



EPOS - System Obserwacji Płyty Europejskiej (EPOS-PL+)

Grawimetr Pływowy w Obserwatorium Astrogeodynamicznym CBK PAN w Borowcu

Jolanta Nastula, Jerzy Nawrocki, Julia Pietrzak, Piotr Dunst, Dariusz Lemański

Centrum Badań Kosmicznych PAN

Przemysław Dykowski, Marcin Sękowski

Instytut Geodezji i Kartografii

Konferencja naukowa

„Systemy odniesień przestrzennych - podstawy geodynamiczne, aktualne realizacje oraz kierunki rozwoju”,

8-10 czerwca 2022, Grybów

Project EPOS-PL+

Projekt EPOS-PL+ – System Obserwacji Płyty Europejskiej jest elementem szerszego przedsięwzięcia.

Infrastruktura modernizowana w ramach projektu EPOS-PL jest ściśle związana z europejskim programem rozwoju infrastruktury badawczej tzw. „twardej Ziemi” EPOS i stanowi jego integralną część.

Program EPOS jest największym europejskim projektem infrastrukturalnym w naukach o Ziemi. Misją programu EPOS jest integracja rozproszonych istniejących i nowo powstających urządzeń badawczych w dziedzinie nauk o Ziemi w Europie oraz tworzenie i udoskonalanie elementów integrujących tę infrastrukturę.

<https://epos-pl-plus.eu/>



EPOS - System Obserwacji Płyty Europejskiej (EPOS-PL+)

Project EPOS-PL+; CBK PAN

W ramach projektu EPOS-PL+ u w Obserwatorium Astrogeodynamicznym CBK PAN w Borowcu we wrześniu 2020 został zainstalowany i uruchomiony grawimetr **Micro-g LaCoste gPhoneX#171** jako stacjonarny grawimetr pływowy.

Głównym zadaniem aparatury jest ciągła rejestracja zmian przyspieszenia siły ciężkości, z częstotliwością 1Hz.

Dodatkowo wewnątrz i na zewnątrz instrumentu wykonywane są pomiary temperatury i ciśnienia atmosferycznego.

Planowane są pomiary poziomu wód gruntowych, które mogą zostać wykorzystane przy analizie zapisów z grawimetru.

Project EPOS-PL+; CBK PAN

Dane rejestrowane przez grawimetr są przekazywane na serwery Instytutu Geodezji i Kartografii, i po wstępnym opracowaniu umieszczane w repozytorium danych grawimetrycznych tworzonym w Centrum Infrastruktury Badawczej Obserwacji Grawimetrycznych (CIBOG) w ramach projektu EPOS-PL.

Modernizacja i rozbudowa infrastruktury badawczej w Obserwatorium w Borówcu wynika z potrzeby integracji rozproszonych, krajowych infrastruktur badawczych w dziedzinie nauk o Ziemi.

Integracja oraz udostępnienie obserwacji umożliwi rozszerzenie współpracy pomiędzy instytucjami prowadzącymi działania w dziedzinach geofizyki i geodezji oraz w obszarze aplikacji w przemyśle.

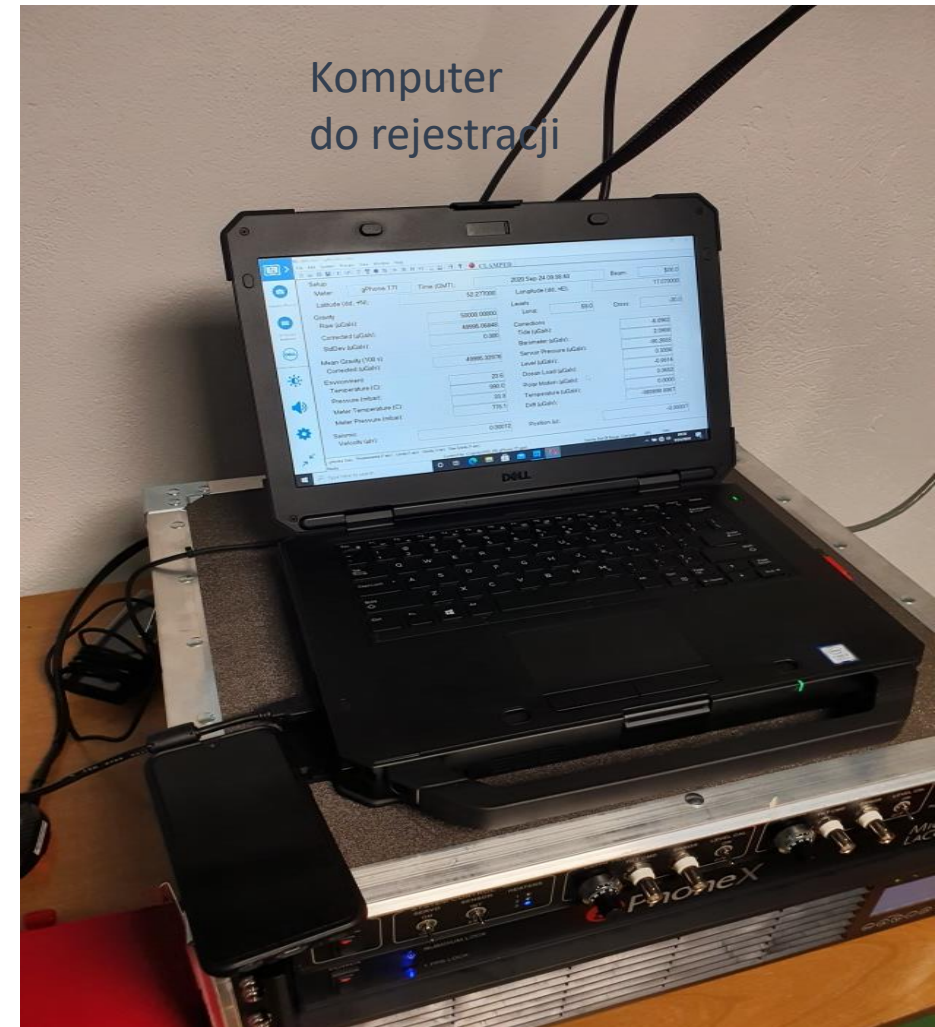
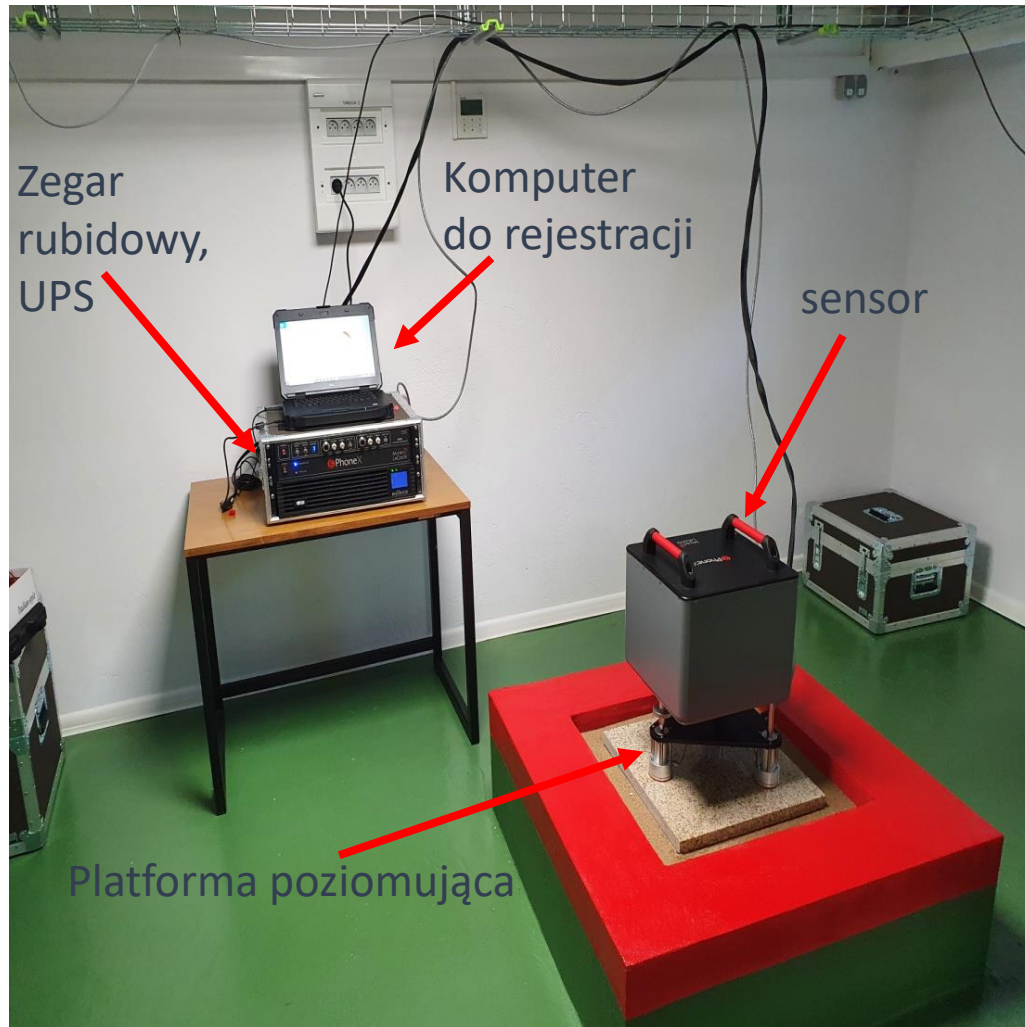
Piwnica grawimetryczna w Borowcu



Jedna z piwnic została wyposażona w stanowisko komputerowe umożliwiające kontrolę i sterowanie obserwacjami grawimetrycznymi.

Pomieszczenie zostało wyremontowane, łącznie z położeniem posadzki, wyrównaniem ścian i ich pomalowaniem, doprowadzeniem nowej instalacji elektrycznej, sieci komputerowej sterowania grawimetrami.

Micro-g LaCoste gPhoneX#171 gravity meter



Micro-g LaCoste gPhoneX#171 gravity meter



Parametry techniczne urządzenia

Typ czujnika	sprężyna o długości zerowej
Rozdzielczość odczytu	0.1 μGal
Precyzja pomiaru:	1.0 μGal
Szum własny układu	< 0.3 $\mu\text{Gal}/\sqrt{\text{Hz}}$
Zakres pomiarowy	7000 mGal bez kalibracji
Zakres zwrotny	około ± 100 mGal
Dryf instrumentu	1.5 mGal/miesiąc
Dodatkowe czujniki temp	w układzie i na zewnątrz
Całkowity pobór mocy układu w temperaturze otoczenia 25°C	• obciążenie stałe ok. 100 W • obciążenie maksymalne ok. 330 W

nm/s^2 (1 μGal = 10 nm/s^2)

Cele w ramach projektu EPOS-PL+

- Kalibracja grawimetru
 - wyznaczenie współczynnika skali (wspólna rejestracja pływowa z grawimetrami LCR) – wstępnie wykonane (P. Dykowski, M. Sękowski, IGiK)
 - długookresowa ewaluacja dryfu
- Udział w ogólnopolskiej i światowej sieci pomiarów geodezyjnych
- Uwzględnienie wpływu zmian pola grawitacyjnego na pierwotny wzorzec sekundy (fontanna Cs w Laboratorium Czasu)
- Pomiar wpływu zmian pola grawitacyjnego na zachowanie nowej generacji zegarów optycznych (10^{-17} – 10^{-18})
- Wykorzystanie analizy pływów do pomiarów GNSS i dalmierzem laserowym

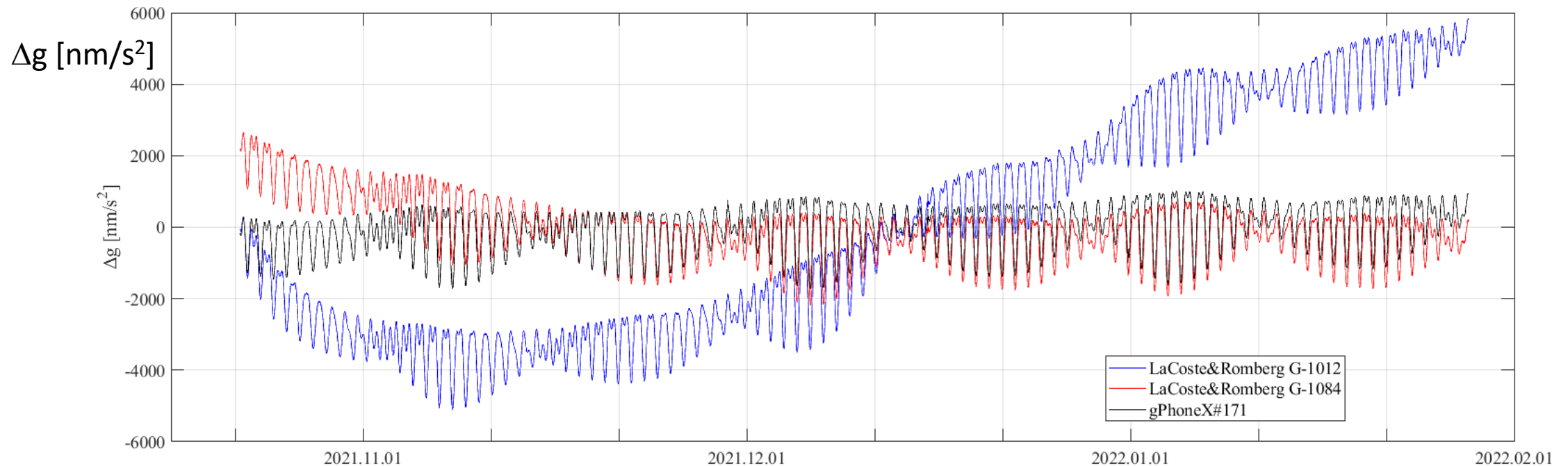
Wyznaczenie współczynnika skali - instalacja grawimetrów względnych w Borowcu-IGiK

- Okres: 2021.10.20 r. – 2022.01.25 r. (~97 dni)
- Instrumenty: LaCoste&Romberg G-1012 i G-1084, feedback LRFB-300 – 2Hz, bluetooth, umieszczone w podwójnej pokrywie ze styropianu
- Instalacja w piwnicy budynku Obserwatorium w Borówcu (gPhoneX w sąsiednim pomieszczeniu)
- Rejestracja danych: Raspberry Pi – dedykowane autorskie oprogramowanie do zbierania/zdalnego monitorowania rejestracji LCR
- Kompletność danych w okresie kalibracji: 100%



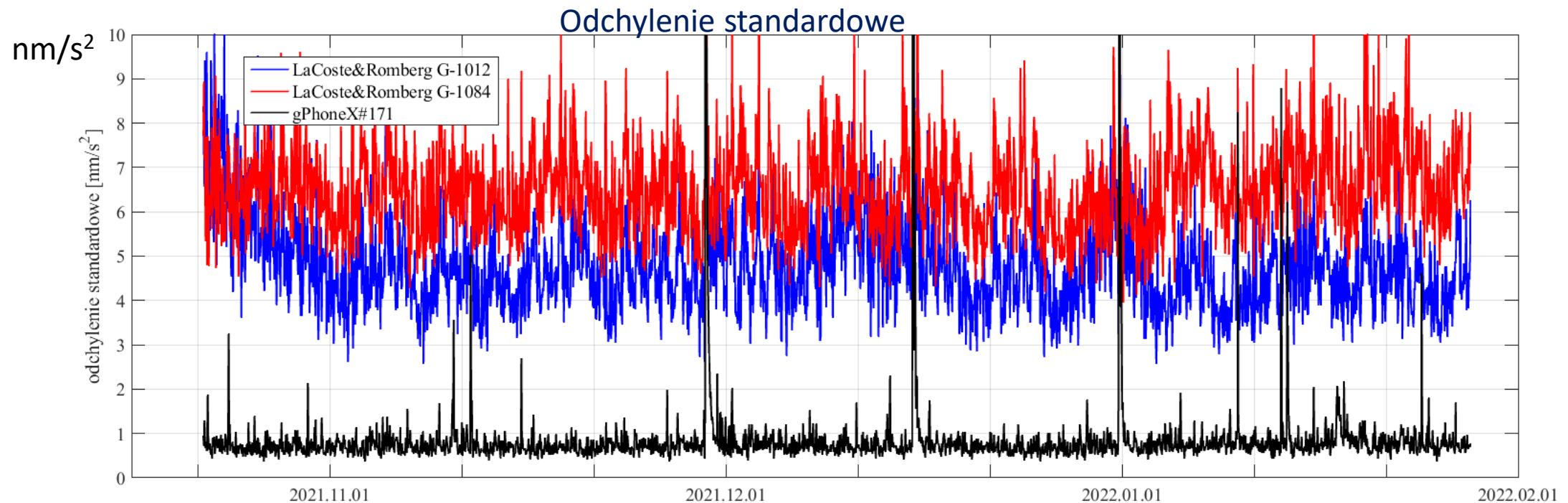
Zarejestrowane szeregi czasowe

- Opracowanie danych w TSoft
 - Usunięcie nieciągłości, silnych trzęsień Ziemi
 - Ujednolicenie jednostki: nm/s^2 ($1 \mu\text{Gal} = 10 \text{ nm/s}^2$)
 - Przepróbkowanie do interwału 1 minuty
- Nieliniowy dryf dla grawimetrów LCR, linowy dla gPhoneX ($\sim +7 \text{ nm/s}^2$ /dzień)

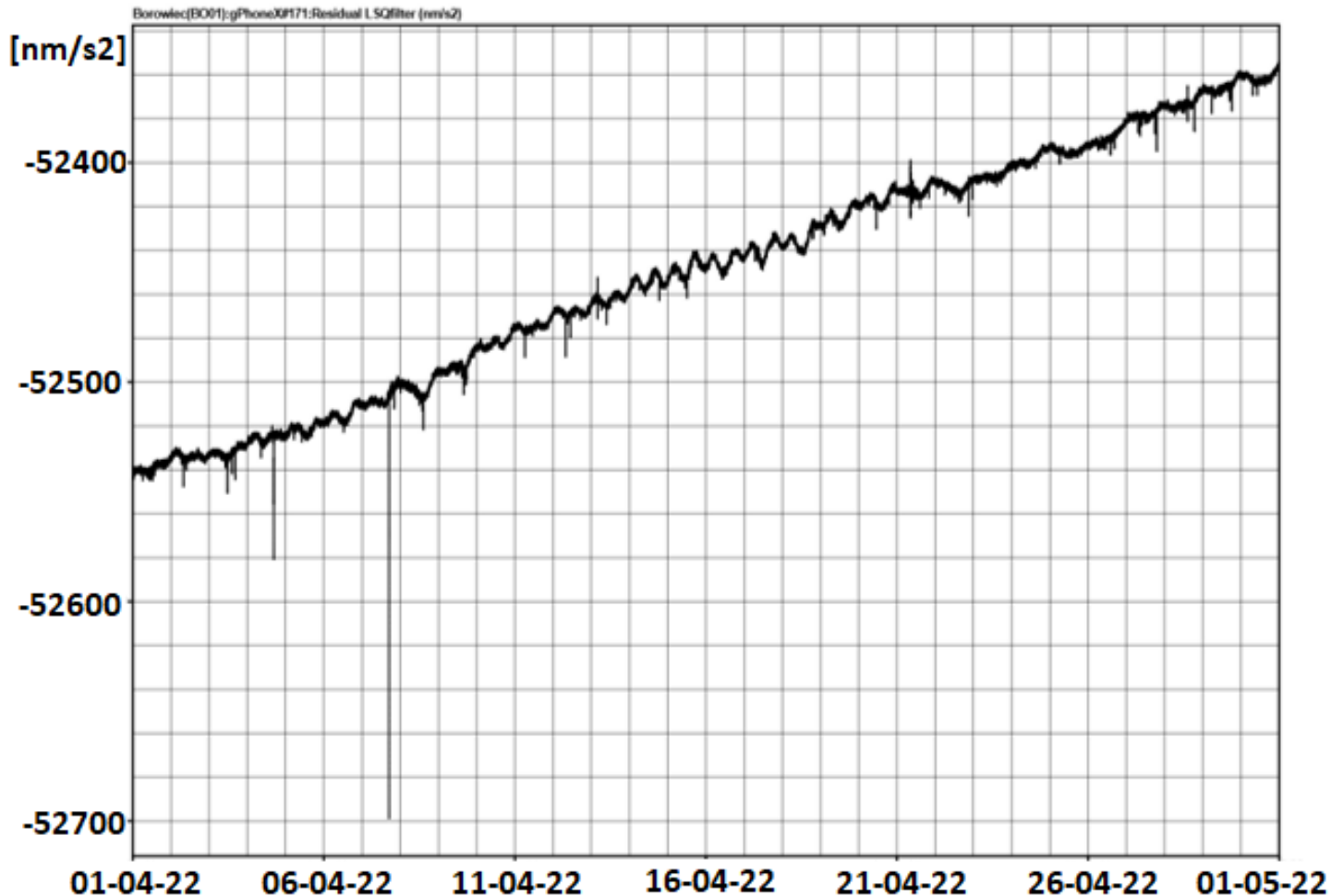


Charakterystyka zarejestrowanych szeregów czasowych

- Precyzja rejestracji w interwałach 1 godzinnych (odchylenie standardowe w oknie 1 godziny z danych 1 minutowych) – wyraźnie stabilniejszy zapis dla grawimetru gPhoneX#171
- Średnie wartości w okresie wspólnej rejestracji
 - LCR G-1012 – 4.8 nm/s^2 ; LCR G-1084 – 6.5 nm/s^2 ; gPhone – 0.9 nm/s^2



Zmiana wartości dryfu



Residua po przefiltrowaniu metoda najmniejszych kwadratów

Systemy odniesień przestrzennych, 08–10.06.2022r., Grybów

Zmiana wartości dryfu.

Miesiąc	Liczba pików	dryf [nm/s ² /dzień]
Lipiec 2021	5	8.7
Sierpień 2021	27	9.9
Październik 2021	9	9.8
Listopad 2021	7	9.7
Grudzień 2021	7	9.1
Styczeń 2022	10	9.1
Luty 2022	5	9.0
Marzec 2022	9	7.3
Kwiecień 2022	7	8.4

Średni dryf w analizowanym okresie wynosi:
9 nm/s² /dzień

Wyznaczenie współczynników skali (1)

Metoda :

- Usunięcie dryfu => filtracja sygnałów pływowych – filtr górnoprzepustowy (0.58 cpd)
- Zmiana interwału rejestracji dane 1 godzinne do dalszej analizy
- Wyrównanie metodą najmniejszych kwadratów: $\mathbf{g_{LCR} = g_{PhoneX} * k + d}$, k – współczynnik skali, d – przesunięcie między szeregami czasowymi

Wyniki wyrównania z grawimetrów:

- $G1012 = 0.99672 \pm 0.00012$
- $G1084 = 0.99814 \pm 0.00014$
- **$k = 0.99743 \pm 0.00018$**

Cele w ramach projektu EPOS-PL+

- Kalibracja grawimetru
 - wyznaczenie współczynnika skali (wspólna rejestracja pływowa z grawimetrami LCR) – wstępnie wykonane (P. Dykowski, M. Sękowski, IGiK)
 - długookresowa ewaluacja dryfu
- Udział w ogólnopolskiej i światowej sieci pomiarów geodezyjnych
- Uwzględnienie wpływu zmian pola grawitacyjnego na pierwotny wzorzec sekundy (fontanna Cs w Laboratorium Czasu)
- Pomiar wpływu zmian pola grawitacyjnego na zachowanie nowej generacji zegarów optycznych (1E^{-17} – 1E^{-18})
- Wykorzystanie analizy pływów do pomiarów GNSS i dalmierzem laserowym



EPOS - System Obserwacji Płyty Europejskiej (EPOS-PL+)

Dziękuję za uwagę

