



RECENZJA

pracy doktorskiej mgr inż. Pauliny Chikha

pt.: „Ocena ryzyka operacji obsługi naziemnej z wykorzystaniem sprzętu lotniskowego”

1. Podstawa opracowania

Podstawę opracowania recenzji stanowiło pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport dra hab. inż. Konrada Lewczuka, prof. Politechniki Warszawskiej (nr WTBD.521.DR.114.2022) z dnia 09.06.2022 r.

Recenzję przygotowano uwzględniając zapisy Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2017 r. poz. 1789) oraz Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 22 września 2011 r. w sprawie szczegółowego trybu przeprowadzenia czynności w przewodach doktorskich oraz w postępowaniu o nadanie tytułu (Dz.U. Nr 204 poz. 1200).

2. Ogólna charakterystyka i ocena układu pracy

Recenzowana praca doktorska została przygotowana pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Jacka Skorupskiego. Rozprawa została przedstawiona na 189 stronach i podzielona na 10 rozdziałów poprzedzonych streszczeniem w języku polskim i angielskim, spisem treści, a zakończona wykazem użytych skrótów, rysunków, tabel oraz bibliografią liczącą 159 pozycji. Praca składa się z trzech głównych części.

W części pierwszej (rozdziały 1, 2 i 3) Autorka przedstawiła ogólne informacje na temat incydentów w ruchu lotniskowym, w których udział mają statki powietrzne oraz sprzęt do obsługi naziemnej GSE (Ground Support Equipment). Doktorantka omówiła ogólne zasady ruchu lotniskowego i obsługi naziemnej statku powietrznego oraz zwróciła uwagę na poziom wykształcenia operatora GSE. Ponadto, przedstawiła problematykę oceny ryzyka operacji obsługi naziemnej z wykorzystaniem sprzętu lotniskowego oraz dokonała przeglądu stanu wiedzy w analizowanej tematyce.

W rozdziale 1 (*Wstęp*) Doktorantka odnosi się do istniejących metod analizy zdarzeń lotniczych, także w obsłudze naziemnej, które nakierowane są na poszukiwanie przyczyn zaistniałych zdarzeń i formułowanie zaleceń profilaktycznych zmniejszających szanse wystąpienia podobnego incydentu w przyszłości. Podjęty temat pracy rozszerza wiedzę w tym zakresie poprzez umożliwienie analiz scenariuszy rozwoju incydentu w stronę wypadku. W tym celu Autorka zaproponowała metodykę oceny ryzyka operacji obsługi naziemnej wykonywanej z wykorzystaniem sprzętu lotniskowego GSE, ze szczególnym uwzględnieniem

poziomu wyszkolenia operatora i ryzyka dopuszczenia go do określonego zadania. Doktorantka określiła zakres badań, przedstawiła koncepcję pracy oraz sformułowała cel i tezę rozprawy.

W rozdziale 2 (*Przegląd literatury*) Autorka przedstawiła problem bezpieczeństwa w ruchu lotniczym oraz aktualny stan wiedzy, zgodny z przedmiotem badań. W ramach przeglądu omówione zostały najważniejsze zagadnienia analizowane w pracy, tj.: ocena bezpieczeństwa ruchu lotniskowego, czynnik ludzki w ruchu lotniskowym, metody analizy zdarzeń lotniczych, badania modelowe, metody symulacyjne i rozmyte w analizach bezpieczeństwa. Wymienione powyżej punkty zostały wykorzystane przez Doktorantkę w zaproponowanej metodyce oceny ryzyka przekształcenia się incydentu w wypadek.

W rozdziale 3 (*Naziemny ruch lotniskowy*) Doktorantka omówiła definicje naziemnego ruchu lotniczego, sprzętu obsługi naziemnej, a także zaprezentowała analizę typowych zjawisk awaryjnych na stanowisku operatora GSE oraz przegląd zdarzeń w ruchu lotniskowym. Autorka dokonała wyboru klasy zdarzeń w ruchu lotniskowym w rejonie dróg kołowania i płyt postoju samolotów, w której uczestniczą pracownicy obsługi naziemnej. W pracy wybrany został incydent, w którym brały udział cysterna paliwowa agenta obsługi naziemnej oraz statek powietrzny, a zdarzenie miało miejsce w rejonie skrzyżowania drogi kołowania i drogi serwisowej.

Część drugą rozprawy doktorskiej stanowią rozdziały 4 i 5, w których Doktorantka przedstawiła syntetyczny opis metod i modeli do analiz ryzyka najczęściej wykorzystywanych w lotnictwie oraz zaproponowała narzędzia do analizy i oceny ryzyka operacji obsługi naziemnej.

W rozdziale 4 (*Podział metod do analiz ryzyka*) Autorka dokonała przeglądu metod i modeli dotyczących różnych aspektów zarządzania ryzykiem w ruchu lotniczym. Podkreśliła, że inżynieria bezpieczeństwa w lotnictwie dopracowała się wielu metod analiz ryzyka, które można klasyfikować na wiele sposobów, w zależności od zapotrzebowania. Doktorantka wskazała, że ze względu na precyzję analizy rozróżnia się metody ilościowe, jakościowe, bądź ich połączenie, czyli ilościowo-jakościowe. Metody ilościowe są określane jako precyzyjne, w których stosowany jest rachunek prawdopodobieństwa. W metodach jakościowych określany jest ciąg zależności przyczynowo - skutkowych, co pozwala następnie na wskazanie zaleceń prewencyjnych.

W rozdziale 5 (*Metody i narzędzia analizy*) Doktorantka szczegółowo omówiła zaproponowane narzędzia analizy i metody do oceny ryzyka przekształcenia się badanego incydentu w wypadek. Opracowana przez Autorkę koncepcja analizy wypadku w ruchu lotniskowym obejmuje trzy etapy. Etap pierwszy to wybór incydentu oraz stworzenie jego modelu, który pozwala na traktowanie go jako reprezentanta pewnej klasy zdarzeń. Etap drugi, najbardziej rozbudowany fragment analizy, to określenie prawdopodobieństwa przekształcenia się incydentu w wypadek. W tym celu Doktorantka proponuje dwie metody oceny prawdopodobieństwa, tj.: (a) z wykorzystaniem rozmytych metod uzupełnionych o elementy analizy symulacyjnej oraz (b) w pełni symulacyjną, zrealizowaną w technice wieloagentowej. Dzięki temu możliwe było wzajemne zweryfikowanie metod. W pierwszej metodzie (a) do oszacowania prawdopodobieństw przesłanek do zaistnienia wypadku Autorka zaproponowała metodę drzew zdarzeń z rozmytymi prawdopodobieństwami, w której błędy ludzkie są szacowane za pomocą logiki rozmytej, a prawdopodobieństwa cząstkowe symulacyjnie. W metodzie drugiej (b) wykorzystano podejście w pełni symulacyjne, opierające się na ilościowym oszacowaniu prawdopodobieństwa wypadku przy założeniu, że analizowany system charakteryzuje się strukturą agentową. W ramach pracy Autorka zbadała na ile ta struktura może być zaimplementowana jako kolorowana sieć Petriego. Etap trzeci to ocena

ryzyka przekształcenia się badanego incydentu w wypadek, co stanowi zasadniczy cel pracy doktorskiej.

W podrozdziale 5.2 Doktorantka zbudowała model konfliktu w ruchu lotniskowym z wykorzystaniem podejścia FRAM (Functional Resonance Analysis Method), który pozwolił zrozumieć tryb normalnej pracy systemu i odchylenia od tego trybu, co było pomocne przy wyznaczaniu niepożądanych scenariuszy kolizyjnych w ramach rozmytej oceny prawdopodobieństwa.

W podrozdziale 5.3 Autorka przedstawiła opracowany przez siebie algorytm rozmytej oceny prawdopodobieństwa przekształcenia się wybranego typu incydentu w wypadek, który składa się z siedmiu kroków. W kroku pierwszym określany jest incydent, dla którego formułuje się założenia, co pozwoli na traktowanie go jako reprezentanta klasy zdarzeń. W kroku drugim wyznacza się czynniki sprzyjające przekształceniu się badanego incydentu w wypadek. W kroku trzecim należy zbudować model klasy incydentów oraz zidentyfikować takie kombinacje odchylenia od normalnej pracy systemu, które mogą doprowadzić do wypadku lotniczego. Krok czwarty to budowa drzew zdarzeń. Następnie, w kroku piątym możliwe jest wyznaczenie scenariuszy kolizyjnych oraz końcowego wzoru na prawdopodobieństwo wypadku. W kroku szóstym szacowane są prawdopodobieństwa przesłanek, natomiast w kroku siódmym wyznacza się końcowe prawdopodobieństwo przekształcenia incydentu w wypadek. Doktorantka podkreśliła, że w ramach rozmytej oceny prawdopodobieństwa przekształcenia się incydentu w wypadek opracowane zostało narzędzie komputerowe składające się z trzech modułów. Pierwszy z nich to system wnioskowania rozmytego, stworzony jako część projektu SimAirHandling (Innowacyjny mobilny symulator szkoleniowy dla operatorów obsługi naziemnej), zrealizowanego na Wydziale Transportu Politechniki Warszawskiej pod kierownictwem promotora. Drugi moduł służy do symulacyjnego wyznaczania prawdopodobieństwa nieskutecznego hamowania pojazdów, zaś trzeci do wyznaczania rozmytego prawdopodobieństwa przekształcenia się klasy incydentów w wypadek.

W podrozdziale 5.4 Doktorantka omówiła zaproponowaną do weryfikacji rozmytej oceny prawdopodobieństwa wypadku symulacyjną ocenę prawdopodobieństwa wypadku z wykorzystaniem podejścia agentowego. Podejście agentowe pozwala na uchwycenie zależności złożonych systemów oraz umożliwia tworzenie modeli symulacyjnych wspierających podejmowanie decyzji przez agentów. Przedmiotowa koncepcja składa się z trzech kroków. Krok pierwszy to budowa struktur agentowych, krok drugi to implementacja struktur agentowych do modelu agentowego w narzędziu CPN (Coloured Petri Nets), natomiast w kroku trzecim możliwe jest symulacyjne oszacowanie prawdopodobieństwa wypadku.

W podrozdziale 5.5 Autorka skomentowała ocenę ryzyka wypadku. Zaznaczyła, że do oceny ryzyka konieczne jest wyznaczenie dotkliwości konsekwencji zdarzenia niebezpiecznego. Można ją oszacować na podstawie skutków będących wynikiem określonej kombinacji reakcji uczestników tego zdarzenia. Znając prawdopodobieństwo przekształcenia się incydentu w wypadek oraz dotkliwość konsekwencji można określić, jakie jest ryzyko tego zdarzenia. Ponadto zaznaczyła, że do oceny ryzyka wypadku opracowano narzędzie komputerowe MIRA (Minor Incident Risk Assessment) w środowisku programistycznym MATLAB, wynikiem którego jest ocena ryzyka w postaci liczbowej. Ogólna koncepcja analizy ryzyka wypadku w ruchu lotniskowym powstałego w wyniku kontynuacji incydentu składa się z czterech kroków. Krok pierwszy obejmuje określenie możliwych działań uczestników zdarzenia w zależności od różnych czynników z zastosowaniem modelu opartego o technikę wnioskowania rozmytego. Krok drugi to określenie konsekwencji działań i ich dotkliwości z wykorzystaniem lokalnego modelu wnioskowania. Krok trzeci obejmuje oszacowanie ryzyka na podstawie wyznaczonych prawdopodobieństw i dotkliwości skutków wypadku, natomiast krok czwarty to ocena ryzyka wypadku z wykorzystaniem rozmytej macierzy ryzyka.

Część trzecią rozprawy doktorskiej stanowią rozdziały 6, 7, 8 i 9, w których Doktorantka przedstawiła implementację rozmytej i symulacyjnej oceny prawdopodobieństwa przekształcenia się incydentu w wypadek, końcową ocenę ryzyka dopuszczenia operatora GSE do określonego zadania z wykorzystaniem rozmytej macierzy ryzyka oraz zastosowanie modułów programowych realizujących zasadnicze fragmenty obliczeń opracowanych metod.

W rozdziale 6 (*Implementacja rozmytej oceny prawdopodobieństwa przekształcenia się incydentu w wypadek*) Autorka zbadała rzeczywisty przypadek incydentu lotniczego o nr 1099/2015, który miał miejsce w Porcie Lotniczym Warszawa-Okęcie im. Fryderyka Chopina w dniu 22 czerwca 2015 roku. Jest to klasyczny przykład incydentu, w którym nie było żadnych strat, który jednak przy niekorzystnym rozwoju sytuacji, a w szczególności przy słabszej świadomości sytuacyjnej uczestników zdarzenia, mógłby przekształcić się w wypadek lotniczy o bardzo dotkliwych konsekwencjach. W incydencie brały udział cysterna obsługi naziemnej (TT) oraz statek powietrzny typu Embraer 170 (EMB). W raporcie sporządzonym i opublikowanym przez Państwową Komisję Badania Wypadków Lotniczych stwierdzono, że przyczyną zdarzenia było niezachowanie należytej ostrożności przez kierowcę cysterny oraz nieustąpienie pierwszeństwa kołującemu statkowi powietrznemu. Doktorantka przeprowadziła rozmytą ocenę prawdopodobieństwa przekształcenia się wybranego incydentu w wypadek, z wykorzystaniem opracowanego przez siebie algorytmu, który przedstawiła w podrozdziale 5.3. Uzyskana wartość rozmytego prawdopodobieństwa przekształcenia się incydentu w wypadek wyniosła: $P_0 = 3.3 \cdot 10^{-3}$. Następnie Autorka dokonała weryfikacji rozmytej oceny prawdopodobieństwa, realizując to na dwa sposoby. Po pierwsze, otrzymany wynik porównała z oszacowaną wartością prawdopodobieństwa przekształcenia się incydentu w ruch lotniskowy w wypadek, przedstawioną w cytowanej w rozprawie doktorskiej pozycji bibliografii (Kozłowski i in., 2019), gdzie końcowe prawdopodobieństwo wyniosło $3.4 \cdot 10^{-3}$. Na tej podstawie można stwierdzić wysoką zgodność prezentowanych wyników oraz wnioskować o poprawności metody. Drugim sposobem weryfikacji była symulacyjna analiza zdarzenia, w której Doktorantka wykorzystała podejście agentowe zaimplementowane w postaci kolorowych sieci Petriego. Uzyskany wynik oceny przedstawiła w rozdziale 7 swojej pracy. W ramach rozmytej oceny prawdopodobieństwa przekształcenia się incydentu w wypadek Autorka przeprowadziła cztery eksperymenty badawcze. Eksperyment pierwszy obejmował badanie wpływu złych warunków meteorologicznych, które powodują wprowadzenie procedur ograniczonej widzialności LVP (Low Visibility Procedures), na powstanie wypadku w ruchu lotniskowym. Eksperyment drugi dotyczył sprawdzenia zależności prawdopodobieństwa przekształcenia się incydentu w wypadek od poziomu wyszkolenia operatora cysterny, eksperyment trzeci polegał na zbadaniu zależności prawdopodobieństwa wypadku od czynników ruchowych. Natomiast w eksperymencie czwartym Autorka oceniła wpływ parametrów hamowania pojazdów na prawdopodobieństwo wypadku, uwzględniając stan nawierzchni i różne techniki hamowania. Rozdział został podsumowany przez Doktorantkę szczegółową dyskusją uzyskanych wyników w wariancie podstawowym oraz w wyżej opisanych eksperymentach.

W rozdziale 7 (*Implementacja symulacyjnej oceny prawdopodobieństwa wypadku z wykorzystaniem podejścia agentowego*) Autorka przedstawiła wieloagentowy model ruchu lotniskowego oraz interakcje pomiędzy tymi agentami we wspólnym środowisku, który następnie posłużył do oceny prawdopodobieństwa przekształcenia się incydentu w wypadek. Doktorantka zaprezentowała przykład praktycznego wykorzystania metody zaproponowanej w podrozdziale 5.4 do symulacyjno-agentowego określania prawdopodobieństwa wypadku dla klasy incydentów w ruchu lotniskowym, w której uczestniczy kołujący statek powietrzny i pojazd obsługi naziemnej GSE poruszający się po kolizyjnym torze drogi serwisowej. W ramach pracy zbudowała strukturę programową modelu, którą następnie zaimplementowała

jako kolorowaną sieć Petriego. Poprzez symulację wielu przebiegów (10^7) wyznaczyła końcowe prawdopodobieństwo wypadku, które potwierdziło poprawność metody do rozmytej oceny prawdopodobieństwa wypadku. Autorka podsumowała rozdział szczegółową dyskusją uzyskanych wyników oraz wynikającymi z nich wnioskami, a także wskazała kierunki rozszerzenia prac.

W rozdziale 8 (*Ocena ryzyka operacji obsługi naziemnej z wykorzystaniem rozmytej macierzy ryzyka*) Doktorantka zaprezentowała metodę oraz przykład jej wykorzystania do ilościowej oceny ryzyka wypadku w wyniku niekorzystnego rozwoju sytuacji dla klasy incydentów, w której uczestniczy kołujący statek powietrzny i pojazd obsługi naziemnej GSE poruszający się po kolizyjnym torze drogi serwisowej. Analiza ilościowa została wykonana z wykorzystaniem rozmytych prawdopodobieństw określonych przez Autorkę w rozdziale 6. Do oceny możliwych działań uczestników zdarzenia oraz dotkliwości skutków wykorzystano systemy wnioskowania rozmytego, zaś do końcowej oceny ryzyka wypadku, a tym samym ryzyka dopuszczenia operatora GSE do określonego zadania, rozmytą macierz ryzyka. Na podstawie uzyskanych wyników Doktorantka stwierdziła, że wyszkolenie pracownika GSE ma ogromny wpływ na ryzyko wypadku w ruchu lotniskowym. Szczególną rolę wyszkolenie odgrywa w sytuacji, gdy warunki zewnętrzne, takie jak stan nawierzchni lotniskowych, drogowych czy widoczność są niesprzyjające. W celu wykonania weryfikacji oceny ryzyka uzyskany przez Autorkę wynik został porównany ze standardową macierzą ryzyka, zgodną z zaleceniami ICAO (International Civil Aviation Organization). W podsumowaniu rozdziału szczegółową dyskusją uzyskanych wyników i wniosków Doktorantka stwierdziła, że standardowa macierz tolerancji ryzyka ICAO, wykorzystująca tylko trzy oceny (poziomy) ryzyka, tj.: akceptowalne, tolerowalne i nietolerowalne, jest niewystarczająca, gdyż pojęcia te pokrywają duże obszary skali, w których faktyczne różnice są duże.

W rozdziale 9 (*Implementacja komputerowa*) Doktorantka przedstawiła stworzone trzy, odrębne moduły programowe realizujące zasadnicze fragmenty obliczeń opracowanych metod. Są to moduły: SYT KOL do symulacyjnego wyznaczania prawdopodobieństwa nieskutecznego hamowania pojazdów, ETFP do wyznaczania rozmytego prawdopodobieństwa przekształcenia się klasy incydentów w wypadek oraz MIRA do oceny ryzyka z wykorzystaniem rozmytej macierzy ryzyka. Wszystkie opracowane moduły wykorzystują model rozmyty typu Mamdaniego, implikacja jest realizowana za pomocą funkcji *minimum*, agregacja za pomocą funkcji *maksimum*, zaś defuzyfikacja z wykorzystaniem funkcji *środk* ciężkości.

W rozdziale 10 (*Podsumowanie badań i wnioski końcowe*) Autorka dysertacji zaprezentowała w zwartej formie najważniejsze osiągnięcia i spostrzeżenia po zrealizowaniu zaplanowanego procesu badawczego, który dotyczył opracowania metodyki oceny ryzyka operacji obsługi naziemnej z wykorzystaniem sprzętu lotniskowego, ze szczególnym uwzględnieniem poziomu wyszkolenia operatora GSE i ryzyka dopuszczenia go do określonego zadania. Doktorantka wykazała, że niepewność stanowi poważny problem w procesie oceny ryzyka, dlatego w swojej pracy zaproponowała rozmyte metody do oceny prawdopodobieństwa i ryzyka wypadku. Ocenę ryzyka przeprowadziła na podstawie wybranego incydentu w ruchu lotniskowym. Po zrealizowaniu przyjętego planu badań zaproponowała realne działania, których wdrożenie może ograniczyć ryzyko wypadku w ruchu lotniskowym. Wykonane przez Autorkę analizy skupiały się w głównej mierze na wpływie poziomu wyszkolenia pracowników obsługi naziemnej na ryzyko wypadku. Reasumując, Doktorantka podkreśliła możliwość zastosowania zaproponowanej metody w procesie zarządzania personelem agentów handlingowych.

Bibliografia obejmuje dość liczny zbiór 159 pozycji literaturowych, z których większość jest opracowana w języku angielskim. Z analizy pozycji przedstawionych w bibliografii wynika, że Doktorantka jest współautorem trzech prac (w języku angielskim) cytowanych

w rozprawie. Mając powyższe na uwadze, a także wykonany przegląd stanu wiedzy w rozdziale 2 stwierdzam, że Autorka dysertacji zapoznała się z większością dostępnych pozycji literatury z zakresu tematyki pracy doktorskiej i wykazała się dobrą znajomością omawianych zagadnień.

Podsumowując uważam, że układ przedstawionej do oceny rozprawy doktorskiej jest poprawny. Stanowi ona cenne opracowanie naukowe obejmujące postawiony cel, wyniki badań, ich analizę i podsumowanie. Kolejność prezentowanych treści nie budzi zastrzeżeń, a objętość rozdziałów jest odpowiednia w stosunku do wagi poruszanych problemów. Należy podkreślić, że w pracy zabrakło wyraźnie zaznaczonych i poddanych szerszej dyskusji krótkich podsumowań istniejących jako oddzielny podrozdział, podpunkt lub obszerniejszy akapit na koniec każdego z rozdziałów. O wiele bardziej poprawiłoby to odbiór pracy z punktu widzenia osiągniętych efektów lub zaobserwowanych niedostatków wiedzy lub uzyskanych rezultatów badań. Szczególnie by było to trafne w części teoretycznej, gdzie powinno się znajdować uzasadnienie późniejszych zrealizowanych badań i analiz. Jedynie rozdziały: 6, 7 i 8, w których Doktorantka przedstawiła implementację rozmytej i symulacyjnej oceny prawdopodobieństwa przekształcenia się incydentu w wypadek oraz końcową ocenę ryzyka dopuszczenia operatora GSE do określonego zadania z wykorzystaniem rozmytej macierzy ryzyka, realizują w pełni zaproponowaną formę podsumowania.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

3.1. Tytuł rozprawy i aktualność tematu

Tytuł rozprawy został dobrany adekwatnie i odpowiada treściom zaprezentowanym w rozdziałach pracy. Tematyka pracy doktorskiej jest aktualna i odnosi się do bardzo istotnego problemu bezpieczeństwa w ruchu lotniczym. Wszystkie narzędzia i metody badawcze oraz analityczne skutecznie i konsekwentnie pozwoliły Autorce na osiągnięcie założonego celu i weryfikację tezy pracy.

3.2. Program oraz zakres wykonanych badań i ich analiz

Zapewnienie bezpieczeństwa w transporcie lotniczym wymaga prowadzenia ciągłego procesu zarządzania ryzykiem, w celu utrzymywania go na akceptowalnym poziomie. W związku z tym, problematyka podjęta przez Doktorantkę w rozprawie doktorskiej jest bardzo ważna i aktualna. Autorka dokonała szczegółowej oceny ryzyka operacji obsługi naziemnej wykonywanej z wykorzystaniem sprzętu lotniskowego GSE, ze szczególnym uwzględnieniem poziomu wyszkolenia operatora GSE i ryzyka dopuszczenia go do pracy.

W pracy doktorskiej o programie i zakresie badań jest mowa w podrozdziałach: 1.1 (*Zakres badań*), 1.3 (*Koncepcja pracy*) oraz 5.1 (*Schemat i metodyka badań*). Generalnie można stwierdzić, że praca składa się z trzech głównych części. Część pierwsza (rozdziały 1, 2 i 3) zawiera ogólne informacje na temat incydentów w ruchu lotniskowym, w których udział mają statki powietrzne oraz sprzęt do obsługi naziemnej GSE. Część druga rozprawy doktorskiej (rozdziały 4 i 5) to opis najczęściej wykorzystywanych w lotnictwie metod i modeli do analiz i oceny ryzyka. Natomiast część trzecia (rozdziały 6, 7, 8 i 9) to implementacja rozmytej i symulacyjnej oceny prawdopodobieństwa przekształcenia się incydentu w wypadek oraz końcowa ocena ryzyka dopuszczenia operatora GSE do określonego zadania z wykorzystaniem rozmytej macierzy ryzyka. Jest to zasadnicza i kluczowa część rozprawy doktorskiej.

Tak przyjętą koncepcję pracy, opracowany i zrealizowany program badań oraz wykonane analizy oceniam pozytywnie, gdyż doprowadziło to do osiągnięcia założonego celu badawczego rozprawy doktorskiej.

3.3. Teza i cel pracy

Tezę pracy zapisano w rozprawie w następującym brzmieniu:

„Wykonanie oceny ryzyka związanego z wykorzystaniem sprzętu GSE w operacjach obsługi naziemnej statków powietrznych, pasażerów i bagażu wymaga opracowania metodyki umożliwiającej ilościową analizę prawdopodobieństwa przekształcenia się incydentu w wypadek”.

Podany zapis tezy można uznać za właściwy z punktu widzenia treści zawartych w rozprawie doktorskiej. Jej słuszność została udowodniona w pracy poprzez dobrze zaprojektowany program oraz zakres badań.

Celem rozprawy doktorskiej było stworzenie metody do oceny ryzyka wypadku w ruchu lotniskowym. Aby rozwiązać problem badawczy i osiągnąć sformułowany cel pracy, Doktorantka zaproponowała metody ilościowej oceny możliwości przekształcenia się incydentu w wypadek lotniczy w sytuacji zachodzenia dodatkowych przesłanek i czynników sprzyjających. Ze względu na konieczność uwzględnienia wielu parametrów subiektywnych, głównie związanych z zachowaniem człowieka w złożonym systemie, w pracy wykorzystane zostały systemy wnioskowania rozmytego. Autorka zbudowała system ekspercki o strukturze hierarchicznej do oceny ryzyka przekształcenia się wybranego incydentu w wypadek. Poprzez analizę wrażliwości określiła graniczne wartości poziomu wyszkolenia operatora GSE, dla których ryzyko wykonania operacji obsługowej jest na tolerowalnym poziomie w zależności od różnych warunków zewnętrznych. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdziła, że wyszkolenie operatora sprzętu GSE odgrywa szczególną rolę w sytuacji, gdy warunki otoczenia, takie jak stan nawierzchni czy widoczność są niesprzyjające.

Przedstawione wyniki badań i przeprowadzone analizy pozwalają stwierdzić, że Autorka udowodniła postawioną tezę, a założony cel pracy został osiągnięty.

3.4. Najważniejsze osiągnięcia naukowe i ocena kierunków dalszych badań

Do najważniejszych osiągnięć rozprawy z naukowego punktu widzenia należy zaliczyć:

- opracowanie metodyki umożliwiającej ilościową analizę prawdopodobieństwa przekształcenia się incydentu w wypadek,
- stworzenie algorytmu rozmytej oceny prawdopodobieństwa przekształcenia się wybranego typu incydentu w wypadek,
- zastosowanie symulacyjnej oceny prawdopodobieństwa wypadku z wykorzystaniem podejścia agentowego do weryfikacji rozmytej oceny prawdopodobieństwa wypadku,
- zaproponowanie metodyki oceny ryzyka operacji obsługi naziemnej z wykorzystaniem rozmytej macierzy ryzyka,
- opracowanie praktycznych narzędzi w postaci modułów programowych realizujących zasadnicze fragmenty obliczeń opracowanych metod z wykorzystaniem modelu rozmytego typu Mamdaniego.

Doktorantka sformułowała kierunki dalszych badań, które obejmują:

- wyznaczenie dokładnego położenia pojazdów biorących udział w badanych przypadkach przekształcenia się incydentu w wypadek, w celu jednoznacznego potwierdzenia możliwości ich kolizji,
- określenie zakresu zmian do instrukcji operacyjnych lotnisk, które przyczynią się do ograniczenia ryzyka wypadku,
- rozszerzenie standardowej macierzy tolerancji ryzyka określonej przez ICAO do stosowania w lotnictwie.

Przeprowadzona przez Autorkę dysertacji analiza potwierdziła, że niewystarczające wydaje się określanie tolerancji ryzyka za pomocą trzech wartości, tj.: *akceptowalne*, *tolerowalne* i *nietolerowalne*, gdyż nie pozwalają one różnicować ryzyka dla szerokiego spektrum zdarzeń, a tym samym wspomagać podejmowanie odpowiednich działań zapobiegawczych. Wskazane byłoby zatem uszczegółowienie ocen poprzez dodanie takich jak: *częściowo tolerowalne* czy *częściowo akceptowalne*. Są to bardzo ciekawe kierunki dalszych badań nastawione na wysoką aplikowalność.

3.5. Uwagi szczegółowe

3.5.1. Uwagi redakcyjne

Strukturę pracy należy uznać za właściwą. Część teoretyczna stanowi około 30% całości rozprawy, natomiast badawcza około 70%. Taki układ wydaje się być racjonalny w tego typu pracach. Praca została zredagowana poprawnie, napisana językiem technicznym, z niewielką liczbą uwag edytorskich i językowych. Błędy redakcyjne miały znikomy wpływ na ogólny ogląd pracy. Kilka z nich podano poniżej:

- str. 32, wiersz 27 – zdanie zapisane językiem potocznym, niepoprawnie pod względem stylistycznym: „prowadzenie statku powietrznego na ziemi po lądowaniu i przed startem”,
- str. 39, Rysunek 3 – opis osi pionowej wykresu powinien mieć zapis „Liczba zdarzeń”,
- str. 55, wiersz 5 – zapis skrótu HEP powinien być w postaci „Human Error Probability”,
- str. 79, wiersz 4 – w zdaniu: „Ze względu pewną ...” brakuje przyimka „na”,
- str. 92, wzór 16 powinien być wyjustowany, tak jak zapisane powyżej formuły,
- str. 99, Rysunek 15 – opis podanego parametru F_r^{TT} – opór toczenia *EMB* powinien mieć zapis „ F_r^{EMB} ”,
- str. 100, opis wzoru 18, w którym zapisano: g – przyspieszenie ziemne – powinno być „przyspieszenie ziemskie”,
- str. 129, Rysunek 29 – nieczytelny i podwójny zapis wartości w prezentowanej relacji od Brk do $aEMB$,
- str. 132, Rysunek 34 – nad rysunkiem umieszczono opis wykresu „Zależność prędkości od drogi” – powinien zostać usunięty, gdyż znajduje się także pod Rysunkiem 34,
- str. 144, wiersz 1 – zapis „Tabela 20” powinien zostać przeniesiony na stronę 143,
- str. 173 – Wykaz tabel zawiera spis rysunków, który umieszczono wcześniej na stronach 170-172, najprawdopodobniej nastąpiło to przez pomyłkę Autorki,
- w pracy zauważono stosunkowo dużo błędów interpunkcyjnych.

Część graficzna pracy jest estetyczna, rysunki wykonane ze starannością, w sposób czytelny i przejrzysty. Układ pracy doktorskiej w całej swojej treści przywołuje tylko określenia: rozdział, rozdziały, choć w mojej opinii można było zastosować także sformułowania: podrozdział czy podrozdziały.

3.5.2. Uwagi merytoryczne

1. W rozdziale 3, podrozdziale 3.1 Autorka szczegółowo omówiła elementy ruchu lotniskowego, w tym pole naziemnego ruchu lotniczego i pole manewrowe. Z treści wynika, że płyty postoju samolotów nie są zaliczane do pola manewrowego. Na podstawie doświadczenia zdobytego podczas wykonywania badań eksploatacyjnych nawierzchni lotniskowych w portach lotniczych mogę stwierdzić, że praktyka jest różnorodna. Stąd też nasuwa się pytanie: Jak definiują, regulują tę kwestię przepisy międzynarodowych i krajowych organizacji lotniczych? Proszę o komentarz.

2. W rozdziale 7, podrozdziale 7.1.1 na stronie 121, na Rysunku 18 przedstawiającym schemat agenta kierowca cysterny Doktorantka dwukrotnie przedstawiła moduł czynności: Rozpoczęcie hamowania ($\Delta t_2^{TT}; a^{TT} < 0$). Czy zatem podany układ schematu agenta jest właściwy? Proszę o komentarz.
3. W rozdziale 7, podrozdziale 7.1.1 na stronie 123, na Rysunku 20 przedstawiającym schemat agenta załoga EMB Autorka także dwukrotnie przedstawiła moduł czynności: Rozpoczęcie hamowania ($\Delta t_2^{EMB}; a^{EMB} < 0$), przy czym w jednym z nich parametry są sformułowane inaczej, tj.: ($\Delta t_2^{EMB}; a^{TT} < 0$). W związku z tym, czy zaprezentowany układ schematu agenta załoga EMB jest właściwy? Proszę o komentarz.
4. Czy Doktorantka rozważała zastosowanie innych typów funkcji przynależności zbioru rozmytego w swojej pracy, np. funkcję trójkątną czy Gaussowską? Proszę o odpowiedź.
5. W rozdziale 8, podrozdziale 8.1.1 na stronie 139 w wierszu 4, 5 i 6 pod Rysunkiem 40 Autorka zapisała następujące zdanie: „Formularz ten został wypełniony przez doświadczonych pracowników obsługi naziemnej oraz ekspertów z dziedziny budowy, eksploatacji i utrzymania dróg.” Moim zdaniem, w dalszych pracach badawczych lepszym rozwiązaniem będzie skorzystanie z doświadczeń ekspertów z dziedziny budowy, eksploatacji i utrzymania nawierzchni lotniskowych, a nie drogowych.

Powyższe uwagi mają charakter dyskusyjny i nie zmniejszają merytorycznej wartości pracy, którą uważam za wysoką.

4. Podsumowanie

Przedłożoną do recenzji rozprawę doktorską oceniam pozytywnie. Dotyczy to zarówno jej strony naukowej, jak i formalnej. Obie nie wzbudzają większych wątpliwości. Na szczególną uwagę zasługuje duży nakład pracy Autorki podczas wykonania wielu pracochłonnych badań i analiz. Praca doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego dotyczącego dyscypliny inżyniera lądowa i transport. Doktorantka potwierdziła znajomość wiedzy teoretycznej w zakresie dyscypliny naukowej oraz przygotowanie do samodzielnego wykonywania prac naukowych, analizy wyników i formułowania wniosków. Wskazane niedociągnięcia redakcyjne i nieścisłości w zapisach nie obniżają w istotny sposób pracy doktorskiej z merytorycznego punktu widzenia.

Uwzględniając zapisy Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2017 r. poz. 1789) oraz Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 22 września 2011 r. w sprawie szczegółowego trybu prowadzenia czynności w przewodach doktorskich oraz w postępowaniu o nadanie tytułu (Dz.U. Nr 204 poz. 1200) stwierdzam, że sformułowana teza pracy została udowodniona, a cel osiągnięty.

W związku z powyższym, przedkładałam Radzie Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Warszawskiej wniosek o dopuszczenie do publicznej obrony rozprawy doktorskiej pt.: „*Ocena ryzyka operacji obsługi naziemnej z wykorzystaniem sprzętu lotniskowego*”, przygotowanej przez mgr inż. Paulinę Chikha.

.....
Mariusz Wesolowski

Dr hab. inż. Mariusz Wesolowski