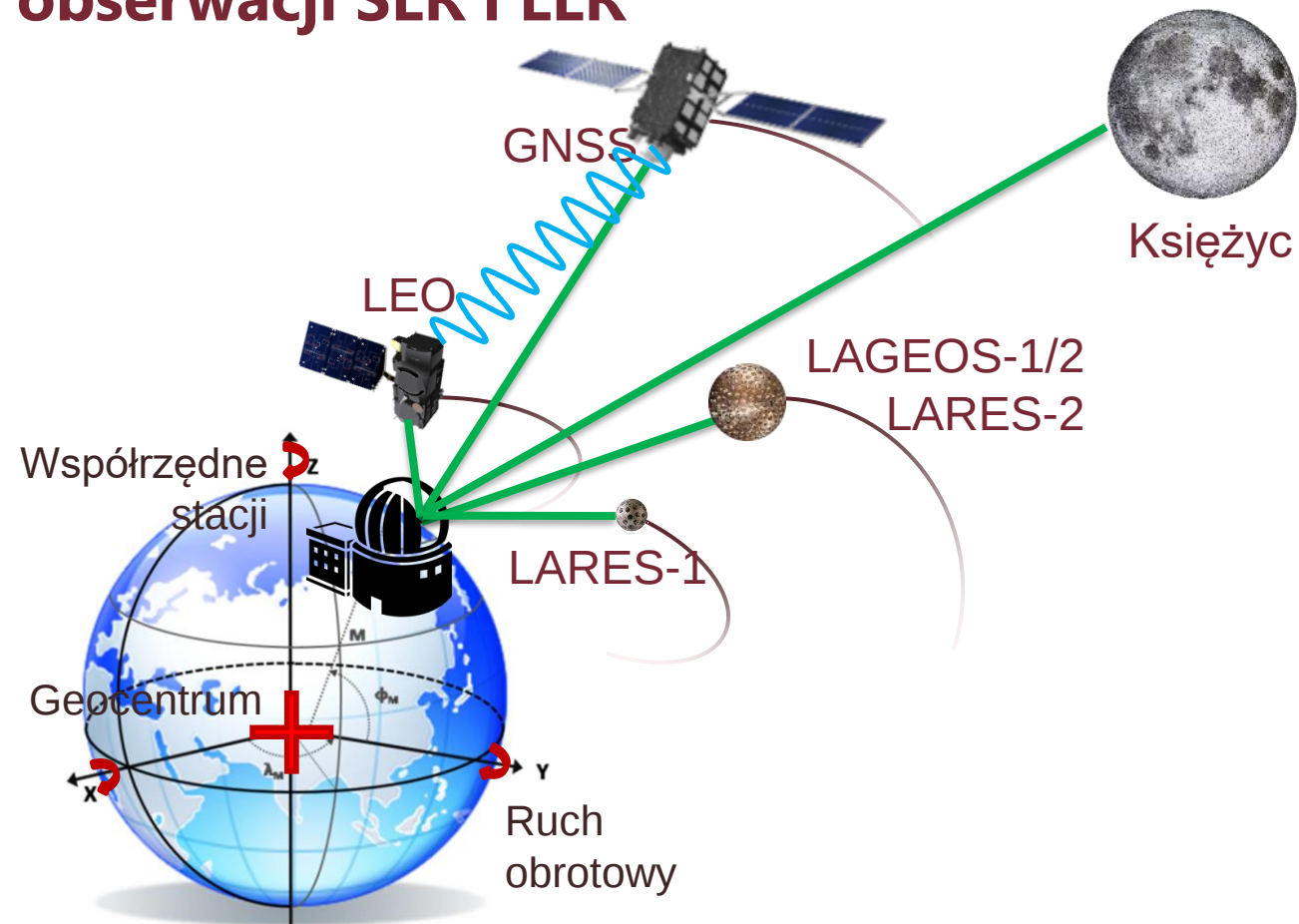
- GPS wprowadza sygnały rezonansowe w okresach pływowych dobowych i półdobowych (K_1 , K_2)
- GLONASS wprowadza znaczny szum obserwacyjny, który przenika do rozwiązania kombinowanego (GRE)
- Rozwiązania kombinowane GRE są najbardziej stabilne



Wykorzystanie dotychczas pomijanych obserwacji SLR i LLR



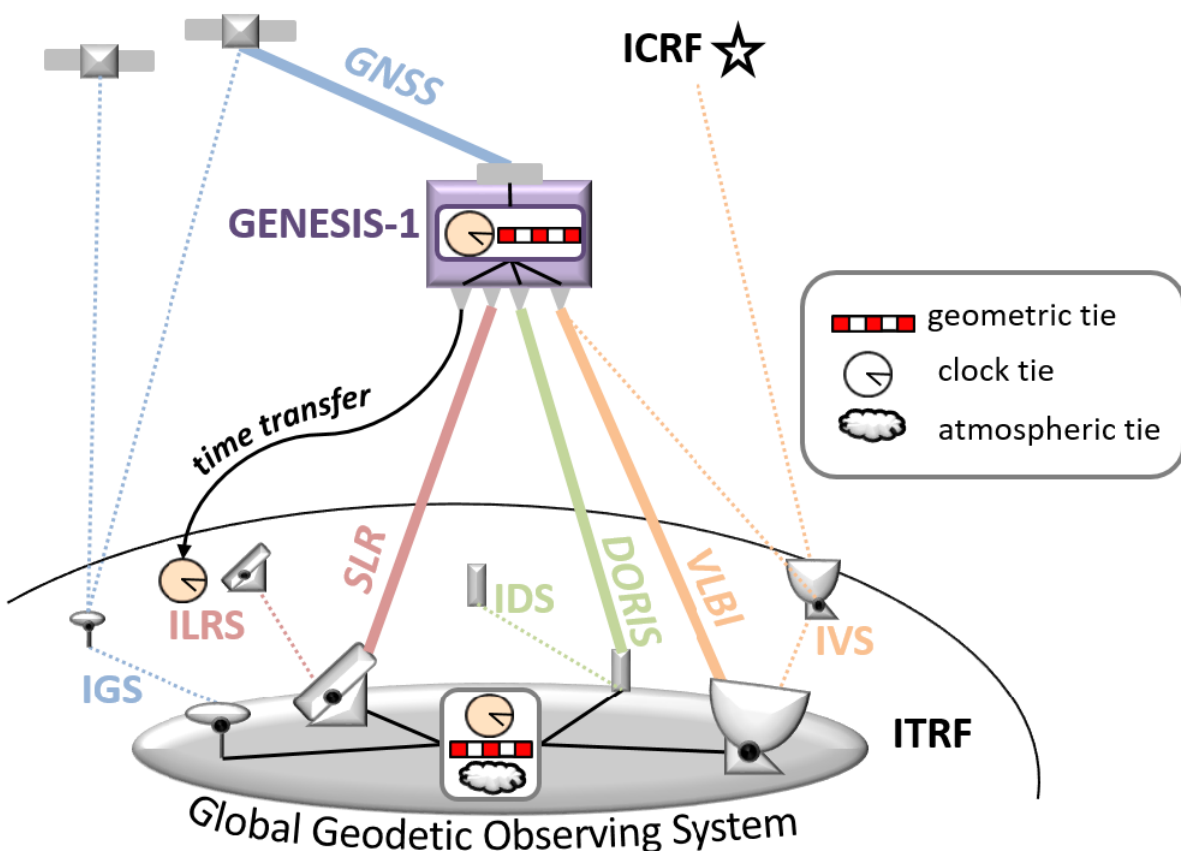
Stan obecny



Możliwości

Misja GENESIS-1

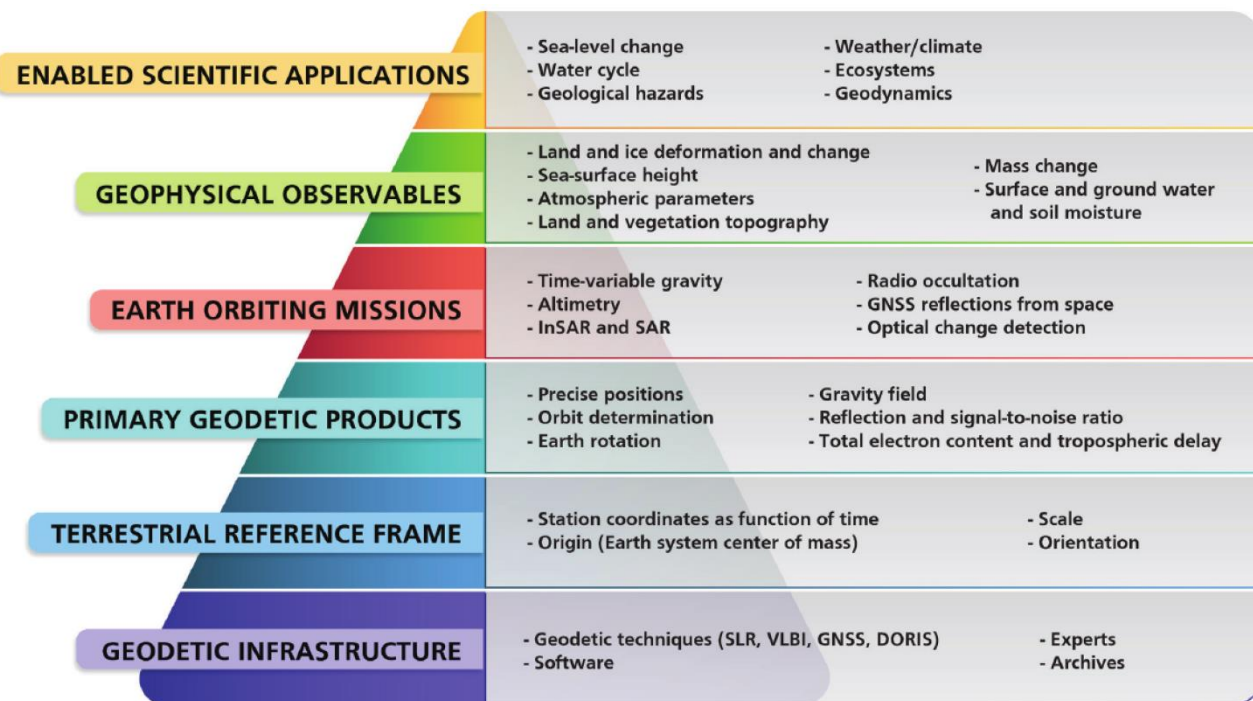
- Misja proponowana przez ESA, która ma za zadanie integrację 4 technik geodezji kosmicznej na pokładzie 1 satelity



GENESIS-1

CO-LOCATION OF GEODETIC TECHNIQUES IN SPACE

PB-NAV version: April 29th, 2022



ITRF2020 – 5 propozycji poprawy przyszłych realizacji ITRF



Rezygnacja z podwójnego różnicowania danych GNSS oraz wykorzystanie wszystkich częstotliwości GNSS wraz z modelowaniem jonosfery, zegarów i opóźnień sprzętowych

Wykorzystanie satelitów LEO (obecnie wchodzą do ITRF2020 jedynie za sprawą techniki DORIS)

GENESIS – integracja wszystkich technik na pokładzie 1 satelity

Uwzględnienie obserwacji LLR zapewniające niezależne wyznaczenie UT1 oraz nutację

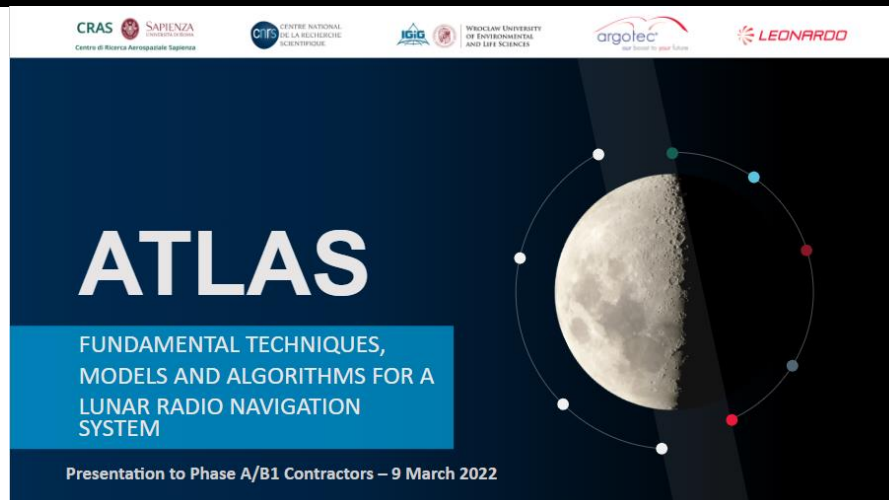
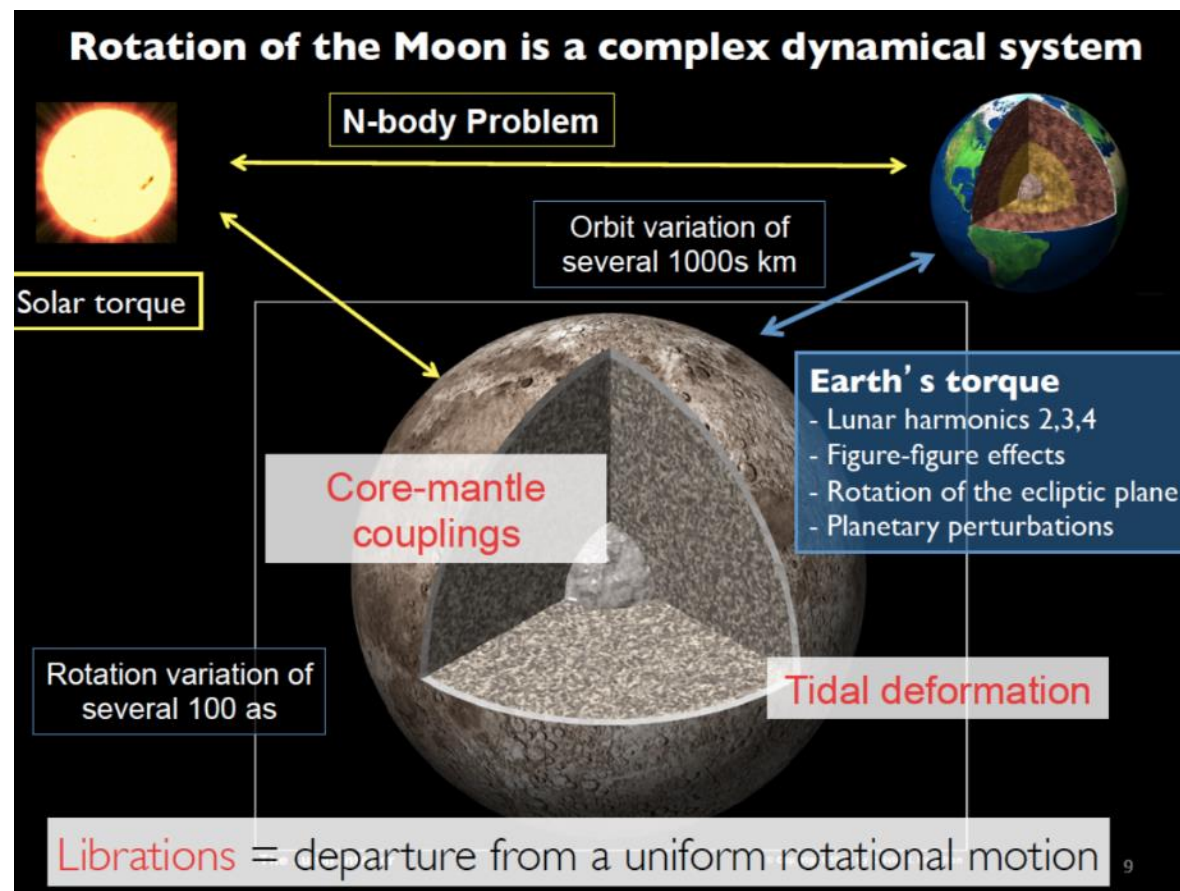
Integracja GNSS-SLR na pokładzie satelitów Galileo

Układy odniesienia na Księżycu

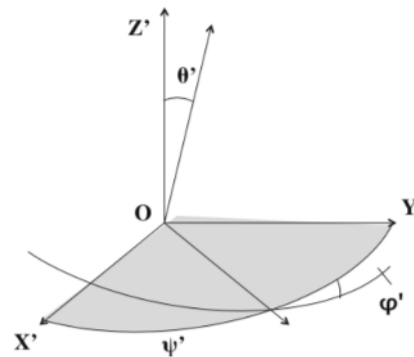
- Księżyc posiada „naturalny” południk zero (w przeciwieństwie do Ziemi)
- Brak troposfery i jonosfery
- Brak niepływowego transportu masy (hydrologia, oceany, atmosfera)
- Jedyne pływy to pływy skorupy stałej
- Pole grawitacyjne lepiej poznane niż na Ziemi (GRAIL orbitowała na wys. nawet 17 km)
- Transformacje ICRF-ILRF z dokładnością centymetrową dzięki efemerydom INPOP21a oraz danym LLR

Na Księżycu stosowane są 2 układy odniesienia:

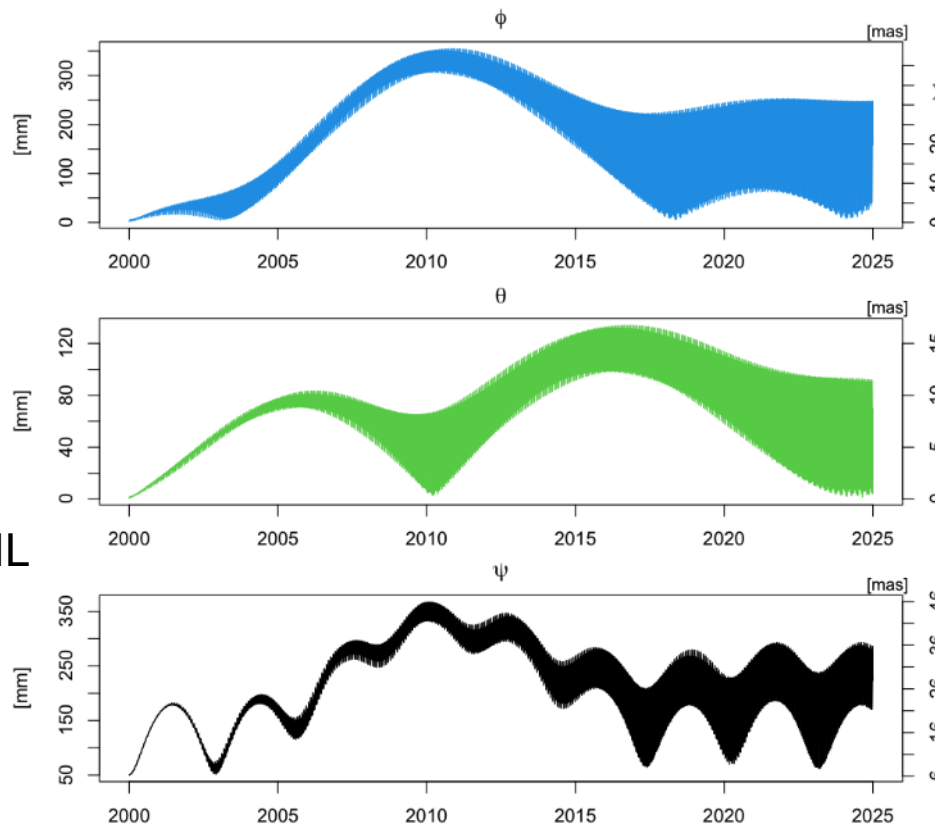
- układ osi głównej PA
- układ średniej Ziemi ME (lub układ średniej osi Ziemi/biegunowej)



Układy odniesienia na Księżycu



- Księżyc posiada „naturalny” południk zero (w przeciwieństwie do Ziemi)
- Brak troposfery i jonosfery
- Brak niepływowego transportu masy (hydrologia, oceany, atmosfera)
- Jedyne pływy to pływy skorupy stałej
- Pole grawitacyjne lepiej poznane niż na Ziemi (GRAIL orbitowała na wys. nawet 17 km)
- Transfromacje ICRF-ILRF z dokładnością centymetrową dzięki efemerydom INPOP21a oraz danym LLR



Na Księżycu stosowane są 2 układy odniesienia:

- układ osi głównej PA
- układ średniej Ziemi ME (lub układ średniej osi Ziemi/biegunowej)

	INPOP17a-INPOP13a	INPOP19a-INPOP17a	INPOP19a-INPOP21a
ϕ	3 m	40 cm	6 cm
θ	1.5 m	15 cm	3 cm
ψ	3 m	50 cm	10 cm
Offset ψ	100 m	- cm	5 cm

A large, faint, circular seal of the University of Wrocław is visible in the background on the left side of the slide. It contains the text 'UNIVERSITAS VROCLAVIENSIS' and 'MDCCCXXXIII' around the perimeter, and a central emblem featuring a lion and a sun.

Dziękuję za uwagę!

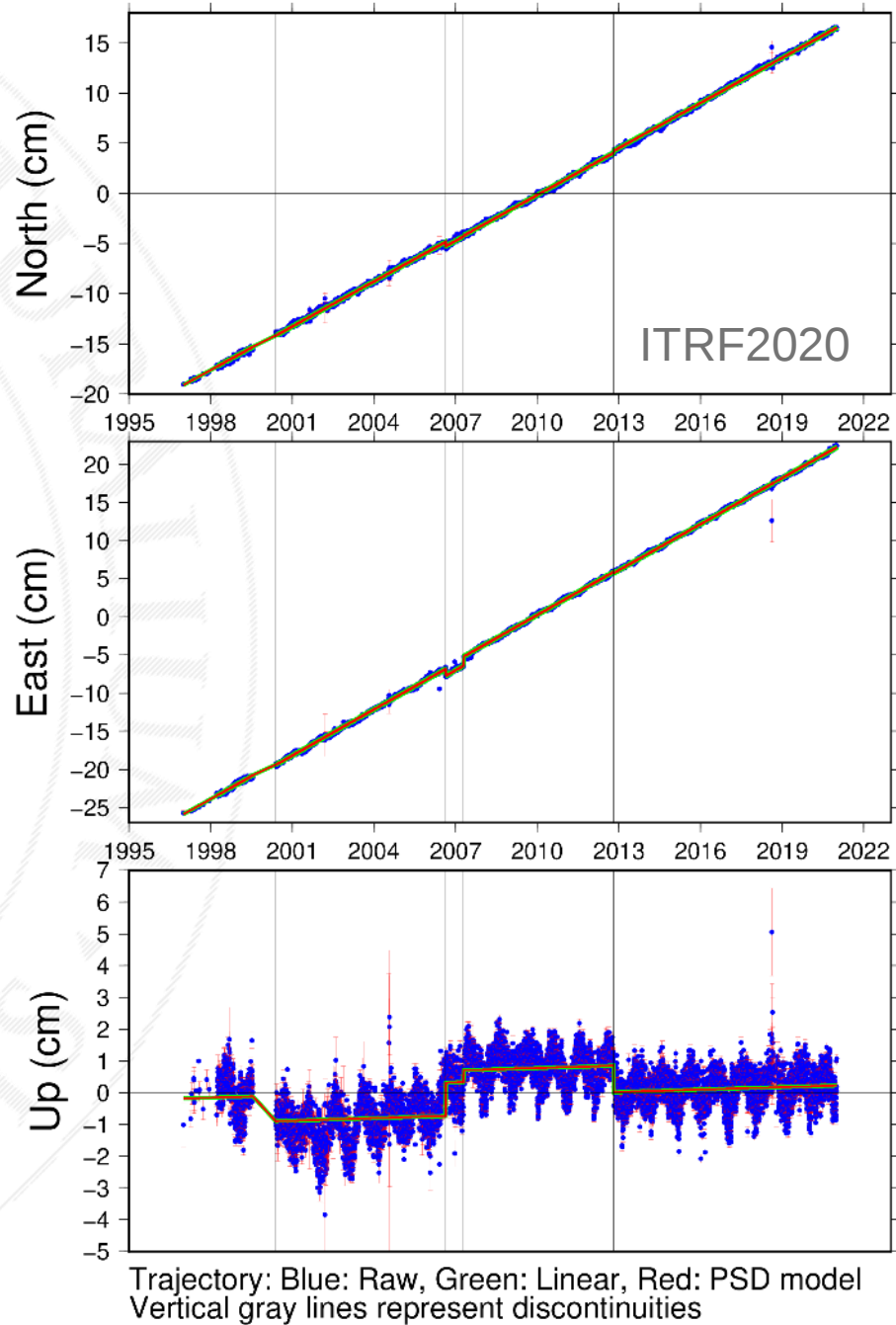
Krzysztof Sośnica

Instytut Geodezji i Geoinformatyki, UPWr

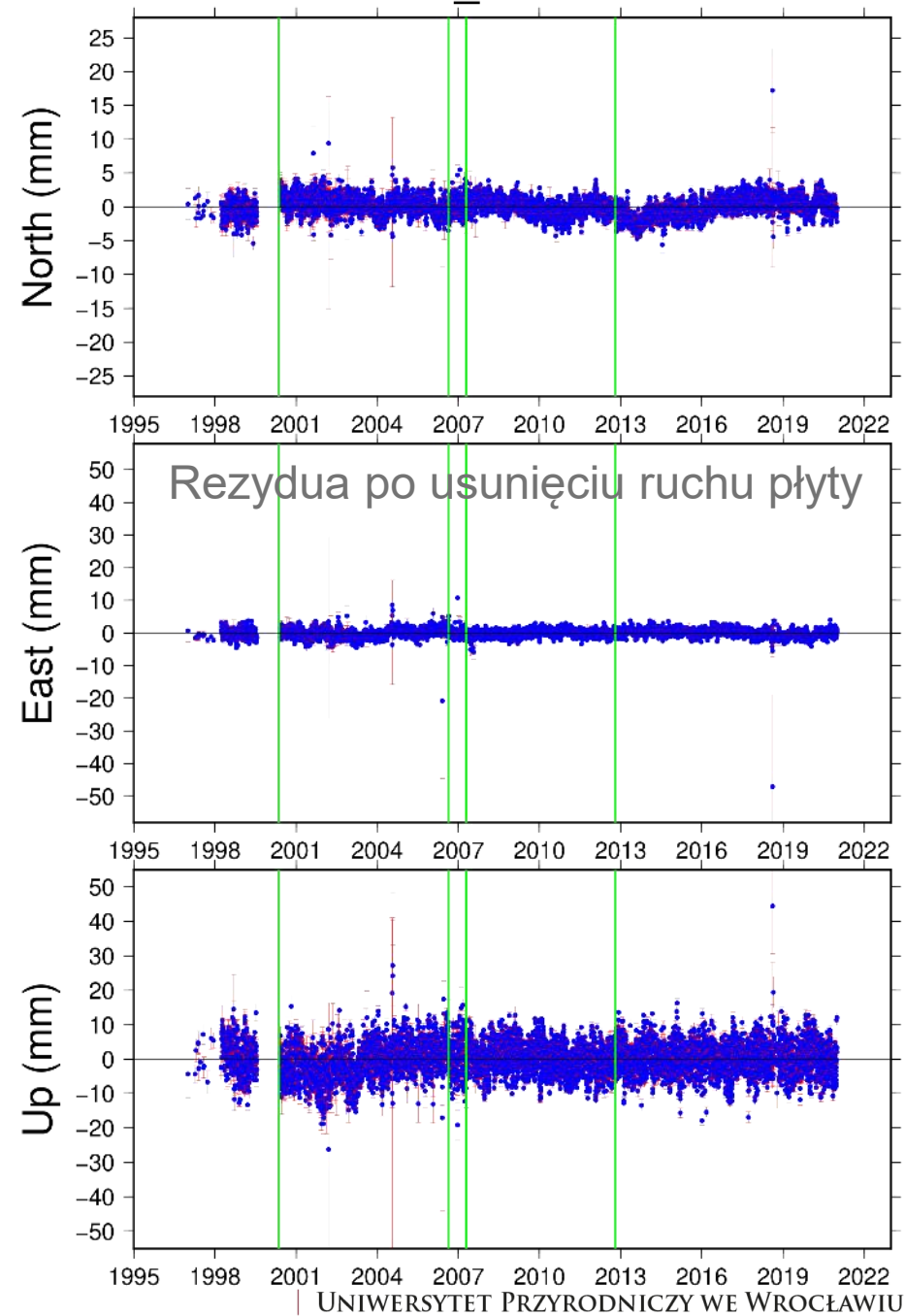
krzysztof.sosnica@upwr.edu.pl

ITRF2020

WROC_12217M001 trajectory

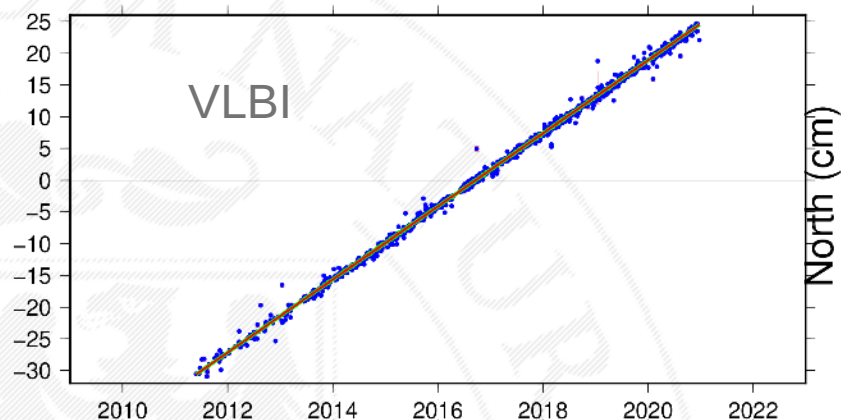


WROC_12217M001

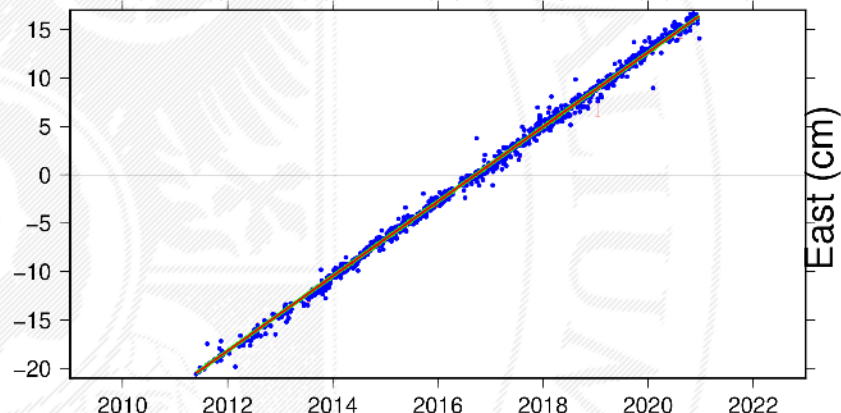


North (cm)

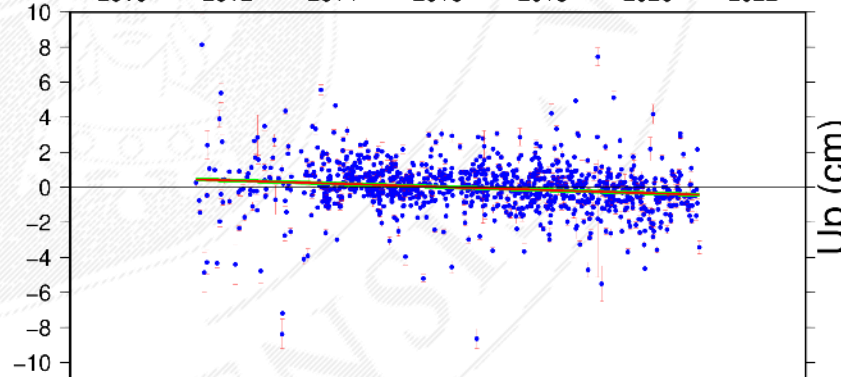
7376_50107S012 trajectory



East (cm)

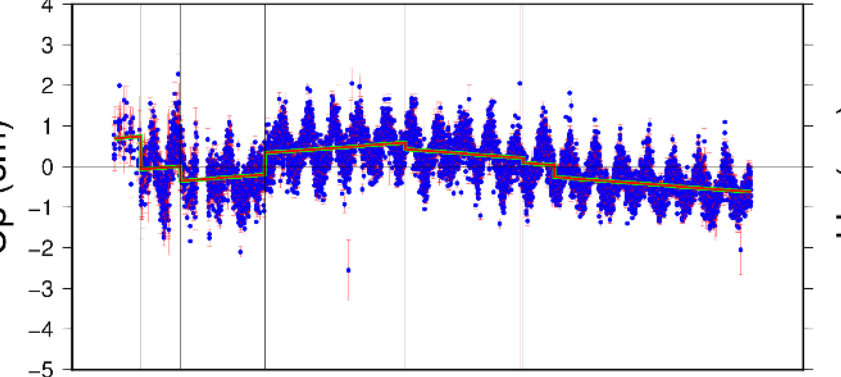
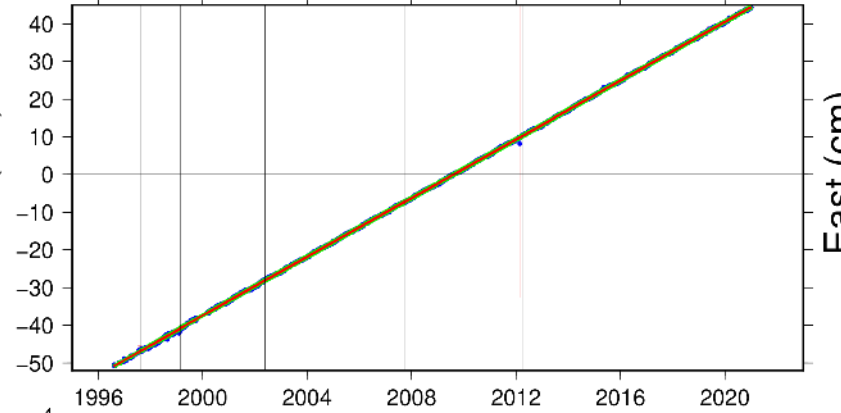
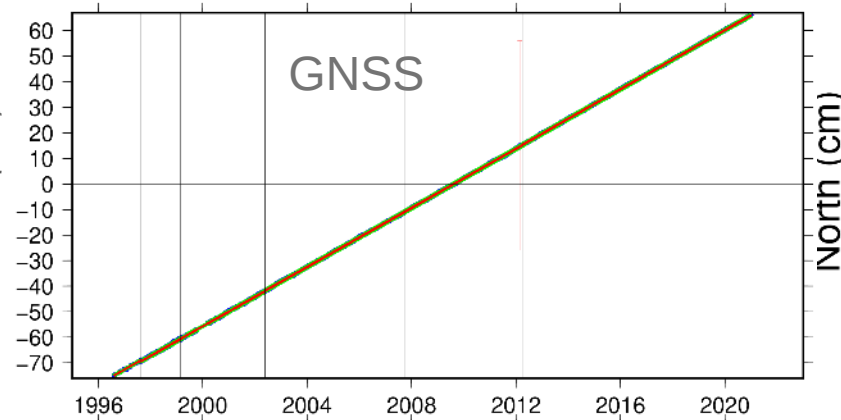


Up (cm)



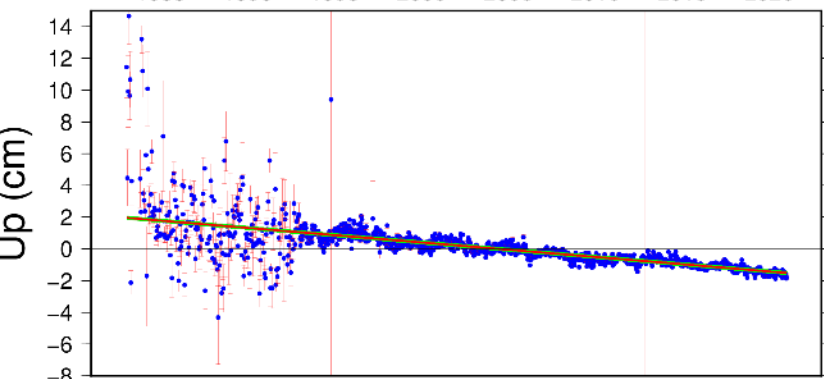
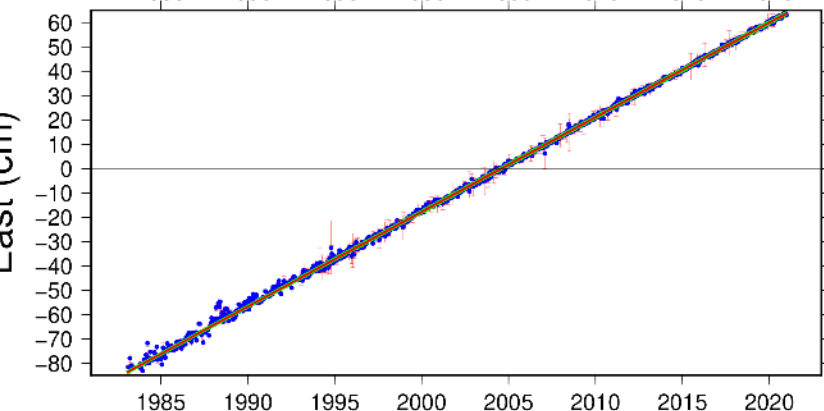
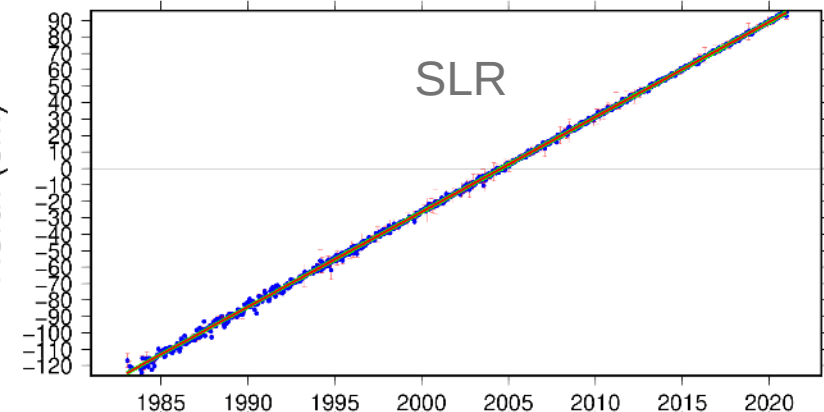
Trajectory: Blue: Raw, Green: Linear, Red: PSD model
Vertical gray lines represent discontinuities

YAR2_50107M004 trajectory



Trajectory: Blue: Raw, Green: Linear, Red: PSD model
Vertical gray lines represent discontinuities

7090_50107M001 trajectory



Trajectory: Blue: Raw, Green: Linear, Red: PSD model
Vertical gray lines represent discontinuities