

**Prof. dr hab. Jerzy B. Rogowski**

Katedra Geodezji i Oceanografii

Wydział Nawigacyjny

Akademii Morskiej

Ul. Sędzickiego 19, 81-225 Gdynia

Tel: (+48)228454194. E-mail: jerzyrogowski@gmail.com

Tel. kom.: 502262598.

Gdynia, dnia 3 kwietnia 2017 r.

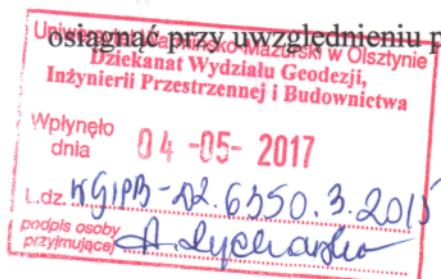
### *Recenzja*

#### **Rozprawy doktorskiej mgr inż. Pawła Przestrzelskiego pt.: „Sieciowe pozycjonowanie różnicowe z wykorzystaniem obserwacji GPS i GLONASS”**

Recenzowana rozprawa dotyczy ważnego w nawigacji problemu podniesienia dokładności różnicowych pomiarów GNSS czyli DGNSS. W rozprawie autor przyjmuje, że obserwacje GNSS, to obserwacje GPS i GLONASS. Na podstawie wcześniejszych prac, których jest współautorem stwierdza, że wynik wyznaczenia pozycji po włączeniu systemu GLONASS wzrasta o 20 – 28%. Jednym z problemów w wyznaczeniu pozycji techniką DGNSS jest spadek dokładności ze wzrostem odległości pozycji wyznaczanego obiektu od stacji referencyjnej, wynoszący około 0,2 m na sto kilometrów. Aby zmniejszyć spadek dokładności wyznaczenia pozycji metodą GNSS doktorant proponuje zastosować metodę sieciowego pozycjonowania różnicowego, formułując następujące zagadnienia, których rozwiązanie jest konieczne w procesie zaplanowanych badań:

- Wagowanie obserwacji GLONASS,
- Wyznaczenie międzykanałowych opóźnień GLONASS,
- Oszacowanie wpływu opóźnień międzykanałowych GLONASS na wyniki sieciowego pozycjonowania różnicowego GPS/GLONASS.

W rozprawie postawiona jest teza mówiąca, że „zaniedbanie międzykanałowych opóźnień GLONASS podczas integracji kodowych obserwacji GPS i GLONASS na potrzeby sieciowego pozycjonowania różnicowego, może doprowadzić do pogorszenia dokładności wyznaczenia pozycji w stosunku do metody, która wykorzystuje wyłącznie pseudoodległości GPS, lub co najmniej spowodować obniżenie jakości rozwiązania dwusystemowego, którego wyższy poziom można osiągnąć przy uwzględnieniu przedmiotowego opóźnienia”.



Rozprawa liczy 125 stron i składa się z 7 rozdziałów, spisu literatury, wykazu źródeł internetowych, spisu tabel i rysunków oraz bibliografii a także załącznik A zawierający fragmenty autorskiego kodu opracowanej aplikacji. Spis literatury zawiera 138 pozycji oraz 10 wskazań na źródła znajdujące się na stronach internetowych.

W rozdziale 1 zatytułowanym „Wprowadzenie” autor precyzuje omówiony wcześniej cel badawczy swojej rozprawy. Stawia również w sposób wyraźny wcześniej przedstawioną tezę rozprawy.

Rozdział drugi poświęcony jest charakterystyce systemów GPS i GLONASS w rozdziale tym autor koncentruje się na analizie jedynie segmentów kosmicznych obu systemów w celu zidentyfikowania problemów przy ich integracji, wynikających ze znacznie różniącej się ich architektury. Należą do nich odmienne: charakterystyki sygnałów, skale czasu, układy odniesienia oraz sposoby przeliczenia danych z depechy satelitarnej na pozycję satelity. Końcowa część tego rozdziału poświęcona jest integracji obu systemów w której porusza problemy różnych: systemów czasu, układów odniesienia oraz opóźnień międzykanałowych satelitów GLONASS. Wskazując sposób ich rozwiązania. Rozdział ten liczy 19 stron i zawiera sporo istotnych spostrzeżeń

Rozdział trzeci poświęcony jest modelowi matematycznemu sieciowego pozycjonowania różnicowego GPS/GLONASS. W rozdziale tym autor przedstawia kodowe i fazowe równania obserwacyjne wykorzystywane w obserwacjach GNSS. W dalszej części rozdziału omawia źródła błędów w pomiarach GNSS dzieląc je na błędy przekazywane w depechy w tym błędy parametrów orbity i zegara na satelicie. Dalej w tym rozdziale doktorant zajmuje się błędami spowodowanymi propagacją fal radiowych w atmosferze i błędami pomiarów w tym głównie szumami odbiornika i wielodrożnością sygnałów. Przedstawia on również (za literaturą) sposób oszacowania łącznego tych dwóch zjawisk i ich analizę. W końcowej części tego rozdziału przedstawiony jest model matematyczny użyty w opracowywanej przez autora metodzie NDGNSS. W części tej omówione są kolejno: metoda różnicowa wyznaczenia współrzędnych z wykorzystaniem obserwacji kodowych – DGNS, sposób sieciowego obliczenia poprawek do pseudoodległości oraz wygładzanie obserwacji kodowych przy pomocy obserwowanej fazy sygnału.

W rozdziale czwartym zatytułowanym „Autorskie oprogramowanie” doktorant zajmuje się analizą dostępnych programów GNSS stwierdzając, że wśród zarówno ogólnodostępnych jak i komercyjnych oprogramowań trudne jest znalezienie aplikacji, którą można byłoby być wykorzystać



w technice NDGPS i NDGNSS. Najbardziej zbliżoną do potrzeb badań prowadzonych przez autora jest biblioteka GPSTk opracowana przez Laboratorium Badań Stosowanych Uniwersytetu w Teksasie. Biblioteka ta nie spełniła w pełni oczekiwań doktoranta dlatego po weryfikacji możliwych algorytmów NDGPS i przeprowadzeniu badań decyduje się na opracowanie własnej autorskiej aplikacji. W rozdziale tym przedstawione są wyniki wyznaczenia pozycji metodami DGPS i NDGPS. Uzyskane wyniki wskazują na około 40% poprawę dokładności pozycji przy przejściu z systemu DGPS na NDGPS. W tej części rozprawy autor analizuje wyniki uzyskane z opracowania w który pseudoodległości wygładzono przy pomocy zaobserwowanej fazy. Ten rozdział można uznać za oryginalne osiągnięcie autora.

Kolejny piąty rozdział poświęcony jest wagowaniu obserwacji GLONASS. Jak wiadomo odbiorniki tego samego typu dla obserwacji GLONASS będą obciążone podobnymi opóźnieniami międzykanałowymi (ICB), powinny się one zatem eliminować przy zastosowaniu obserwacji różnicowych. Brak jest jednak wyników badań dotyczących ich wpływu na różnicowe pozycjonowanie sieciowe GLONASS. Autor podejmuje się ocenić czy odnosi się to również do sieciowego pozycjonowania różnicowego NDGNSS, uzyskując pozytywne wyniki. W rozdziale tym doktorant zajmuje się ponadto: oceną jakości danych GPS i GLONASS, wpływem wagowania obserwacji GLONASS na rozwiązanie NDGNSS oraz wynikami wyznaczenia pozycji wewnątrz i na zewnątrz poligonu testowego. Rozdział ten zawierający wiele autorskich rozwiązań zakończony jest podsumowaniem w którym zawarte są oryginalne spostrzeżenia i wnioski. Autor zauważa, że wpływ opóźnień zależnych od częstotliwości może być zredukowany poprzez zmniejszenie wagi obserwacji GLONASS poprawiając znacząco wyniki wyznaczeń. W przeprowadzonych testach uzyskano wyniki składowych poziomych z dokładnością znacznie poniżej 0.2 m i około 0,3 m w składowej wysokościowej. W przypadku testów dla stacji leżących poza granicami sieci testowej dla punktów leżących do 60 km poza siecią nie stwierdzono pogorszenia wyników dopiero dla punktów położonych ponad 100 km poza granicami sieci wyniki były znacznie gorsze wykazując ponadto odchyłki systematyczne. W tym miejscu autor zaleca wypróbowanie innej metody ekstrapolacji danych, bądź wykorzystanie w obliczeniach znaną wysokość stacji. Uzyskane w tym rozdziale wyniki badań można zaliczyć do oryginalnego dorobku doktoranta.

W rozdziale szóstym autor zajmuje się międzykanałowymi kodowymi opóźnieniami w systemie GLONASS. Przedstawione są między innymi różne podejście do wyznaczenia opóźnień międzykanałowych jednak żadne z nich nie dotyczyło sieciowego pozycjonowania różnicowego. Celem przeprowadzonych przez doktoranta badań było wyznaczenie kodowych opóźnień ICB i oszacowania wpływu kalibracji odbiorników GLONASS na wyniki wyznaczenia pozycji metodą

NDGNSS. W kolejnej części omawianego rozdziału przedstawiona jest metoda wyznaczenia opóźnień ICB na potrzeby rozwiązania NDGNSS. Wartości ICB zgodnie z proponowaną metodą obliczane są dla każdego satelity GLONASS na podstawie najpierw dobowych a później tygodniowych obserwacji GNSS stosując metodę iteracyjną. Wysoką precyzję wyznaczenia opóźnień międzykanałowych można też uzyskać stosując obserwacje na zerowym wektorze ale ze względu na brak bezpośredniego dostępu do stacji referencyjnych podejście to jest bardzo trudne w realizacji. Wydaje się optymalnym zastosowanie rozwiązania przedstawionego w recenzowanej rozprawie. W kolejnych częściach pracy przedstawione jest wyznaczenie opóźnień międzykanałowych i kalibracji obserwacji GLONASS. W podsumowaniu tej części badań zawarta jest weryfikacja procedury kalibracyjnej poprzez porównanie jej z metodą zmniejszenia wagi obserwacji GLONASS omówionej w rozdziale 5. W podsumowaniu autor stwierdza, że zaproponowana iteracyjna procedura wyznaczenia kodowych opóźnień międzykanałowych jest praktyczną metodą w zastosowaniu do sieciowego wyznaczenia różnicowego GPS/GLONASS (NDGNSS). Przeprowadzone badania wykazały, że pominięcie opóźnień ICB może prowadzić do degradacji dokładności uzyskanych pozycji. Podsumowując ocenę tego rozdziału rozprawy stwierdzam, że autor poradził sobie z rozwiązaniem postawionego w nim problemu.

W rozdziale siódmym zatytułowanym „Podsumowanie i wnioski” doktorant przypomina, że celem badań było opracowanie metody integracji kodowych pseudoodległości GPS i GLONASS na potrzeby opracowania metody sieciowego pozycjonowania różnicowego NDGNSS. Metoda ta pozwoliła na wyznaczenie pozycji z najlepszą dokładnością przy wykorzystaniu jednoczesnym obu systemów. Wnioski przedstawione w recenzowanym doktoracie są sformułowane prawidłowo i rozszerzają wiedzę w zakresie sformułowanym w rozdziale pierwszym i potwierdzają słuszność sformułowanej tezy.

Za zbędny w rozprawie uważam liczący 11 stron załącznik A zawierający wybrane fragmenty kodu źródłowego.

W rozprawie znalazłem kilka drobnych usterek o charakterze redakcyjnym, które przekażę bezpośrednio doktorantowi i mam nadzieję, że zostaną uwzględnione w publikacji przygotowanej do druku po obronie rozprawy.

Przedstawiając ostateczną ocenę rozprawy, stwierdzam, że zawiera ona przedstawioną w sposób uporządkowany i kompletny analizę metod jakie mogą być wykorzystane w sieciowym wyznaczeniu różnicowym pozycji z wykorzystaniem łącznym obserwacji GPS i GLONASS.

Opracowany przez doktoranta metoda może być wykorzystana w praktyce. Rozprawa jest opracowana starannie zarówno pod względem merytorycznym, jak i redakcyjnym.

Podsumowując stwierdzam, że opracowując swoją rozprawę doktorską mgr inż. Paweł Przestrzelski wykazała się umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań naukowych oraz, że praca spełnia warunki określone dla rozpraw doktorskich w art. 13 ustawy z 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2003 roku nr 65, poz. 595 ze zmianą w Dz.U. z 2005 roku, nr 164, poz. 1365) oraz przedkładam o dopuszczenie jej do publicznej obrony.



*Prof. dr hab. inż. Jerzy B. Rogowski*