



Czy geodezja potrzebna jest metrologii?

Ryszard Szpunar

Dariusz Czułek

20 maja Światowy Dzień



Przypada w rocznicę podpisania Konwencji
Metrycznej z 1875 roku. Traktat ujednotoczył
system metryczny na świecie.

Polska podpisała konwencję w 1925

logii



Z czterech cali - dłoń się składa,
Dłoń potrójna - daje stopę,
Krok – powstaje ze stóp pięciu
Stadium – kroków sto i setki ćwierć,
Osiem stadiów – rzymska mila

Kto wymyślił

METR

Prekursor metra Prof. Pudłowski XVII w

Doszedłeś pan bardzo blisko do wynalezienia rzeczy tak poszukiwanej przez cały świat jak powszechna miara i ciężar.

*Prof. Pudłowski z Uniwersytetu Jagiellońskiego do
Boratyniego 1645 r.*

Jego pomysł wyprzedził twórców systemu metrycznego we Francji z końca XVIII wieku



Jednostka miary odpowiadająca długości
wahadła sekundowego została nazwana przez
Boratyniego
„metrem katolickim”

Dla przyspieszenia normalnego:

1 metr katolicki = 1,01646 metra

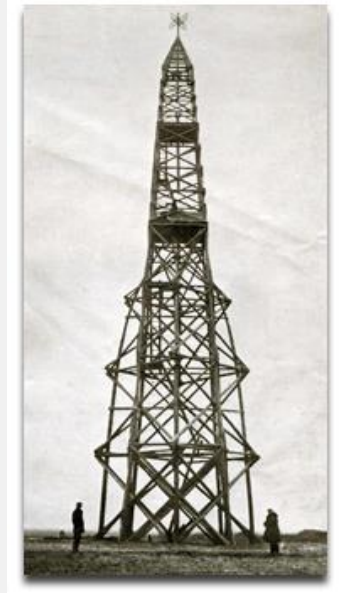
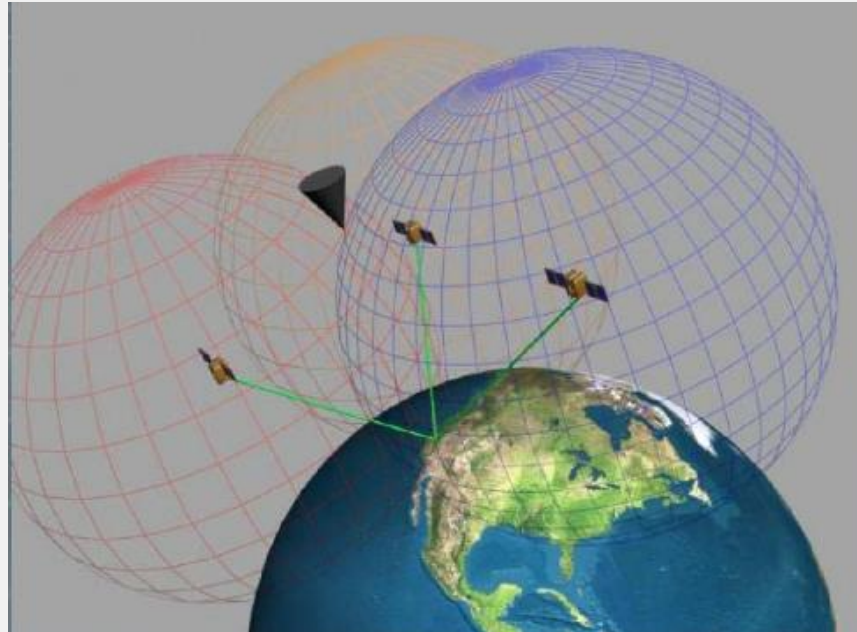
Traktat o mierze powszechnej 1671



Jedno słowo dwa znaczenia

- **Miernictwo** – historyczna, obecnie zanikająca nazwa, odnosząca się do geodezji szczegółowej
- **Miernictwo** – praktyczna część metrologii. Obejmuje techniczne aspekty wykonywania pomiarów, wykorzystania i konstrukcji przyrządów pomiarowych

Jedno z najdonioślejszych wydarzeń z dziedziny pomiarów geodezyjnych



Holenderski fizyk, matematyk i geodeta Willebrord Snellius van Roijen mierzy stopień południka (1614-1616) metodą triangulacji wynalezioną przez Gemmę Frisiusa

A tymczasem Polsce

1617 Jan Brożek współtwórca pierwszej w Polsce Katedry Geodezji (1631) w Akademii Krakowskiej wspominał o pomiarach południka w Niderlandach za pomocą triangulacji.

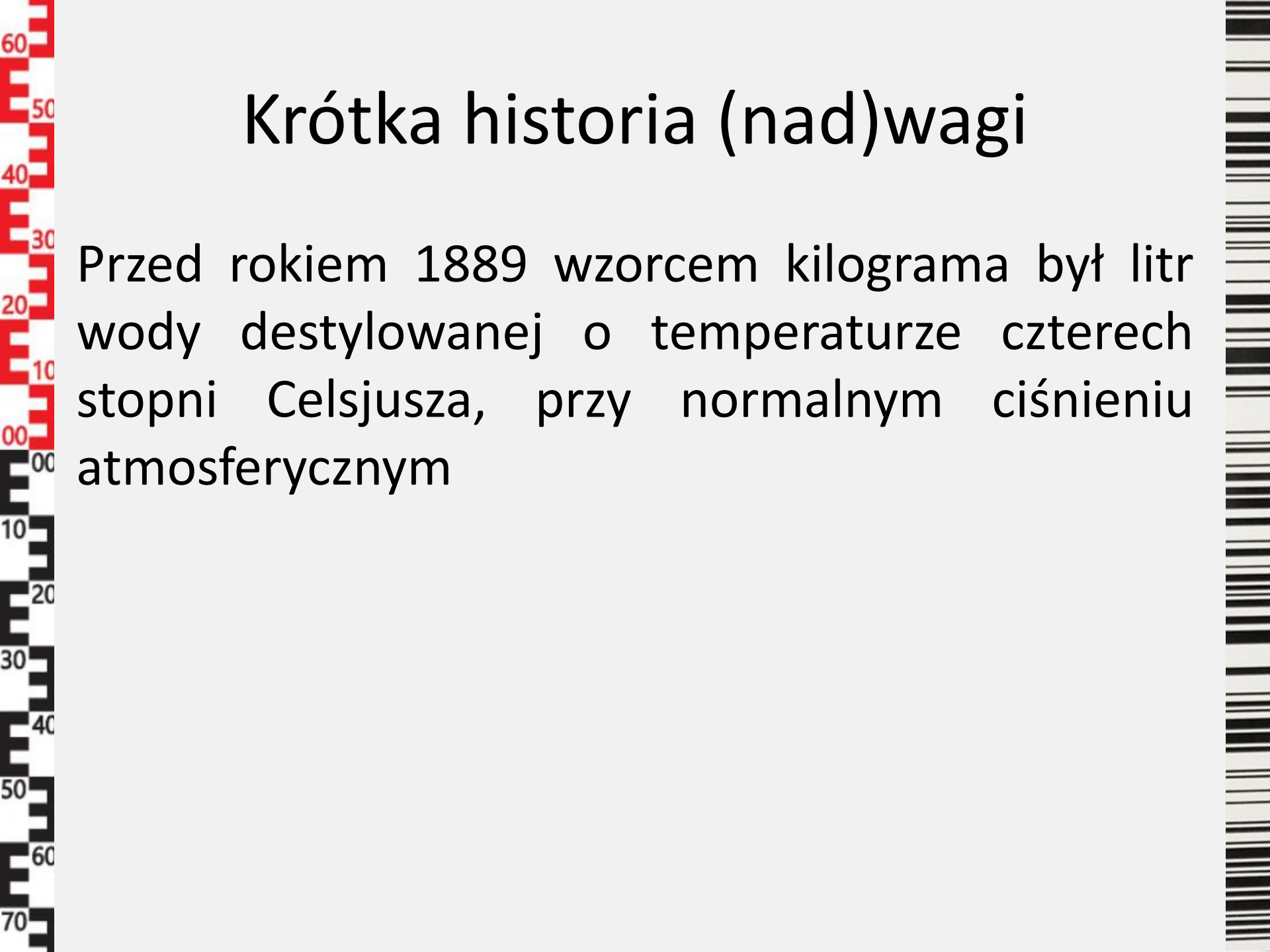
Józef Naronowicz–Naroński pierwszy zastosował metodę triangulacji na terenach Polski (opisana w 1659 r)

Jeden z dziesięciu milionów

- ([1795](#) - [1889](#)) długość równa 10^{-7} długości mierzonej wzdłuż południka paryskiego od równika do bieguna. Na podstawie tej definicji wykonano [irydowo-](#) [platynowy](#) wzorzec metra.
- ([1889](#) - [1960](#)) Generalna Konferencja Miar (1889) określiła metr jako odległość między odpowiednimi kreskami na wzorcu, równą $0,999914 * 10^{-7}$ ćwiartki południka ziemskiego.

Krótką historia (nad)wagi

Generalna Konferencja Miar i Wag z roku 1889, przyjęła, że wzorcem kilograma "Le Grand K", jest walec o wysokości i średnicy podstawy 39 milimetrów, wykonany ze stopu platyny (90 proc.) z irydem (10 proc.)



Krótką historia (nad)wagi

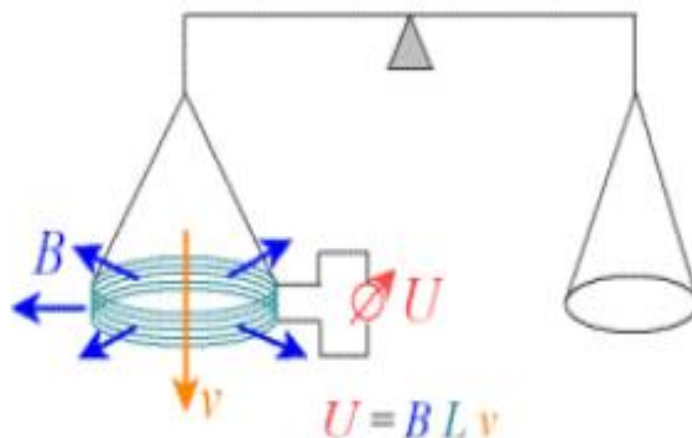
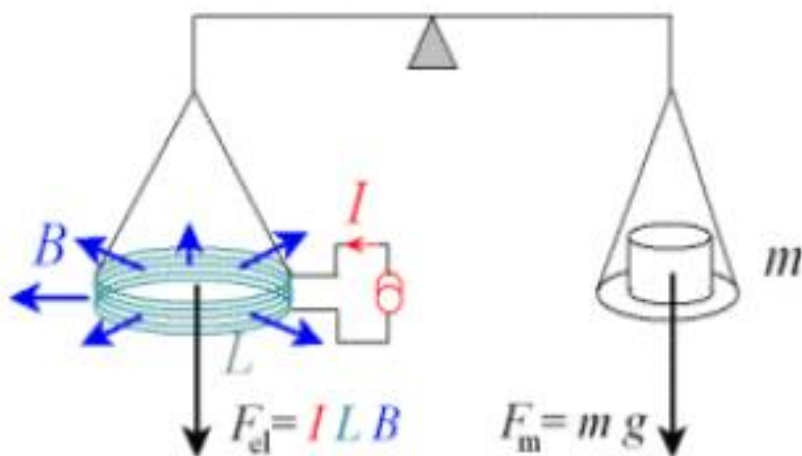
Przed rokiem 1889 wzorcem kilograma był litr wody destylowanej o temperaturze czterech stopni Celsjusza, przy normalnym ciśnieniu atmosferycznym

Nowa definicja

- Od 20 maja 2019 roku obowiązuje nowa definicja kilograma oparta o precyzyjnie wyznaczoną stałą Plancka równą $6.62607015 \times 10^{-34} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.
- Porównania można wykonać za pomocą wagi Kibble'a

Waga Kibble'a

- Można zdefiniować kilogram lub dowolną inną wagę w kategoriach ilości energii elektrycznej potrzebnej do przeciwdziałania ciężarowi (siła grawitacji działająca na masę).



Działanie wagi Kibble'a w dwóch trybach pomiarowych (weighing , moving)

- Najbardziej zaawansowaną konstrukcją jest projekt realizowany w National Institute of Standards and Technology (NIST) w USA.
- Pierwszy tryb pomiarowy można opisać wzorem

$$m \cdot g = B \cdot L \cdot I$$

m-jest masą badaną,

g-jest przyspieszeniem ziemskim,

B-indukcją magnetyczną pola magnetycznego,

wytwarzanego przez układ magnesów stałych lub elektromagnes,

L -długością uzwojenia cewki,

I – Natężenie prądu

W drugim trybie pomiarowym, podczas którego mierzy się napięcie indukowane w cewce na skutek jej ruchu względem magnesu wyznacza się iloczyn BL , a zatem można zapisać:

$$U = B \cdot L \cdot v$$

Ostateczna formuła na wyznaczenie masy ma postać

$$m = \frac{UI}{v g}$$

v oznacza prędkość cewki wewnątrz magnesu

I tu dochodzimy do sedna

Funkcjonowanie wagi Kibble'a wymaga precyzyjnych pomiarów optycznych (interferometria) oraz **grawimetrycznych**

Całkowita względna niepewność dla tego instrumentu wymaga, aby lokalne przyspieszenie grawitacyjne było znane w miejscu pomiaru masy testowej z względną niepewnością rzędu 10^{-9} . Trzeba wykonać oprócz wartości przyspieszenia również poziome jak i pionowe gradienty przyspieszenia grawitacyjnego

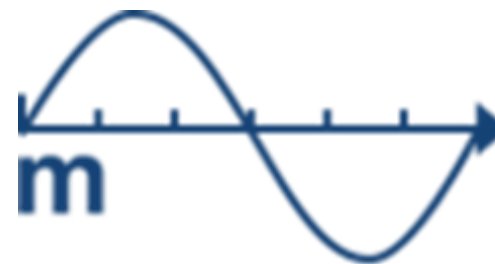
Unia sprzętowa/personalna/pomiarowa/ laboratoryjna



Dzień Kaczora Donalda



Dziękuję za uwagę



2022

**Czy metrologia potrzebna jest geodezji,
czy geodezja potrzebna jest metrologii?**



Zadania Prezesa GUM :

- utrzymanie i rozwój systemu legalnych jednostek miar i państwowych wzorców jednostek miar,
 - budowa, utrzymywanie i modernizacja państwowych wzorców jednostek miar i układów pomiarowych służących do przekazywania jednostek miar przechowywanych i stosowanych w Urzędzie oraz prowadzenie badań naukowych i prac rozwojowych w tym zakresie,
 - zapewnienie, w drodze porównań, powiązania państwowych wzorców jednostek miar z międzynarodowymi wzorcami jednostek miar lub wzorcami jednostek miar w innych krajach, a także potwierdzania kompetencji w zakresie realizowanych wzorcowań i pomiarów,
 - zapewnienie przekazywania wartości legalnych jednostek miar od państwowych wzorców jednostek miar do przyrządów pomiarowych, w tym na rzecz podmiotów wykonujących działalność w celu zapewnienia jednolitości miar i dokładności pomiarów związanych z obronnością i bezpieczeństwem państwa, której organizację określa rozporządzenie wydane na podstawie art. 3,
- prowadzenie działalności naukowej w rozumieniu art. 4 ust. 1 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2022 r. poz. 574, z późn. zm.), obejmującej prowadzenie badań naukowych i prac rozwojowych w dyscyplinach naukowych dotyczących metrologii, w szczególności w zakresie technologii pomiarowych, w sposób samodzielny i ciągły;
- wspieranie i inspirowanie rozwoju krajowego przemysłu,
- współpraca międzynarodowa w zakresie miar,
- wykonywanie zadań z zakresu prawnej kontroli metrologicznej,
- nadzorowanie i koordynacja służby miar w Polsce.

➤ **AKUSTYKA I DRGANIA**

➤ **CHEMIA**

➤ **CZAS I CZĘSTOTLIWOŚĆ**

- Wzorce częstotliwości
- Skale czasu
- Porównania międzynarodowe
- Rozpowszechnianie czasu
- Metrologiczne systemy pomiarowe
- Metrologia T&F w zastosowaniach kosmicznych

➤ **DŁUGOŚĆ**

- Długości fal i interferometria
- Metrologia wymiarowa
- Pomiar kątowny
- Pomiar kształtu
- Struktura powierzchni
- Geometria złożona
- Pozostałe wymiary

➤ **ELEKTRYCZNOŚĆ I MAGNETYZM**

➤ **FOTOMETRIA I RADIOMETRIA**

➤ **MASA**

➤ **PROMIENIOWANIE JONIZUJĄCE**

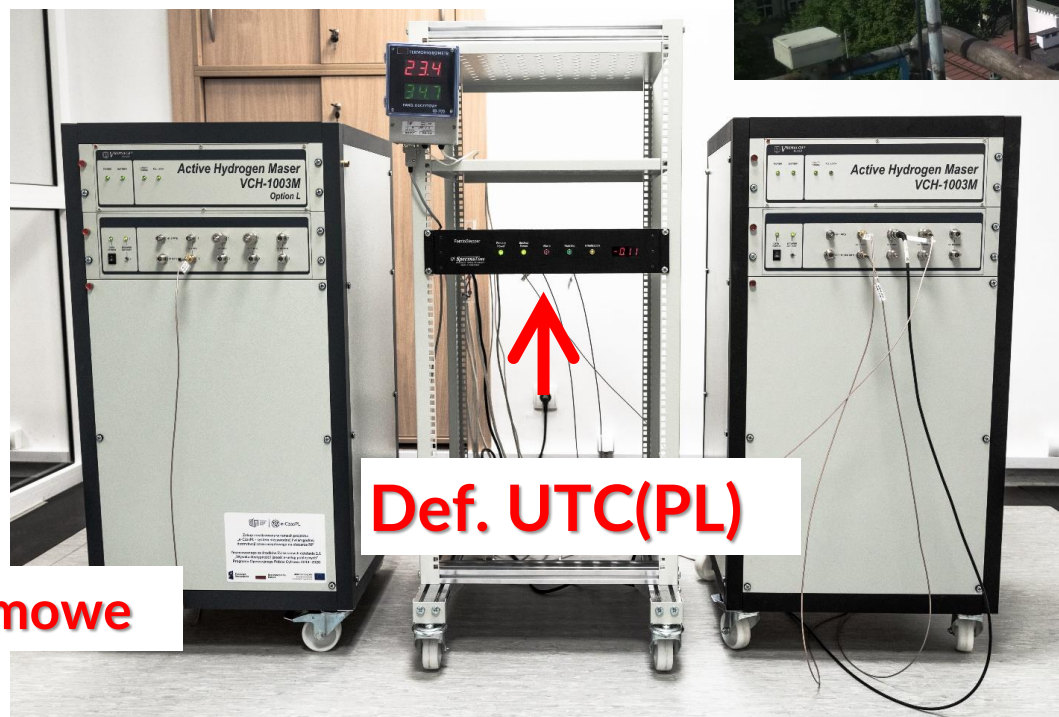
➤ **PRZEPŁYWY**

Państwowy wzorzec jednostek miar czasu i częstotliwości stanowi: zespół atomowych wzorców czasu i częstotliwości (zegary atomowe) wraz z systemem generacji UTC(PL) i systemami do ich porównań bezpośrednich i zdalnych

Systemy do porównań zdalnych



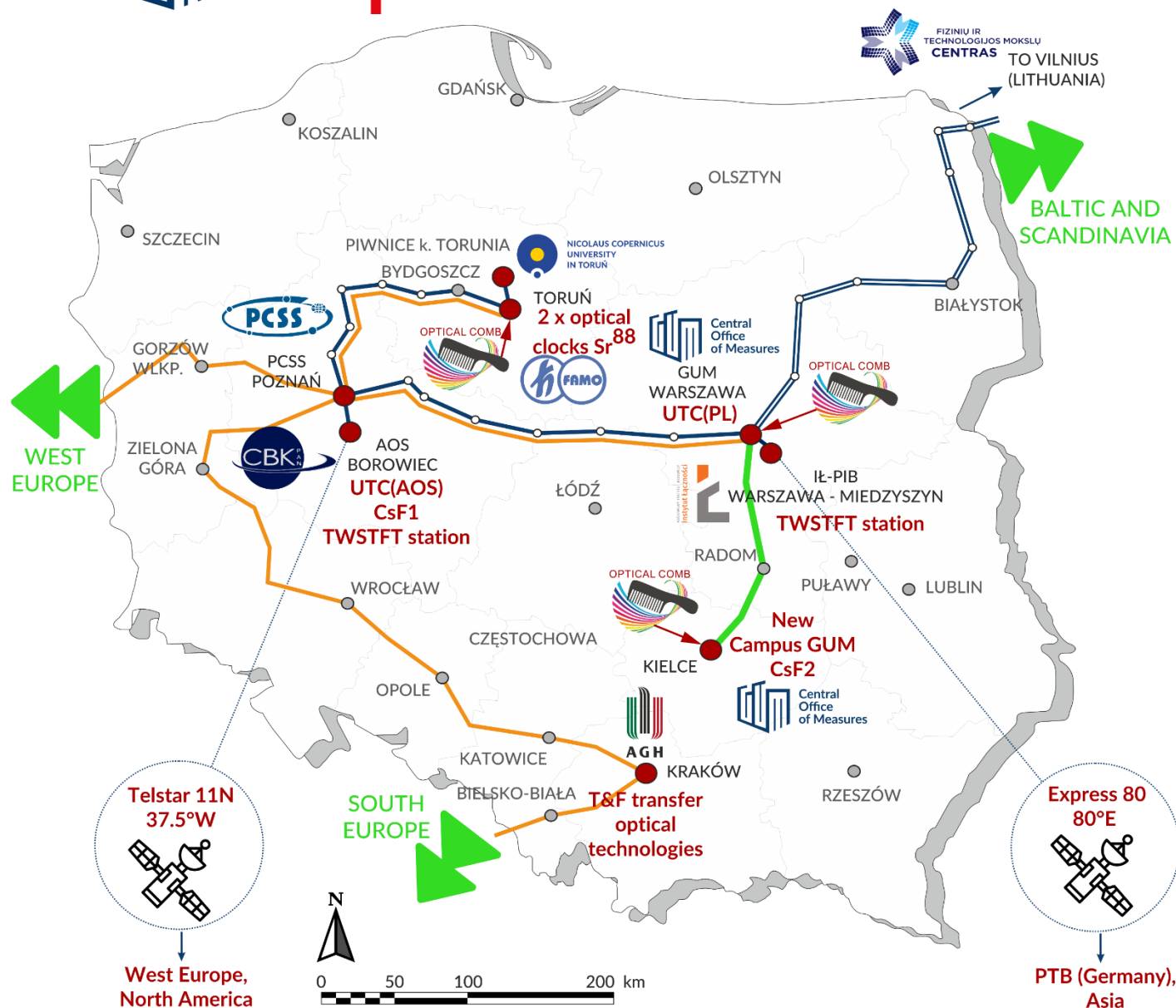
Zegary atomowe



Def. UTC(PL)



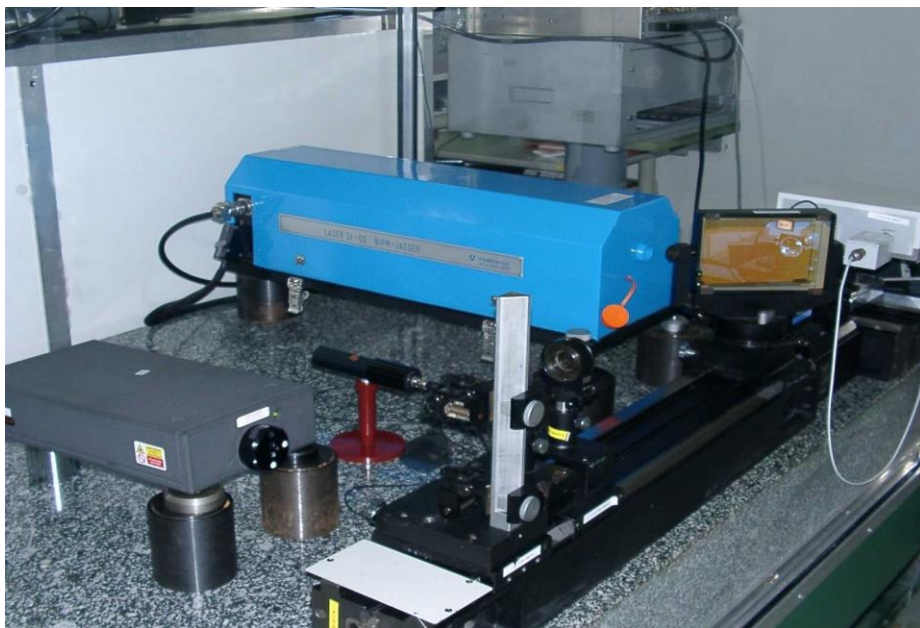
Porównania bezpośrednie



Możliwość wykorzystania krajowej infrastruktury czasu i częstotliwości do prowadzenia działalności (badań/ pomiarów) wspomagającej działanie systemów GNSS: wsparcie stacji referencyjnych dla metody RTK/RTN GNSS, wsparcie i rozwój pomiarów metodą PPP, pomiary zmian potencjału pola siły ciężkości za pomocą zegarów (chronometric levelling), ...

Możliwa/istniejąca współpraca z PW, AGH, CBK PAN, ...

Państwowy wzorzec jednostki miary długości



Laser He-Ne stabilizowany jodem



Syntezer częstotliwości optycznych



50 m komparator interferencyjny



Belka referencyjna KinAiry

- Wzorcowania grawimetrów:
 - rubidowe wzorce częstotliwości,
 - stabilizowane lasery metrologiczne,
- Wzorcowanie dalmierzy elektroptycznych:
 - generatory częstotliwości,
 - wyznaczenie błędów wskazań,
- Wzorcowanie częstościomierzy-czasomierzy cyfrowych stosowanych przez autoryzowane serwisy urządzeń geodezyjnych,
- Wzorcowanie przymiarów wstępowych,
- Wzorcowanie tachimetrów, laser trackerów, laser tracerów,

- W zakresie odbiorników GNSS: tylko wzorcowanie częstotliwości wyjściowej oraz generowanej/odtwarzanej przez odbiornik skali czasu UTC
- Pośrednie wsparcie funkcjonowania GNSS - poprzez udział w ciągłych porównaniach międzynarodowych (w tworzeniu UTC – koordynowane przez BIPM) zegarów GUM i krajowych zegarów atomowych porównywanych względem UTC(PL).
- Poprzez utrzymywanie światłowodowego łącza GUM-AOS ze stabilnymi skalami czasu i wieloczęstotliwościowymi odbiornikami geodezyjnymi na obu końcach (pomiar RINEX) – wykorzystywane międzynarodowo jako test bed do walidacji i rozwijania istniejących i nowych metod transferu czasu opartych na sygnałach GNSS
- Utrzymywanie częstotliwości UTC(PL) na poziomie dokładności ok. $\pm 1E-14$, z możliwością jej dystrybucji w sieci światłowodowej – możliwość dostarczenia wzorcowej częstotliwości referencyjnej do stacji referencyjnych systemów GNSS

Świątokrzyski Kampus Laboratoryjny Głównego Urzędu Miar

Nr projektu: RPSW.01.01.00-26-0001/20

Czas trwania projektu: 01/01/2019 - 31/12/2023

Wartość projektu: 188 821 329,05 PLN

Istotą projektu jest uzupełnienie obecnego potencjału laboratoryjnego Głównego Urzędu Miar i Politechniki Świętokrzyskiej, w efekcie czego stworzone zostaną warunki do współpracy pomiędzy profesjonalną i innowacyjną metrologią laboratoryjną a gospodarką.

Laureat Polskiej Nagrody Inteligentnego Rozwoju 2022 w kategorii Inwestycja przyszłości za projekt Świątokrzyski Kampus Laboratoryjny GUM!

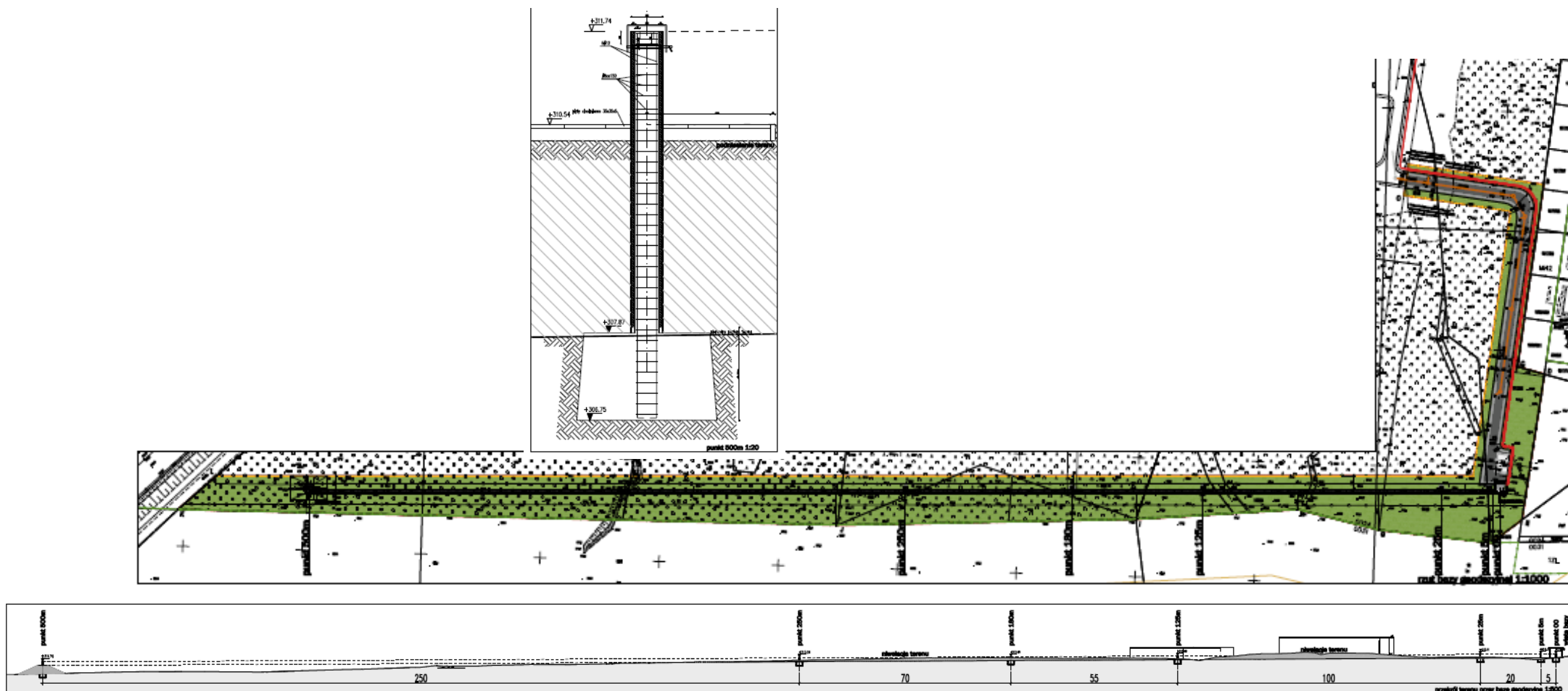


Świątokrzyski Kampus Laboratoryjny Głównego Urzędu Miar

- Dołączenie do dedykowanej sieci światłowodowego precyzyjnego transferu czasu i częstotliwości RF i nośnej optycznej w kraju badania w zakresie generacji stabilnej częstotliwości optycznej i stabilnego przenoszenia częstotliwości optycznych na częstotliwości mikrofalowe,
- badania w zakresie wyznaczania dokładności, stabilności i dryftu częstotliwości sygnałów laserowych (badania laserów),
- **stanowisko pierwotnego wzorca częstotliwości wg aktualnej definicji – fontanny cezowej (tylko kilkanaście takich urządzeń na świecie !),**
- badania w zakresie rozwoju i utrzymania synchronizacji
- badania w zakresie stosowania **technik satelitarnych w zakresie pozycjonowania i precyzyjnej nawigacji,**
- **Współrzędnościowe techniki pomiarowe** - pomiary dużych odległości oraz obiektów o dużych gabarytach z wykorzystaniem hybrydowych systemów pomiarowych,
- opracowanie i wdrożenie programu nadzoru dokładności pomiarów 3D (**maszyny współrzędnościowe, laser trackery, skanery światła strukturalnego, skanery laserowe,**



Świątokrzyski Kampus Laboratoryjny Głównego Urzędu Miar – Etap 2



Współpraca krajowa - Raport Grupy Roboczej ds. pomiarów przestrzennych, geodezyjnych, geofizycznych i zastosowań technik satelitarnych, działającej w ramach Konsultacyjnego Zespołu Metrologicznego ds. Infrastruktury i Zastosowań Specjalnych

Lp.	Grupa geodezyjnych przyrządów/ systemów pomiarowych	Mierzona wielkość	Szacunkowa ocena liczby różnych typów/ modeli dostępnych w sprzedaży i na rynku	Istotne cechy danej grupy przyrządów oraz wstępna ocena ze strony GUM skuteczności i zasadności objęcia ew. zatwierdzeniem typu (ZT) danej grupy przyrządów/systemów pomiarowych
1.	Systemy GNSS (odbiorniki GNSS wraz z antenami GNSS)	Pozycja (współrzędne punktu), (pośrednio, przemieszczenie, prędkość obiektu, powierzchnia, kubatura)	Odbiorniki RTK (dokładność wyznaczania współrzędnych rzędu mm, cm): 94/28/18 (ok. 15) Odbiorniki GIS (dokładność wyznaczania współrzędnych rzędu pojedynczych metrów): 83/24/13 (ok. 10)* Stacje referencyjne (używane jako „punkty” odniesienia w pomiarach GNSS): 29/11/6 (ok. 3)*	W Raporcie nie jest przewidywane objęcie tej grupy przyrządów geodezyjnych obowiązkiem zatwierdzenia typu (ani legalizacją). W opinii Zespołu GUM ds. geodezji przy podejmowaniu końcowej decyzji w zakresie objęcia tej grupy przyrządów geodezyjnych obowiązkiem zatwierdzenia typu (lub legalizacją) należy wziąć pod uwagę, że: - odbiorniki GNSS nie stanowią typowego systemu pomiarowego generującego jednoznaczny wynik pomiaru: tzn. odbiorniki GNSS dostarczają w czasie rzeczywistym surowych danych pomiarowych, które w zależności od obróbki mogą umożliwiać uzyskanie wyników pomiaru pozycji z mniejszą lub większą niepewnością wyniku pomiaru – końcowy wynik pomiaru zależy od końcowej obróbki danych i pobieranych danych zewnętrznych; - główny problem niezgodności w wyznaczaniu granic działek jest związany raczej z brakiem aktualności katastru (uzgodnienia prawnego granic w ewidencji gruntów i nieruchomości), którego zatwierdzenie typu odbiorników GNSS nie rozwiązuje; - geodezyjna procedura pomiarowa nakłada obowiązek wykonania przed lub w trakcie sesji pomiarowej pomiaru kontrolnego na co najmniej dwóch punktach poziomej osnowy geodezyjnej, zlokalizowanych w odległości nie większej niż 5 km od punktów będących przedmiotem pomiaru, co pozwala zweryfikować i zapewnić wymaganą jakość wyników pomiaru w inny sposób niż poprzez zatwierdzenie typu; - błędy wynikające z przyjęcia niewłaściwego punktu odniesienia w terenie lub błędnej pozycji punktu odniesienia w terenie są niezależne od jakości pracy odbiornika GNSS – odpowiedzialność i rola geodety wykonującego pomiary oraz kwestia aktualności systemu punktów referencyjnych; - duża różnorodność typów odbiorników i anten GNSS oraz aktualizacje oprogramowania może utrudnić utrzymanie uzyskanego statusu zatwierdzenia typu i ew. legalizacji oraz może być niewspółmierne do ponoszonych dodatkowo kosztów na realizację procedur zatwierdzenia typu; - niezależnie od wyboru wariantu, kontrowersyjna będzie decyzja o objęciu nadzorem metrologicznym sprzętu GNSS w ramach scenariusza, w którym odbiorniki miałyby być testowane niezależnie od anten, lub scenariusza traktującego odbiornik i antenę jako jeden zestaw pomiarowy podlegający kontroli (anten GNSS są częścią integralną odbiorników, od której znacznie zależy jakość wykonywanych pomiarów, ale zazwyczaj mogą być bezproblemowo odłączane od odbiornika i często mogą być stosowane zamiennie z innymi urządzeniami odbiorczymi lub zamieniane na inny model (np. w wyniku awarii)); - dla tej grupy urządzeń zależność między oprogramowaniem obliczeniowym (które jest często aktualizowane), a wynikami pomiarów jest bardzo duża, co więcej wpływ na wynik pomiaru ma także wyposażenie dodatkowe odbiornika, np. pochylomierz lub modem służący do transmisji poprawek często pracujący jako urządzenie zewnętrzne; - symulatory sygnałów GNSS dają możliwość przeprowadzenia tylko niektórych badań w warunkach laboratoryjnych; - rozwój technologii współczesnych precyzyjnych odbiorników GNSS ukierunkowany jest na zwiększanie możliwości wykonania pomiarów w warunkach trudnych, dlatego zdefiniowanie określonych warunków laboratoryjnych podczas kontroli może być bardzo trudne i nie oddawać rzeczywistych warunków użytkowania sprzętu, w ramach których wynik pomiaru jest narażony na błędy wynikające z ograniczonej dostępności i jakości sygnału GNSS poddanego różnego rodzaju zakłóceniom.

Współpraca na polu międzynarodowym

- „Absolute long distance measurement in air”, 2007, iMERA-Plus;
- „Large volume metrology in industry”, 2012, EMRP;
- „Metrology for long distance surveying”; 2012, EMRP
- „Large Volume Metrology Applications”, 2017, EMPIR;
- „Large-scale dimensional measurements for geodesy”, 2018, EMPIR;
- „Dynamic applications of large volume metrology in industry of tomorrow environments”, 2020, EMPIR;
- „Support for a European Metrology Network on positioning, navigation, timing and geodesy”, 2019, EMPIR.

Dziękuję za uwagę ...