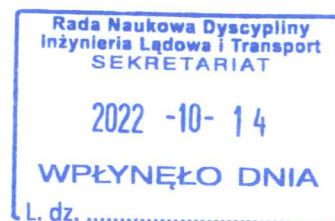


dr hab. inż. Paweł Gołda, prof. ITWL
Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych
ul. Księcia Bolesława 6

Warszawa, dn. 10.10.2022 r.



Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Darii Żuchowskiej
pt.: „Metoda zapewnienia separacji pomiędzy statkami powietrznymi przy zmianie organizacji ruchu ”

Recenzja rozprawy wykonana na zlecenie Pana Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynierii Lądowej i Transportu dr hab. inż. Konrada Lewczuka, prof. PW – pismo z dnia 10.10.2022r., WTBD.521.DR.104.2022, do którego dołączono egzemplarz rozprawy doktorskiej.

1. Uwagi ogólne

Recenzowana praca będąca przedmiotem rozprawy dotyczy opracowania metody zapewnienia separacji pomiędzy statkami powietrznymi uwzględniającej zmianę organizacji ruchu. Przedstawiona do recenzji praca obejmuje:

- 118 strony wydruku komputerowego formatu B5, w tym 98 stron tekstu zasadniczego;
- 23 rysunki, w tekście zasadniczym ponumerowanych oraz podpisanych;
- 25 tabel w tekście zasadniczym i 11 w dodatku, które są ponumerowane i opisane;
- bibliografię liczącą 115 pozycji krajowych i zagranicznych, akty prawne, raporty, oraz witryny internetowe.

Promotorem rozprawy doktorskiej jest Pani dr hab. inż. Anna Stelmach prof. uczelni, a promotorem pomocniczym dr inż. Mariusz Krzyżanowski.

Tematyka Rozprawy Doktorskiej Pani mgr inż. Darii Żuchowskiej koncentruje się na zagadnieniach związanych z zarządzaniem ruchu w sektorach przestrzeni powietrznej. Autorka w dysertacji proponuje metodę polegającą na wprowadzeniu połączonej odpowiedzialności za ruch w sektorze pomiędzy kontrolerami ruchu lotniczego jak i statkami powietrznymi (załoga wyposażenie). Doktorantka w proponowane rozwiązanie opiera o następujące aspekty:

- zachowanie niemniejszego poziomu bezpieczeństwa przy obecnym obciążeniu;
- względy ekonomiczne;

- zwiększenie przepustowości;
- spójność semantyczną;
- komunikacje.

Uważam, że podjęty przez Panią mgr inż. Darię Żuchowską problem badawczy w rozprawie jest jak najbardziej uzasadniony, a samo sformułowanie tematu rozprawy za właściwe.

2. Analiza zakresu, celu i treści rozprawy

Na podstawie analizy rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Darii Żuchowskiej uważam, że postawiony przez Autorkę rozprawy problem badawczy ma charakter dysertabilny i w pełni nawiązuje do współczesnych osiągnięć oraz potrzeb nauki i praktyki w obszarze dotyczącym organizacji zarządzania ruchem lotniczym.

Rozprawa zawiera 7 rozdziałów rozpoczynając się od obszernego wstępu **rozdział 1** (9 str.), w którym zawarte zostało tło problematyki. Autorka zwraca uwagę na podstawowe funkcje i obowiązki służby kontroli ruchu lotniczego oraz narastający problem kongestii. Kolejną częścią rozdziału jest przegląd literatury. Przedstawiono w nim sposoby podejścia do zachowania odpowiedniej separacji, analiza skupia się na sposobach defragmentacji, podziale pionowym przestrzeni, czy obciążeniu kontrolera ruchu lotniczego i oddelegowaniu obowiązku zapewnienia separacji do innych podmiotów. W podrozdziale tym autorka zwraca uwagę na rodzaje systemów zapewnienia szeroko pojętej informacji oraz potrzebę stworzenia narzędzi inżynierskich do analizy i wspomaganie pracy systemu kontroli ruchu lotniczego. Nadmieniam, iż niezbędnym elementem jest proces przejściowy i odpowiednie wyposażenie statków powietrznych w systemy zapewnienia własnej separacji powodujące zmniejszenie zaangażowania kontrolera w procesie podejmowania decyzji.

Na podstawie tak przeanalizowanej literatury autorka określa cel pracy, którym jest *„opracowanie metody organizacji systemu kontroli ruchu lotniczego w okresie przejściowym, wraz z narzędziami wspomagającymi oba systemy kontroli: scentralizowanej oraz rozproszonej”*. Doktorantka przyjmuje również tezę, iż: *„Opracowana koncepcja organizacji kontroli ruchu lotniczego w fazie przejściowej od systemu scentralizowanego do rozproszonego, wraz z narzędziami wspomaganie statków powietrznych utrzymujących własną separację, a także wspomaganie zapewnienia separacji międzysystemowej, pozwala zachować dotychczasowy poziom*

bezpieczeństwa wszystkich statków powietrznych, jednocześnie umożliwiając etapowe wprowadzenie koncepcji ASAS". Kolejny podrozdział przedstawia metodykę badań oraz układ pracy. Doktorantka zwraca uwagę na potrzebę przeprowadzenia badań modelowych i symulacyjnych, utworzenie narzędzi wspomagania statków powietrznych i ich weryfikacje.

Analiza nowych koncepcji organizacji kontroli ruchu lotniczego, w szczególności koncepcji własnej separacji statków powietrznych stanowi **rozdział 2** (18 str.) niniejszej dysertacji. Autorka analizuje w nim główne nurty koncepcji zarządzania ruchem lotniczym odnoszące się do automatyzacji, weryfikuje metody rozwiązywania konfliktów opisując i charakteryzując predykcyjne zcentralizowane oraz zdecentralizowane metody. W rozdziale tym przedstawiona zostaje również koncepcja lotów swobodnych przypisana do struktur przestrzeni powietrznej wraz z problem identyfikacji utraty separacji, wykrycia sytuacji konfliktowej oraz sposobu ich rozwiązania. Podsumowanie rozdziału stanowi wyodrębnienie trzech proponowanych metod „zarządzania” konfliktami w przestrzeni powietrznej:

- zapewnienie separacji – odpowiedzialny kontroler ruchu lotniczego;
- sytuacja konfliktowa – wykrycie kontroler - rozwiązanie załoga statku powietrznego;
- zapewnienie separacji – załoga statku powietrznego.

Rozdział 3 (30 str.) to opis metody separacji ruchu pomiędzy systemami charakteryzującymi się różnymi sposobami kontroli ruchu lotniczego. Autorka dysertacji podkreśla, że nowo opracowana metoda powinna uwzględniać następujące aspekty: poziom bezpieczeństwa, kosztowność rozwiązania, przepustowość przestrzeni powietrznej, przejrzystość zasad oraz wykorzystanie technologii komunikacyjnej. W dalszej części rozdziału autorka analizuje strukturę przestrzeni powietrznej oraz organizację ruchu w przestrzeni typu MIXED. Istotnym elementem rozdziału jest analiza warunków wystąpienia sytuacji kryzysowej w zależności od badanego typu zdarzenia oraz rodzaju manewrów, które muszą zostać wykonane w celu uniknięcia zdarzenia. Na potrzeby pracy autorka rozszerzyła (zdefiniowane prawem międzynarodowym) możliwości wykonania manewru również o skręt w lewo. Po uniknięciu konfliktu opisany jest sposób powrotu do pierwotnej trasy, w tym celu zastosowano zależności trygonometryczne. Poza manewrem skrętu dokonano również analizy manewrów typu „Zmiana wysokości”. Po analizie manewrów opracowano metodę predykcji trajektorii i wcześniejszego wykrywania sytuacji

kryzysowych oraz odpowiednio wczesnego reagowania na nie. Przedstawiony w pracy model bazuje na analizie ruchu tranzytowego oraz zakłada czterowymiarowy układ współrzędnych, z czasem jako czwartą współrzędną.

Jako jedną z metod rozwiązania sytuacji konfliktowej przyjęto negocjacje pomiędzy załogami statków powietrznych, których trajektorie ruchu znalazły się w konflikcie. Przyjmując założenie, że rozwiązywanie konfliktów odbywa się w parach, autorka jako sposób ich rozwiązania zaimplementowała metodę protokołu monotonicznych ustępstw, przedstawioną w pracy jako opracowanie algorytmu negocjacji. W celu ograniczenia długości negocjacji, założono, że będą się one odbywać w formie depech i ostateczne rozwiązanie będzie musiało zostać wygenerowane maksymalnie w 5 iteracjach jak i pięciominutowym przedziale czasowym na wypracowanie rozwiązania od momentu zaobserwowania kolizji. Końcowym wynikiem analizy przeprowadzonej w rozdziale trzecim jest opracowany schemat blokowy algorytmu działania w przestrzeni MIXED.

Rozdział 4 (11 str.) przedstawia model ruchu lotniczego w obszarowym sektorze kontrolowanym, rozdział składa się z następujących elementów: wyboru narzędzi modelowania, wyboru modelowanych elementów oraz przedstawienia struktury sieci. Jako narzędzie modelowania wybrano Sieci Petriego, które pozwalają na pokazanie relacji pomiędzy poszczególnymi agentami i zależnościami zachodzącymi w systemie. W celu zapewnienia większej przejrzystości sieci zaproponowano strukturę hierarchiczną, w której charakterystyczne dla systemu moduły nazwano stronami. Następnie Autorka dokonała wyboru elementów modelu oraz opracowała strukturę hierarchiczną sieci. Jako sieć główną wyróżniła Sieć Main przedstawiającą zachowanie modelu. W dalszej części zaprezentowała podsieci InitA i InitB, z których każda służy za określenie pierwotnej pozycji statku powietrznego. Kolejną opracowaną siecią jest podsieć Search Reso, która jest odpowiedzialna za znalezienie rozwiązania dla zaistniałej sytuacji konfliktowej. Na podstawie wygenerowanych przez sieć Search Reso rozwiązań, kolejna podsieć Select Reso wybiera rozwiązanie. Na podstawie dokonanego wyboru generowana jest funkcja użyteczności dla każdego rozwiązania.

Rozdział 5 (12 str.) to przeprowadzenie weryfikacji opracowanego w poprzednim rozdziale modelu. Jako metodę weryfikacji autorka wybrała graf osiągalności, który pozwala na zbadanie własności sieci. Własności te podzielono na strukturalne oraz behawioralne. Do własności behawioralnych Autorka zaliczyła: osiągnięcie stanów, odwracalność sieci oraz ograniczoność sieci. Analizę przeprowadzono w programie

CPN Tools, który umożliwił automatyczną kalkulację stanów sieci oraz przedstawienie wyników analizy w formie raportu. Istotnymi elementami otrzymanych raportów są informacje na temat rozmiaru grafu stanów systemu, graf silnej spójności, informacji dotyczące ograniczoności i bezpieczeństwa sieci oraz sekcja podsumowująca stany własne sieci na podstawie znakowania określonego jako znakowanie własne. Kolejne dwie części raportu dotyczą żywotności sieci oraz jej sprawiedliwości. Po analizie i weryfikacji przedstawionej sieci zauważono, że nie jest ona siecią deterministyczną. Zaobserwowano również, że wpływ na analizę sieci za pomocą kalkulacji przestrzeni stanów, ma przypisanie początkowej wartości położenia statku powietrznego, jego wartości i kursu do zadeklarowanego koloru. W wyniku czego dało to nieprzewidywalny wpływ na zachowanie sieci. W celu rozwiązania tego problemu autorka zadała jednoznaczne wartości dla zmiennych zadeklarowanych w ramach zestawów kolorów, a następnie przeprowadziła analizę dla sieci deterministycznej w celu pokazania różnic w zależności od warunków początkowych: zakłócenia i ich brak. Na podstawie opracowanych wyników autorka wyciągnęła wnioski, że sieć nie jest gąfem silnie spójnym oraz nie jest odwracalna. Analizując żywotność sieci kolorowych należy rozważać je w kontekście pewnego przywiązania do tranzycji.

Rozdział 6 (7 str.) to przeprowadzenie eksperymentów z wykorzystaniem modelu. Przyjęto cztery scenariusze testowe, bazujące na założeniach, że w sytuacji kolizyjnej znajdują się dwa statki powietrzne, rozpatrywane jako poruszające się masy, co pozwoliło na ignorancję ich charakterystyk aerodynamicznych. Analizowane statki traktowane były jako układ odseparowany, nie brano pod uwagę innych statków powietrznych. W trakcie symulacji prędkość obu statków była stała. Jako analizowane parametry przyjęto: czas przebywania w konflikcie, utratę separacji oraz wielkość zmiany trasy. Opracowane wyniki eksperymentów pokazały wpływ przyjętych założeń na funkcjonowanie zaproponowanego rozwiązania. Zaobserwowano pogorszenie efektywności działania zaproponowanego rozwiązania w zależności od przyjętego scenariusza. W scenariuszach uwzględniających wystąpienia zakłóceń zostaje wydłużony proces negocjacji.

Kolejnym analizowanym parametrem była prędkość, z jaką poruszał się statek powietrzny. Przy założonych kryteriach stwierdzono, że ocena metody jest bezpieczna w nominalnych warunkach, zaś wprowadzone zakłócenia powodują jej pogorszenie. Ma na to wpływ przyjęty horyzont czasowy.

Rozdział 7 (2 str.) to podsumowanie i wnioski. Za najważniejsze wnioski płynące z pracy można uznać:

- rozwiązywanie sytuacji konfliktowych pomiędzy dwoma uczestnikami ruchu;
- weryfikacje metody przy pomocy scenariuszy testowych;
- opracowanie modelu z wykorzystaniem hierarchicznych czasowych kolorowanych sieci Petriego.

3. Ocena rozprawy

Dużą zaletą rozprawy jest jej użyteczny charakter, co jest bardzo ważne przy tego typu opracowaniach. Zaproponowana metoda i aplikacja wyników badań potwierdzają możliwości praktycznego zastosowania zaproponowanego podejścia. Pani mgr inż. Daria Żuchowska dokładnie i wnikliwie opisał przeprowadzone przez siebie badania oraz dokonał prezentacji ich wyników. Podjęty w rozprawie problem jest ważny zarówno z naukowego, jak i inżynierskiego punktu widzenia.

Na podstawie przeprowadzonej analizy rozprawy uważam, iż Pani mgr inż. Daria Żuchowska porusza się swobodnie w badanej tematyce, wykazuje umiejętność samodzielnego zdefiniowania problemu naukowego i prowadzenia badań, interpretacji i uzasadnienia wyników. Zaprezentowane w części empirycznej rozprawy rozważania potwierdziły wysoką dojrzałość naukową Doktorantki.

Za najważniejsze osiągnięcia Autora rozprawy uważam:

1. Przeprowadzenie analizy literatury w zakresie funkcjonowania systemu zarządzania przestrzenią powietrzną;
2. Opracowanie metody zapewnienia separacji pomiędzy statkami powietrznymi z uwzględnieniem aspektów technicznych i organizacyjnych;
3. Opracowanie modelu ruchu lotniczego w obszarowym sektorze kontroli przy zastosowaniu proponowanej metody;
4. Weryfikację modelu za pomocą grafu osiągalności
5. Przeprowadzanie analizy przyjętych założeń za pomocą badań modelowych i symulacyjnych

Wszystkie wymienione elementy rozprawy stanowią o dużej jej wartości merytorycznej.

Pod względem edytorskim uważam, że:

- kolejność rozdziałów i podrozdziałów tworzy logiczny układ;

- styl jest poprawny, stosowana terminologia nie budzi poważnych zastrzeżeń (mam pewne uwagi dyskusyjne, przedstawione poniżej),
- praca napisana jest na starannym poziomie edytorskim,
- praca nawiązuje do aktualnych pozycji literatury światowej.

Podsumowując ocenę dysertacji Pani mgr inż. Darii Żuchowskiej stwierdzam, że konstrukcja rozprawy oraz sposób opracowania materiału empirycznego, a także forma przeprowadzonej analizy i przyjęta metodyka badań są dobre i właściwe dla tego rodzaju prac. Metodyka badań oraz otrzymane wnioski z badań teoretycznych i eksperymentalnych stanowią w znacznej części oryginalny wkład Autorki. Doktorantka wykazała się ogólną wiedzą teoretyczną, dobrą znajomością przedmiotu badań oraz opanowaniem metod eksperymentalnych i analitycznych stosowanych w dyscyplinie *Inżynieria Lądowa i Transport*.

4. Uwagi szczegółowe

Pomimo wszystkich zalet i dobrej oceny rozprawy pod względem zawartości merytorycznej, dysertacja ma pewne niedostatki. Nie umniejszają one jednak wartości merytorycznej pracy, a utrudniają jedynie zrozumienie jej fragmentów. Niektóre z nich przytaczam poniżej:

- 1) Brak umieszczenia rozdziałów/podrozdziałów w spisie treści 1.7, 3.4, 3.4.1, 3.6.1, 5.2;
- 2) Błędy stylistyczne: np. str. 5, 17, 19, 20, 31;
- 3) Brak rozwinięcia skrótów str. 34;
- 4) Błędna numeracja podpunktów str. 81, tabeli str. 87, wykres str. 96;
- 5) Minimalistyczny model matematyczny str. 68;
- 6) Brak uwzględnienia przez metodę większej liczby statków powietrznych biorących udział w sytuacjach konfliktowych.

Analiza tekstu rozprawy rodzi kilka pytań szczegółowych, które nasunęły się w trakcie czytania. Odpowiedzi na te pytania oczekuję podczas publicznej obrony:

1. Czy w prowadzonych przez Panią badaniach analizowała Pani ruch statku powietrznego z uwzględnieniem odwzorowania Merkatora ?

2. Czy i w jaki sposób Pani model uwzględnia położenie statku powietrznego ?
3. Czy zaproponowana przez Panią metoda może uwzględnić szerszy horyzont czasowy i większą liczbę sytuacji konfliktowych przekładając się na metody proaktywnego zarządzania bezpieczeństwem ?

5. Wniosek końcowy oceny rozprawy

Uważam, że przedstawiona do recenzji rozprawa, mimo przedstawionych uwag krytycznych, które nie podważają zasadniczego dorobku Doktorantki, została wykonana na dobrym poziomie merytorycznym. Wyznaczony przez Panią mgr inż. Darię Żuchowską cel rozprawy został osiągnięty, a teza udowodniona.

Dokonując oceny całości rozprawy, wyrażam opinię, iż stanowi ona oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, potwierdza zdolność do analitycznego spojrzenia na rozpatrywany problem, umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych oraz wskazuje na odpowiedni poziom wiedzy teoretycznej jej Autorki potwierdzając umiejętności praktyczne w dyscyplinie naukowej Inżynieria Lądowa i Transport, w której mieszczą się zagadnienia objęte rozprawą.

Reasumując, stwierdzam, że rozprawa Pani mgr inż. Darii Żuchowskiej pt. „*Metoda zapewnienia separacji pomiędzy statkami powietrznymi przy zmianie organizacji ruchu*”, spełnia wymagania ustawy z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (dz. U. z 2020 r. poz. 85 z późniejszymi zmianami) oraz mieści się w dyscyplinie *Inżynieria Lądowa i Transport*.

Stawiam więc wniosek o przyjęcie opracowania przedstawionego do recenzji – jako rozprawy doktorskiej mgr inż. Darii Żuchowskiej na stopień doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie *Inżynieria Lądowa i Transport* i dopuszczenie jej do publicznej obrony.


/Paweł Gołda/