

Prof. dr hab. inż. Józef Żurek  
Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych  
ul. Księcia Bolesława 6  
01-494 Warszawa

Warszawa dn. 05. 09. 2022.

Recenzja rozprawy doktorskiej  
**mgr inż. Agnieszki Sołtysiak**  
**pt. Metoda oceny ryzyka wystąpienia zdarzeń niepożądanych**  
**w systemie eksploatacji środków transportu**

Podstawą wykonania recenzji jest pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna, Pana prof. Dariusza Borońskiego z dn. 7.06. 2022. Promotorem pracy jest dr hab. inż. Klaudiusz Migawa prof. Politechniki Bydgoskiej.

### **Treść i zakres pracy**

Opiniowana rozprawa doktorska zawiera 175 stron. Składa się ze spisu treści, 7 ponumerowanych rozdziałów i wykazu literatury. Praca dotyczy analizy procesu eksploatacji oraz oceny ryzyka wystąpienia zdarzeń niepożądanych w systemie eksploatacji autobusów miejskich realizujących przewóz pasażerów na terenie wybranej aglomeracji miejskiej.

W rozdziale pierwszym Autorka przedstawiła zarys problemu transportu publicznego w realizacji przewozów pasażerskich w aglomeracjach miejskich w aspekcie bezpieczeństwa i terminowości przewozów oraz racjonalnej eksploatacji technicznych środków transportu. Omówiła zagadnienia sterowania procesem eksploatacji oraz wpływ znajomości stanu technicznego i ryzyka osiągnięcia stanów niepożądanych na możliwość sterowania. Określiła również cel i zakres pracy deklarując identyfikację procesu eksploatacji realizowanego przez wybrany obiekt badań, a także opracowanie metody oceny ryzyka wystąpienia zdarzeń niepożądanych w systemie eksploatacji środków transportu.

Rozdział drugi zawiera teoretyczne podstawy dotyczące rozpatrywanego problemu, a w tym zagadnienia ryzyka, stosowane definicje i klasyfikację zdarzeń niepożądanych. Przytaczając wybrane pozycje literatury Doktorantka określiła różnice i związki między pojęciami ryzyko niepewność oraz niezawodność w ocenie i sterowaniu poziomem bezpieczeństwa transportu. Dane o uszkodzeniach stanowią wiarygodne źródło informacji o stanie obiektu, zdarzeniach eksploatacyjnych i relacjach między nimi. Zamieściła tabelę zawierającą klasyfikację uszkodzeń według różnych kryteriów oraz koszty wystąpienia zdarzeń niepożądanych. Przytoczyła definicję ryzyka jako iloczynu prawdopodobieństwa wystąpienia

niepożądanego zdarzenia i miar jego skutków. Podała metody stosowane w ocenie ryzyka i wymieniła elementy programu zarządzania ryzykiem. Przedstawiła schemat ideowy procesu identyfikacji zagrożeń oraz schemat i graficzne kryterium wartościowania ryzyka dla przyjętych poziomów tolerancji. Podała przykładową macierz ryzyka oraz działania umożliwiające sterowanie ryzykiem. Umieściła w odpowiedniej tabeli narzędzia i metody stosowane w ocenie ryzyka, a także czynniki wpływające na prawdopodobieństwo wystąpienia szkody. W dalszej części rozdziału Autorka opisała problemy dotyczące oceny efektywności funkcjonowania złożonych systemów technicznych oraz zagadnienia związane z prawidłową organizacją i sterowaniem procesami eksploatacji obiektów technicznych. Stwierdziła, że efektywność funkcjonowania systemu i skuteczność działania, charakteryzowana jest przez stopień realizacji celów. Wymieniła cele eksploatacyjne i omówiła zagadnienie modelowania procesów eksploatacji. Przedstawiła uproszczony schemat klasyfikacji modeli i schemat algorytmu budowy modeli matematycznych procesów eksploatacji obiektów technicznych. Przytoczyła przykładowe problemy optymalizacji dotyczące obiektu technicznego i systemu eksploatacji, a w tym mierniki oceny efektywności funkcjonowania systemów eksploatacji obiektów technicznych odpowiednich do zastosowania teorii procesów semi-Markowa. Podała przykładowe modele rozwiązań optymalizacyjnych stosowanych w obszarze obiektów technicznych, w tym środków transportu.

W rozdziale trzecim Doktorantka przedstawiła Metodykę badań eksploatacyjnych, która opiera się na analizie problemu z wydzieleniem trzech płaszczyzn badawczych:

- płaszczyzny założeń i wymagań obejmujących: cel, zakres badań oraz analizę ograniczeń;
- płaszczyzny procesu eksploatacji rozpatrywanych obiektów technicznych;
- płaszczyzny obejmującej system, strukturę badań, jego program i plan badawczy.

Deklarowanym w pracy celem badań eksploatacyjnych jest pozyskanie danych z badanego systemu eksploatacji obiektów technicznych niezbędnych do analizy i oceny ryzyka wystąpienia zdarzeń niepożądanych oraz do racjonalnego zarządzania tym systemem. Rozpatrywanym w pracy system eksploatacji jest Zakład Autobusowy stanowiący jeden z podsystemów systemu transportu miejskiego o przedstawionej schematycznie strukturze organizacyjnej zakładu i zajezdni autobusowej oraz wyszczególnionymi parametrami technicznymi marek, a także typów autobusów. W programie badań Autorka dokonała dekompozycji systemu eksploatacji autobusów miejskich, przedstawiła model systemu eksploatacji środków transportu i przeprowadziła identyfikację procesu eksploatacji środków

transportu. W ramach identyfikacji procesu eksploatacji autobusów miejskich opisała główne składowe procesy, wyróżniła 21 stanów eksploatacyjnych oraz opracowała graf stanów procesu. Przeprowadziła analizę statystyczną wyników badań z materiałów źródłowych dotyczących 149 badanych autobusów miejskich w rocznym przedziale czasu. Wartości wybranych parametrów statystycznych czasów utrzymywania wyróżnionych stanów eksploatacyjnych zamieściła w odpowiednich tabelach. Dla każdego z wyróżnionych stanów zweryfikowała hipotezę zerową  $H_0$ , że empiryczny rozkład zmiennej losowej  $T_i$  oznaczającej czas trwania  $i$ -tego stanu procesu jest zgodny z następującymi rozkładami hipotetycznymi, takimi jak: wykładniczym, normalnym, gamma, Weibulla i logarytmiczno-normalnym. Do weryfikacji hipotezy zerowej  $H_0$  zastosowała test Kołmogorowa-Smirnowa. Do budowy matematycznego modelu badanego procesu eksploatacji środków transportu miejskiego zastosowała jednorodny proces semi-Markowa.

Rozdział czwarty Doktorantka przeznaczyła na podanie metody oceny ryzyka w wybranym systemie eksploatacji środków transportu. Zdefiniowała pojęcia takie jak: źródło zagrożenia, zagrożenie, zdarzenie niepożądane, szkoda. Do zdarzeń niepożądanych zaliczyła: uszkodzenie obiektu technicznego zaistniałe w trakcie realizacji zadania i kolizję lub wypadek obiektu technicznego, który zdarzył się w trakcie realizacji zadania. Przyjęta procedura postępowania w ocenie ryzyka wystąpienia zdarzeń niepożądanych zawiera, określenie celu, identyfikację zagrożeń, analizę zagrożeń, i szacowanie ryzyka według opracowanego algorytmu. Wybrany modelem rozpatrywanego procesu eksploatacji i szacowania ryzyka jest jednorodny proces semi-Markowa, w którym opracowano: rozkład początkowy procesu, rozkład stacjonarny włożonego w proces łańcucha Markowa i rozkład graniczny procesu semi-Markowa. W celu wyznaczenia ryzyka wystąpienia zdarzeń niepożądanych wytypowano zbiór stanów eksploatacyjnych, które wpływają na wartość tego ryzyka. Są to stany, w których dochodzi do zakłócenia prawidłowego funkcjonowania środków transportu oraz stany, w których generowane są straty będące konsekwencją tych zakłóceń.

Szacowanie ryzyka, Autorka przeprowadziła zgodnie z przyjętą definicją, w której ryzyko stanowi iloczyn prawdopodobieństwa wystąpienia niepożądanego zdarzenia i miar jego skutków. Wykorzystała wartości granicznych prawdopodobieństw przebywania w poszczególnych stanach procesu eksploatacji autobusów miejskich i wartości skutków odniesione do uśrednionego autobusu miejskiego w przeliczeniu na jednostkę czasu w [PLN/h]. Wyznaczyła i przeprowadziła analizę ryzyka dla pięciu rodzajów wystąpienia poszczególnych zdarzeń niepożądanych oraz ryzyka łącznego. Wyznaczone wartości ryzyka

związane z poszczególnymi zagrożeniami przypisała do odpowiednich kategorii akceptowalności i sporządziła wykres przedstawiający przedziały akceptowalności, tolerowalności i nieakceptowalności ryzyka.

W rozdziale piątym Autorka przedstawiła model sterowania procesem eksploatacji z wyborem najlepszych strategii sterowania badanym procesem przy uwzględnieniu dwóch kryteriów decyzyjnych – ryzyka oraz gotowości systemu technicznego do realizacji zadań przewozowych. Gotowość środka transportu wyznaczana jest jako suma prawdopodobieństw granicznych, utrzymywania stanów gotowości semimarkowskiego procesu eksploatacji, na podstawie danych uzyskanych z badań eksploatacyjnych. Zbudowany model decyzyjny został opracowany przy zastosowaniu procesów semi-Markowa, a wybór racjonalnych strategii sterowania realizowany jest za pomocą algorytmu symulowanego wyżarzania, dla którego zbiór rozwiązań optymalnych stanowi front Pareto. Wybór tej strategii dokonywany jest przez realizację trzech kroków: wybór strategii sterowania za pomocą algorytmu symulowanego, porównanie wartości funkcji kryterialnych wybranej strategii oraz akceptacja wyników należących do frontu Pareto przedstawiających zestawienie: ryzyko-gotowość.

Wyniki badań ryzyka wystąpienia zdarzeń niepożądanych w systemie eksploatacji zawiera rozdział szósty. Na podstawie informacji źródłowych oraz danych eksploatacyjnych pozyskanych z badań rozpatrywanego systemu eksploatacji, Autorka oszacowała wartości liczbowe parametrów wejściowych charakteryzujących rozpatrywany proces. Wyliczyła również pięć wartości ryzyka dla różnych zagrożeń oraz wartość łączną ryzyka dla badanego systemu eksploatacji i sklasyfikowała te wartości w wyznaczonych kategoriach ryzyka. Wyzaczyła gotowość do realizacji przydzielonych zadań przewozowych. Wytypowała zbiór możliwych rozwiązań problemu decyzyjnego. Spośród wskazanych możliwości wybiera się strategię o co najmniej tolerowalnej kategorii ryzyka oraz wymaganej gotowości do realizacji zadań przewozowych dla pojedynczego obiektu technicznego i systemu eksploatacji.

Rozdział siódmy zawiera podsumowanie pracy i wnioski, z których wynika, że analiza zagadnień związanych z ryzykiem stanowi aktualny problem badawczy i jest zasadna z praktycznego punktu widzenia. Cel rozprawy polegający na opracowaniu metody oceny ryzyka wystąpienia zdarzeń niepożądanych w systemie eksploatacji środków transportu i możliwości zastosowania do racjonalnego sterowania procesem eksploatacji przy zapewnieniu odpowiedniego poziomu gotowości użytkowanych obiektów technicznych, został

osiągnięty. Przewidywane dalsze prace badawcze mogą być poświęcone tematyce oceny ryzyka wystąpienia zdarzeń niepożądanych zawierające naprawy lub wymiany oraz przedsięwzięcia profilaktyczne i korekcyjne, a także poświęcone opracowaniu programu symulacji procesu eksploatacji różnej liczby badanych obiektów technicznych i różnego czasu przebywania w poszczególnych stanach procesu.

### **Ocena merytoryczna pracy**

Badania bezpieczeństwa w transporcie pozostają wciąż otwartymi problemami. Rozwijająca się dyscyplina naukowa, jaką jest bezpieczeństwo funkcjonowania systemów transportowych posiada wiele problemów do rozwiązania. Pojęcie bezpieczeństwa jest silnie związane z występowaniem niebezpiecznych i niepożądanych zdarzeń oraz z analizą ryzyka. Zagadnieniom analizy i oceny ryzyka poświęcono wiele prac ujmujących zagadnienie w sposób ogólny oraz szczegółowy. Rozprawa doktorska pani mgr. inż. Agnieszki Sołtysiak o wymienionym wyżej tytule zawiera nowe podejście do zagadnienia bezpieczeństwa, które łączy ryzyko wystąpienia zdarzeń niepożądanych z pewną miarą efektywności procesu eksploatacji jaką jest gotowość do realizacji zadań. Celem pracy było opracowanie metody oceny ryzyka wystąpienia zdarzeń niepożądanych w systemie eksploatacji środków transportu i weryfikacja możliwości jej zastosowania do racjonalnego sterowania procesem eksploatacji przy jednoczesnym zapewnieniu odpowiednio wysokiego poziomu gotowości użytkowanych obiektów technicznych. Słuszny pogląd Autorki dotyczący racjonalnego zarządzania eksploatacją środków transportu, w którym optymalizuje się dwie ilościowe miary procesu, to jest ryzyko występowania niechcianych zdarzeń generujących straty i gotowość rozpatrywanych obiektów do pracy przynosząca zyski. Pogląd ten zaowocował metodą wzbogacającą bazę wiedzy. Doktorantka wykorzystując dostęp do bazy danych zawierającej informacje eksploatacyjne podjęła badania dokonując szczegółowej morfologii procesu eksploatacji autobusów miejskich i opracowała model identyfikacyjny oraz metody analizy oraz oceny ryzyka.

Walorem pracy jest trafny wybór przedmiotu i obszaru badawczego jakim jest system komunikacji miejskiej oraz przyjęte założenie, że kluczową rolę w procesach decyzyjnych dotyczących eksploatacji obiektów technicznych odgrywają problemy optymalizacji, które mogą dotyczyć całego systemu eksploatacji jak i pojedynczego obiektu technicznego.

Wartość poznawczą przedłożonej pracy stanowi następujący plik zadań badawczych:

- identyfikacja obiektu badań i realizowanego w nim procesu eksploatacji oraz pozyskanie danych opisujących proces,

- budowa modelu i opis matematyczny rozpatrywanego procesu eksploatacji,
- opracowanie metody szacowania i oceny ryzyka wystąpienia zdarzeń niepożądanych w systemie eksploatacji środków transportu,
- analiza zagadnień związanych oceną efektywności i wybór istotnych czynników wpływających na efektywność w systemach eksploatacji środków transportu,
- przedstawienie propozycji zastosowania opracowanej metody do racjonalnego sterowania procesem eksploatacji z uwzględnieniem ryzyka wystąpienia zdarzeń niepożądanych oraz gotowości środków transportu do realizacji zadań przewozowych.

Etapy wyboru racjonalnych strategii sterowania procesem eksploatacji ze względu na przyjęte poziomy ryzyka wystąpienia zdarzeń niepożądanych oraz gotowości środków transportu Autorka przedstawiła w sposób graficzny na rysunkach, co podnosi walory edytorskie. Oryginalnym podejściem badawczym jest wykorzystanie teorii procesów półmarkowskich do oszacowania wartości ryzyka z uwzględnieniem dochodu uzyskiwanego w systemie eksploatacji obiektów technicznych. Dobrym sposobem prezentacji wyników jest opracowanie sposobu ewaluacji wyznaczonego ryzyka polegającego na przypisaniu jego wartości do jednej z trzech wytypowanych kategorii ryzyka: akceptowalnego, tolerowalnego i nieakceptowalnego. Doktorantka wykazała, że przy ilościowych oszacowaniach zbioru danych charakteryzujących przyczyny i skutki niepożądanych zdarzeń możliwe jest racjonalne zarządzanie bezpieczeństwem transportu miejskiego, co było głównym celem pracy.

W konkluzji można przedstawić wniosek, że opracowane i zweryfikowane aplikacje mogą posłużyć do oceny oraz porównywania systemów transportowych, a także korygowania decyzji eksploatacyjnych. Wykaz literatury zamieszczony w rozprawie jest dobrany odpowiednio do tematu i zakresu poruszanych problemów.

Przy ogólnej przejrzystości i poprawności językowej pracy oraz poprawnej metodzie modelowania procesu eksploatacji według teorii semi-Markowa, nasuwa się następująca uwaga.

W szczegółowo rozpisany na 21 stanów modelu procesu eksploatacji, dyskusyjny jest stan 19 - wymiana pojazdu po kolizji. Jest to stan pochłaniający z pełną odnową. Pełna odnowa uratowała model procesu czyniąc go stacjonarnym, nieprzywiedlnym. Jak należy rozumieć podany w tabeli 3.8 czas przebywania w stanie? Czy jest to czas między kolizjami? Czy czas pracy nowego obiektu? Jeżeli pozostałe dane są zebrane w horyzoncie rocznym to wyznaczone wartości procesu mogą być obarczone pewnym błędem. Zachodzi pytanie co byłoby obarczone mniejszym błędem: Przedstawiony w pracy model, czy model z pominięciem stanu 19.

## **Wniosek końcowy**

Doktorantka w przedłożonej pracy wykazała się ogólną wiedzą teoretyczną, bardzo dobrą znajomością problemów eksploatacji oraz doświadczeniem badawczym, posiada biegłość w formułowaniu i opisywaniu w języku matematyki procesu eksploatacji, co dobrze rokuje w przyszłej pracy naukowej. Autorka w końcowej części pracy doktorskiej zadeklarowała dalszą pracę w wielu innych zagadnieniach dotyczących oceny i sterowania ryzykiem.

**Opiniowaną rozprawę doktorską oceniam, jako bardzo dobrą spełniającą ustawowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Przedstawiam Szanownej Radzie Naukowej dyscypliny Inżynieria Mechaniczna wniosek o przyjęcie rozprawy jako podstawy do nadania stopnia naukowego doktora nauk technicznych zgodnie z Ustawą z dnia 14 marca 2003 o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki wraz z późniejszymi zmianami i dopuszczenie mgr. inż. Agnieszkę Sołtysiak do publicznej obrony.**

