



Projekt EMPIR 18SIB01 GeoMetre

Wielkoskalowa Metrologia dla Geodezji

Mariusz Wiśniewski

Zakład Czasu i Długości Głównego Urzędu Miar

Ryszard Szpunar, Kinga Węzka, Dominik Próchniewicz, Janusz Walo

Wydział Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej



**Politechnika
Warszawska**

**Wydział Geodezji
i Kartografii**



The EMPIR initiative is co-funded by the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and the EMPIR Participating States

EUROPEAN METROLOGY PROGRAMME FOR INNOVATION AND RESEARCH (EMPIR) 2014 - 2020

Challenge /problem: increasing demands on metrology infrastructure alongside static or reducing national budgets. This requires strategically planned metrology R&D (reducing fragmentation and duplication to achieve critical mass) to ensure delivery of future metrology capabilities / services to meet European needs

EMPIR

High-level objectives

European growth and jobs
Respond to societal challenges
Create an integrated European Research Area

Specific objectives

- **Boost industrial uptake of metrology research** supporting development of **new & improved products and services**
- **Improve standardisation / regulation**
- Underpin a coherent, sustainable and **integrated European metrology landscape**

Operational objectives

- Develop common research agenda
- Support European collaboration
- Fund projects that support innovation, regulation, societal challenges
- Capacity building across Europe
- Efficient & effective programme management



EMRP JRP SIB60

„Metrology for long distance surveying“

2013 - 2016



EMPIR 18SIB01

„Large-scale dimensional measurements for geodesy”

2019 - 2022



15 partnerów , 7 z geodezji , 8 z metrologii

Cele



Projekt 18IND01 GeoMetre zajmuje się dwoma ogólnymi aspektami łańcucha spójności.

- Źródła błędów systematycznych metod geodezyjnych, takich jak VLBI, SLR i GNSS, powinny zostać zbadane, zrozumiane i skompensowane do poziomu niepewności 1 mm na dystansie kilku kilometrów. W tym celu **opracowane zostało oprzyrządowanie i metody**, zarówno optyczne, jak i oparte na GNSS, **które mogą służyć do tworzenia punktów odniesienia z zapewniające spójność w układzie SI o niskiej niepewności**.
- Połączenie obserwacji różnych technik geodezyjnych. Typowym podejściem do tego jest wprowadzenie lokalnych wektorów dowiązania. **Lokalny wektor dowiązania** określa względną odległość i orientację między dwoma punktami odniesienia dla technik kosmicznych. Wektor można obserwować **na stacjach kolokacyjnych** za pomocą klasycznych naziemnych przyrządów geodezyjnych lub pomiarów GNSS. Lokalne dowiązania **spójne pomiarowo z układem SI** są jednym z **kluczowych elementów podczas łączenia układów**, ponieważ przestarzałe lub błędne dowiązania mają wpływ na globalne wyniki.

Pakiety robocze GeoMetre

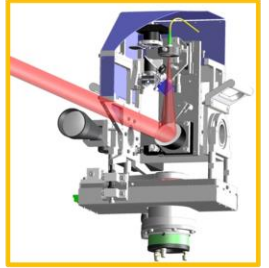
WP1 Innovative instrumentation for dimensional metrology in geodesy

- MU of optical methods ≥ 5 mm at 5 km
- GNSS limited to several millimetres
- 3D: refractivity limits length MU to > 1 mm and induces beam bending

89 PM

progress
⇒

- ✓ Refractivity-compensating telemeters: 5 km range and MU < 1 mm
- ✓ Multilateration 3D systems: 200 m range and MU < 200 μ m
- ✓ 1D and 3D effective thermometry (3 different principles)
- ✓ Enhanced sensor data interpolation



WP2 SI-traceable validation of SLR and GNSS

- Reference pillar networks with relative MU $< 10^{-6}$ limited to 1 km

65 PM

progress
⇒

- ✓ New 5 km baseline
- ✓ CERN case study
- ✓ WP1 field verification
- ✓ GNSS verification
- ✓ SLR verification at GGOS-CS Grasse



WP3 Local tie metrology at space-geodetic GGOS-CSs

- Deformation upon telescope rotation
- Temperature field insufficiently known
- Global geoid model

78 PM

progress
⇒

- ✓ Real-time tracking with spatially-resolved temperature
- ✓ Improved scale
- ✓ Local geoid model
- ✓ Optimized analysis



WP4 Creating Impact

Stakeholder committee (IAG, IGS, UN-GGIM, CERN, COOMET, Leica, Heidenhain, Muquans, ...) – Papers – Conferences - 2 project workshops (1 splinter meeting to geodetic conference) – Website

15 PM

Pomiar i kompensacja warunków środowiskowych

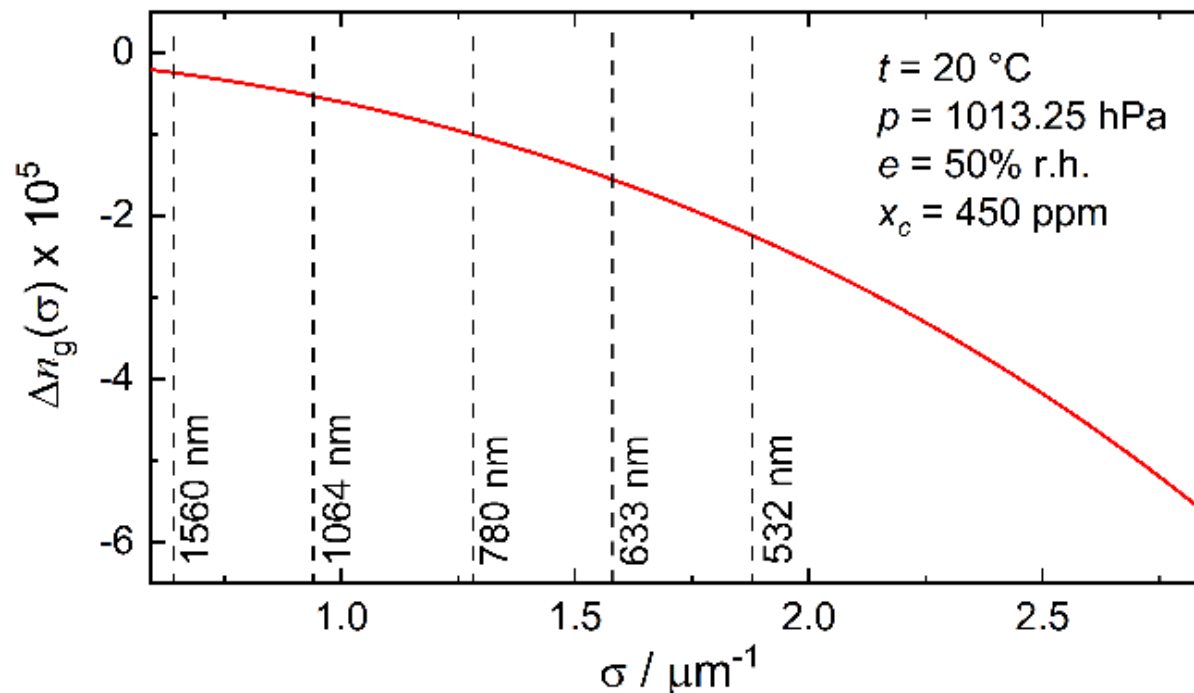
Równanie opisujące grupowy współczynnik załamania

Kompensacja refrakcji jest standardową praktyką we wszelkich pomiarach geodezyjnych. Wymaga pomiaru **temperatury t** , **ciśnienia otoczenia p** , **wilgotności względnej e** i **zawartości dwutlenku węgla x_c** oraz zastosowanie formuły kompensacji współczynnika załamania.

Dla większości oprzyrządowania geodezyjnego odpowiednią wielkością jest grupowy współczynnik załamania n_g . Od 1999 roku **International Association of Geodesy (IAG)** oficjalnie rekomenduje algorytm opublikowany przez Ciddor and Hill, w którym równanie B2 ma postać

$$10^8 \frac{dn_{ph,si}}{d\sigma} = -2\sigma \sum_p a_p (b_p - \sigma^2)^{-2}$$

Odkryliśmy subtelny, ale bardzo niekorzystny **błąd znaku** w ich opublikowanym algorytmie.



Różnica Δn_g między grupowym współczynnikiem załamania światła obliczonym numerycznie wyprowadzonym z równania określającego współczynnik fazowy a wcześniejszym błędnym rozwiązaniem.

Pomiar i kompensacja warunków środowiskowych

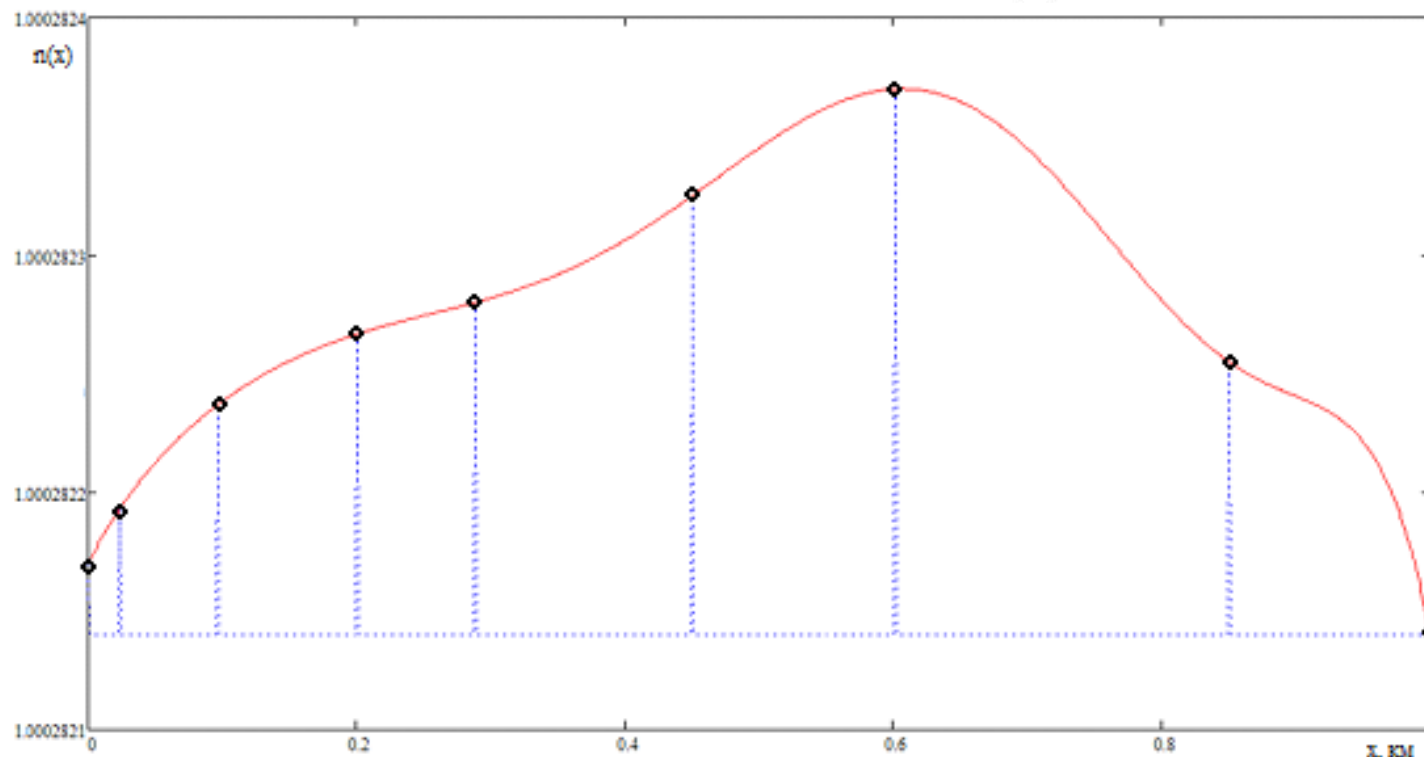
Pomiary klasycznymi czujnikami warunków środowiskowych

Problemem przy praktycznym zastosowaniu kompensacji jest określenie efektywnego ciśnienia i temperatury otoczenia na całej drodze wiązki.

Różnice **ciśnienia** związane z wysokością można uwzględnić za pomocą wzoru na wysokość barometryczną.

Lokalna **temperatura powietrza** może silnie zmieniać się wzdłuż ścieżki optycznej w zależności od zacienienia, pokrycia chmur i materiału gruntu. Kluczem do małej niepewności pomiaru długości w terenie jest więc pomiar temperatury. Zadanie wydaje się proste do realizacji przy użyciu skalibrowanych czujników temperatury rozmieszczonych wzdłuż toru wiązki. Zbadaliśmy działanie kilku metod, aby przybliżyć dokładną całkę

$$\bar{n} = 1/L \int_0^L n(s) ds$$



Dla bazy geodezyjnej znajdującej się na terenie Narodowego Centrum Naukowego „Instytut Metrologii” w Charkowie wyposażonej w sieć czujników warunków środowiskowych udało się osiągnąć teoretyczną **względną niepewność współczynnika na poziomie 10^{-7}** , co mogło by zapewnić niepewności 1 mm dla dystansie 5 km.

Pomiar i kompensacja warunków środowiskowych

Pomiary akustyczne

Badamy alternatywne metody kompensowania wpływu współczynnika załamania światła poprzez pomiary równoległe do pomiaru odległości in situ na całej odległości.



Do pomiarów na odległości do około 200 m opracowano **dwukierunkowy akustyczny czujnik temperatury**.



Jednoczesny pomiar prędkości dźwięku przez różnicową zmianę odległości (na pierwszym planie) oraz metodą rezonansu wnekowego w komorze bezechowej (sfera w tle) w celu weryfikacji i zmniejszenia niepewności równań Cramera

Pomiar i kompensacja warunków środowiskowych

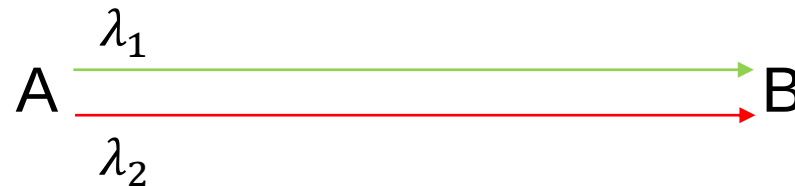
Kompensacja dyspersyjna (dwukolorowa)

W opracowanych rozwiązaniach zastosowana została również **kompensacja dyspersyjna (nazywana też „dwukolorową”)**. W modelach współczynnika załamania światła oddzielone są od siebie zależności od parametrów środowiskowych i częstotliwości optycznej. Dlatego też, jeśli odległość jest mierzona przez co najmniej dwie długości fali optycznej, **długość geometryczną można wyprowadzić z tych obserwacji bez konieczności obserwacji warunków środowiskowych**.

Edlén equation (Bönsch and Potulski)

$$n(\lambda, \mathbf{T}, p, p_w) - 1 = K(\lambda) \cdot D(\mathbf{T}, p) - p_w \cdot g(\lambda)$$

Najwyższe znaczenie dla tej koncepcji pomiarowej ma bardzo dokładny pomiar długości drogi optycznej



Measurand:
optical path length:

$$L \cdot n_1(\lambda_1) = d_1$$

$$L \cdot n_2(\lambda_2) = d_2$$

Geometric length:

$$L = \frac{K_1 d_2 - K_2 d_1}{K_1 - K_2 + p_w (g_1 K_2 - g_2 K_1)}$$

Temperature:

$$\mathbf{T} = \frac{d_2 - d_1 + (K_1 - K_2)Lp\alpha(1 + \beta p) - p_w L(g_1 - g_2)}{-\delta(d_2 - d_1) + \alpha p^2 \gamma L(K_1 - K_2) + p_w \delta L(g_1 - g_2)}$$

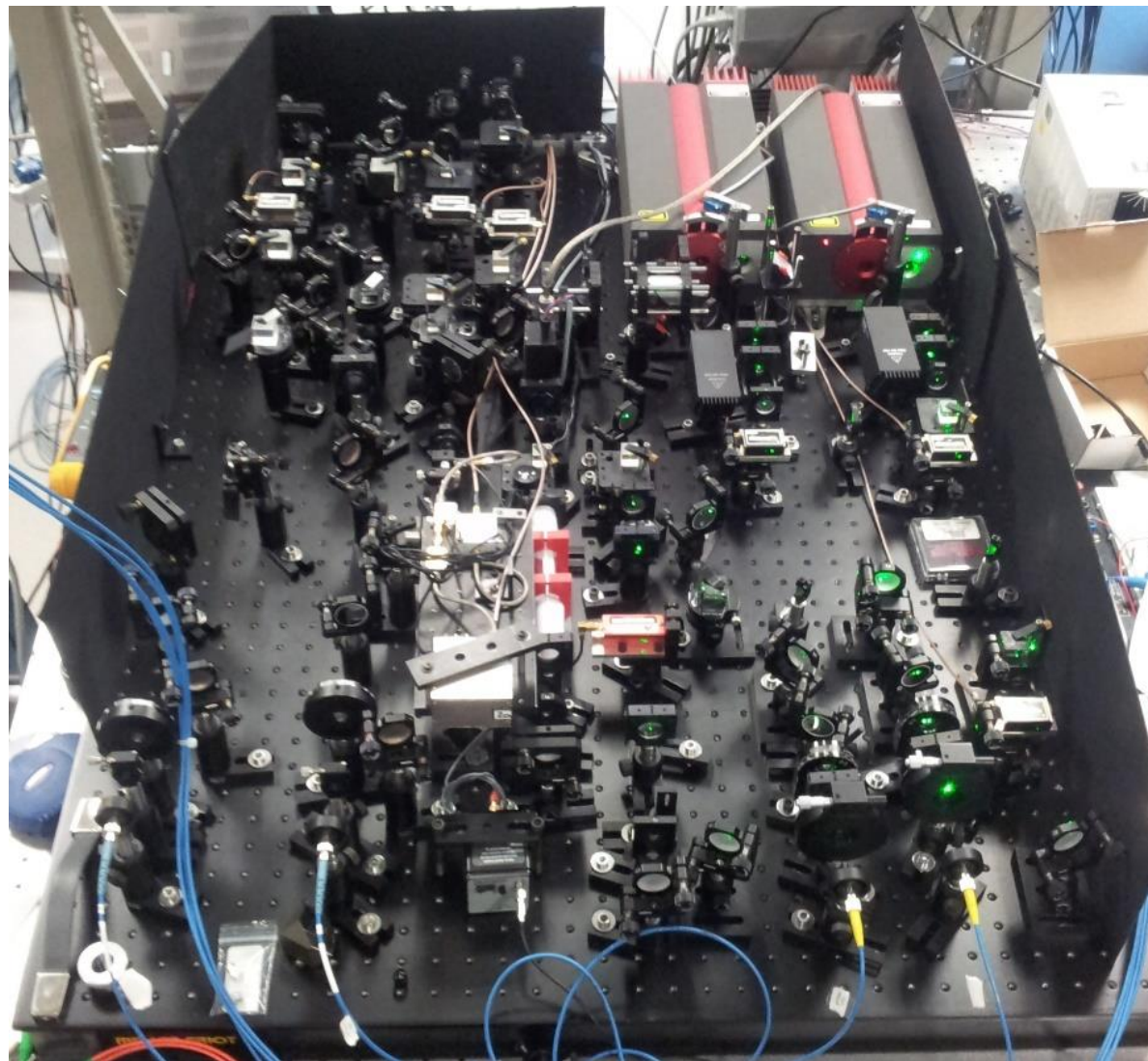
Przyrządy do pomiarów odległości

Interferometria na wielu długościach fali

Jednym ze sposobów realizacji optycznego pomiaru o wysokiej rozdzielczości jest zastosowanie **interferometrii absolutnej**. Dla takiego pomiaru analizowane jest optyczne przesunięcie fazowe wiązek wielobarwnych po propagacji całego toru optycznego.

Takie podejście pomiarowe może być bardzo dokładne. Jednak w zastosowaniu do pomiarów geodezyjnych ta koncepcja **pomiaru jest bardzo trudna**. Jest ona bardzo wrażliwa na stabilność strukturalną instrumentu, jakość powierzchni i efekty turbulencji.

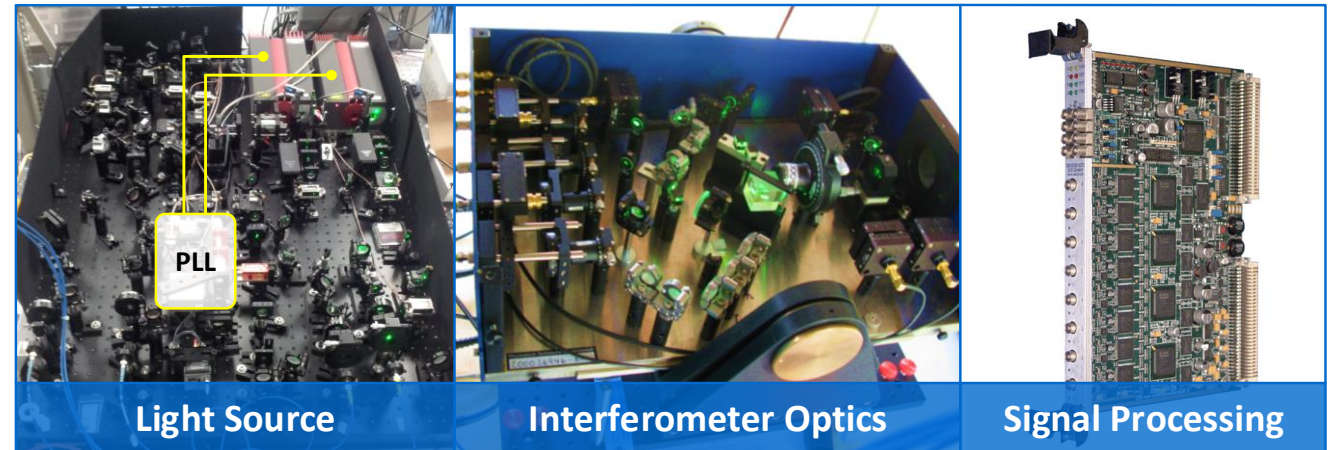
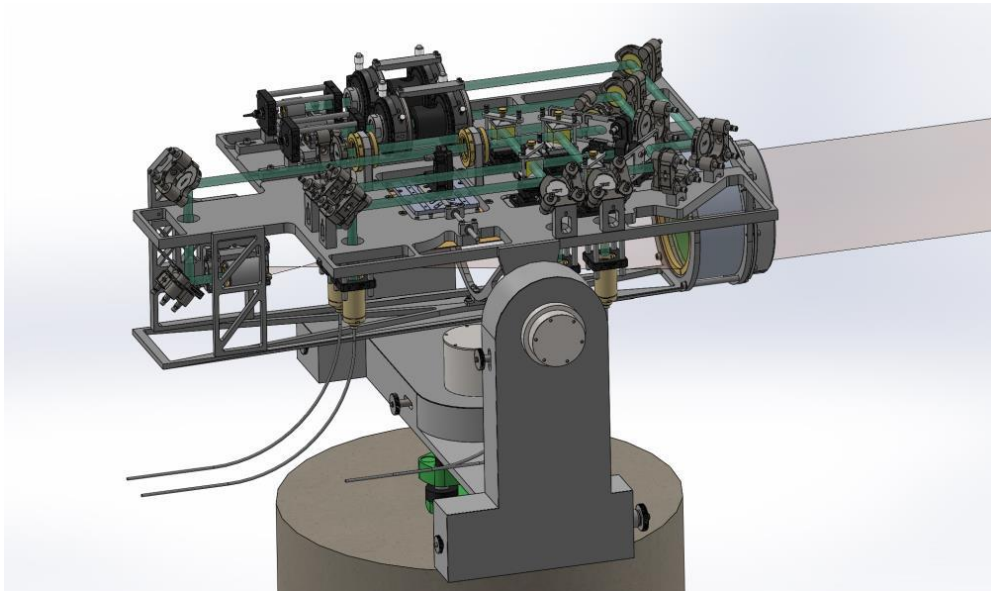
Submilimetrowa niepewność na przestrzeni kilkuset metrów została osiągnięta w poprzednim projekcie dla dyspersyjnej kompensacji refrakcji przy użyciu systemu interferometrów heterodynowych „**TeleYAG**”.



Przyrządy do pomiarów odległości

Interferometria na wielu długościach fali

W systemie „**TeleYAG-II**” superpozycja wielu wiązek, jest zrealizowana przy użyciu światłowodów PCF zwanych też włóknem mikrostrukturalnym jako szerokopasmowych multiplekserów z podziałem długości fali. Układ optyczny został zoptymalizowany i dostosowany do **zasięgu do kilku kilometrów**. Podstawa mechaniczna została przeprojektowana pod kątem stabilności strukturalnej i termicznej i została wykonana z tolerancją kilku mikrometrów.



Wykorzystane zostały dwa lasery Nd:YAG o stabilizowanej różnicy częstotliwości. Pomiar dwukolorowy realizowany jest przez podstawowe wiązki **1064 nm** i podwojoną częstotliwość **532 nm**. Są one nakładane przed głowicą interferometru w dwóch polaryzacjach, jeden dostarczający lokalny oscylator, a drugi wiązkę sygnałową. Do pomiaru interferencyjnych faz optycznych używamy klasycznego interferometru heterodynowego i zapewnia spójność z definicją metra w układzie SI.

Przyrządy do pomiarów odległości

Interferometria na wielu długościach fali



Układ pozwala na **konstruowanie skal od kilkudziesięciu metrów do zakresu milimetrowego**. Niejednoznaczność rozwiązania do pomiaru odległości optycznej można rozwiązać przy niewielkiej wcześniejszej wiedzy, kosztem dodatkowego czasu pomiaru wynoszącego około 20 minut.

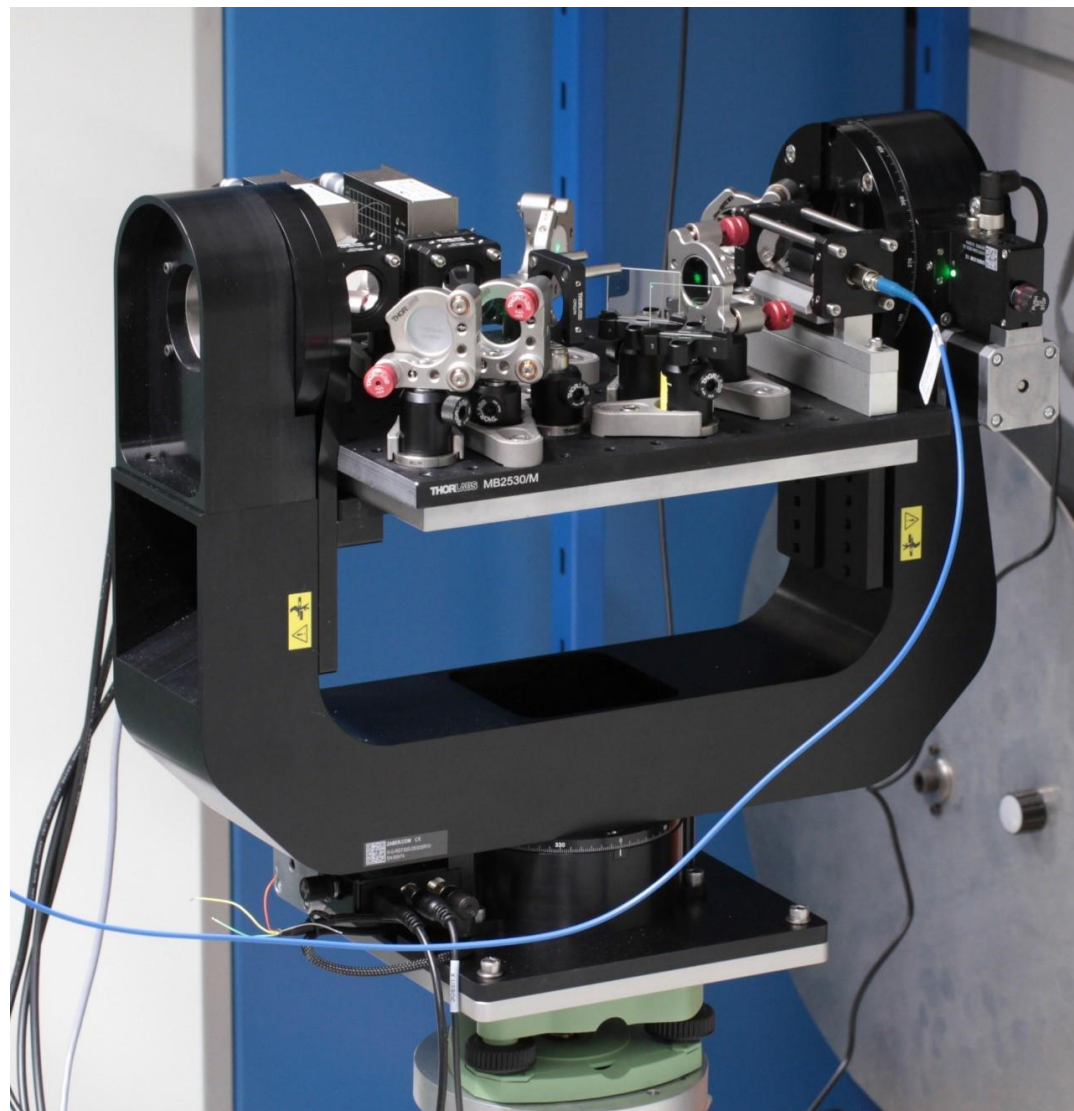


Interferometr wieloczęstotliwościowy „**TeleYAG-II**” zamontowany na słupie w sieci Metsähovi. Na przyczepie w tle znajduje się źródło optyczne i elektronika. Przyczepa i głowica optyczna są połączone światłowodami.

Przyrządy do pomiarów odległości

Interferometria na wielu długościach fali

W systemie „**Absolute3D**” opracowywany jest interferometr o wielu długościach fali, który wykorzystuje **sinusoidalnie modulowane światło laserowe** i **schemat demodulacji $2f/3f$** umożliwiający **interferometrię wielofalową** i **detekcję fazy**. Technologia ta wymaga zaawansowanej elektronicznej modulacji sygnału, ale umożliwia bardzo zwartą konstrukcję optyki. Oprócz samoistnej kompensacji dla pomiarów 3D, taki system może być również używany do pomiarów gradientu 3D w celu kompensacji zagięcia wiązki.



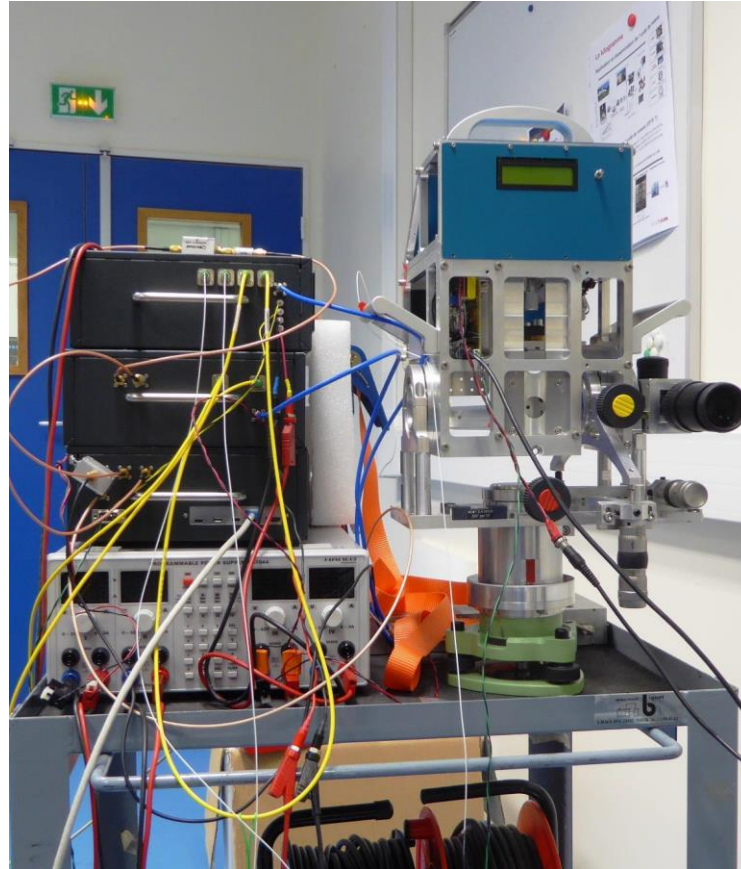
Przyrządy do pomiarów odległości

Modulacja częstotliwości

Udaną alternatywą optycznego pomiaru odległości jest **modulacja natężenia wiązki laserowej za pomocą nośnika RF**. Można wtedy zmierzyć **fazę po propagacji w powietrzu**, a tym samym wyliczyć odległość z zależności.

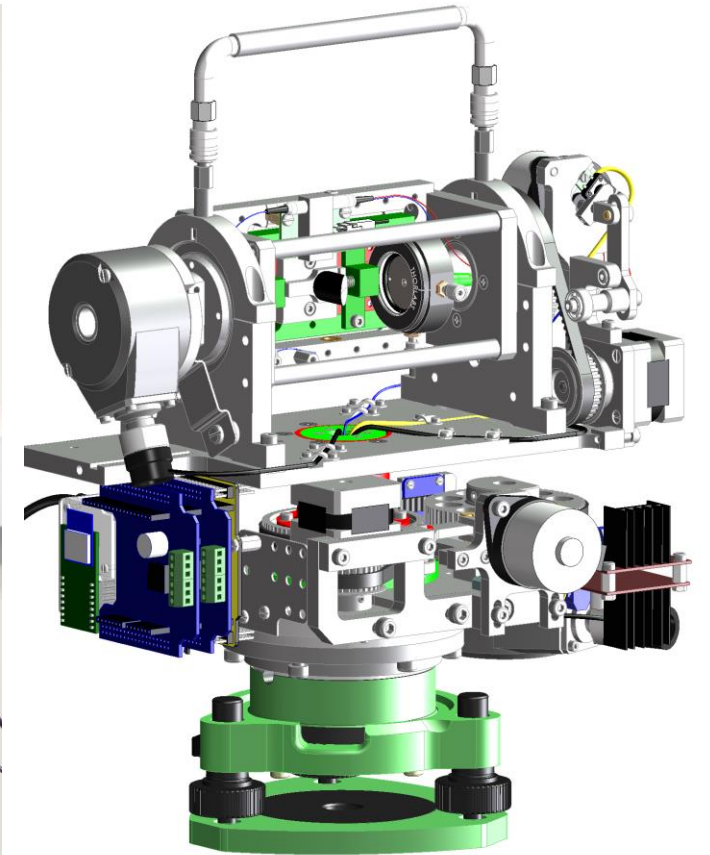
$$D = \frac{1}{2} \left(\frac{\phi}{2\pi} + k \right) \times \frac{c}{n_g \times f_{RF}}$$

gdzie D odległość mechaniczna, ϕ mierzona faza, k ile razy faza obróciła się o 2π , c prędkość światła, n_g grupowy współczynnik załamania światła, a f_{RF} częstotliwość modulacji.



Instrument „**Arpent**” przeznaczony jest do pomiarów na duże odległości do 5 km a „**Distrimetre**” do pomiarów pozycji trójwymiarowych metodą multilateracji do 200 m.

le cnam



Przyrządy do pomiarów odległości

Modulacja częstotliwości

le cnam

System dwukolorowy 780 nm + 1560 nm

5060 MHz częstotliwość modulacji

$$L(\lambda, n_{air}) = \frac{1}{2} \times \frac{(\phi_{(rad)} + k \cdot 2\pi)}{2\pi} \times \boxed{\frac{c}{n_{air} \cdot f_{RF}}} \text{ synthetic wavelength}$$

Kompensacja pomiarów odległości współczynnikiem załamania światła:

$$distance = \underline{L(\lambda_1, n=1)} - \underbrace{\frac{n(\lambda_1) - 1}{n(\lambda_2) - n(\lambda_1)}}_{\text{W suchym powietrzu: } A = \frac{K(\lambda_1)}{K(\lambda_2) - K(\lambda_1)} \sim 50} \times (\underline{L(\lambda_2, n=1)} - \underline{L(\lambda_1, n=1)})$$

Niepewność pomiaru $(L(\lambda_2, n=1) - L(\lambda_1, n=1))$ musi być lepsza niż 20 μm by otrzymać niepewność 1 mm

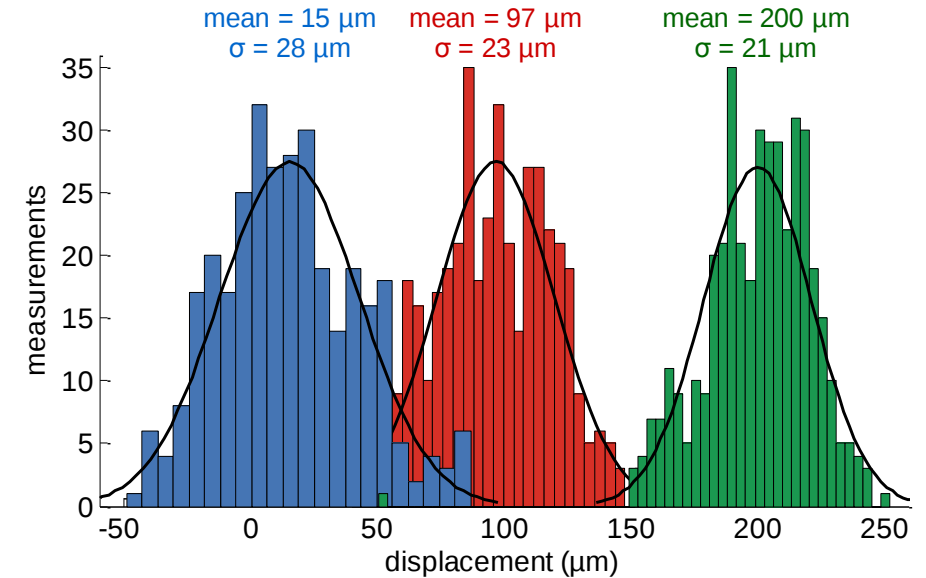
Przyrządy do pomiarów odległości

Modulacja częstotliwości

System „Arpent” **pacuje dwukolorowo** i kompensuje zmiany współczynnika załamania spowodowane temperaturą lub ciśnieniem. W tym celu dwie wiązki optyczne, o długości **780 nm** i **1560 nm**, zostały zmodulowane przez nośnik RF około 5 GHz.

Aby osiągnąć milimetrową dokładność, odległości optyczne przy każdej długości fali w osobna muszą być określane z dokładnością lepszą niż $20\text{ }\mu\text{m}$. Uzyskano dokładność około $2\text{ }\mu\text{m}$ ($k=1$) dla pomiarów przemieszczeń do 100 m i rozdzielczość około $25\text{ }\mu\text{m}$ dla odległości 5,4 km.

le cnam



Rozkład zarejestrowanych odległości, gdy odległy retroreflektor jest przesuwany o krok $100\text{ }\mu\text{m}$, 5,4 km.

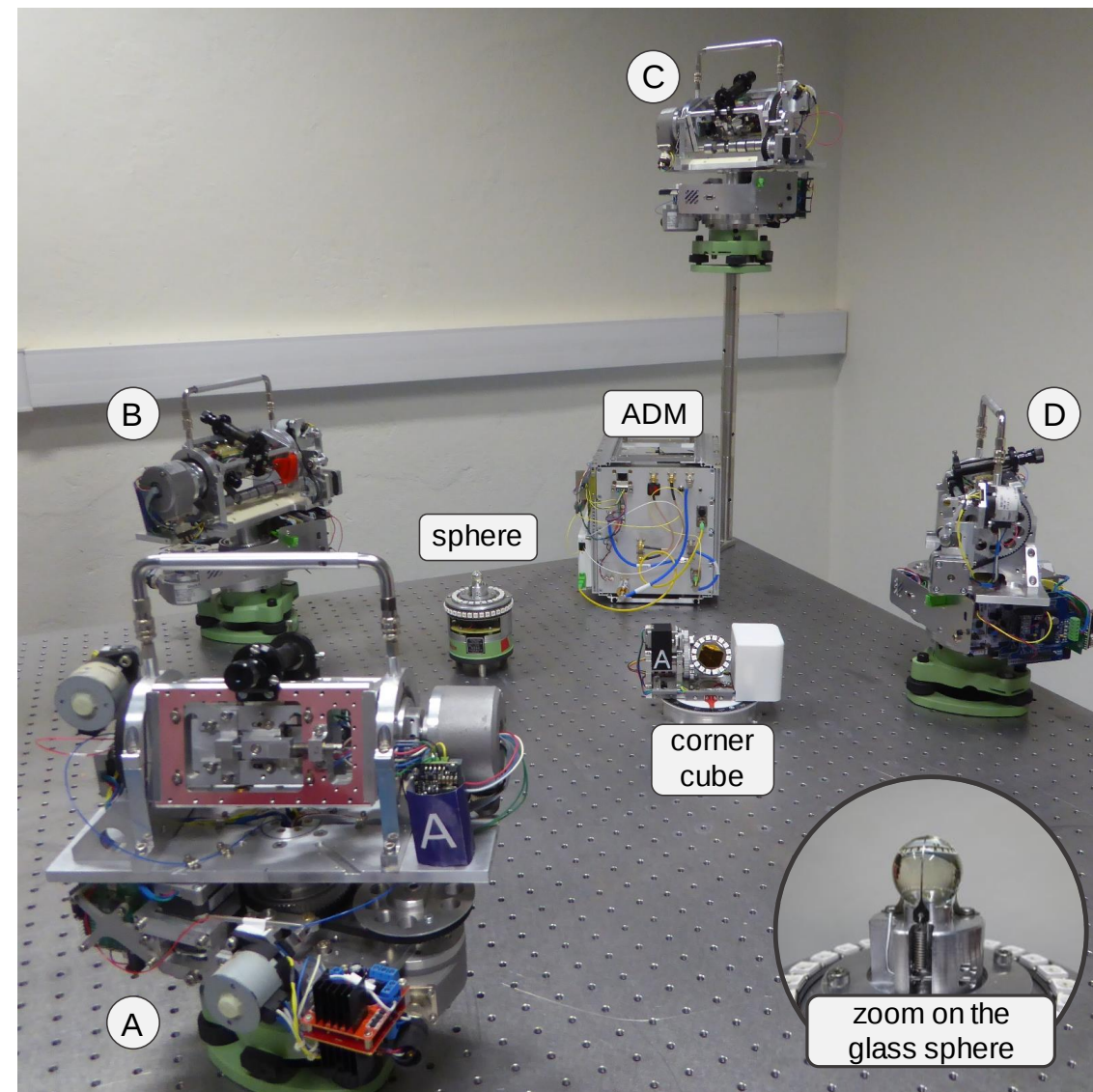
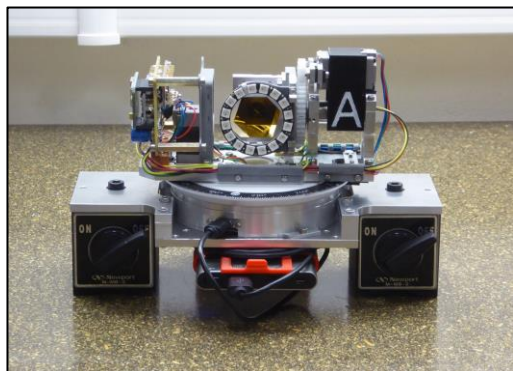


Przyrządy do pomiarów odległości

Modulacja częstotliwości

„Distrimetre” jest instrumentem jednokolorowym, w którym współczynnik załamania światła obliczany jest na podstawie danych zarejestrowanych przez lokalne stacje pogodowe. Składa się ze światłowodowego dalmierza bezwzględnego współdzielonego za pomocą przełącznika optycznego oraz sieci światłowodów pomiędzy czterema głowicami pomiarowymi. W ten sposób można określić położenia w przestrzeni retroreflektorów optycznych.

Distrimetre używa **retroreflektorów** jako celów na odległości **do 200 m**. Jednak dla krótszych odległości **do 20 m** można również zastosować **szklane kule odblaskowe o średnicy 14 mm** i indeksie szkła $n=2$.



System multilateracji składający się ze wspólnego modułu mierzącego odległości bezwzględne (ADM), czterech głowic pomiarowych (od A do D) i celów

Przyrządy do pomiarów odległości

Precyzyjne pomiary punktów geodezyjnych za pomocą technik GNSS

Standardowe przetwarzanie pomiarów GNSS nie pozwala na ocenę indywidualnego wkładu różnych źródeł błędów w ostateczną niepewność wyznaczenia długości linii bazowej, co utrudnia wykazanie spójności z SI w sensie metrologicznym. Lepsza metodologia analizy danych i **bezpośrednie porównanie** między ostatecznymi odległościami uzyskanymi przez **GNSS i skalibrowanymi pomiarami odległości** może rzucić światło na możliwą do osiągnięcia dokładność.

W ramach projektu GeoMetre, metodologia GNSS-Based Distance-Meter jest rozwijana (GBDM+) aby rygorystycznie **oszacować niepewności w różnych źródłach błędów** wpływających na każdy pojedynczy pomiar GNSS oraz przeanalizować ich propagację przez równania, w którym określa się odległość, aby na koniec podać ostateczną **odległość wraz z odpowiadającą jej niepewnością, zgodnie z wymaganiami metrologicznymi.**



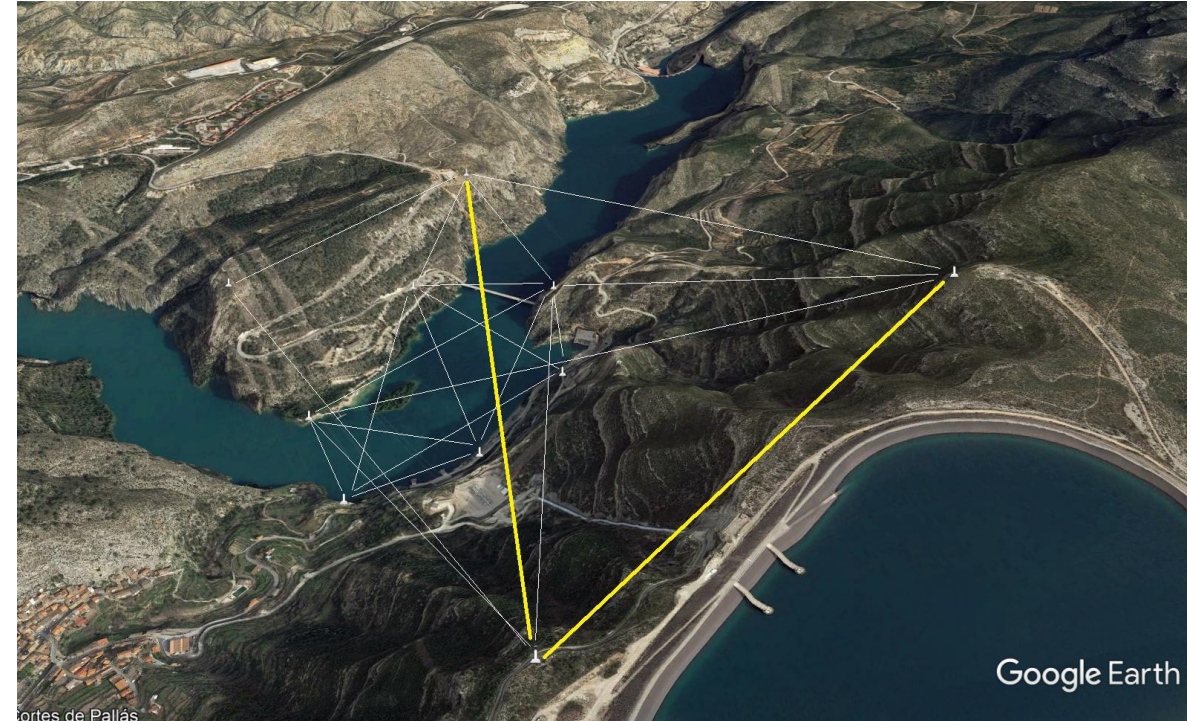
Przyrządy do pomiarów odległości

Precyzyjne pomiary punktów geodezyjnych za pomocą technik GNSS

Spośród wiodących źródeł błędów, które utrzymują się po obserwacjach podwójnie różnicujących, opóźnień troposferycznych i jonosferycznych, efektu wielodrożności i błędnego **modelowania centrów fazowych anteny**, wykazaliśmy, że wielodrożność można nie tylko złagodzić, ale także oszacować niepewność za pomocą filtrowania syderecznego.

Opóźnienia troposferyczne są nadal znaczne po podwójnym różnicowaniu. Powodowały one znaczne odchylenie rzędu kilku milimetrów w końcowej odległości na polu testowym Cortes de Pallás na długości około 2 km i znacznych różnicach wysokości na 400 m.

Efekt ten można również zaobserwować w naszych pierwszych obliczeniach dla bazy EURO 5000 w Pieninach, które pokazują **pierwsze oceny niepewności dla każdego ze źródeł niepewności** i odpowiadającej im niepewności przeniesionej na końcową odległość.



Sieć geodezyjna Cortes de Pallás



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Europejskie bazy geodezyjne

Nummela Standard Baseline

Jako punkt odniesienia dla walidacji nowych przyrządów posłużyły porównania na **Nummela Standard Baseline** w Finlandii. Założona pierwotnie w 1933 roku do kalibracji i porównywania drutów inwarowych, jest jedyną linią odniesienia na świecie, która była stale badana przy użyciu metody Väisälä.

Od 1947 r. bazę mierzono szesnaście razy, uzyskując w większości przypadków **długość całkowitą 864 m z niepewnością standardową od 0,06 mm do 0,09 mm**. Zmienność tej długości była mniejsza niż 0,7 mm w ciągu 70 lat, co wskazuje na dobrą powtarzalność i odtwarzalność pomiaru oraz dobrą stabilność.

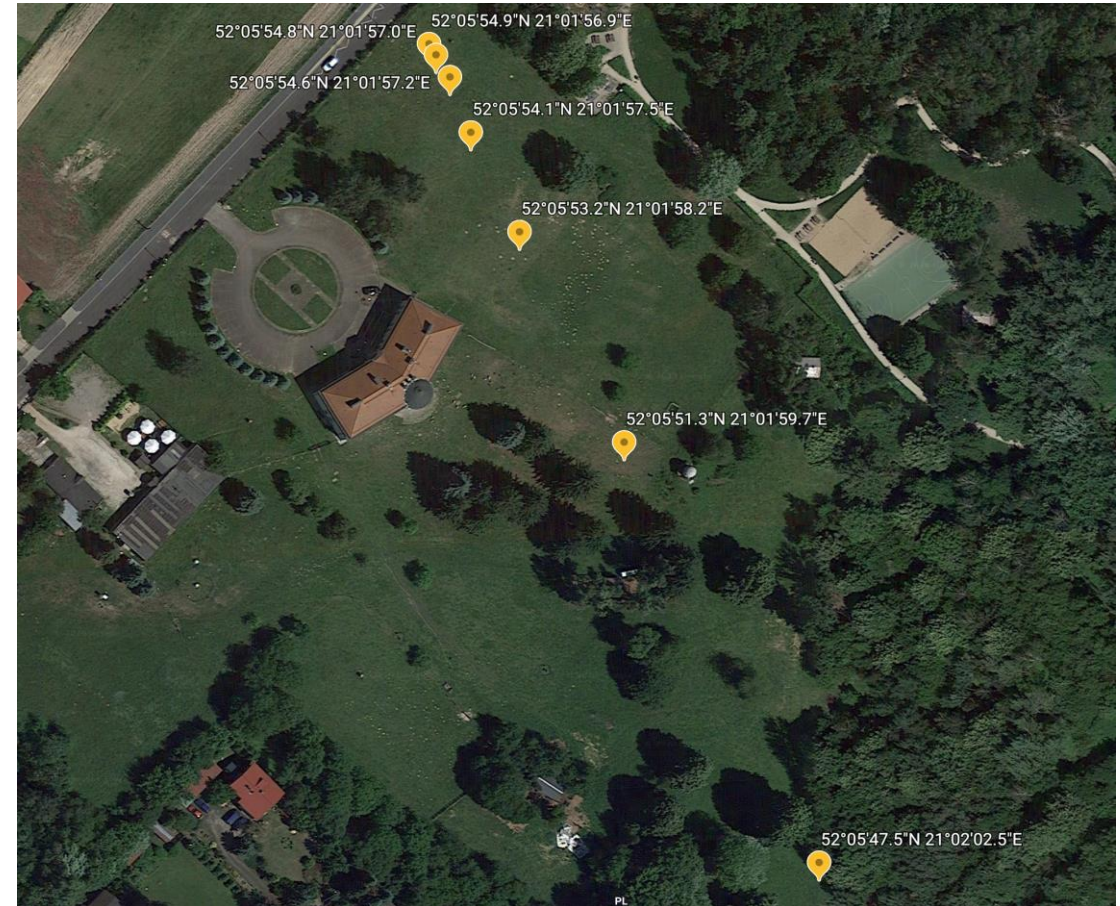


Europejskie bazy geodezyjne

Referencyjna baza geodezyjna WUT200 w Józefosławiu

W ramach projektu w **Obserwatorium Astronomiczno-Geodezyjnym w Józefosławiu Politechniki Warszawskiej** wybudowano nową bazę geodezyjną o długości powyżej 250 m do weryfikacji przyrządów średniego zasięgu. Rozstaw **7 punktów bazy jest zgodny z normą ISO 17123-4**. Pomiary odległości między pilarami wykonane zostały 10 listopada 2021 za pomocą **Laser Trackera API Radian** należącego do **Głównego Urzędu Miar**.

Baza będzie zaopatrzona w system czujników środowiskowych umieszczonych przy pilarach. System zostanie wykorzystany do walidacji przyrządów pomiarowych stworzonych w ramach projektu



WUT200 baseline: 252.0 m

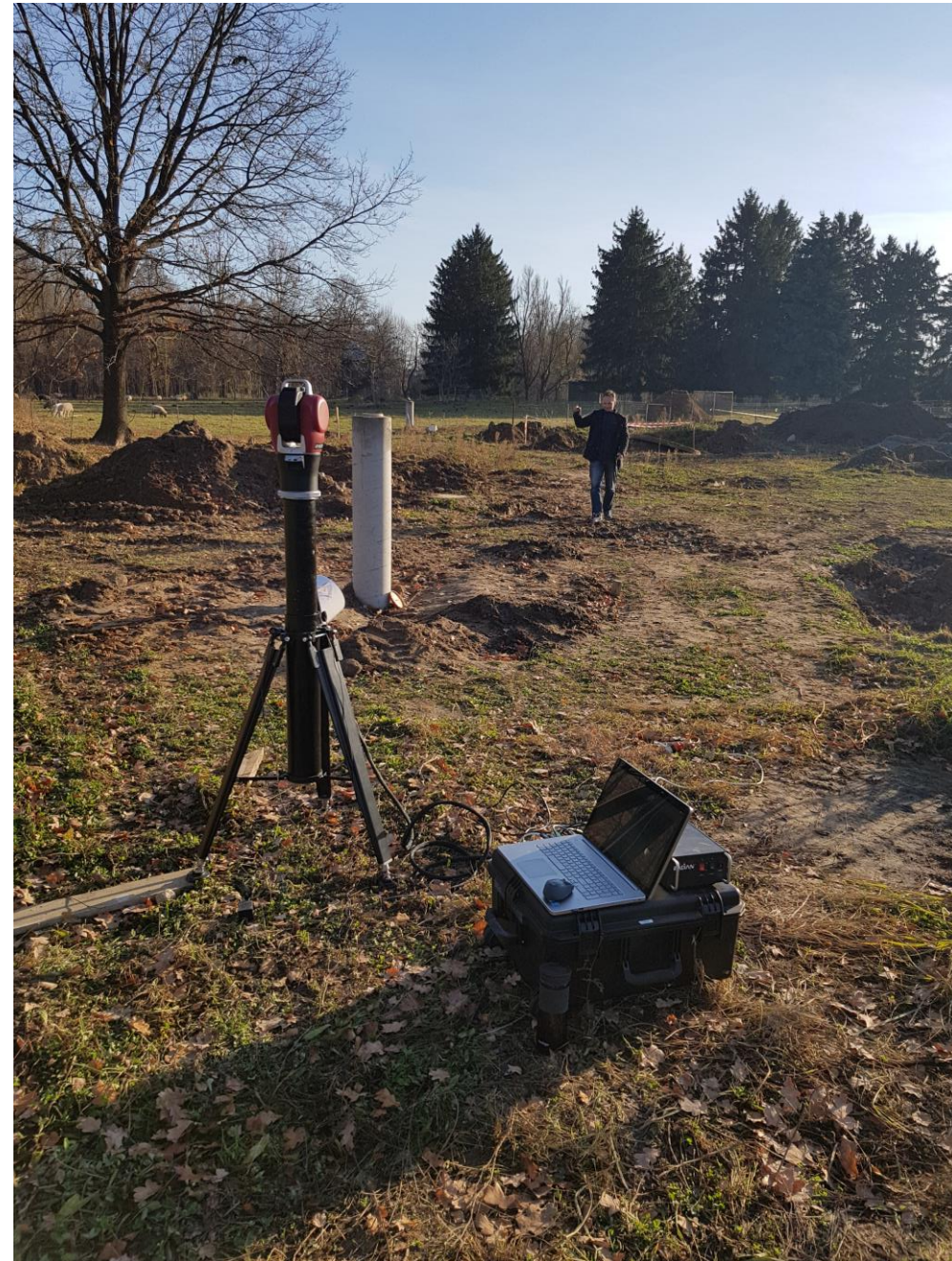


Europejskie bazy geodezyjne

Referencyjna baza geodezyjna WUT200 w Józefosławiu

Zmierzone odległościw dniu 2021-11-10

Odcinek	Projekt (m)	Zmierzone (mm)
P1-P2	4	4003,51
P1-P3	12	12004,33
P1-P4	28	28005,10
P1-P5	60	60011,13
P1-P6	124	124009,14
P1-P7	252	-



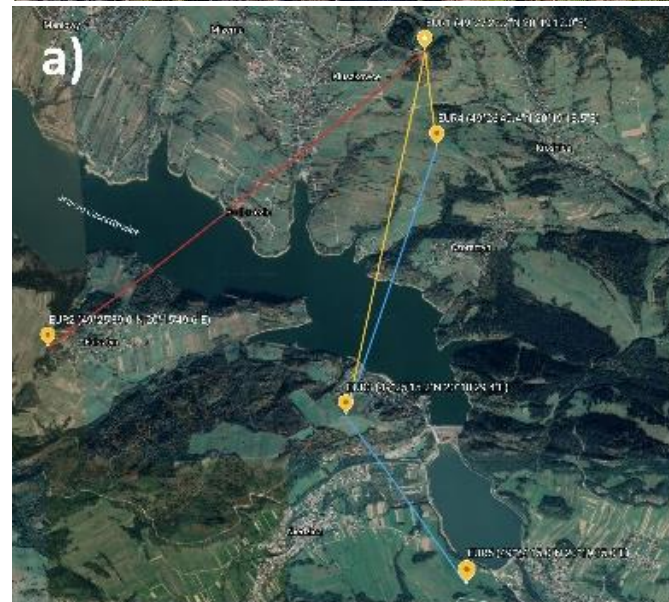
Europejskie bazy geodezyjne

Europejska referencyjna baza geodezyjna EURO5000 w Pieninach

W ramach projektu GeoMetre opracowano **europejską referencyjną bazę geodezyjną EURO5000 w Pieninach**. Badania geodynamiczne wskazują, że w rejonie występuje niewielka aktywność neotektoniczna, która objawia się głównie zmianami wysokości. Ruchy poziome punktów są niewielkie.

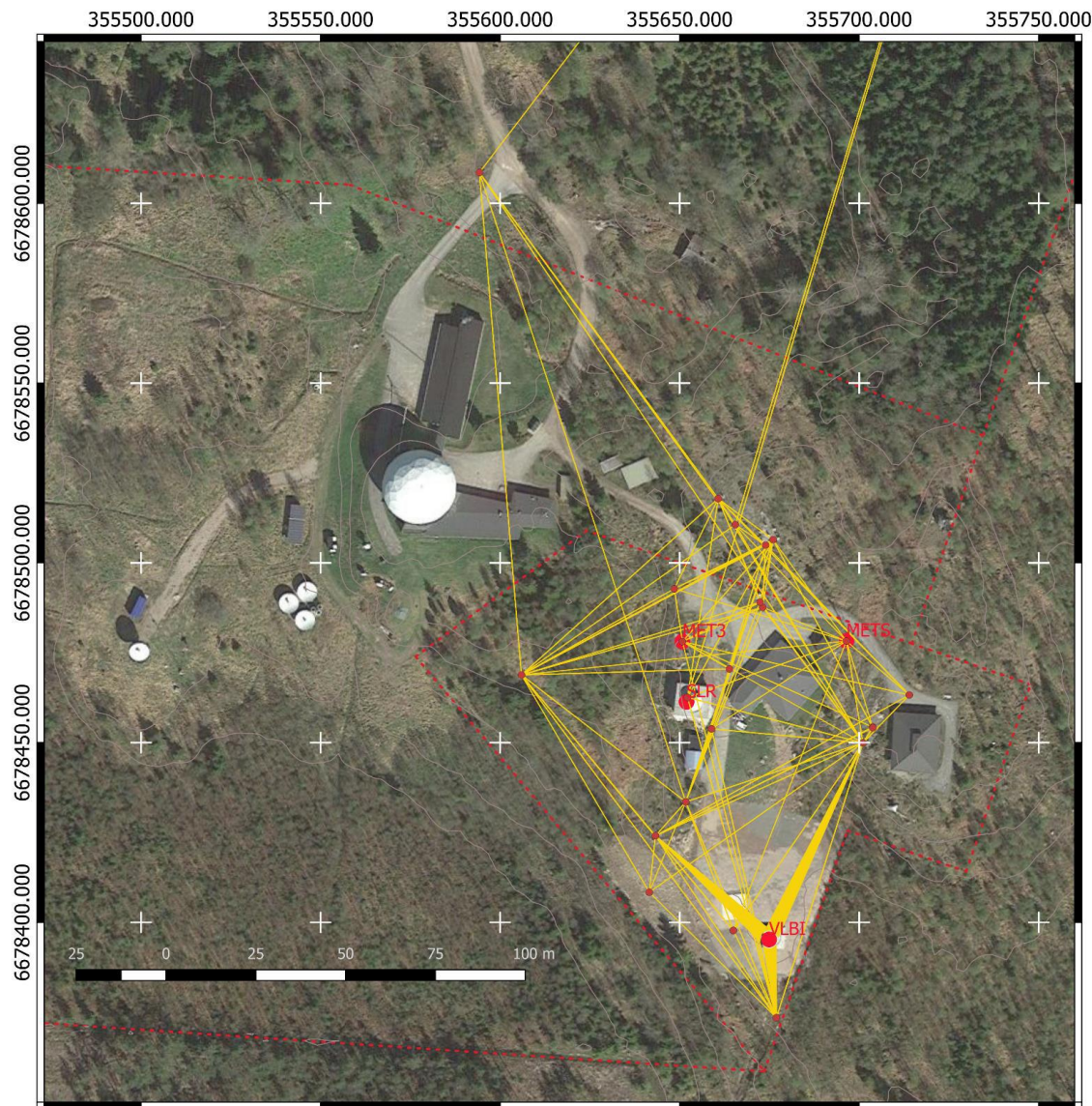
Ustanowiono **pięć nowych punktów bazowych EURO5000** w pobliżu istniejących punktów monitorowanych wcześniej. Zostały one intensywnie przebadane klasycznymi metodami opartymi na EDM i GNSS. W końcowych miesiącach projektu GeoMetre do wyznaczenia bazy wykorzystane zostaną opracowane w ramach projektu nowatorskie przyrządy do pomiarów o dalekim zasięgu, spójne z układem SI, a także dedykowane kampanie pomiarowe GBDM+.

Odcinki bazy od 1 do 5 km wyznaczone zostaną z zachowaniem spójności w układzie SI z docelową niepewnością lepszą niż 1 mm.



Metrologia lokalnych wektorów dowiązania

Metoda sieci lokalnej



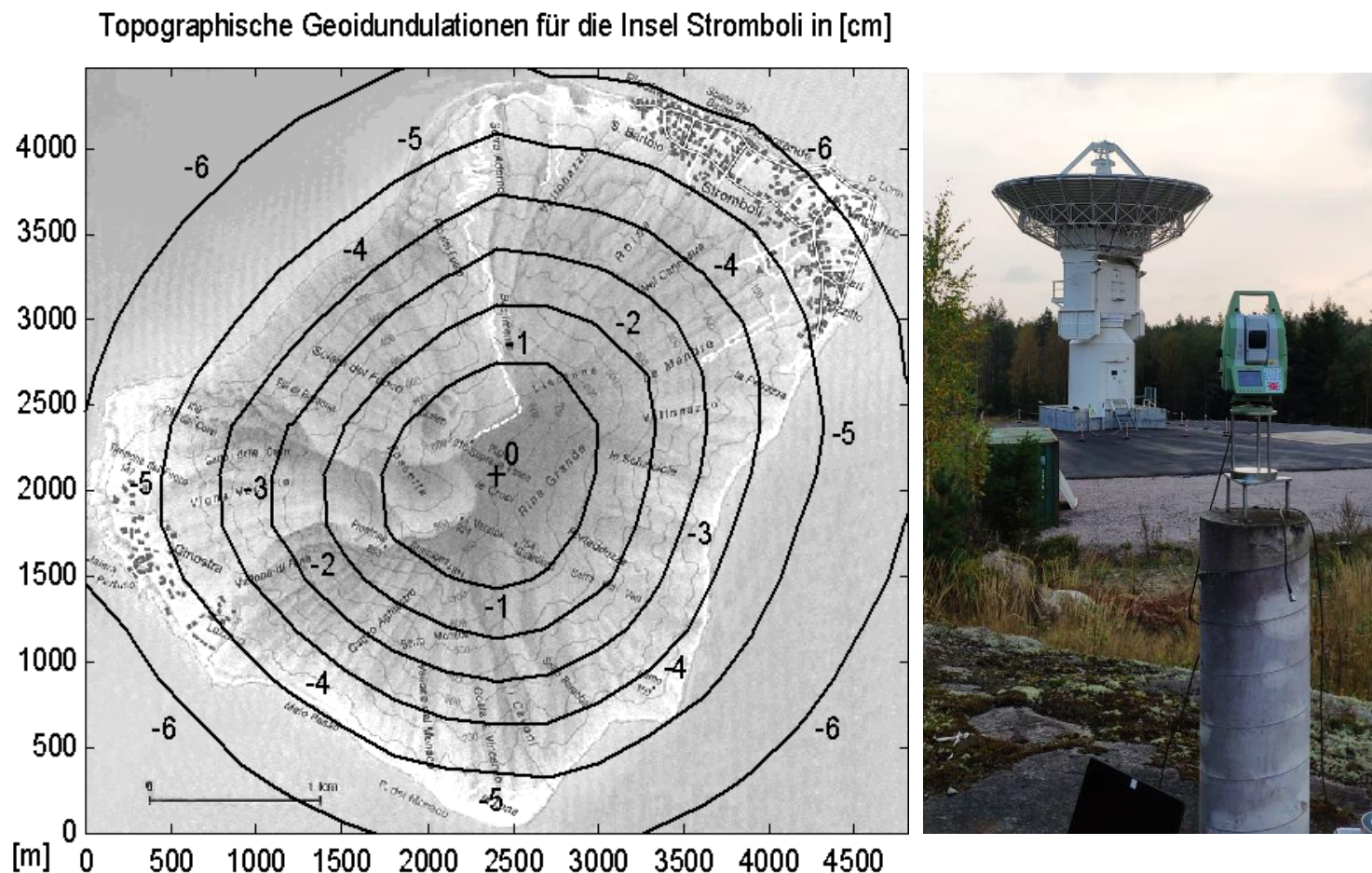
Sieci lokalne w stacjach kolokacyjnych GGOS zapewniają **geometryczną relację między technikami pomiarowymi takimi jak VLBI i SLR**. Ze względu na znaczną niepewność na krótkich odcinkach wiązania lokalne z wykorzystaniem punktów przejścia opartych tylko na GNSS sprawia że wysoka dokładność pomiarów stacji naziemnych ulega znacznemu pogorszeniu podczas transformacji.

Wprowadzenie współrzędnych GNSS jako punktów odniesienia zapewniających translację i orientację poziomą sieci oraz wykorzystanie **odchyleń od pionu (DoV)** do uwzględnienia orientacji pionowej jest obiecującym podejściem do ograniczenia błędu transformacji. **Odległości uzyskane z pomiarów z kompensacją załamania światła zapewniają spójność z układem SI.**

Metsähovi, Finlandia

Metrologia lokalnych wektorów dowiązania

Metoda sieci lokalnej

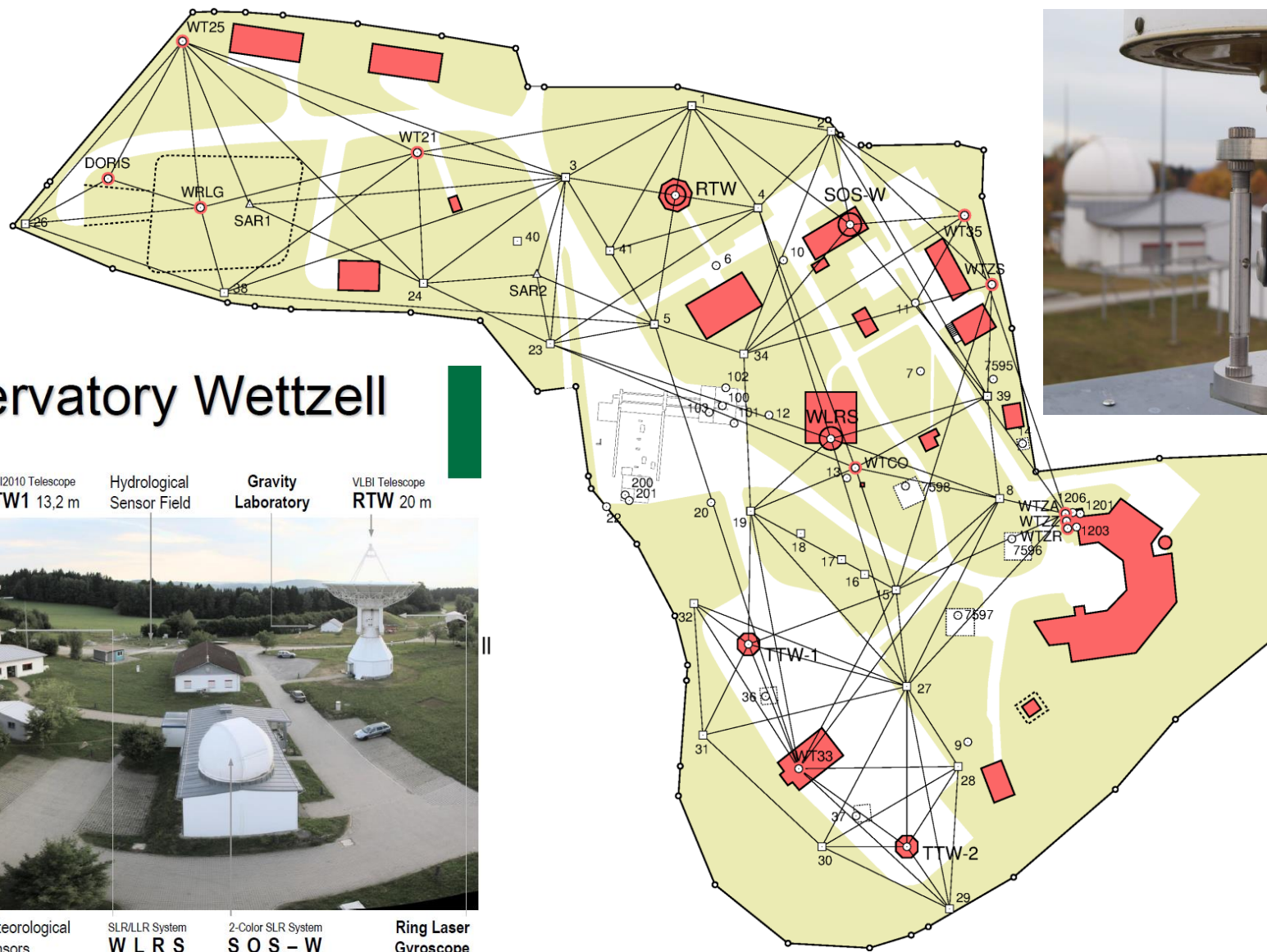
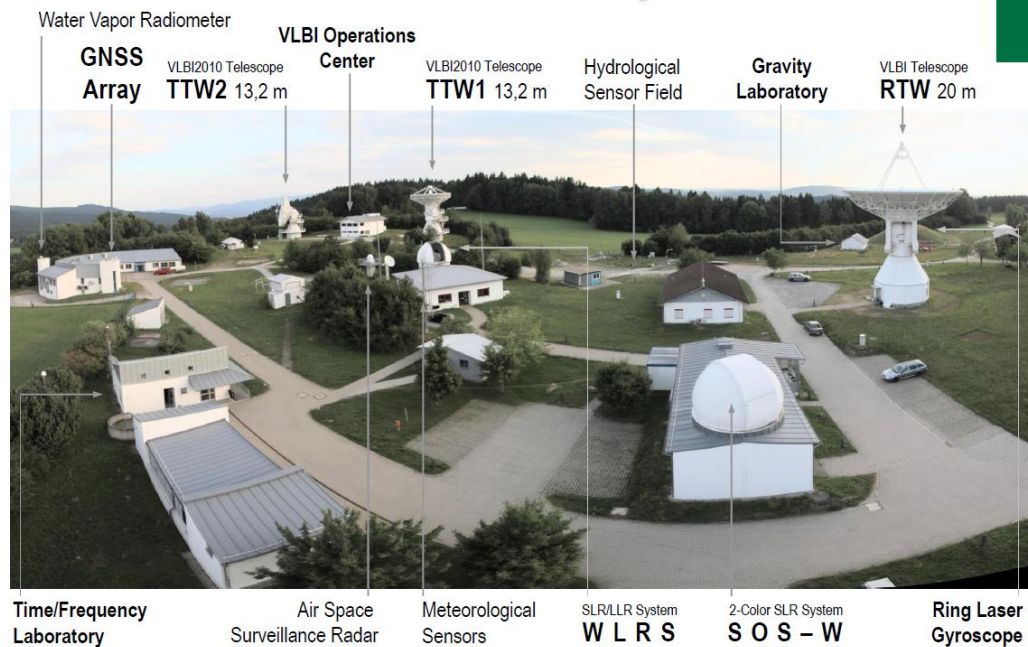


Zastosowano różne techniki pomiarów DoV. W otoczeniu stacji bazowych GGOS Metsähovi w Finlandii i Wettzell w Niemczech opracowano **lokalne modele quasi-geoidy o wysokiej rozdzielczości oparte na danych grawimetrycznych**. Różnica w stosunku do geoidy FIN_EIGEN-6C4 i GCG2016 wynosi 2 μ rad w Metsähovi i mniej niż 1 μ rad w Wettzell.

Metrologia lokalnych wektorów dowiązania

Metoda sieci lokalnej

Geodetic Observatory Wettzell



Metrologia lokalnych wektorów dowiązania

Monitorowanie punktu odniesienia

Sieci lokalne zapewniają geometryczną relację między technikami pomiarowymi takimi jak VLBI i SLR . Pozycja punktów odniesienia jest niezmienna i niezależna od orientacji teleskopu często jest również niedostępna dla bezpośrednich pomiarów optycznych lub dotykowych.

W ramach projektu GeoMetre **opracowano strategię rozmieszczenia i analizy danych w celu uzyskania punktów odniesienia teleskopu za pomocą pomiarów pośrednich.**



„Distrimetre”

Metrologia lokalnych wektorów dowiązania

Monitorowanie punktu odniesienia

W Obserwatorium Geodezyjnym w Wettzell zostało po raz pierwszy ocenione nowe podejście przy użyciu **fotogrametrii bliskiego zasięgu**. Punkt odniesienia dwukolorowego teleskopu laserowego, Systemu Obserwacji Satelitarnej Wettzell SLR, został wyznaczony kilkakrotnie w lokalnym układzie odniesienia w kilku konfiguracjach. Powtarzalność pomiarów punktów odniesienia wynosiła około 0.1 mm



Lokalny układ odniesienia z certyfikowanymi belkami referencyjnymi i celami fotogrametrycznymi oraz przygotowanym Systemem Obserwacji Satelitarnej w Wettzell

Podsumowanie

Projekt GeoMetre ma na celu wniesienie znaczącego wkładu w znaczną **poprawę spójności pomiarowej przestrzennych geodezyjnych baz referencyjnych**. Uzyskano **znaczące postępy w oprzyrządowaniu, metodach pomiarowych i podejściu analitycznym**. Badania wykonane w ramach projektu przyczynią się do dalszej poprawy zrozumienia systematycznych **elementów składowych niepewności systemów GNSS, fotogrametrycznych i dalmierzy**. Referencyjne bazy geodezyjne, oprzyrządowanie i postępy w kompensacji refrakcji mogą być wykorzystane do stawienia czoła dalszym wyzwaniom związanym z monitorowaniem przestrzennym w przyszłości.



The EMPIR initiative is co-funded by the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and the EMPIR Participating States



This project 18SIB01 GeoMetre has received funding from the EMPIR programme co-financed by the Participating States and from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme.