

dr hab. inż. Marek Dzida, prof. PG

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa

Politechnika Gdańska

Gdańsk, 19 maja 2021 r.

Recenzja

pracy doktorskiej mgr inż. Wiesława Piotrkowskiego

pt.

**MODEL OCENY BEZPIECZEŃSTWA MANEWRÓW MAKSYMALNEGO STATKU
NA PODEJŚCIU DO PORTU PÓŁNOCNEGO W GDAŃSKU**

Podstawa opracowania:

*Zlecenie Rektora Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. Kazimierza
Puławskiego w Radomiu PK-042/6/18-1/dr-r/2021 z dnia 07.04.2021 r.
(pismo otrzymałem 20.04.2021)*

Recenzowana praca należy do tematyki rzadko spotykanej w polskim piśmiennictwie naukowym i technicznym – manewrowania obiektów pływających. Uprawianie tej tematyki – co stanowi jedną z zasług promotora recenzowanej pracy – chociaż w ograniczonym zakresie, jest potrzebne zarówno z powodów poznawczych (w celu kształcenia kadr naukowych i pływających), jak i praktycznych (gospodarce morskiej w celu bezpiecznej eksploatacji portów).

Pod względem merytorycznym i metodycznym prace oceniam dobrze, zaś niedociągnięcia, błędy i usterki nie rzutują na ogólną ocenę pracy.

Treść rozprawy odpowiada przebiegowi przeprowadzonych analiz i badań, jest typowym, metodycznie ciągiem czynności badawczych. Autor przeprowadził oryginalne badania mające wartość naukową i użyteczną.

Wnioski końcowe są sformułowane trafnie adekwatnie do zawartości pracy.

Praca doktorska zawiera 123 strony zasadniczego tekstu oraz 60 stron w 8 załącznikach. Rozprawa składa się z wstępu oraz 9 rozdziałów, wykazu ważniejszych oznaczeń oraz literatury zawierającej 91 pozycji w tym 6 publikacji, w których Doktorant jest współautorem.

Za duży walor pracy uważam zweryfikowanie badań symulacyjnych badaniami eksperymentalnymi na obiekcie rzeczywistym.

Tematyka badań podjęta przez Autora jest aktualna i zawiera zebrany, spójny opis procesu symulacji, stosowany w Uczelniach oraz firmach zajmujących się kształceniem i doszkalać kadr morskich.

Zawartość recenzowanej pracy dowodzi dobrej znajomości metod opisu i analizy procesów modelowania obiektów pływających służących do oceny bezpieczeństwa nawigacji na akwenach ograniczonych. Recenzowana praca z punktu wymagań odnoszących się do prac doktorskich stanowi rozwiązanie problemu naukowego, zadania projektowego z weryfikacją eksperymentalną. Należy zwrócić uwagę, zdaniem recenzenta na obszerną literaturę, przytoczono 91 pozycji. Niezmiernie rzadko prace doktorskie zawierają tyle pozycji bibliograficznych.

Operatorzy portów widzą konieczność przeprowadzania badań i analiz celem określenia warunków pozwalających na bezpieczne wprowadzania statków do portu.

W badania, zazwyczaj na symulatorach, muszą być pewne i odzwierciedlać warunki rzeczywiste ograniczonego akwenu toru wodnego podejściowego do portu.

Badania pozwalają na wyznaczenie dopuszczalnych parametrów statku, maksymalnej siły wiatru podczas manewrów, zalecaną ilość holowników do pomocy podczas manewrów, prędkość poruszania się zespołu holowniczego, uwzględnienie pływów, odległość mijania innych statków itp.

Takie badania przeprowadził Doktorant dla toru podejściowego do Portu Północnego w Gdańsku, określając maksymalne wymiaru statku mogącego bezpiecznie wejść do terminalu kontenerowego dla zadanych parametrów tego toru.

Praca jest tym cenniejsza ponieważ zawiera badania na jednostce rzeczywistej, największym kontenerowcu wpływającym do Portu Północnego. Ze względu na wielkość statku, wysokie koszty eksploatacyjne, standardy bezpieczeństwa i ochrony, armatorzy niechętnie wyrażają zgodę na wykonywanie na tego typu statkach badań rzeczywistych. Recenzowana dysertacja spełnia oczekiwania gospodarki w tym przypadku Zarządu Portu Gdańsk. Zawinięcia największych na świecie kontenerowców wywołały problem określenia ich bezpieczeństwa podczas przejścia torem podejściowym i wykonywania manewrów w porcie, przy istniejącej infrastrukturze, zbudowanej dla statku dużo mniejszego od nowobudowanych, mających wejść do portu kontenerowców. Podnosi to walor pracy doktorskiej stając się pracą użyteczną.

Rozdział 1. Analiza stanu wiedzy i przegląd literatury

W rozdziale tym Doktorant analizował stan wiedzy i przegląd literatury dotyczący określenia możliwości bezpiecznego przejścia i wykonywania potrzebnych manewrów, a także bezpiecznego akwenu oraz zapasu wody pod stępką dla jednostek, w celu wyznaczenia granicznych wartości elementów wpływających na bezpieczeństwo manewrów, z uwzględnieniem różnych warunków hydrometeorologicznych.

Rozdział 2. Cel, teza pracy, podstawowe założenia rozprawy i zakres pracy

Przedstawiono celem pracy doktorskiej, którym jest opracowanie modelu oceny bezpieczeństwa manewrów maksymalnego statku na podejściu do Portu Północnego w Gdańsku.

Podano w jaki sposób zostanie on osiągnięty poprzez: badania eksperymentalne wykonane na dużej jednostce pływającej podczas przejścia torem podejściowym, badania symulacyjne, analizę zapasu wody pod stępką i szerokości toru, analizę miary ryzyka, wykorzystując doświadczenie zawodowe (kapitanów i pilotów).

Podano teza pracy doktorskiej:

„Obecny rozwój wiedzy i technologii umożliwia ocenę bezpieczeństwa zawinięcia do portu statku maksymalnego przy istniejącej infrastrukturze hydrotechnicznej, zbudowanej dla statku o mniejszych gabarytach”

Przedstawiono założenia oraz zakres obejmujący badania, analizy oraz symulacje.

Rozdział 3. Charakterystyka wybranej infrastruktury toru podejściowego i Portu Północnego w Gdańsku

W rozdziale opisano systemy techniczne, monitorujące ruch statków w rejonie Zatoki Gdańskiej, zastosowane oznakowanie nawigacyjne ułatwiające nawigację oraz identyfikację torów podejściowych do portów Gdyni i Gdańska.

Opisano system nadzoru ruchu statków *VTS* Zatoka Gdańska, podsystem radarowy Systemu *VTS* Zatoka Gdańska, podsystem radionamierników w paśmie *VHF* Systemu *VTS* Zatoka Gdańska, podsystem komunikacji radiowej Systemu *VTS* Zatoka Gdańska, podsystem telewizji przemysłowej *CCTV* Systemu *VTS* Zatoka Gdańska, podsystem informacyjny służby *VTS* Systemu *VTS* Zatoka Gdańska.

Przedstawiono również oznakowanie nawigacyjne toru podejściowego oraz parametry toru podejściowego do Portu Północnego.

Przyjęto wielkości statku maksymalnego do oceny bezpieczeństwa nawigacji i ruchu statków kontenerowych na torze podejściowym do Portu Północnego, dla którego wykonano badania rzeczywiste i symulacyjne oraz obliczenia teoretyczne.

Rozdział 4. Opis modelu bezpieczeństwa manewrów maksymalnego statku na podejściu do Portu Północnego w Gdańsku

W rozdziale tym dla określonych parametrów toru podejściowego wykonano badania maksymalnego statku na symulatorze nawigacyjnym oraz przeprowadzono analizy teoretyczne.

Celem uzyskania wiarygodnej oceny wykonano obliczenia teoretyczne, dotyczące wymaganej szerokości toru podejściowego do Portu Północnego, zapasu wody pod stępką, możliwości wykonania manewru, określenie mocy holowników użytych podczas manewrów i określenie dopuszczalnych warunków hydrometeorologicznych.

Zgodność obliczeń teoretycznych i założeń do badań symulacyjnych zweryfikowano badaniami eksperymentalnymi, które potwierdziły wiarygodność obliczeń.

Rozdział 5. Ocena osiadania statku na torze podejściowym Portu Gdańsk

Tor podejściowy, jak i infrastruktura Portu Północnego w Gdańsku, ze względu na obsługę statków charakterystycznych o parametrach dużo mniejszych, niż jednostki o wymiarach maksymalnych zawijających obecnie podjęto analizę zapasu wody pod stępką, wymaganej minimalnej szerokości toru podejściowego dla statku maksymalnego.

Przeprowadzono ocenę bezpieczeństwa ruchu statków w kontekście bezpiecznego akwenu manewrowego, zapasu wody pod stępką oraz efektów osiadania na torze podejściowym Portu Gdańsk.

Obliczenia te wymagały określenia: zwiększenia zanurzenia wywołany działaniem poprzecznym wiatru, zwiększenia zanurzenia wywołane działaniem holowników, sumarycznego przyrostu zanurzenia na torze wodnym, oceny zapasu wody pod stępką na torze wodnym jak również wyznaczenia minimalnej szerokości toru wodnego dla przyjętych maksymalnych wymiarów jednostki.

Rozdział 6. Badany obiekt, jego charakterystyka, proces badawczy

Rozdział ten jest kluczowym rozdziałem dysertacji. Przedstawiono badania trajektorii przejścia torem podejściowym dla maksymalnego statku zawijającego do Portu Północnego, określenie pozycji statku podczas jego wyjścia z portu, od momentu odcumowania do zdania pilota. Trajektorie przejścia rejestrowano za pomocą *RTK (Real Time Kinematic)*, systemu *AIS* i obserwacji radarowych.

Pomiary parametrów pozycji rzeczywistej jednostki z systemu *AIS* i z radarów rejestrowano w centrum *VTS*. Zapisy pozycji wykonywane były zostały na komputerach zainstalowanych na badanym statku w czasie jego przejścia. Wyniki pomiarowe importowano do symulatora. Dodatkowo pomiary na torze podejściowym rejestrowano z systemu monitorowania ruchu statku oraz systemu radarowego znajdującego się w Centrum *VTS* Zatoka Gdańska.

Na podstawie zarejestrowanych danych wyznaczano rzeczywistą trajektorię ruchu statku podczas manewrów.

Wszystkie trajektorie przejść statku kontenerowego odtwarzano na mapie elektronicznej, korzystając z zarejestrowanych pozycji statku.

W badaniach symulacyjnych wykorzystano symulator manewrowy wyposażony w system map elektronicznych. W symulatorze wykorzystano model statku kontenerowego odpowiadającego wymiarom ultradużych statków kontenerowych, odpowiadający jednostce z badań rzeczywistych.

Symulacyjne wykonywano dla różnych warunków pogodowych w kilku wariantach, najpierw dla takich samych warunkach, w jakich zarejestrowano przejście statku *Merete Maersk* systemem *RTK* celem sprawdzenia dokładności odwzorowania dynamiki modelu z symulatora z jednostką rzeczywistą oraz trajektorii ruchu jednostki na torze podejściowym. Różnice były minimalne.

Przeprowadzono również badania na symulatorze manewrowym dla tych samych warunków pogodowych porównując je z zarejestrowanymi wynikami na statku rzeczywistym dla równych systemów rejestrujących. Różnice tu również były minimalne.

Następnie symulowano dla statku kontenerowego manewry na torze wodnym wykonane w granicznych warunkach pogodowych. Dla warunków ekstremalnych manewrujący statkiem pilot miał trudności z utrzymaniem statku w osi toru, przejścia różnią się od siebie, czasami znacznie.

W porównaniu tras przejścia w warunkach dobrych z przejściem na symulatorze w warunkach granicznych widoczne są znaczne odchylenia trajektorii przejścia od przejścia rzeczywistego wykonanego w dobrych warunkach.

Podano weryfikację modelu symulacyjnego statku dla różnych scenariuszy dynamicznych. Pozwoliło to na określenie dopuszczalnych parametrów eksploatacyjno-środowiskowych (hydrometeorologicznych) oraz wybór odpowiednich strategii działania.

Weryfikacja zastosowana w dysertacji, pozwala na potwierdzenie zasadności modelu.

Poddano analizie poziom zgodności parametrów obiektu rzeczywistego z wynikami badań symulacyjnych przejścia torem wodnym modelu i statku rzeczywistego.

Obliczenia statystyczne wykonano w programie *Statgraphics*. Analizowano wyniki rzeczywiste z badaniami opisujące położenie jednostki w odniesieniu do osi toru wodnego.

Analizy statystycznych wykazały, że wartości środkowe i odchylenie standardowe nie wykazują istotnych różnic, natomiast obwiednie trajektorii rzeczywistych i trajektorii z symulacji wykazały duże różnice. Tym niemniej z symulacji można wyznaczyć obwiednie rzeczywistego toru ruchu.

Rozdział 7. Ocena bezpieczeństwa

Rozdział poświęcony jest bezpieczeństwu nawigacyjnemu dla granicznych wartości wybranych parametrów eksploatacyjnych i hydrologicznych. Wykorzystano model logitowy do analizy zagrożeń dla statków umożliwiający określenie stopienia zagrożenia kolizyjnego w zależności od typu akwenu, parametrów hydrometeorologicznych oraz parametrów manewrowych jednostki pływającej.

Przyjęty model umożliwia uwzględnienie zagrożenia, zdarzenia aktywujące zagrożenie, narażenie, ekspozycję i ich skutki.

Przyjęte modele logitowe pozwalają na określenie granicznych wartości parametrów hydrometeorologicznych oraz parametrów manewrowych statku przy akceptowalnym poziomie miary ryzyka w zależności od typu akwenu.

Przeprowadzono również badania symulacyjne dla warunków granicznych przejścia przy wietrze wiejącym niekorzystnym z kierunku S, o sile z dynamicznymi podmuchami wiatru w zakresie 6-7^oB i przyjmując odpowiadający tym warunkom stan morza. Dla tych warunków analizowano zmienności funkcji odległości modelu od osi toru w aspekcie poziomu bezpieczeństwa.

Zapewnienie bezpiecznych manewrów statku na akwenach podejściowych do portu duży wpływ ma również czynnik ludzki. W przeprowadzonych badaniach nie zajmowano się wpływem czynnika ludzkiego na bezpieczeństwo statku w czasie wykonywanych manewrów. Przyjęto, że statek prowadzi doświadczony pilot. Tym niemniej dyplomant podkreślił, że na bezpieczeństwo manewrów statku kluczowy wpływ mają kapitan i pilot, ale przede wszystkim kapitan, od którego podejmowanych decyzji zależą bezpieczne za- lub odcumowania i wyjścia lub wejścia do portu.

Doktorant wykazał, że bezpieczeństwo statku zawijającego do portu zależy także od parametrów toru podejściowego, jego głębokości i szerokości oraz panujących na nim falowania i siła wiatru.

Rozdział 8. Podsumowanie i wnioski

Wykazano, że wyniki badań potwierdzają poprawność przedstawionego modelu oceny bezpieczeństwa manewrów maksymalnego statku na podejściu do Portu Północnego w Gdańsku, zbudowanego w oparciu o założenia i obliczenia teoretyczne oraz badania symulacyjne.

Badania symulacyjne zweryfikowano badaniami otrzymanymi na statku rzeczywistym pozwalającymi potwierdzić poprawność przyjętego modelu symulacyjnego.

Opracowany model daje możliwość wyznaczenia granicznych warunków hydrometeorologicznych, w jakich statek kontenerowy z zachowaniem prędkości bezpiecznej, będzie mógł bezpiecznie nawigować w granicach toru podejściowego.

rozdział 9. Efekt opracowania modelu oceny bezpieczeństwa wejścia do portu statku maksymalnego przy istniejącej infrastrukturze hydrotechnicznej

W rozdziale tym Doktorant między innymi przedstawił zakres dalszych prac badawczych. Badania na jednostce rzeczywistej wykonane na potrzeby niniejszej dysertacji były wykonane dla dobrych warunków pogodowych, Autor zdając sobie sprawę z trudności wykonania takich prac, a przede wszystkim niechęci armatora na użyczenie do badań statku tym niemniej, celowym byłoby w przyszłości podjęcie dalszych badań w gorszych warunkach

hydrometeorologicznych, najlepiej w warunkach granicznych. Badania te pozwoliłyby na potwierdzenie dokładności zastosowanych modeli, matematycznego statku i środowiska symulacyjnego w tych warunkach.

Wnioski

Za podstawowe osiągnięcia doktoranta uważam:

- sformułowanie oryginalnego modelu oceny bezpieczeństwa manewrów statku maksymalnego na torze podejściowym do portu morskiego,
- zbadanie poprawności opracowanego modelu symulacyjnego z wynikami doświadczalnymi na jednostce rzeczywistej, co jest szczególnie cenną zaletą pracy,
- ocenę ryzyka nawigacyjnego dla manewrującego statku na ograniczonych akwenach wykorzystując modele logitowe,
- wartość utylitarną pracy pozwalającą zwiększyć bezpieczeństwo manewrowe statków o wymiarach maksymalnych manewrujących na torach podejściowych do Portu Północnego w Gdańsku.

Ponadto uważam, że wartościową stroną pracy są:

- ✓ prace cytowane, z których większość jest z ostatniego dziesięciolecia, świadczą, że Autor wnikliwie rozeznał temat badawczy, który realizował w swojej pracy doktorskiej,
- ✓ praca wytycza dalsze kierunki przyszłościowych badań umożliwiającich sformułowanie szeregu wniosków praktycznych, które mogą przyczynić się do weryfikacji modeli używanych w symulatorach nawigacyjnych z danymi pozyskanymi z obiektów pływających rzeczywistych dla różnych warunków pływania.

Uwagi krytyczne i dyskusyjne

1. Czy w tytule pracy doktorskiej „maksymalny statek” odnosi się tylko do rozpatrywanego kontenerowca w dysertacji, czy dotyczy wszystkich typów statków o przybliżonych parametrach. Jeśli tak to wnioski z pracy można przenieść na wszystkie typy statków? Wydaje się, że manewrowanie kontenerowcem znacznie różni się od manewrowania np. masowcem.

2. W spisie literatury w pozycji [43] wpisano materiały własne, czyli Autora. Są to jak rozumiem badania i obliczenia własne, a wyniki przedstawiono w dysertacji. Zatem są opublikowane w pracy doktorskiej i pozycją [43] jest praca doktorska.
3. W tabeli 5.1 – brak jednostek przy pojemności brutto i pojemności netto.
4. W jaki sposób liczono moment przechylający od wiatru i od holowników tabela 5.3 i 5.4 ? Występujące wielkości we wzorach (5.2) ÷ (5.7) byłyby czytelniejsze przez dodanie rysunku przechyłu statku w przekroju wrężnicowym z zaznaczonymi wielkościami i momentem przechylającym.
5. W tabeli 5.4. przechył statku oznaczono symbolem h , zaś we wzorze (5.5) φ . Podobnie ΔT_H i ΔT_H
6. We wzorze (5.2) tangens kąta zapisano $\text{tg}(\varphi)$ natomiast we wzorze (5.5) $\tan(\varphi)$
7. Jednostkę momentu przechylającego od wiatru w tabeli 5.3 podano poprawnie [kNm] zaś moment przechylający od holowników w tabeli 5.4 w [tm]
8. We wzorze (5.8) wielkość T oznacza zanurzenie statku zaś H to głębokość toru wodnego a nie zanurzenie jak w podpisie. Podobnie wzór (5.8) $R = H - T$ powinno być $R = H - T_{\max}$
9. We wzorze (5.14) i (5.15) co oznaczają zmienne ΣW i ΣW_p
10. Na rysunku 7.5 i 7.6 oś czasu powinna być opisana t lub czas zaś jednostka czasu nie [t] a sekunda, minuta, godzina.

Wniosek końcowy

Praca doktorska stanowi rozwiązanie zadania naukowego polegającego na określeniu wymiarów maksymalnego statku wchodzącego do Portu Północnego w Gdańsku w warunkach istniejącej infrastruktury toru podejściowego z oceną bezpieczeństwa manewrowego oraz przeprowadzenia badań eksperymentalnych potwierdzających poprawność przyjętego modelu symulacyjnego i mieści się w dyscyplinie naukowej Inżynieria lądowa i transport.

Recenzent uważa, że doktorant wykazał umiejętności do samodzielnego rozwiązywania zadań badawczych, przy tym opanował niezbędną wiedzę w zakresie teorii i nowoczesnych metod symulacji numerycznej oraz badań eksperymentalnych.

Cel pracy został całkowicie osiągnięty a teza pracy: „Obecny rozwój wiedzy i technologii umożliwia ocenę bezpieczeństwa zawinięcia do portu statku maksymalnego przy istniejącej infrastrukturze hydrotechnicznej, zbudowanej dla statku o mniejszych gabarytach” została udowodniona.

W przekonaniu recenzenta praca doktorska mgr inż. Wiesława Piotrkowskiego spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w myśl obowiązujących przepisów Ustawa: Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r. (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668).

Recenzent stawia wniosek o dopuszczeniu doktoranta do publicznej obrony pracy w dyscyplinie naukowej Inżynieria lądowa i transport.

Jednocześnie stawiam wniosek o wyróżnienie pracy, która stanowi rzadki rodzaj przedstawianych dysertacji, ponieważ oprócz obliczeń teoretycznych przedstawiono w niej badania eksperymentalne na dużym obiekcie rzeczywistym. Praca ta w sposób zwarty przedstawia model oceny bezpieczeństwa wykonywania manewrów maksymalnego statku na torze podejściowym do portu morskiego z uwzględnieniem nowoczesnych systemów pomiarowych, programów numerycznych oraz symulatorów nawigacyjnych dedykowanych temu obszarowi zastosowań.

Praca ta oprócz walorów badawczych oraz użytkowych została zweryfikowana i może być stosowana i wykorzystana w procesie kształcenia i doszkalania kadr w Uczelniach Morskich, a wyniki pozwolą na wzrost bezpieczeństwa statków manewrujących na torze wodnym Portu Północnego.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Morek', with a long horizontal stroke extending to the right.