

Warszawa, dnia 27.05.2022 r.

prof. dr hab. inż. Janusz Bogusz

Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji
Wojskowa Akademia Techniczna
im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Dawida Kwaśniaka
nt. „Łączne opracowanie obserwacji z różnych systemów GNSS
z wykorzystaniem metody MAFA”**

1. Podstawa formalna.

Podstawą formalną recenzji jest pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej „Inżynieria Lądowa i Transport” Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, dr. hab. inż. Jacka Rapińskiego, nr WG.IGIB.6350.3.2018 z dnia 17.03.2022 roku. Podstawami prawnymi są: ustawa z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (t.j. Dz. U. z 2017 roku poz. 1789, przepisy wprowadzające ustawę – prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1669 z późn. zm.) oraz uchwała nr 76 Rady Dyscypliny Naukowej „Inżynieria Lądowa i Transport” Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie z dnia 22.02.2022 roku w sprawie powołania recenzentów w przewodzie.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy.

Przedstawiona mi do recenzji rozprawa obejmuje łącznie 77 stron maszynopisu (siedem rozdziałów, źródło finansowania badań (NCN) oraz spisy: literatury, rysunków i tabel). W rozdziale 1. Autor po krótkim wprowadzeniu definiuje cel rozprawy, którym jest udowodnienie, iż rozwinięcie modelu matematycznego metody MAFA (*Modified Ambiguity Function Approach*) pozwoli na estymację międzysystemowego opóźnienia sprzętowego (ISB – *Inter-System Bias*) bez konieczności powiązywania tego parametru z nieoznaczonościami pomiaru fazowego. Rozdziały 2. i 3. stanowią podstawy teoretyczne wykonanych badań, Autor skupił się na zagadnieniach z tego zakresu najważniejszych, takich jak charakterystyka istniejących systemów GNSS, opracowanie nawigacyjnych obserwacji satelitarnych oraz błędy w pomiarach GNSS. Rozdział 4. to opis metod estymacji międzysystemowych opóźnień sprzętowych.

Rozdziały 5. i 6., kluczowe dla rozprawy, zawierają wyznaczenia wartości parametru ISB w długich sesjach statycznych oraz analizy pokazujące istotność jego uwzględnienia w pozycjonowaniu z wykorzystaniem nawigacyjnych systemów satelitarnych. Rozdział 7. to podsumowanie i wnioski. Wykaz literatury zawiera 47 pozycji bibliograficznych w postaci artykułów naukowych, monografii oraz odnośników do stron internetowych.

3. Ocena celu, tezy i metodyki badawczej.

Praca dotyczy jednego z fundamentalnych problemów opracowania nawigacyjnych obserwacji w różnych systemach GNSS, mianowicie różnych częstotliwości nadawanych sygnałów. Znajomość międzysystemowego opóźnienia sprzętowego odgrywa tu rolę kluczową, który to problem Doktorant postanowił rozwiązać przy użyciu zmodyfikowanego modelu metody MAFA, stawiając przy tym tezę o treści: „rozwińcie modelu matematycznego metody MAFA pozwoli na estymację międzysystemowego opóźnienia sprzętowego bez konieczności powiązywania tego parametru z nieoznaczonościami pomiaru fazowego”. Metodę MAFA wykorzystano dlatego, iż w przeciwieństwie do popularnie stosowanej metody LAMBDA wartość parametru ISB jest estymowana w sposób bezpośredni i nie istnieje konieczność powiązywania jej z żadnym innym parametrem. Podstawowe zadanie postawione sobie przez Doktoranta polegało na ocenie wpływu estymacji międzysystemowego opóźnienia sprzętowego na proces obliczeniowy wyznaczenia pozycji.

4. Ocena układu pracy i treści.

W pracy Autor w sposób zwięzły przedstawił podstawy działania nawigacyjnych systemów satelitarnych (rozdział 2.) oraz wybrane metody opracowania danych nawigacyjnych wraz z błędami systemowymi (rozdział 3.). Rozdział 4. to opis metod estymacji międzysystemowych opóźnień sprzętowych z położeniem nacisku na opis teoretyczny metody wyznaczenia wartości parametru ISB z wykorzystaniem metody MAFA. Rozdziały 5. i 6., kluczowe dla rozprawy, opisują praktyczny sposób wyznaczenia wartości parametru ISB w długich sesjach statycznych oraz badanie stabilności tego parametru w czasie. Rozdział ostatni podsumowuje recenzowaną rozprawę.

Z ogólnych uwag dyskusyjnych, uważam, że temat „Łączne opracowanie obserwacji z różnych systemów GNSS ...” wskazuje na szeroki temat obejmujący wszystkie zagadnienia związane z uzyskaniem współrzędnych na drodze opracowania obserwacji kodowych i fazowych w tym zagadnień takich jak transformacje systemów odniesienia współrzędnych satelitów, zależności skal czasowych, realizacji kombinacji „iono-free” itd.



Natomiast w tezie temat został zawężony do zagadnienia opóźnienia międzysystemowego w zasadzie bez słowa komentarza. Dopiero w podrozdziale 3.2.5 Doktorant „prześlizguje się” po tych zagadnieniach i to bardzo ogólnikowo. Moim zdaniem można było troszkę inaczej zredagować część teoretyczną, gdyż uwypuklono w niej elementy moim zdaniem mniej istotne dla samej pracy. Na przykład szczegółowo omówiono aktualną konstelację satelitarną, mimo, że zmienia się ona dość dynamicznie (wystarczyłyby odnośnik do źródeł), a niektóre błędy pomiarowe zostały potraktowane po macoszemu: np. „Niell” to nie tylko funkcja odwzorowująca, ale przecież cały model. Brak natomiast w tej części w ogóle informacji o bardzo szeroko obecnie stosowanym modelu VMF (Vienna Mapping Functions).

Rozdział „LITERATURA” jest potraktowany dość pobieżnie, znajduje się w nim tylko 45 pozycji, ale tylko 8 bezpośrednio związanych z wyznaczeniem opóźnienia międzysystemowego. Nawet wstępne przeszukanie bazy Web of Science daje wyniki wielokrotnie wyższe. Ponadto uważam, że „PODSUMOWANIE I WNIOSKI” do rozprawy doktorskiej zajmujące tylko niecałe 2 strony to zdecydowanie za mało.

5. Ocena merytoryczna pracy.

Sukcesywne uruchamianie nowych nawigacyjnych systemów opartych na sztucznych satelitach Ziemi z jednej strony stwarza nowe możliwości, z drugiej jednak powoduje powstawanie problemów, które nie były adresowane w stosunku do pojedynczych systemów typu GNSS, jak połączenie różnych odniesień czy systemów czasu. W tym znaczeniu estymacja m.in. międzysystemowego opóźnienia sprzętowego staje się działaniem bardzo istotnym.

Praca wyraźnie daje się podzielić na dwie części: teoretyczną oraz analityczną, opisującą własne badania Doktoranta. Na 21 stronach pracy (44-65) przedstawione zostały wyniki analiz wraz z ich opisem pod kątem wyznaczenia oraz badania zmian parametru ISB w długich sesjach statycznych. Zagadnieniem praktycznym wykonanych badań jest analiza wpływu międzysystemowego opóźnienia sprzętowego na pomiary satelitarne oraz przygotowanie wytycznych dotyczących uwzględnienia ISB w pomiarach GNSS.

Za niewątpliwe plusy rozprawy uważam zastosowanie zupełnie nowej metody do badania opóźnień międzysystemowych prezentujące podejście oparte na metodzie MAFA oraz własnoręczne stworzenie oprogramowania dającego podstawę wykonania szczegółowych analiz.

Znalazłem również w pracy pewne uchybienia warte publicznej dyskusji.

1. Osiągnięciem Doktoranta jest nie tylko wykonanie analiz, ale również napisanie oprogramowania. Jednakże opis oprogramowania, o którym mowa w rozdziale 5.2 jest wykonany ogólnikowo, choć wiele istotnych szczegółów należałoby podkreślić. W szczególności czy zostało napisane w całości od podstaw czy wykorzystano np. biblioteki goGPS lub inne (na str. 46 pada tylko określenie „oprogramowanie samodzielnie stworzone w środowisku MatLab”)? Czy moduł pomiarów statycznych uwzględnia wszystkie systemy GNSS? Jak rozwiązano metodę DGNS i transformacje współrzędnych satelitów? Chodzi mi to, że jeżeli oprogramowanie zostało napisane od podstaw jest to bardzo duża praca i godna dużego rozdziału pracy. W podsumowaniu Autor podkreśla samodzielne wykonanie oprogramowania i chociażby w tym miejscu można było napisać coś na temat procedur czy perspektyw dalszego rozwoju programu.
2. Z literatury wiadomo, że uwzględnienie ISB w rozwiązaniach zwiększa liczbę dobrych (akceptowalnych – z niskim błędem) rozwiązań, jak również polepsza błąd rozwiązania (SD) o co najmniej 20%. Badania wykonane w ramach pracy również to potwierdziły. Natomiast pozostaje sprawa jak się to ma do rozwiązań wektorów większych niż przysłowiowe 10 km (choćby z literatury). W pracy wykorzystano krótkie wektory (odległości między punktami), ale w żadnym miejscu nie podano jakie to odległości. Nie napisano również jaka została przyjęta minimalna odległość pomiędzy antenami, aby słuszne było podstawowe założenie poczynione w pracy, mianowicie założenie braku (eliminacji) błędów atmosferycznych: jonosferycznego i troposferycznego (czyli takie same warunki na obu punktach). Na podstawie ogólnodostępnych danych policzyłem wartości odległości oraz różnicy wysokości, odległość wahała się od 4.5 do 12 961 m, natomiast różnica wysokość od 0 do 43 m. Chciałbym usłyszeć w publicznej dyskusji, czy te wartości są istotne dla omawianego zagadnienia czy też nie.
3. Na str. 34 rozprawy Doktorant stwierdza, iż: „W związku z tym eksperymenty pomiarowe zostały zaprojektowane w taki sposób, aby odległość pomiędzy odbiornikami była mała, co pozwoli na pominięcie wpływu atmosfery na prezentowane wyniki”. Jest to założenie ograniczające wyciągnięte wnioski (patrz uwaga poprzednia). Można wpływ atmosfery „wyciągnąć” sprzętowo, mianowicie wygenerować na symulatorze GNSS sygnały wolne nie tylko od wpływu atmosfery, ale również wszystkich błędów systematycznych. Mogłoby to ostatecznie rozwiązać wątpliwości co do skuteczności zastosowanej metody.
4. Autor domyślnie przyjął badanie ISB dla tych samych częstotliwości środkowych L1/E1 i L5/E5a (*overlapping frequencies*) w systemach GPS i Galileo, ale nie wspomniał o badaniach ISB w przypadku różnych sygnałów (*non-overlapping frequencies*). Czemu?

5. Zaproponowane rozwiązanie daje wyniki różnicowe, czyli błąd pojawiający się w rozwiązaniu DD (*Double Differences*), co oczywiście w przypadku tych samych modeli odbiorników daje wartość ISB zero (dobrze świadczy to o producentach, który stosują te same elementy elektroniczne w danym modelu). Natomiast pozostaje sprawa wyznaczenia bezwzględnych wartości ISB, które mogą być na poziomie setek nanosekund. Z tego powodu opisywana metoda ma pewne ograniczenia, ponieważ może być zastosowana tylko do metod różnicowych, nie da się jej zastosować w metodzie autonomicznej (PPP), co oczywiście nie jest jej wadą, ale to stwierdzenie uważam, że w rozprawie powinno wyraźnie zostać wyartykułowane.
6. Jak wygląda kwestia braku rozwiązań w przypadku nieuwzględnienia ISB w równaniach? Jest to związane z warunkiem identyczności, który został przyjęty jako poziom odrzucenia rozwiązania i w tym względzie podanie przyjętego poziomu identyczności jest ważne, pytanie czy przypadkiem nie jest on za mocny? Na str. 62 znalazłem sformułowanie: „Poprawność rozwiązania została zweryfikowana w procesie estymacji. Jeżeli uzyskano identyczne wartości podwójnie zróżnicowanych nieoznaczoności pomiaru fazowego, to rozwiązanie zostało uznane za poprawne.” Co oznacza w tym przypadku „identyczne”? Dokładnie takie samo czy tylko z jakąś akceptowalną różnicą podobne?
7. Na str. 23 znalazłem określenie „niedokładny”, które (na podstawie kontekstu) pochodzi prawdopodobnie od angielskiego słowa „mismodelling”. Jeśli tak, to nie oznacza ono „niedokładny”, a nawet wręcz przeciwnie. Może to być model najdokładniejszy jakim obecnie dysponujemy, aczkolwiek dalej nie będzie on w 100% opisywał rozpatrywanego zjawiska. Jeśli w 99 to ten 1% oznacza właśnie „mismodelling”.
8. Zastanawia mnie sformułowanie „neutralnie naładowane elektrony” (str. 22). Nie jestem fizykiem, ale wydaje mi się, że cząstki neutralne to cząstki, których ładunek elektryczny wynosi 0. Cząstka neutralna może po prostu nie mieć ładunku, albo mieć tyle samo ładunku dodatniego i ujemnego, których to działanie wzajemnie się „znosi”. Elektrony są naładowane ujemnie...
9. W tabeli 3 na str. 17 znajduje się kilka nieścisłości:
 - IRNSS od 2016 roku nazywa się NavIC;
 - system NavIC emituje dodatkowo częstotliwość 2492.028 MHz (S-band), natomiast system QZSS emituje jeszcze 1278.75 MHz (L6) – obie nie wymienione w tabeli.
10. We wzorze (3.2) na str. 19 nie uwzględniony jest błąd „wind-up”. Być może jest on nieistotny, ale dla jasności opracowania powinno to być skomentowane.



11. Zabrakło mi dyskusji na temat kryteriów istotności, znalazłem tylko mało inżynierskie stwierdzenie, że 0.095 m to opóźnienie „znaczne” (str. 54). Kontynuując wątek: na str. 51 pada sformułowanie „nie występowały znaczne zmiany” (znaczące?). Jakie przyjęto kryterium stabilności parametru ISB?
12. W pracy założono, że satelitą referencyjnym zawsze jest satelita GPS (str. 49), ale nie znalazłem nigdzie opisu sposobu przyjęcia satelity referencyjnego.

6. Uwagi szczegółowe.

Część edytorską oceniam pozytywnie, praca jest dobrze napisana po polsku i czyta się ją płynnie, raziło mnie tylko przenoszenie zdań przez strony utrudniające spójną lekturę pracy, w czasie której znalazłem następujące drobne uchybienia:

- str. 9: „niemal kołowych płaszczyznach orbitalnych” → „niemal kołowych orbitach”,
- str. 21: „pływy skorupy ziemskiej” → „pływy części stałej Ziemi”,
- str. 22: „funkcje mapujące” → „funkcje odwzorowujące”,
- str. 22: „elewacja” → „wysokość satelity nad horyzontem”,
- str. 32: „loose combining” oraz „tight combining” przetłumaczono jako „luźne różnicowanie” i „ściśle różnicowanie”. Skąd takie tłumaczenie?
- str. 33: określenie „systemy GPS oraz Galileo nadają obserwacje na tych samych częstotliwościach” jest chyba skrótem myślowym, L1 GPS odpowiada E1 Galileo, L5 GPS odpowiada E5a Galileo, ale pozostałe częstotliwości obu tych systemów są różne,
- str. 48: „maska elewacji” → „minimalna wysokość satelity nad horyzontem”.

Ułatwiałoby czytanie rozprawy umieszczenie wykazu skrótów i akronimów, tym bardziej, że część z nich nie została wyjaśniona w pracy (np. str. 46: SBAB, choć podejrzewam, że chodzi o SBAS). Nie wiem dlaczego w pracy zastosowano różne style cytowań: w załączniku ponumerowane (styl numeryczny), a w tekście styl harwardzki.

Uwagi powyższe nie wpływają jednakże w sposób istotny na ogólny, pozytywny wydźwięk rozprawy.

7. Wniosek końcowy.

Na podstawie lektury przedstawionej mi rozprawy stwierdzam, iż Doktorant zrealizował postawiony sobie cel pracy. Wynikiem badań jest modyfikacja modelu matematycznego algorytmu MAFA w celu efektywnego uwzględniania parametru ISB w opracowaniu obserwacji nawigacyjnych GNSS poprzez estymację w procesie wyznaczania pozycji. Uważam, że recenzowana rozprawa doktorska jak najbardziej wpisuje się w aktualną problematykę naukową związaną z pozycjonowaniem za pomocą nawigacyjnych systemów satelitarnych GNSS. Uchybienia przedstawione w recenzji nie umniejszają wartości merytorycznej rozprawy, stanowi ona wartościowe osiągnięcie Doktoranta. Na podkreślenie zasługuje fakt, iż wynikiem rozprawy są publikacje w czasopiśmie wyróżnionych przez Journal Citation Reports oraz prezentacje Doktoranta na międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych. Ponadto badania powstały w wyniku realizacji projektu Preludium Narodowego Centrum Nauki.

W związku z powyższym stwierdzam, iż przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Dawida Kwaśniaka spełnia warunki przewidziane w artykule 13. ustawy z dnia 14 marca 2003 r. (z późniejszymi zmianami) o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki i wnoszę o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.



Janusz Bogusz