

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

Recenzja 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. 005/WIMiO/2025 z dnia 08.01.2025.

2. 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 spróbował 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.

3. Układ i treść pracy

Praca składa się z ośmiu rozdziałów, trzech dodatków oraz bibliografii, które razem tworzą logiczną i przejrzystą całość obejmującą 170 stron, wliczając części formalne opracowania oraz załączniki. Bibliografia liczy 94 pozycji, w tym 10 pozycji z ostatnich 5 lat.

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”.

W rozdziale 2 Doktorant przedstawił podstawy teoretyczne proponowanego modelu ruchu statku z uwzględnieniem reakcji hydrodynamicznych i środowiskowych. W następnym rozdziale Doktorant przedstawił propozycje 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),
- 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,
- stosowane metody numeryczne do wyznaczania reakcji od fali z wykorzystaniem m.in. funkcji przenoszenia liniowych i kwadratowych,
- modelowanie oddziaływania wiatru na statek z wykorzystaniem m.in. numerycznej mechaniki płynów.

Rozdział 4 przedstawia wybrane przez Doktoranta metody identyfikacji sił zewnętrznych działających na manewrujący statek, zarówno w warunkach spokojnej wody, jak i w obecności falowania. 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 błędów. W warunkach falowania regularnego trajektorie modelu i symulacji były zbieżne do kąta kursowego 90° , po czym pojawiły się większe rozbieżności, przypisane efektom nieliniowym. Mimo tendencji do przeszacowywania

niektórych wskaźników, analiza przeprowadzona przez Doktoranta wykazała, że dokładność modelu matematycznego jest 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 zarówno główny cel pracy jaki i wszystkie cele badawcze zostały osiągnięte. Doktorant wskazał również kierunki dalszych badań, przedstawiając ich uzasadnienie.

Rozdział 8 zawiera podziękowania. Praca zawiera trzy dodatki zawierające: schemat metody symulacji manewrowych, metodę obliczania współczynników aerodynamicznych oraz parametry użytych modeli materialnych.

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

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 dziedziny 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 i można go wykorzystać w praktyce.

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.

5. Uwagi dyskusyjne

Pomimo wysokiego poziomu rozprawy, zauważalnej staranności oraz poprawności wykonanych badań i analiz, pewne kwestie wymagają doprecyzowania. Najważniejsze z nich to:

1. Rozdział 1.3 nosi tytuł „Hipoteza, cel i zakres”, co sugeruje, że zawiera zarówno hipotezę naukową, jak i cele oraz zakres pracy. W rzeczywistości rozdział obejmuje jedynie opis celów badawczych oraz zakresu pracy, natomiast jednoznacznie sformułowana hipoteza naukowa nie została przedstawiona. Tekst w tym rozdziale odnosi się do możliwości opracowania metody symulacji manewrowania statkiem z napędem azymutalnym w trudnych warunkach pogodowych, co można interpretować jako hipotezę badawczą. Czy doktorant mógłby doprecyzować treść hipotezy naukowej?
2. W rozprawie brakuje wyczerpującej dyskusji na temat ograniczeń opracowanego modelu. Choć te kwestie są poruszane w różnych miejscach pracy, nie zostały one zebrane i omówione w sposób kompleksowy. Czy proponowany model jest na tyle uniwersalny, aby można go było zastosować bez żadnych ograniczeń?
3. W rozdziale 4.2 Doktorant zastosował regresję grzbietową do aproksymacji reakcji hydrodynamicznych. Ocena wiarygodności modelu uzyskanego tą metodą wymaga kilku kroków, takich jak analiza dopasowania do danych, zdolność modelu do generalizacji na nowych danych, zwłaszcza spoza zakresu użytego do budowy modelu, oraz identyfikacja jego ograniczeń. Czy Doktorant sprawdzał ten model pod kątem nadmiernego dopasowania? Czy przeprowadzono analizę miar dopasowania oraz błędów dla danych testowych?

6. Uwagi językowe, edytorskie i stylistyczne

Rozprawa została napisana poprawnym językiem, a użyta terminologia jest zgodna z ogólnie przyjętymi standardami redagowania prac naukowych. Szyk zdań i stylistyka w większości nie budzą zastrzeżeń, jednak niektóre akapity zawierają zbyt długie zdania, co może utrudniać ich zrozumienie. Ponadto w tekście pracy zidentyfikowano następujące błędy edytorskie i stylistyczne:

1. Strona 17: Pomyłono symbole GM i KM - opis błędnie wskazuje, że KM to wysokość metacentryczna; wzór 2.19 wymaga weryfikacji,
2. Strona 21: Literówka – „W Wyniki” zamiast „Wyniki”.
3. Strona 23: Pierwszy akapit – literówka „dobory” zamiast „doboru”.
4. W wielu miejscach zamiast numeru rozdziału lub równania wstawiono znak ??, np.:
 - o Strona 41: Zamiast numeru równania użyto ??.
 - o Strona 127: Występuje zapis „zależność ??”.
 - o Strona 58: Użyto „Rozdziale ??”; podobnie na stronach 65 i 66.
5. Strona 47: Ostatni akapit – niestylistyczne zdanie: „Siła Y_T jest sumą sił na od pędnika”.

6. Strona 51: Pierwszy akapit – niestylistyczne zdanie: „Eksperymenty mające na celu określenie tego te przeprowadza ...”.
7. Strona 52: Czwarty akapit – niestylistyczne zdanie: „Analizę aproksymacji współczynników α_1 i α_2 na podstawie danych eksperymentalnych otrzymanych w trakcie holowania modelu kadłuba na uwięzi przy wykorzystaniu PMM.”
8. Strona 55: Pierwszy akapit – literówka „prędkością wpadkową”.
9. Strona 76: Niedokończone zdanie: „Analizę przeprowadzono”.
10. Strona 84: Niestylistyczny tekst: „W celu implementacji sił radiacyjnych w proponowanym modelu symulacji manewrowych na fali, proponowane jest równanie Cumminsa [5] omówione w rozdziale. Z uwagi na fakt, iż funkcja opóźnienia musi być całkowana w postaci, co jest procesem czasochłonnym.”
11. Strona 90: Błąd stylistyczny: „Obydwa eksperymenty zostały wykonane dla tego fali odpowiadającej stanowi morza 6 [94].”
12. Strona 71: Niestylistyczne zdanie: „Zakładając, że płyn jest idealny tak, że istnieje funkcja potencjału prędkości z izolowanym członem zależnym od przestrzeni i stosując liniową teorię hydrodynamiki (np. zależnym od przestrzeni i stosując liniową teorię hydrodynamiki [18]), uwzględniającą radiacyjne i dyfrakcyjne człony falowe, interakcję płyn-statek jest opisane zestawem równań i warunków brzegowych.”
13. Strona 82: Błąd edytorski – „Na wykres sił” powinno być „Na wykresie sił”.

Powyższe błędy edytorskie i stylistyczne nie wpływają na komunikatywność i poprawność przekazu, a tym bardziej na ocenę merytoryczną pracy. Uwagi te mają charakter informacyjny i nie wymagają odpowiedzi ani komentarza.

7. 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 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.2022.574 tekst jednolity z poprawkami z 12 i 23 marca 2022.

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

Tomasz Cepowski

