

Prof. dr hab. inż. Andrzej Felski  
Akademia Marynarki Wojennej  
Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego  
Katedra Nawigacji i Hydrografii Morskiej  
81-127 Gdynia, ul. Śmidowicza 69  
tel. 506170172, e-mail: a.felski@amw.gdynia.pl

Gdynia, 27.11.2022

Recenzja rozprawy doktorskiej  
mgr inż. Magdy Mrozik  
pt. Wykorzystanie metody pozycjonowania SBAS  
w procedurze podejścia do lądowania

**1. Podstawa formalna:**

Uchwała nr 72/2022 Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Śląskiej z dnia 22 września 2022r..

**2. Geneza tematu, przedmiot badań i problem badawczy**

Żywiolowy rozwój satelitarnych systemów nawigacyjnych doprowadził do powszechnego stosowania ich w obszarze nie tylko nawigacji, ale również lokalizowania i czasu. Jednakże, jak każde rozwiązanie techniczne, systemy te mają pewne ograniczenia, które w różny sposób uwidoczniają się dla różnych użytkowników. W tym kontekście należy postrzegać tworzenie wszelkich systemów wspomagających systemy GNSS, między innymi systemów z grupy SBAS. Usługi tej grupy systemów cechują się, między innymi ograniczonym obszarem działania. Dla przykładu granica wschodnia systemu EGNOS, będącego europejską wersją SBAS, przebiega, w przybliżeniu wzdłuż wschodniej granicy Polski. To powoduje pewne ograniczenia, więc pomysł jednoczesnego wykorzystania dwóch sąsiednich systemów narzuca się w sposób oczywisty.

W tym świetle rozprawa pani mgr inż. Magdy Mrozik pt. „Wykorzystanie metody pozycjonowania SBAS w procedurze podejścia do lądowania” wpisuje się w bieżącą problematykę naukową związaną z nawigacją zorientowaną na bezpieczeństwo lotów, ale nie tylko w tym zakresie. Znajduje się też w szerszym nurcie światowych badań nad tym zagadnieniem, które są licznie opisywane, najczęściej w kontekście wykorzystania wariantu amerykańskiego lub europejskiego tych systemów. Pytanie o możliwość wykorzystania danych dostarczanych przez rosyjski odpowiednik jest dostrzegalne w publikacjach uczonych z Japonii, Korei Południowej czy Chin, również w Europie, na przykład w Finlandii i Polsce. Najczęściej podejmowane są badania w aspekcie jakości tego systemu, podczas gdy Doktorantka zainteresowała się możliwością współdziałania wariantu rosyjskiego z europejskim. W swojej rozprawie postawiła tezę, że wspólne wykorzystanie dwóch sąsiadujących systemów daje możliwość uzyskania lepszych parametrów procesu pozycjonowania, co jest newralgicznym zagadnieniem dla procesu podejścia do lądowania.

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

#### **3.1. Ogólny opis osiągnięcia naukowego doktorantki, cel i charakter rozprawy**

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska składa się z dziewięciu rozdziałów, nie licząc części formalnych opracowania. Dysertacja liczy 147 stron i ma charakter analityczno-koncepcyjno-eksperymentalny. Jej istota (cel doktorantki) sprowadza się do opracowania metody poprawy parametrów jakości pozycjonowania statku powietrznego poprzez jednoczesne wykorzystanie danych dostarczanych za pośrednictwem dwóch systemów wspomagania klasy SBAS.

Syntetyzując przedstawioną pracę można powiedzieć, że Doktorantka przedstawia dotychczasowe badania nad zastosowaniem systemów SBAS, podkreślając przy tym wkład krajowego środowiska, a następnie proponuje oryginalną metodę przetwarzania danych uzyskiwanych z satelitów GPS oraz danych dostarczanych równocześnie przez systemy wspomagające: europejski EGNOS i rosyjski SDCM. W początkowych fragmentach Autorka przedstawiła zasadnicze informacje na temat systemu GPS oraz obu systemów wspomagających go i procedury podejścia do lądowania według tych systemów. W mojej ocenie nieco pobieżnie potraktowała Doktorantka opis systemu SDCM, jednak świadom jestem, że dostępność informacji na temat tego rosyjskiego wariantu SBAS jest niewielka.

#### **3.2. Odniesienie do stanu techniki**

Global Positioning System NAVSTAR, powszechnie nazywany skrótem GPS to pierwszy spośród współczesnych systemów grupy GNSS, który jest w zasadzie dostępny od około 40 lat. W tym czasie całkowicie zmieniło się podejście do zagadnienia nawigacji i lokalizacji w wielu obszarach związanych początkowo z wojskiem, a później również z transportem, geodezją i na kilku innych polach ludzkiej aktywności zawodowej. Co więcej, w minionych dekadach system, który pierwotnie budowany z myślą o zastosowaniach militarnych w wieku XXI stał się również codziennością niemal każdego człowieka posiadającego telefon komórkowy. Jednak nadal istniały obszary, dotyczyło to między innymi lotnictwa komunikacyjnego, w których wiarygodność i dostępność GPS i podobnych systemów traktowano z rezerwą. Wyjściem naprzeciw miały być, zaproponowane przez ICAO, systemy wspomagające, które są oparte o sieć naziemnych stacji monitorujących oraz kanał łączności z użytkownikami wykorzystujący łączność satelitarną, nazwane ogólnie jako Space Based Augmentation Systems.

Wprawdzie systemy te cechują się ograniczoną strefą działania, jednak obecnie funkcjonuje ich kilka, dzięki czemu od parunastu lat obejmują już w istocie całą półkulę północną. Znajdują szerokie zastosowanie praktyczne, bowiem wiele lotnisk w USA posiada już certyfikowane procedury podejścia z użyciem systemu WAAS, który jest wersją amerykańską lub w Europie - EGNOS.

Od ponad dwudziestu lat systemy te są przedmiotem wszechstronnych badań i tematem niezliczonych publikacji. Doktorantka zauważa to i zna zagadnienie, czego dowodzi choćby liczba ponad stu pozycji przywoływanych w pracy, tworzących pełny i poprawny obraz zagadnienia. Szczególne miejsce w tym nurcie zajmuje zagadnienie jakości serwisów oferowanych przez te systemy na granicach swoich obszarów działania. Dotyczy to, między innymi, wschodnich obszarów Polski. W ten sposób Doktorantka wspaniale

wpisuje się w nurt współczesnych badań na polu nawigacji satelitarnej.

Przedmiotem zainteresowań pani mgr inż. Mroziak jest nawigacja samolotu z wykorzystaniem systemu SBAS na etapie podejścia do lądowania, jednak w kontekście wschodnich obszarów naszego kraju pojawia się wątpliwość co do jakości usług dostępnego tam systemu EGNOS. Ponieważ obszar ten graniczy z obszarem działania rosyjskiej wersji systemu SBAS zasadnym jest pytanie: czy można wykorzystywać oba systemy jednocześnie i czy takie podejście daje korzyści. To zagadnienie było badane wcześniej, jednak nie w takiej postaci, w jakiej zaproponowała to Doktorantka.

### **3.3. Ocena osiągnięcia naukowego doktorantki**

W ocenianej rozprawie pani mgr inż. Mroziak proponuje procedurę wyznaczania pozycji samolotu w oparciu o pomiary kodowe w systemie GPS z uwzględnieniem korekt dostarczanych przez systemy EGNOS i DSCM w taki sposób, że współrzędne są obliczane równoległe według danych jednego i drugiego systemu, a następnie uśredniane z uwzględnieniem wag. Przy tym wagi są odwrotnością liczby satelitów, do których przesyłane są korekty w poszczególnych systemach wspomagających. Jest to bez wątpienia podejście oryginalne. W ten sposób dokonuje obliczeń takich wskaźników jakości pozycjonowania jak: dokładność, dostępność i ciągłość oraz wiarygodność.

Powyższe założenia zostały zweryfikowane eksperymentalnie, poprzez przetworzenie danych zarejestrowanych w trakcie kilkukrotnego podejścia samolotu do lotniska w Dajtkach, niedaleko Olsztyna w roku 2020. Nie zostało to w rozprawie wyspecyfikowane wprost, jednak można wnosić, iż jest to jeden z elementów wieloletniej kampanii badawczej prowadzonej przez zespół promotora recenzowanej pracy doktorskiej, realizowanej w rejonach Dębłina i Olsztyna. Dane na ten temat znajdują się między innymi w tabeli 7.1 przedstawionej w pracy. Na marginesie pozwolę sobie zauważyć, że korzystniej byłoby, gdyby w tym opisie pojawiły się również daty, albowiem system EGNOS jest tworem żywym i podlega doskonaleniu, a to odzwierciedla się również w jakości pozycjonowania z jego użyciem, co wynika z dalszego opisu w tekście pracy.

Doktorantka skorzystała ze wspomnianych danych i poddała je przetwarzaniu zgodnie z zaproponowaną procedurą. Wyniki porównywała z danymi rejestrowanymi równocześnie metodą GPS-RTK. W efekcie stwierdziła, że wszystkie oceniane parametry pozycjonowania ulegają korzystnej poprawie. Finalnie odniosła te wyniki do wartości rekomendowanych przez ICAO.

Uważam, że opisane w rozprawie zagadnienia, wnioski, a zwłaszcza zaproponowane i przetestowane algorytmy są oryginalne i użyteczne, dowodzą doskonałej znajomości problemów nawigacji lotniczej oraz systemów GNSS. Dowodzą również dogłębnego zrozumienia zagadnienia podjętego przez Doktorantkę, a także Jej inwencji oraz przygotowania do rozwiązywania skomplikowanych wyzwań naukowych.

Autorka rozprawy przyjęła właściwe założenia, precyzyjnie zdefiniowała cel, jakim było opracowanie metodyki prowadzenia obliczeń w oparciu o dwa, jednocześnie wykorzystywane systemy SBAS i potwierdziła tezę, że w ten sposób można poprawić parametry pozycjonowania. Ponadto zastosowała właściwe metody osiągając oryginalne i bardzo wartościowe rozwiązanie, którego poziom uważam za adekwatny do stanu techniki na świecie w rozpatrywanym zakresie.

Osiągnięcie swe Doktorantka przedstawia w bardzo klarowny sposób, posługując się

poprawną terminologią, dowodząc swoje osiągnięcia wynikami eksperymentów praktycznych i ilustrując czytelnymi i jednoznacznymi wykresami.

W swoich badaniach Doktorantka wykazała się nie tylko wiedzą, ale również doskonałym opanowaniem warsztatu badawczego, praktycznymi umiejętnościami niezbędnymi w pracy naukowej w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport, co upoważnia ją do samodzielnego prowadzenia badań. Natomiast efekty badań przedstawione w recenzowanym opracowaniu wnoszą bez wątpienia istotne wartości w rozwój dyscypliny.

### 3.4. Uwagi krytyczne

Odnosząc się do warstwy merytorycznej rozprawy pragnę podkreślić, że wysoko oceniam całą pracę jak i wyniki badań Autorki. Odnoszę to zarówno do koncepcji jak i zastosowanych metod badawczych oraz wyników. Nie zmienia to faktu, że dostrzegam w rozprawie kilka aspektów, które mogłyby być inaczej lub lepiej rozwiązane, zwłaszcza w kontekście ułatwienia czytelnikowi przyswojenia tekstu. Przyznam, że nieco razi mnie nadużywanie terminów „eksperyment lotniczy” albowiem uważam, że w takiej pracy można z powodzeniem używać synonimów. Traktuję jednak to jako specyfikę środowiska, bowiem pani Doktorantka postępuje tak, jak jej otoczenie. Natomiast sformułowania w rodzaju: „dokładność około 1-3 m” uważam za błędne, jeśli zgadzamy się, że błąd (traktowany jako oficjalna definicja dokładności systemu pozycyjnego) to wartość, w której granicach mieści się pewien procent wyników. Wobec tego jeden mieści się w granicach okręgu o promieniu 3.

Tego rodzaju potknięcia traktuję jednak jako drugorzędne, które każdemu mogą się przytrafić. Istotniejsze są zagadnienia merytoryczne, których kilka pozwolę sobie podjąć i byłbym usatysfakcjonowany, jeślibym mógł w trakcie obrony usłyszeć pogląd doktorantki w tym zakresie. Otóż Doktorantka udowodniła prawdziwość swojej tezy, iż jednoczesne zastosowanie dwóch systemów SBAS poprawi jakość pozycjonowania użytkownika (myślę, że nie tylko statku powietrznego). Istotnie, pozycjonowanie samolotu w trakcie kilkukrotnego podchodzenia do lotniska z użyciem systemu GPS wspomaganego jednocześnie systemami EGNOS i SDCM wykazało poprawę wszystkich uzyskiwanych parametrów, nie tylko dokładności, ale także ciągłości, dostępności jak i wiarygodności takiej metody. Jednakowoż pewien niedosyt u recenzenta budzi niedostateczna dociekliwość Doktorantki odnośnie przyczyn tej poprawy. Pojawia się bowiem pytanie o przyczyny tego sukcesu: czy taka procedura prowadzi do wykorzystania większej liczby poprawek, albowiem dwa systemy SBAS obejmują większy obszar działania, czy może wynika to ze specyficznego przetwarzania poprawek pochodzących z systemu SBAS?

Dla przykładu, na rysunku 7.28 przedstawiono liczbę satelitów obsługiwanych przez jeden i drugi system wspomagający. Niestety, brak wyjaśnienia, czy to są różne satelity, czy te same. Ponieważ ich liczba momentami wynosi nawet 17 więc można przypuszczać, że kilka spośród nich jest jednocześnie obsługiwanych przez oba systemy. Jeśli tak, to intrygujące powinno być pytanie na ile się różnią pomiędzy sobą poprawki odnoszące się do tego samego satelity, jednak dostarczane przez oba systemy?

Z dużym prawdopodobieństwem można również postawić tezę, że skoro eksperymenty wykonywano na granicy stref działania obu systemów to poprawa parametrów wynika z pozyskania poprawek względem większej liczby satelitów, co

oznaczałoby, że potencjalnie satelity są w polu widzenia odbiornika jednak poza strefą działania EGNOS, a więc poprawki do pozostałych dostarczane są za pośrednictwem SDCM. Poproszę więc Dyplomantkę o komentarz w tej kwestii, na przykład poprzez przedstawienie tzw. Skyplot na czas eksperymentu, co pozwoli wyjaśnić tę wątpliwość.

Jeśli jednak część satelitów była obsługiwana jednocześnie przez oba systemy to poproszę o pokazanie wartości poprawek pochodzących tak z jednego jak i drugiego systemu wspomagającego. Byłaby to bowiem wyjątkowa okazja do porównania jakości działania obu.

Poproszę również o wyjaśnienie jak Doktorantka interpretuje wielkości nazwane w pracy jako błąd RMS (na przykład str. 97 tabela 8.1) i wartości przedstawione jako „odchylenie standardowe” na str. 94?

#### **4. Podsumowanie**

Podsumowując stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska pani mgr inż. Magdy Mroziak pod tytułem „Wykorzystanie metody pozycjonowania SBAS w procedurze podejścia do lądowania statku powietrznego” stanowi oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego w rozumieniu 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 2017 r. poz. 1789).

Nie mam wątpliwości co do tego, że Doktorantka wykazała się doskonałą znajomością zagadnienia, umiejętnością prowadzenia badań naukowych, formułowania celów, hipotez i dobierania adekwatnych metod badawczych w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport. W przedstawionej rozprawie podała oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, jakim było opracowanie nowej metody pozycjonowania poprzez jednoczesne zastosowanie korekt do pomiarów GPS z użyciem dwóch systemów SBAS, a w związku z powyższym wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

