

JAN CISAK

METROLOGIA GEODEZYJNA W INSTYTUCIE GEODEZJI I KARTOGRAFII

W artykule tematem moich wspomnień z 45 lat pracy w Instytucie Geodezji i Kartografii jest metrologia geodezyjna. Przymiotnik „geodezyjna” określa umiejscowienie jednego z działów metrologii w ramach geodezji, którą w 1880 roku Friedrich Robert Helmert definiował jako naukę o pomiarze i odwzorowaniu powierzchni Ziemi. A jak pomiar, to narzędzia pomiarowe, jednostki, w których pomiar jest wyrażany, jego dokładność i błędy. Tym właśnie zajmuje się metrologia, którą definiujemy jako naukę o miarach (z greckiego metron i logos).

W Instytucie Geodezji i Kartografii problemami metrologii geodezyjnej zaczęto zajmować się w roku 1970. Do tego czasu było to zadanie Głównego Urzędu Miar, który wciąż przechodził zmiany organizacyjne i kompetencyjne. W czasach PRL łączono sprawy metrologiczne z normalizacją i jakością, dlatego w latach 1966–1972 był to Centralny Urząd Jakości i Miar, a następnie Polski Komitet Normalizacji i Miar oraz w latach 1979–1983 Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości. W powojennej odbudowie Głównego Urzędu Miar brał udział Jerzy Lech Jasnorzewski – geodeta, metrolog. Dbał on o całość zadań metrologicznych GUM, nie zapominał też o metrologii geodezyjnej. To za jego czasów odbudowano 24-metrowy komparator i wyposażono go w polskiej konstrukcji mikroskopy. To również on wyposażył pracownię długości w aparaturę Väisälä do interferencyjnego pomiaru baz wzorcowych. Wydał też książkę *Metrologia długości* i uczył metrologii na wydziale Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej. W 1960 roku międzynarodowa społeczność metrologiczna uznała jego wiedzę i kompetencje, mianując go wicedyrektorem Międzynarodowego Biura Metrologii Prawnej w Paryżu. Funkcję tę piastował przez 10 lat. W tym czasie, niestety, metrologia geodezyjna nie znajdowała należytej opieki ze strony GUM i CUJiM. Drugą, istotną przyczyną przeniesienia zadań metrologii do IGiK było pojawienie się i rozwój dalmierzy elektrooptycznych, wymagających kontroli metrologicznej. Jerzy Jasnorzewski, po powrocie z Paryża, został zaproszony do pracy w IGiK i wspólnie z Wojciechem Krzemińskim i Marią Dobrzycką stworzyli Pracownię Metrologii Geodezyjnej. Zgodnie z umową z ówczesnym Centralnym Urzędem Jakości i Miar podpisaną w marcu 1971 roku Pracownia mogła korzystać z komparatorów Urzędu i z trzech wzorców metrowych oraz jednego wzorca 4-metrowego. Przekazano jej również pełny zestaw komparatora Väisälä oraz pokój w budynku CUJiM, który stał się siedzibą Pracowni.

Jako młody pracownik IGiK zostałem oddelegowany do Pracowni. Początkowo dostałem biurko w pokoju, w którym pracował Jerzy Jasnorzewski. Bardzo szybko zaprzyjaźniliśmy się. Przygotowywaliśmy wyposażenie pracowni, Pan Jerzy uczył mnie precyzyjnego obchodzenia się z wzorcami długości i mikroskopami komparatorów, a w chwilach przerwy – języka francuskiego. Przyjaźń z Panem Jerzym przeniosła się później na cały zespół Pracowni. Jeździliśmy do jego domku w Wólce Zerzeńskiej, uprawiając kawalek jego działki i rozmawiając na tematy metrologii i wypraw polarnych.

Pracownia zaczęła działać i rozwijać się, bowiem do zespołu dołączyli Danuta Włodkowska i Adam Mazur, a nieco później Zbyszek Drożdżewski i Helena Bieniewska. Zadania ówczesnej metrologii geodezyjnej praktycznie ograniczały się do metrologii długości. Najważniejszym problemem do natychmiastowego rozwiązania było stworzenie systemu przenoszenia jednostki długości na przyrządy geodezyjne. Wzorce metrowe wykonane w końcu lat 40. z platynitu, czyli stopu żelaza i niklu, nie były jeszcze wystarczająco wystarzone i podlegały zmianom długości. Trzeba było okresowo wyznaczać ich długość w nawiązaniu do międzynarodowej jednostki długości oraz badać wzajemne relacje ich długości.

Do 1960 roku – na mocy rezolucji I Generalnej Konferencji Miar z 1869 roku – jednostka długości była zdefiniowana jako odległość między odpowiednimi kreskami na wzorcu platynoirydowym, równą $0,999914 \times 10^{-7}$ połowy południka ziemskiego. W czasie, gdy powstawała i działała nasza Pracownia, definicja metra została zmieniona przez XI Generalną Konferencję Miar, która określiła metr jako długość równą 1 650 763.73 długości fali promieniowania w próżni odpowiadającego przejściu między poziomami $2p^{10}$ a $5d^5$ atomu kryptonu 86. Tylko niektóre laboratoria posiadały komparatory umożliwiające realizację tak zdefiniowanej jednostki długości. W Polsce nie było możliwości jej odtworzenia i dlatego porównania te odbywały się początkowo w Instytucie Metrologicznym w Leningradzie (WNIIM), a następnie w Międzynarodowym Biurze Wag i Miar w Sèvres. Pomiędzy kolejnymi porównaniami (co 2 miesiące) wyznaczaliśmy wzajemne różnice między trzema wzorcami na szwajcarskim komparatorze SIP.

Badanie zmian długości wzorców metrowych to pierwszy etap zadania. Kolejnym etapem było wyznaczenie długości wzorca 4-metrowego i stała kontrola tej długości. Wzorzec 4-metrowy służył do wyznaczenia długości 50-metrowego komparatora geodezyjnego. Komparator ten dla wielu przymiarów był ostatnim etapem kontroli metrologicznej. Służył do badania łąt do niwelacji precyzyjnej, wyznaczania długości drutów inwarowych Jaederina, wyznaczania długości poszczególnych odcinków przymiarów wstępowych i sztywnych.

Druty inwarowe Jaederina służyły do nadawania skali sieciom triangulacyjnym przez pomiar baz w tych sieciach, a w czasach pojawienia się dalmierzy służyły do pomiaru baz kontrolnych – komparatorów dla dalmierzy. Z rozmów z młodymi absolwentami studiów geodezyjnych wynika, że nawet nie słyszeli o pomiarach drutami, a nawet niewiele wiedzą o triangulacji. W dobie rozwoju elektroniki i automatyzacji oraz geodezji satelitarnej trudno sobie wyobrazić pomiar długości odcinka w terenie rzędu 1 km, który trwał 2 dni, wykonywany

przez zespół 10 osób, a dokładność takiego pomiaru była porównywalna z obecnie wykonywanym pomiarem nowoczesnym dalmierzem przez 1 osobę w ciągu 10 minut. Pomiar baz wzorcowych dla kontroli dalmierzy był w gestii Pracowni Metrologii Geodezyjnej, odpowiedzialnej w całości za przenoszenie jednostki długości na przymiary robocze. Wynikało to z zachowania tzw. hierarchiczności wzorcowania. Pomiar kilkusetmetrowej bazy wykonywany był za pomocą przymiarów drutowych, te zaś musiały być odniesione do wzorca państwowego wyznaczanego w porównaniu z wzorcem międzynarodowym.

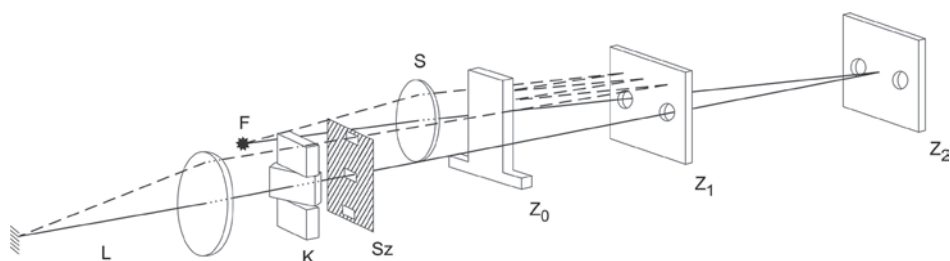
Drutowe przymiary inwarowe to narzędzie pomiarowe bardzo chimeryczne. Wykonane z inwaru, czyli stopu żelaza i niklu z dodatkiem węgla i chromu, mają bardzo mały, lecz nieliniowy współczynnik rozszerzalności termicznej. Ponadto materiały, w tym przymiary drutowe, wykonane z inwaru wykazują wrażliwość na uderzenia, co powoduje konieczność bardzo delikatnego obchodzenia się z nimi i konieczność ich komparacji przed i po pomiarze bazy. W celu wyznaczenia współczynnika rozszerzalności termicznej i jego charakterystyki zbudowaliśmy urządzenie zwane dylatometrem, w którym zmiany temperatury zapewniały grzałki elektryczne i suchy lód, czyli zestalony dwutlenek węgla. Było to rozwiązanie oryginalne, zbudowane według własnego projektu w Pracowni.

W ciągu całego okresu istnienia i działania Pracowni zmierzaliśmy trzy takie bazy: w Lublinie, Łodzi i Rzeszowie. Wraz z ulepszaniem techniki pomiarów dalmierzowych zadanie wzorcowania baz roboczych za pomocą specjalnie skontrolowanego dalmierza przejął Zakład Geodezji pod kierunkiem profesora Wojciecha Janusza.

Wracając do początków Pracowni Metrologii IGiK, trzeba wspomnieć o najważniejszym projekcie, jaki mieliśmy w planie. Był to pomiar metodą Väisälä Krajowej Bazy Długościowej w Skrzyszewie założonej w latach 1968–1969, zgodnie z zaleceniami Międzynarodowej Unii Geodezji i Geofizyki. Baza zbudowana była na niewielkim nasypie rozebranego torowiska kolejowego we wsi Skrzyszew w powiecie legionowskim. Baza była pomierzona drutami Jaederina trzykrotnie. Pomiar metodą Väisälä miał tworzyć drugi niezależny system przenoszenia jednostki długości. Trzecim systemem miał być pomiar interferometrem laserowym.

Pomiar metodą Väisälä rozpoczęliśmy od przygotowania aparatury i zabudowy bazy. Jesienią 1975 roku odbyłem 3-miesięczny staż w Fińskim Instytucie Geodezyjnym w Helsinkach, uczestnicząc w pomiarze fińskiej bazy w Nummela. Metoda jest wyjątkowo skomplikowana i wymaga minimum 3 osób oraz ogromnej cierpliwości i precyzji całego zespołu. Opis metody był wielokrotnie zamieszczany w publikacjach fińskich i polskich. Chciałbym jednak pokazać Czytelnikom, jak skomplikowana jest to metoda. W skrócie można powiedzieć, że opiera się na zjawisku interferencji światła białego. Wszystkie znane interferometry, w tym interferometr Michelsona, opierają się na zliczaniu prążków interferencyjnych światła jednobarwnego. W komparatorze Väisälä prążki interferencyjne służą tylko do stwierdzenia, że różne drogi optyczne, jakie przebywa światło, są

sobie równe z dokładnością $1.3\mu\text{m}$. Dla zobrazowania przebiegu promieni poniżej zamieszczam rysunek wyjaśniający zasadę metody Väisälä.



Rys.1. Przebieg promieni w komparatorze Väisälä

Opis przebiegu promieni możemy znaleźć prawie w każdej publikacji dotyczącej pomiaru tą metodą. Przytoczę ten opis, bo oddaje zasadę i trudność metody: „Z punkтового źródła światła białego, umieszczonego w ognisku F kolimatora S, biegnie obok zwierciadła Z_0 wiązka światła białego, która, napotykając zwierciadło Z_1 , zostaje podzielona na dwie części. Jedna z nich przez otwór w zwierciadle Z_1 biegnie do zwierciadła Z_2 , odbija się i przez drugi otwór w zwierciadle Z_1 , a dalej obok zwierciadła Z_0 dochodzi do lunety. Pozostała część wiązki po wielokrotnym odbiciu pomiędzy zwierciadłami Z_0 i Z_1 skierowana zostaje także do lunety. Przy dobraniu odpowiedniego kąta padania wiązki i odpowiednim ustawieniu względem siebie zwierciadeł odległość Z_0-Z_2 będzie wielokrotnością odległości wyjściowej Z_0-Z_1 . Jeżeli różnica dróg optycznych obu wiązek będzie zawarta w przestrzeni spójności, to obie części wiązki będą zdolne do interferencji”. Nie wchodząc w dalszy opis warunków uzyskania interferencji, należy tylko dodać, jak uzyskiwano odległość między zwierciadłami Z_0 i Z_1 , która stanowiła podstawę pomiaru całej długości bazy. W tym miejscu tkwi sedno niezależnego odniesienia do wzorca metra. Otóż tę odległość mierzyło się za pomocą metrowych, końcowych, kwarcowych wzorców długości. Pomiar był równie trudny i wymagał precyzji i cierpliwości. Długość tych wzorców w odniesieniu do międzynarodowej jednostki długości gwarantowało laboratorium Fińskiego Uniwersytetu w Turku. Byłem osobiście z naszymi wzorcami w laboratorium kierowanym przez panią profesor Liisi Oterma. Pani profesor, astronom i fizyk, znana była z odkrycia 54 planetoid i badania komet. Wspólnie z prof. Väisälä opracowała metodę wyznaczenia długości kwarcowych wzorców długości. Pamiętam, jak namawiała wszystkich do nauki i posługiwania się językiem esperanto. W Wikipedii jej życiorys jest podany właśnie w tym języku.

Już z tego krótkiego opisu widać, jak skomplikowana jest to metoda pomiaru. Czytelnik powinien wyobrazić sobie nikły promień światła przebiegający drogę 768 metrów i odbijający się od płaskiego zwierciadła, które tak trzeba ustawić, aby ten promień wpadł do lunety komparatora, przechodząc dwukrotnie przez 2-centymetrowe otwory w zwierciadle, w środku bazy na słupie odległym 384 m

od początku. Tego rodzaju problemów i justacji zwierciadeł w całym pomiarze było znacznie więcej. Również uzyskanie i zobaczenie prążków interferencyjnych było bardzo trudne i gdy się to udało, cieszyliśmy się jak dzieci. Cały pomiar odbywał się w nocy, i to w specyficznych warunkach pogodowych. Najlepsze warunki były jesienią, gdy temperatura w dzień i w nocy była podobna, a niebo całkowicie zachmurzone, ale bez deszczu. Gdy obserwator uzyskał obraz prążków interferencyjnych, dwie osoby zaczynały pomiar temperatury na termometrach rozstawionych wzdłuż całej bazy. Trzykrotnie rozstawialiśmy aparaturę i próbowaliśmy uzyskać interferencję na całej długości bazy. Na jesieni 1976 roku udało się zmierzyć tylko pierwsze 96 m. Wiosną 1977 roku skutek był lepszy, bo zmierzaliśmy połowę bazy, czyli 384 m. Dopiero jesienią 1977 udało się dwukrotnie zmierzyć całość bazy tj. 768 m.

Zadaniem pomiaru bazy w Skrzyszewie było wyznaczenie długości jej odcinków, ale również zdobycie doświadczenia w pomiarze i konstrukcji bazy. Było to ważne ze względu na planowane zagospodarowanie torowiska przez PKP i konieczność założenia nowej bazy w innym miejscu. Nowa baza długości powstała w 1986 roku na lotnisku Bemowo, wzdłuż północnej granicy lotniska. Ze względu na konieczność prowadzenia atestacji w czasie niedostępności bazy podczas pomiaru metodą Väisälä baza składała się z dwóch oddzielnych baz: wzorcowej i roboczej. Podobnie jak w Skrzyszewie baza wzorcowa miała długość 768 m. Baza robocza, równoległa do wzorcowej w odległości 8 m, zaczynała się naprzeciw słupa 24 m od początku bazy wzorcowej i miała długość 744m. Pierwszy pomiar bazy wzorcowej rozpoczęliśmy w czerwcu 1986 roku. Nie był to jednak dobry okres do pomiaru tą metodą. Nawet jeżeli było zachmurzenie pełne to noc była zbyt krótka na wykonanie całego pomiaru, Drugie podejście do pomiaru nastąpiło wiosną 1987 roku. Zaczęliśmy rozstawianie i justację luster już w marcu i 26 kwietnia wreszcie udało się pomierzyć całą bazę. Drugi udany pomiar był jeszcze 22 maja. W ten sposób Pracownia Metrologii weszła do grona nielicznych (11) państw posiadających wysokiej klasy wzorcowy standard długości. Ponadto byliśmy jedynym zespołem, który poradził sobie z tym skomplikowanym pomiarem samodzielnie. Wszystkie pozostałe bazy wzorcowe były mierzone bądź całkowicie przez zespół z Fińskiego Instytutu Geodezyjnego, bądź z udziałem doradców z FGI. Ze względu na nową stabilizację słupów przewidywaliśmy powtórzenie pomiaru za kilka lat. Dodatkowym argumentem było oczekiwanie na zakup interferometru laserowego, którym planowaliśmy zmierzyć początkowe 24 m bazy i dopiero tę długość powielić metodą Väisälä.

Przygotowania do drugiego pomiaru rozpoczęliśmy w roku 1997. Wiele się zmieniło w okresie od pierwszego pomiaru bazy na Bemowie. Nie można już było liczyć na finansowanie z GUGiK. Dyrekcja Instytutu zgodziła się na częściowe sfinansowanie z dotacji statutowych KBN pracy poświęconej na to zadanie, ale sam pomiar mógł być wykonany tylko dzięki zaangażowaniu zespołu, który poświęcił wieczory i noce na pomiar bazy, w dzień zaś wykonywał swoje normalne obowiązki. Trudności było znacznie więcej. Okazało się, że mały pawilon,

w którym było stanowisko obserwatora oraz gdzie chowaliśmy termometry na tyczkach i inne pomocne przyrządy, spalili chuligani i trzeba było wypożyczyć wojskowy namiot zamiast budowania kosztownego pawilonu. Czekaliśmy jeszcze jedna niespodzianka. Pozostawiona w GUM luneta w niewiadomy sposób zniknęła. Na szczęście dobre kontakty z Fińskim Instytutem Geodezyjnym pozwoliły na wypożyczenie ich zapasowej lunety. Reszta zestawu była sprawna i pozwalała na rozpoczęcie pomiaru. Wspominałem, że w planie mieliśmy wykonać pomiar 24 metrów interferometrem laserowym. Niestety, w IGiK rozwijały się inne technologie, o większym priorytecie i mimo uzyskania licencji zabrakło środków na zakup tego urządzenia. Musieliśmy zrezygnować z projektu i starać się zmierzyć bazę tak jak poprzednio. Efekt był jednak niepełny. Mimo ogromnego zaangażowania zespołu, uzyskaliśmy interferencję tylko dla połowy bazy. W pracach zespołu, tak jak poprzednio, brali udział: Helena Bieniewska, Jan Cisak, Danuta Włodkowska, Maciej Moskwiński, Yevgen Zanimonskiy – jako gość z Instytutu Metrologii w Charkowie i Maria Dobrzycka, której upór i poświęcenie były wzorem dla pozostałych. Ten pomiar był pewnie ostatnim pomiarem z użyciem aparatury Väisälä. Nie przypuszczam, żeby ktoś w Polsce chciał się kiedyś jeszcze tak poświęcić.

Istnienie Krajowej Bazy Długościowej na lotnisku Bemowo było w pewnym momencie zagrożone likwidacją ze względu na plany wybudowania tam miasteczka i parku rozrywki Michaela Jacksona. Jak wiemy, do tego nie doszło, stało się to jednak inspiracją do wykorzystania terenu Obserwatorium Borowa Góra do założenia tzw. bazy łamanej, składającej się z trzech odcinków połączonych ze sobą płaskimi zwierciadłami odbijającymi promienie sprawdzanych dalmierzy. Długość wzorcową bazy zmierzono wysokiej klasy dalmierzem sprawdzonym uprzednio na bazie Bemowo. Niestety, los tej bazy był krótki. W ramach modernizacji krajowej drogi nr 61 Warszawa-Pułtusk Instytut został zobowiązany do przekazania Generalnej Dyrekcji Dróg i Autostrad części terenu Obserwatorium, na którym stały dwa słupy bazy łamanej. Dzięki działaniom profesora Janusza i dyrekcji IGiK dostaliśmy odszkodowanie, które wystarczyło na wybudowanie nowych słupów i pawilonów na końcach bazy oraz pomiar nowej bazy. Sprawdzanie dalmierzy odbywało się wciąż na Krajowej Bazie Długościowej Warszawa Bemowo. Korzystanie z tej bazy wymagało opłat za dzierżawę terenu, które stawały się coraz wyższe, nie przynosząc znaczącego zysku. Od 2014 roku IGiK zdecydował się nie przedłużać umowy z lotniskiem i usługi sprawdzania dalmierzy prowadzić na bazie w Obserwatorium. Moim zdaniem ta decyzja wyklucza Polskę z elitarnego klubu państw posiadających terenowy wzorzec długości zmierzony metodą Väisälä – do tej pory uznawaną za najdokładniejszą metodę pomiaru długości kilkusetmetrowego odcinka.

Jak wspominałem, zadania metrologii w IGiK były związane z metrologią długości. Pozostało do omówienia zadanie wzorcowania łąt do niwelacji precyzyjnej. Oczywiście każdy system wysokości w Polsce jest zdefiniowany poprzez jednostkę długości – metr, a więc kontrola metrologiczna łąt to również metrologia długości. Lata 70. ubiegłego wieku to okres drugiej powojennej kampanii

niwelacyjnej w Polsce. Powstało wówczas zapotrzebowanie na badania jakości łąt różnych firm, wyznaczenia długości średniego metra łąt i wielokrotne, dokładne badania podziału taśmy na łącie. Precyzyjne łąty niwelacyjne mają taśmę wykonaną z inwaru z naniesioną podziałką kreskową. Doświadczenia z drutami inwarowymi wskazywały na konieczność badania współczynnika rozszerzalności termicznej łąty. Należy podkreślić, że chodzi o całą łątę, tj. całego zespołu włącznie z obudową i urządzeniem naciągającym taśmę, a nie tylko o samą taśmę inwarową. Pierwsze prace laboratoryjne związane z badaniem łąt prowadziliśmy na komparatorze geodezyjnym w pomieszczeniu CUJiM. Długość komparatora, czyli odległość między jego mikroskopami wyznaczaliśmy za pomocą wzorców kreskowych jednometrowych, a odległości metra na taśmie łąty między odpowiednimi kreskami wyznaczaliśmy, przesuując łątę pod mikroskopami. łąta leżała poziomo na wózku podparta w punktach Bessela. Z literatury wiedzieliśmy, że jest różnica między poziomym i pionowym ułożeniem łąty. Rozwiązaniem miał być zakup interferometru laserowego firmy Hewlett-Packard. Problemem komparacji łąt precyzyjnych zajął się zespół prof. Zbigniewa Ząbka z Wydziału Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej. W sali nr 40 zbudowano komparator poziomo-pionowy, którego system metryczny opierał się na jednometrowym wzorcu inwarowym. Naszym zadaniem było okresowe porównywanie tego wzorca z pozostałymi pod naszą opieką jednometrowymi wzorcami stanowiącymi wzorec państwowy. Doświadczenia innych państw, szczególnie skandynawskich, których teren podlega ciąglemu wypiętrzaniu, wskazywały nie tylko na konieczność komparacji w pionie, ale również na komparację w terenie, w trakcie pomiarów niwelacyjnych. Docent Jerzy Jasnorzewski opracował projekt jednometrowego, przenośnego komparatora pionowego, zawierającego w sobie wzorec inwarowy i system optyczny pozwalający jednocześnie obserwować kreski wzorca i kreski łąty stojącej pionowo. W rezultacie żmudnej pracy pana Jerzego, który większość prac konstrukcyjnych i optycznych wykonał sam, powstał prototyp komparatora. Z prototypem jeździłem w teren, gdzie wykonywana była niwelacja, i razem z Jackiem Kmiecikiem z PPGK próbowaliśmy wykonywać komparację łąt. Zasada komparatora była słuszna, ale jak każdy prototyp wymagał szeregu poprawek. W tym czasie Instytut Geodezji Wyższej PW zakupił interferometr laserowy i prof. Zbigniew Ząbek zbudował przenośny komparator pionowy, z którym wyruszył w teren. Kampania niwelacyjna zakończyła się i zapotrzebowanie na komparację łąt zaczęło maleć.

Zmiany strukturalne w Głównym Urzędzie Miar, który powrócił do starej nazwy, spowodowały wymówienie naszej Pracowni pomieszczeń i aparatury. Zakład Metrologii i Kąta GUM przejął komparator geodezyjny, usuwając mikroskopy i wyposażając go w interferometr. Podobnie jak metrologią długości dla dalmierzy, również metrologią długości dla łąt niwelacyjnych zajął się prof. Wojciech Janusz. Jeszcze przed przeprowadzką Instytutu z ul. Jasnej na ul. Modzelewskiego zespół prof. Janusza prowadził badania łąt, wykorzystując przestrzeń między schodami umożliwiającą pomiar od piwnicy do trzeciego piętra. Instytut doczekał się wreszcie interferometru laserowego, który zakupił GUGiK i prze-

kazał do użytkowania zespołowi prof. Janusza. Dwa pomieszczenia na pierwszym i drugim piętrze Instytutu przy ul. Modzelewskiego przystosowano do pomiaru interferencyjnego trzymetrowych łąt niwelacyjnych z możliwością przesuwania łąty w górę i w dół. Kolejną rewolucję w niwelacji spowodowało wynalezienie łąt kodowych i niwelatorów cyfrowych, pozwalających odczytywać te łąty z precyzją odpowiednią dla niwelacji precyzyjnej. Konieczne stało się stworzenie komparatora pozwalającego sprawdzać podział łąt i jego powiązanie z jednostką długości. W Instytucie powstał pomysł wzorcowania łąt wraz z przypisanym im niwelatorem kodowym, służącym do odczytu zmian wysokości mierzonych jednocześnie interferometrycznie. Po śmierci prof. W. Janusza i po przejściu Andrzeja Kalińskiego na emeryturę metrologię długości przejął Marek Dróżdż. Komparator laboratoryjny jest w stanie gotowości do użycia, podobnie jak długościowa baza łamana w Obserwatorium Geodezyjno-Geofizycznym Borowa Góra. Problemem jest tylko brak odpowiednich regulacji prawnych wymagających od użytkowników prowadzenia okresowej kontroli metrologicznej ich instrumentów w kompetentnych laboratoriach. Zarówno laboratorium, jak i baza łamana stały się integralną częścią Centrum Geodezji i Geodynamiki, które od wielu lat prowadzi również sprawdzanie i wzorcowanie niwelatorów i teodolitów, wydając świadectwa wzorcowania.

Nowym problemem jest kontrola metrologiczna odbiorników GNSS. W wielu krajach istnieje obowiązek sprawdzania odbiorników GNSS. Tak jest na Węgrzech i Ukrainie. U nas nikt nie zadbał o uregulowanie tego problemu. Zdarzyło się kilkakrotnie, że klient chciał wykonać takie sprawdzenie. Wraz z Łukaszem Żakiem i Yevgenem Zanimonskim opracowaliśmy projekt wykorzystania stacji ASG-EUPOS i słupów w Obserwatorium Borowa Góra do badania zestawów odbiornik, antena i oprogramowanie.

Dzięki ogromnemu doświadczeniu zespołu i gotowości do wykonywania zadań metrologicznych zdobyliśmy dobrą markę na krajowym rynku, nie posiadając akredytacji w PCA. Bez wspomnianych uregulowań prawnych, w warunkach rynkowych, akredytacja laboratorium jest zbyt kosztowna w porównaniu z ilością zleceń.

Na zakończenie przytoczę obecnie obowiązującą definicję jednostki długości, która świadczy o postępie technicznym i możliwościach nowoczesnych laboratoriów odtwarzających jednostkę długości. W myśl definicji zatwierdzonej przez XVII Generalną Konferencję Miar w 1983 roku metr jest to odległość, jaką pokonuje światło w próżni w czasie $1/299\,792\,458$ s.

Wykaz prac z zakresu metrologii geodezyjnej autorstwa pracowników IGiK

Cisak J., (1974): *Prace nad wyznaczeniem współczynnika wydłużenia termicznego przymiarów drutowych*. Prace IGiK, T. 21 nr 1(48) s. 75–84.

Cisak J., (1974): *Urządzenie do pomiaru temperatury wzorców długości*. Informator IGiK nr 6 s. 26–30.

- Cisak J., (1975): *Interferencyjne komparatory do porównywania przymiarów kreskowych i końcowych z międzynarodowym wzorcem metra*. Informator IGIK nr 1 s. 41–46.
- Cisak J., (1987): *Nowa definicja jednostki długości*. Prz. Geod. Biul. IGIK nr 5 s. 24–25.
- Cisak J., Dobrzycka M., Mazur A., (1973): *Dylatometr do wyznaczania współczynników wydłużenia termicznego geodezyjnych przymiarów drutowych*. Informator IGIK nr 6 s. 33–46.
- Cisak J., Dobrzycka M., Mazur A., (1974): *Prace nad konserwacją jednostki długości dla Polskiej Służby Geodezyjnej*. Prace IGIK T. 21 nr 1(48) s. 23–29.
- Cisak J., Dobrzycka M., Jasnorzewski J., (1975): *Jednostka długości w pomiarach geodezyjnych*. Informator IGIK nr 3 s. 38–39.
- Dobrzycka M., (1974): *Realizowanie międzynarodowej jednostki długości w pomiarach geodezyjnych*. Prace IGIK T. 21 nr 1(48) s. 37–44.
- Dobrzycka M., (1977): *Prace metrologiczne dla zachowania właściwej skali sieci geodezyjnych*. W: Współczesne problemy podstawowych sieci geodezyjnych. Warszawa: Wyd. PAN
- Dobrzycka M., (1978): *Systemy przenoszenia jednostki długości na bazy wzorcowe*. Prz. Geod. Biul. IGIK nr 9 s. 321–324.
- Dobrzycka M., (1979): *Skala geodezyjnych baz wzorcowych względem międzynarodowej jednostki długości*. Prace IGIK T. 26 nr 2(62), s. 3–63.
- Dobrzycka M., (1986): *Zwiększenie dokładności niwelacji precyzyjnej pod względem metrologicznym*. Biul. Inf. BOINTE IGIK nr 5 s. 37–44.
- Janusz J., Janusz W., (2001): *Łamana Baza Długości do komparacji dalmierzy elektromagnetycznych*. Prace IGIK T. 48 z. 103 s. 115–138.
- Janusz J., Janusz W., Kołodziejczyk M., (2003): *Wzorcowanie niwelatorów cyfrowych i łat kodowych oraz łat z podziałem równomiernym*. Seria Monograficzna Nr 7. Warszawa: IGIK, 50 s.
- Janusz W. (red.), (2008): *Doskonalenie zasad i metod kontroli metrologicznej łat niwelacyjnych i geodezyjnego monitoringu przemieszczeń*. Seria Monograficzna nr 14. Warszawa: IGIK, 85 s.
- Janusz J., Janusz W., Kołodziejczyk M., (2003): *Bliżej geodety. System terenowej kontroli długości podziału łat niwelacyjnych*. Geodeta z. 1 s. 53–56.
- Janusz J., Janusz W., Kołodziejczyk M., (2003): *Komparator łat kodowych*. Geodeta z. 9 s. 28–30.
- Janusz W., Kaliński A., Toruński A., Wasilewski J., (1994): *Działalność atestacyjna i komparacyjna Pracowni Elektromagnetycznych Pomiarów Odległości IGIK*. Prz. Geod. z. 5 s. 21–24.
- Jasnorzewski J., (1959): *Metrologia długości*. Warszawa: PPWK, s. 259.
- Jasnorzewski J., (1974): *Zadania metrologii*. Prace IGIK T.21 nr 1(48) s. 31–36.
- Toruński A., (2000): *Ocena jakości dalmierzy elektrooptycznych w świetle wyników ich komparacji*. Prace IGIK T.27 z. 100 s. 61–84.
- Wasilewski J., (1993): *Metoda i urządzenie do bezinwazyjnej kontroli metrologicznej dalmierzy elektrooptycznych*. Praca doktorska. Warszawa: IGIK, 54 s.

- Wasilewski J., (1994): *Metoda i urządzenie do bezinwazyjnej kontroli metrologicznej dalmierzy elektrooptycznych*. Prace IGiK T. 41 nr 89 s. 11–29, bibliogr. 19 poz.
- Wasilewski J., (2000): *Badanie stopnia zgodności i poprawek skali uzyskiwanych z komparacji terenowych i pomiarów częstotliwości*. Prace IGiK T. 47 z.100 s. 85–91.

Inne artykuły z opisem współpracy z Pracownią Metrologii IGiK

- Gomoliszewski T., Palaszewski A., (1974): *Projekt komparacji drutów na komparatorze Instytutu Geodezji Górniczej i Przemysłowej AGH dla potrzeb przemysłu*. Prace IGiK T.21 nr 1(48) s. 53–62.
- Ząbek Z., Kalinowska B., (1974): *Poziomo-pionowy komparator i wyznaczenie średniego metr łaty w pozycji pionowej*. Prace IGiK T. 21 nr 1(48) s. 63–74.