

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*”

ang. „*The simulation method of maneuvering ship driven by azimuth thrusters, including influence of sea waves, wind and sea currents on ship's motions*”

1. Podstawa formalno-prawna opracowania recenzji

Podstawę formalną opracowania recenzji stanowi pismo Pana prof. dra hab. Michała Wasilczuka, Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna, na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa Politechniki Gdańskiej, z dnia 08.01.2025 r., z prośbą o wykonanie recenzji rozprawy doktorskiej mgr. inż. Sebastiana Bielickiego.

Podstawę prawną opracowania recenzji stanowi Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (z późn. zm.). Zgodnie z art. 187 Ustawy, w ramach recenzji należy ocenić i uzasadnić, czy:

1. rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach;
2. osoba ubiegająca się o stopień doktora posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej;
3. przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej albo oryginalne dokonanie artystyczne.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska mgr. inż. Sebastiana Bielickiego, pracownika Centrum Techniki Okrętowej S.A. w Gdańsku ma charakter wdrożeniowy i została przygotowana w zakresie dyscypliny naukowej *inżynieria mechaniczna* należącej do dziedziny nauk inżynieryjno-technicznych. Promotorem jest dr. hab. inż. Rafał Szlępczyński prof. PG a promotorem pomocniczym dr. inż. Mark Kraskowski.

Rozprawa liczy 133 strony i składa się z 7 rozdziałów głównych, rozdziału z podziękowaniami, 3 dodatków oraz bibliografii obejmującej 96 pozycji. Spis ważniejszych oznaczeń, stosowanych w rozprawie umieszczony został za rozdziałem 8 natomiast spis rysunków (72) oraz tabel (28) za spisem treści. Układ pracy jest uporządkowany i przejrzysty.

Rozprawa ma charakter wdrożeniowy a jej głównym celem było opracowanie narzędzia do oceny zdolności manewrowych statku z napędem azymutalnym z uwzględnieniem trudnych warunków pogodowych, w tym fali, wiatru i prądów morskich. Uzasadnienie podjętego zadania, hipoteza, cel i zakres pracy oraz układ rozprawy przedstawione zostały w rozdziale 1. W rozdziale tym przedstawiona została również procedura wdrożenia wyników pracy w Centrum Techniki Okrętowej S.A. w Gdańsku.

Rozdział 2 zawiera podstawy teoretyczne dotyczące opisu ruchu statku. Omówiony został w nim ogólny model matematyczny ruchu statku w 6 stopniach swobody oraz proponowany model matematyczny symulatora manewrowego jednostek z napędem azymutalnym, który ograniczony został do 4 stopni swobody. Opisane zostały reakcje hydrodynamiczne na kadłubie i pędniku azymutalnym, reakcje środowiska obejmujące falowanie i wiatr oraz uwzględnienie wpływu prądu morskiego w równaniach ruchu statku.

Rozdział 3 jest kolejnym rozdziałem zawierającym opis teoretyczny. Przedstawiono w nim, zastosowane w symulatorze, modele matematyczne sił i momentów zewnętrznych działających na statek w środowisku morskim, w tym reakcji hydrodynamicznych na kadłubie, reakcji hydrodynamicznych na pędniku, reakcji wywołanych falowaniem oraz reakcji aerodynamicznych uwzględniających wpływ wiatru.

W rozdziale 4 omówione zostały metody identyfikacji parametrów modeli matematycznych sił zewnętrznych opisanych w rozdziale 3 i zastosowanych w proponowanej metodzie symulacji manewrów statku z napędem azymutalnym. Obejmują one metody obliczeniowe, analityczne jak i numeryczne (CFD), oraz metody eksperymentalne.

Rozdział 5 zawiera częściową walidację symulatora, wykonaną w oparciu o eksperyment na modelu statku w skali, przeprowadzony w Ośrodku Hydromechaniki Okrętu, Centrum Techniki Okrętowej S.A. w Gdańsku. Opisane zostało stanowisko badawcze oraz ograniczenia związane z eksperymentem, który obejmował manewr cyrkulacji wykonywany na wodzie spokojnej oraz na wodzie sfalowanej. Zaprezentowano porównanie trajektorii manewrów zarejestrowanych podczas eksperymentu oraz uzyskanych na bazie symulacji numerycznych, wykonanych przy wykorzystaniu modelu matematycznego proponowanego w rozprawie. Rozdział zawiera również analizę wyników przeprowadzoną w oparciu o wskaźniki manewrowe.

W rozdziale 6 przedstawiona jest metoda skalowania wielkości otrzymanych w próbach modelowych na wielkości rzeczywiste. Proponowana jest standardowa procedura, stosowana w większości ośrodków hydromechaniki, przy prognozowaniu zachowania się statku na wodzie spokojnej, w oparciu o pomiary uzyskane w ramach badań modelowych.

Rozdział 7 zawiera podsumowanie wykonanych badań oraz uzasadnienie osiągnięcia celów badawczych określonych w rozdziale 1. Zawiera również istotną informację, iż symulator manewrów jednostek z napędem azymutalnym został wstępnie wdrożony w Ośrodku Hydromechaniki Okrętu Centrum Techniki Okrętowej S.A. Poza podsumowaniem osiągnięć, w rozdziale przedstawiono również plan dalszego rozwoju symulatora.

3. Ocena rozprawy

Przegląd literatury naukowej pokazuje, że symulatory ruchu statków są w obecnych czasach narzędziem dość powszechnie stosowanym w ramach badań naukowych oraz przy projektowaniu nowych statków, gdzie służą do prognozowania i oceny określonych właściwości jednostki, najczęściej z uwzględnieniem różnych warunków eksploatacji. Popularność symulatorów związana jest z tym, że alternatywą są bardzo drogie badania modelowe oraz symulacje CFD, których rezultaty w zakresie ruchu statku na fali cały czas są dość dyskusyjne. Symulatory manewrowe wykorzystywane są również podczas szkolenia przyszłych oficerów statków w zakresie nabycia umiejętności wykonywania określonych manewrów na jednostkach o różnych charakterystykach i możliwościach manewrowych.

Problem polega jednak na tym, że o ile ogólny model matematyczny ruchu statku uwzględniający wszystkie stopnie swobody oraz wpływ środowiska jest dobrze znany od wielu lat i opisany został w wielu podręcznikach, to przygotowanie symulatora, który dokładnie odwzorowuje zachowanie statku w

morzu nie jest już takie proste. Wyznaczenie wartości reakcji hydrodynamicznych na kadłubie czy pędniku jak i precyzyjne odwzorowanie wpływu fali czy nawet wiatru cały czas jest problematyczne i w tym zakresie stosowane są różne podejścia i metody. Dlatego też temat, którym zajął się Doktorant cały czas jest aktualny i istotny.

Ponadto w ramach swoich badań Doktorant przeprowadził badania modelowe mające uwiarygodnić przyjęty model matematyczny. Jest to ważne, gdyż spora grupa publikacji czy prac badawczych do których odniosłem się powyżej, bazuje na założeniu, że obliczenia wykonane przez symulator są wiarygodne. Natomiast, to jak mocno mogą się różnić wyniki symulacji numerycznych ruchu statku przeprowadzone dla konkretnej jednostki przy założeniu tych samych warunków falowania pokazali Spanos i Papanikolaou w raporcie z projektu SAFEDOR (2009).

Tak jak zostało to już zaznaczone, ogólny model matematyczny ruchu statku uwzględniający wszystkie stopnie swobody oraz wpływ środowiska jest znany od wielu lat. Zatem, dorobek Doktoranta sprowadza się do zaproponowania ogólnego zapisu reakcji hydrodynamicznych dla jednostki z napędem azymutalnym, opracowania modeli matematycznych opisujących składowe reakcje hydrodynamicznych i środowiskowych oraz opracowania metod wyznaczania niektórych parametrów modelu matematycznego, uwzględniających oryginalne rozwiązania autora i efekty przeprowadzonych eksperymentów. Ponadto do dorobku należy zaliczyć również wykonanie i wdrożenie oprogramowania symulatora.

Do wykonania symulatora manewrowego Doktorant wykorzystał popularny model MMG (Maneuvering Modeling Group) rozszerzony o kołysania boczne. W rozszerzonym modelu MMG stosowane są, między innymi, współczynniki tłumienia kołysań bocznych, które mogą być wyznaczone różnymi metodami, ale najczęściej wyznaczane na bazie próby kołysań swobodnych i mają wartość stałą. Doktorant zaproponował, aby do wyznaczenia wartości tych współczynników wykorzystać próby kołysań bocznych na fali nieregularnej o widmie białego szumu, o energii równej energii fali nieregularnej. Z tekstu rozprawy wynika, że jest to metoda opracowana bezpośrednio przez doktoranta i przedstawiona została w jego publikacji z 2021 roku [86].

W modelu reakcji hydrodynamicznych na pędniku uwzględniany jest efektywny kąt dopływu do pędnika azymutalnego, który jest zależny od kąta wychylenia pędnika. Doktorant wykazał, na podstawie pomiarów podanych w publikacji innego pracownika CTO oraz w oparciu o pomiary własne, wykonane w ramach eksperymentu przeprowadzonego również w CTO, że kąt dopływu do pędnika azymutalnego zmienia się proporcjonalnie do kąta wychylenia pędnika. Następnie zaproponował metodę wyznaczania współczynnika korygującego, w oparciu o charakterystyki pędnika swobodnego. Wykonana analiza pokazała, że metoda ta daje dobre rezultaty i pozwala uniknąć konieczności wykonania czasochłonnego eksperymentu z pędnikami holowanymi w przepływie skośnym, niezakłóconym.

Identyfikację pochodnych hydrodynamicznych, zawartych w modelu matematycznym reakcji hydrodynamicznych na kadłubie, przeprowadza się w ramach eksperymentu z fizycznym modelem statku na uwięzi. Wykorzystuje się do tego celu oscylator ruchu płaskiego (PMM), a eksperyment polega na holowaniu modelu kadłuba z określoną prędkością wpadkową oraz zmiennymi kątami dryfu i prędkościami kątowymi myszkiowania. Znaczącym ograniczeniem eksperymentu są możliwe do wymuszenia kąty dryfu, które w przypadku manewru zawracania jednostki z napędem azymutalnym mogą przekraczać 40° . Aby wyznaczyć wartości pochodnych hydrodynamicznych dla bardzo dużych kątów dryfu Doktorant proponuje wykorzystać symulacje CFD. Na podstawie zgodności wyników eksperymentu i obliczeń CFD w zakresie kątów dryfu możliwych do uzyskania podczas eksperymentu, Doktorant zakłada, że obliczenia CFD są wiarygodne również w zakresie bardzo dużych kątów dryfu. W oparciu o rys. 4.14a, można zaakceptować przyjęte założenie w stosunku do reakcji w kierunku osi Y (Y_H) i ewentualnie w kierunku osi X (X_H). Jednakże w przypadku momentów względem osi Z (N_H)

przyjęte założenie jest dość dyskusyjne – na rys. 4.14a widać, że zmiany wartości tego parametru w zakresie dużych kątów dryfu są nieliniowe.

W ramach identyfikacji sił aerodynamicznych Doktorant dokonał weryfikacji, dość prostej do implementacji w symulatorze, metody obliczeniowej opracowanej między innymi przez Fujiwarę. Weryfikacja metody przeprowadzona została na bazie obliczeń CFD oraz eksperymentu przeprowadzonego w tunelu aerodynamicznym. Porównanie wyników obliczeń oraz eksperymentu wykazało dużą zgodność trzech metod, uzasadniając tym samym zastosowanie w symulatorze metody obliczeniowej proponowanej przez Fujiwarę.

Oprogramowanie symulatora również zostało wykonane bezpośrednio przez Doktoranta, w języku programowania Python, w postaci skryptu uruchamianego przy zastosowaniu interpretera. Symulator ten stanowi narzędzie, które zgodnie z deklaracją zamieszczoną w rozdziale 7.2 zostało już wdrożone w Ośrodku Hydromechaniki Okrętu, Centrum Techniki Okrętowej S.A.

Sprawdzenie poprawności działania wykonanego przez Doktoranta symulatora manewrowego jednostek z napędem azymutalnym przeprowadzone zostało poprzez porównanie jego obliczeń z wynikami eksperymentu przeprowadzonego w Ośrodku Hydromechaniki Okrętu, Centrum Techniki Okrętowej S.A. w Gdańsku. Porównania dotyczyły trajektorii manewru cyrkulacji na wodzie spokojnej oraz na fali regularnej i nieregularnej, a dodatkowa analiza zgodności wykonana została w oparciu o wskaźniki manewrowe. Według Doktoranta, procedura eksperymentu była częściowo zaburzona ze względu na szerokość basenu modelowego i efekt fal odbitych. Wydaje się jednak, że w przypadku manewrów na fali, bardziej istotne jest to, że w symulatorze pominięte zostały 2 stopnie swobody (kiwania i nurzania), podczas gdy w trakcie eksperymentu model wykonywał ruchy we wszystkich 6 stopniach swobody. Ponadto, jak zaznaczył to Doktorant w rozdziale 7, wykonany symulator nie uwzględnia ruchów względnych pędników azymutalnych związanych z oddziaływaniem fali, co również wpływa na własności napędowe testowanej jednostki.

W przypadku manewru na wodzie spokojnej zgodność symulacji numerycznych i eksperymentu jest dobra, szczególnie w początkowej fazie manewru. Według Doktoranta, niewielkie niezgodności, które występują w fazie cyrkulacji ustalonej mogą być spowodowane falami odbitymi od ścian basenu wywołującymi kołysania boczne, co jest pokazane na rys. 5.3.

Wyraźnie gorszy rezultat uzyskany został w przypadku manewru cyrkulacji na fali, pomimo iż Doktorant bardzo starannie dobierał parametry symulacji, aby odzwierciedlić efekt fali generowanej w trakcie eksperymentu. Z rysunków 5.9, 5.10 i 5.11 wynika, że zastosowana w symulatorze procedura uwzględnienia wpływu falowania nie dała oczekiwanych rezultatów. Nie oznacza to, że model matematyczny który zastosował Doktorant jest niewłaściwy. Skłonny jestem uznać, że jest niepełny, bo pominięte zostały 2 stopnie swobody (nurzenia i kiwania) oraz ruchy względne pędników azymutalnych związane z oddziaływaniem fali. Znaczenie mogą mieć również ograniczenia funkcji przenoszenia stosowane w modelu matematycznym ruchu statku przy uwzględnianiu wpływu falowania czy też kwestia położenia rzeczywistej osi obrotu dla myszkowania, która nie została w rozprawie omówiona i najprawdopodobniej nie jest uwzględniona w symulatorze.

Warto jednak zaznaczyć, że na chwilę obecną trudno byłoby znaleźć badania, w których wyniki obliczeń numerycznych ruchu statku na fali, uwzględniające wszystkie stopnie swobody, odzwierciedlałyby dokładnie zachowanie modelu podczas eksperymentu. Dla dłuższych czasów symulacji ruchu statku na fali, w analizie statystycznej, uzyskuje się zbliżone charakterystyki dla poszczególnych stopni swobody, ale bezpośrednie porównania ruchu, w ramach krótkich odcinków czasu, nie wypadają najlepiej.

Podsumowując powyższą część recenzji i uwzględniając stopień trudności i złożoność zagadnienia, którym zajął się Doktorant uważam, że rozprawa jest na wysokim poziomie merytorycznym.

Dodatkowo podkreślić należy to, że szereg rozwiązań zastosowanych przy budowie modelu matematycznego symulatora manewrowego jednostek z napędem azymutalnym zostało popartych badaniami eksperymentalnymi.

Doktorant nie ustrzegł się jednak szeregu drobnych błędów oraz dyskusyjnych sformułowań związanych z nie najlepszym doбором słów czy też wprowadzaniem kolejnych zmian w tekście rozprawy. Problemy te przedstawione są poniżej, w formie uwag szczegółowych.

Uwagi szczegółowe:

Występuje pewna niezgodność tytułu rozprawy w języku polskim i angielskim, przy czym właściwy wydaje się tytuł w języku angielskim, gdzie użyto określenia „*sea currents*”. W języku polskim użyte jest określenie „prąd wodny” natomiast zakładam, że Doktorantowi chodziło o prąd morski, tym bardziej, że takie określenie jest używane w tekście rozprawy.

W rozprawie brakuje wyraźnego określenia hipotezy badawczej. W rozdziale 1.3 zatytułowanym „*Hipoteza, cel i zakres*” Doktorant skupił się na określeniu celów jakie mają być osiągnięte w ramach badań. Z tekstu rozdziału można wywnioskować jaka jest hipoteza badawcza, ale powinna być ona wyraźnie określona przez Doktoranta.

Doktorant zamiennie stosuje określenia: *częstotliwość*, *częstość kołowa* i *częstość*. Oczywiście, *częstość kołowa* i *częstość* mogą być używane zamiennie, bo oznaczają tą samą wielkość fizyczną, ale *częstotliwość* jest już inną wielkością fizyczną. Użycie określenia *częstotliwość* zamiast *częstość* występuje w 50 miejscach rozprawy.

W spisie treści, rozdział 4.4.4 zatytułowany jest „*Identyfikacja sił radiacyjnych – impulsowa funkcja odpowiedzi*”, natomiast powinno być: *funkcja odpowiedzi impulsowej*. Podobne przestawienie słów występuje w kilku miejscach rozprawy.

str. 1 – Doktorant napisał „*Tu pojawia się dodatkowy problem badawczy, jakim jest wyznaczenie modelu empirycznego interakcji kadłuba statku z pędnikiem azymutalnym. Problem ten zostanie rozwiązany przy wykorzystaniu prawa zachowania pędu z teorii pędnika pracującego w przepływie skośnym*” Drugie z przytoczonych zdań oznacza, że nie będzie to model empiryczny.

str. 3 – Rysunki 1.1a i 1.1d są takie same, a oba nie mogą dotyczyć tak różnych stanów morza, jakie są podane w ich opisie.

str. 12 – Poniżej wzoru (2.7) napisane jest „*prędkościami obrotowymi*” a powinno być *prędkościami kątowymi*. Taki sam błąd występuje na str. 137.

str. 14 – „*Siły zewnętrzne F i M działające na statek...*” Symbol M oznacza momenty, co dodatkowo nie jest prawidłowe biorąc pod uwagę resztę zdania.

str. 17 – „*wysokości metacentrycznej KM* ” – KM jest to rzędna metacentrum poprzecznego.

str. 18 – „ *α_z oznacza pionowy punkt*” – α_z jest odległością.

str. 20 – „*Podobnie siły aerodynamiczne od naporu wiatru przyjmowane są jako średnie, z uwagi na fakt, iż trajektorie symulowane do oceny manewrowości statku symulowane są w stosunkowo krótkim czasie, co pozwala założyć, iż wolno zmienne reakcje od fali i wiatru nie zakłócają znacząco trajektorii.*” – Znaczenie ma czas wykonywanego manewru a nie czas symulacji manewru.

str. 28, wzór (3.4) – Moment przywracający wyznaczany jest w oparciu o wartość GM , co z założenia jest wiarygodne tylko w zakresie małych kątów przechyłu. Przy niewielkich wartościach GM mogą być to kąty nie większe niż $1\div 2^\circ$. Dlaczego stosowany jest zapis liniowy, skoro łatwo można zaimplementować zapis nieliniowy. W zakresie kątów do $30\div 40^\circ$ można bardzo dokładnie odwzorować krzywą momentów prostujących wykorzystując wielomian potęgowy $3\div 5$ stopnia. Podejście zastosowane przez Doktoranta jest dyskusyjne chociażby ze względu na cel badań określony w rozdziale 1.1, gdzie wymienione są trudne warunki pogodowe. Z warunkami takimi ściśle związane będą duże amplitudy kołysań bocznych.

str. 29 – „uwzględniające kąt przechyłu φ w równaniu 2.20” – Równanie (2.20) dotyczy kąta dryfu.

str. 31 – „*W rozdziale 3 wykazano*” – Powinno być: „w rozdziale 4”.

str. 43 – „*Wypadkowa siła tych reakcji F_w działa na poziomie z_w równym środkowi geometrycznemu przekroju poprzecznego nadwodnej części statku A_T* ” – Brak jest określenia, w którym miejscu na długości statku znajduje się ten przekrój. Poza tym, zawsze należy zsumować wszystkie powierzchnie nawiewu.

str. 52 – Z prawej strony wzoru (4.11) w potędze powinien być współczynnik C_1 a nie C_2 .

str. 52 – „*pędnikami ustawionymi w osi holowanego kadłuba*” – Bryła kadłuba statku nie posiada osi.

str. 55 – Wzór (4.13) – brakuje znaku „=”; wzór (4.14) – niepełna zależność (z lewej strony).

str. 67 – Tabele 4.12 i 4.13 zatytułowane zostały jako parametry minimalizacji współczynnika c_δ , gdzie zgodnie z informacją na str. 31 jest to współczynnik korekcyjny kąta dopływu do pędnika o stałej wartości niezależnej od obciążenia pędnika ani od prędkości dopływu. W innym miejscu podano, że jest proporcjonalny do kąta wychylenia pędnika. Na czym więc polega minimalizacja tego parametru. Oprócz tego w tekście na str. 66 i 67 jest napisane, że Tab. 4.12 przedstawia metryki aproksymacji a Tab. 4.13 parametry korelacji. Powyższe różnice użytych sformułowań powodują, że ten fragment tekstu rozprawy jest niespójny.

str. 83 – Wartości na osiach odciętych rys. 4.25b i 4.25c nie są zgodne z rys. 4.25.a. Jeśli za element wspólny wszystkich rysunków przyjmiemy zmiany wartości liczby Frouda, to łatwo zauważyć, że na rys. 4.25a początkowa wartość kąta kursowego równa jest 0° . Natomiast na rys. 4.25b i 4.25c wartość początkowa kąta kursowego równa jest 180° .

str. 82 – W odniesieniu do rys. 4.25 jest napisane, że „*Na wykres sił wymuszających od falowania, dla różnych stanów morza widać wyraźnie szybko i wolno zmienny charakter reakcji pierwszego i drugiego rzędu*” – Na rys. 4.25 różne stany morza wyróżnione są tylko w przypadku sił drugiego rzędu.

str. 95 – „*Wszystkie granice domeny obliczeniowej zostały potraktowane jako ściany bez poślizgu, a jedynie na powierzchni statku przyjęto warunek braku poślizgu*” – Czyli w obu przypadkach przyjęto założenie braku poślizgu.

str. 97 – „*Z naniesionej sylwetki nadwodnej części statku, widać że profil prędkości wiatru narasta wykładniczo ze wzrostem wysokości*” – Wynika to z wykresu prędkości wiatru a nie sylwetki statku.

str. 104 – „*przecięcie średnie płaszczyzny wodnicy z owrężem i osią centralną modelu*” – Model kadłuba nie posiada osi a określenie „*przecięcie średnie płaszczyzny*” jest zagadkowe.

str. 104 – „*model nieznacznie myszkował z niedużymi prędkościami myszkowania ($rLU < 1$ rad/s, $v_m/U < 0.15$ m/s)*” – Formuły podane w nawiasie przedstawiają wielkości bezwymiarowe.

str. 129 – „*Narzędzie to wykorzystuje pełny model matematyczny, zaproponowany w niniejszej pracy, z ograniczeniem do ruchów w czterech stopniach swobody dla wody spokojnej i trzech dla modelu z oddziaływaniem środowiska morskiego*” – Zdanie to wydaje się niezgodne z tekstem rozprawy.

Uwagi dotyczące edycji rozprawy

Struktura rozprawy doktorskiej jest prawidłowa i odpowiada etapom realizacji wyznaczonych celów. Jednakże, tekst zawiera znaczącą liczbę błędów gramatycznych, tzw. literówek, zdań w których wyraźnie brakuje jakiegoś słowa jak i niedociągnięć związanych z odniesieniami do rysunków czy ich opisów. Poniżej wymieniam tylko niektóre z nich, wpieryw podając uwagi dotyczące problemów powtarzających się w wielu miejscach rozprawy. Rozszerzona lista uwag została przekazana Doktorantowi.

– Tytuły tabel w większości przypadków umieszczone są pod tabelami a powinny być nad nimi.

- Numery wzorów, do których jest odwołanie w tekście, powinny być w nawiasach okrągłych a są podawane bez nawiasów
 - Odwołania do rysunków i wzorów pojawiają się w tekście za nimi a powinny być przed nimi.
 - Używane jest jedno oznaczenie r_{dl} dla wielkości bezwymiarowej różnych parametrów. Wyjątek stanowią pochodne hydrodynamiczne opisywane w rozdz. 4.2.
 - Podpisy pod rysunkami są niewystarczające, brak jest opisów użytych symboli jak i niektórych elementów rysunków.
 - Jeżeli w tekście podawane są nazwiska autorów publikacji to, gdy jest jeden lub dwóch autorów, podaje się wszystkie nazwiska, a gdy więcej to podaje się nazwisko pierwszego autora i dopisuje informację „i inni”.
 - Stosowany jest jęz. angielskiego w opisach rysunków: 4.19, 5.9, 5.10 i 5.11.
 - W kilku miejscach rozprawy, w odwołaniu do równania/rozdziału, zamiast numeru wzoru/rozdziału znajdują się „???”; str.: 41, 58, 65, 66, 101, 102 i 127.
- str. 6 – „obecnie powszechne modele matematyczne” – Powinno być: powszechnie stosowane modele matematyczne.
- str. 11 – „Indeksy w macierzach obrotu R oznaczają obroty wokół osi.” – Indeksy przy symbolu macierzy oznaczają oś względem której wykonywany jest obrót.
- str. 16 – „normalna wykładzie” – Powinno być: normalna w układzie.
- str. 16 – „siły zewnętrzne F_x, F_y, M_x, M_z można zapisać jako” – Powinno być: siły i momenty.
- str. 19 – „równań ruchu proponowanych do symulacji 2.27” – Powinno być: równań ruchu (2.27) proponowanych do.
- str. 20 – „na kierunku wzdłużny i poprzeczny (normalny) do głównych osi statku” – Powinno być: osi głównych układu współrzędnych związanego ze statkiem.
- str. 29 – Przy odwołaniu do publikacji [23], w przypadku jednego z autorów podano imię zamiast nazwiska.
- str. 32 – W pierwszym akapicie, w oznaczeniu współczynnika naporu brakuje symbolu δ w indeksie, to samo jest z opisem osi rzędnych na rys. 3.2.
- str. 38 – W drugim akapicie za wzorem (3.41) pierwsze i ostatnie zdanie jest niedokończone lub niewłaściwie zbudowane.
- str. 42 – „zgodnie z zależnościami ([3], [12])” – Pomijając nieprawidłową formę odwołania, w rozprawie nie ma wzorów o takich numerach.
- str. 42. wzór (3.61) – Z prawej strony równania, w liczniku zamiast z powinno być z_w .
- str. 52 – „wielomianem czwartego stopnia” – Wielomianem potęgowym czwartego stopnia.
- str. 56 – „analiza FFT” – Nigdzie nie ma opisu skrótu FFT.
- str. 67 – Ostatnie zdanie w pierwszym akapicie jest niedokończone.
- str. 73 – „siła i moment wzbudzający fale drugiego rzędu” – Powinno być: wzbudzone przez falę, siły i momenty drugiego rzędu.
- str. 89, rys. 4.28 – W tekście rozprawy brak jest odwołania do tego rysunku.
- str. 92 – Błędny podpis pod rysunkiem 4.30 – kopia podpisu rys. 4.29.
- str. 93, rys. 4.31 – Brakuje opisu osi odciętych oraz rozróżnienia wykresów pomarańczowych i niebieskich.
- str. 95 – „model empiryczny opracowany oryginalnie przez Fujiwarę [38] a następnie rozwinięty przez Kitamurę [74]” – Fujiwara jest współautorem [74].

str. 101 – „*niedokładne wielkości identyfikowanych parametrów*” – Powinno być: wartości identyfikowanowych parametrów.

Pytania do Doktoranta

1. Na str. 3 rozprawy zamieszczone jest zdanie: „*We wszystkich metodach dokładność predykcyjna zmniejsza się wraz z wydłużeniem czasu symulacji.*” Proszę uzasadnić to stwierdzenie.
2. W rozdziale 2.5 doktorant stwierdza, że prąd morski wpływa na prędkość statku względem wody. Proszę wytłumaczyć to stwierdzenie, ponieważ jest ono co najmniej dyskusyjne.
3. W rozprawie nie ma poruszonego zagadnienia wpływu głębokości akwenu na właściwości manewrowe. Proszę o ustosunkowanie się do tego problemu.
4. Na str. 17, równania (2.22) są w tekście określone jako równania ruchu względem owręża. Proszę wytłumaczyć to sformułowanie.
5. W rozdziale 3.1 napisane jest, że „*siły hydrodynamiczne wyznacza się z zależności teoretycznych (co jest dość złożone) i empirycznych (duże niedokładności) lub przez rozwinięcie w szereg Taylora [31]*”. Dlaczego zależności empiryczne są niedokładne?
6. Z tekstu rozprawy wynika, że w przyjętym modelu matematycznym, w przypadku myśzkowania, statek obraca się względem osi znajdującej się na owrężu, co nie jest zgodne z rzeczywistością. Czy planowane jest uwzględnienie położenia rzeczywistej osi obrotu dla myśzkowania?
7. W pierwszym akapicie rozdziału 4.4 jest napisane, że „*wszystkie wyznaczone siły oddziaływania falowania, wyznaczone w dziedzinie częstotliwości, wyznaczono dla amplitud falowania równych jedności.*” – co znaczy określenie „jedności”?
8. Zamieszczony na str. 96 opis rys. 4.38 jest niezrozumiały: „*Punkty oznaczone kolorem pomarańczowym oznaczają profil prędkości o warstwie przyściennej powstającej na dnie tunelu, a punkty w kolorze niebieskim - otrzymany przy zastosowaniu bloków*”. Proszę wytłumaczyć to zdanie. Czy prędkość strumienia powietrza (wiatru) nie powinna, wraz z wysokością, dążyć do takiej samej wartości, niezależnie od rodzaju podłoża?
9. Rys 5.3 pokazuje między innymi, porównanie historii zmian kąta przechyłu podczas manewru wykonywanego na wodzie spokojnej. Niestety, podobne porównanie dla manewru na fali nie zostało zamieszczone w rozprawie. Czy jest możliwe, aby Doktorant przedstawił i omówił takie porównanie?

4. Wniosek końcowy

Podsumowując ocenę i uwagi przedstawione w części 3 recenzji stwierdzam, że recenzowana rozprawa prezentuje dobrą wiedzę ogólną Doktoranta z zakresu tematyki będącej częścią dyscypliny *inżynieria mechaniczna* oraz że doktorant posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Również nie ma wątpliwości, iż przedmiotem rozprawy jest oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania, w sferze gospodarczej, wyników własnych badań naukowych Doktoranta. Dlatego też uważam, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r., Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (z późn. zm.) i wnioskuję o jej dopuszczenie do dalszego etapu postępowania o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie *inżynieria mechaniczna*.



dr hab. inż. Wojciech Wawrzyński