

Szczecin, 17.11.2025

dr hab. inż. Tomasz Cepowski, prof. PM
Politechnika Morska w Szczecinie



Recenzja poprawionej rozprawy doktorskiej

mgr inż. Sebastiana Bielickiego

pt.: Metoda symulacji manewrowania statkiem z pędnikami azymutalnymi, z uwzględnieniem wpływu falowania, wiatru i prądów wodnych na ruch statku.

1. Podstawa formalna

Uchwała Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Gdańskiej zgodnie z pismem Przewodniczącego Rady Dyscypliny l.dz. 155/WIMiO/2025 z dnia 27.10.2025.

2. Opinia ogólna

Rozprawa doktorska pt. „Metoda symulacji manewrowania statkiem z pędnikami azymutalnymi, z uwzględnieniem wpływu falowania, wiatru i prądów wodnych na ruch statku” autorstwa Pana Sebastiana Bielickiego została w wersji pierwotnej oceniona przeze mnie pozytywnie. Uznałem, że poruszała ona zagadnienie oryginalne i istotne dla dyscypliny inżynieria mechaniczna, a zaprezentowane w niej wyniki stanowią prawidłowe i twórcze rozwiązanie postawionego problemu naukowego. Rozprawa potwierdziła zdolność doktoranta do samodzielnego prowadzenia badań, odznaczała się wysokim potencjałem aplikacyjnym i świadczyła o jego dojrzałości naukowej.

W pierwotnej recenzji stwierdziłem, że praca spełnia wymagania określone w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2022 poz. 574 z późn. zm.) i zawnioskowałem o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Zapoznanie się z wersją poprawioną nie zmieniło mojej oceny, uwagi zgłoszone w pierwotnej recenzji zostały uwzględnione, a dokonane korekty podniosły jakość rozprawy.

3. Przedstawienie problematyki badawczej rozprawy

Temat i treść rozprawy dotyczą istotnej problematyki, która koncentruje się na opracowaniu metody umożliwiającej ocenę zdolności manewrowych statku z napędem azymutalnym w warunkach zbliżonych do rzeczywistych warunków operacyjnych eksploatacji statku. Obecnie badania modelowe tego zagadnienia są kosztowne, czasochłonne, a liczba specjalistycznych obiektów badawczych, które mogą takie badania przeprowadzić jest ograniczona. Głównym problemem badawczym rozprawy jest kwestia, czy badania modelowe prowadzone w specjalnie dostosowanym obiekcie można zastąpić eksperymentami w standardowym basenie holowniczym. Doktorant zaproponował rozwiązanie tego problemu poprzez wykorzystanie modelu matematycznego ruchu płaskiego statku. Trudność polega na tym, że istniejące modele tego typu zapewniają wymaganą dokładność przede wszystkim dla statków z napędem

konwencjonalnym i jedynie w ograniczonym zakresie uwzględniają oddziaływanie środowiska morskiego. Dlatego wyznaczenie interakcji kadłuba statku z pędnikiem azymutalnym, było kluczowym problemem badawczym który podjął Doktorant, i który próbował rozwiązać na drodze badań empirycznych. Dodatkowo Doktorant podjął się zweryfikowania metod obliczeniowych stosowanych do wyznaczania sił oddziaływania fali i wiatru na statek. W tym celu zdecydował się wykorzystać sprawdzone metody numeryczne oparte na teorii przepływów potencjalnych oraz numerycznej mechanice płynów.

Rozwiązanie powyższych problemów ma duże znaczenie poznawcze i praktyczne. Podjęcie tej tematyki przez Doktoranta jest w pełni uzasadnione, zwłaszcza że narzędzia opracowane w ramach badań mogą zostać wdrożone w przedsiębiorstwie, w którym jest zatrudniony.

4. Układ i treść pracy

Poprawiona praca składa się z ośmiu rozdziałów, trzech załączników oraz bibliografii, które razem tworzą logiczną i przejrzystą całość obejmującą 167 stron, wliczając części formalne oraz załączniki. Bibliografia liczy 98 pozycji. Do pracy dołączono erratę dotyczącą formuły 3.7.

W pierwszym rozdziale pt. „Wprowadzenie” Doktorant uzasadnił podjęty problem badawczy, przedstawił elementy wdrożeniowe proponowanej metody, a także określił cel i zakres pracy oraz układ rozprawy. Jak podano w rozprawie, „głównym celem pracy jest opracowanie metody symulacji manewrowych statku z napędem azymutalnym na wodzie spokojnej, uwzględniającej reakcje hydrodynamiczne wyznaczone na podstawie badań eksperymentalnych”. Autor sformułował również cel użyteczny rozprawy jako opracowanie oprogramowania komputerowego do prognozowania właściwości manewrowych jednostek w warunkach morskich.

W rozdziale 2 Doktorant przedstawił podstawy teoretyczne proponowanego matematycznego modelu ruchu statku z uwzględnieniem reakcji hydrodynamicznych i środowiskowych. W następnym rozdziale Doktorant przedstawił matematyczne modele sił zewnętrznych z propozycjami rozszerzenia tych metod biorąc pod uwagę specyficzne właściwości napędu azymutalnego. Omówiono tu:

- aproksymacje reakcji hydrodynamicznych na kadłubie opartą na szeregu Taylora i zmodyfikowanym modelu MMG (Modular Maneuvering Model) – rozdział 3.1,
- zastosowanie teorii dysku przyspieszającego do modelowania sił działających na pędnik, upraszczając w ten sposób skomplikowane badania eksperymentalne możliwe do realizacji jedynie w dedykowanych basenach modelowych – rozdział 3.2,
- stosowane metody numeryczne do wyznaczania reakcji od fali z wykorzystaniem m.in. funkcji przenoszenia liniowych i kwadratowych – rozdział 3.3,
- modelowanie oddziaływania wiatru na statek z wykorzystaniem m.in. numerycznej mechaniki płynów – rozdział 3.4.

Rozdział 4 przedstawia wybrane przez Doktoranta metody identyfikacji sił zewnętrznych działających na manewrujący statek, zarówno na wodzie spokojnej jak i fali. Ten rozdział składa się z następujących części:

- Identyfikacja współczynników interakcji kadłub-pędnik – w której przedstawiono wpływ pracującego pędnika na hydrodynamikę kadłuba oraz wpływ kadłuba na pędnik,

- Identyfikacja pochodnych hydrodynamicznych – w której określono reakcje hydrodynamiczne kadłuba w różnych warunkach manewrowych z wykorzystaniem oscylatora ruchu płaskiego i metod numerycznej mechaniki płynów,
- Identyfikacja kąta efektywnego wychylenia pędnika – w której Doktorant opracował współczynnik korygujący kąt dopływu na podstawie eksperymentów wykonanych dla różnych ustawień pędnika,
- Identyfikacja reakcji wywołanych falowaniem – w której przedstawiono m.in. model wyznaczania sił pierwszego i drugiego rzędu od fali w dziedzinie czasu bazując na zaawansowanych metodach numerycznych i autorską optymalizacją tych metod pod kątem dokładności i czasu obliczeń,
- Identyfikacja sił aerodynamicznych – w której wykorzystano m.in. metody numerycznej mechaniki płynów do symulacji średnich sił aerodynamicznych.

Rozdział 5 omawia eksperymentalną weryfikację modeli symulacyjnych, analizując trajektorie i wskaźniki manewrowe statku w różnych warunkach operacyjnych. Doktorant przeprowadził badania w basenie holowniczym, testując model materialny z pędnikami azymutalnymi na wodzie spokojnej, fali regularnej i nieregularnej. Na wodzie spokojnej symulacje wykazały wysoką zgodność z eksperymentami, z niewielkimi rozbieżnościami w późniejszych fazach cyrkulacji, przypisanymi fali odbitej od ścian basenu. Standardowe wskaźniki manewrowe mieściły się w akceptowalnych granicach błędu. W warunkach falowania trajektorie modelu i symulacji były zbieżne do kąta kursowego 90° , po czym pojawiły się rozbieżności, szczególnie dla krótszych fal regularnych. Jednakże, ponieważ wskaźniki manewrowe zalecane przez IMO są dokładniej prognozowane niż trajektorie ruchu statku, przeprowadzona przez Doktoranta analiza stosowalności modelu wykazała, że jego dokładność jest w pełni wystarczająca do praktycznych zastosowań.

W rozdziale 6 Doktorant zaproponował metodę skalowania wartości siły oporu uzyskanej w próbach modelowych na wartości rzeczywiste, a następnie metodę wyznaczania obrotów pędnika w celu osiągnięcia żądanej prędkości najazdu, niezbędnej do rozpoczęcia symulacji. W celu opracowania tych metod Doktorant wykorzystał istniejące metody ITTC oraz empiryczne wzory znane z literatury, dopasowując je do specyfiki pędników azymutalnych.

W rozdziale 7 Doktorant podsumował swoje osiągnięcia naukowe, podkreślając możliwości praktycznego zastosowania uzyskanych wyników. W szczególności stwierdził, że założone cele pracy zostały osiągnięte. Doktorant wskazał również kierunki dalszych badań, przedstawiając ich uzasadnienie.

Rozdział 8 zawiera podziękowania. Na koniec zamieszczono spis oznaczeń oraz trzy załączniki zawierające: schemat metody symulacji manewrowych, metodę obliczania współczynników aerodynamicznych oraz parametry użytych modeli materialnych.

5. Ocena osiągnięcia naukowego

Praca doktorska obejmuje szeroki zakres badań eksperymentalnych, analitycznych i teoretycznych, których wyniki zostały starannie opracowane i szczegółowo przeanalizowane. W badaniach zastosowano zaawansowane metody numeryczne, numeryczną mechanikę płynów, badania modelowe oraz najnowsze techniki statystyczne takie jak regresja grzbietowa, co pozwoliło uzyskać bogaty zbiór danych i wyników wysokiej jakości. Nowatorskim aspektem pracy jest integracja wyników pochodzących z badań eksperymentalnych i obliczeń numerycznych, co umożliwiło stworzenie wszechstronnych i precyzyjnych półempirycznych

Cyf

modeli hydrodynamicznych, odwzorowujących manewrowanie statku z napędem azymutalnym z uwzględnieniem oddziaływania wiatru i fali.

Moim zdaniem, Doktorant wykazał się dogłębną znajomością powyższych metod, opracowując autorskie rozwiązania, które znacząco rozszerzają istniejące metody modelowania. Do najważniejszych osiągnięć należy:

- Opracowano model matematyczny do prognozowania właściwości manewrowych statku z napędem azymutalnym w warunkach falowania i wiatru. Ten model jest kluczowym elementem wdrożeniowym pracy doktorskiej.
- Opracowano model empiryczny opisujący interakcje kadłuba statku z pędnikiem azymutalnym, co znacząco upraszcza analizę reakcji hydrodynamicznych, bez konieczności prowadzenia eksperymentów w przepływie skośnym w specjalizowanym do tego celu basenie modelowym,
- Opracowano metodę wyznaczania sił od fali poprzez transformacje funkcji przenoszenia sił pierwszego i drugiego rzędu do dziedzin czasu i znaczące przyspieszenie wydajności numerycznego modelu obliczeniowego,
- Zweryfikowano opracowaną metodę na podstawie eksperymentów na basenie modelowym, co dało wiarygodny obraz dokładności metody i jej niedomagań. To wskazuje kierunki dalszych prac w celu udoskonalenia tej metody.

Przeprowadzona weryfikacja eksperymentalna oraz analizy numeryczne potwierdziły skuteczność opracowanych modeli w zastosowaniach inżynierskich, w tym podczas manewrowania statku z napędem azymutalnym na fali regularnej i nieregularnej. Pomimo pewnych rozbieżności w wynikach symulacji, opracowany przez Doktoranta model matematyczny jest wystarczająco dokładny do celów praktycznych.

Dlatego oceniam, że Doktorant wniósł istotny wkład w rozwój metod symulacji dynamiki ruchu statków z napędem azymutalnym, a opracowane modele matematyczne stanowią osiągnięcie naukowe i mają również duże znaczenie aplikacyjne.

6. Uwagi dyskusyjne

W pierwszej recenzji sformułowałem trzy uwagi o charakterze dyskusyjnym, które w mojej ocenie wymagały doprecyzowania lub rozszerzenia w tekście rozprawy. Dotyczyły one:

1. braku jednoznacznie sformułowanej hipotezy naukowej w rozdziale 1.3,
2. braku kompleksowego omówienia ograniczeń opracowanego modelu symulacyjnego oraz
3. niewystarczającej oceny ryzyka nadmiernego dopasowania w modelu regresji grzbietowej oraz braku analizy błędów na danych testowych.

Po zapoznaniu się z poprawioną wersją rozprawy stwierdzam, że Autor odniósł się merytorycznie do każdej z wymienionych kwestii i odpowiednio uzupełnił tekst dysertacji.

Ad 1. W odniesieniu do braku jednoznacznej hipotezy naukowej Autor szczegółowo wyjaśnił, że ze względu na złożoność problemu oraz wieloaspektowy charakter proponowanej metody symulacji zrezygnował z formułowania pojedynczej hipotezy badawczej. Uzasadnił, że każde z analizowanych zagadnień wymagało odrębnej weryfikacji eksperymentalnej, a praca opiera się na iteracyjnym procesie testowania i rozwijania poszczególnych komponentów metody.

Oceniam, że to uzupełnienie w sposób wystarczający wyjaśnia przyjętą konwencję badawczą i jest logicznie spójne z charakterem pracy.

Ad 2. W kwestii ograniczeń modelu Autor rozwinął tę problematykę, umieszczając w rozdziale 7.2 „Plan dalszego rozwoju” stosowną uwagę dotyczącą konieczności dalszych badań nad zakresem stosowności poszczególnych elementów proponowanej metody. Podkreślił, że choć ograniczenia były sygnalizowane w różnych fragmentach dysertacji, ich pełne, kompleksowe rozpoznanie wymaga dalszej analizy i może otworzyć nowe możliwości rozwoju metody. Uważam, że to uzupełnienie można uznać za wystarczające i oceniam je pozytywnie.

Ad 3. W odniesieniu do kwestii regresji grzbietowej Autor doprecyzował sposób doboru parametrów modelu oraz wskazał, że analiza dopasowania została przeprowadzona z wykorzystaniem MSE i współczynnika R^2 . Jednocześnie zaznaczył, że nie przeprowadzono formalnej analizy nadmiernego dopasowania i model nie był testowany na nowych danych, co stanowi ograniczenie. Zadeklarował również, że w przyszłych badaniach planowane jest wykorzystanie dodatkowych danych testowych w celu bardziej jednoznacznej oceny zdolności generalizacji. Uważam, że przedstawione uzupełnienie można uznać za wystarczające.

7. Uwagi językowe, edytorskie i stylistyczne

Autor wyeliminował niedoskonałości wskazane w poprzedniej recenzji, których było dosyć dużo. Poprawiona wersja rozprawy prezentuje pod względem edytorskim wysoki poziom i nie budzi zastrzeżeń.

Praca została napisana poprawnym i precyzyjnym językiem naukowym, a zastosowana terminologia jest zgodna z powszechnie przyjętymi standardami redakcyjnymi właściwymi dla tego typu opracowań. Styl i składnia wypowiedzi świadczą o bardzo dobrym przygotowaniu autora do redagowania tekstów naukowych. Szata graficzna pracy została opracowana starannie, a zamieszczone wykresy i rysunki cechują się wysoką czytelnością i przejrzystością.

8. Podsumowanie

Pan mgr inż. Sebastian Bielicki przedstawił oryginalne i prawidłowe rozwiązanie problemu naukowego, mieszczącego się w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Recenzowana poprawiona rozprawa doktorska prezentuje dogłębną wiedzę teoretyczną Doktoranta w tej dyscyplinie, potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, posiada duży potencjał aplikacyjny i świadczy o jego dojrzałości naukowej.

Stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr inż. Sebastiana Bielickiego pt. „Metoda symulacji manewrowania statkiem z pędnikami azymutalnymi, z uwzględnieniem wpływu falowania, wiatru i prądów wodnych na ruch statku.” spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, zawarte w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz.U. 2022 poz. 574, z późn. zm.).

W związku z powyższym, wnioskuję o dopuszczenie rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Sebastiana Bielickiego do jej publicznej obrony.

Tomasz Cepuch