

Gdynia, 02 grudnia 2017

Prof. dr hab. inż. Andrzej Felski  
Akademia Marynarki Wojennej  
Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego  
Instytut Nawigacji i Hydrografii Morskiej  
81-127 Gdynia, ul. Śmidowicza 69  
Tel. 261262774, e-mail: [a.felski@amw.gdynia.pl](mailto:a.felski@amw.gdynia.pl)

Recenzja rozprawy doktorskiej  
mgr inż Grzegorza Krzana  
pt. Ocena możliwości wykorzystania metody Precise Point Positioning (PPP)  
z użyciem aktualnych produktów IGS w pomiarach geodezyjnych

## **1. Podstawa formalna:**

Uchwała nr 182 Rady Wydziału Geodezji, Inżynierii Przestrzennej i Budownictwa Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie z dnia 19 września 2017 roku przekazana wraz z pismem Dziekana WGIPiB z dnia 02 października 2017.

## **2. Krótka charakterystyka doktoranta.**

Mgr inż. Grzegorz Krzan ukończył studia pierwszego stopnia pierwszego stopnia na Wydziale Geodezji i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie w roku 2010 uzyskując tytuł zawodowy inżyniera geodezji i kartografii w specjalności geodezja i geoinformatyka. W roku 2011 uzyskał tytuł zawodowy magistra geodezji i kartografii w specjalności geodezja satelitarna i nawigacja po ukończeniu studiów na tym samym wydziale, prowadzonych w j. angielskim. Na podstawie kwerendy w dostępnych bazach stwierdzam, że doktorant w okresie minionych czterech lat opublikował 13 publikacji samodzielnie lub we współautorstwie, dostępnych za pośrednictwem Internetu, w tym 12 cytowanych 36 razy. Nie mam wątpliwości, co do tego, iż dorobek ten należy uznać za znacznie przekraczający warunek sformułowany w artykule 11.1 Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym i dowodzi dużej aktywności naukowej doktoranta.

W trakcie studiów doktoranckich uczestniczył w pięciu konferencjach w kraju i za granicą prezentując swoje osiągnięcia naukowe, w warsztatach prowadzonych w Europejskim Centrum Analiz Kosmicznych (ESOC) oraz stażach w przedsiębiorstwie Space Kinetics. Doktorant był też beneficjentem trzech grantów uczelnianych.

### 3. Charakterystyka i ocena osiągnięcia naukowego stanowiącego rozprawę doktorską

#### 3.1. Ogólny opis osiągnięcia naukowego doktoranta

Rozprawa doktorska przedstawiona do oceny nosi tytuł „Ocena możliwości wykorzystania metody Precise Point Positioning (PPP) z użyciem aktualnych produktów IGS w pomiarach geodezyjnych. Składa się z czterech artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach o zasięgu światowym, z tego 3 w tytułach znajdujących się na liście A.

- A) Krzan G. (2018) **The usability of the undifferenced positioning techniques in establishing regional geodetic control networks: a case study in Poland.** *Studia Geophysica et Geodaetica*, Springer;
- B) Krzan G., Stępiak K. (2017) **Application of the Undifferenced GNSS Precise Positioning in Determining Coordinates in National Reference Frames.** *Artificial Satellites* vol.52(3), degruyter.com;
- C) Krzan G., Dawidowicz K., Stępiak K., Świątek K. (2017) **Determining normal heights with the use of Precise Point Positioning.** *Survey Review*, vol. 49(355), pp. 259-267 Taylor & Francis;
- D) G Krzan, P Przechlowski (2016) **GPS/GLONASS precise point positioning with IGS real-time service products.** *Acta Geodyn. Geomater*, vol. 13(1), pp. 69-81, irsm.cas.cz.

Jeden z nich jest w całości autorstwa doktoranta, natomiast w trzech pozostałych doktorant jest członkiem zespołu autorskiego, przy czym w jednym przypadku współautorem jest również promotor. We wszystkich przypadkach opracowań zbiorczych załączono oświadczenia współautorów dowodzące, iż istota tych pozycji jest wynikiem prac doktoranta, natomiast udział współautorów polegał na udostępnieniu pomiarów lub weryfikacji poprawności merytorycznej tekstu, toku wywodu bądź obliczeń. Wszystkie są ściśle powiązane tematycznie i nie mam wątpliwości, co do tego, iż stanowią cykl monotematyczny, a zatem spełniają wymogi ustawy. Dotyczą one zastosowania metody PPP w precyzyjnych pomiarach geodezyjnych z użyciem różnych odbiorników, różnych szeregów czasowych, różnych źródeł danych do obliczeń. Potwierdzają one tezę, iż technika PPP jest alternatywą dla innych technik stosowanych dotychczas w celu rozwiązywania bardzo dokładnych zadań pozycjonowania geodezyjnego.

#### 3.2. Krótka charakterystyka prac stanowiących spójny cykl tematyczny

Od wielu lat w dziedzinach nauki wymagających ustalania współrzędnych obiektów powszechnie stosuje się system GPS. Zależnie od oczekiwań jest to wariant kodowy, który dostarcza współrzędnych bezwzględnych, jednak dla wielu zastosowań dokładności tych wyznaczeń są niewystarczające. Z tego powodu dość powszechnie stosuje się różnorodne systemy wspomagające, oparte o obiekty naziemne lub umieszczone w kosmosie, tak punktowe jak i obszarowe, na przykład DGPS, EGNOS. Jednak i te rozwiązania, klasyfikowane często nazwą „Point Positioning” nie zawsze są satysfakcjonujące z powodu ich dokładności. Z tego powodu w geodezji powszechnie stosuje się pomiary fazowe w miejsce kodowych. Jednakże mankamentem tych technik jest względność pomiarów. Metoda Precise Point Positioning w pewnym sensie łączy oba wspomniane warianty dając możliwość ustalenia współrzędnych bezwzględnych z wysoką dokładnością.

Jest to technika względnie nowa i nie do końca znane są jej uwarunkowania i możliwości. Istotna zmiana nastąpiła w tym obszarze w roku 2013, gdy udostępniono serwis czasu rzeczywistego danych niezbędnych do stosowania tych rozwiązań. Tak więc bez wątpienia prace mgr inż. Krzana mieszczą się w nurcie najnowszych światowych tendencji badawczych w obszarze technik pozycjonowania satelitarnego.

W pracy [A] cyklu przedstawiono rozważania nad przydatnością technik nieodróżnicowanych do tworzenia sieci geodezyjnych. Wykorzystano pomiary realizowane na 13 stacjach wyposażonych zarówno w odbiorniki wysokiej klasy, jak i typowe odbiorniki pomiarowe posługując się oprogramowaniem NAPEOS v. 3.3.1. Istotą badań było użycie standardowych danych PPP oraz nieodróżnicowanych technik w wersji tzw. post-processingu przy okresach rejestracji od 30 min, przez okresy godzinne aż po całodobowe. Wysokie dokładności uzyskanych rezultatów potwierdzają możliwość zastosowania takich rozwiązań nawet w sytuacjach, gdy wymagane są centymetrowe dokładności.

W pracy [B] zreferowano wyniki badań nad wykorzystaniem obserwacji satelitarnych wykonanych względem układu ITRF2008 metodami PPP transformowanych następnie do układu państwowego. Pomiary wykonano w dwóch sieciach testowych. Pierwszy z opisanych testów dotyczył dokładności rocznych obserwacji dwuczęstotliwościowych obserwacji GPS na 14 stacjach sieci ASG-EUPOS będących jednocześnie stacjami EUREF Permanent Network (EPN) z użyciem oprogramowania NAPEOS. Wyniki zostały przetransformowane do sieci państwowej (PL-ETRF2000) i porównane z odpowiednimi danymi dla sieci EPN. Obserwacje były przetwarzane z użyciem filozofii PPP i nieróżnicowania pomiarów z zamiarem określenia układu krajowego względem ITRF2008 oraz wyznaczenia prędkości platformy Euroazjatyckiej. Drugi z testów dotyczył podobnej strategii obliczeń postprocessingowych w oparciu o różne długości serii pomiarowych i różne klasy zastosowanych odbiorników. Potwierdzono możliwości uzyskania centymetrowych dokładności wyników.

W pracy [C] autorzy rozpatrują możliwości zastosowania wielostacyjnych rozwiązań PPP dla wyznaczenia wysokości normalnych. Ponownie wykorzystano oprogramowanie NAPEOS, różnej długości cykle pomiarowe, różnej klasy odbiorniki. Oczywiście w trakcie przetwarzania pomiarów w trybie post-processingowym zastosowano odpowiednie korekty na parametry obrotu Ziemi, centra fazowe anten itp. W efekcie badań wykazano, że technika PPP stanowi realną alternatywę dla wyznaczania wysokości, jakkolwiek z pewnymi ograniczeniami.

W pracy [D] podjęto próbę uwzględnienia, w badaniach podobnych do wcześniej referowanych, danych nie tylko z GPS, ale również GLONASS. Zaprezentowano wyniki dwutygodniowej sesji pomiarowej prowadzonej na pięciu stacjach IGS stosując różne produkty IGS z wyznaczaniem pozycji w czasie rzeczywistym. Wykazano potencjalnie wysokie możliwości techniki PPP, z zastrzeżeniem możliwych ograniczeń, które mogą wynikać z możliwych opóźnień przekazywania produktów IGS, prawdopodobnie z przyczyn przepustowości sieci ograniczających serwis czasu rzeczywistego.

### **3.3. Ocena osiągnięcia naukowego doktoranta**

W przedstawionym, jako osiągnięcie naukowe, cyklu publikacji pan mgr inż. Grzegorz Krzan zajmował się rozlicznymi aspektami wykorzystania techniki Precise Point Positioning z zamiarem oceny ich przydatności w geodezji. W badaniach posłużył się rejestracjami wykonanymi na wielu stacjach na obszarze całej Europy i poddał je serii testów numerycznych wykorzystując różne strategie badawcze. Wszechstronne badania doktoranta dotyczyły zarówno obserwacji wielostacyjnych jak i na pojedynczych stacjach, wyznaczeń w czasie rzeczywistym jak i

postprocessingowych. Analizowany wyznaczenia współrzędnych płaskich jak i wysokości. Na uwagę zasługuje również fakt, że pomiary, którymi posługiwano się były wykonywane zarówno odbiornikami najwyższej klasy jak i takimi, które są stosowane w codziennej praktyce geodezyjnej.

Badania doktoranta wykazały, że pomiary wykonywane odbiornikami najwyższej klasy w długich seriach i opracowane metodami postprocessingu pozwalają uzyskać dokładności współrzędnych płaskich rzędu 5mm i do 15mm w przypadku wysokości elipsoidalnych. Ponadto analiza wyznaczeń opracowanych na podstawie danych IGS i ESA wykazało, że różnice są zaniedbywalne.

Na podstawie danych ze stacji EPN autor wykazał, że rozpatrywane techniki pozwalają monitorować ruch stacji i przy okazji wykazał dużą stabilność krajowych stacji sieci EPN.

Powyższe badania opierały się na bardzo długich sesjach obserwacyjnych, które nie mogą być stosowane w codziennej praktyce geodezyjnej. Z tego względu doktorant zainteresował się także możliwością wykonywania pomiarów w znacznie krótszych sesjach i wykazał, że techniki PPP mogą zapewnić dokładność rzędu 5cm już po 15 minutach obserwacji. Oczywiście dłuższe sesje zapewniają wyższe dokładności, tak jak i techniki wielostacyjne oraz włączenie pomiarów GLONASS do wyznaczeń.

Doktorant poddał analizie również techniki czasu rzeczywistego uzyskując dokładności, zależnie od zastosowanych produktów, od 1m do wartości poniżej 50cm. W wielu przypadkach zadań kinematycznych, na przykład morskich, tego rodzaju dokładności okazują się satysfakcjonujące, zwłaszcza, że nie zależą od odległości od brzegu, a z zasady przewyższają alternatywne rozwiązania, na przykład EGNOS.

Podsumowując uważam, że przedstawione w recenzowanym cyklu wyniki badań mgr inż. Krzana nad technikami PPP stanowią osiągnięcie naukowe zdecydowanie wykraczające poza ramy określone zwyczajowo dla rozprawy doktorskiej. Doktorant podjął aktualne, interesujące i bez wątplenia ważne z przyczyn technologicznych oraz ekonomicznych pytanie o możliwości wykonywania pomiarów geodezyjnych nowatorską techniką.

Doktorant wykazał się nie tylko wiedzą, ale również doskonałym opanowaniem warsztatu badawczego, praktycznymi umiejętnościami niezbędnymi w pracy naukowej w dyscyplinie geodezja i kartografia, co upoważnia Go do samodzielnego prowadzenia badań. Natomiast efekty badań przedstawione w recenzowanym cyklu prac wnoszą bez wątplenia istotne wartości w rozwój dyscypliny.

### **3.4. Uwagi krytyczne**

Recenzowany cykl jest pisany przez osobę, która w pierwszym rzędzie reprezentuje podejście geodety. To determinuje całość wywodu i jest to dla recenzenta oczywiste. Nie dostrzegam w przedstawionych publikacjach błędów lub niejasności. Zresztą teksty te zostały wcześniej opublikowane w renomowanych czasopismach, więc na ewentualne niedoskonałości wcześniej zwrócili uwagę recenzenci lub redakcje. Jednakże pragnę zwrócić uwagę, że ogólny wydźwięk doktoratu sugeruje, iż techniki PPP w przypadku dostatecznie długich obserwacji mogą znaleźć zastosowanie w zadaniach geodezyjnych wymagających bardzo dużych dokładności, choć niekoniecznie w pomiarach wysokości. Wobec tego można byłoby podjąć dyskusję nie tylko o dokładności, ale również o innych aspektach decydujących o konkurencyjności tych technik wobec wcześniej stosowanych, na przykład ekonomicznych. Byłbym zatem zobowiązany, gdyby doktorant zechciał w trakcie obrony podjąć próbę analizy innych niż dokładność, aspektów definiujących przydatność technik PPP i perspektyw szerszego jej wdrożenia do praktyki. Mam na

myśli nie tylko koszty wprost, ale na przykład zagadnienie zmian pogody w długich seriach pomiarowych, ewentualne problemy logistyczne itp.

Ciekawym aspektem stosowania technik PPP jest wariant kinematyczny pomiarów. Autor wspomina o tym zagadnieniu marginalnie, podczas gdy w ostatnich dwóch latach technika ta, w wariacie komercyjnym, jest coraz powszechniej stosowana. Poproszę zatem o przedstawienie poglądów doktoranta na ten aspekt. Gdzie można oczekiwać zastosowania tych rozwiązań, dlaczego i kosztem których spośród wcześniej stosowanych?

#### **4. Podsumowanie**

Podsumowując stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Grzegorza Krzana pt. „Ocena możliwości wykorzystania metody Precise Point Positioning (PPP) z użyciem aktualnych produktów IGS w pomiarach geodezyjnych” stanowi oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego w rozumieniu art. 13, pkt. 1 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” (tekst jednolity Dz.U. z 2016 r. poz. 882 z późn. zmianami).

Doktorant wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań naukowych, w przedstawionej rozprawie rozwiązał samodzielnie problem naukowy, jakim było zbadanie problematyki wykorzystania metody PPP w pomiarach geodezyjnych, a w związku z powyższym wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

