

Załącznik nr 2 (PL)

AUTOREFERAT

Dr inż. Tadeusz Szczutko

AKADEMIA GÓRNICZO–HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

WYDZIAŁ GEODEZJI GÓRNICZEJ I INŻYNIERII ŚRODOWISKA

KATEDRA GEODEZJI ZINTEGROWANEJ I KARTOGRAFII

AL.MICKIEWICZA 30, 30–059 KRAKÓW

tel. +48 (12) 617 23 23

kom. 692 616 665

e-mail: szczutko@agh.edu.pl

Spis treści:

1. Imię i Nazwisko	3
2. Wykształcenie	3
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach dydaktyczno–naukowych.....	3
4. Wskazanie osiągnięcia naukowego	4
4.1 Tytuł osiągnięcia naukowego	4
4.2 Omówienie celu naukowego ww. pracy i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania	4
4.2.1 Uzasadnienie podjętej tematyki badań	4
4.2.2 Omówienie problematyki oraz osiągniętych wyników badań własnych zawartych w monografii.....	5
4.3. Literatura do opisu podstawowego osiągnięcia badawczego (monografii)....	13
5. Dodatkowe osiągnięcia naukowe	13
5.1 Projekty baz do testowania dalmierzy elektrooptycznych	13

1. Imię i Nazwisko

TADEUSZ SZCZUTKO

2. Wykształcenie:

A. IX.1969 - V. 1974

Nauka w Technikum Geodezyjnym w Jarosławiu – uzyskany tytuł technika geodety

B. X.1974 – IV.1979

Studia dzienne na kierunku Geodezja i Kartografia na Wydziale Geodezji Górniczej AGH w Krakowie. Uzyskany tytuł magistra inżyniera w dyscyplinie geodezja i kartografia w specjalności: Geodezja inżyniersko-gospodarcza.

Praca dyplomowa „*Metody wyrównania aerotriangulacji stosowane w Polsce*” – promotor prof. dr hab. inż. Zbigniew Sitek
obroniona z wyróżnieniem 20.04.1979 r..

C. Uzyskanie stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie geodezja i kartografia w dniu 12.09.1989 r... Praca doktorska pod tytułem: „*Wyznaczanie charakterystyk dokładnościowych dalmierzy elektrooptycznych z wykorzystaniem terenowej bazy testowej*”.

Promotor prof. dr. hab. inż. Jan Gocał
recenzenci:

prof. dr hab. inż. Józef Beluch (Akademia Górniczo–Hutnicza w Krakowie),

prof. dr hab. inż. Roman Kadaj (Politechnika Rzeszowska).

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach dydaktyczno–naukowych

Od 1.03.1981 r. – obecnie Akademia Górniczo–Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Katedra Geodezji Zintegrowanej i Kartografii, stanowisko: adiunkt (od 1.10.1989 r.).

Od 1.10.2004 r. – obecnie Wyższa Szkoła Biznesu i Przedsiębiorczości w Ostrowcu Świętokrzyskim, Wydział Nauk Społecznych i Technicznych, Katedra Geodezji i Kartografii, na stanowisku adiunkta a od 2006 r..docenta

DOŚWIADCZENIE ZAWODOWE

20.05.1979 – 28.02.1981 r. zatrudnienie w Przedsiębiorstwie Geologiczno-Fizjograficznym i Geodezyjnym Budownictwa „GEOPROJEKT” na budowie elektrowni „Bełchatów”

1990-2000 – działalność jako wykonawca prac geodezyjnych w firmie „Biuro Miernicze Jagielak-Szczutko”.

Uprawnienia zawodowe w dziedzinie geodezji i kartografii nr 8503– zakresy 1, 2, 3, 4.

ZNAJOMOŚĆ JĘZYKÓW OBCYCH

Język angielski – poziom średnio–zaawansowany

Język niemiecki – poziom średnio–zaawansowany

Język rosyjski – poziom średnio–zaawansowany

4. Wskazanie osiągnięcia naukowego

4.1 Tytuł osiągnięcia naukowego

Jako osiągnięcie naukowe wynikające z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.) wskazuję monografię autorską: **Szczutko T., *Realizacja polowego wzorca długości z wykorzystaniem pomiarów GNSS na przykładzie bazy „Wisła”***, Monografia wydawnictw naukowych Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydawnictwa AGH 2018, ISBN: 978-83-7464-967-4.

4.2 Omówienie celu naukowego ww. pracy i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

(Odwołania do literatury podane w nawiasach kwadratowych odnoszą się do publikacji zestawionych w Bibliografii, zamieszczonej na końcu opisanego osiągnięcia naukowego)

4.2.1 Uzasadnienie podjętej tematyki badań

Bazy testowe stanowią polowe wzorce długości i są wykorzystywane do kontroli instrumentów geodezyjnych dla całego kraju lub jego części. Standaryzacja miar to jeden z elementów funkcjonowania nowoczesnego państwa.

Przedmiotem niniejszej rozprawy jest wykorzystanie systemów GNSS do wyznaczania skali baz wzorcowych. Praca ma charakter doświadczalny. Doświadczenia autora w zakresie pomiarów metrologicznych w laboratorium mogły być wykorzystane w projektowaniu, pomiarze i opracowaniu wyników pomiaru bazy testowej „Wisła”. Baza „Wisła” została wybudowana w latach 1997-2001 przez Zakład Geodezji i Kartografii Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. Czytelnik może zauważyć, że więcej uwagi poświęcono eliminacji błędów na etapie opracowania wyników końcowych a nie na definiowaniu źródeł i wielkości błędów elementarnych. Oznacza to, że mniej istotne są źródła błędów pomiarowych, natomiast ważniejsza jest metoda ich eliminacji. Metodyka ta ukształtowała się w oparciu o prace metrologiczne wykonywane przez autora w Geodezyjnym Laboratorium Metrologicznym, zwłaszcza komparację łat inwarowych. Wykonane analizy numeryczne (wyrównanie metodą najmniejszych kwadratów, wygładzanie, filtracja, analiza harmoniczna) nie należą do skomplikowanych. Przyjęto założenie, że ich główną cechą powinna być czytelność i jednoznaczność przedstawienia wyników oraz wniosków z nich płynących.

Zamiarem autora jest aby praca się stała się elementem opracowania technologii pomiaru długości za pomocą aparatury GNSS na poziomie poniżej milimetra. Baza w pomiarze w danym cyklu jest traktowana jako obiekt zachowujący zespół parametrów metrologicznych, które są porównywane z uzyskanymi w kolejnym cyklu. Podstawowym, analizowanym parametrem metrologicznym będzie skala długości i jej zmiany w kolejnych cyklach pomiarowych realizowanych co pół roku w ciągu 5 lat (2010-2015). Można powiedzieć, że pomiary satelitarne zostały „sprowadzone na ziemię”.

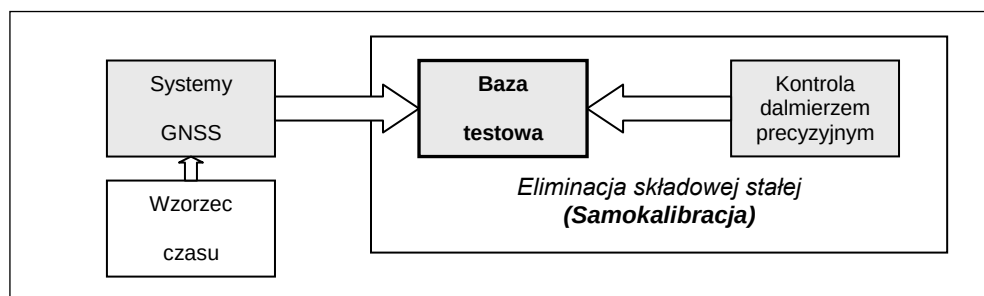
W powierzchniowych sieciach GNSS obejmujących teren danego kraju problem zmian skali długości określa się na poziomie kilku ppb (part per bilion) czyli 1 mm na 1000 km mierzonej linii bazowej. Dla baz testowych służących do sprawdzania dalmierzy będą to wielkości rzędu 1 ppm (part per milion) czyli 1 mm na kilometr. Z tekstu niniejszego opracowania wynika, że uzyskanie dokładności wyznaczenia skali długości na poziomie 1 mm/km nie jest rzeczą łatwą. Można się zastanawiać, czy technika GNSS jest odpowiednia do skalowania baz testowych. Teza mówi, że tak a przedstawione rozważania powinny ją potwierdzić.

Przenoszenie jednostki długości realizowane jest przez systemy satelitarne GNSS. Opierają się one na wzorcu fizycznym – precyzyjnych zegarach realizujących czas z dokładnością rzędu 10^{-12} s. Stabilność zegara odpowiada za stabilność realizowanej jednostki długości. W metodzie tej spełniona jest jedna z podstawowych zasad wykonywania prac geodezyjnych – „*od ogółu do szczegółu*”. Mówimy tu o globalnych systemach pozycjonowania

i odniesień przestrzennych. W poprzednich modelach postępowano z konieczności „od szczegółu do ogółu”. Długość wektora w pomiarach GNSS jest wyznaczana pośrednio - jest to odcinek przestrzenny wyznaczony ze współrzędnych pary punktów.

W modelu powyższym uzyskuje się spójność metrologiczną zgodnie z przytoczoną zasadą „od ogółu do szczegółu” ale pozostaje do ustalenia jeden istotny element – niepewność pomiaru, która jest zależna od wielu czynników.

Powstaje pytanie: czy długość odcinka wyznaczona z wykorzystaniem techniki GNSS będzie wystarczająco dokładna jako długość wzorcowa dla komparacji dalmierzy elektrooptycznych. Celowo użyto określenia „komparacja” zamiast „kalibracja”. Komparacja oznacza porównanie systemów, metod lub jednostek o podobnej dokładności; kalibracja oznacza oparcie pomiarów testowych o wzorzec o dokładności przynajmniej o rząd wielkości wyższej.



Rys. 1.1. Model globalny proponowany przez autora

W proponowanym schemacie (rys.1) kalibracji przewiduje się wyznaczenie długości bazy w oparciu o GNSS z eliminacją błędów systematycznych w procesie obliczeniowym (procedura określana jako samokalibracja). Wyniki pomiaru dalmierzami pozwolą na weryfikację stosowanych metod pomiaru i obliczeń.

4.2.2 Omówienie problematyki oraz osiągniętych wyników badań własnych zawartych w monografii

Zasadniczym celem badań opisanych w monografii było opracowanie technologii skalowania połowej bazy testowej z wykorzystaniem pomiarów GNSS.

Monografia wpisuje się w program EURAMET (European Association of National Metrology Institutes), „*Metrology for long distance surveying*”, czyli „Metrologia dla pomiaru dużych odległości”. Projekt ten o oznaczeniu JRP SIB60 stanowił wspólne przedsięwzięcie dla dziewięciu Krajowych Instytucji Metrologicznych oraz trzech uczelni wyższych w ramach programu EMRP. Projekt trwał 36 miesięcy – od lipca 2013 do czerwca 2016 roku. Jednym z celów badawczych w ramach EMRP było doskonalenie metod wyznaczania współczynnika refrakcji atmosferycznej do obliczania poprawek do długości mierzonych dalmierzami w celu osiągnięcia dokładności na poziomie 10^{-7} D (0,1 mm/km) [1].

Badania z wykorzystaniem dalmierzy w ramach EMRP dotyczyły bazy Nummela Fińskiego Instytutu Geodezyjnego (FGI), opisanej powyżej bazy Neubiberg i bazy Politechniki w Brunshwiku (PTB) w Niemczech. Celem programu były również porównania wyników kalibracji na różnych bazach w Europie [2].

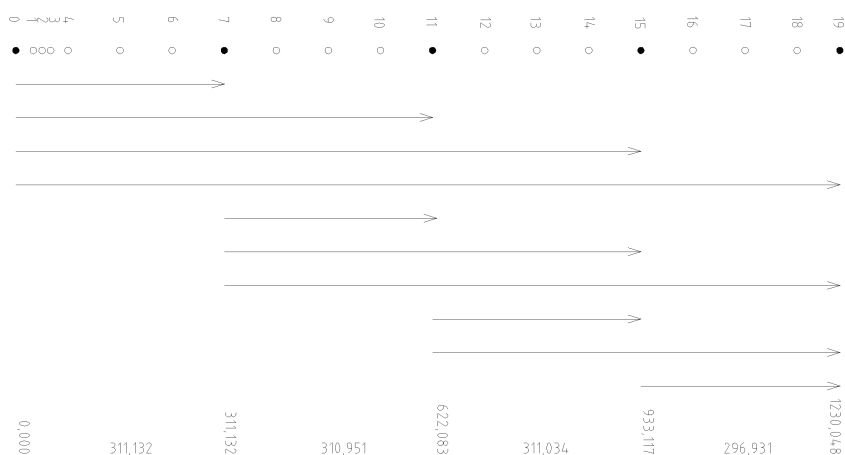
Jednym z zagadnień badawczych w ramach programu JRB SIB60 było: „*Aby lepiej zrozumieć niepewność pomiaru odległości z wykorzystaniem GNSS*”.

Kształtowanie się programu badawczego

W roku 2009 opracowano program obserwacji zintegrowanych na bazie „Wisła” obejmujących pomiary dalmierzami precyzyjnymi i odbiornikami GNSS. Pomiar metodą statyczną wektorów obejmujących wszystkie punkty jest nieekonomiczny i technicznie nieuzasadniony, po prostu pomiar trwałby zbyt długo. W celu zoptymalizowania pomiarów wybrano 5 punktów położonych w przybliżeniu w równych odległościach: 0, 7, 11, 15, 19 (rys.

2). Przyjęto długość sesji 1,5 godziny. Pierwsze pomiary w ramach programu obserwacji zintegrowanych zostały wykonane w kwietniu 2010 r.. We wszystkich kombinacjach pomierzono 10 wektorów co daje łącznie 15 godzin obserwacji. Równolegle wykonywano pomiar wszystkich punktów bazy dalmierzami precyzyjnymi (Di2002, TC2002, TS30).

Wstępne wyniki tych pomiarów zostały opisane w „*Reports of Geodesy*” [3].



Rys. 1.2. Program obserwacji długości metodą statyczną GNSS na wybranych punktach bazy „Wisła”

Pomiary GNSS wykonane w pierwszych cyklach pomiarowych wykorzystywano do porównania wyników z wyznaczeniami długości za pomocą dalmierzy precyzyjnych. Zdobyte doświadczenia zachęciły do kontynuowania prac i pozwoliły na sformułowanie tezy, że:

precyzyjne pomiary GNSS pozwalają na wyznaczenie skali bazy testowej z dokładnością poniżej 1 mm/km.

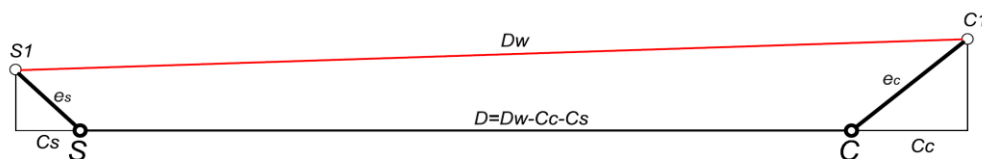
Uznano, że najlepsze warunki do pomiaru to kwiecień oraz październik/listopad ze względu na wyrównanie temperatury powietrza i gruntu.

Jako podstawową zasadę pomiaru i obliczeń długości bazy przyjęto eliminację błędów systematycznych zestawu pomiarowego: wpływu niecentryczności anten, niejednorodności charakterystyk anten oraz szcztkowych błędów centrowania mechanicznego.

Eliminacja szcztkowych błędów niecentryczności czynnych elementów anten względem punktu stosowana na na bazie Sveučilišta w Chorwacji (dwie sesje z obrotem anten o 180 stopni – rys. 1.3) została zastąpiona przez jednakowe ustawianie anten obu odbiorników w każdej sesji względem linii bazy i numeryczną eliminację składowej stałej c , która powstaje wskutek wspomnianej niecentryczności z wykorzystaniem metody Schwendenera (rys. 1.4).



Rys.1.3. Metoda eliminacji niecentryczności anten stosowana na bazie Sveučilišta [4]



Rys. 1.4. Metoda zastosowana w monografii: $c = c_s - c_c$

Stosowany model matematyczny wyrównania wektorów GNSS [5]

Równania poprawek:

$$D_{ij} + c + v_{ij} = (X_j + dX_j) - (X_i + dX_i)$$

$$v_{ij} = -c - dX_i + dX_j + X_j - X_i - D_{ij}$$

$$v_{ij} = -c - dX_i + dX_j + l_{ij}$$

gdzie:

v_{ij} – poprawka obserwacyjna długości (wektora),

X_i, X_j – odległości przybliżone do mierzonych punktów
odniesione do punktu początkowego „0”,

dX_i, dX_j – zmiany odległości obliczane jako niewiadome

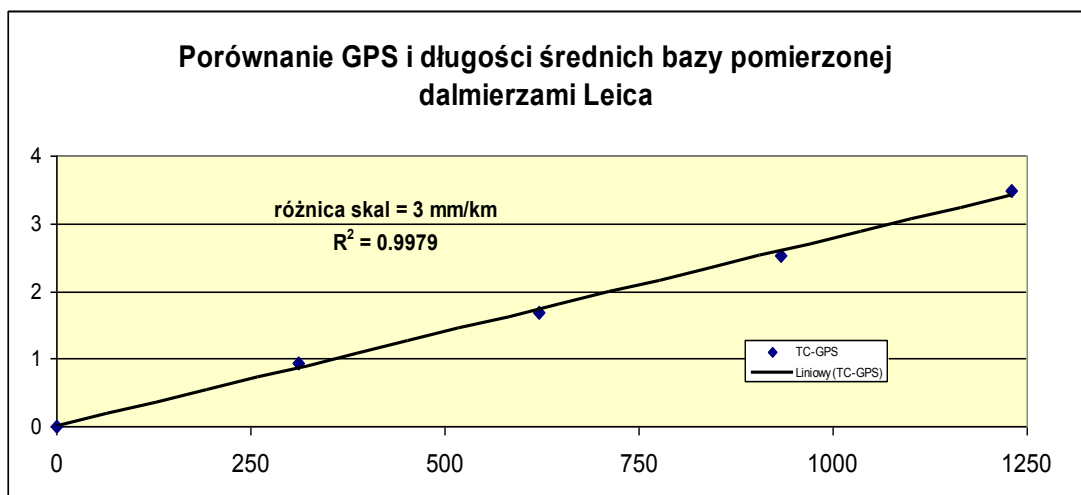
l_{ij} – wyraz wolny

Dla wektorów mierzonych z punktu początkowego „0” równania poprawek mają postać:

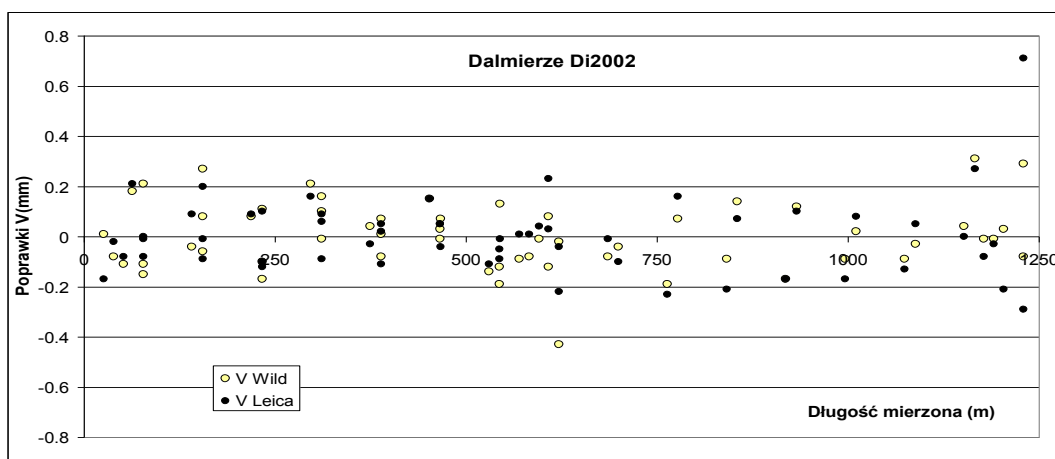
$$v_{ij} = -c + dX_j + l_{ij}$$

Powstaje sieć bazowa jednowymiarowa. Obliczane są długości bieżące bazy odniesione do punktu 0 (oś X wzdłuż bazy) oraz „stała składowa” c .

Po wykonaniu 4 cykli pomiarowych GNSS i równoczesnym pomiarze dalmierzami precyzyjnymi i porównaniu wyników wyznaczenia długości z obu metod stwierdzono różnicę skali długości rzędu 3 mm/km (rys. 1.5). Różnica ta wystąpiła mimo bardzo dobrej zgodności wewnętrznej pomiarów GNSS i dwoma dalmierzami Leica Di2002 (rys. 1.6). Dalsze badania polegały na poszukiwaniu przyczyn wystąpienia tej różnicy.



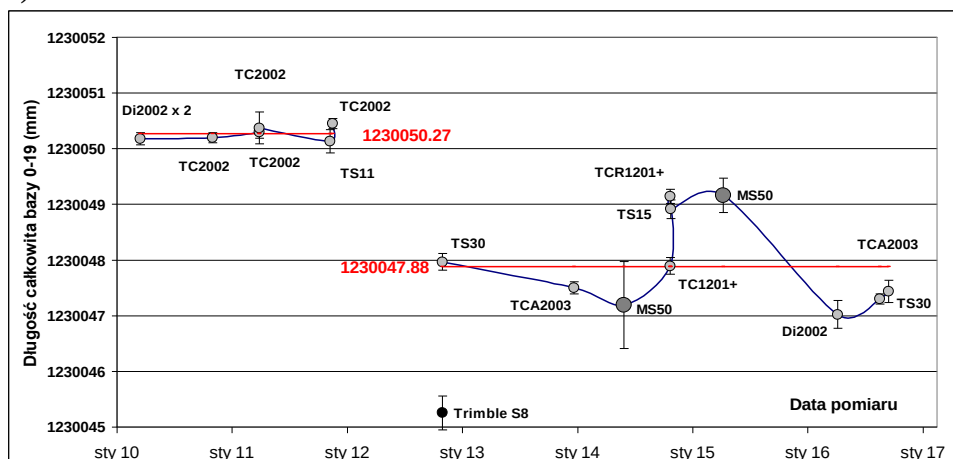
Rys. 1.5. Pomiar zestawem Topcon HiPer Pro (postprocessing w trybie Auto L1&L2) –
– dobra zgodność wewnętrzna pomiaru



Rys.1.6. Rozkład poprawek po wyrównaniu długości mierzonych dwoma dalmierzami Wild/Leica Di2002 (cykl 4.2010).

Dokładność pomiaru w warunkach polowych na poziomie $\pm 0,2$ mm to granica możliwości sprzętu i metod pomiarowych.

Analizując wyniki pomiaru dalmierzami w kolejnych cyklach można wysnuć wniosek, że coś zmieniło się w ustawieniach skali sprawdzanych dalmierzy. Prawdopodobnie firma Leica skorygowała swój (fabryczny) wzorzec długości do pomiarów uzyskanych metodą GNSS. Dalmierze Di2002 były produkowane w latach 1989-2001, TC2002 w latach 1990-1997. Dalmierze z serii TPS1200 to produkcja po roku 2008, TS30 – 2009, TS15 – 2011 i MS50 – 2013 rok. Oznacza to, że zmiana nastąpiła około roku 2008. Odstępstwo stanowi dalmierz w tachimetrze TS11 – prawdopodobnie był ustawiony w serwisie firmy Leica do dalmierza TC2002. Obie grupy dalmierzy w porównaniach wykorzystywano oddzielnie (rys. 1.7).



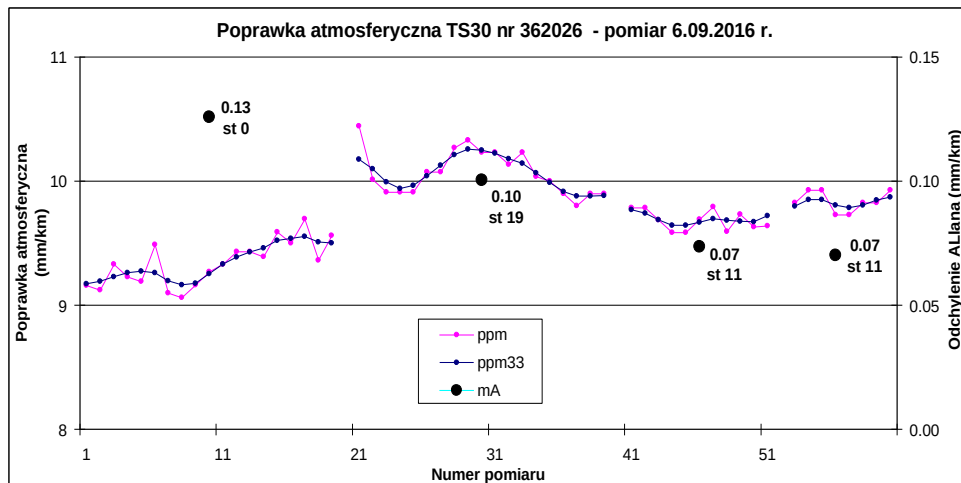
Rys. 1.7. Wykres wyznaczeń długości bazy z wykorzystaniem dalmierzy precyzyjnych – widoczne są dwie grupy dalmierzy różniące się skalą długości

Aby uzyskać wiarygodne długości bieżącej bazy z pomiaru dalmierzami i wykorzystać je później do porównania z pomiarami GNSS wykonano optymalizację procedury wprowadzania poprawki atmosferycznej długości. Uzyskano zmniejszenie się błędu średniego m_0 po wyrównaniu przez wygładzenie obliczonych wartości poprawek atmosferycznych metodą podwójnej średniej ruchomej o kroku $n=3$ (rys. 1.8). Do oceny zmian atmosfery (zmian poprawki atmosferycznej do długości) wykorzystano wariancję Allana – statystykę obliczaną na podstawie różnic r pomiędzy kolejnymi wartościami ppm_{atm} [6]. Pierwiastek z wariancji Allana to odchylenie Allana. Zauważono korelację pomiędzy wartością błędu średniego po wyrównaniu m_0 i odchyleniem m_A .

Wariancja Allana wyraża się wzorem:

$$m_A^2 = \frac{\sum_{i=2}^n r_i^2}{2(n-1)}$$

Przedstawiony sposób oceny stabilności atmosfery stanowi opracowanie autorskie.



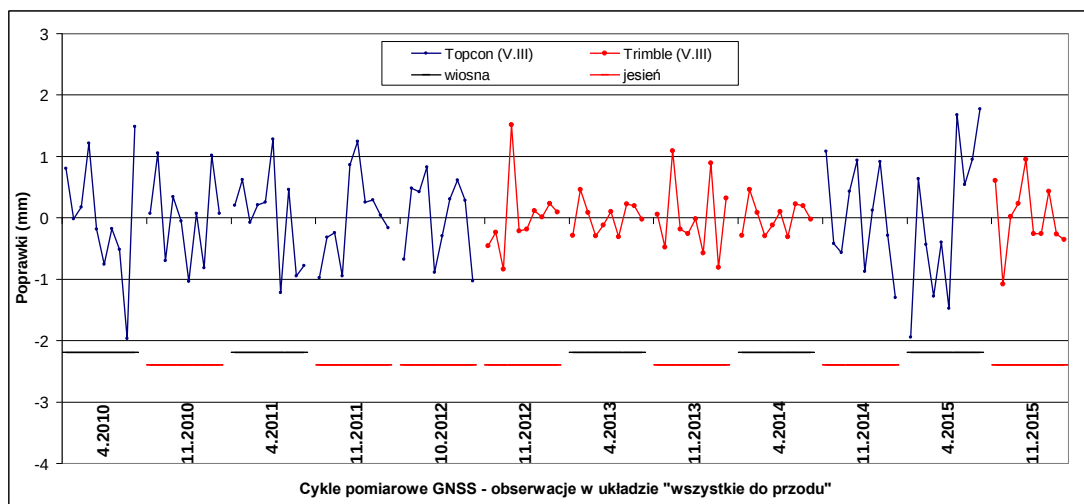
Rys. 1.8. Wykres wartości ppm_{atm} oraz odchylenia Allana liczonego dla stanowisk instrumentu

Ustalenie optymalnej procedury obliczeń długości bazy na podstawie pomiarów GNSS

Analizie poddano 12 cykli pomiarowych wykonanych w odstępach półrocznych. Pomiary wykonywano z wykorzystaniem odbiorników Topcon HiPerPro oraz Trimble SPS851. Wykonano obliczenia w 3 wariantach dla 12 cykli pomiarów GNSS (2010-2015):

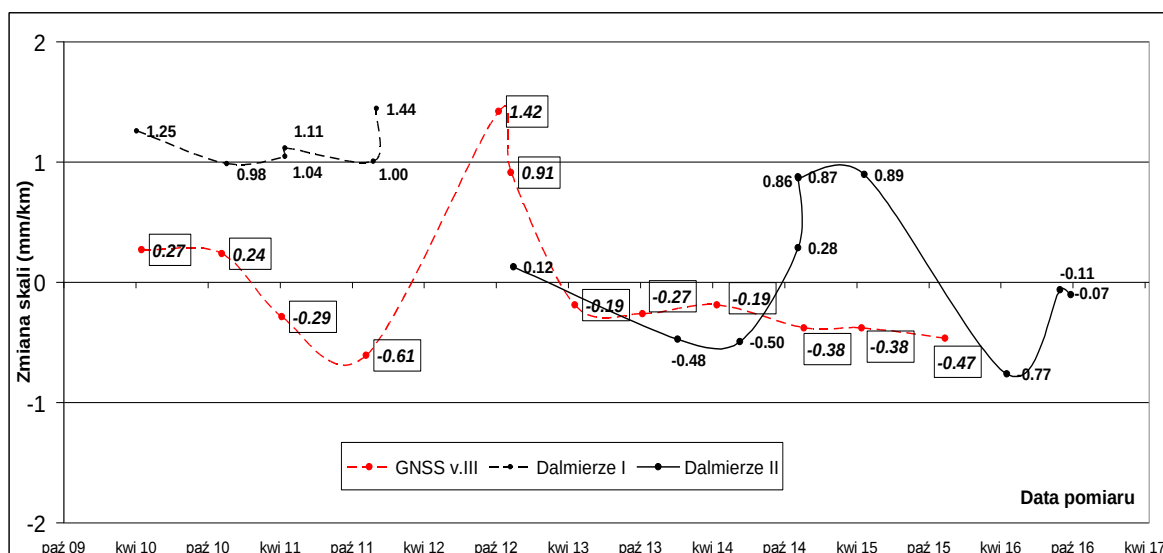
- I. Obliczenie cykli jako pojedynczych sieci
- II. Wyrównanie łączne dla wszystkich wektorów z wykonanych 12 cykli pomiarowych
- III. Wyrównanie łączne dla wszystkich wektorów z wykonanych 12 cykli pomiarowych z eliminacją składowej stałej dla każdego cyklu.

Jako ostateczny wybrano wariant III obliczeń (rys. 1.9).



Rys. 1.9. Poprawki do obserwacji w wariantcie III obliczeń – GNSS. Można zauważyć korzystny wpływ wykorzystania zestawu Trimble z anteną Zephyr Geodetic 2

Aby uwzględnić wpływ jonosfery jako ośrodka dyspersyjnego wybrano do obliczeń postprocessingu tryb **Fixed Iono Free** dostępny w programie Topcon Tools z dodatkiem Advanced Module – uzyskano w ten sposób zgodność skali z wynikami pomiaru dalmierzami z II grupy (rys. 1.10). Porównanie zmian skali wyznaczeń długości bazy GNSS i dalmierzami precyzyjnymi zawiera rysunek 1.10 i tabela 1.1. Największa różnica wynosi 0,49 mm dla punktu 15.



Rys. 1.10. Porównanie skali długości bazy dla pomiarów GNSS i dalmierzami

Zestawienie wyników wyznaczeń długości bazy

Tabela 1.1. Zestawienie długości mierzonych GNSS i dalmierzami precyzyjnymi

Nr pkt	Pomiary GNSS					Dalmierze II grupa	Różnice	
	L1&L2	IF v. I	Pomiary 0-19	IF V. II i III	Tylko GPS		Dalm- IFV.III	Auto- IFV.III
	milimetry							
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	311131,78	311131,96		311131,93	311131,95	311132,11	0,18	-0.15
11	622082,40	622083,03		622083,07	622083,14	622083,28	0,21	-0.67
15	933115,24	933116,50		933116,53	933116,54	933117,02	0,49	-1.29
19	1230046,05	1230047,79	1230047,95	1230047,88	1230047,74	1230047,88	0,00	-1.83
Różnica skali dk [mm] =							0.10	-1.56

Oznaczenia użyte w tabeli:

L1&L2 – obliczenia w trybie *Auto L1&L2*,

IF v.I – średnia z 12 cykli – obliczenia trybie *L1&L2 Fixed Iono Free*,

Pomiary 0-19 – średnia z wyznaczeń dodatkowych całej długości bazy 0-19,

IF V. II i III – wynik łącznego wyrównania wszystkich 12 cykli,

Tylko GPS – średnia długość z 12 cykli, w których wykorzystano tylko GPS.

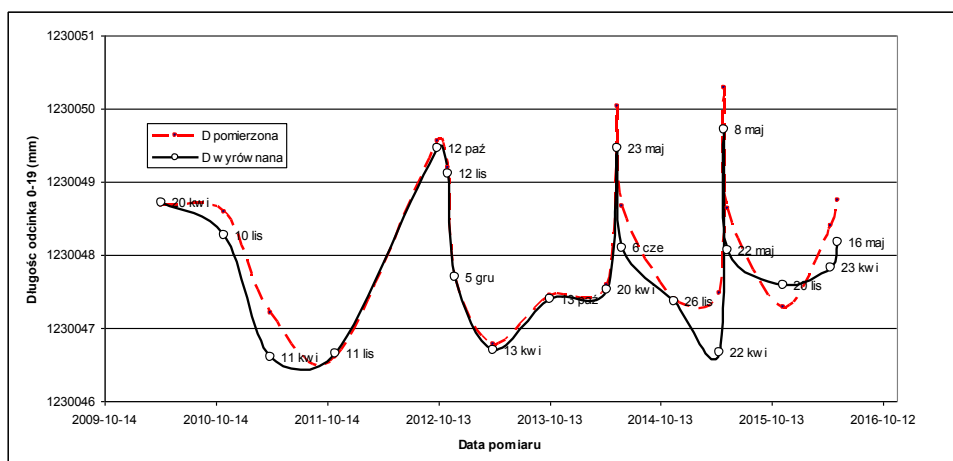
W trybie postprocessingu L1&L2 (bez uwzględnienia wpływu jonosfery) uzyskuje się krótsze długości o 1,56 mm/km, natomiast w trybie *L1&L2 Fixed Iono Free* różnica skali nie występuje. Oznacza to, że cel postawiony w tezie monografii został osiągnięty.

Stołość punktów bazy „Wisła”

Równoległe z analizą wyników wyznaczeń długości była wykonywana ocena stałości punktów bazy. Stwierdzono stałość punktów na poziomie $\pm 0,2$ mm – stanowi to podstawę do wykonywania innych testów. Dla oceny stałości punktów w kierunku poprzecznym do linii bazy lepsza okazała się metoda GNSS. Stałość punktów wzdłuż linii bazy należy analizować w oparciu o pomiar dalmierzami.

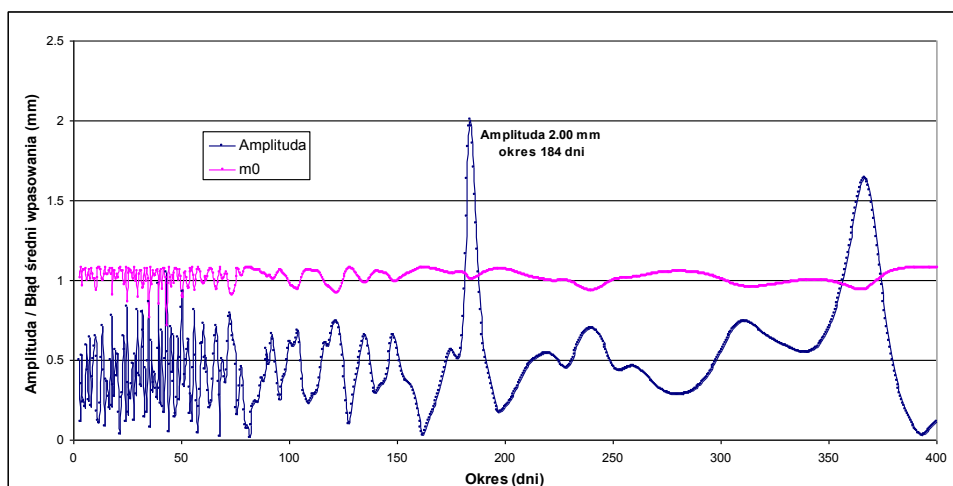
Porównanie wyznaczeń długości całkowitej bazy

Oprócz pełnych 12 cykli w ramach zajęć studenckich dodatkowo wykonano pomiary całej długości bazy (odcinek 0-19) z obrotem anten w połowie sesji (łącznie 7 sesji). Zauważono zgodności między pomiarami wykonanymi w odstępie 50 tygodni (prawie dokładnie rok) przy dużych różnicach długości wektorów mierzonych w odstępie kilku tygodni (rys. 1.11).

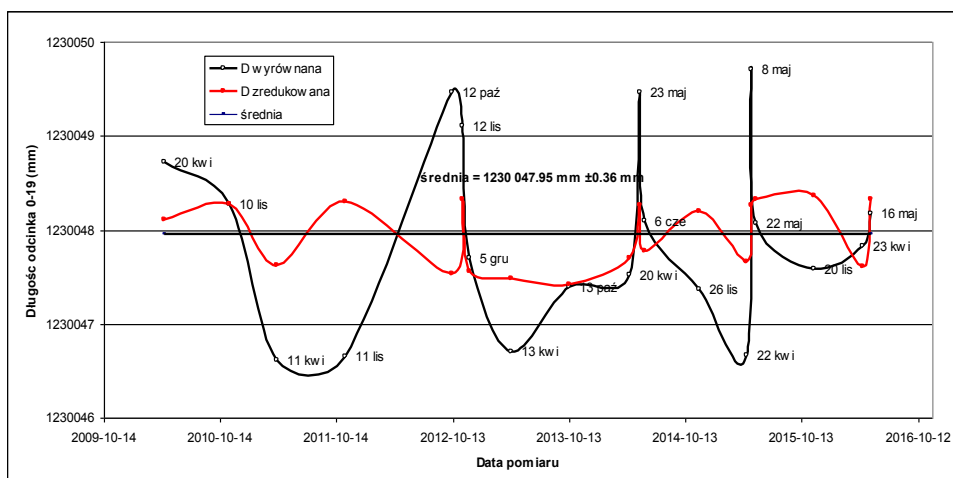


Rys. 1.11. Porównanie pomiarów odcinka 0-19 (cała długość bazy)

Poszukiwano źródła zaburzeń z wykorzystaniem metody LSSA (Least Square Spectral Analysis) [7]. Stwierdzono, że występuje błąd cykliczny o amplitudzie 2,0 mm i okresie 184 dni czyli pół roku (rys. 1.12).



Rys. 1.12. Periodogram poszukiwania zależności cyklicznych o wyznaczeniach długości bazy



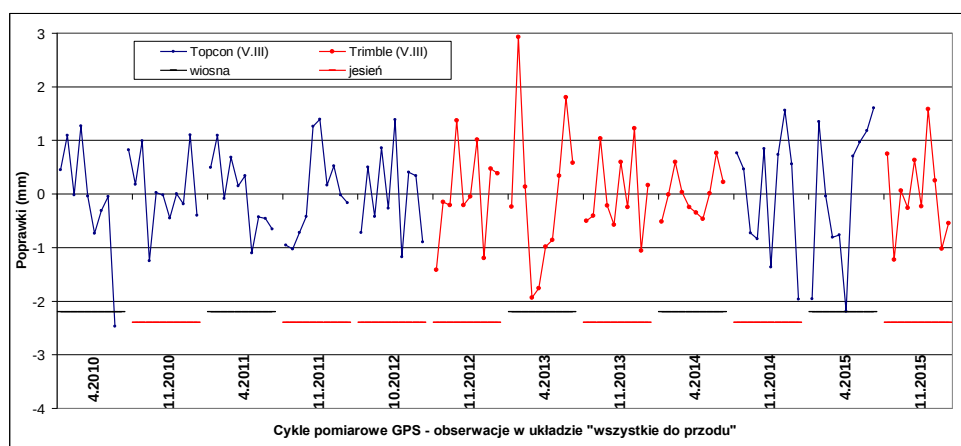
Rys. 1.13. Pasma różnic w stosunku do wartości średniej pierwotnie o szerokości $\pm 1,5$ mm po uwzględnieniu zaburzeń cyklicznych zmniejszyło się do $\pm 0,5$ mm

Pasma różnic w stosunku do wartości średniej pierwotnie o szerokości $\pm 1,5$ mm po uwzględnieniu zaburzeń cyklicznych zmniejszyło się do $\pm 0,5$ mm (rys.1.13). Do przedstawionej analizy należy podchodzić ostrożnie, ponieważ większość analizowanych długości była mierzona w okresach półrocznych.

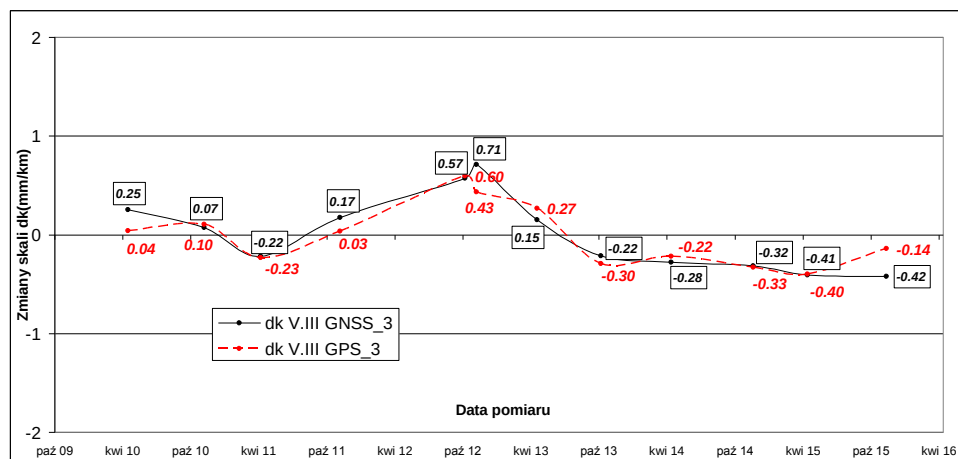
Obliczenia długości bazy tylko z wykorzystaniem tylko systemu GPS

W przypadku łącznego wykorzystania satelitów GPS i GLONASS lepsze wyniki uzyskano w pomiarze z zestawem Trimble SPS851 z anteną Zephyr Geodetic 2. W cyklu 4.2014 widać przewagę tego zestawu nad odbiornikami Topcon HiPer Pro; wyniki pozostałych cykli są podobne (rys. 1.14).

Jeżeli brano pod uwagę tylko obserwacje z satelitów systemu GPS nie widać wpływu konstrukcji anteny na ostateczne wyniki. Biorąc pod uwagę tylko cykle pomierzone zestawem Trimble uzyskano wartość odchylenia standardowego $\pm 0,91$ mm a dla zestawu Topcon $\pm 0,93$ mm.



Rys. 1.14. Wyrównanie obserwacji GPS z pominięciem satelitów Glonass – wariant III



Rys. 1.15. Porównanie zmian skali po uśrednieniu trzech kolejnych cykli obserwacji GPS+GLONASS oraz GPS – wariant III

Uśrednienie wyników z trzech kolejnych cykli daje wyjątkową zbieżność wyników – różnice skal nie przekraczają $0,3$ mm/km (rys. 1.15). Oznacza to, że właściwa ocena wyznaczenia skali długości bazy może być wykonana **po analizie wyników pomiaru przynajmniej trzech cykli**.

Podsumowanie i wnioski

- W monografii opisano możliwości skalowania bazy z wykorzystaniem metody statycznej GNSS. Postawiono tezę, że „**Precyzyjne pomiary GNSS pozwalają na wyznaczenie skali bazy testowej z dokładnością poniżej 1 mm/km**”. Doskonaląc warsztat naukowy, pomiarowy i obliczeniowy możemy zbliżyć się do tego celu asymptotycznie. W pracy [8] stwierdza się: „**Absolutna ocena odległości na otwartym powietrzu z dokładnością submilimetrową to wymagające zadanie**”. Jest to inaczej sformułowana teza niniejszej pracy.
- Wyniki skalowania w oparciu o pomiary GNSS były porównywane z wykonywanymi równoległe pomiarami dalmierzami precyzyjnymi. Położono duży nacisk na eliminację błędów mechanicznych przez dostosowanie pionowników do mocowania anten GNSS oraz przez odpowiednie wykonanie pomiaru w terenie. Na podstawie pomiarów wykonanych na bazie można stwierdzić, że **długoterminowa stabilność punktów bazy jest zachowana na poziomie $\pm 0,2$ mm**.
- Nowością w stosunku do podobnych prac wykonywanych za granicą w różnych ośrodkach badawczych i uniwersytetach technicznych jest **wyznaczenie długości bazy wyłącznie na podstawie pomiarów GNSS z eliminacją błędu systematycznego w postaci składowej stałej**.
- Porównanie wyników pomiaru GNSS z pomiarem dalmierzami pozwoliło wskazać optymalną metodę obliczenia postprocessingu. Wybrano opcję **L1&L2 Fixed IonoFree** w celu eliminacji wpływu opóźnienia jonosferycznego. Nieuwzględnienie wpływu jonosfery powoduje błąd skali długości bazy rzędu **1,6 mm/km** (długości są krótsze).
- Właściwa ocena wyznaczenia skali długości bazy może być wykonana po analizie wyników pomiaru przynajmniej trzech cykli pomiarów GNSS.
- Analiza pomiarów odcinka 0-19 czyli całej długości bazy z 12 pełnych cykli pomiarów GNSS oraz 7 dodatkowych pozwoliło wykryć zależność cykliczną obserwacji o okresie 184 dni i amplitudzie 2.0 mm dla całej długości bazy.

4.3. Literatura do opisu podstawowego osiągnięcia badawczego (monografii)

- [1] Publishable JRP Summary Report for JRP SIB60 Surveying Metrology for Long Distance Surveying. EURAMET – The European Association of National Metrology Institutes, www.euramet.org (data dostępu 17.04.2015)
- [2] Jorma J.: *Lenght in Geodesy – on Metrological Traceability of a Geospatial Measurand*. Publications of Finnish Geodetic Institute, No 154, Doctoral dissertation Kirkkonummi 2014
- [3] Szczutko T., Fukacz M., Buśko M.: *Application of precise distancers and GPS receivers for lenght determination and Krakow–located „Wisła” calibration baseline stability control*. Reports on Geodesy 2011, No. 1(90)
- [4] Solarić N., Solarić M., Barković D., Šoško N.: *Mogućnost nezavisne kontrole duljine kalibracijske baze s pomoću GPS-a*, Geodetski list 2008, vol. 62(85), No. 2, 67–82
- [5] Schwendener H.R.: *Electronic distancers for short ranges: accuracy and checking procedures*. Survey Review 1972, no. 164
- [6] Allan D.W.: *Should the Classical Variance Be Used as a Basic Measure in Standards Metrology?*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, IM-36, 1987, 646–654
- [7] Vaniček, P.: *Approximate spectral analysis by least-squares fit*. Astrophysics and Space Science 1969, 4 (4), 387–391
- [8] Baselga S., Luis García-Asenjo L., Garrigues P.: *Submillimetric GNSS distance determination: an account of the research at the Universitat Politècnica de València (UPV)*, 1st Workshop on Metrology for Long Distance Surveying Caparica, Portugal, 21st November 2014

5. Dodatkowe osiągnięcia naukowe

5.1. Projekty baz do testowania dalmierzy elektrooptycznych

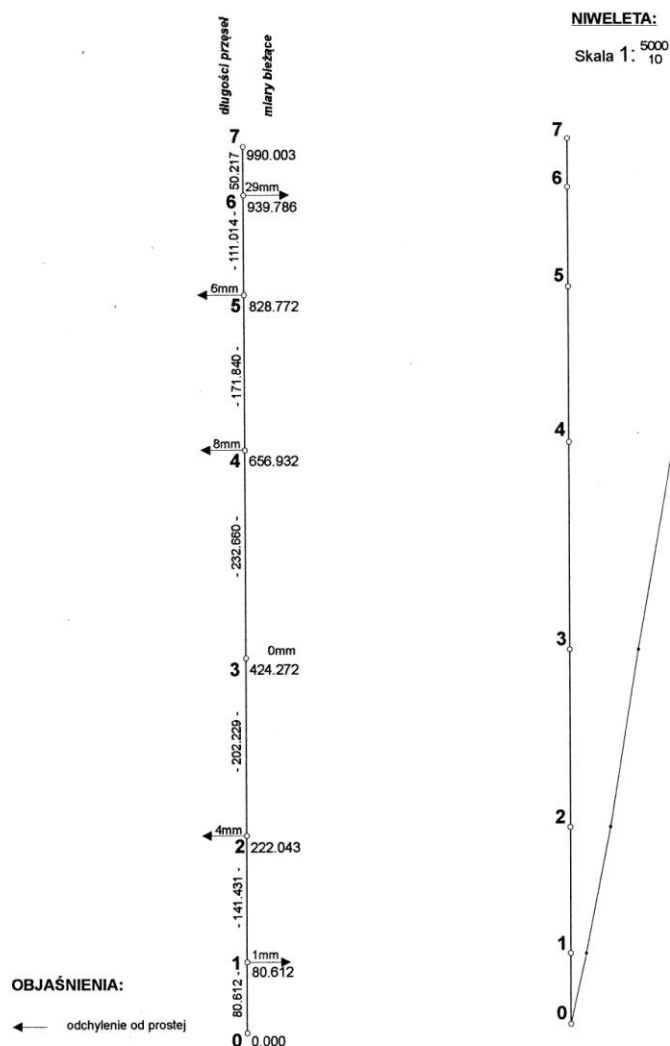
Zgodnie z ustawą z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki rozdział 2 art. 16 ust. 2 pkt 2) jako „**zrealizowane oryginalne osiągnięcie projektowe, konstrukcyjne, technologiczne**” jako uzupełnienie podstawowego osiągnięcia naukowego przedstawiam trzy projekty dotyczące realizacji baz do testowania dalmierzy elektrooptycznych:

1. „Opracowanie założeń technicznych i projektu budowy komparatora polowego na terenie LGOM”.

Komparator polowy to zamienne określenie terenowej bazy testowej. **Projekt komparatora został wykonany w całości przez autora w listopadzie 1994 roku w ramach zlecenia złożonego na AGH przez Kombinat Górniczo-Hutniczy Miedzi nr 5.150.247 w oparciu o ówczesny stan wiedzy i badań naukowych w zakresie metrologii geodezyjnej.** Obiekt został wybudowany w 1995 r. a oddany do użytkowania w dniu 27 września 1996 r.. Nadzór nad wykonaniem słupów bazowych oraz obsługę geodezyjną wykonywało Okręgowe Przedsiębiorstwo Geodezyjno-Kartograficzne we Wrocławiu. Baza została zbudowana dla potrzeb obsługi prac geodezyjnych wykonywanych na terenie Kombinatu Górniczo-Hutniczego Miedzi „Polska Miedź” w Lubinie. Pomiaru osnów geodezyjnych, pomiary realizacyjne, pomiary odkształceń a także stosowanie sprzętu kupowanego w różnym czasie spowodowało podjęcie decyzji o budowie bazy do komparacji dalmierzy elektrooptycznych. Na etapie wstępnym rozważano budowę bazy na skraju lotniska w Legnicy opuszczonego wcześniej przez wojska radzieckie. Ostatecznie obiekt został zlokalizowany w miejscowości Lubów, gmina Jemielno w powiecie górowskim należącym do województwa dolnośląskiego.

Projekt bazy zakładał wykorzystanie półki na prawym wale przeciwpowodziowym rzeki Odry, na której kiedyś były ułożone tory kolejowe. Wzdłuż wału biegnie droga wojewódzka nr 333. Droga ta umożliwia wygodny transport sprzętu podczas wykonywania pomiarów na bazie. Na odcinku 990 m zaprojektowano 8 słupów (numery 0 - 7), co pozwala pomierzyć we wszystkich kombinacjach 28 długości. Rozstaw słupów obliczono według tak, aby uzyskać równomierne rozłożenie mierzonych długości wzdłuż linii bazy (rys. 2.1). Do stabilizacji słupów pomiarowych wykorzystano odcinki rury ciepłowniczej o średnicy 500 mm składającej się z wewnętrznej rury stalowej, pianki izolacyjnej oraz osłony zewnętrznej z twardego PCV. Zastosowanie zespolonej rury ciepłowniczej pozwoliło na eleganckie rozwiązanie problemu izolacji termicznej, przez co zwiększa się stabilność punktów bazy, zarówno krótkookresowa (w ciągu dnia) jak i długookresowa (w różnych porach roku). Ze względu na średnicę rury zrezygnowano z wiercenia otworu w gruncie, na rzecz wykonania typowej stopy fundamentowej, która w całości znajduje się poniżej poziomu przemarzania gruntu. Zamiast płyty z otworem centrującym przewidzianej pierwotnie w projekcie zastosowano płytę ze śrubą umożliwiającą zakręcenie typowych spodarek systemu Wild/Leica (rys. 2.2).

SZKIC POWYKONAWCZY KOMPARATORA



Rys. 2.1. Rozmieszczenie słupów, wychylenia poprzecznie i niweleta bazy KGHM
(źródło: OPGK Wrocław 1995)

Poprawność projektu stabilizacja słupów pomiarowych bazy została potwierdzona dokładnie w rok po oddaniu jej do użytku. Powódź w roku 1997, największa od roku 1903 spowodowała przelanie się wody przez koronę wału tak, że słupy bazowe zostały zalane do połowy wysokości. Porównanie pomiaru wykonanego przez OPGK Wrocław po opadnięciu wód z pomiarem wykonanym przed powodzią przez IGiK Warszawa wykazał maksymalną różnicę 1,1 mm na najdłuższym przęśle. Oznacza to, że wylew Odry pozostał bez wpływu na stan bazy testowej.

Baza jest cały czas wykorzystywana do komparacji dalmierzy jako Regionalna Baza Długościowa. Stan bazy na wiosnę 2003 przedstawia rysunek 2.3.



Rys. 2.2. Teodolit elektroniczny Leica T1600
z nasadką Di2000 na słupie bazy KGHM
(zdjęcie wykonane przez autora podczas oddania bazy
do użytku – 27.06.1996 r.)



Rys. 2.3. Baza KGHM w Lubowie widok od punktu 4 w kierunku północnym
(foto: Grzegorz Kurpiński KGHM Cuprum)

Załącznik 2.2.

Opracowanie założeń technicznych i projektu budowy komparatora polowego na terenie LGOM

2. Projekt bazy testowej przeznaczonej do celów dydaktycznych na terenie Wyższej Szkoły Biznesu i Przedsiębiorczości w Ostrowcu Świętokrzyskim.

Baza jest przeznaczona dla potrzeb studiów I stopnia (inżynierskich) na kierunku Geodezja i Kartografia realizowanych w WSBiP od roku 2004. Sprzęt pomiarowy dla studentów był nabywany w miarę posiadanych przez uczelnię środków w ciągu kilku lat. Dodatkowo na praktyki wakacyjne sprzęt wypożyczano od zaprzyjaźnionych dostawców sprzętu geodezyjnego, zwłaszcza od firmy „Instrumenty Geodezyjne Tadeusz Nadowski” z Tychów i TPI Oddział Kraków. Oznacza to że w użytkowaniu studentów znajdują się tachimetry różnych firm z różnymi do nich reflektorami. Obecnie uczelnia posiada pięć tachimetrów:

- Topcon GPT-3005LN i GTS-105N
- Carl Zeiss Elta R55
- Sokia SET 610K
- Leica TS02/7”

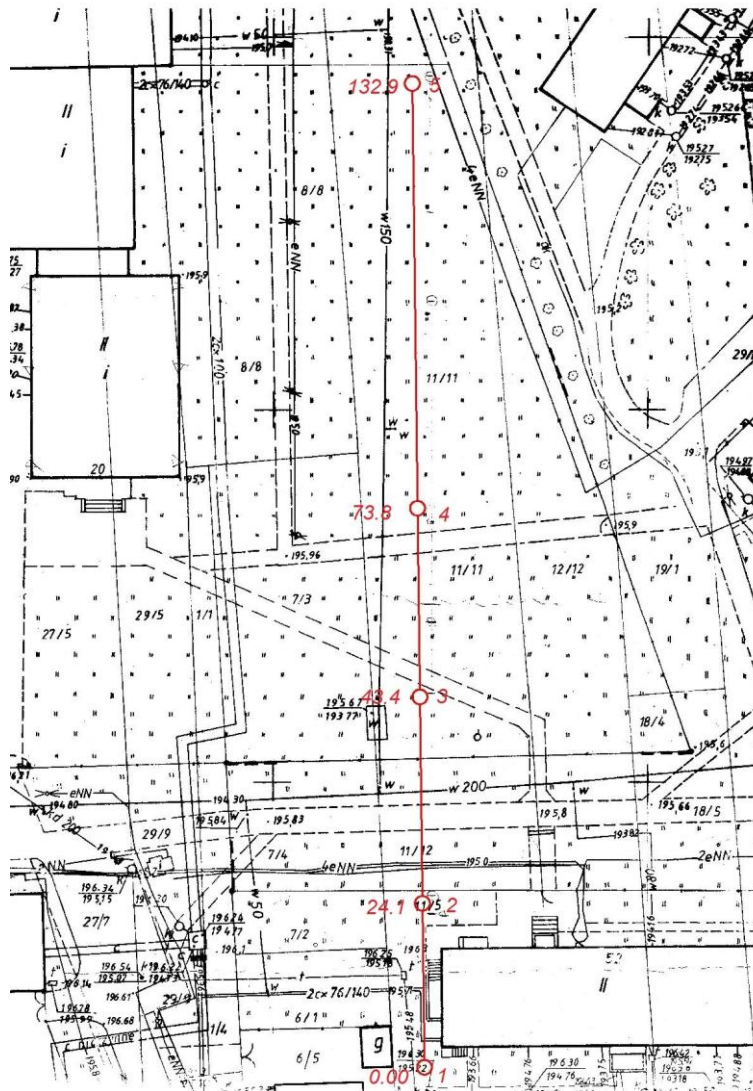
Przed przystąpieniem do pomiaru należy sprawdzić, czy stała dodawania dalmierza w tachimetrze jest ustawiona prawidłowo. W przypadku posiadania tachimetru i reflektorów jednej firmy dla wykonywania pomiarów tachimetrycznych i podobnych wystarcza wprowadzenie do pamięci dalmierza jednego typu reflektora, natomiast w przypadku dalmierzy i reflektorów różnych firm mogą wystąpić omyłki w ustawieniach stałych zestawu powodujące duże błędy systematyczne.

Podstawowym celem budowy bazy było jej wykorzystanie do celów dydaktycznych. Punkty początkowe bazy są usytuowane tuż przy wyjściu z pomieszczenia instrumentarium (rys. 2.4), tak aby studenci przed przystąpieniem do pomiaru mogli sprawdzić stałą dodawania zestawu.

Przewiduje się dwa tryby sprawdzania stałych dalmierzy:

- na I roku a także przed zajęciami z przedmiotu „geodezja inżynierska” na roku III przez porównanie mierzonej długości z podaną długością wzorcową odcinka,
- na II roku w ramach przedmiotu „elektroniczna technika pomiarowa”, przez pomiar długości we wszystkich kombinacjach.

Tyczenie wykonano w oparciu o sporządzony wcześniej projekt, ustalając położenie linii bazy równoległe do zachodniej ściany bloku A (budynek administracyjny WSBiP).



Rys. 2.4. Projekt wstępny bazy WSBiP

Stopy fundamentowe wykonano w grudniu 2010 roku, a w marcu 2011 wykonano zbrojone słupy betonowe w szalunkach kartonowych o średnicy 250 mm, a w kwietniu zamontowano głowice w postaci płyt stalowych o średnicy 150 mm z nagwintowanym trzpieniem umożliwiającym zakręcenie spodarek typu Wild (rys. 2.5 i 2.6).



Rys. 2.5. Stopa fundamentowa i słup w szalunku kartonowym



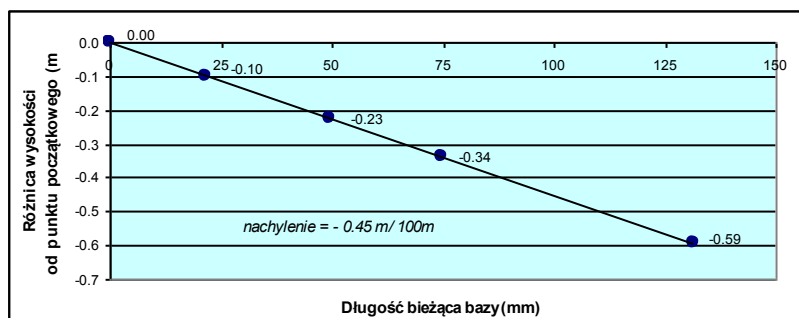
Rys. 2.6. Słup bazy po zdjęciu szalunku i wykończony

Pierwszy pomiar wyznaczający długości odcinków bazy wykonano za pomocą dalmierza precyzyjnego Wild Di2002 nr 180231 (nasadka na teodolicie Wild T2002 nr 346328) z wykorzystaniem reflektora precyzyjnego GPH1AP w dniu 14.06.2011 r.. Wyrównane długości poziome bazy odniesione do punktu początkowego podane są w tabeli 2.1.

Tabela 2.1. Długości poziome bazy i wysokości względne

Numer punktu	Odległość [mm]	Błąd średni wyznaczenia [mm]	Wysokość od punktu „1” [mm]
1	0.00		0
2	21679.03	0.04	-100
3	49411.17	0.05	-225
4	74709.06	0.06	-336
5	131720.28	0.07	-591

Ponieważ teren wokół budynków WSBiP jest lekko nachylony, dlatego niweleta bazy jest równoległa do jego powierzchni i nachylona 0.45m/100m czyli 0.45% (rys. 2.7). Wysokość słupów umożliwia wygodne wykonanie ćwiczeń studenckich.



Rys. 2.7. Wysokości względne i nachylenie linii bazy

Obliczona stała dodawania zestawu jest zbliżona do wartości pochodzących z innych wyznaczeń dla tego zestawu, to jest na polowej bazie testowej „Wisła” oraz łamanej bazie laboratoryjnej w Geodezyjnym Laboratorium Metrologicznym należących do AGH (tab. 2.2) [2]. Potwierdza to poprawność wykonania pomiaru i obliczeń długości oraz przydatność bazy do wyznaczania stałej dodawania. Ze względu na ograniczoną długość baza nie umożliwia wyznaczenia poprawki skali dalmierza.

Tabela 2.2. Porównanie wyznaczeń stałej dodawania zestawu Di2002-GPH1AP

Dalmierz Wild Di2002 nr 180231	Baza testowa „Wisła“ AGH	Baza łamana GLM AGH	Baza WSBiP Ostrowiec
Stała dodawania [mm]	- 0.56	- 0.41	-0.51
Błąd wyznaczenia stałej [mm]	±0.04	±0.07	±0.04
Data wyznaczenia	04.2010	04.2010	06.2011



Rys. 2.8. Widok linii bazy i pomiar na stanowisku – tachimetr Sokkia Net05 – obsługuje T. Szczutko

Oprócz sprawdzania dalmierzy baza może służyć do innych celów dydaktycznych:

- sprawdzenie i rektyfikacja błędów instrumentalnych teodolitów i tachimetrów (błąd indeksu, kolimacji, kompensatora),
- wykorzystanie jako punkty osnowy pomiarowej lub realizacyjnej,
- wykorzystanie punktu środkowego nr 3 o najbardziej otwartym horyzoncie jako stanowiska bazy w metodzie GPS-RTK.

Moja rola w realizacji obiektu polegała na opracowaniu koncepcji lokalizacji bazy, obliczeniu rozstawu, projekcie słupa obserwacyjnego i późniejszym wyznaczeniu długości wzorcowych. Tyczenie i nadzór nad budową sprawował dr inż. Łukasz Śliwiński.

Załącznik 2.2 i 2.3:

SZCZUTKO, T., KRZYŻEK, R.: **Projekt bazy testowej do wyznaczania stałej dodawania zestawu „dalmierz–reflektor” na terenie Wyższej Szkoły Biznesu i Przedsiębiorczości w Ostrowcu Świętokrzyskim.** Acta Scientifica Academiae Ostroviensis. Zeszyt 35-36, Ostrowiec Św. 2011. ISSN 1506-2864. Str. 67-75.

Udziały: Tadeusz Szczutko 70% (koncepcja i obliczenia, sporządzenie wykresów, redakcja artykułu), Robert Krzyżek 30% (dołączone oświadczenie współautora)

3. Opracowanie bazy łamanej w Geodezyjnym Laboratorium Metrologicznym Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie.

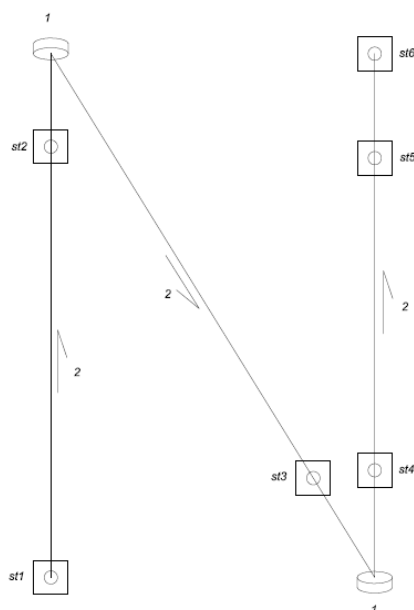
Baza „Wisła” opisana w monografii autorskiej oraz baza KGHM wymieniona w punkcie 1 umożliwiają łączne wyznaczenie stałej dodawania i poprawki skali zestawu „dalmierz-reflektor”. Baza dydaktyczna w Ostrowcu Świętokrzyskim umożliwia wyznaczenie tylko stałej dodawania przez porównanie długości lub pomiar w kombinacjach.

W celu szybkiego sprawdzenia stałej dodawania zestawu w pomieszczeniu Geodezyjnego Laboratorium Metrologicznego na podstawie koncepcji zawartej w publikacji [1] i opracowaniu [2] opracowano bazę łamaną do porównań z wynikami wyznaczeń stałej dodawania na bazie testowej „Wisła”. Baza łamana jest bazą niemetryczną, w której nie wyznacza się długości wzorcowych natomiast stałą dodawania oblicza się z pomiaru w kombinacjach.

Pierwsza baza łamana wykorzystywała pomieszczenie w piwnicy pawilonu C-4 AGH o długości 45 m oraz istniejące murowane słupy obserwacyjne. Zastosowano dwa zwierciadła odbijające trzykrotnie powielając długość pomieszczenia. Wykorzystując 6 punktów bazy (5 stanowisk na słupach oraz punkt końcowy na ścianie) we wszystkich kombinacjach mierzono 15 długości (rys. 2.9).

W celu uzyskania nieznieskształconych odbić zastosowano zwierciadła ze szkła o grubości kilku centymetrów, o zewnętrznej powierzchni odbijającej, pochodzące z zestawów autokolimacyjnych.

Baza łamana w GLM i baza „Wisła” posiadają jedną wspólną cechę: jako urządzenia do wymuszonego centrowania wykorzystano głowice firmy „Kern” umożliwiające uzyskanie dokładności centrowania rzędu $\pm 0,05$ mm. Zastosowanie jednej pary spodarek przejściowych GDF22 „Kern-Wild” pozwala tę dokładność utrzymać. Na bazie KGHM i bazie dydaktycznej w Ostrowcu Świętokrzyskim przewidziano możliwość zakręcenia spodarek Leica, gdzie wynikowa dokładność centrowania wynosi $\pm 0,3$ mm.



Nr punktu	Odległość mierzona od punktu 0 [mm]
0	0.00
1	34834.0
2	83435.2
3	101916.4
4	121212.8
5	130118.7

Rys. 2.9. Baza łamana do wyznaczania stałej dodawania w GLM [3]

Wyznaczona kontrolnie stała dodawania dalmierza precyzyjnego **Trimble S8 High Precision** na bazie łamanej w trybie **Standard** wynosi $c = -34,61 \text{ mm} \pm 0,27 \text{ mm}$, a na polowej bazie testowej „Wisła” $c = -34,57 \text{ mm} \pm 0,30 \text{ mm}$. Przykład ten świadczy o pełnej przydatności bazy łamanej do wyznaczania stałej dodawania [3].

Po remoncie pawilonu C-4 pomieszczenie laboratorium skrócono do 17 m. W nowej wersji bazy łamanej zastosowano trzy zwierciadła płaskie powielając długość pomieszczenia czterokrotnie. Baza w obecnej formie składa się z 5 punktów umożliwiając pomiar w kombinacjach 10 długości. Najdłuższa mierzona długość wynosi 62,2 m.

Własności użytkowe istniejącej bazy łamanej w stosunku do poprzedniej nie zmieniły się w sposób istotny dla uzyskiwanych wyników.

Zebrane dane pomiarowe i wykonane obliczenia nadają się do opracowania naukowego.

Mój udział w opracowaniu baz łamanych wynosi 100%

Literatura do pkt 3

1. KHALIL R. (2005) *New Compact Method for Laboratory Testing EDM Instruments*. FIG Working Week 2005 Cairo, Egypt April 16-21, 2005
2. JANUSZ J., JANUSZ W. (2001) *Łamana baza długości do komparacji dalmierzy elektromagnetycznych*, Prace IGiK - zeszyt 103 tom XLVIII.
3. JANUS P., GRECZEK J. *Technologie kalibracji dalmierzy precyzyjnych firmy Trimble*. Praca magisterska AGH 2010. Promotor Tadeusz Szczutko

Tadeusz
23.08.2018r.