

Warszawa, 10 maja 2023 r.

prof. dr hab. inż. Jacek Skorupski
Politechnika Warszawska, Wydział Transportu
ul. Koszykowa 75
00-662 Warszawa

RECENZJA

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Mateusza Gila pt.
„Metoda wyznaczania dynamicznego granicznego obszaru manewrowego
dla statku morskiego w sytuacji kolizyjnej”**

Treść i zakres rozprawy

Rozprawa zawiera 6 rozdziałów numerowanych plus wykaz skrótów, spisy rysunków i tabel. Do rozprawy dołączono bibliografię zawierającą 191 pozycji. Całość zawiera łącznie 121 stron tekstu, rysunków, tablic i spisów.

Przedmiotem rozprawy jest szeroko pojęta problematyka bezpieczeństwa ruchu morskiego, szczególnie w odniesieniu do metod wykrywania i rozwiązywania sytuacji konfliktowych. W ramach tego obszaru badawczego Autor zajął się kwestią unikania kolizji proponując zastosowanie w tym celu koncepcji dynamicznego granicznego obszaru manewrowego dla statku morskiego w sytuacji kolizyjnej CADCA. Przedstawiono istotę tego pojęcia oraz metodę wyznaczania wraz z implementacją komputerową. Praca została przygotowana na podstawie analizy procesów ruchowych załogowego statku morskiego, jednak Autor wyraźnie podkreśla, że podczas tworzenia metody prace prowadzono w taki sposób, aby możliwe było jej wykorzystanie także w odniesieniu do statków bezzałogowych. Ten aspekt jest niezwykle ciekawy i ważny, biorąc pod uwagę intensywne prace zmierzające do zwiększenia automatyzacji procesu podejmowania decyzji w sterowaniu ruchem morskim, a zwłaszcza w obliczu coraz szerszego wprowadzania i wykorzystywania systemów bezzałogowych w transporcie. W systemach załogowych zagadnienia podjęte przez Doktoranta mogą doprowadzić do powstawania skutecznych narzędzi wspomaganie nawigatora, zaś w systemach bezzałogowych do określania algorytmów planowania bezpiecznego przejścia i wspomaganie procesów negocjacyjnych dotyczących rozwiązywania sytuacji kolizyjnych. Możliwe jest także wykorzystanie jej do wspomaganie służb kontroli ruchu VTS.

Rozdziały 1 i 2 przedstawiają obszar zainteresowania, osadzają ten obszar w literaturze przedmiotu, definiują podstawowe pojęcia oraz formułują cel i zakres pracy. Rozdziały 3 i 4, stanowiące zasadniczą treść rozprawy, przedstawiają ogólnie metodę wyznaczania dynamicznego granicznego obszaru manewrowego statku oraz badania symulacyjne z wykorzystaniem metody i stworzonego narzędzia komputerowego. Pozwalają one na ilustrację możliwości wykorzystania rezultatów pracy w żegludzie morskiej. Rozdziały 5 i 6 zawierają dyskusję uzyskanych wyników, przedstawiają możliwe



zastosowania i kierunki rozwoju metody, a także przedstawiają wnioski wynikające ze zrealizowanych badań.

Uwagi ogólne

Uważam, że temat i cel rozprawy zostały wybrane bardzo dobrze. Zagadnienie bezpieczeństwa transportu, w tym przypadku transportu morskiego, są cały czas istotnym obszarem badawczym, w którym obserwuje się ciągle rozwój metod i narzędzi – zarówno badawczych jak i aplikacyjnych. Problematyka wykrywania konfliktów i unikania kolizji, którą podjął Autor, a w szczególności automatyzacji tych procesów, mimo wielu lat badań ciągle stanowi obszerne pole do prowadzenia wartościowych badań. Istotnym impulsem przyspieszającym te badania jest, wspomniane wcześniej, wprowadzanie systemów o coraz większej autonomiczności. Prace podjęte przez Autora mają istotne znaczenie w tym kontekście. Mają bowiem na celu formalizację i zobiektywizowanie procedur wykrywania i rozwiązywania konfliktów, a następnie zaproponowanie koncepcji i metody wyznaczania obszaru bezpieczeństwa, dla którego należy zapewnić separację od innych obiektów stałych i ruchomych. Istotne jest, aby rozwiązanie to zapewniało bezpieczne minięcie się statków oraz, o ile to możliwe, żeby jego wypracowanie odbywało się w krótkim czasie umożliwiającym jego realizację. Bez wątplenia pozwoliłoby to na uniknięcie wielu błędów, na przykład wynikających z nadmiernego obciążenia pracą czy braku świadomości sytuacyjnej.

Autor, dostrzegając aktualny kierunek prac nad rozwojem narzędzi wspomaganie decyzji w systemach transportowych, dobrze wpisuje się tematyką rozprawy w bieżące prace badawcze prowadzone przez ośrodki krajowe i zagraniczne. Wybranie tak aktualnej tematyki rozprawy, świadczy o dobrym rozeznaniu Autora w istniejących problemach eksploatacji złożonych systemów, w szczególności w obszarze transportu morskiego. Potwierdza je również dokonany przegląd literaturowy, który zawiera pozycje aktualne i ważne.

Koncepcję rozprawy zawarto w rozdziale 1. Autor zaplanował opracowanie metody pozwalającej na wyznaczenie dynamicznego granicznego obszaru manewrowego dla statku morskiego w sytuacji kolizyjnej z możliwością jego zastosowania na jednostkach załogowych oraz autonomicznych. Cel ten wydaje mi się ciekawy i ambitny. Zaproponowana w rozprawie teza badawcza definiuje realny problem badawczy. Uwzględnienie charakterystyki sytuacji spotkaniowej statku morskiego do wyznaczenia granicznego obszaru manewrowego, jako kryterium wykonalności manewru wymijającego jest zagadnieniem niebanalnym, zaś jego rozwiązanie ma duży potencjał aplikacyjny.

Do zrealizowania celów rozprawy Autor zaproponował wykorzystanie metody symulacyjnej obejmującej:

- przygotowanie danych wejściowych, a w szczególności trajektorii reprezentatywnych,
- wyznaczenie punktów wchodzących w skład obszaru granicznego, wykorzystując parametr MDTC, czyli najmniejszego dystansu do zderzenia,
- skonstruowanie i wizualizację obwiedni CADCA.

Ogólna koncepcja rozwiązania problemu badawczego jest oryginalna i ciekawa, co potwierdza dobrą orientację Doktoranta we współczesnych trendach panujących w zakresie zagadnień naukowych, które podejmuje. Przedstawiony aparat badawczy jest adekwatny do postawionych tez i celów rozprawy, co zostało potwierdzone przez fakt, że udało się stworzyć narzędzie, które pozwoliło przeprowadzić szereg eksperymentów i sprawdziło się w praktyce pozwalając na potwierdzenie tych tez i

osiągnięcie tych celów.

Do oryginalnego dorobku Autora rozprawy zaliczam:

- opracowanie koncepcji dynamicznego granicznego obszaru manewrowego statku morskiego CADCA, uwzględniającej:
 - o bezpośrednie powiązanie wskaźnika bezpieczeństwa z realizacją manewru wymijającego w sytuacji nadmiernego zbliżenia,
 - o geometrię sytuacji spotkaniowej,
 - o szczegółowe odwzorowanie dynamiki sytuacji nadmiernego zbliżenia,
 - o zdolności manewrowe statku,
 - o wpływ warunków środowiskowych na realizację manewru antykolizyjnego.
- stworzenie autorskiego oprogramowania symulacyjnego implementującego zaproponowaną metodę,
- uwzględnienie w analizach najbardziej niekorzystnej sytuacji nawigacyjnej, poprzez wykorzystanie wskaźnika MDTC,
- uwzględnienie stochastycznego charakteru falowania,
- próbę ograniczenia niepewności wynikającej z modelowania zachowania kadłuba na fali nieregularnej,
- wyznaczenie, na podstawie danych historycznych, dopuszczalnej odległości przejścia przed dziobem BCR,
- bardzo dobrze skonstruowany plan badań eksperymentalnych z wykorzystaniem autorskiego oprogramowania symulacyjnego, umożliwiające wnikliwe zbadanie wpływu charakterystyki sytuacji spotkaniowej, parametrów manewru wymijającego oraz zakłóceń środowiskowych na kształt i rozmiar CADCA,
- wykazanie na podstawie badań eksperymentalnych:
 - o dynamicznego charakteru CADCA,
 - o zakresu istotności poszczególnych parametrów na rozmiar obszaru CADCA,
 - o konieczności weryfikacji koncepcji domeny statku, ze względu na fakt, że mogą one nie uwzględniać całości zagrożeń w sytuacji konfliktowej.

Na podkreślenie zasługuje sprawne posługiwanie się zastosowanymi narzędziami, co pozwoliło na dokonanie pogłębionych analiz, a w konsekwencji sformułowanie interesujących wniosków w odniesieniu do praktycznej aplikacji metody. Wysoko oceniam dokonania Autora rozprawy w tym zakresie. Opracowana metodyka wyznaczania dynamicznego granicznego obszaru manewrowego jest nowatorska, ciekawa i bardzo ważna dla rozwoju systemów wspomagania decyzji nawigatorów dla statków załogowych oraz szerszego wprowadzania statków bezzałogowych. Stanowi zatem realny wkład w rozwój wykorzystywanych metod, a tym samym w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria lądowa, geodezja i transport. Warto przy tym zauważyć, że uzyskane rezultaty są ważne i uniwersalne, tym samym mogą znaleźć zastosowanie nie tylko w odniesieniu do żeglugi morskiej, ale także powietrznej czy innych gałęzi transportu. Na przykład w transporcie lotniczym toczy się aktualnie ożywiona dyskusja, tak naukowa jak i formalno-prawna, dotycząca możliwości jednoczesnego bezpiecznego operowania załogowych i bezzałogowych statków powietrznych w tej samej przestrzeni powietrznej. Jestem przekonany, że prezentowana przez Autora koncepcja mogłaby znaleźć zastosowanie w rozwiązaniu problemów, które jak dotychczas stanowią silne ograniczenie we wprowadzaniu takiego rozwiązania.



W mojej ocenie przeprowadzone badania pozwoliły na zrealizowanie celu rozprawy i udowodnienie postawionej hipotezy. Przedstawiona rozprawa stanowi dokumentację oryginalnego rozwiązania problemu badawczego. Jakość przedstawionych analiz, sposób i zakres prowadzenia eksperymentów, a zwłaszcza ich przemyślane zaplanowanie, a także dyskusja uzyskanych rezultatów badań potwierdza umiejętność posługiwania się przez opiniowanego nowoczesnymi narzędziami i metodami badawczymi. Co ważne, Doktorant potrafił krytycznie odnieść się do uzyskanych wyników, ma świadomość ograniczeń przeprowadzonej analizy, co dowodzi jego dojrzałości naukowej. Potwierdza ją także zaprezentowany w rozprawie plan dalszych badań, które pozwolą na wyeliminowanie istniejących ograniczeń, uszczegółowienie badań i ich rozwój wraz z rozwojem analizowanej technologii.

Uwagi szczegółowe i pytania

Praca stanowi solidną dokumentację przeprowadzonych badań. Ich wyniki częściowe były publikowane w uznanych periodykach naukowych oraz prezentowane na prestiżowych konferencjach naukowych, tym samym zostały już poddane częściowej weryfikacji przez środowisko naukowe. Jak zawsze w tego rodzaju opracowaniach Autor nie ustrzegł się pewnych błędów, nieścisłości, niejasności czy uchybień redakcyjnych. Jednak ich liczba oraz istotność dla zrozumienia treści wyводу jest na tyle nieznaczna, że pominię ich wymienianie. Przedstawię jedynie kilka uwag o charakterze dyskusji oraz pytań, o wyjaśnienie których prosiłbym w trakcie publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

1. Autor przyjął koncepcję prezentacji swojej metody poprzez opis funkcjonalności stworzonego oprogramowania. Wydaje mi się, że korzystniejsze jest podejście, że najpierw przedstawiamy metodę ogólnie, a później pokazujemy w jaki sposób metoda została zaimplementowana w oprogramowaniu. W przeciwnym razie nieuniknione są zwroty typu „program dobiera” co sugeruje jakąś autonomię narzędzia komputerowego, podczas gdy w rzeczywistości implementuje ono koncepcję i algorytm opracowany przez Doktoranta.
2. W metodach wykrywania i rozwiązywania konfliktów w ruchu lotniczym, na które powołuje się Doktorant (w szczególności prace Kuchara) istotną rolę odgrywa sposób uwzględnienia niepewności co do trajektorii statku powietrznego. Uznaje się, że najlepsze efekty można uzyskać przyjmując probabilistyczny model trajektorii, gdzie prawdopodobieństwa zajmowania poszczególnych punktów są większe w pobliżu trajektorii nominalnej, a mniejsze im dalej od niej. Tymczasem w prezentowanej metodzie Autor wprowadził uwzględnienie stochastycznej natury falowania, ale później wybiera trajektorię reprezentatywną i traktują ją deterministycznie. Proszę o uzasadnienie tego podejścia.
3. Czy, i ewentualnie w jaki sposób, uwzględniane są w metodzie zjawiska takie jak czas reakcji człowieka przy rozpoczynaniu manewru czy opóźnienie w działaniu (bezwładność) urządzeń stosowanych do sterowania statkiem?
4. Przy analizie przykładów przedstawianych w rozprawie wyraźnie widać, że w niektórych przypadkach manewry wynikające z prawideł COLREG nie są najkorzystniejszym rozwiązaniem. Czy istnieje możliwość (potrzeba) modyfikacji tych prawideł w takim kierunku, aby przy pewnych warunkach początkowych nakazywać inny typ manewru, na przykład skręt w lewo zamiast w prawo? Autor wspomina w końcowej części rozprawy o możliwości wykonania takiego niekonwencjonalnego manewru, ale ma to charakter wyjątku, zaś z uzyskanych wyników widać, że w pewnych konfiguracjach byłoby to korzystniejsze.

5. Autor stosuje dość typowe podejście w analizie ryzyka, polegające na rozpatrywaniu najgorszego przypadku i dodatkowo stosowaniu buforów na nieprzewidziane zdarzenia czy zaokrąglania prawdopodobieństw w taki sposób, aby szacowanie ryzyka nie spowodowało jego zaniżenia. W świetle ostatnich prac z zakresu teorii bezpieczeństwa (np. praca Aven, T. (2015). On the use of conservatism in risk assessments. *Reliability Engineering & System Safety*, 146, 33–38) należy unikać takiego konserwatywnego podejścia. Czy Doktorant mógłby się odnieść do tej kwestii?
6. W jaki sposób korzystać z zaproponowanego podejścia w rzeczywistym ruchu? Czy można zaproponować jakieś ogólne reguły wspomagające podejmowanie decyzji w konkretnych przypadkach? Jaki Doktorant widzi kierunek rozwoju prac w tym zakresie? Analizy symulacyjne przedstawione w rozdziale 4 wskazują, że takie uogólnienia będą trudne do osiągnięcia, ale wydaje się, że byłoby to korzystne dla możliwości praktycznego zastosowania.
7. Doktorant podkreśla dużą uniwersalność metody wyznaczania CADCA, polegającą na możliwości zmiany wielu parametrów i tym samym lepszego dopasowania do sytuacji czy preferencji użytkownika. Przedstawia to jako oczywistą zaletę. W zasadzie trudno się z tym nie zgodzić, jednak może się też pojawić wrażenie, że Doktorant nie jest pewny swojej propozycji, bo osoba która chciałaby metodę wykorzystać może mieć poważny dylemat – to jakie w końcu parametry przyjąć?
8. Poszukiwanie minimalnej liczby trajektorii pozwalających na uzyskanie na odpowiednim poziomie ufności parametrów cyrkulacji z błędami nie przekraczającymi przyjętych wartości progowych (str. 47 i nast.) pokazuje, że dla akceptowalnego błędu na poziomie 1% liczba ta jest znacznie wyższa niż dla błędu na poziomie 3% i 5%. Czy zatem przyjęcie 3% nie jest zbyt liberalne?
9. Jak zawsze w tego rodzaju metodach pojawia się pytanie o walidację. Rozumiem, że w tym przypadku jest to dość trudne do wykonania. Jednak prosiłbym o informację czy, i ewentualnie w jaki sposób, Doktorant sprawdził poprawność uzyskiwanych wyników? Czy skonsultowano je z doświadczonymi nawigatorami lub innymi źródłami, które mogłyby ją potwierdzić?

Podsumowanie i wnioski końcowe

Autor rozprawy w sposób jednoznaczny określił problem badawczy, który jest istotny i aktualny, a następnie rozwiązał go w zakresie adekwatnym do przyjętych koncepcji oraz zastosowanych metod. Przedstawiona rozprawa wykazuje dobre przygotowanie teoretyczne Autora, umiejętność samodzielnego formułowania i rozwiązywania problemów badawczych oraz skutecznego działania w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych w dyscyplinie naukowej inżynieria lądowa, geodezja i transport, której dotyczy rozprawa.

Treść rozprawy odpowiada jej tytułowi. Metody badawcze zostały dobrane poprawnie. Założone cele rozprawy zostały osiągnięte. Postawiona hipoteza badawcza została udowodniona. Rozprawa napisana jest poprawnym językiem. Układ całości i poszczególnych rozdziałów jest właściwy. Poszczególne problemy przedstawione są jasno, a wnioski poparte logicznymi wywodami. Przedstawione w recenzji uwagi i wątpliwości nie umniejszają wartości pracy, zaś pytania mają charakter dyskusji naukowej i wskazania możliwości dalszych badań. Na uznanie zasługuje część aplikacyjna, która pozwala stwierdzić, że proponowana metodyka modelowania i analizy jest właściwa i może skutecznie wspomagać decyzje w sytuacjach konfliktowych w żegludze morskiej zarówno w odniesieniu do pojazdów załogowych jak i bezzałogowych.

Wyrażam opinię, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Mateusza Gila pt. „Metoda wyznaczania dynamicznego granicznego obszaru manewrowego dla statku morskiego w sytuacji kolizyjnej” stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, zatem odpowiada ustawowym warunkom stawianym rozprawom doktorskim i stawiam wniosek o dopuszczenie tej rozprawy do publicznej obrony. Jednocześnie, wnioskuję o wyróżnienie rozprawy, uzasadniając to, między innymi, nowatorskim charakterem badań, dużą wartością utylitarną stworzonego narzędzia oraz niezwykle interesującymi wynikami popartymi dojrzałymi i żmudnymi eksperymentami symulacyjnymi z jego wykorzystaniem.

