

dr hab. inż. Jerzy Garus, prof. AMW
Akademia Marynarki Wojennej
Wydział Mechaniczno-Elektryczny
Instytut Elektrotechniki i Automatyki Okrętowej

Gdynia, dnia 22.05.2025 r.

WYDZIAŁ ELEKTRONIKI
TELEKOMUNIKACJI I INFORMATYKI
RPW / 21828 / 2025
Wpłynęło dnia 26.05.2025

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Agnieszki Rymarczyk

pt. „Ship dynamic positioning capability prognosis”

Promotor: dr hab. Anna Witkowska, prof. PG

Promotor pomocniczy: dr inż. Tomasz Zubowicz

Recenzja wykonana na podstawie pisma Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Automatyki, Elektroniki, Elektrotechniki i Technologii Kosmicznych Politechniki Gdańskiej z dnia 04.03.2025 r.

I. Wprowadzenie

W procesie projektowania statku jako złożonego systemu technicznego ważny problem stanowi zagadnienie zapewnienia mu założonych parametrów eksploatacyjnych oraz bezpiecznej pracy w zmiennych warunkach środowiskowych na morzu.

W latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku, kiedy zaszła potrzeba wykorzystania specjalistycznych statków do obsługi instalacji offshore, takich jak platformy wiertnicze czy farmy wiatrowe, na akwenach o dużej głębokości gdzie nie było możliwe użycie tradycyjnych kotwic, pojawiła się koncepcja systemu dynamicznego pozycjonowania. Zadaniem tego systemu była kompensacja działających na kadłub statku zakłóceń pochodzących od wiatru, falowania oraz prądu morskiego, poprzez wykorzystanie do tego celu pędników i urządzeń sterowych.

Obecnie, pod pojęciem statek dynamicznie pozycjonowany (statek DP) rozumiana jest jednostka pływająca posiadająca system sterowania umożliwiający jej utrzymywać stałą pozycję geograficzną i/lub zadany kurs. Dla potrzeb zapewnienia tych funkcjonalności niezbędne są analizy pozwalające ocenić zdolność jednostki do dynamicznego pozycjonowania w warunkach zmiennego środowiska morskiego.

W związku z powyższymi istotnymi zagadnieniami badawczymi w tym obszarze są metody zarówno identyfikacji parametrów hydrodynamicznych modeli kadłuba i pędników jak i syntezy układów sterowania, zapewniających wysoką precyzję pozycjonowania w obecności zakłóceń zewnętrznych czy doboru algorytmów alokacji sił naporu dla zadanej konfiguracji układu napędowego.

Mimo licznych, znaczących prac z tego zakresu, problem prognozowania zdolności jednostki pływającej do dynamicznego pozycjonowania pozostaje nadal otwarty. Dotyczy to w szczególności opracowania kompleksowych i wiarygodnych narzędzi symulacyjnych, które już w fazie projektowania statku, umożliwią przeprowadzanie analiz dynamicznych w warunkach zbliżonych do rzeczywistych. **Tym samym tematyka rozprawy podjęta przez Doktorantkę jest aktualna i zgodna z bieżącymi potrzebami.**

II. Analiza rozprawy doktorskiej

Przedstawiona do recenzji praca, napisana w języku angielskim, ma objętość 192 stron i składa się z 9 rozdziałów numerowanych i spisu cytowanej literatury zawierającego 110 pozycji (w tym 5, współautorstwa Doktorantki) oraz 3 załączników. Na początku rozprawy umieszczono streszczenia w języku polskim i języku angielskim, spis treści, wykazy rysunków i tabel oraz listę skrótów i oznaczeń. **Podział na rozdziały i punkty jest logiczny oraz adekwatny do prowadzonych rozważań.**

W rozdziale 1 „Introduction” Autorka uzasadnia potrzebę podjęcia badań dotyczących opracowania komputerowego systemu wspomagania projektanta w procesie zarówno oceny jak i prognozowania zdolności statku DP do dynamicznego pozycjonowania, w oparciu o analizy statyczne i dynamiczne. Zamieszcza wiarygodne dane literaturowe ukazujące, że zarówno w badaniach numerycznych jak i eksperymentalnych dotyczących statków DP, problematyka ta nie jest jeszcze obecnie dobrze rozpoznana, a w konsekwencji identyfikuje luki badawcze.

Przedstawia cel, zakres i tezy rozprawy, które przyjęły następujące brzmienie:

1. Możliwe jest opracowanie systemu wspomagania decyzji, służącego do prognozowania zdolności statku do dynamicznego pozycjonowania, wykorzystującego synergicznie metody statyczne i dynamiczne oraz uwzględniającego standardy towarzystw klasyfikacyjnych.
2. Opracowany system pozwoli na dokładniejszą ocenę i prognozę zdolności statku do dynamicznego pozycjonowania, w różnych warunkach pogodowych, poprzez zastosowanie podejścia statycznego, wspartego wynikami zawartymi w bazie danych

przeprowadzonych analiz dynamicznych. Ponadto system umożliwi wsparcie decyzji projektanta statku na poszczególnych etapach realizacji projektu.

Rozdział 2 „Dynamic positioning capability assessment” zawiera prezentację standardu DNV-ST-0111 (standard DNV) opracowanego przez norweskie towarzystwo klasyfikacyjne Det Norske Veritas, który definiuje jednolite i spójne wymagania dotyczące oceny zdolności statków DP do utrzymania pozycji w różnych warunkach środowiskowych. Zamieszcza, określone przez ten standard, ograniczenia systemu dynamicznego pozycjonowania dotyczące dopuszczalnych odchyłeń pozycji i kursu statku, opisuje prognozy statyczne (poziomy oceny: level 1, level 2 i level 2-site) oraz prognozy dynamiczne (poziomy oceny: level 3 i level 3-site), a także objaśnia wynik oceny jakim jest diagram DP capability plot obrazujący możliwości utrzymania pozycji oraz zachowania manewrowości przez statek, na który oddziałują zakłócenia od wiatru, prądu i falowania morskiego. Rozdział ten stanowi wprowadzenie do dalszych części rozprawy, w których zaproponowane przez Doktorantkę rozwiązania mają odniesienie do standardu DNV.

W rozdziale 3 „Modeling and identification of DP ship” Doktorantka przedstawia obiekt badań, którym był statek typu Multi Service Vessel (MSV), szczegółowo opisując modele matematyczne jego kadłuba i pędników oraz ich identyfikację parametryczną wykonaną w ramach pracy. Identyfikacja dotyczyła wyznaczenia macierzy tłumienia i mas towarzyszących w modelu kadłuba oraz charakterystyk siły naporu pędników w funkcji prędkości obrotowej śruby. Prezentuje również modele zakłóceń środowiskowych oraz metody ich wyznaczania zastosowane w pracy.

W rozdziale 4 „Static DP capability calculation” Autorka rozprawy opisuje algorytm optymalizacji naporów wykorzystywany w metodzie statycznej, koncentrując się na rozwiązaniu opartym na metodzie programowania kwadratowego i zgodnym z wymaganiami standardu DNV. W celu weryfikacji uzyskanych wyników obliczeń, Doktorantka porównuje je z danymi pozyskanymi dla statku typu Rescue Vessel (RS), o parametrach zbliżonych do statku MSV. Bada także alternatywny, genetyczny algorytm alokacji naporów. W zakończeniu rozdziału zamieszcza wyniki przeprowadzonych analiz oraz ich interpretację.

Rozdział 5 „Dynamic DP capability analysis” Autorka poświęciła opisowi poszczególnych elementów systemu sterowania, wykorzystywanego w analizie dynamicznej statku DP. Przedstawia kluczowe komponenty systemu, takie jak obserwator stanu, regulator pozycji i kursu (PID, MPC) oraz algorytm alokacji naporów (QP). Omawia ich strukturę oraz koncepcję wykorzystania w symulatorze DP.

W rozdziale 6 „Numerical experiments” Doktorantka zamieściła wyniki badań numerycznych zdolności statku MSV do utrzymania pozycji i kursu, przeprowadzonych z wykorzystaniem opracowanego symulatora DP, a zrealizowanych w zgodności z wymogami poziomu level 3-site standardu DNV. Zaprezentowała przebiegi parametrów takich jak siły naporu, orientacja pędników oraz dokonała analizy uzyskanych wyników w kontekście efektywności działania systemu dynamicznego pozycjonowania.

W rozdziale 7 „Physical model experiments” Autorka zaprezentowała wyniki badań eksperymentalnych, przeprowadzonych na basenie modelowym Centrum Techniki Okrętowej w Gdańsku, z wykorzystaniem modelu statku MSV w skali 1:36, a dotyczących oceny jego zdolności do utrzymania pozycji i kursu.

W rozdziale 8 „Comparative analysis of numerical and physical experiments” Doktorantka dokonała porównania wyników uzyskanych metodami statycznymi oraz metodami dynamicznymi. Analizowanymi wielkościami były: odchylenie kursu, maksymalny promień dewiacji pozycji, napory na poszczególnych pędnikach, alokacja naporów oraz zużyta moc. Na tej podstawie dokonała walidacji metody statycznej względem metod dynamicznych i wyznaczyła odpowiednie współczynniki korygujące wyniki metod statycznych.

Zakończenie rozprawy stanowi rozdział 9 „Conclusions and future research”. Doktorantka zamieściła w nim wnioski wynikające z przeprowadzonych analiz, które stanowią podsumowanie badań potwierdzających tezy założone w dysertacji. Przedstawiła także propozycje dalszych kierunków badań w rozważanej w pracy tematyce.

Na końcu rozprawy Autorka zamieszcza 3 załączniki będące uzupełnieniem pracy. Pierwszy z nich przedstawia parametry jednostek typu MSV oraz RS, a dwa kolejne prezentują wybrane wyniki badań numerycznych odnoszących się do wzajemnych oddziaływań pędników i ich interakcji z kadłubem oraz badań eksperymentalnych dotyczących testów statku MSV.

III. Ocena rozprawy doktorskiej

Przedmiotem recenzowanej rozprawy jest problematyka naukowa dotycząca zagadnień związanych prognozowaniem zdolności statku do dynamicznego pozycjonowania, a ukierunkowanych na wyznaczenie korekty do metod statycznych wykorzystywanych na wczesnym etapie projektowania za pomocą metod dynamicznych (symulacji i eksperymentu). Recenzowaną pracę oceniam wysoko ze względu na aspekt praktyczny wynikający z aktualnych potrzeb związanych z projektowaniem i eksploatacją statków DP, jak i – przede

wszystkim – ze względu na nowatorski i oryginalny sposób potraktowania rozpatrywanej tematyki. **Uważam, że cel pracy został osiągnięty, a postawione tezy udowodnione.**

Na szczególne podkreślenie zasługują następujące elementy:

1. Poprawność studiów teoretycznych i analiz naukowo-badawczych nad rozpatrywanym problemem naukowym. Zaproponowany temat jest aktualny w związku z potrzebami w zakresie wykorzystania statków DP w ratownictwie morskim, energetyce morskiej czy pracach podwodnych.
2. Precyzyjne zdefiniowanie przedmiotu badań i celu dysertacji, wynikających z rozpoznania rozważanych problemów jak i doświadczenia Doktorantki.
3. Umiejętność korzystania z literatury specjalistycznej oraz formułowania oryginalnych wniosków, co dowodzi dojrzałości naukowej Autorki dysertacji.
4. Przyjęcie oryginalnego programu badań symulacyjnych i eksperymentalnych.
5. Możliwość wykorzystania wyników rozprawy do celów praktycznych.
6. Bardzo staranne i przejrzyste wykonanie pracy. Konsekwencja w stosowanej terminologii i poprawny język techniczny.

Spośród wymienionych wyżej elementów rozprawy na szczególną uwagę zasługują:

1. Autorski system wspomagania decyzji projektanta, zarówno na wczesnym jak i zaawansowanym etapie projektowania statku DP, obejmujący opracowane przez Doktorantkę metody identyfikacji parametrycznej modelu obiektu, algorytmy alokacji naporów i regulator MPC.
2. Sformułowanie ciekawego, dotychczas nie w pełni zbadanego i opisanego w literaturze, problemu dotyczącego oceny dokładności metod statycznych względem dynamicznych wyznaczania zdolności statku do dynamicznego pozycjonowania.
3. Identyfikacja parametryczna kadłuba statku, w szczególności macierzy tłumienia, za pomocą metod numerycznych CFD (Computational Fluid Dynamics).
4. Opracowanie i implementacja metody programowania kwadratowego w celu rozwiązania nieliniowego problemu optymalnej alokacji sił naporu, z uwzględnieniem niewypukłego zbioru ograniczeń systemu napędowego.

IV. Uwagi ogólne i zapytania

Mam również nieliczne uwagi krytyczne, a mianowicie:

1. Brak uporządkowania alfabetycznego zamieszczonego spisu ważniejszych oznaczeń co, chociaż nie jest obligatoryjne, utrudnia studiowanie rozprawy.

2. Mimo widocznej staranności opracowania Autorka nie uchroniła się od drobnych błędów edycyjnych, które pozwoliłem sobie zaznaczyć na otrzymanym egzemplarzu pracy. Nie mają one istotnego wpływu na moją wysoką ocenę rozprawy.

Jako zagadnienia dyskusyjne, proszę Doktorantkę o odniesienie się do poniższego:

1. W celu porównania metod statycznych i dynamicznych w pracy przeprowadzono badania symulacyjne i eksperymentalne. Jednak, dla szeregu warunków środowiskowych, liczba badań eksperymentalnych jest niewystarczająca do pełnej walidacji metody statycznej. Czy planowane jest rozszerzenie eksperymentów w przyszłości, aby uzupełnić walidację dla pełniejszego zakresu warunków?
2. Zarówno w symulacji jak i w eksperymencie statek nie utrzymał pozycji dla fali krótkiej, jednak dla fali długiej o tej samej wysokości statek utrzymuje pozycję. Jak można uzasadnić przyczynę tego zjawiska.
3. Standard DNV zakłada współczynnik dynamiczny na poziomie 25%, (stosowany do metod statycznych), aby uwzględnić dodatkową moc zapotrzebowaną na bilansowanie zmiennych sił pochodzących od środowiska morskiego, w szczególności od falowania). W pracy natomiast skupiono się na wyznaczeniu dokładności metod statycznych stosując własny współczynnik dynamiczny. Jak wyznaczony empirycznie współczynnik dynamiczny ma się do wartości zalecanych przez towarzystwo klasyfikacyjne DNV i czy może on zostać uogólniony?
4. W pracy upraszcza się model statku do macierzy tłumienia (nieliniowej) oraz mas (w tym mas towarzyszących) i wyznacza ich parametry. Natomiast pomija się macierz Coriolisa. Jakie mogą być konsekwencje pominięcia macierzy Coriolisa w analizach dynamicznych i czy jest to uzasadnione w DP?
5. W pracy zaproponowano budowę bazy danych współczynników dynamicznych/korekcyjnych dla różnych statków DP, a następnie korzystanie z tych współczynników dla kolejnych projektów przy założeniu, że określone parametry jednostki pływającej, takie jak długość czy zanurzenie, mogą być wykorzystane do aproksymacji współczynnika dynamicznego dla nowego statku. Jak planowane jest zapewnienie wiarygodności tej bazy danych oraz czy rozważano zastosowanie metod predykcji współczynnika dla nowych projektów?

V. Podsumowanie

Na podstawie analizy treści ocenianej rozprawy doktorskiej stwierdzam, że stanowi ona istotny wkład w rozwój wiedzy i metodyki badań w zakresie projektowania i sterowania statków wyposażonych w system dynamicznego pozycjonowania, ze względu na wysoki poziom merytoryczny oraz osiągnięcia użytkowe w zakresie rozpatrywanych problemów. Praca jest dobrym przykładem zastosowania nowoczesnych metod naukowych, zarówno teoretycznych jak i eksperymentalnych, do rozwiązywania zadań w dyscyplinie naukowej automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

VI. Konkluzja

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Agnieszki Rymarczyk pt. „Ship dynamic positioning capability prognosis” spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim przez ustawę z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2021 poz. 478 z późn. zm.). W związku z tym wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.



.....

