

## **OPINIA O ROZPRAWIE DOKTORSKIEJ**

**mgr inż. Agnieszki Sołtysiak nt. „Metoda oceny ryzyka wystąpienia zdarzeń niepożądanych w systemie eksploatacji środków transportu” wykonana na zlecenie Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Bydgoskiej,  
prof. dr. hab. inż. Dariusza Borońskiego**

### **1. WPROWADZENIE**

Przedmiotem opinii jest rozprawa doktorska mgr inż. Agnieszki Sołtysiak nt. „Metoda oceny ryzyka wystąpienia zdarzeń niepożądanych w systemie eksploatacji środków transportu”, wykonana pod kierunkiem dr hab. inż. Klaudiusza Migawy, prof. uczelni z Politechniki Bydgoskiej im. J. J. Śniadeckich w Bydgoszczy.

Rozwój współczesnej motoryzacji w ostatnich latach spowodował ogromne nasilenie ruchu drogowego, zwłaszcza w dużych aglomeracjach. Dość powiedzieć, że liczba samochodów na świecie już w roku 2010 przekroczyła miliard przy, w tym czasie, ok. 7,2 mld ludności. A w nie tak jeszcze odległym roku 1970, liczba pojazdów w Polsce wynosiła około 0,5 miliona – zatem około 80 rodaków na 1 samochód. Dzisiaj na świecie około 7 osób przypada na jeden pojazd. Niestety zupełnie niewspółmierne do wzrostu liczby pojazdów są w kraju np. nakłady na rozwój infrastruktury drogowej.

Olbrzymia podaż samochodów powoduje, że koncerny samochodowe prześcigają się w zaspokajaniu oczekiwań kupujących samochody dla przyciągnięcia klienta, którzy wybierając model kierują się nie tylko ceną, marką i kolorem jak było dawniej, ale również mocą silnika, zużyciem paliwa czy komfortem jazdy. Niestety w oferowanym komforcie wyboru bardzo często nie dostrzega się wielu aspektów bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Od szeregu lat w Polsce dochodzi do ogromnej liczby wypadków. Statystyki stawiają nasz kraj na krańcach notowań europejskich. Szczególnie niepokojąco wyglądają te liczby w odniesieniu do wypadków z udziałem pieszych. W 2019 r. na polskich drogach doszło do 7 005 wypadków z udziałem pieszych. Pomimo, że w wartościach bezwzględnych w stosunku do r. 2018 nastąpił spadek liczby takich zdarzeń o 8 proc., to wypadki z pieszymi nadal stanowią 23 proc. wszystkich zdarzeń drogowych – podobnie jak w 2018 roku.

Pod względem przepisów regulujących stosunek kierowców i pieszych, znacznie odbiegamy od krajów Europy Zachodniej czy Skandynawii, gdzie poziom bezpieczeństwa

drogowego jest znacznie wyższy niż u nas. Sytuacja w kraju chyba już dojrzała do tego, aby ją zmienić, nadać jej właściwą rangę i poprawić niekorzystne statystyki bezpieczeństwa pieszych w ruchu drogowym.

Osobnym problemem jest, że w systemach publicznego transportu miejskiego bardzo ważne znaczenie mają obecnie potrzeby przewozowe pasażerów, które powinny być zaspokojone na odpowiednim poziomie satysfakcji z odbytej podróży.

Publiczny transport pozostaje nadal najbardziej istotnym elementem systemu komunikacji miejskiej. Prawidłowo zorganizowany i zarządzany system komunikacji miejskiej jest podstawą funkcjonowania i trwałego rozwoju miasta oraz obszarów zurbanizowanych. Ponadto korzystanie z publicznych usług przewozowych zamiast transportu indywidualnego niesie ze sobą szereg zalet i korzyści zarówno w aspekcie ekologicznym jak i ekonomicznym. Zastąpienie samochodu osobowego środkiem publicznego transportu miejskiego wiąże się chociażby z ograniczeniem emisji spalin do środowiska, a także zmniejszeniem kosztów związanych z podróżą oraz ewentualnych kosztów parkowania w centrum miasta.

Zapewnienie konkurencyjności miejskiego transportu zbiorowego w stosunku do przewozów pojazdami indywidualnymi możliwe jest wyłącznie przez konsekwentne polepszanie jakości oferowanych usług przewozowych. Wysoka jakość nie ogranicza się jedynie do poprawy komfortu jazdy, ale przede wszystkim oznacza zapewnienie bezpieczeństwa podróży pasażerom oraz terminowości realizowanych przewozów. W celu utrzymania wysokiego poziomu jakości działania złożonych systemów eksploatacji, jakimi są m.in. systemy eksploatacji autobusów miejskich, należy dążyć do zapewnienia racjonalnego oraz efektywnego funkcjonowania eksploatowanych środków transportu.

Na podstawie analizy przedstawionych w literaturze definicji zdarzenia niepożądanego oraz definicji strat wynikających z jego zaistnienia, możliwe jest określenie jednego z kluczowych pojęć z punktu widzenia analizy i oceny bezpieczeństwa, którym jest pojęcie ryzyka. Pojęcie ryzyka stosowane jest nie tylko w odniesieniu do systemów technicznych. Występuje ono w wielu dziedzinach działalności człowieka, np. w medycynie stosowane jest do ocen ryzyka zachorowania lub wystąpienia epidemii, a także w ekonomii do oceny ryzyka inwestycji finansowych. W technice pojęcie ryzyka stosowane jest zarówno do opisu wystąpienia zdarzeń niebezpiecznych (wypadki, kolizje), jak również znajduje zastosowanie w opisie wystąpienia zdarzeń niepożądanych, powodujących zakłócenie prawidłowej realizacji zadań przydzielonych systemowi technicznemu. W aktach normalizacyjnych ryzyko definiowane jest najczęściej jako kombinacja prawdopodobieństwa wystąpienia

zdarzenia niepożądanego i konsekwencji związanych z tym zdarzeniem, czyli ciężkości strat. Charakterystyki opisujące ryzyko są wiodącymi z punktu widzenia analizy i oceny bezpieczeństwa działania systemów technicznych.

Podjęcie zatem przez Doktoranta tematyki opiniowanej rozprawy uważam zatem za celowe, tym bardziej, że – oprócz oczywistych aspektów praktycznych tematu – rozwiązanie postawionych zadań wymaga badań o charakterze poznawczym i opracowania metod badawczych zawierających elementy naukowe.

## **2. CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY**

Opiniowana praca ma objętość 175 stron. Składa się z siedmiu rozdziałów, spisu cytowanej literatury oraz streszczeń w języku polskim i angielskim. Struktura pracy jest prawidłowa z właściwym podziałem na rozdziały i podrozdziały. Praca zawiera wszystkie niezbędne elementy charakterystyczne dla pracy doktorskiej. Praca jest odpowiednio ilustrowana tabelami, rysunkowymi schematami i wykresami. Wyniki badań i analiz są głównie zaprezentowane w postaci tabelarycznej i na wykresach, co czytelnie i jasno przedstawia i porównuje uzyskane wyniki i ułatwia sformułowanie wniosków.

We wprowadzeniu, w rozdziale 1 autor uzasadnia wybór tematyki pracy oraz przedstawia zakres problematyki badań. Na podstawie analizy literatury oraz wyników badań własnych podaje, że w pracy podjęto próbę opracowania metody oceny ryzyka wystąpienia zdarzeń niepożądanych w aspekcie zagrożeń istniejących w rozpatrywanym systemie eksploatacji środków transportu, w szczególności autobusów miejskich. W tym celu został opracowany model analizy i oceny ryzyka wystąpienia zdarzeń niepożądanych w systemie autobusowej komunikacji miejskiej z zastosowaniem teorii procesów semi-Markowa. Praktyczne zastosowanie opracowanej metody ma umożliwić wybór racjonalnych decyzji, w trakcie realizacji procesu eksploatacji środków transportu, uwzględniając wartości wybranych funkcji kryterialnych, tzn. ryzyka wystąpienia zdarzeń niepożądanych oraz gotowości do realizacji przydzielonych zadań przewozowych. W dalszej części rozdziału przedstawia cel i program pracy.

**Celem pracy jest 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.**

Realizacja badań z zastosowaniem opracowanej metody miała umożliwić wyznaczenie

wartości parametrów i charakterystyk systemu eksploatacji środków transportu, przydatnych do racjonalnego sterowania procesem eksploatacji z uwzględnieniem rozpatrywanych kryteriów oceny.

Dla realizacji celu głównego pracy przyjęto następujące cele szczegółowe, które podzielono na trzy kategorie:

- 1) cel teoretyczno-poznawczy, którym była analiza zagadnień i metod dotyczących oceny ryzyka oraz problemów decyzyjnych w systemach technicznych, a także pozyskanie wiedzy na podstawie wyników przeprowadzonych badań;
- 2) cel metodologiczny, którym jest opracowanie metody oceny ryzyka wystąpienia zdarzeń niepożądanych przydatnej do sterowania procesem eksploatacji środków transportu;
- 3) cel użytkowy, którym jest możliwość zastosowania uzyskanych wyników badań opracowanych modeli do sterowania procesem eksploatacji realizowanym w rzeczywistym systemie eksploatacji autobusów miejskich.

Cel główny pracy miał być osiągnięty w wyniku realizacji zadań cząstkowych, stanowiących zarówno zakres pracy jak i kolejne etapy opracowania metody oceny ryzyka wystąpienia zdarzeń niepożądanych w systemie eksploatacji środków transportu

Rozdział drugi zawiera analizę procesów teoretyczne podstawy problematyki badań, w tym zagadnienie ryzyka w systemach eksploatacji obiektów technicznych. Dalej przedstawiono w nim stosowane metody oceny ryzyka oraz problematykę oceny efektywności w systemach eksploatacji obiektów technicznych. Omówiono zagadnienie modelowania procesów eksploatacji oraz sterowania procesem eksploatacji. Przedstawione w rozdziale zagadnienia dotyczące poszukiwania optymalnych rozwiązań w zakresie funkcjonowania optymalnych rozwiązań dowodzą, że analiza ryzyka wystąpienia zdarzeń niepożądanych stanowi jedną z krytycznych metod w procesie podejmowania decyzji strategicznych, których celem jest zapewnienie bezpieczeństwa technicznego i minimalizacja kosztów działalności systemu eksploatacji. Konieczne są do tego modele optymalizacyjne w procesie decyzyjnym oraz modele efektywnościowe i optymalizacyjne stosowane w obszarze środków transportu.

W rozdziale 3 omówiono zastosowaną w pracy metodykę badań eksploatacyjnych. Celem przeprowadzonych badań eksploatacyjnych było pozyskanie danych dotyczących badanego systemu eksploatacji obiektów technicznych niezbędnych do analizy i oceny ryzyka wystąpienia zdarzeń niepożądanych w systemie eksploatacji środków transportu oraz do racjonalnego zarządzania tym systemem w wyniku podejmowania odpowiednich decyzji sterujących. Głównym rezultatem badań było uzyskanie zbiorów wartości parametrów

charakteryzujących realizowany proces eksploatacji obiektów technicznych, tu autobusów miejskich, w szczególności danych mających posłużyć do wyznaczenia wartości ryzyka wystąpienia zdarzeń niepożądanych, a także gotowości środków transportu do realizacji zadania przewozowego. Dodatkowym rezultatem wykonanych badań była realizacja celów poznawczych poszerzających wiedzę o procesach technicznych, degradacyjnych, socjotechnicznych i innych zjawiskach zachodzących podczas eksploatacji obiektu w jego naturalnych warunkach funkcjonowania. W wyniku identyfikacji systemu eksploatacji autobusów miejskich i realizowanego w nim procesu eksploatacji wyszczególniono istotne stany eksploatacyjne tego procesu, w których może przebywać badany obiekt techniczny (autobus miejski). Na podstawie analizy przestrzeni stanów eksploatacyjnych oraz zdarzeń eksploatacyjnych dotyczących autobusów komunikacji miejskiej eksploatowanych w rzeczywistym, badanym systemie transportu miejskiego, opracowano graf stanów modelu procesu eksploatacji, będącego wielostanowym procesem stochastycznym.

Na podstawie identyfikacji systemu i procesu eksploatacji środków transportu oraz ze względu na specyfikę tematu pracy jako metodę badawczą wybrano badania eksploatacyjne. Badania obejmowały działania polegające na obserwacji obiektu w naturalnych warunkach eksploatacji, pozyskiwanie i archiwizację danych oraz ich przetwarzanie. Badania eksploatacyjne stanowią jedno z najlepszych źródeł informacji statystycznych o zmianach stanu maszyn i uszkodzeniach ich elementów, a ich wyniki stanowią podstawę podjęcia racjonalnych decyzji do sterowania procesem eksploatacji. W ramach realizowanej rozprawy badania eksploatacyjne przeprowadzono metodą eksperymentu biernego w naturalnych warunkach eksploatacji autobusów miejskich w rozpatrywanym systemie autobusowego transportu miejskiego. W końcowej części rozdziału zamieszczono analizę statystyczną wyników badań eksploatacyjnych.

Rozdziały czwarty i piąty są zasadniczą częścią pracy, w których przedstawiono opracowaną metodę oceny ryzyka wystąpienia zdarzeń niepożądanych oraz wskazano jej użyteczność w aspekcie eksploatacji rzeczywistych obiektów technicznych. Dokonano analizy ryzyka, w tym między innymi szacowania ryzyka z zastosowaniem zbudowanego modelu semimarkowskiego. Zaproponowano sposób ewaluacji ryzyka, w efekcie której wyznaczone ryzyko przypisuje się do kategorii akceptowalnej, tolerowalnej lub nieakceptowalnej. Następnie zbudowano model decyzyjny wyboru najlepszych (suboptymalnych) strategii sterowania badanym procesem przy uwzględnieniu dwóch kryteriów decyzyjnych - ryzyka oraz gotowości systemu technicznego do realizacji przydzielonych zadań przewozowych. Wybór tej strategii dokonywany jest za pomocą opracowanego programu komputerowego

przy zastosowaniu algorytmu symulowanego wyżarzania oraz frontu Pareto.

Analiza literatury oraz przeprowadzone badania eksploatacyjne w analizowanym systemie eksploatacji środków transportu umożliwiły opracowanie metody analizy i oceny ryzyka wystąpienia zdarzeń niepożądanych, przy zastosowaniu modeli matematycznych, przeznaczonych dla systemów eksploatacji środków transportu ze szczególnym uwzględnieniem autobusowego transportu zbiorowego w aglomeracjach miejskich.

Rozdział szósty zawiera analizę wyników badań wykorzystującą rzeczywiste dane pochodzące z systemu eksploatacji autobusów miejskich. Wyliczono pięć wartości ryzyka (dla różnych zagrożeń) oraz wartość łączną ryzyka dla badanego systemu eksploatacji i sklasyfikowano te wartości w wyznaczonych kategoriach ryzyka. Dla rozpatrywanego systemu eksploatacji i pojedynczego obiektu technicznego wyliczono gotowość do realizacji przydzielonych zadań przewozowych. Wytypowano zbiór możliwych rozwiązań problemu decyzyjnego. Spośród wskazanych możliwości wybrano strategie znajdujące się na froncie Pareto, pod warunkiem osiągnięcia co najmniej tolerowalnej kategorii ryzyka oraz wymaganej gotowości do realizacji zadań przewozowych.

W rozdziale 7 podsumowano uzyskane wyniki badań oraz stwierdzono, że realizacja pracy umożliwiła osiągnięcie jej głównego celu, którym 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.

Przeprowadzone w niniejszej dysertacji rozważania i wykonane analizy umożliwiły sformułowanie 12 wniosków końcowych. Pracę kończy szczegółowo przedstawiony plan dalszych badań.

### **3. MERYTORYCZNA OCENA PRACY**

Pod względem merytorycznym i metodycznym pracę oceniam pozytywnie, gdyż ogólnie odpowiada postawionemu celowi, sformułowanym tezom i jest dostosowana do obowiązujących w tym zakresie wymogów. Układ logiczny treści rozprawy jest przejrzysty a prezentowane treści są ze sobą dobrze powiązane, z konsekwentnie przestrzegającym układem rozpatrywanych zagadnień.

Autor dokonał wyjątkowo szerokiej prezentacji wyników swych rozważań, dokładnie i kompetentnie opisał przeprowadzane badania oraz umiejętnie nadał ich wynikom charakter danych przydatnych dla praktyki rozwoju metod oceny ryzyka. Wnioski z przeprowadzonych

analiz i badań na obiektach rzeczywistych są sformułowane trafnie i adekwatnie do ich zakresu i charakteru. Całość pracy cechuje staranna jej redakcja. W zakresie omawianych zagadnień występują silne akcenty praktyczne wywodzące się z dobrej orientacji Autora w zakresie rozpatrywanej problematyki.

**Najważniejsze osiągnięcia pracy:**

Na szczególne wyróżnienie, upoważniające mnie do takiej oceny rozprawy, zasługują następujące elementy pracy o charakterze ogólnym.

1. Opracowanie metody oceny ryzyka wystąpienia zdarzeń niepożądanych w systemie eksploatacji środków transportu, z zastosowaniem teorii procesów semi-Markowa do oszacowania wartości ryzyka oraz opracowanie sposobu ewaluacji wyznaczonego ryzyka polegającego na przypisaniu jego wartości do jednej z trzech wytypowanych kategorii ryzyka, przez wyznaczenie wartości górnych granic ryzyka akceptowalnego i ryzyka tolerowalnego oraz odniesienie wartości ryzyka do wartości dochodu uzyskiwanego w systemie eksploatacji obiektów technicznych.
2. Wskazanie możliwości zastosowania opracowanej metody oceny ryzyka wystąpienia zdarzeń niepożądanych do sterowania procesem eksploatacji środków transportu z zastosowaniem decyzyjnych procesów semi-Markowa.
3. Wskazanie propozycji zastosowania znanych z literatury kryteriów oceny efektywności funkcjonowania systemu technicznego (ryzyka i gotowości) do wyboru optymalnych (suboptymalnych) strategii sterowania procesem eksploatacji środków transportu z punktu widzenia zapewnienia bezpieczeństwa realizowanych przewozów oraz możliwości prawidłowej realizacji zadań przewozowych.
4. Opracowanie modelu decyzyjnego z zastosowaniem algorytmu symulowanego wyżarzania oraz frontu Pareto, umożliwiającego wybór optymalnej strategii sterowania procesem eksploatacji przy minimalizacji wartości jednego z kryterium (ryzyka) oraz maksymalizacji wartości drugiego kryterium (gotowości).

Objętość pracy jest uzasadniona z punktu widzenia potrzeb opisu przeprowadzonych analiz teoretycznych i badań. Zakres pracy i zamieszczone informacje przedstawiają jednoznacznie i wyczerpująco jej tematykę oraz dają możliwość dokładnego powtórzenia badań w innych warunkach. Zwiększa to wiarygodność zamieszczonych w rozprawie wyników.

Układ pracy jest logiczny, język rozprawy zrozumiały, ilustracje wykonane są bardzo starannie i przejrzysto.

Praca ma jednak pewne wady i niedociągnięcia, które nie obniżają mojej ogólnej, bardzo pozytywnej oceny wszystkich aspektów pracy (wyboru tematu, uzasadnienia, analiz, przeprowadzonych badań, wnioskowania, itd.) np.:

- sformułowanie 12 wniosków końcowych, o różnym stopniu szczegółowości nieco rozprasza główne osiągnięcia pracy; wydaje się że byłoby bardziej korzystne sformułowanie kilku wniosków bardziej ogólnych i osobno pozostałych wniosków szczegółowych,
- brak w pracy zestawienia symboli i oznaczeń, co przy użyciu ich znacznej liczby byłoby zasadne,
- s. 19 w. 4 od dołu – *życie... jest wartością niemierzalną* – niezbyt trafne sformułowanie,
- s. 35 - *Model definiowany jest w teorii eksploatacji jako dający się pomyśleć lub materialnie zrealizować układ* – niezrozumiałe,
- s. 36 w. 11 – *obrazuje rysunek* – na rysunku np. przedstawiono,
- s. 45 w. 20 – *zostaną zbudowane modele* – dlaczego tryb niedokonany,
- s.83 w.3 – „...upatrywać..” – kolokwializm,
- s. 107 w. 15 od dołu – *Dochód ujemny* – tak jak np. „*plusy ujemne*”,
- s. 113 w. 10 od dołu – *...wyznaczono jej wartości na za... (?)*
- s. 120 w. 15 od dołu – *w trakcie trwania doby* - kolokwializm
- s. 125 - *...Dogodnym narzędziem...* - kolokwializm
- s. 137 – autor często buduje długie zdania bez wymaganych znaków interpunkcyjnych, co utrudnia ich rozumienie – np. 2 pierwsze akapity na tej stronie,
- s. 148 – w. 9 – *najlepszych* – pod jakim względem ?, kolokwializm.

#### 4. PODSUMOWANIE OCENY ROZPRAWY

W podsumowaniu oceny rozprawy uważam, że opiniowana praca w pełni odpowiada wymaganiom stawianym rozprawom doktorskim ze względu na jej poziom merytoryczny oraz aplikacyjne osiągnięcia w zakresie rozpatrywanych problemów. Praca zawiera elementy interdyscyplinarne i stanowi dobry przykład zastosowania nowoczesnych metod naukowych do rozwiązywania zadań budowy i eksploatacji maszyn.

Usterki pracy są nieliczne, drugorzędne i nie wpływają na moją bardzo pozytywną ocenę pod względem postawienia problemu badawczego, zrealizowania programu badań doświadczalnych, analizy wyników i zredagowania przejrzystej rozprawy naukowej. Dlatego stawiam wniosek o wyróżnienie tej pracy, ze względu na wnikliwe przeanalizowanie



ważnego, aktualnego i oryginalnego problemu badawczego oraz uzyskanie oryginalnych wyników naukowych o dużych wartościach poznawczych, z perspektywą ich wykorzystania w praktyce.

W związku z taką, pozytywną oceną rozprawy doktorskiej mgr inż. Agnieszki Sołtysiak nt. „Metoda oceny ryzyka wystąpienia zdarzeń niepożądanych w systemie eksploatacji środków transportu”, uważam, że opiniowana rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata w dyscyplinie naukowej budowa i eksploatacja maszyn, także dowodzi umiejętności samodzielnego prowadzenia przez niego pracy naukowej, wobec czego opiniowana rozprawa spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim zgodnie z obowiązującą Ustawą o stopniach i tytułach naukowych. Upoważnia mnie to do postawienia wniosku o dopuszczenie mgr inż. Agnieszki Sołtysiak do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

