



Geodezyjny SAR – analiza wykorzystania aktywnych transponderów we Władysławowie i Łebie

Tomasz Kur, Ryszard Zdunek, Jolanta Nastula

Centrum Badań Kosmicznych Polskiej Akademii Nauk (CBK PAN), Warszawa, Polska

Dlaczego *geodezyjny SAR (geodetic SAR)*?

„While the first ERS-1 products had a specified accuracy on the order of hundreds of meters [1], Sentinel-1 Stripmap products have a specified accuracy of 2.5 m (SLC, NRT orbit) [2] in the image coordinate system. This accuracy, on the order of the single-look SAR pixel resolution, is today a typical specification and it is good enough to support most applications of SAR imagery. However, it has been shown [3][4][5][6] **that SAR can do much better if properly processed, calibrated and corrected for well-known effects such as wave propagation and earth dynamics, as it is done in geodesy. Then, if SAR systems are handled like GNSS, a whole new range of geodetic applications become feasible.**”

Survey Protocol for Geometric SAR Sensor Analysis, 2018

Authors: Ulrich Balss¹, Christoph Gisinger², Michael Eineder¹, Helko Breit¹, Adrian Schubert³, David Small³

¹ German Aerospace Center, Germany; ² Technical University of Munich, Germany; ³ Remote Sensing Laboratories – University of Zurich, Switzerland

Framework of the FRM4SAR (Fiducial Reference Measurements for SAR) project, induced and founded by ESA-ESRIN (ESA Contract No. 4000119113/16/I-EF)



Źródło mapy: Gruber et al. (2020)

Geodezyjny SAR został wykorzystany w międzynarodowym projekcie Europejskiej Agencji Kosmicznej „Baltic+ Geodetic SAR for Baltic Height System Unification”, prowadzonym w latach 2019-2021 (szczegóły w Gruber et al., 2020).

Cele projektu:

- Badania zmian poziomu morza oraz unifikacja systemów i układów wysokości krajów basenu Morza Bałtyckiego.
- Wyznaczenie względnych ruchów pionowych stacji oraz poprawek do odczytów z mareografów.
- Instalacja na wybranych stacjach mareograficznych i/lub GNSS prototypowych instrumentów, tj. aktywnych elektronicznych transponderów (ECR) dla satelitów Sentinel-1 oraz testowanie pod kątem możliwości ich zastosowania do zagęszczania istniejących sieci GNSS dla wyznaczenia pionowych ruchów stacji mareograficznych, a w konsekwencji do wyznaczenia absolutnych zmian poziomu morza i badania zmian klimatu.

Analizy i metody przedstawione w dalszej części prezentacji nie stanowią zadań CBK w projekcie.

Niezależnie od projektu, obecnie w CBK PAN rozwijane jest oprogramowanie do celów geodezyjnego SAR. Oprogramowanie jest wykorzystywane w analizie danych z instrumentów we Władysławowie (WLAD) i Łebie (LEBA) z okresu po zakończeniu projektu.

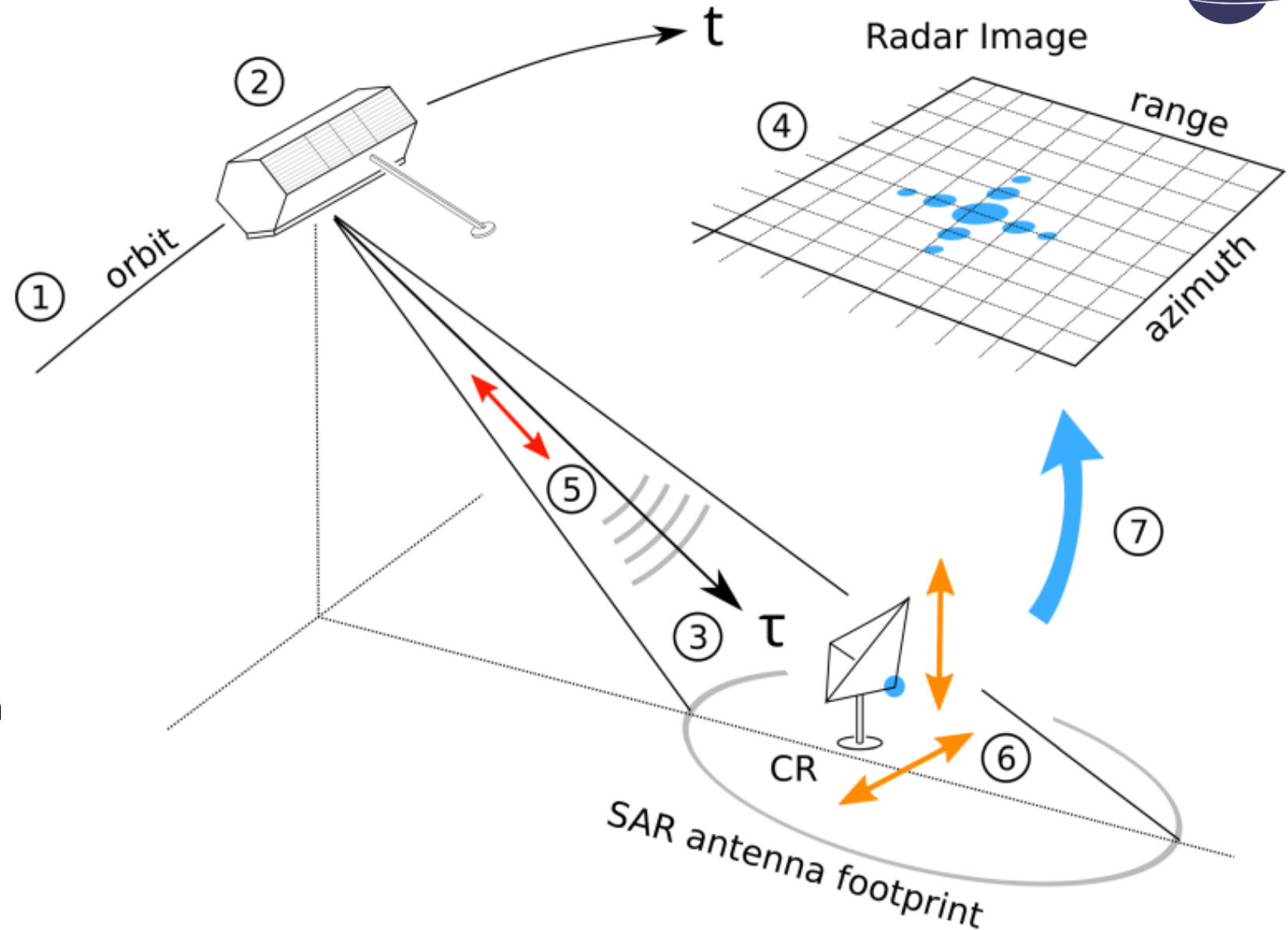
Oprogramowanie składa się z:

- ✓ Modułów gromadzenia i przygotowywania danych (m.in. dane SAR, EOP, precyzyjne orbity, modele jonosfery i troposfery);
- ✓ Modułu przetwarzania związanego z efektami geodynamicznymi i poprawkami do pomiarów radarowych;
- ✓ Modułu do wstępnej analizy wyników (raporty, wykresy).

Thomas Gruber, Jonas Ågren, Detlef Angermann, Artu Ellmann, Andreas Engfeldt, Christoph Gisinger, Leszek Jaworski, Simo Marila, Jolanta Nastula, Faramarz Nilfouroushan, Xanthi Oikonomidou, Markku Poutanen, Timo Saari, Marius Schlaak, Anna Świątek, Sander Varbla, and Ryszard Zdunek. 2020. "Geodetic SAR for Height System Unification and Sea Level Research—Observation Concept and Preliminary Results in the Baltic Sea" *Remote Sensing* 12, no. 22: 3747. <https://doi.org/10.3390/rs12223747>

Metoda pomiarowa

- (1) Precyzyjne wyznaczenie orbity
- (2) Satelita z technologią SAR
- (3) Proces akwizycji obrazu
- (4) Generowanie obrazu
- (5) Atmosferyczne opóźnienia sygnału
- (6) Wyznaczenie pozycji transpondera
- (7) Obliczenie pozycji odbiornika w układzie współrzędnych radarowych



Źródło: Gisinger, Christoph (2020) SAR Imaging Geodesy - Towards Absolute Coordinates with Centimeter Accuracy. Dissertation, Technische Universität München.

„Klasyczne” *corner reflectors*



1.5 m *corner reflector* w Metsähovi (Finlandia)
(źródło: Survey Protocol for Geometric SAR Sensor Analysis, 2018)



Pięciometrowy *corner reflector* w Rosamond Calibration Array (USA, Kalifornia)
(źródło: <https://uavsar.jpl.nasa.gov/cgi-bin/calibration.pl>)

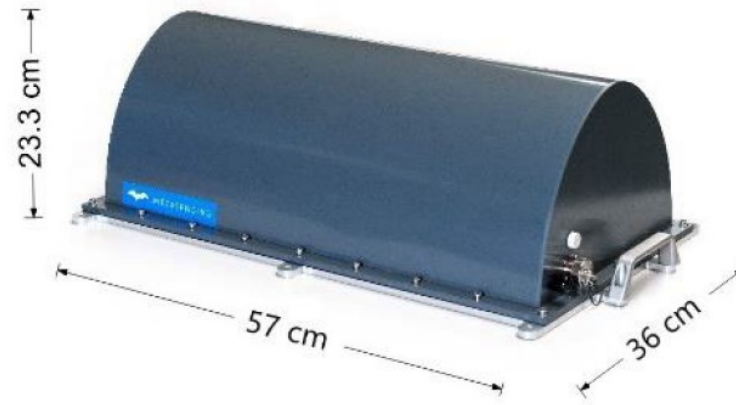
Elektroniczne transpondery (ECR)



Władysławowo (WLAD) (zdjęcie R. Zdunek)



Łeba (LEBA) (zdjęcie R. Zdunek)



MetaSensing ECR-C

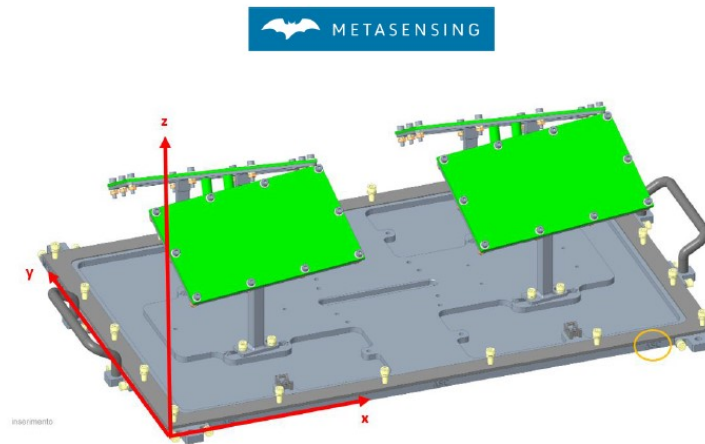


Figure 3: Reference system for the ECR-C phase centers of each orbit.



Oberpfaffenhofen (DLR)

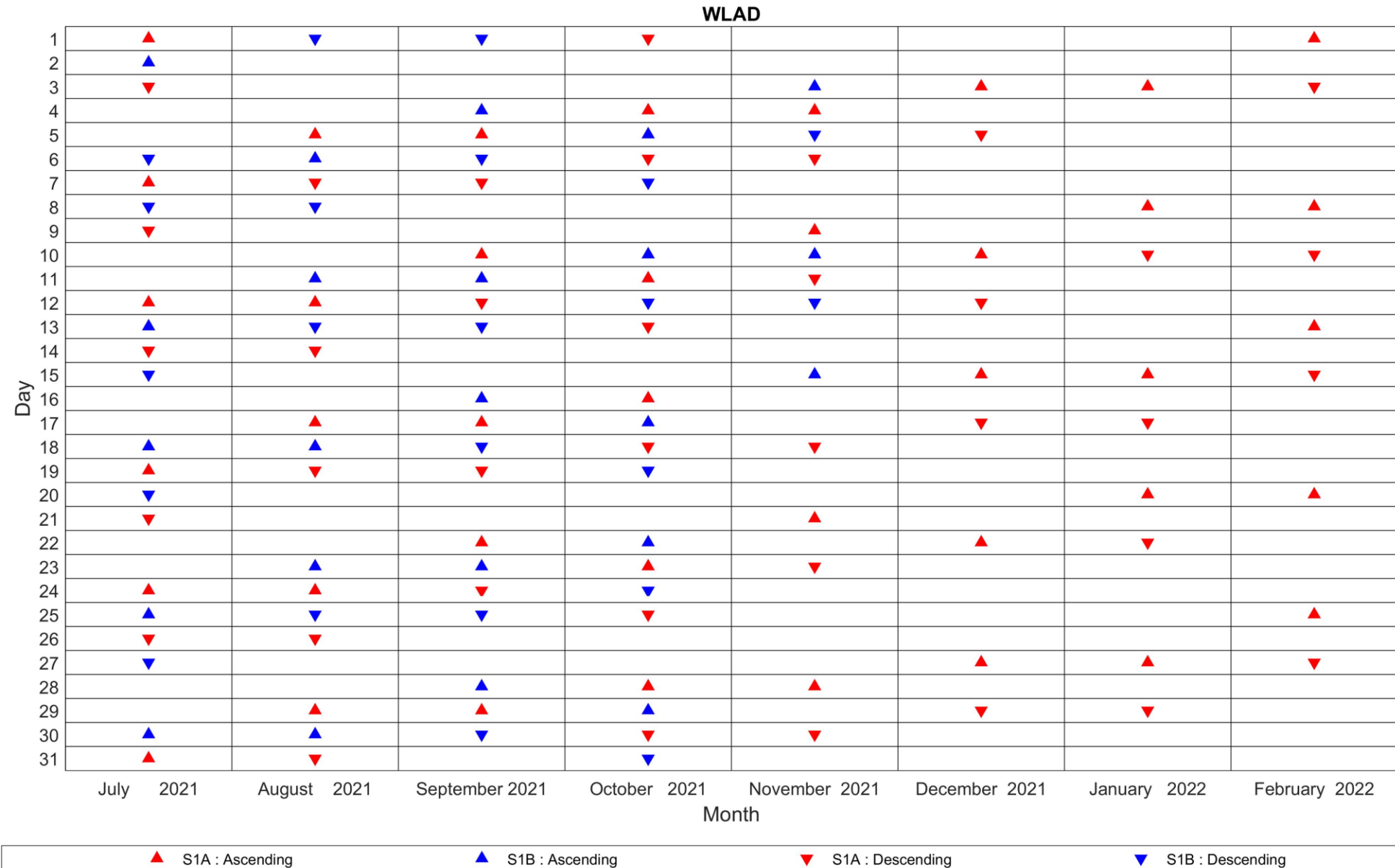


Część geodezyjna	
Secular Trends	Stacje ITRF2014 (ITRF2014_GNSS.ssc) połączony z modelem płyt tektonicznych MORVEL56
Solid Earth Tides	IERS Conventions (2010)
Ocean Loading	Parametry pływowe Chalmers University of Technology http://holt.oso.chalmers.se/loading/ dla modelu FES2004, IERS Conventions (2010)
Atmospheric Tidal Loading	GSFC VLBI group (Petrol & Boy, 2004)
Pole Tides	IERS Conventions (2010), EOP C04 14
Ocean Pole Tide Loading	IERS Conventions (2010); EOP C04 14, Ocean Pole Load Tide Deformation Parameters from Self-Consistent Equilibrium Model of Ocean Pole Tide (Desai, 2002)
Precise Orbits	Precyzyjne orbity https://scihub.copernicus.eu/gnss/#/home

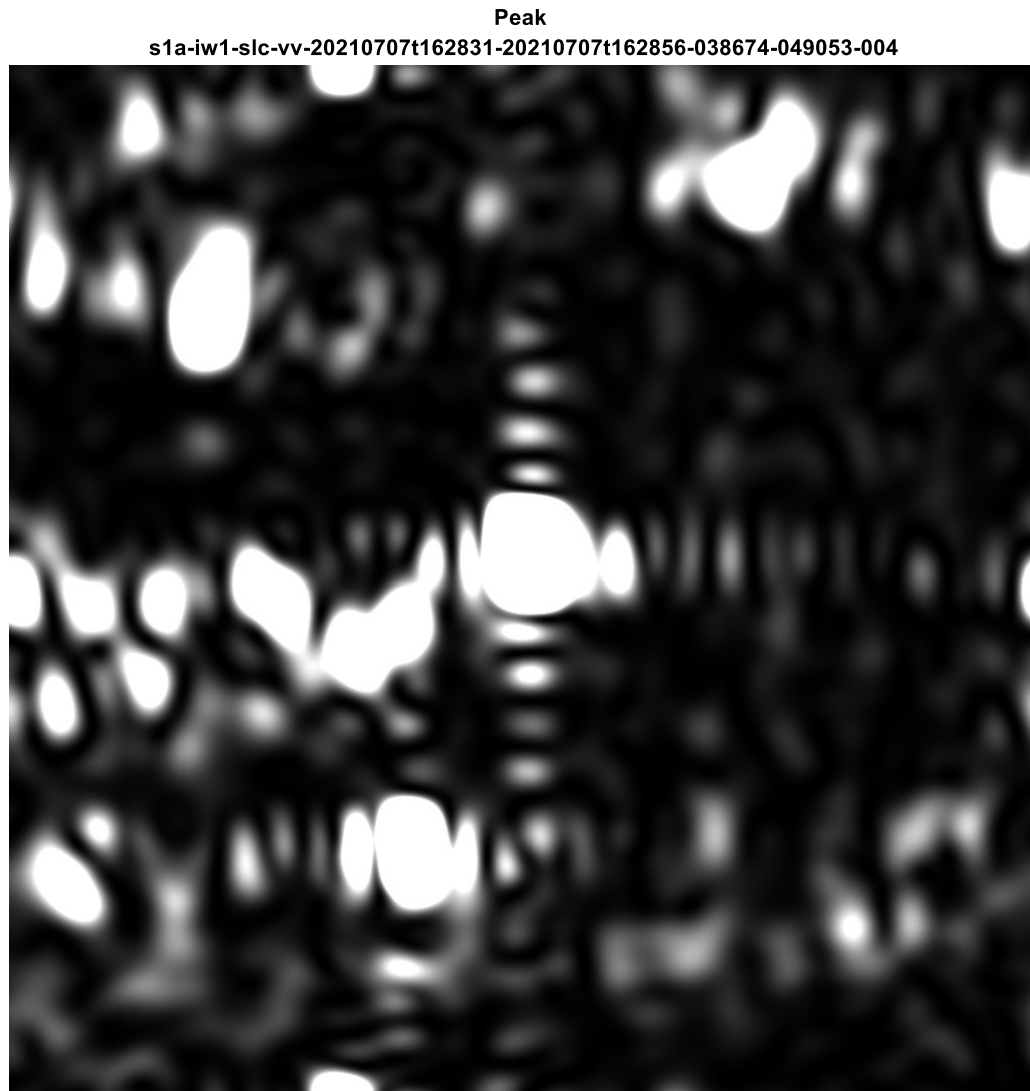
Część radarowa	
Bulk azimuth correction (azimuth correction)	Na podstawie Sentinel-1 image annotation files
Shift to pulse transmit time (azimuth correction)	
Satellite motion (azimuth correction)	
Azimuth corrections for topography induced FM-rate mismatch (azimuth correction)	
Range correction w.r.t. Doppler (range correction)	
Tropospheric delays (range correction)	Vienna Mapping Function (VMF1)
Ionospheric delays (range correction)	CODE

Dostępność danych Sentinel-1 dla Władysławowa

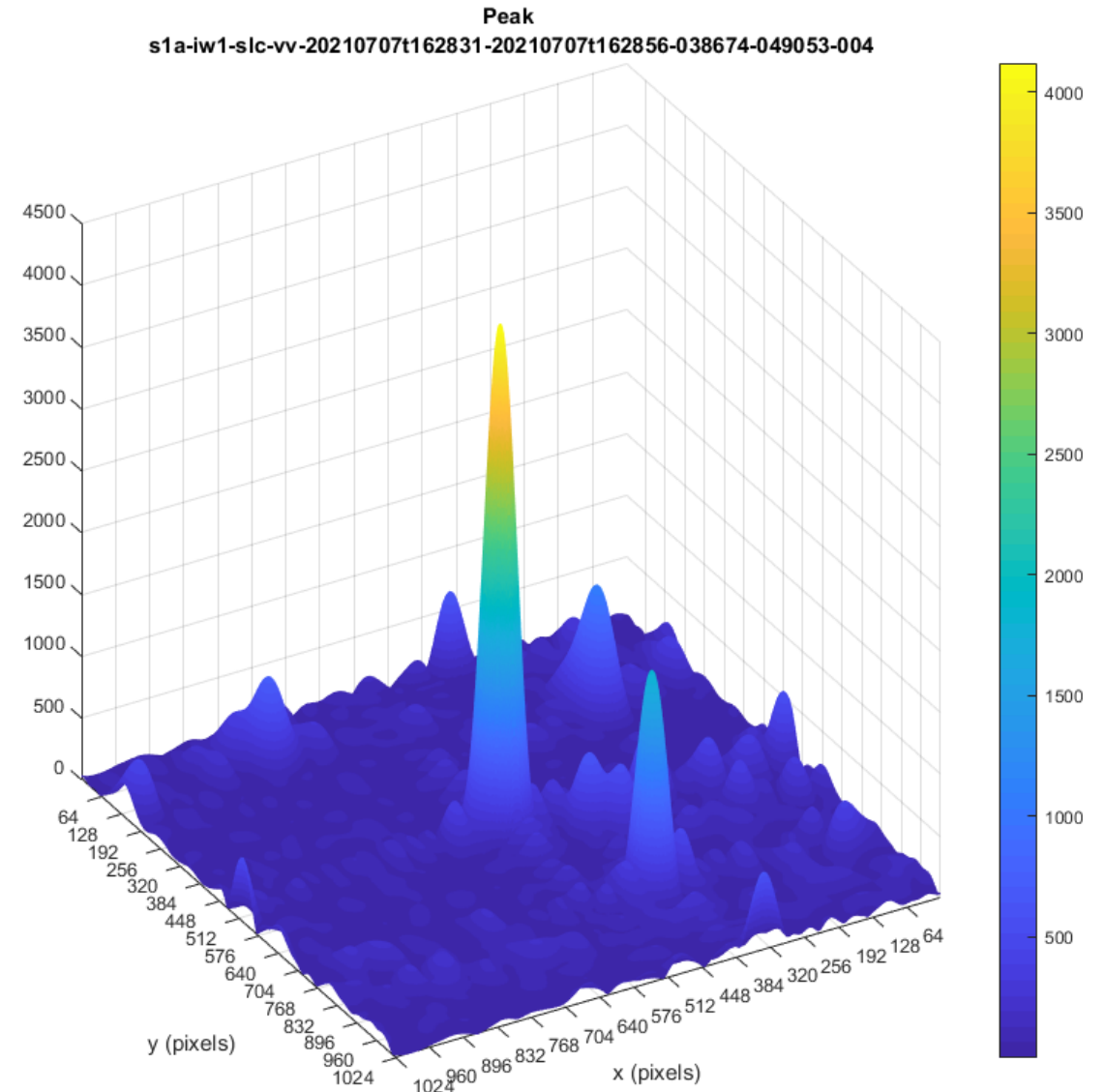
Wszystkie	124
Sentinel-1A (S1A)	76
Sentinel-1B (S1B)	48
Ascending	63
Descending	61



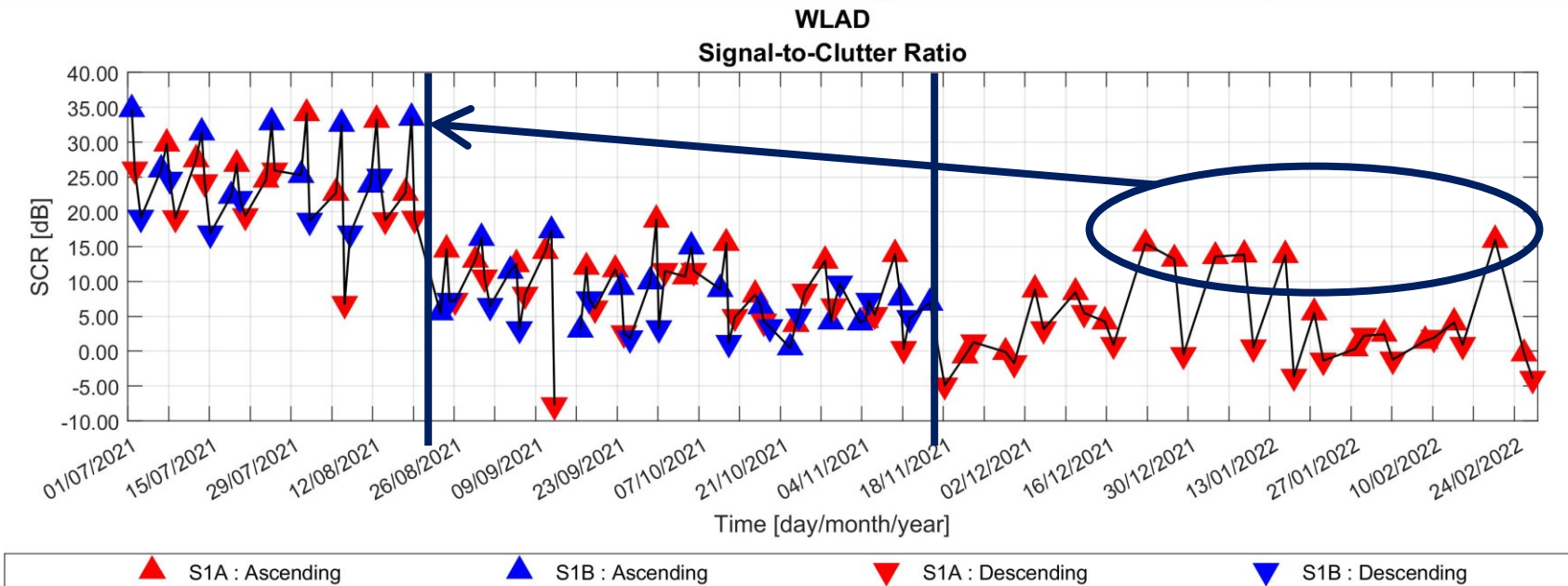
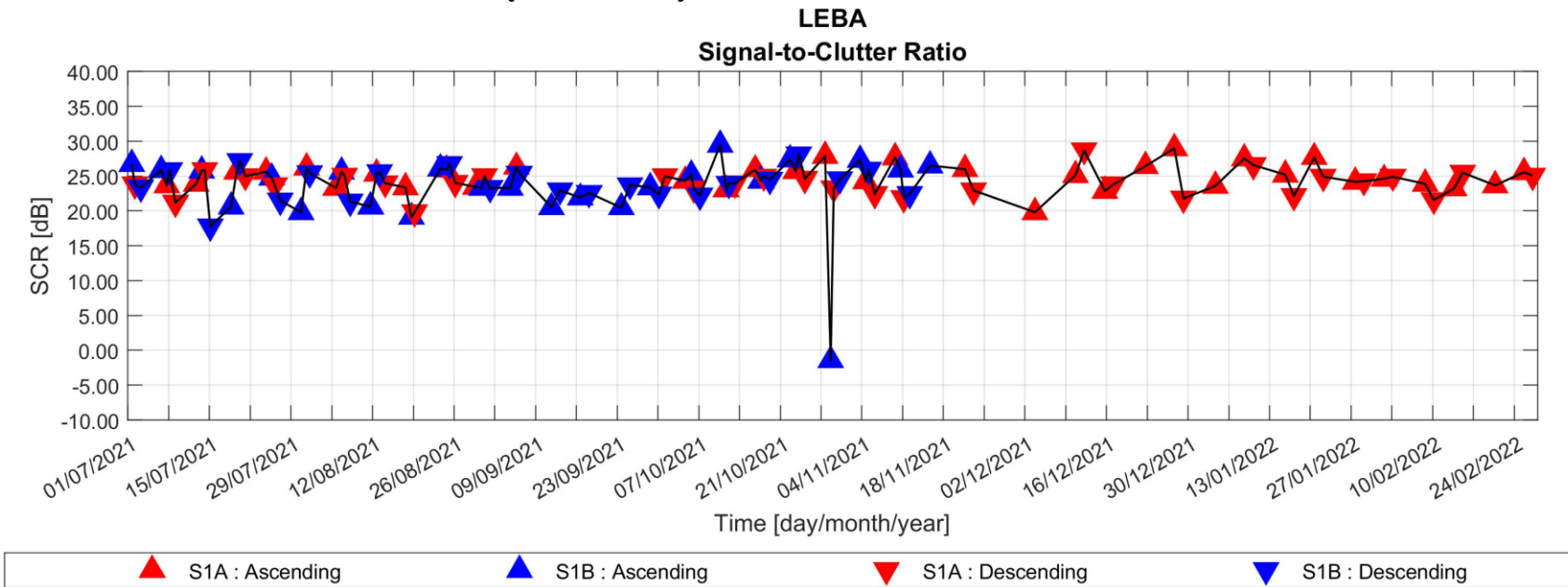
23.12.2021 – Sentinel-1B
przestaje działać



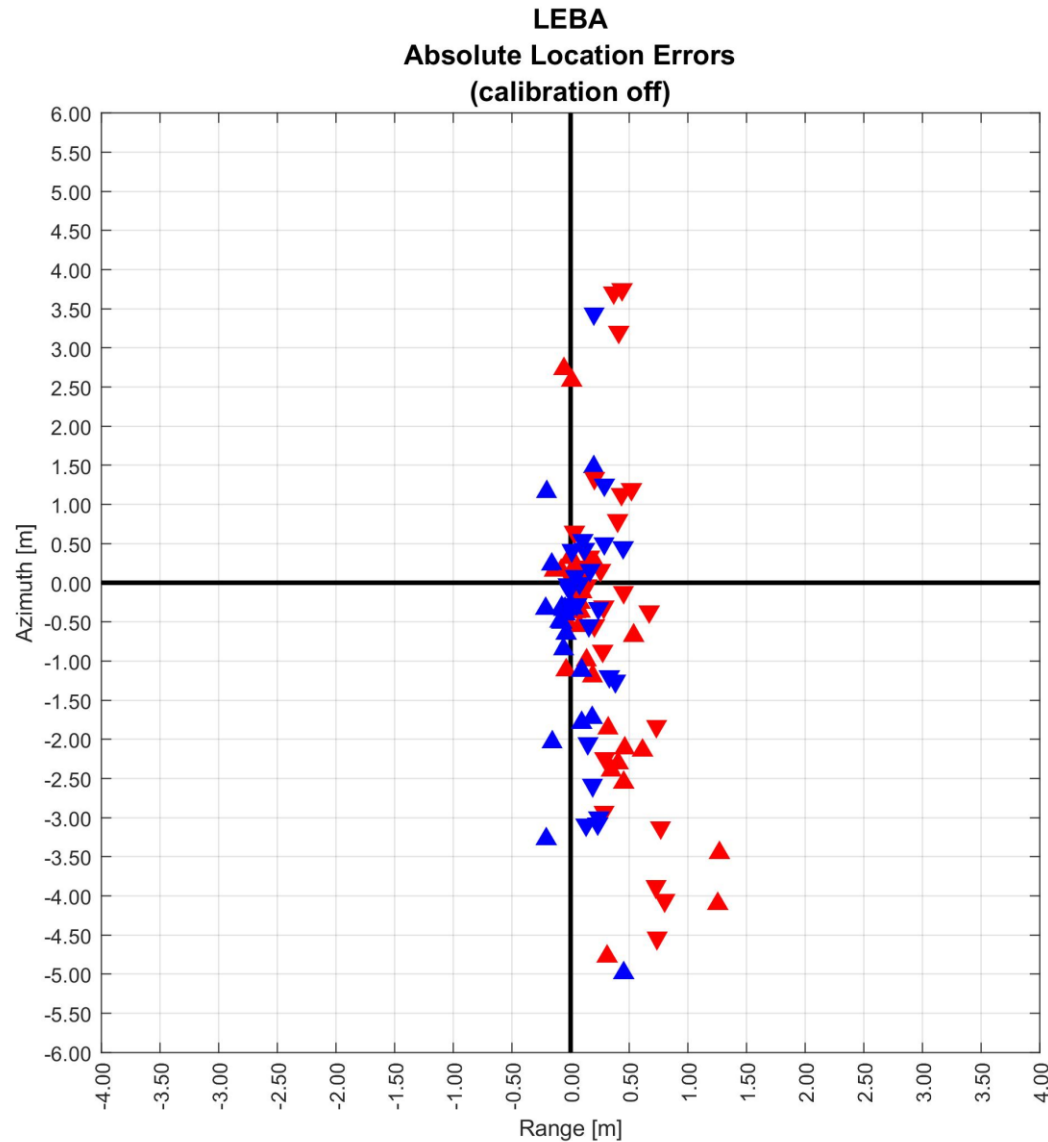
07.07.2021 – Sentinel-1A – Descending



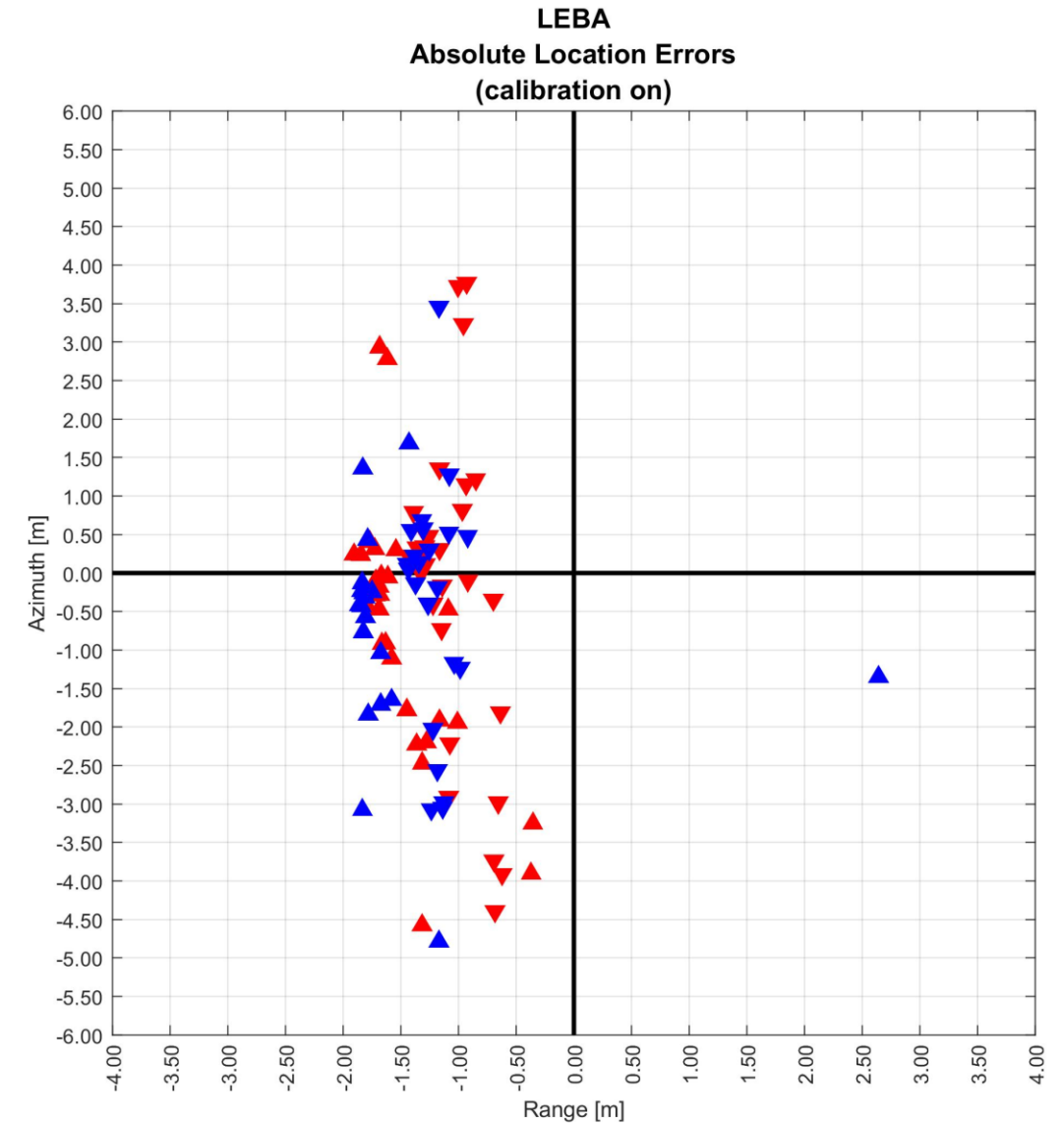
Signal-to-clutter ratio (SCR)



Absolute Location Error - Łeba

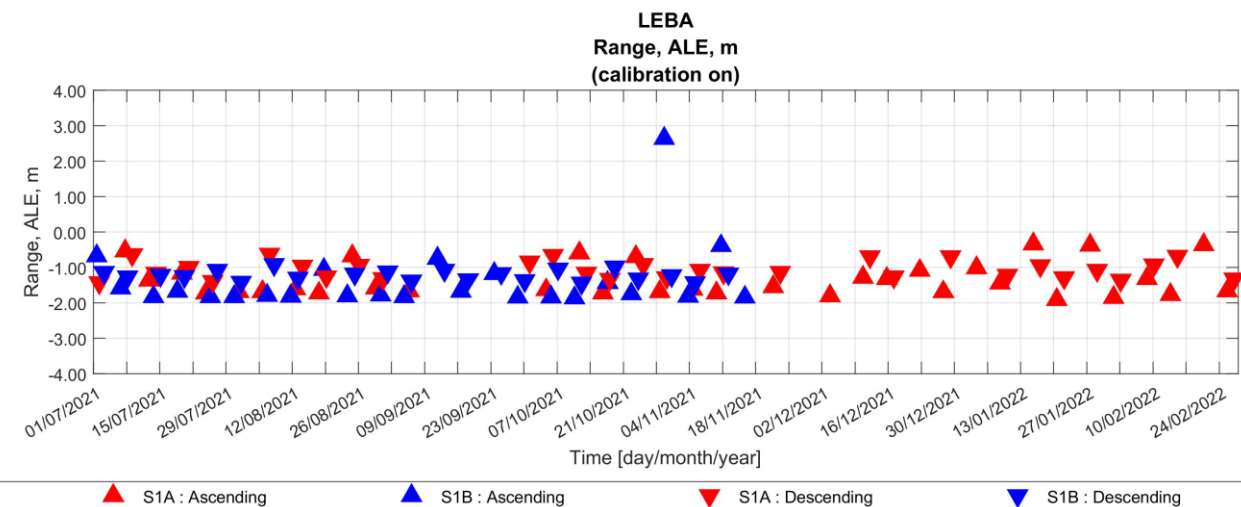
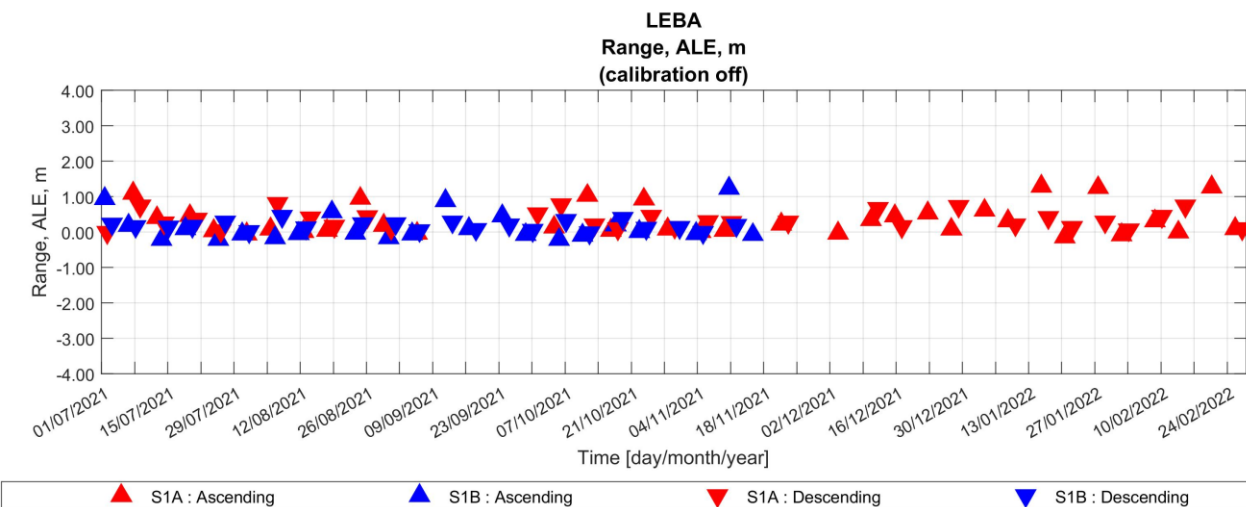
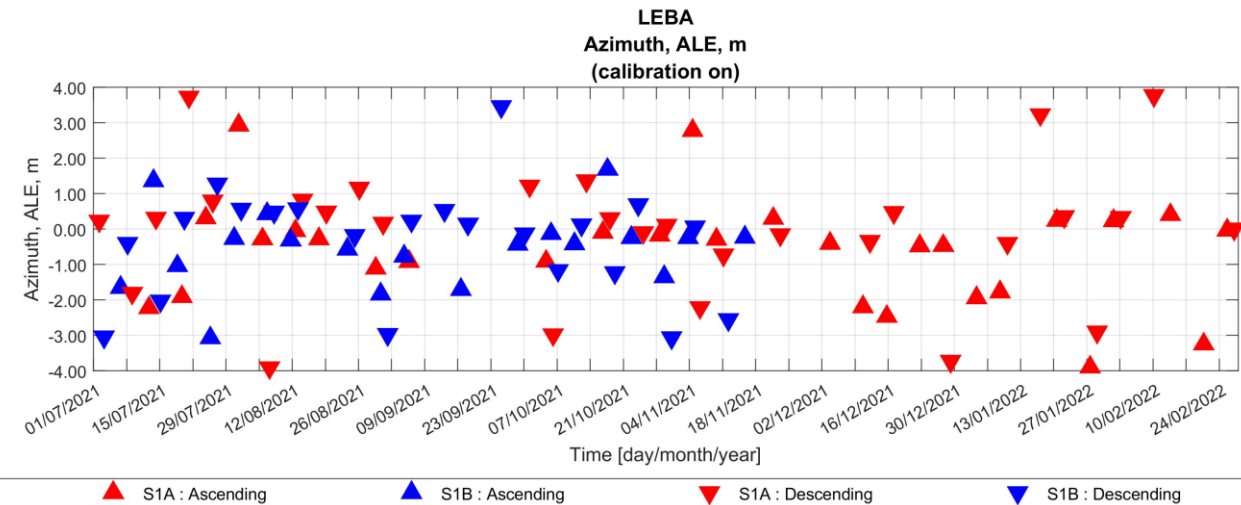
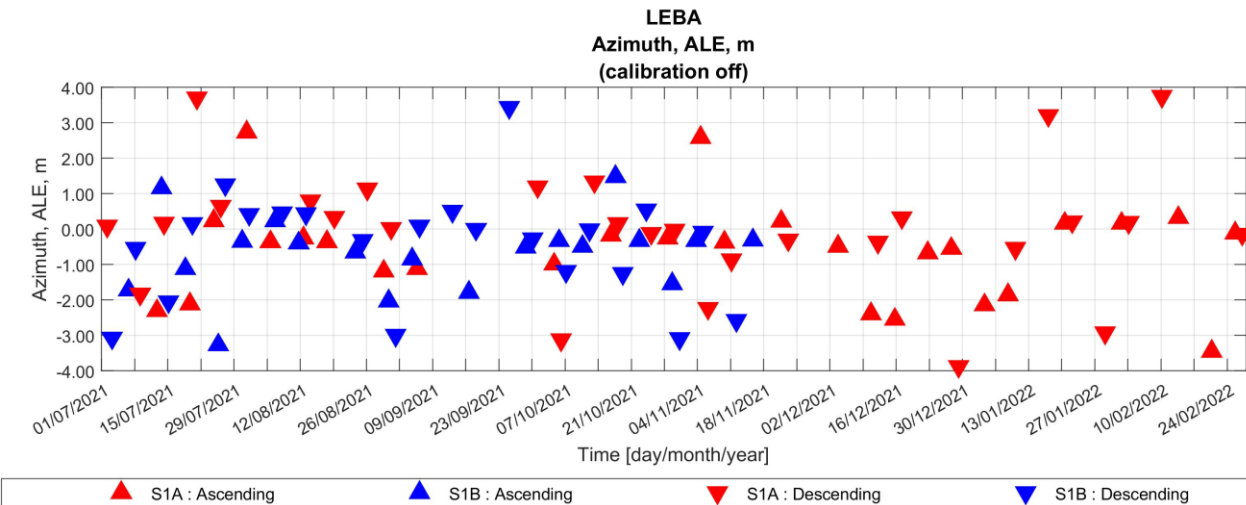


▲ S1A : Ascending ▲ S1B : Ascending ▼ S1A : Descending ▼ S1B : Descending

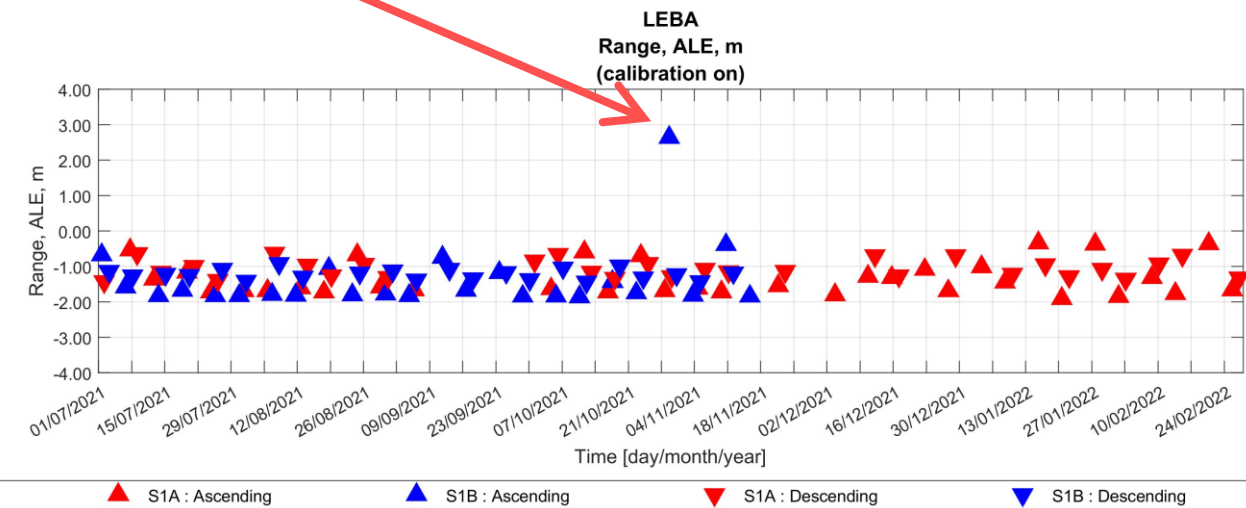
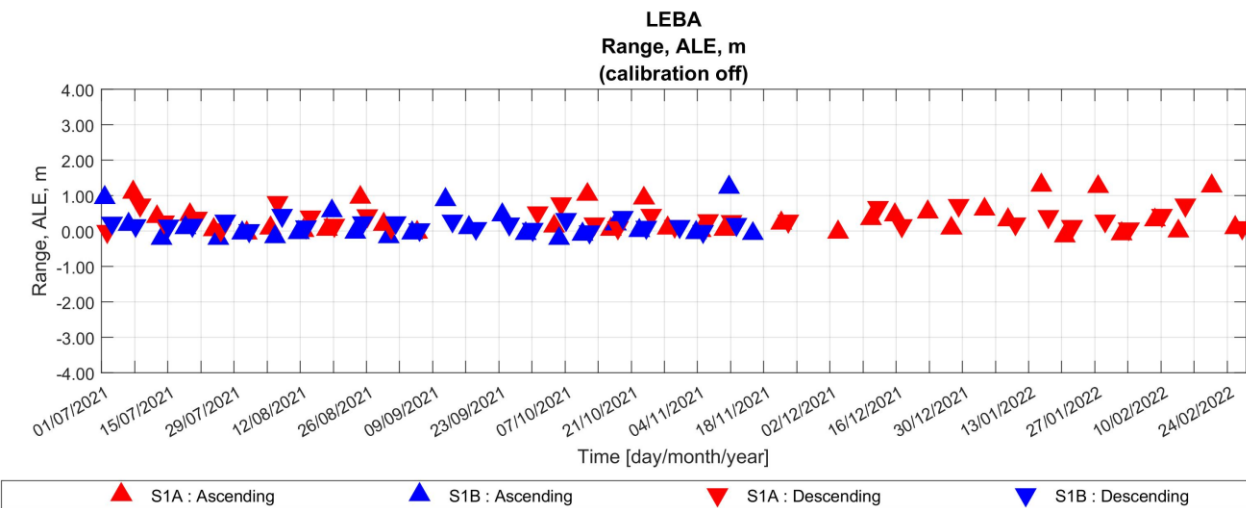
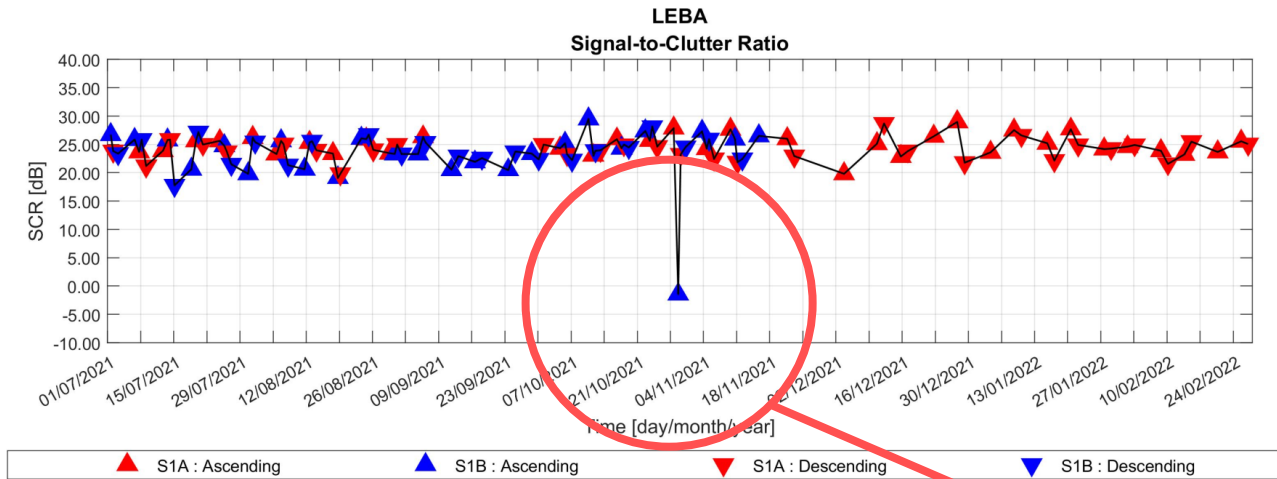


▲ S1A : Ascending ▲ S1B : Ascending ▼ S1A : Descending ▼ S1B : Descending

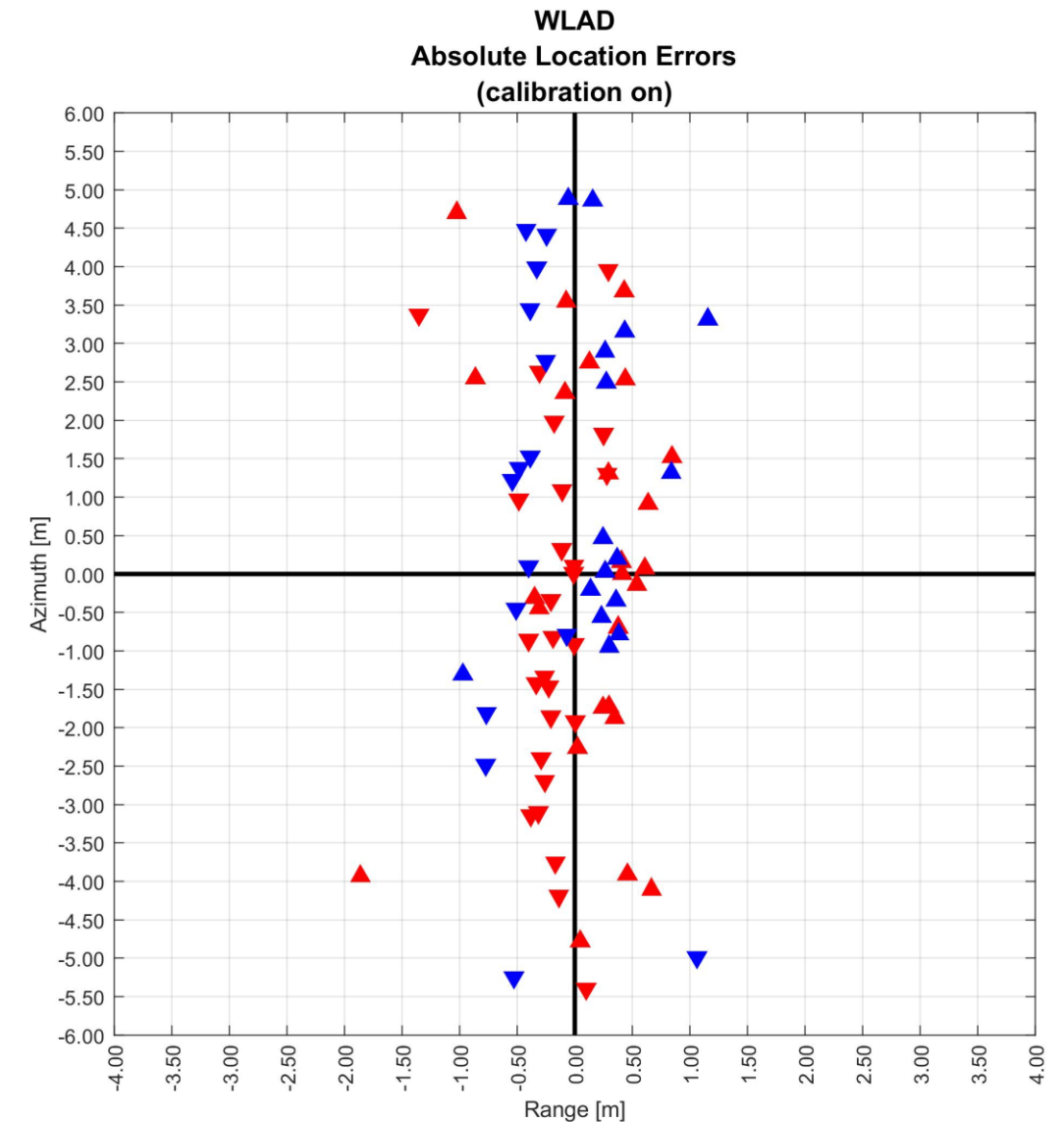
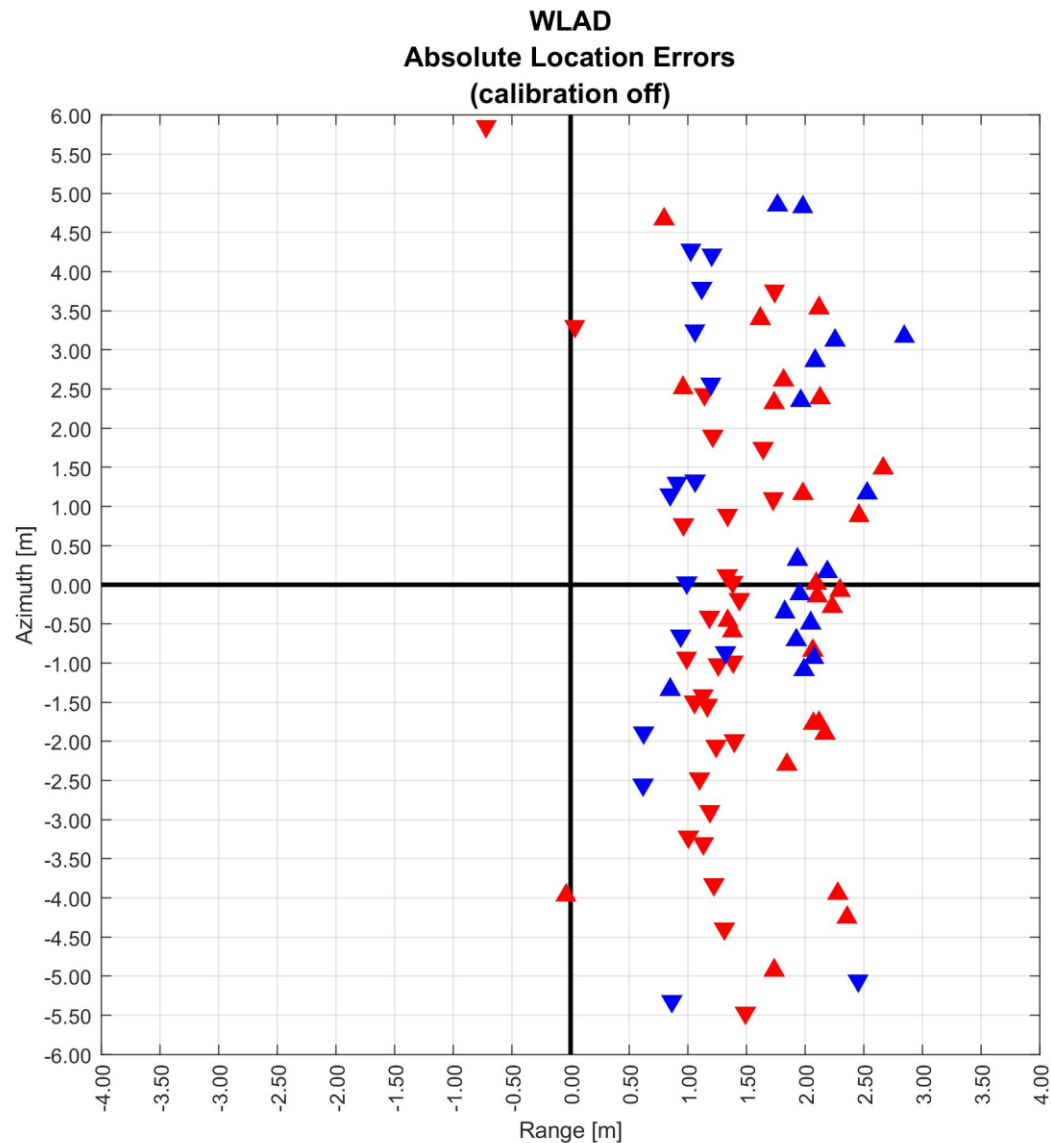
Absolute Location Error - Łeba



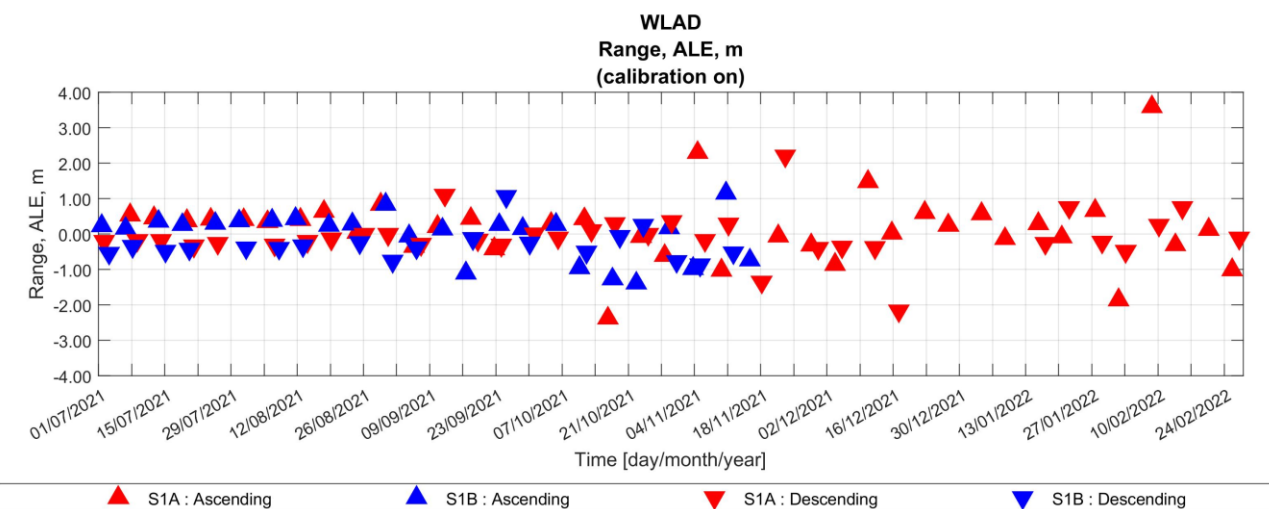
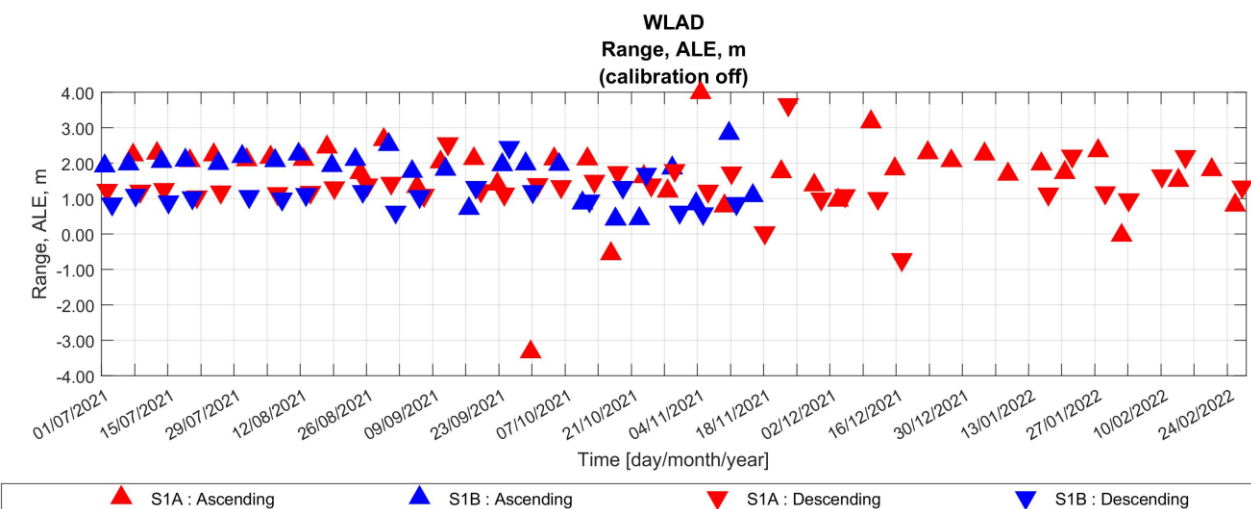
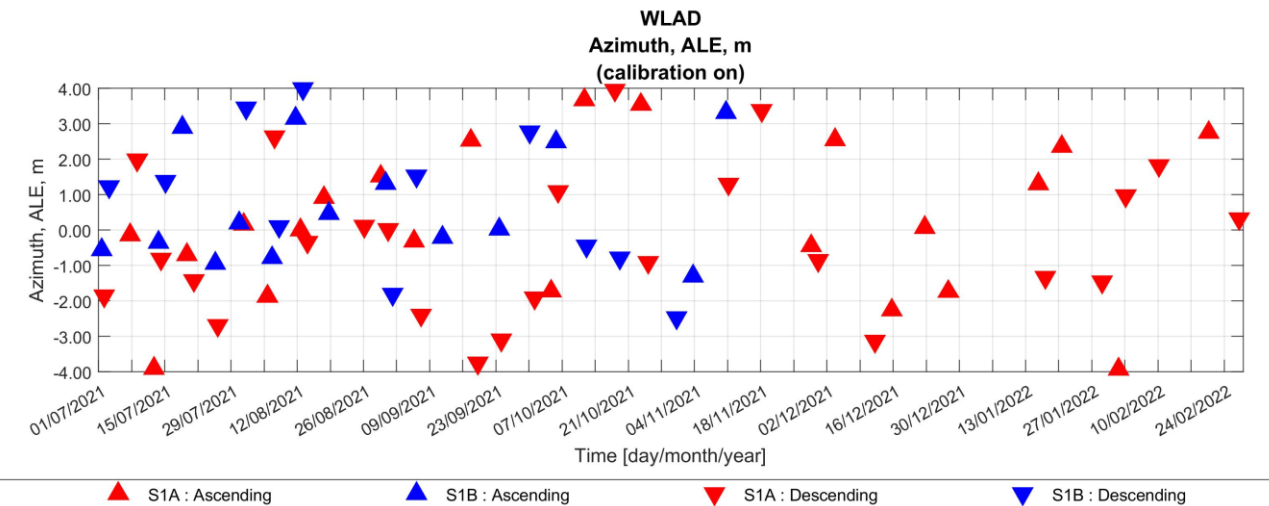
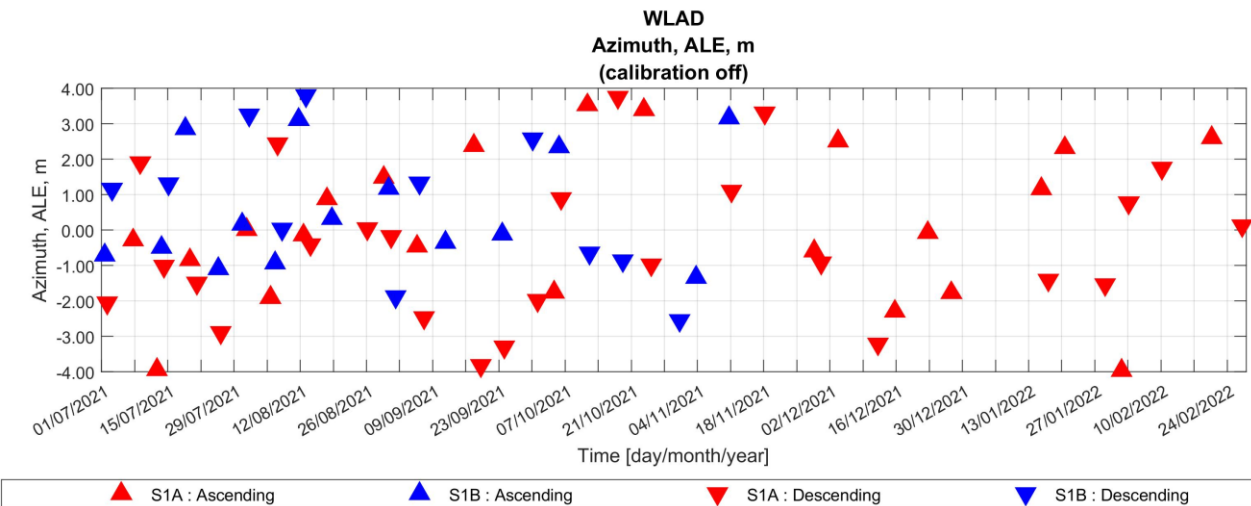
Absolute Location Error - Łeba



Absolute Location Error - Władysławowo



Absolute Location Error - Władysławowo



Podsumowanie

Z praktycznego punktu widzenia:

- Metoda wymagająca pod względem zaplecza obliczeniowego, możliwa wyłącznie w trybie post-processingu, **obecnie** z małą liczbą dostępnych zdjęć radarowych i **obecnie** oparta na niedopracowanych, prototypowych instrumentach ECR -> **aktualnie** mała szansa na wykorzystanie na szeroką skalę,

natomiast z naukowego punktu widzenia:

- Ciekawy problem naukowy pod kątem poprawienia metod opracowania danych dla transponderów elektronicznych jak również samych przyrządów, które mają szanse zastosowania w trudnodostępnych obszarach tj. tam gdzie nie ma możliwości umieszczenia odbiorników GNSS, np. ze względu na brak zasilania, a zwłaszcza taniej i szybkiej transmisji dużej ilości danych.

Geodezyjny SAR – analiza wykorzystania aktywnych transponderów we Władysławowie i Łebie

Tomasz Kur, Ryszard Zdunek , Jolanta Nastula
Kontakt: tkur@cbk.waw.pl

Dziękuję za uwagę