

AUTOREFERAT

dotyczący osiągnięć w pracy naukowo – badawczej,
organizacyjnej i dydaktycznej

Olsztyn 2016



Spis treści

1. Imię i Nazwisko	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe	3
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych	3
4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego 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.)	3
4.1 Tytuł osiągnięcia naukowego	3
4.2 Autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa	4
4.3. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania	6
4.3.1 Wprowadzenie	6
4.3.2. Algorytm korekty obserwacji GPS ze względu na zmienność położenia centrum fazowego anteny	8
4.3.3. Analizy wpływu modelu zmienności położenia centrum fazowego anteny na wyznaczone wysokości w sub-dobowych obserwacjach GPS	12
4.3.4. Modelowanie zmienności położenia centrum fazowego anteny w rozwiązaniach GPS/GLONASS	13
4.3.5. Sygnały okresowe w szeregach czasowych współrzędnych rozwiązań GPS i GLONASS zależne od modelu zmienności położenia centrum fazowego anteny	14
4.3.6. Podsumowanie i perspektywy badawcze	22
4.3.7. Bibliografia	25
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych, dydaktycznych i organizacyjnych	27
5.1. Krótki komentarz do prac badawczych spoza tematyki dotyczącej monotematycznego cyklu publikacji	27
5.2. Wskaźniki	28
5.3. Udział w naukowych projektach badawczych	31
5.4. Prezentacje na krajowych lub międzynarodowych konferencjach tematycznych	31
5.5. Prezentacje na seminariach naukowych	33
5.6. Recenzowanie publikacji w czasopismach naukowych	33
5.7. Redakcja czasopism i monografii naukowych	34
5.8. Osiągnięcia dydaktyczne	34
5.9. Ukończone staże, szkolenia oraz studia podyplomowe	35
5.10. Prowadzone szkolenia	35
5.11. Współpraca międzynarodowa	35
5.12. Członkostwo w organizacjach i komitetach redakcyjnych	36
5.13. Organizacja konferencji i seminariów naukowych	36
5.14. Pozostała działalność organizacyjna na uczelni	37



1. Imię i Nazwisko

Karol Dawidowicz

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe

a) Tytuł magistra inżyniera Nauk Technicznych w zakresie Geodezji i Kartografii nadany przez Radę Wydziału Geodezji i Urządzeń Rolnych, Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie, dn. 30.06.1993 r.

Praca magisterska na temat: *Analiza wyznaczenia współrzędnych sieci OLMAXI.*

Promotor: dr inż. Jacek Lamparski (Akademia Rolniczo-Techniczna).

Recenzent: prof. zw. dr hab. inż. Lubomir W. Baran (Akademia Rolniczo-Techniczna).

b) Tytuł doktora Nauk Technicznych w zakresie Geodezji i Kartografii nadany przez Radę Wydziału Geodezji i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, dn. 27.11.2001 r.

Rozprawa doktorska na temat: *Wyznaczanie wysokości punktów z wykorzystaniem obserwacji GPS.*

Promotor: prof. dr hab. inż. Krzysztof Świętek (Uniwersytet Warmińsko-Mazurski).

Recenzenci:

prof. zw. dr hab. inż. Lubomir W. Baran (Uniwersytet Warmińsko-Mazurski),

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

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

a) 1993-2002, Akademia Rolniczo-Techniczna w Olsztynie (od 1999 Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie) na stanowisku asystenta,

b) od 2002, Uniwersytet Warmińsko Mazurski w Olsztynie na stanowisku adiunkta.

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego 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.)

4.1 Tytuł osiągnięcia naukowego

Jednotematyczny cykl publikacji nt.: *Zastosowanie sub-dobowych rozwiązań GNSS do badania wpływu modelowania zmienności położenia centrum fazowego anteny odbiorczej na pozycjonowanie.*



4.2 Autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa

Wkład w rozwój dyscypliny poszczególnych pozycji przedstawionego cyklu publikacji oraz udział procentowy wnioskodawcy w jej przygotowaniu:

[R1] Dawidowicz K., 2010, *Antenna phase center variations corrections in processing of GPS observations with use of commercial software*, Technical Sciences, 13: 120-132, DOI: 10.2478/v10022-010-0012-9 [czasopismo z list B Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, 4 pkt]

Udział procentowy wnioskodawcy: 100%

W pracy przedstawiono propozycję procedury wprowadzania poprawek ze względu na zmienności położenia centrum fazowego anteny odbiorczej do obserwacji kodowych i fazowych w oparciu o plik ANTEX oraz pliki obserwacyjne i nawigacyjne RINEX. Analizy empiryczne wykonane z wykorzystaniem danych GPS zebranych z uwzględnieniem różnych typów anten wykazały, że zaproponowana procedura może być z powodzeniem stosowana w oprogramowaniu komercyjnym, nie zawierającym algorytmów takiej korekcji. Procedura może również służyć do weryfikacji tych algorytmów w oprogramowaniu, gdzie brak szczegółowej specyfikacji zastosowanych wzorów.

[R2] Dawidowicz K., 2011, *Comparison of using relative and absolute PCV corrections in short baseline GNSS observation processing*, Artificial Satellites, 46(1): 19-31, DOI: 10.2478/v10018-011-0009-z [czasopismo z list B Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, 6 pkt.]

Udział procentowy wnioskodawcy: 100%

W pracy poruszono problem opracowania obserwacji GPS z wykorzystaniem różnych modeli poprawek ze względu na zmienności położenia centrum fazowego anteny. Dotychczasowe badania w tym zakresie prowadzone były głównie w dużych sieciach stacji permanentnych, gdzie standardem opracowania obserwacji są rozwiązania w oknach dobowych. W takim podejściu wpływy niektórych efektów mogą nie uwidocznić się w końcowych wynikach.

W celu analiz sub-dobowych efektów, związanych z wykorzystaniem różnych modeli poprawek ze względu na zmienności położenia centrum fazowego anteny, zaproponowano prowadzenie analogicznych opracowań z wykorzystaniem krótkookresowych rozwiązań GPS. Takie opracowania mogą być podstawą do analiz sub-dobowych sygnałów w szeregach czasowych otrzymanych rozwiązań.

[R3] Dawidowicz K., 2013, *Impact of different GNSS antenna calibration models on height determination in the ASG-EUPOS network: a case study*, Survey Review, 45(332): 386 – 394, DOI: 10.1179/1752270613Y.0000000043 [czasopismo z list A Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, IF 0.577, 15 pkt]

Udział procentowy wnioskodawcy: 100%



W artykule przedstawiono wyniki analiz związanych z określeniem wpływu wykorzystania różnych modeli zmienności położenia centrum fazowego anteny, na wyznaczenie składowej pionowej pozycji, w pomiarach realizowanych w oparciu o sieć ASG-EUPOS.

Analizę sub-dobowych sygnałów, w szeregach czasowych otrzymanych różnic składowej pionowej pozycji, przeprowadzono zarówno dla jedno-częstotliwościowych, jak również dwu-częstotliwościowych rozwiązań GPS.

[R4] Dawidowicz K., 2014, *Analyzing the impact of different PCV calibration models on height determination using GPS/GLONASS observations from ASG-EUPOS network*, *Artificial Satellites*, 49(4): 211-223, DOI: 10.2478/arsa-2014-0016 [czasopismo z list B Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, 8 pkt.]

Udział procentowy wnioskodawcy: 100%

W pracy poruszono problem łącznego opracowania obserwacji GPS i GLONASS z wykorzystaniem różnych modeli poprawek ze względu na zmienności położenia centrum fazowego anteny. W takim opracowywaniu można spodziewać się pewnych komplikacji, wynikających z różnej struktury sygnałów, z różnic w konstelacji satelitów oraz z utrudnień w modelowaniu zmienności położenia centrum fazowego anteny dla sygnałów GLONASS.

W artykule przeprowadzono analizę sub-dobowych sygnałów, w szeregach czasowych otrzymanych rozwiązań, zarówno dla jedno-częstotliwościowych jak również dwu-częstotliwościowych opracowań GPS i GPS/GLONASS.

[R5] Dawidowicz K., Krzan G., 2016, *Periodic signals in a pseudo-kinematic GPS coordinate time series depending on the antenna phase center model - TRM55971.00 TZGD antenna case study*, *Survey Review*, wersja cyfrowa dostępna na: <http://www.tandfonline.com/doi/full>, DOI: 10.1080/00396265.2016.1166688 [czasopismo z list A Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, IF 0.573, 15 pkt.]

Udział procentowy wnioskodawcy: 80%

- Pomysł i przygotowanie wstępnych założeń.
- Przeprowadzenie obliczeń.
- Analiza wyników i wyciągnięcie wniosków.

Artykuł zawiera wyniki analiz empirycznych, różnic składowych pozycji, uzyskanych w pseudo-kinematycznym (15 minutowe okna obserwacyjne) opracowaniu obserwacji GPS z wykorzystaniem absolutnych indywidualnych i absolutnych średnich (igs08.atx) modeli kalibracyjnych anten. Składowe pozycje wyprowadzono z wykorzystaniem techniki Precyzyjnego Pozycjonowania Punktu (PPP) przy użyciu pakietu oprogramowania NAPEOS. Sub-dobowe oscylacje w szeregach czasowych otrzymanych rozwiązań analizowano z wykorzystaniem periodogramu Lomb-Scarlage.

Wykazano, że różnice w modelach kalibracyjnych anten bezpośrednio propagują do dziedziny współrzędnych, wpływając na sub-dobowe rozwiązania i wywołując okresowe wahania. Określono wpływ efektu uśrednionego modelu zmienności położenia centrum fazowego anteny, na poszczególne składowe pozycje.

Udowodniono, że nie wszystkie anteny danego typu mogą być reprezentowane z wysoką dokładnością poprzez model średni.

[R6] Dawidowicz K., Krzan G., 2016, *Analysis of PCC model dependent periodic signals in GLONASS position time series using Lomb-Scargle periodogram*, *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 13(3): 299–314. DOI: 10.13168/AGG.2016.0012 [czasopismo z list A Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, IF 0.561, 20 pkt.]

Udział procentowy wnioskodawcy: 80%

- Pomysł i przygotowanie wstępnych założeń.
- Przeprowadzenie obliczeń.
- Analiza wyników i wyciągnięcie wniosków.

Publikacja zawiera wyniki analiz różnic składowych pozycji, uzyskanych w opracowaniu obserwacji GLONASS z wykorzystaniem absolutnych indywidualnych i absolutnych średnich modeli kalibracyjnych anten. Post-processing wykonano z wykorzystaniem techniki PPP, zarówno dla sub-dobowych jak i dobowych rozwiązań.

Potwierdzono, również w przypadku obserwacji GLONASS, że różnice w modelach kalibracyjnych anten propagują bezpośrednio do dziedziny współrzędnych, wpływając na sub-dobowe i dobowe rozwiązania, generując widoczne zmiany i oscylacje. Określono wpływ efektu uśrednionego modelu zmienności położenia centrum fazowego anteny na poszczególne składowe pozycje w rozwiązaniach GLONASS. Wykazano, z wykorzystaniem widma Lomb-Scargle'a, że istnieją silne sygnały okresowe w rozwiązaniach sub-dobowych oraz potencjalne, wymagające dalszych badań, okresowości w wynikach rozwiązań dobowych.

Przedstawiono mechanizm przenoszenia się różnic w modelach kalibracyjnych anten do dziedziny współrzędnych. W tym celu zaproponowano analizy, zależnych od konstelacji satelitarnej, współczynników GDOP oraz analizy wartości średnich różnic poprawek ze względu na zmienność położenia centrum fazowego anteny. Udowodniono, że wykryte sygnały są zależne od różnic w modelach kalibracyjnych anten oraz od układu konstelacji satelitów GLONASS.

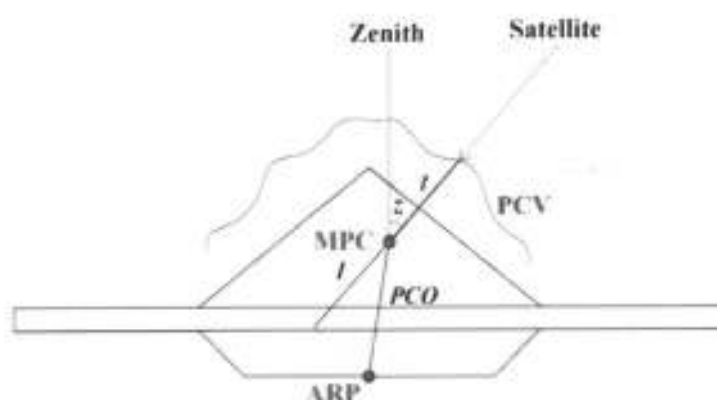
4.3. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

4.3.1 Wprowadzenie

Przedmiotem jednotematycznego cyklu publikacji jest analiza wpływu zmian położenia centrum fazowego anteny (ang. „phase center variations” - PCV) na pozycjonowanie, z wykorzystaniem Globalnego Systemu Nawigacji Satelitarnej (GNSS), prowadzona w oparciu o sub-dobowe rozwiązania GNSS. Efekty wynikające ze zmiany położenia centrum fazowego anteny odbiorczej oraz wielodrożności sygnału (ang. „multipath” - MP) są wciąż dwoma dominującymi źródłami błędów, związanymi ze stacją pomiarową. Oba mają ogromne znaczenie w aspekcie precyzyjnego pozycjonowania GNSS.



Podstawową rolą anteny GNSS jest filtrowanie, wzmocnienie oraz zamiana fal elektromagnetycznych docierających z satelity na prąd elektryczny, który może być przesyłany za pośrednictwem elektronicznych układów odbiornika. Rzeczywiste centrum fazowe anteny to punkt w przestrzeni, w którym odbierany jest sygnał GNSS. Miejsce to nie jest stałe, lecz zmienia swoje położenie w zależności od kierunku nadchodzącego sygnału. Dla potrzeb praktycznych, oprócz rzeczywistego centrum fazowego, definiuje się dodatkowe punkty (Rys. 1). Średnie położenie centrum fazowego anteny (ang. „mean phase center” - MPC) określane jest zazwyczaj jako punkt, w którym faza sygnału wykazuje najmniejsze (w sensie metody najmniejszych kwadratów) PCV. Wysokość anteny od fizycznego punktu sieci jest zwykle mierzona do tzw. punktu odniesienia anteny (ang. „antenna reference point” - ARP). Międzynarodowy Serwis GNSS (ang. „International GNSS Service” - IGS) definiuje ARP jako przecięcie pionowej osi symetrii anteny z dolną płaszczyzną anteny. Offset centrum fazowego anteny (ang. „phase center offset” - PCO) definiuje się z kolei jako wektor łączący punkty ARP i MPC. Kiedy porównamy rzeczywiste położenie centrum fazowego anteny indywidualnego pomiaru ze średnim położeniem, otrzymamy pewną różnicę. Różnica ta określana jest jako zmiana położenia centrum fazowego anteny - PCV. Ostatecznie, na całkowitą poprawkę ze względu na centrum fazowe anteny GNSS (ang. „Phase Center Corrections” – PCC) składają się PCO i PCV.



Rys. 1. Przestrzenna zależność pomiędzy punktami ARP, MPC i PCV (na podstawie: Schmid i in., 2005).

Zmiany położenia centrum fazowego antena mogą mieć amplitudę rzędu kilku centymetrów. Efekt ten jest szczególnie widoczny w funkcji kąta elewacji nadchodzącego sygnału, aczkolwiek wartość azymut może mieć również istotne znaczenie, szczególnie przez bardzo długich wektorach. Ignorowanie zmian położenia centrum fazowego anteny może prowadzić do znaczących błędów wyznaczania estymowanych parametrów, szczególnie składowej pionowej pozycji (Rothacher i Mader, 1996; Mader, 1999).

Warto zaznaczyć, że powszechnie przyjęte sformułowanie „phase center variations” nie do końca oddaje istotę problemu sugerując, że położenie zmienia centrum fazowe anteny przy idealnie sferycznym czole fali. W rzeczywistości obserwuje się odchylenia od sferycznego kształtu czoła fali, które skutkują zmianami położenia centrum fazowego.

Aktualnie można wyróżnić trzy główne sposoby modelowania zmian położenia centrum fazowego anten odbiorników GNSS:

- pomiary w komorze bezekhowej,
- względną kalibrację polową,
- absolutną kalibrację polową.

Pierwszą opracowaną metodą kalibracji anten była kalibracja w komorze bezekhowej, gdzie faza nadawanego i odbieranego sygnału GPS zostaje porównana w analizatorze sieci. Główną zaletą tej metody jest to, że zapewnia bardzo wysoką wydajność i takie same warunki dla wszystkich kalibrowanych anten. Wadą natomiast jest to, że sygnał testowy nie jest taki sam jak rzeczywistych sygnałów GNSS (Görres et al., 2006; Zeimetz and Kuhlman, 2008).

Pierwszą metodą kalibracji polowej była tzw. kalibracja względna (Rothacher i Mader, 1996; Mader, 1999). Modele opracowane z wykorzystaniem tej metody oparte są na założeniu, że PCV anteny referencyjnej (antena AOAD/M_T firmy Allen Osborne) są równe zero. PCV kalibrowanej anteny wyznacza się na bazie pojedynczych różnic obserwacji, w oparciu o porównanie fazy sygnału obserwowanego w danej epoce do fazy sygnału określonej na podstawie MPC i modeluje z wykorzystaniem wielomianu czwartego stopnia w funkcji elewacji. W metodzie tej określenie PCV dla niskich kątów elewacji jest praktycznie niemożliwe, co jest wynikiem wysokiego szumu i silniejszego efektu wielodrożności takich sygnałów.

Podejście zwane jako absolutna kalibracja polowa anten GNSS zostało opracowane przez Institut für Erdmessung (Uniwersytet w Hanowerze) oraz firmę Geo++ (Wübbena i in., 1996). Podstawowym założeniem tej metody jest estymowanie PCV niezależnie od anteny referencyjnej. Dodatkową zaletą jest niemal całkowita eliminacja efektu wielodrożności. Metoda ta pozwala na modelowanie PCV do zerowego stopnia elewacji. Podobnie jak poprzednio PCV wyznacza się na bazie pojedynczych różnic obserwacji, a ostateczny kształt charakterystyk fazowych anteny wyznacza się z wykorzystaniem harmonik sferycznych. Absolutne modele PCV anten odbiorników zostały uzupełnione poprzez podobne modele dla anten satelitów (Zhu i in., 2003; Schmid in., 2007).

Zaletą obu metod polowych jest to, że oparte są na rzeczywistych sygnałach GNSS rejestrowanych w naturalnym środowisku.

Dodatkowo, dla anten które nie posiadają modeli bezpośrednio z polowej kalibracji absolutnej, modele takie mogą być tworzone poprzez przeliczenie z modeli względnych. W takim podejściu wszystkie PCO i PCV uzyskane z kalibracji względnej dodaje się do wyników absolutnej kalibracji polowej anteny AOAD/M_T. Generalnie, w praktycznych zastosowaniach możemy mówić o trzech rodzajach modeli PCC dla anten odbiorczych:

- modele względne PCC (z względnej kalibracji polowej),
- modele absolutne PCC (przeliczone ze względnych),
- modele absolutne PCC (z absolutnej kalibracji polowej).

4.3.2. Algorytm korekty obserwacji GPS ze względu na zmienność położenia centrum fazowego anteny

Realizując badania w zespole Praktycznych Zastosowań Technik Satelitarnych odnotowałem, że część tzw. oprogramowania komercyjnego do opracowania obserwacji GPS często nie zawiera poprawek związanych z PCV anteny. Przykładowo, w programach GPPS 4.0 i 5.2 czy Ashtech Solutions 1.0 zakładano, że dla wszystkich

anten położenie centrum fazowego jest stałe, jednakowe dla częstotliwości L1 i L2 oraz znajduje się na wysokości znacznika umieszczonego na talerzu anteny. Inne programy (np.: Ashtech Solutions 2.0) uwzględniały jedynie średnie położenie centrum fazowego anteny dla obu częstotliwości sygnałów GPS bez możliwości wprowadzania poprawek na zmiany jego położenia. Jednocześnie nowsze oprogramowanie często nie akceptuje standardowego formatu ANTEX i jest ograniczone do wykorzystania okrojonego formatu Ant_info służby NGS (National Geodetic Survey).

W celu rozwiązania tego problemu opracowałem procedurę wraz z odpowiednim oprogramowaniem, pozwalającą na wprowadzanie poprawek ze względu na PCV do obserwacji GPS, jak również umożliwiającą różne analizy związane z zagadnieniem zmienności położenia centrum fazowego anteny. Opracowana procedura pozwala na korektę obserwacji na podstawie informacji o rzeczywistym położeniu środka fazowego anteny, które jest funkcją kierunku nadchodzących sygnałów GPS. Informacje te, uzyskane w wyniku kalibracji anten, dostępne są w formie plików tekstowych ANTEX.

Uprozczone równania obserwacyjne dla pomiarów kodowych (1) i fazowych (2) mogą być zapisane:

$$P = \rho + cdt_r + cdt_b + \Delta_{trop} + \Delta_{ion} + \varepsilon \quad (1)$$

$$\phi = \rho + cdt_r + cdt_b + \lambda N + \Delta_{trop} - \Delta_{ion} + \varepsilon \quad (2)$$

gdzie P jest pseudo-odległością pomiędzy satelitą i odbiornikiem, Φ jest różnicą faz sygnału w momencie t , ρ jest geometryczną odległością pomiędzy satelitą i odbiornikiem, c jest prędkością światła, dt_r jest różnicą czasu między wysłaniem i odebraniem sygnału, dt_b jest różnicą chodu zegara odbiornika i satelity, Δ_{trop} jest opóźnieniem troposferycznym, Δ_{ion} jest opóźnieniem jonosferycznym, λ jest długością fali, N jest nieoznaczonością fazy a ε oznacza pozostałe błędy.

Bardziej szczegółowy podział źródeł błędów w pomiarach GPS przedstawiono poniżej:

1) Błędy instrumentalne:

a) związane z satelitą:

- błąd zegara pokładowego,
- zmienność położenia centrum fazowego anteny,
- dokładność efemerydy satelitarnej,
- opóźnienie sprzętowe satelity,

b) związane z odbiornikiem:

- błąd zegara,
- zmienność położenia centrum fazowego anteny,
- pomiar wysokości anteny,
- opóźnienie sprzętowe odbiornika,

2) zaburzenia propagacyjne:

- a) refrakcja troposferyczna,
- b) refrakcja jonosferyczna,
- c) nieoznaczoność początkowej liczby cykli fazowych,
- d) asymetria konstelacji satelitów nad horyzontem,
- e) wielodrożność sygnału,
- f) efekty relatywistyczne,

3) przyjęte wartości stałych i wielkości fizycznych:

- a) modele zjawisk fizycznych,
 - b) parametry systemu,
 - c) parametry transformacji między układami odniesienia,
 - d) parametry ruchu bieguna Ziemi,
- 4) dokładność numeryczna i błędy przypadkowe.

Większość z tych błędów redukuje się w znacznym stopniu w przypadku opracowania różnicowego, kiedy pomiary wykonane w tym samym czasie przez dwa lub więcej odbiorników opracowywane są łącznie. Takie podejście umożliwia tworzenie tzw. pojedynczych, podwójnych oraz potrójnych różnic obserwacji (Teunissen and Kleusberg, 1998) będących podstawą eliminacji błędów poprzez ich różnicowanie. Sprawdza się to szczególnie dobrze na krótkich wektorach, kiedy efekty np. jonosfery czy troposfery są bardzo zbliżone na obu punktach.

Różnicowanie obserwacji nie dotyczy metod autonomicznych (np. metody precyzyjnego wyznaczenia pojedynczego punktu, ang. „Precise Point Positioning” - PPP). Również redukcja błędów w opracowaniu różnicowym nie do końca się sprawdza, kiedy efekty są różne na obu końcach mierzonego wektora (np. anteny o różnej charakterystyce zmienności położenia centrum fazowego). Z drugiej strony wiadomo, że dla błędów systematycznych, powstających wskutek rozpoznanego oddziaływania systematycznych wielkości wpływających, wpływ tego oddziaływania może być określony ilościowo i skompensowany na wstępnym etapie opracowania. Założenie to było podstawą opracowania procedury, wraz z odpowiednim oprogramowaniem, do wprowadzania poprawek ze względu na zmienność położenia centrum fazowego anteny dla obserwacji GPS, przed ich końcowym opracowaniem z wykorzystaniem oprogramowania komercyjnego [R1].

W procedurze wprowadzania poprawek ze względu na PCV do obserwacji GPS wyróżnia się kilka etapów (Rys. 2):

1. Obliczenie współrzędnych satelitów dla każdej indywidualnej epoki obserwacyjnej.
2. Obliczenie elewacji i azymutów satelitów dla każdej indywidualnej epoki obserwacyjnej, na podstawie pozycji satelitów i przybliżonych współrzędnych odbiornika.
3. Czytanie odpowiednich danych z pliku ANTEX. Wartości te są następnie wykorzystane do obliczania poprawek dla obserwacji kodowych i fazowych.
4. Obliczenie poprawionych obserwacji.

Opracowana procedura umożliwia redukcję obserwacji zarówno do MPC jak i ARP.

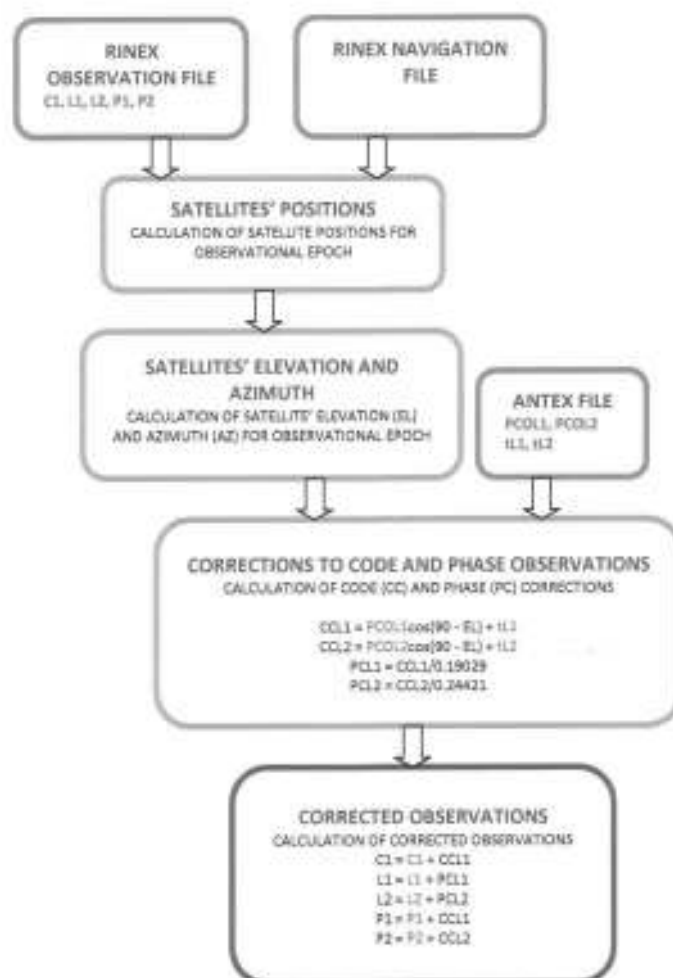
Poprawki do ARP są obliczane za pomocą poniższego wzoru (Rys. 1):

$$p = r + t = (pcv) \cos z + t \quad (3)$$

gdzie:

p - poprawka do obserwacji; r - redukcja położenia centrum fazowego anteny w funkcji wartości PCV oraz kąta elewacji satelity; t - redukcja położenia centrum fazowego anteny w funkcji wartości PCV oraz elewacji lub elewacji i azymutu satelity; pcv - położenie centrum fazowego anteny względem ARP ("up" offset); z - kąt elewacji satelity.

Ponieważ t jest wyrażone w interwale co pięć stopni, jego prawidłową wartość (dla aktualnej elewacji lub elewacji i azymutu) aproksymuje się z wykorzystaniem interpolacji liniowej. Obserwacje kodowe są bezpośrednio korygowane o wartości obliczonych w ten sposób poprawek. W celu redukcji obserwacji fazowych, poprawki muszą zostać przeliczone na cykle fazowe. W przypadku redukcji obserwacji do MPC, poprawka p jest równa wartości t interpolowanej dla aktualnej elewacji bądź elewacji i azymutu satelity.



Rys. 2. Wprowadzenie poprawek ze względu na PCV do plików obserwacyjnych RINEX (źródło: [R2]).

Procedurę testowano z wykorzystaniem analiz empirycznych [R1]. Dowiedziono, że opracowana metoda może być wykorzystana jako wspomagająca dla oprogramowania komercyjnego, które nie jest wyposażone w algorytmy korekcji obserwacji ze względu na PCV. Wykorzystanie procedury umożliwi skuteczną redukcję błędów związanych ze zmiennością położenia centrum fazowego anteny, pozwala również na różnorodne analizy oraz weryfikację algorytmów zastosowanych w oprogramowaniu komercyjnym.

D

4.3.3. Analizy wpływu modelu zmienności położenia centrum fazowego anteny na wyznaczone wysokości w sub-dobowych obserwacjach GPS

W pracach [R2, R3] poruszono problem opracowania obserwacji GPS, w krótkich oknach obserwacyjnych, z wykorzystaniem różnych modeli poprawek ze względu na zmienność położenia centrum fazowego. Dotychczasowe badania w tym zakresie opierały się głównie na dużych sieciach permanentnych, gdzie analizy prowadzono z wykorzystaniem długich (dobowych) sesji obserwacyjnych oraz precyzyjnych anten GPS (Völksen, 2006; Baire i in., 2011). Ustalono, że zmiana typu modelu PCV może skutkować różnicami w składowych pozycji dochodzących od kilku do nawet kilkudziesięciu milimetrów. Ponieważ przy dobowym opracowaniu wpływy niektórych efektów mogą nie uwidocznić się w końcowych wynikach, w artykułach [R2, R3] zaproponowano prowadzenie podobnych analiz z wykorzystaniem sub-dobowych rozwiązań GPS. Takie opracowanie może być również podstawą do analiz krótkookresowych sygnałów w szeregach czasowych otrzymanych rozwiązań.

W [R2] poddano analizie różnice wysokości uzyskane w wyniku opracowania obserwacji GPS, przy zastosowaniu różnych typów modeli kalibracyjnych anten. Analizy przeprowadzono z wykorzystaniem obserwacji GPS zgromadzonych na bardzo krótkich (do 2 km) wektorach z wykorzystaniem różnych rodzajów anten, w tym anten przeznaczonych do typowych pomiarów geodezyjnych. Badania oparto o wyniki uzyskane z opracowania 15 i 30 minutowych okien obserwacyjnych.

Stwierdzono wyraźnie widoczne zmiany, zależnych od modelu PCC, różnic wysokości w funkcji czasu. Należy przypuszczać, że zmiany te są wynikiem różnic występujących w modelach PCC oraz zmian w konstelacji satelitów powyżej punktu pomiarowego. Dodatkowo wykazano, że opracowanie obserwacji GPS bez poprawek ze względu na PCV daje, dla zastosowanych anten, błąd określenia wysokości sięgający do około 3 cm (różnice wysokości uzyskane z porównanie wyników obserwacji opracowanych, z jak i bez modeli PCV). Przejście z modeli względnych na absolutne również powoduje widoczne efekty w rozwiązaniach GPS, generując różnice wysokości do 0.8 cm.

W [R3] kontynuowano analizy związane wykorzystaniem sub-dobowych rozwiązań GPS do badania wpływu zmian położenia centrum fazowego anteny na pozycjonowanie. Tym razem efekt badano w oparciu o 1 godzinne okna obserwacyjne uzyskane z sieci ASG-EUPOS, z wykorzystaniem serwisu POZGEO-D, oraz w oparciu o pomiary terenowe. Dodatkowym celem zawartych w [R3] badań było określenie wpływu wykorzystania różnych modeli zmienności położenia centrum fazowego anteny na wyznaczenie wysokości w pomiarach realizowanych w sieci ASG-EUPOS, z punktu widzenia typowego użytkownika systemu. Przeprowadzono analizę krótkookresowych sygnałów w szeregach czasowych otrzymanych różnic zarówno dla jedno-częstotliwościowych, jak również dwu-częstotliwościowych rozwiązań GPS. W badaniach skupiono się na dobowej jak również sub-dobowej powtarzalności wyników. Analizy przeprowadzono z wykorzystaniem 3-dniowych pomiarów GPS, podzielonych na 1-godzinne sesje obserwacyjne. Do analizy wybrano trzy stacje z najczęściej występującymi w sieci ASG-EUPOS modelami anten. Pomiary na punkcie wyznaczonym wykonano z wykorzystaniem anteny JAV_GRANT-G3T.

Opracowanie odbyło się w trzech głównych trybach (strategiach):

- z wykorzystaniem względnych modeli IGS (względna kalibracja połowa),
- z wykorzystaniem modeli absolutnych IGS (przeliczonych ze względnych),
- z wykorzystaniem modeli absolutnych IGS (absolutna kalibracja połowa).



Powszechnie wiadomo, że dla krótkich wektorów, wykorzystanie obserwacji jedno-częstotliwościowych GPS zamiast kombinacji pomiarów dwu-częstotliwościowych może prowadzić do uzyskania dokładniejszych wyników. Jest to spowodowane dwoma faktami. Po pierwsze, oddziaływanie jonosfery na obu końcach krótkiego wektora jest bardzo zbliżone i może być wyeliminowane poprzez różnicowanie obserwacji. Po drugie, szum kombinacji liniowej L3 jest większy o około 3 razy niż szum obserwacji L1, a dodatkowo kombinacja L3 znacznie wzmacnia systematyczne efekty związane z wielodrożnością fal oraz zmiennością położenia centrum fazowego anteny.

Ogólna postać równań kombinacji liniowych dla obserwacji kodowych (4) i fazowych (5) może być zapisana z wykorzystaniem notacji podwójnych różnic obserwacji, gdzie dwa odbiorniki A, B obserwują te same satelity j, k (Hofmann-Wellenhof et al., 2001):

$$Pn_{AB}^{jk} = \alpha_{n,1} P1_{AB}^{jk} + \alpha_{n,2} P2_{AB}^{jk} \quad (4)$$

$$Ln_{AB}^{jk} = \alpha_{n,1} L1_{AB}^{jk} + \alpha_{n,2} L2_{AB}^{jk} \quad (5)$$

gdzie:

$Pn_{AB}^{jk}, Ln_{AB}^{jk}$ - n kombinacja liniowa dla obserwacji kodowych i fazowych; $\alpha_{n,1}, \alpha_{n,2}$ - współczynniki n kombinacji liniowej; $P1_{AB}^{jk}, P2_{AB}^{jk}, L1_{AB}^{jk}, L2_{AB}^{jk}$ - podwójne różnice obserwacji kodowych i fazowych dla sygnałów L1 i L2.

Kombinację liniową L3 (tzw. „iono-free”) dla obserwacji kodowych i fazowych otrzymujemy poprzez podstawienie do równań (4) i (5) za współczynniki $\alpha_{3,1}, \alpha_{3,2}$ następujących wartości:

$$\alpha_{3,1} = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2}, \quad \alpha_{3,2} = \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \quad (6)$$

gdzie f_1 i f_2 oznaczają odpowiednio częstotliwość sygnału L1 i L2.

Prowadzenie analizy z wykorzystaniem obserwacji jedno-częstotliwościowych GPS może pozorować zastosowanie tego typu odbiorników w pomiarach. Z kolei wykorzystanie kombinacji liniowej L3 powoduje uwidocznienie się, w końcowych wynikach, wpływu różnic w modelach PCV dla obu częstotliwości.

Przeprowadzone w [R3] analizy wykazały, że również w przypadku 1-godzinnych okien obserwacyjnych, układ satelitów nad mierzonym punktem ma znaczący wpływ na końcowe wyniki (dla rozwiązań L3 uzyskano zmiany różnic wysokości w zakresie od 0 do 2.6 cm, w zależności od sesji pomiarowej). Zaobserwowano również wyraźnie widoczne zmiany, zależnych od modelu PCC, różnic wysokości w funkcji czasu. Dowiedziono, że aktualizacja modeli kalibracyjnych anten odbiorników ze względnych na absolutne może powodować skoki (w zależności od sesji pomiarowej) w składowej pionowej osiągające 0.7 cm w rozwiązaniach L1 oraz 2.6 cm w rozwiązaniach L3.

4.3.4. Modelowanie zmienności położenia centrum fazowego anteny w rozwiązaniach GPS/GLONASS

Istnieje wiele różnic pomiędzy systemami GPS i GLONASS, jednak za najważniejszą uznaje się wykorzystywanie przez GLONASS wielodostępu z podziałem częstotliwości (ang. „Frequency Division Multiple Access” - FDMA) na obu częstotliwościach L1 i L2. Skutkuje to tym, że każdy satelita transmituje sygnały na nieco innej częstotliwości. Dodatkowo, żadna z wielu częstotliwości GLONASS nie jest dokładnie identyczna z jakąkolwiek z dwóch częstotliwości GPS (Dodson i in., 1999).

W związku z tym kalibracja anten pod kątem sygnałów GLONASS różni się w porównaniu do kalibracji anten pod kątem sygnałów GPS. Najnowsza opracowana koncepcja (Wübbena i in., 2006; Dach i in., 2010) umożliwia określenie zależnych od częstotliwości PCV dla sygnałów GLONASS. Koncepcja ta oparta jest na założeniu liniowości zmian PCV dla częstotliwości GPS/GLONASS i GLONASS/GLONASS. W tym podejściu, w plikach ANTEX, podane są PCV jedynie dla kanału $k = 0$. Firma Geo++, kalibrująca anteny, oblicza tzw. „Deltę PCV”, które są następnie mnożone przez różnicę częstotliwości sygnałów GLONASS i GPS oraz dodawane do PCV sygnału GPS. Procedura ta umożliwia określenie PCV dla dowolnego kanału k GLONASS.

W przypadku braku poprawek PCV dla sygnałów GLONASS zaleca się przyjmowanie poprawek PCV GPS dla obu systemów, co z kolei może generować pewne systematyczne błędy w rozwiązaniach.

W pracy [R4] poruszono problem opracowania łącznego obserwacji GPS i GLONASS z wykorzystaniem różnych modeli poprawek ze względu na zmienność położenia centrum fazowego anteny. Przy jednoczesnym opracowywaniu obserwacji z systemów GPS i GLONASS, można się spodziewać pewnych komplikacji, wynikających z różnej struktury sygnałów, z różnic w konstelacji satelitów oraz z utrudnień w modelowaniu zmienności położenia centrum fazowego anten dla sygnałów GLONASS.

W artykule przeprowadzono analizę krótko-okresowych sygnałów w szeregach czasowych otrzymanych rozwiązań zarówno dla jedno-częstotliwościowych, jak również dwu-częstotliwościowych obserwacji GPS i GPS/GLONASS.

W rozwiązaniach opartych o pomiary GPS potwierdzono występowanie wyraźnie widocznych zmian otrzymanych różnic wysokości w funkcji czasu. Zauważono również, że różnice wysokości, uzyskane z porównania wyników uzyskanych z wykorzystaniem absolutnych i względnych modeli PCV anten są wyraźnie większe dla rozwiązań GPS/GLONASS niż dla rozwiązań GPS. W rozwiązaniach tych można również zaobserwować sporadyczne występowanie wyraźnie odstających wyników, których przyczyny nie do końca udało się wyjaśnić.

W [R4] wykazano również, że przejście z modelu względnego na absolutny w trybie opracowania pojedynczego wektora (tylko obserwacje GPS) może wywołać skoki w różnicach wysokości do 0.8 cm. Dla opracowania GPS/GLONASS, różnice te są wyraźnie większe i przekraczają 1 cm.

4.3.5. Sygnały okresowe w szeregach czasowych współrzędnych rozwiązań GPS i GLONASS zależne od modelu zmienności położenia centrum fazowego anteny

Dotychczas omówione badania, wykonywane w zespole Praktycznych Zastosowań Technik Satelitarnych, związane z zastosowaniem sub-dobowych rozwiązań GNSS do badania wpływu zmienności położenia centrum fazowego anteny odbiorczej na pozycjonowanie, prowadzone były głównie pod kątem realnych zastosowań geodezyjnych. Analizy wykonywano z wykorzystaniem obserwacji GPS lub GPS/GLONASS, zgromadzonych na krótkich wektorach z wykorzystaniem anten przeznaczonych do typowych pomiarów geodezyjnych. Dodatkowo opracowania oparto na tzw. oprogramowaniu komercyjnym. Takie podejście, aczkolwiek ważne z punktu zastosowań praktycznych, wprowadzało pewne ograniczenia, głównie

związane z ilością materiału obserwacyjnego oraz uproszczeniami i automatyzacją procesów obliczeniowych występującymi w programach firmowych. W celu ominięcia tych ograniczeń, jak również poszerzenia zakresu badań w publikacjach [R5, R6] skupiono się na długookresowych obserwacjach prowadzonych na stacjach permanentnych.

Rosnący potencjał systemów satelitarnych połączony z rozwojem modelowania błędów GNSS umożliwia estymowanie pozycji z bardzo wysoką dokładnością. Współrzędne z tygodniowych lub dziennych rozwiązań wyznacza się z milimetrową dokładnością. Ciągłe opracowywanie obserwacji z permanentnych stacji GNSS dowodzi, poprzez zmniejszenie rozrzut estymowanych pozycji, znacznego rozwoju technik GNSS. Związane z tym zmniejszenie szumu w uzyskanych szeregach czasowych pozycji pozwoliło na ujawnienie obecności dotychczas niewykrytych skoków i sygnałów okresowych.

W Ray i in. (2008), badano residua pozycji w szeregach czasowych opartych na pomiarach GPS. Badania te doprowadziły do wykrycia sygnału okresowego równego 1,04 cyklu na rok (ang. „cycle per year” - cpy). Podobne sygnały wykryto również w późniejszych opracowaniach (Collilieux i in., 2011; Griffiths i Ray, 2013). Zasugerowane w literaturze potencjalne źródła tych okresowości to m.in. błędy w modelach pływów czy błędy w modelach ciśnienia promieniowania słonecznego. Niedokładności w modelowaniu centrów fazowych anten mogą być również jedną z przyczyn wykrytych skoków i sygnałów okresowych.

Wyniki absolutnych kalibracji anten odbiorników zawarte w plikach igs05.atx i igs08.atx są średnimi, z dostępnych wyników kalibracji dla poszczególnych typów anten. Ten typ wyników kalibracji jest określany jako model średni. Podejście to zakłada, że PCC anten tego samego typu może być reprezentowane z wystarczającą dokładnością przez takie właśnie wartości średnie.

Oprócz modeli średnich, EPN (EUREF Permanent Network) wprowadza od jakiegoś czasu tzw. modele indywidualne, które odnoszą się do określonej anteny. W związku z tym możemy obecnie mówić o dwóch rodzajach absolutnych PCC: średnich i indywidualnych. W indywidualnej kalibracji jedna konkretna antena jest kalibrowana w kilku seriach. Następnie wyniki z tych kilku serii są podstawą do określenia modelu zmienności położenia centrum fazowego dla tej konkretnej anteny. W kalibracji średniej, kilka anten z tej samej linii produkcyjnej jest kalibrowane w kilku seriach. Wyniki uzyskane dla kilku anten tego samego rodzaju są następnie uśredniane, tworząc model średni. Dla anten nie posiadających indywidualnej kalibracji, pierwszym przybliżeniem jest model średni. Jeśli potrzebne są dokładniejsze dane dla tej konkretnej anteny, indywidualna kalibracja jest nieodzowna.

Przejęcie z modeli względnych na absolutne doprowadziło do znaczącej poprawy wyników w rozwiązaniach GNSS. Aktualizacja modeli kalibracyjnych anteny z igs05.atx do igs08.atx również spowodowała skoki we współrzędnych stacji EPN (Baire i in., 2011, 2013). Zakłada się, że zastosowanie indywidualnej kalibracji przyniesie dalszą poprawę uzyskiwanych rozwiązań.

W publikacjach [R5, R6] autor badał różnice współrzędnych uzyskane z porównania rozwiązań z wykorzystaniem absolutnych indywidualnych i absolutnych średnich modeli kalibracyjnych anten, w celu analiz wpływu niedokładności modeli średnich na pozycjonowanie GNSS. Szeregi czasowe współrzędnych uzyskano

z opracowania obserwacji techniką precyzyjnego pozycjonowania absolutnego z wykorzystaniem naukowego pakietu oprogramowania NAPEOS.

PPP, która jest stosunkowo nowa techniką pomiarową to połączenie koncepcji absolutnego pozycjonowania oraz różnicowych technik pomiaru GNSS. Opiera się ona na opracowywaniu obserwacji z jednego odbiornika GNSS wraz z wykorzystaniem szeregu poprawek (Zumberge i in., 1997; Kouba i Heroux, 2001). W technice PPP stosuje się obserwacje absolutne (brak różnicowania obserwacji), co powoduje konieczność stosowania złożonych modeli błędów występujących w pomiarach GNSS. Należy tu korzystać z precyzyjnych orbit satelitów, poprawek zegarów, dokładnego modelowania opóźnienia jonosferycznego i troposferycznego. Dodatkowo należy uwzględnić efekty pływów Ziemi i oceanów, zmienność położenia centrum fazowego anteny, tzw. efekt „wind-up”, efekty relatywistyczne i wiele innych (Rizos i in., 2012). W celu wyznaczenia niezbędnych modeli i poprawek wykorzystuje się obserwacje z permanentnych stacji GNSS oraz wyniki badań laboratoryjnych.

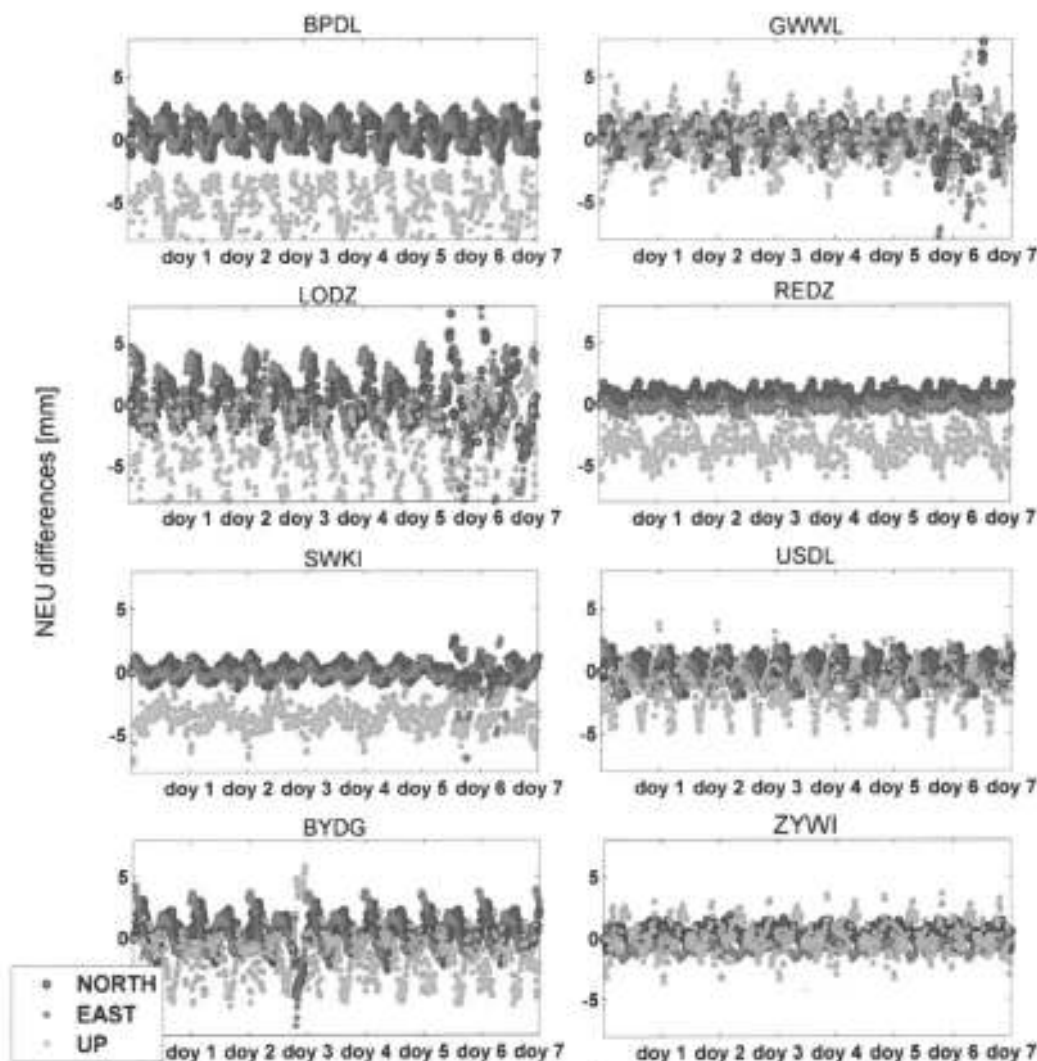
W [R5] badano różnice współrzędnych uzyskane z porównania rozwiązań z wykorzystaniem absolutnych indywidualnych i absolutnych średnich modeli kalibracyjnych anten (igs08.atx) w pseudo-kinematycznych pomiarach GPS. Do badań wykorzystano permanentne obserwacje z ośmiu wybranych polskich stacji EPN z anteną TRM55971.00 TZGD. Ocenę okresowości w uzyskanych szeregach czasowych rozwiązań wykonano z wykorzystaniem metod analizy spektralnej (periodogram Lomba-Scargle'a).

Dla szeregu czasowego obejmującego N_t pomiarów $X_j \equiv X(t_j)$, próbkowanych w czasie $t_j (j = 1, \dots, N_t)$, przeskalowanych oraz skoncentrowanych w taki sposób aby ich średnia była równa zero ($\sum_j X_j = 0$), moc w znormalizowanym periodogramie Lomba-Scargle'a dla wybranej częstotliwości f wyraża się wzorem (Townsend, 2010):

$$P_n(f) = \frac{1}{2} \left\{ \frac{[\sum_j X_j \cos \omega(t_j - \tau)]^2}{\sum_j \cos^2 \omega(t_j - \tau)} + \frac{[\sum_j X_j \sin \omega(t_j - \tau)]^2}{\sum_j \sin^2 \omega(t_j - \tau)} \right\} \quad (7)$$

gdzie $\omega \equiv 2\pi f$ jest pulsacją, a τ opóźnieniem czasowym obliczanym dla wybranej częstotliwości.

Periodogram Lomba-Scargle'a (Scargle, 1982) jest generalnie metodą szukania okresowości w nieregularnych próbkach danych. Jest to metoda pod wieloma względami analogiczna do bardziej znanej analizy spektralnej Fouriera, często używanej do wykrywania okresowości w regularnych próbkach danych. Warto wspomnieć, że metoda ta jest uproszczeniem metody Petra Vaniceka z 1971 roku (Vanicek, 1971), a sam algorytm zalicza się do grupy LSSA (ang. „Least Squares Spectral Analysis”), czyli analiz spektralnych metodą najmniejszych kwadratów.



Rys. 3. Różnice współrzędnej północnej, południowej i wysokościowej wynikające z wykorzystania różnych modeli kalibracyjnych dla 15-min okien obserwacyjnych GPS (źródło: [R5]).

Wyniki przedstawione w [R5] dowodzą (Rys. 3), że różnice uzyskane dla wszystkich trzech składowych pozycji wykazują wyraźne okresowości. Na podstawie otrzymanych rozwiązań można stwierdzić że:

- analizowane stacje wykazują przesunięcia w składowych pozycji do 5 mm,
- różnice wykazują szybkie zmiany w krótkich okresach czasu,
- amplitudy tych różnic dochodzą do 10 mm,
- okres wykrytych zmian jest bliski 12 godzinom, co odpowiada okresowi orbity satelitów GPS.

W [R5] wykazano, że różnice w modelach kalibracyjny przenoszą się bezpośrednio do dziedziny współrzędnych, wpływając na sub-dobowe wyniki i generując wyraźne oscylacje. Wahania sub-dobowe mają okres bliski pół dnia gwiazdowego z amplitudą do 10 mm w składowych pozycyjnych. Wykazano również, że średnie przesunięcie pozycji (2 miesiące pseudo-kinematycznych obserwacji), wynikające z zastosowania indywidualnych modeli kalibracji zamiast średnich igs08.atx, może wynieść do 5 mm w składowej pionowej, podczas gdy przesunięcie w składowych poziomych na ogół nie przekracza 1 mm. Stwierdzono również duże rozbieżności dla otrzymanych średnich

różnic, w zależności od stacji. Dowodzi to, że wszystkie anteny tego samego typu nie mogą być reprezentowane z wysoką dokładnością poprzez modele średnie.

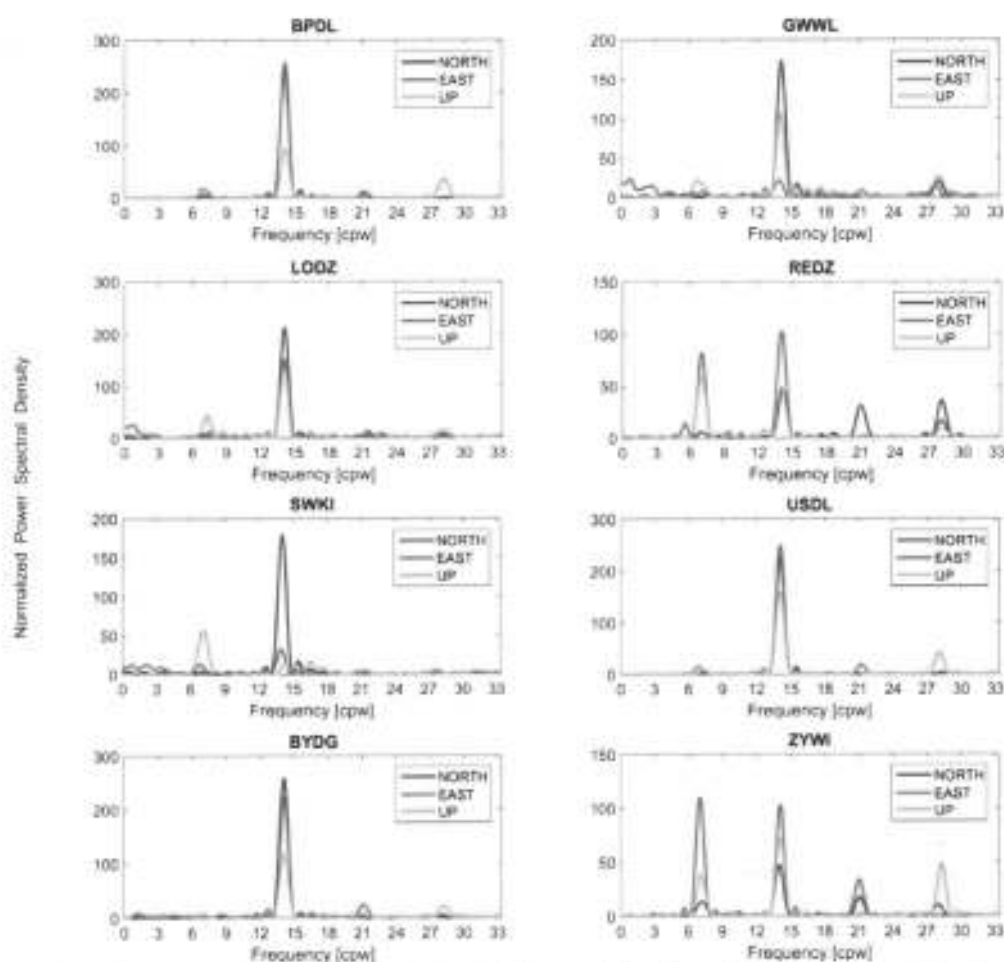


Fig. 4. Periodogram Lomb-Scargle'a dla różnic współrzędnych przy opracowaniu obserwacji GPS (źródło: [R5]).

Z wykorzystaniem periodogramu Lomb-Scargle'a wykazano (Rys. 4), że różnice sub-dobowych pozycji wykazują okresowość bliską pół dnia gwieźdznego. Wykryto również pewne okresowość równą 7.1, 21.3 i 28.4 cyklu na tydzień (ang. „cycle per week” - cpw). Wszystkie te częstotliwości odpowiadają wielokrotności połowy okresu orbitalnego satelitów GPS.

W [R6] porównano pozycje stacji uzyskane z opracowania obserwacji GLONASS, przy zastosowaniu absolutnych indywidualnych i absolutnych średnich modeli kalibracyjnych anten. Opracowanie wykonano techniką PPP w trybie obserwacji dobowych oraz w trybie pseudo-kinematycznym.

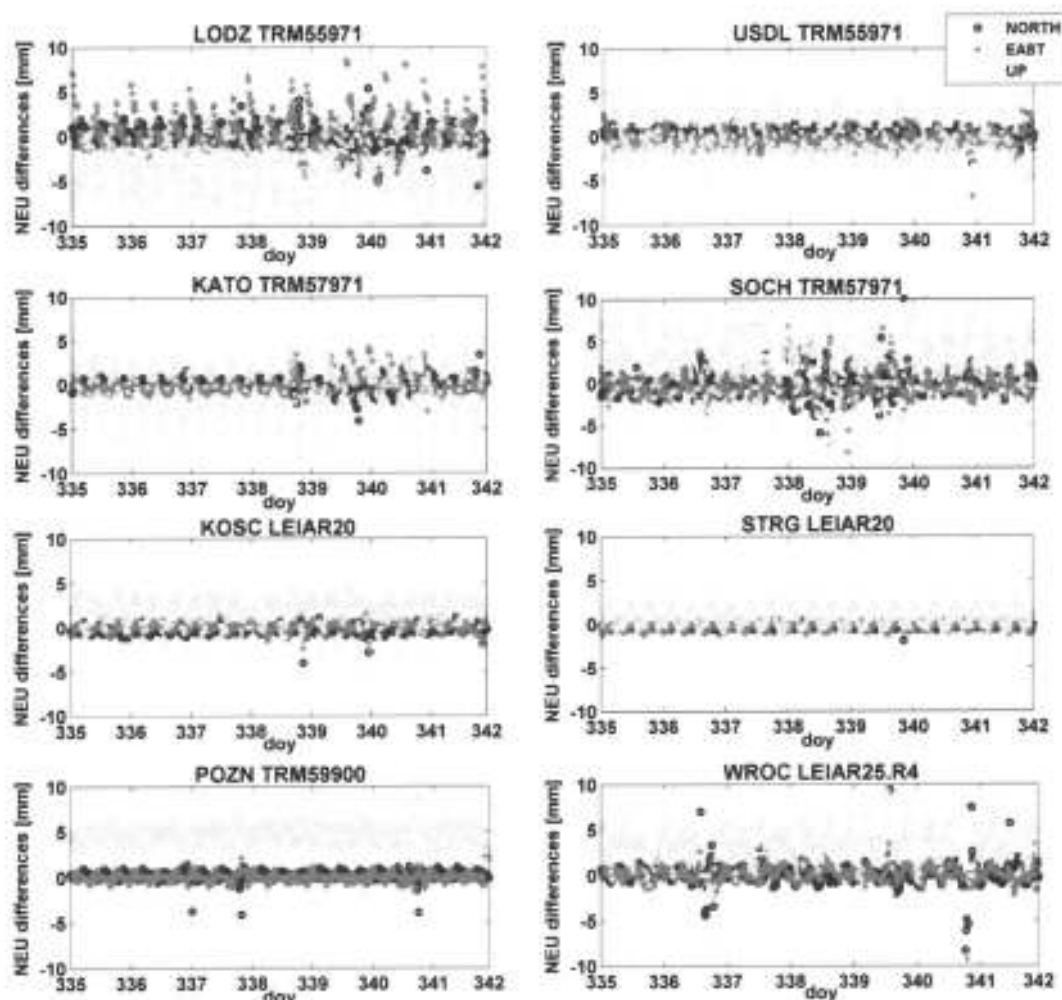
Wykazano, że zastosowanie absolutnych indywidualnych modeli kalibracyjnych anten zamiast modeli średnich, dla rozwiązań dobowych, może prowadzić do w różnic w składowej pionowej dochodzących do 5 mm, natomiast dla składowych poziomych różnica ta generalnie pozostaje poniżej 1 mm. W przypadku rozwiązań sub-dobowych wartości te osiągają odpowiednio 10 mm oraz 5 mm.

Stwierdzono, że różnice w modelach propagują bezpośrednio do dziedziny współrzędnych, wpływając na dobowe i sub-dobowe wyniki oraz generując widoczne oscylacje. Wykazano, z wykorzystaniem periodogramu Lomb-Scargle'a, że istnieją

silne sygnały okresowe w rozwiązaniach pseudo-kinematycznych jak również potencjalne okresowości w wynikach dobowych.

Przedstawiono również mechanizm przenoszenia się różnic w modelach kalibracyjnych anten do dziedziny współrzędnych. W tym celu zaproponowano analizy zależnego od konstelacji satelitarnej współczynnika GDOP oraz analizy wartości średnich różnic poprawek ze względu na zmienność położenia centrum fazowego anteny. Udowodniono, że wykryte oscylacje są zależne od różnic w modelach kalibracyjnych anten oraz od układu konstelacji satelitów GLONASS.

Zasadniczo rozwiązania oparte wyłącznie na obserwacjach GLONASS są bardzo rzadkie. Punktem wyjścia zaproponowanych w [R5] i [R6] analiz była potrzeba określenia wpływu niedokładności występujących w modelach kalibracyjnych anten na pozycjonowanie z wykorzystaniem sygnałów GPS i GLONASS oddzielnie. Podejście takie pozwala z kolei na analizę ich udziału w łącznym wpływie na szeregi czasowe pozycji GNSS. Dodatkowo, oprócz okresowości w różnicach współrzędnych, w pracach badano również ich przesunięcie oraz amplitudę, które mogą być różne dla różnych rodzajów anten.



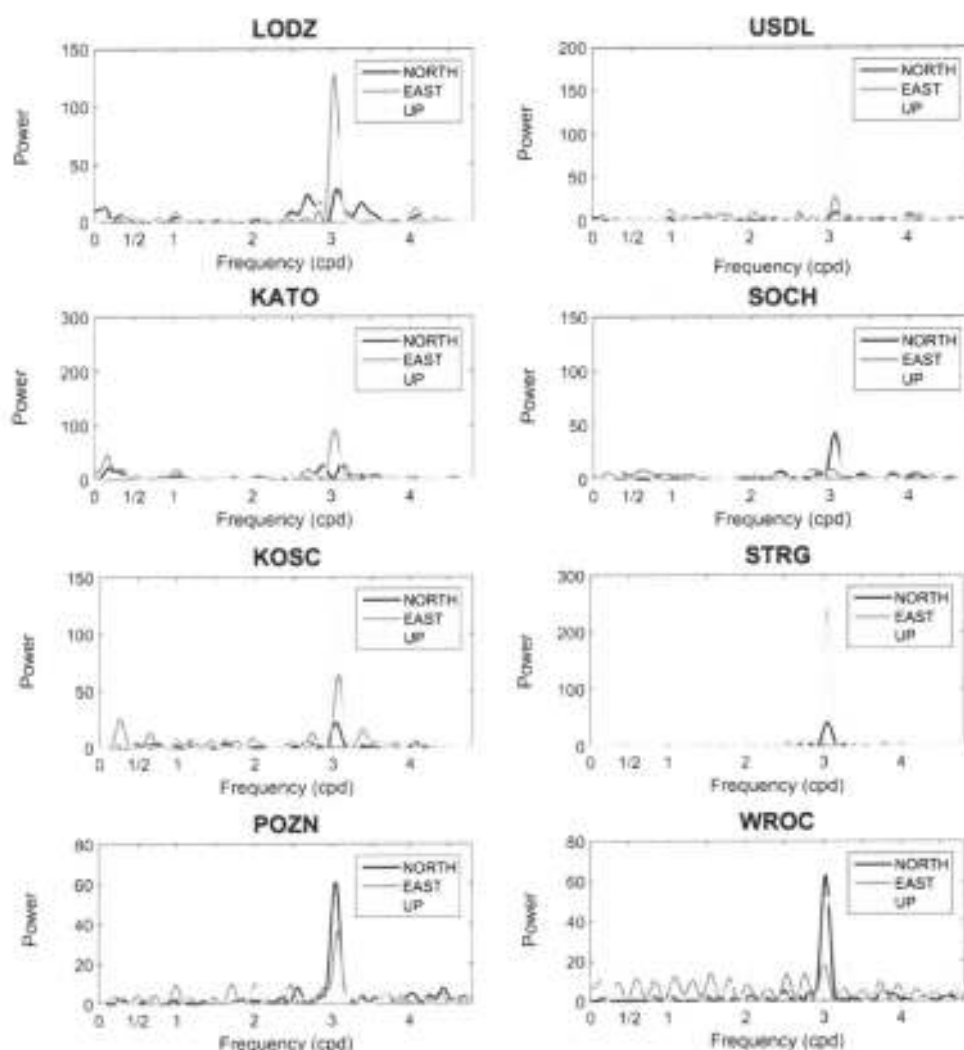
Rys. 5. Różnice współrzędnej północnej, południowej i wysokościowej wynikające z wykorzystania różnych modeli kalibracyjnych dla 15-min okien obserwacyjnych GLONASS (źródło: [R6]).

W [R6] wykazano (Rys. 5), że różnice pozycji w wynikach opracowania obserwacji pseudo-kinematycznych, wynikające z zastosowania absolutnych indywidualnych modeli kalibracyjnych anten zamiast absolutnych średnich (igs08.atx), mogą wynieść do 10 mm dla składowej pionowej, podczas gdy dla składowych poziomych różnice te na ogół utrzymują się poniżej 5 mm.

Wykazano ponownie, że różnice w modelach kalibracyjnych anten przenoszą się bezpośrednio do dziedziny współrzędnych, wpływając na sub-dobowe wyniki i generując wyraźne oscylacje.

Dla trybu pseudo-kinematycznego wykryto:

- okresowe wahania składowych pozycji dochodzące do 10 mm,
- występowanie istotnych zmiany uzyskanych różnic w krótkich okresach czasu,
- okresowość ujawnionych zmian bliską 8 godzinom (Rys. 6).



Rys. 6. Periodogram Lomb-Scargle'a dla różnic współrzędnych przy opracowaniu obserwacji GLONASS (źródło: [R6]).

Należy przypuszczać, że okresowość równa trzy cykle na dzień (ang. „cycle per day” - cpd) najprawdopodobniej związana jest z trzema płaszczyznami orbitalnymi satelitów GLONASS. Aby udowodnić, że przyczyna okresowości odkryta w wynikach jest związana z układem satelitów, zaproponowano obliczenie widma Lomb-Scargle'ego dla współczynnika GDOP. Ponieważ wartości PCV są zależne od azymutu i elewacji docierającego sygnału, różnice między rozwiązaniami z wykorzystaniem absolutnych

indywidualnych i absolutnych średnich modeli PCV powinny wynikać z okresowej zmiany konstelacji satelitów nad stanowiskiem pomiarowym. Dodatkowo, ponieważ zachodziła obawa, że przy pełnej konstelacji satelitów GLONASS współczynniki DOP nie wykażą zmian geometrii konstelacji satelitarnej - efekt zostanie uśredniony, obliczono również średnie różnice PCC (ang. „PCC differences” – dPCC) dla wszystkich epok pomiarowych i przeanalizowano je stosując periodogram Lamba-Scargle’a (Rys. 7). Średnie różnice PCC, obliczone z wykorzystaniem wszystkich dostępnych satelitów w każdej epoce obserwacyjnej, są również zależne od geometrii satelitów, ale mniej wrażliwe na uśrednianie. Obliczenia te przeprowadzono zarówno dla częstotliwości L1 (L1 dPCC), jak również dla kombinacji liniowej „lono-free” (L3 dPCC).

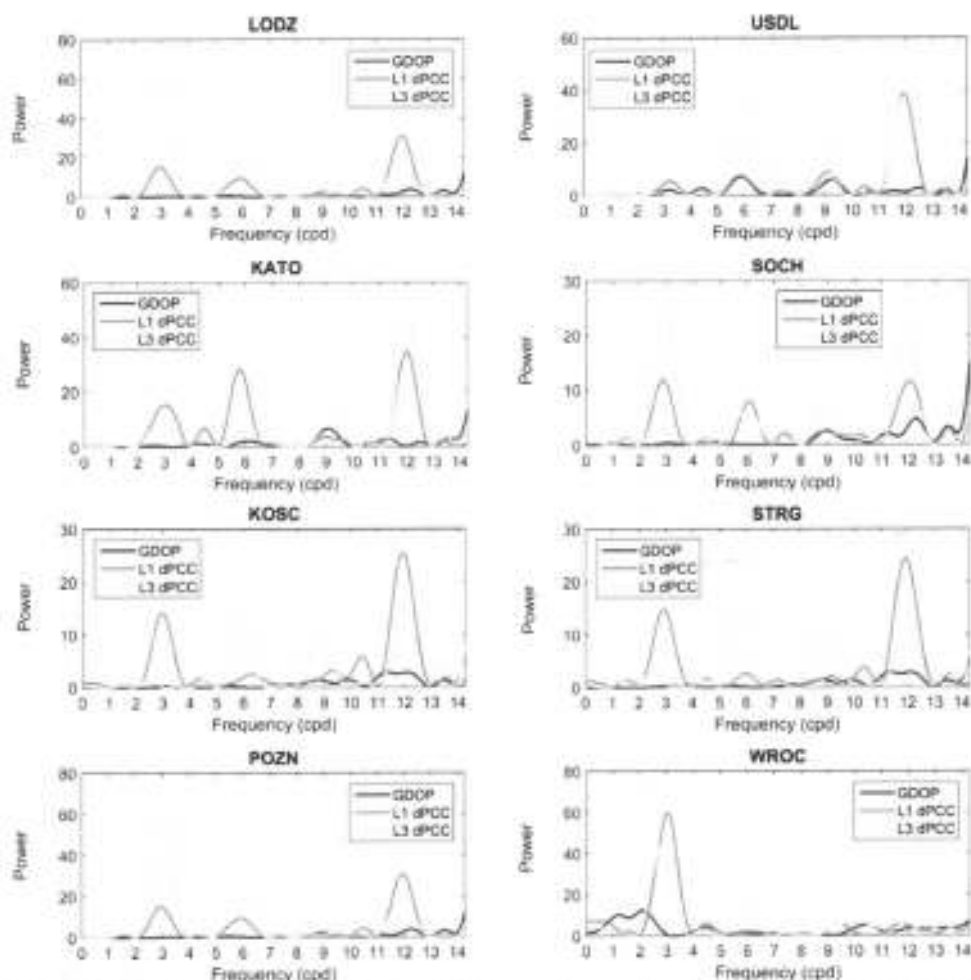


Fig. 7. Periodogram Lamba-Scargle’a dla współczynnika GDOP oraz średnich dPCC częstotliwości L1 i kombinacji liniowej L3 (źródło: [R6]).

Zgodnie z obawami, nie wykryto okresowości w szeregach czasowych współczynnika GDOP, który na ogół był bardzo stabilny dla wszystkich stacji i osiągał wartość od 2 do 3. Przy pełnej konstelacji GLONASS efekt geometrii układu satelitów na współczynniki DOP ulega uśrednieniu i nie jest widoczny. Z drugiej strony stwierdzono silną cykliczność dla średnich wartości dPCC zarówno dla częstotliwości L1 jak i kombinacji liniowej L3. Generalnie wykryte częstotliwości są równe 3, 6, 9 i 12 cykli na dzień. Wyniki te dowodzą, że okresowości widoczne w różnicach składowych współrzędnych są zależne od konstelacji GLONASS.

4.3.6. Podsumowanie i perspektywy badawcze

Najważniejsze oryginalne rozwiązania i wnioski wynikające z przeprowadzonych badań podsumowujące wkład opisywanego w niniejszym autoreferacie osiągnięcia naukowego w rozwój dyscypliny (w porządku chronologicznym):

[1] Oszacowanie wielkości błędów wyznaczenia składowej pionowej pozycji, wynikających z braku modelowania zmienności położenia centrum fazowego anteny, w pomiarach prowadzonych na potrzeby prac geodezyjnych. Zwrócenie uwagi na fakt, że część tzw. oprogramowania komercyjnego nie zawiera poprawek związanych z PCV anteny.

[2] Opracowanie procedury wraz z odpowiednim oprogramowaniem do wprowadzania poprawek ze względu na zmienności położenia centrum fazowego anteny odbiorczej do obserwacji kodowych i fazowych w oparciu o plik ANTEX oraz pliki obserwacyjne i nawigacyjne RINEX. Zaproponowana procedura może być z powodzeniem stosowana w oprogramowaniu komercyjnym, nie zawierającym algorytmów takiej korekcji.

[3] Propozycja analiz związanych z wykorzystaniem różnych modeli PCC w opracowaniu obserwacji GNSS z wykorzystaniem sub-dobowych rozwiązań GNSS. Dotychczasowe badania w tym zakresie skupiały się głównie na dużych sieciach permanentnych, gdzie analizy prowadzono z wykorzystaniem długich (dobowych) sesji obserwacyjnych. W takim podejściu wpływy niektórych efektów mogą nie uwidocznić się w końcowych wynikach. Zaproponowane rozwiązanie może być podstawą do analiz krótkookresowych sygnałów w szeregach czasowych otrzymanych rozwiązań.

[4] Określenie wpływu wykorzystania różnych modeli zmienności położenia centrum fazowego anteny na wyznaczanie wysokości w pomiarach GPS realizowanych z wykorzystaniem anten przeznaczonych do typowych pomiarów geodezyjnych. Wykrycie okresowości w szeregach czasowych otrzymanych sygnałów sub-dobowych dla różnic wyników jedno-częstotliwościowych jak również dla rozwiązań dwuczęstotliwościowych.

[5] Przeprowadzenie analiz sub-dobowych sygnałów w szeregach czasowych otrzymanych różnic dla jedno-częstotliwościowych, jak również dwuczęstotliwościowych rozwiązań GPS/GLONASS. Określenie wpływu wykorzystania różnych modeli zmienności położenia centrum fazowego anteny na wyznaczanie wysokości w takim opracowaniu. Wykazanie, że różnice wysokości, uzyskane z porównania wyników uzyskanych z wykorzystaniem absolutnych i względnych modeli PCV anten są zauważalnie większe dla rozwiązań GPS/GLONASS.

[6] Przeprowadzenie analiz różnic składowych pozycji uzyskanych z wykorzystaniem absolutnych indywidualnych i absolutnych średnich modeli (igs08.atx) kalibracyjnych anten w pseudo-kinematycznym opracowaniu obserwacji GPS. Wykorzystanie do obliczeń składowych pozycji techniki precyzyjnego pozycjonowania punktu. Wykonanie analiz okresowości z wykorzystaniem periodogramu Lomb-Scarlage'a.

[7] Wykazanie, że różnice w modelach kalibracyjnych anten bezpośrednio propagują do dziedziny współrzędnych rozwiązań GPS, wpływając na sub-dobowe rozwiązania i wywołując okresowe wahania. Wykrycie okresowości bliskiej pół dnia gwiazdowego z amplitudą dochodzącą do 10 mm. Wykrycie dodatkowych okresów równych 7.1, 21.3 i 28.4 cyklu na tydzień. Wszystkie te częstotliwości odpowiadają wielokrotności połowy okresu orbitalnego satelitów GPS. Wykazanie, że średnie przesunięcia pozycji wynikające z zastosowania absolutnych indywidualnych modeli kalibracji anten zamiast absolutnych średnich (igs08.atx), może wynieść od 0 do 5 mm w składowej pionowej, dla tego samego typu anteny. Udowodnienie w ten sposób, że anteny tego samego typu nie mogą być reprezentowane z wysoką dokładnością poprzez modele średnie.

[8] Przeprowadzenie porównania pozycji stacji uzyskanych z opracowania obserwacji GLONASS, przy zastosowaniu absolutnych indywidualnych i absolutnych średnich modele kalibracyjnych anten. Określenie różnic współrzędnych wynikających z zastosowania indywidualnych modeli kalibracyjnych zamiast średnich dla rozwiązań dobowych i sub-dobowych. Wykazanie, że również dla sygnałów GLONASS różnice w modelach kalibracyjnych anten propagują bezpośrednio do dziedziny współrzędnych, wpływając na sub-dobowe i dobowe wyniki, generując widoczne oscylacje. Ustalenie, z wykorzystaniem periodogramu Lomb-Scargle'a, okresowości w rozwiązaniach pseudo-kinematycznych oraz dobowych.

[9] Przedstawienie mechanizmu przenoszenia się różnic w modelach kalibracyjnych anten do dziedziny współrzędnych. Zaproponowanie w tym celu analiz zależnego od konstelacji satelitarnej współczynnika GDOP oraz analiz wartości średnich różnic poprawek ze względu na zmienność położenia centrum fazowego anteny. Udowodnienie, że wykryte oscylacje są zależne od różnic w modelach kalibracyjnych anten oraz od układu konstelacji satelitów GLONASS.

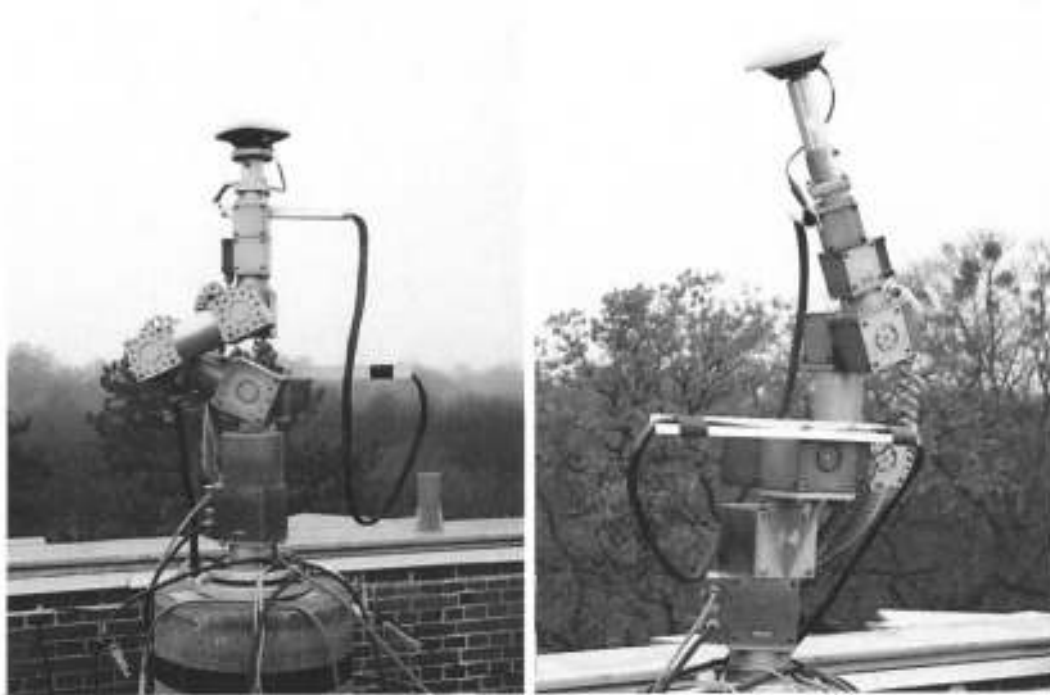
Przeprowadzone badania z wykorzystaniem absolutnych indywidualnych i absolutnych średnich modeli kalibracyjnych anten wykazały, że niedokładności w modelowaniu PCV przenoszą się do dziedziny współrzędnych, wywołując nawet 5 mm różnice w składowej pionowej. Uzyskane wyniki mogą być przydatne w pracach związanych z poprawą dokładności rozwiązań w szeregach czasowych pozycji oraz wykorzystane na potrzeby doskonalenia metod kalibracji anten.

Odbyty pod koniec 2014 roku staż dydaktyczno-naukowy, w Institut für Erdmessung (IfE) na Leibniz Universität of Hannover, umożliwił nawiązanie współpracy z prof. dr inż. Steffenem Schönem oraz dr inż. Tobiasem Kerstenem w zakresie modelowania zmian położenia centrum fazowego anteny oraz wykonanie pomiarów z użyciem robota kalibrującego.

Przypuszczalnie, zależne od miejsca pomiaru błędy, takie jak wielodrożność i dyfrakcja mogą wpływać również na wyniki kalibracji anten GNSS, szczególnie tych które charakteryzują się małą średnicą oraz pozbawione są osłon tłumiących odbite sygnały. Powierzchnie odbijające (np. betonowe filary, słupy stalowe, spodarki, głowice statywu) znajdujące się w najbliższym sąsiedztwie anteny (ang. "near-field region") są uważane za szczególnie niebezpieczne, ponieważ ich obecność może zmienić ogólną charakterystykę centrum fazowego anteny. Ze względu na swój długo-okresowy charakter, efekt tzw. „bliskiego otoczenia” anteny generalnie nie uśredniania się

w czasie, ale systematycznie degradowe estymowane parametry, szczególnie składową pionową (Elosequi i in., 1995; Dilžner i in. 2008).

W celu określenia potencjalnego wpływu efektu „bliskiego otoczenia” anteny na wyniki kalibracji anten, przeprowadzono w trakcie stażu prosty eksperyment (Rys. 8) z wykorzystaniem anteny JAV_GRANT-G3T. Uzyskane wyniki dowodzą, że sposób montażu anteny na robocie (odległość od mechanicznych konstrukcji robota poniżej anteny) może wpłynąć w istotny sposób na wartości wyznaczanych PCC (Rys. 9). Dla obu częstotliwości (L1, L2) sygnałów GPS i GLONASS zmiany te dochodzą od kilku do kilkunastu milimetrów.



Rys. 8. Kalibracja anteny JAV_GRANT-G3T: bezpośrednio na robocie (na lewo), z wykorzystaniem 120mm łącznika oddalającego antenę od robota (po prawej).

Na rysunku 9 przedstawiono różnice (zredukowane do wspólnego średniego położenia centrum fazowego anteny) pomiędzy wynikami kalibracji indywidualnej anteny JAV_GRANT-G3T wykonanej w dwóch wariantach: typowej oraz z wykorzystaniem 120mm łącznika (oddalającego antenę od potencjalnie odbijających sygnały GNSS części robota). Porównania przeprowadzono dla sygnałów GPS i GLONASS, dla obu częstotliwości L1 i L2 oraz dla ich kombinacji liniowej „iono-free” (L3). Zmiany dochodzące do kilkunastu milimetrów dla częstotliwości podstawowych wyraźnie kumulują się w przypadku kombinacji liniowej L3.

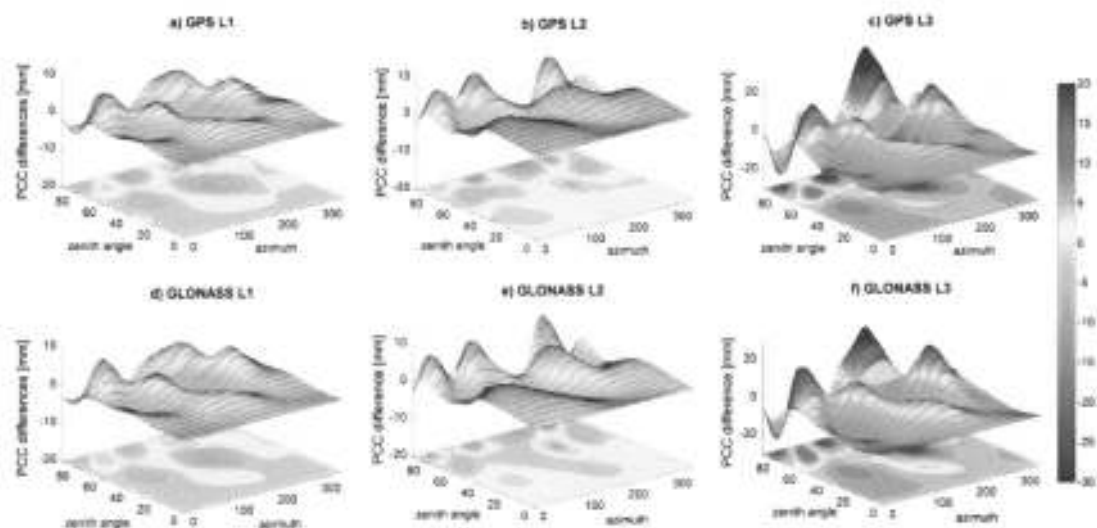


Fig. 9. Zależne od trybu kalibracji indywidualnej różnice PCC uzyskane dla anteny JAV_GRANT-G3T: a) GPS L1, b) GPS L2, c) GPS L3, d) GLONASS L1, e) GLONASS L2, f) GLONASS L3.

Wyniki przeprowadzonego eksperymentu stały się podstawą dalszych badań, które częściowo są już realizowane:

- udoskonalanie metod usuwania efektu wielodrożności sygnału GNSS wywołanego bliskim otoczeniem anteny z wyników kalibracji (szczególnie w przypadku anten charakteryzujących się małą średnicą oraz pozbawionych osłon tłumiących odbite sygnały),
- udoskonalanie metod walidacji modeli PCC,
- zdefiniowanie wymaganej minimalnej dokładności modeli PCC dla potrzeb precyzyjnego pozycjonowania GNSS.

4.3.7. Bibliografia

- Baire Q., Pottiaux E., Bruyninx C., Defraigne P., Legrand J., Bergoet N., 2011. Comparison of Receiver Antenna Calibration Models used in the EPN. <http://www.euref.eu/symposia/2011Chisinau/Symposium2011-Chisinau.html>.
- Baire Q., Bruyninx C., Legrand J., Pottiaux E., Aerts W., Defraigne P., Bergeot N., Chevalier J.M., 2013. Influence of different GPS receiver antenna calibration models on geodetic positioning. *GPS Solution*, 18: 1–11.
- Collilieux X., Métivier L., Altamimi Z., van Dam T., Ray J., 2011. Quality assessment of GPS reprocessed terrestrial reference frame. *GPS Solutions*, 15(3): 219–231.
- Dach R., Schmid R., Schmitz M., Thaller D., Schaer S., Lutz S., Steigenberger P., Wubbena G., Beutler G., 2010. Improved antenna phase center models for GLONASS. *GPS Solutions*, 15: 49–65.
- Dilßner F., Seeber G., Wubbena G., Schmitz M., 2008. Impact of Near-Field Effects on the GNSS Position Solution. *Proceedings ION GNSS-08, Savannah, Georgia*.
- Dodson A.H., Moore T., Baker D.F., Swann J.W., 1999. Hybrid GPS + GLONASS. *GPS Solutions*, 3: 32–41.
- Elosegui P., Davis J.L., Jaldehag R.K., Johansson J.M., Niell A.E., Shapiro I.I., 1995. Geodesy using the Global Positioning System: The effects of signal scattering on estimates of site position. *Journal of Geophysical Research*, 100: 9921–9934.

- Griffiths J., Ray J.R., 2013. Sub-daily alias and draconitic errors in the IGS orbits. *GPS Solutions*, 17(3): 413–422.
- Görres B., Campbell M., Becker M., Sieme, M., 2006. Absolute calibration of GPS antennas: Laboratory results and comparison with field and robot techniques, *GPS solutions*, 10: 136-145.
- Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J., 2001. *GPS Theory and Practice*, 5th, revised edition. Springer-Verlag, Wien New York.
- Kouba J., Héroux P., 2001. Precise Point Positioning Using IGS orbit and Clock Products. *GPS Solutions*, 5(2): 12-28.
- Mader G. L., 1999. GPS Antenna Calibration at the National Geodetic Survey. *Journal of Geodesy*, 3(1): 50-58.
- Ray J., Altamimi Z., Collilieux X., van Dam T., 2008. Anomalous harmonics in the spectra of GPS position estimates. *GPS Solutions*, 12(1): 55-64.
- Rizos Ch., Janssen V., Roberts C., Grinter T., 2012. Precise Point Positioning: Is the Era of Differential GNSS Positioning Drawing to an End? In: FIG Working Week 2012, Rome, Italy.
- Rothacher M., Mader G., 1996. Combination of antenna phase center offsets and variation: antenna calibration set IGS_01, anonymous ftp ubeclu.unibe.ch, June.
- Scargle J. D., 1982. Studies in astronomical time series analysis. *Astrophysical Journal*, 263: 835-853.
- Schmid R., Steingerberg P., Rothacher M., 2005. Benefits from absolute GPS antenna phase center modeling. *Advances in GPS Data Processing and Modelling*, London 9-10 November, www.espace-tum.de/mediadb/15354/15355/Vortrag_London.pdf.
- Schmid R., Steingerberg P., Gendt G., Ge M., Rothacher M., 2007. Generation of a consistent absolute phase center corrections model for GPS receiver and satellite antennas. *Journal of Geodesy*, 81: 781-798.
- Teunissen P. J. G., Kleusberg A., 1998. *GPS for geodesy*, 2nd ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Townsend R. H. D., 2010. Fast calculation of Lomb-Scargle periodogram using graphics processing units. *The Astronomical Journal*, Vol. 191, 247-253.
- Vaníček P., 1971. Further development and properties of the spectral analysis by least - squares fit. *Astrophysics and Space Science*, 12(1): 10 -33.
- Völksen Ch., 2006. The Impact of different GPS Antenna Calibration Models on the EUREF Permanent Network, Report on the Symposium of the IAG Sub-commission for Europe (EUREF), mitteilungen des BKG, Band 38, Verlag des BKG, Frankfurt/Main: 73-78.
- Wübbena G., Menge F., Schmitz M., Seeber G., Völksen Ch., 1996. A New Approach for Field Calibration of Absolute Antenna Phase Center Variations. Presented at ION GPS-96, Kansas City, Missouri. September 1996: 1205-1214.
- Wübbena G., Schmitz M., Boettcher G., Schumann Ch., 2006. Absolute GNSS Antenna Calibration with a Robot: Repeatability of Phase Variations, Calibration of GLONASS and Determination of Carrier-to-Noise Pattern, Proceedings of the IGS Workshop: Perspectives and Visions for 2010 and beyond, 8-12 May, Darmstadt, Germany.
- Zeimetz P., Kuhlman H., 2008. On the Accuracy of Absolute GNSS Antenna Calibration and the Conception of a New Anechoic Chamber, FIG Working Week 2008, Stockholm, Sweden 14-19 June.
- Zhu S. Y., Massmann F. H., Yu Y., Reigber Ch., 2003. Satellite antenna phase center offsets and scale errors in GPS solutions. *Journal of Geodesy*, 77(11-12): 668-672.
- Zumberge J.F., Heflin M.B., Jefferson D.C., Watkins M.M., Webb F.H., 1997. Precise Point Positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks. *Journal of Geophysical Research*, 102(3): 5005-5017.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych, dydaktycznych i organizacyjnych

5.1. Krótki komentarz do prac badawczych spoza tematyki dotyczącej monotematycznego cyklu publikacji

W 1993 roku ukończyłem studia na Wydziale Geodezji i Urzędzeń Rolnych Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie i uzyskałem tytułu zawodowego magistra inżyniera w dziedzinie geodezji i kartografii. Badania z tego okresu skupiały się głównie na analizach dokładności wyznaczenia wysokości z pomiarów satelitarnych opartych o system GPS (E22, E23, E25).

Teoria niwelacji satelitarnej oraz jej praktyczne zastosowania w geodezji były również przedmiotem mojej rozprawy doktorskiej obronionej przed Radą Wydziału Geodezji i Gospodarki Przestrzennej UWM w 2001 roku (pod kierunkiem prof. dr hab. Krzysztofa Świątka).

Po obronie pracy doktorskiej kontynuowałem badania związane z wykorzystaniem pomiarów GPS do określenia wysokości normalnych punktów geodezyjnych w zespole Praktycznych Zastosowań Technik Satelitarnych.

W pracach (B6, D21, E30, E31, E32) podjęto badania związane z opracowaniem optymalnych założeń do przeprowadzania pomiarów GPS dla potrzeb wyznaczania wysokości. Analizy obejmowały zagadnienia związane z długością sesji obserwacyjnej, konfiguracją sieci, wykorzystaniem pomiarów opartych na odbiornikach jedno-częstotliwościowych itp.

W pracach (C14, C15, E33, E34) analizowano problem zmienności położenia centrum fazowego anteny pod kątem praktycznych zastosowań. Badania te skupiały się głównie na określeniu wpływ niemodelowania zmian położenia centrum fazowego anteny na dokładność wyznaczenia wysokości. Problemy te zostały również omówione w pracach (B7, D20) gdzie przedstawiono analizy związane z zastosowaniem opracowanej przez autora procedury do wprowadzania korekt ze względu na PCV do obserwacji GPS w celu poprawy dokładności wyznaczania wysokości normalnych. Dodatkowo, w pracach (A4, B10) analizowano problem zmienności położenia centrum fazowego anteny w przypadku wykorzystania serwisu POZGEO-D systemu ASG-EUPOS do wyznaczania wysokości.

Kolejnym tematem badań były analizy metod transformacji wysokości elipsoidalnych na normalne. W pracach (E26, E27, E28) przeprowadzono analizy dokładności określenia wysokości normalnych z wykorzystaniem pomiarów GPS i modeli przebiegu geoidy (quasi-geoidy) oraz pomiarów GPS i pomiarów niwelacyjnych. Analizowano przydatność wielomianów różnych stopni oraz interpolacji Bi-liniowej, w zależności od wielkości obszaru, liczby i rozmieszczenia punktów łącznych, ich dokładności. Badano również dokładność niwelacji satelitarnej opartej o różne modele geoidy (quasi-geoidy), w podejściu absolutnym i względnym.

Kolejny kierunek badań to analizy dokładności pozycjonowania, ze szczególnym uwzględnieniem składowej pionowej, w oparciu o naziemne systemy wspomagające. Badania te, przeprowadzone na przykładzie systemu ASG-EUPOS, dotyczyły zarówno pomiarów kinematycznych jak i statycznych, w tym z wykorzystaniem wirtualnych stacji referencyjnych (B8). W pracach (B9, B11, C18) analizowano dokładności

wyznaczenia składowych pozycji z wykorzystaniem różnych serwisów systemu ASG-EUPOS. Opracowano optymalne założenia do pomiarów mających na celu wyznaczenie wysokości.

Uzyskane wyniki stały się podstawą badań związanych z pozycjonowaniem w trudnych, zurbanizowanych terenach. W pracach (A1, B13, C17, D19) przedstawiono analizy dokładności wyznaczania pozycji z pomiarów opartych o pojedynczy odbiornik GNSS, wykonywanych w warunkach ograniczonej dostępności satelitów i opracowanych z wykorzystaniem różnych rodzajów serwisów GNSS.

Prace związane z pozycjonowaniem w oparciu o pojedynczy odbiornik kontynuowano w (A2, A5, B12, C16). Badania te skupiły się nad możliwościami wykorzystania techniki PPP w precyzyjnych pomiarach geodezyjnych, w kontekście obowiązujących przepisów oraz wymaganych dokładności. Badaniu poddano dokładność wyznaczenia składowych pozycji w zależności od szeregu czynników (m.in. długości sesji obserwacyjnej, ilości i jakości zasłon, rodzaju rejestrowanych obserwacji, opracowaniu łącznym i oddzielnym obserwacji z systemów GPS i GLONASS).

Warto również wspomnieć o badaniach niezawodności konstrukcji przestrzennych sieci satelitarnych (E24). W pracy analizowano stosowane techniki tworzenia układu wektorów tworzących sieci GPS. Rozważania poparte przykładami – rozwiązaniami tych sieci, pozwoliły na opracowanie zaleceń dotyczących projektowania optymalnego układu wektorów tworzących sieci GPS.

Do pozostałych obszarów badań należą prace związane z analizą działań mających na celu unifikację pionowych układów odniesienia (E29). W niniejszym opracowaniu przedstawiono historię, stan oraz perspektywy wdrożenia jednolitego systemu wysokości dla obszaru Europy.

W pracy (A3), z kolei, przeprowadzono analizy dotyczące wykorzystania technologii GNSS na potrzeby pomiarów poziomu morza. W artykule przedstawiono przegląd najnowszych osiągnięć w tym zakresie.

5.2. Wskaźniki

Całkowity Impact Factor (JCR): 3.779

Całkowity 5-letni Impact Factor (JCR): 3.900

Indeks Hirscha (WoS): 2

Liczba cytowań (WoS): 10

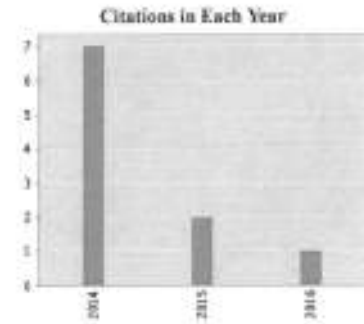
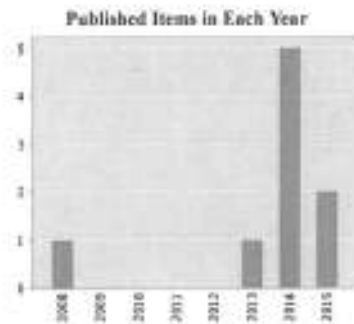
Liczba publikacji (WoS): 9 (+3 oczekujące na indeksację)

Indeks Hirscha (Google Scholar): 5

Liczba cytowań (Google Scholar): 58

Liczba publikacji (Google Scholar): 36

AUTHOR: (Dawidowicz K*) AND ADDRESS: (Olusyn) OR AUTHOR: (Dawidowicz K*) AND ADDRESS: (Olusyn)
Timespan=All year. Inferno=SCI-EXPANDED, SSCL A&HCL CPCI-S, CPCI-SSH, BKCI-S, BKCI-SSH, ESCI, CCR-EXPANDED, IC.



Results found: 9
Sum of the Times Cited: 10
Average Citations per Item: 1.11
h-index: 2

	2012	2013	2014	2015	2016	Total	Average Citation per Year
1. Title: Impact of different GNSS antenna calibration models on height determination in the ASG-EUPOS network: a case study By: Dawidowicz, K. Source: SURVEY REVIEW Volume: 45 Issue: 332 Pages: 388-394 Published: SEP 2013	0	0	7	1	1	10	3.33
2. Title: Coordinate estimation accuracy of static precise point positioning using on-line PPP service, a case study By: Dawidowicz, K.; Krzan, G. Source: ACTA GEODAEICA ET GEOPHYSICA Volume: 49 Issue: 1 Pages: 37-55 Published: MAR 2014	0	0	0	2	1	3	1.00
3. Title: Accuracy of single receiver static GNSS measurements under conditions of limited satellite availability By: Dawidowicz, K.; Krzan, G. Source: SURVEY REVIEW Volume: 46 Issue: 337 Pages: 278-287 Published: JUL 2014	0	0	1	0	0	1	0.33
4. Title: Some aspects of GPS observation elaboration for heights appointment requirements By: Dawidowicz, Karol; Swiatek, Krzysztof Edited by: Cygas, D.; Froehner, KD Conference: 7th International Conference on Environmental Engineering Location: Vilnius, LITHUANIA Date: MAY 22-23, 2008 Sponsor(s): Vilnius Gediminas Tech Univ; Lithuanian Acad Sci; Federal European Heating & Air Conditioning Assoc; Int Federat Surveyors; Balt Rd Assoc; Int Assoc Public Transport; Int Acad Ecol & Life Protect Sci; Lithuanian Water Suppliers Assoc Source: 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ENVIRONMENTAL ENGINEERING, VOLS 1-3 Pages: 1300-1304 Published: 2008	0	0	1	0	0	1	0.11
5. Title: NETWORK REAL-TIME KINEMATIC APPROACH FOR NORMAL HEIGHT DETERMINATION ON ASG-EUPOS SYSTEM EXAMPLE By: Dawidowicz, Karol Conference: 15th International Multidisciplinary Scientific Geoconference (SGEM) Location: Abana, BULGARIA Date: JUN 18-24, 2015 Sponsor(s): Bulgarian Acad Sci; Acad Sci Czech Repub; Latvian Acad Sci; Polish Acad Sci; Russian Acad Sci; Serbian Acad Sci & Arts; Slovak Acad Sci; Natl Acad Sci Ukraine; Inst Water Problem & Hydropower NAS KR; Natl Acad Sci Armenia; Sci Council Japan; World Acad Sci; European Acad Sci Arts & Letters; Acad Sci Moldova; Montenegrin Acad Sci & Arts; Croatian Acad Sci & Arts; Georgian Natl Acad Sci; Acad Fine Arts & Design Bratislava; Turkish Acad Sci; Bulgarian Ind Assoc; Bulgarian Minist Environ & Water Source: INFORMATICS, GEOINFORMATICS AND REMOTE SENSING, VOL II (SGEM 2015) Book Series: International Multidisciplinary Scientific GeoConference-SGEM Pages: 391-398 Published: 2015	0	0	0	0	0	0	0.00
6. Title: RELATIVE GPS/GLONASS COORDINATES DETERMINATION IN URBAN AREAS - ACCURACY ANALYSIS By: Dawidowicz, Karol; Krzan, Grzegorz; Swiatek, Krzysztof Conference: 15th International Multidisciplinary Scientific Geoconference (SGEM) Location: Abana, BULGARIA Date: JUN 18-24, 2015 Sponsor(s): Bulgarian Acad Sci; Acad Sci Czech Repub; Latvian Acad Sci; Polish Acad Sci; Russian Acad Sci; Serbian Acad Sci & Arts; Slovak Acad Sci; Natl Acad Sci Ukraine; Inst Water Problem & Hydropower NAS KR; Natl Acad Sci Armenia; Sci Council Japan; World Acad Sci; European Acad Sci Arts & Letters; Acad Sci Moldova; Montenegrin Acad Sci & Arts; Croatian Acad Sci & Arts; Georgian Natl Acad Sci; Acad Fine Arts & Design Bratislava; Turkish Acad Sci; Bulgarian Ind Assoc; Bulgarian Minist Environ & Water Source: INFORMATICS, GEOINFORMATICS AND REMOTE SENSING, VOL II (SGEM 2015) Book Series: International Multidisciplinary Scientific GeoConference-SGEM Pages: 423-430 Published: 2015	0	0	0	0	0	0	0.00
7. Title: Sea level changes monitoring using GNSS technology - a review of recent efforts By: Dawidowicz, Karol Source: ACTA ADRIATICA Volume: 55 Issue: 2 Pages: 145-161 Published: DEC 2014	0	0	0	0	0	0	0.00
8. Title: Phase center variations problem in GPS/GLONASS observations processing By: Dawidowicz, Karol Edited by: Cygas, D.; Tolisz, T. Conference: 9th International Conference on Environmental Engineering (ICEE) Location: Vilnius.	0	0	0	0	0	0	0.00

2012	2013	2014	2015	2016	Total	Average Citation per Year
0	0	7	2	1	10	3.33

LITHUANIA Date: MAY 22-23, 2014 Sponsor(s): Vilnius Gediminas Tech Univ; Lithuanian Acad Sci; Acad Sustainable Dev; Federat European Heating & Air Conditioning Assoc; Int Federat Surveyors; Baltic Road Assoc; Int Associ Publ Transport; Int Acad Ecolog & Life Protect Sci; Lithuanian Water Suppliers Assoc; European Spatial Planning Observat Network
 Source: 9TH INTERNATIONAL CONFERENCE ENVIRONMENTAL ENGINEERING (9TH ICEE) - SELECTED PAPERS Published: 2014

9.	Title: Comparison of position determination accuracy conducted by PPP technique using web-based online service and dedicated scientific software By: Krzan, Grzegorz; Dawidowicz, Karol; Swiadek, Krzysztof Edited by: Cygas, D; Tolkszt, T Conference: 9th International Conference on Environmental Engineering (ICEE) Location: Vilnius, LITHUANIA Date: MAY 22-23, 2014 Sponsor(s): Vilnius Gediminas Tech Univ; Lithuanian Acad Sci; Acad Sustainable Dev; Federat European Heating & Air Conditioning Assoc; Int Federat Surveyors; Baltic Road Assoc; Int Associ Publ Transport; Int Acad Ecolog & Life Protect Sci; Lithuanian Water Suppliers Assoc; European Spatial Planning Observat Network Source: 9TH INTERNATIONAL CONFERENCE ENVIRONMENTAL ENGINEERING (9TH ICEE) - SELECTED PAPERS Published: 2014	0	0	0	0	0	0.00
----	---	---	---	---	---	---	------

Close

Web of Science™
Page 1 (Records 1 - 9)

Print

< [1] >

Du

5.3. Udział w naukowych projektach badawczych

Granty naukowe

- 1) Temat grantu: „*Analiza dokładności wyznaczania wysokości z pomiarów GPS*”. GRANT finansowany przez KBN nr 8 T12E 035 21, (2001 – 2002), kierownik.

Badania własne i statutowe

- 2) Temat badawczy nr: 528-0302-0803 „*Zastosowanie GPS do wyznaczania wysokości normalnych punktów geodezyjnych*”, (1994-2016), wykonawca.
- 3) Temat badawczy nr: 28.610.001-300 „*Zastosowanie technologii satelitarnej do wyznaczania wysokości normalnych*”, (od 2. 2016), kierownik .

Wybrane projekty zamawiane

- 4) Projekt zamawiany: „*Badania deformacji terenu na obszarze Starego i Głównego miasta Gdańska*”. Okres realizacji 12. 2006 - 06.2009. Wykonawca w latach 2007-2008.
- 5) Projekt zamawiany: „*Przeprowadzenie testowania działania stacji referencyjnych i testowanie operacyjnego systemu ASG-EUPOS*”, 11.04-31.05.2008. Wykonawca.

5.4. Prezentacje na krajowych lub międzynarodowych konferencjach tematycznych

- 1) Dawidowicz K., Świątek K., *Wyznaczanie elipsoidalnych wysokości punktów za pomocą pomiarów GPS*. Seminarium naukowe „Zastosowanie technik kosmicznych w geodezji i geodynamice”, Wrocław, 25-27 czerwiec 1998.
- 2) Dawidowicz K., Świątek K., *Wykorzystanie GPS do wyznaczania wysokości punktów*. IX Sesja Naukowo - Techniczna „Aktualne problemy naukowe i techniczne prac geodezyjnych”, Gdańsk, 16-17 październik 1998.
- 3) Dawidowicz K., Lamparski J., Świątek K. , 2001, *O możliwościach określenia wysokości metodą pomiarów GPS*. X Sesja Naukowo-Techniczna „Aktualne problemy naukowe i techniczne prac geodezyjnych”, Piwniczna, 10-12 maj 2001.
- 4) Dawidowicz K., *Analiza wpływu różnych czynników na wyznaczone wysokości elipsoidalne z obserwacji GPS*. X Sesja Naukowo-Techniczna „Aktualne problemy naukowe i techniczne prac geodezyjnych”, Piwniczna, 10-12 maj 2001.
- 5) Dawidowicz K., *Analiza dokładności wyznaczania wysokości z pomiarów GPS*. The anniversary International Scientific-Technical Conference "130 years of the Department of Geodesy", Ukraina, Lwów, 29-30 czerwiec 2001.
- 6) Dawidowicz K., *Wyznaczanie wysokości normalnych punktów z wykorzystaniem obserwacji GPS i modeli quasi-geoidy oraz metodą interpolacji*. XVIII Jesienna Szkoła Geodezji im. Jacka Rejmana, Polanica Zdrój, 26-27 wrzesień 2002.

- 7) Dawidowicz K., Świątek K., *Problemy unifikacji pionowych układów odniesienia w Europie*. XI Sesja Naukowo – Techniczna „Aktualne problemy naukowe i techniczne prac geodezyjnych”, Olsztyn, 16-17 wrzesień 2005.
- 8) Dawidowicz K., Świątek K., *Niwelacja satelitarna GPS w oparciu o pomiar na jednej częstotliwości*. XIX Jesienna Szkoła Geodezji im. Jacka Rejmana, Polanica Zdrój, 22-24 wrzesień 2005.
- 9) Dawidowicz K., *Niwelacja satelitarna GPS z wykorzystaniem częstotliwości L1 oraz wymodelowanej poprawki jonosferycznej*. XX Jubileuszowa Jesienna Szkoła Geodezji im. Jacka Rejmana, Polanica Zdrój, 16-18 wrzesień 2007.
- 10) Dawidowicz K., J. Lamparski, Świątek K., *Wyznaczanie wysokości z wykorzystaniem niwelacji satelitarnej*. XX Jubileuszowa Jesienna Szkoła Geodezji im. Jacka Rejmana, Polanica Zdrój, 16-18 wrzesień 2008.
- 11) Dawidowicz K., Świątek K., *Some aspects of GPS observation elaboration for heights appointment requirements*. The 7th International Conference ENVIRONMENTAL ENGINEERING, Litwa, Wilno, 22-23 maj 2008.
- 12) Dawidowicz K., Świątek K., *Analiza opracowania pomiarów satelitarnych GPS oprogramowaniem komercyjnym w kontekście wyznaczania wysokości*. XXI Jesienna Szkoła Geodezji im. Jacka Rejmana, Polanica Zdrój, 1-3 październik 2009.
- 13) Dawidowicz K., *Obliczanie poprawek do obserwacji kodowych i fazowych ze względu na zmienność położenia centrów fazowych anten*. Konferencja nt. „Satelitarne metody wyznaczania pozycji we współczesnej geodezji i nawigacji”, Olsztyn, 20-21 maj 2010.
- 14) Dawidowicz K., Krzan G., Świątek K., *Dokładność wyznaczenia pozycji technika GNSS w terenach miejskich z wykorzystaniem serwisu POZGEO systemu ASG-EUPOS w zależności od długości sesji obserwacyjnej*. Konferencja Sekcji Geodezji Satelitarnej Komitetu Badań Kosmicznych i Satelitarnych PAN nt. „Satelitarne metody wyznaczania pozycji we współczesnej geodezji i nawigacji”, Kraków, 24-27 wrzesień 2013.
- 15) Dawidowicz K., 2014, *Phase center variations problem in GPS/GLONASS observations processing*. The 9th International Conference ENVIRONMENTAL ENGINEERING, Litwa, Wilno, 22-23 maj 2014.
- 16) Dawidowicz K., *Impact of different antenna calibrations models on height determination in dependence of session duration – a case study*. XI International Scientific conference on Geographic Information Systems „GIS ODYSSEY 2014”, Chorwacja, Crikvenica, 1–5 wrzesień 2014.
- 17) Dawidowicz K., *Optimized Technology for GNSS Height Determination using ASG-EUPOS*. XII International Scientific conference on Geographic Information Systems „GIS ODYSSEY 2015”, Włochy, Perugia, 7-11 wrzesień 2015.
- 18) Dawidowicz K., Krzan G., Baryła R., Rapiński J., *Effects of changing the antenna phase center calibration model in sub-daily position time series*. 5th Galileo Science Colloquium, Niemcy, Breunschweig, 27-29 październik 2015.

Prezentacje wygłoszone na zaproszenie

- 19) Prezentacja pt. „*Faculty of Geodesy and Land Management at University of Warmia and Mazury in Olsztyn – education and research*”, przedstawiona na Wydziale Inżynierii Lądowej i Geodezji Uniwersytetu w Hanowerze (1.12.2014)

5.5. Prezentacje na seminariach naukowych

- 1) **Dawidowicz K.**, *Wyznaczanie wysokości punktów z obserwacji GPS*, seminarium Instytutu Geodezji Wydziału Geodezji i Gospodarki Przestrzennej, Olsztyn, 16 styczeń 2001.
- 2) **Dawidowicz K.**, *Problem zmian fazowych anten w pomiarach GNSS*, seminarium Instytutu Geodezji Wydziału Geodezji i Gospodarki Przestrzennej, Olsztyn, 17 grudzień 2013.

5.6. Recenzowanie publikacji w czasopismach naukowych

Czasopisma z list A Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego

- 1) Journal of Aerospace Engineering (1 recenzja w 2013)
- 2) Measurement (1 recenzja w 2014)
- 3) Remote Sensing (1 recenzja w 2015)
- 4) Ocean Engineering (1 recenzja w 2015, 1 recenzja w 2016)
- 5) Sensors (1 recenzja w 2015)
- 6) Environmental Engineering and Management Journal (1 recenzja w 2016)
- 7) Journal of Geodesy (1 recenzja w 2016)
- 8) Acta Geodaetica et Geophysica (2 recenzja w 2016)
- 9) Survey Review (1 recenzja w 2016)

Pozostałe czasopisma

- 10) Journal of Applied Engineering Sciences (1 recenzja w 2014, 1 recenzja w 2016)



5.7. Redakcja czasopism i monografii naukowych

Redaktor naukowy monografii: Bednarczyk M., Biryło M., Dawidowicz K., Hlotov V., i in., 2015, „MODERN GEODETIC TECHNIQUES IN SPATIAL MEASUREMENT”, ISBN 978-953-6129-45-4, Nacionalna knjižnica, Zagreb, Croatia, 102 pages.

5.8. Osiągnięcia dydaktyczne

Przedmioty prowadzone na Uniwersytecie Warmińsko-Mazurskim w Olsztynie (1994-2016)

1) Wydział Geodezji i Gospodarki Przestrzennej

Geodezja I

Podstawy geodezji z geomatyką

Geodezja wyższa i astronomia geodezyjna

Geodezja fizyczna i grawimetria geodezyjna

Geodezja inżynierska

2) Wydział Nauk Technicznych

Geodezja

3) Wydział Ochrony Środowiska i Rybactwa

Geodezja i Kartografia

4) Wydział Nauk o Środowisku

Geodezja praktyczna

Promotorstwo i recenzje prac inżynierskich i magisterskich

Promotorstwo prac magisterskich: 24

Promotorstwo prac inżynierskich: 19

Recenzowanie prac magisterskich i inżynierskich: 51

Kształcenie kadr

Promotor pomocniczy w otwartym przewodzie doktorskim mgr inż. Grzegorza Krzana „Ocena możliwości wykorzystania metody *Precise Point Positioning (PPP)* z użyciem aktualnych produktów IGS w pomiarach geodezyjnych” (WGIPIB UWM)

Nagrody

Brązowy medal za Długoletnią Służbę I stopnia, 2011 rok.



5.9. Ukończone staże, szkolenia oraz studia podyplomowe

- 1) Staż w przedsiębiorstwie OPGK Olsztyn, 1.07.1993 – 31.08.1993.
- 2) Studia podyplomowe „Szacowanie nieruchomości”, Akademia Rolniczo-Techniczna w Olsztynie, 1993.
- 3) Kurs doszkalcający w zakresie doskonalenia pedagogicznego nauczycieli akademickich, Akademia Rolniczo – Techniczna w Olsztynie, 1993-1994.
- 4) Staż w przedsiębiorstwie AGROMAP w ramach projektu „Komercjalizacja wyników badań oraz kreowanie postaw przedsiębiorczych przez UWM w Olsztynie poprzez staże, szkolenia i działania uświadamiające z zakresu przedsiębiorczości akademickiej” współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego, umowa nr 21/2009/UWM/PN2, 01.01.2010 – 28.02.2010.
- 5) Warsztaty dla pracowników i doktorantów Wydziału Geodezji i Gospodarki Przestrzennej UWM w Olsztynie: „Analizy bibliometryczne na platformie Web of Knowledge”, 11.12.2013.
- 6) Szkolenie z zakresu nowoczesnych metod dydaktycznych dla nauczycieli akademickich UWM w Olsztynie w ramach projektu „Wzmocnienie potencjału dydaktycznego UWM w Olsztynie”: „Bazy danych – Access”, 09.2014.
- 7) Udział w projekcie PI „Innowacje przyszłością Regionu” – Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego, 01.02.2014. Uczestnik projektu.
- 8) Staż w ZAKŁADZIE USŁUG GEODEZYJNYCH "RM-GEO" w ramach projektu „Od pomysłu do innowacji” przy wsparciu Olsztyńskiego Parku Naukowo - Technologicznego – staże naukowców w przedsiębiorstwach Warmii i Mazur, współfinansowanym ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego, umowa nr U-03/OPNT/S/9/2014, 1.08.2014 – 31.01.2015.

5.10. Prowadzone szkolenia

Szkolenie dla Służby Geodezyjnej i Kartograficznej dotyczące wykorzystania systemu ASG-EUPOS w pracach geodezyjnych i kartograficznych. Wykonawca, 03.11.2008 - 10.12.2008.

5.11. Współpraca międzynarodowa

- 1) Staż zagraniczny w Instytucie Geodezji Wydziału Inżynierii Lądowej i Geodezji Uniwersytetu w Hanowerze w ramach projektu: staże w wiodących zagranicznych ośrodkach akademickich i naukowo-badawczych dla kadry

dydaktycznej UWM w projekcie „Wzmocnienie potencjału dydaktycznego UWM w Olsztynie”, 16.11.2014 – 6.12.2014.

- 2) Współpraca z dr inż. Tobiaszem Kerstenem z Uniwersytetu w Hanowerze w zakresie modelowania zmian położenia centrum fazowego anteny.

5.12. Członkostwo w organizacjach i komitetach redakcyjnych

- 1) Stowarzyszenie Geodetów Polskich - od października 2010.
- 2) Członek zespołu redakcyjnego czasopisma Journal of Applied Engineering Science - od kwietnia 2014.
- 3) GIS Forum - członek honorowy od września 2015.

5.13. Organizacja konferencji i seminariów naukowych

- 1) „The 9th FIG International Symposium on Deformation Measurements”, 27-30 Wrzesień 1999, Olsztyn. (komitet organizacyjny)
- 2) „Satelitarne metody wyznaczania pozycji we współczesnej geodezji i nawigacji”, konferencja dedykowana pamięci prof. dr. hab. inż. Lubomira Włodzimierza Barana, 23-25 czerwca 2014, Olsztyn. (komitet organizacyjny)
- 3) Seminarium Instytutu Geodezji UWM w Olsztynie „Ocena możliwości wykorzystania metody Precise Point Positioning (PPP) z użyciem aktualnych produktów IGS w pomiarach geodezyjnych”, 07.2014. (komitet organizacyjny)
- 4) Seminarium Instytutu Geodezji UWM w Olsztynie „Zastosowanie metody sympleksu Nelder-Mead’a do wpasowania krzywych w zbiory punktów przy regulacji torów kolejowych”, 09.2014. (komitet organizacyjny)
- 5) Seminarium Instytutu Geodezji UWM w Olsztynie „Wybrane, teoretyczne i aplikacyjne własności M_{split} estymacji”, 09.2014. (komitet organizacyjny)
- 6) Seminarium Instytutu Geodezji UWM w Olsztynie „Badania nad wykorzystaniem nowych cywilnych sygnałów GPS oraz nowych produktów czasu rzeczywistego służby IGS” do poprawy rozwiązania nawigacyjnego”, 09.2014. (komitet organizacyjny)
- 7) Seminarium Instytutu Geodezji UWM w Olsztynie „Georeferencja danych ze skaningu laserowego na podstawie zobrażeń anten GNSS”, 09.2014. (komitet organizacyjny)

5.14. Pozostała działalność organizacyjna na uczelni

- 1) Opiekun Praktyk zawodowych studentów kierunku Geodezja i Kartografia (od 02.2003).
- 2) Członek komisji i zespołów rekrutacyjnych na Wydziale Geodezji i Gospodarki Przestrzennej UWM Olsztyn (2005-2007).
- 3) Opiekun roku na Wydziale Geodezji i Gospodarki Przestrzennej (5-krotnie, w latach 2003-2016).

Krzysztof Jankowski