

dr hab. inż. Bożena Zwolińska, prof. AGH
Akademia Górniczo-Hutnicza
im. St. Staszica w Krakowie
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
e-mail: bzwol@agh.edu.pl

Kraków, 31.08.2026 r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej

mgr inż. **Juniego Rohmana**

pt.: ***Model decyzyjny proaktywnego utrzymania ruchu systemów AGV w magazynach Przemysłu 4.0 z integracją danych technicznych i operacyjnych oraz wykorzystaniem logiki rozmytej***

Podstawą opracowania recenzji jest pismo Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Wrocławskiej z dnia 14 lipca 2026 r.
(znak: W10/RDND07/132/52026).

Dokumentację merytoryczną do sporządzenia recenzji stanowił egzemplarz rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Juniego Rohmana pt. *Model decyzyjny proaktywnego utrzymania ruchu systemów AGV w magazynach Przemysłu 4.0 z integracją danych technicznych i operacyjnych oraz wykorzystaniem logiki rozmytej*.

Praca została wykonana pod kierunkiem

dr hab. Agnieszki Tubis, prof. uczelni – promotora,

oraz przy współudziale **dr. inż. Jacka Ryczyńskiego** – promotora pomocniczego.

Rozprawa została przygotowana i złożona w **Politechnice Wrocławskiej**,
w **dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych**,
w **dyscyplinie inżynieria mechaniczna**.

Recenzja została sporządzona w ramach **postępowania w sprawie nadania stopnia doktora** na podstawie ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2024 r., poz. 1571).

1. Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Juniego Rohmana pt. *Model decyzyjny proaktywnego utrzymania ruchu systemów AGV w magazynach Przemysłu 4.0 z integracją danych technicznych i operacyjnych oraz wykorzystaniem logiki rozmytej* ma charakter teoretyczno-aplikacyjny. Jej przedmiotem jest opracowanie, formalizacja i implementacja systemowego modelu wspomagającego podejmowanie decyzji dotyczących utrzymania ruchu flot automatycznych wózków transportowych AGV eksploatowanych w środowisku Magazynu 4.0, a także przeprowadzenie jego oceny obejmującej weryfikację formalno-logiczną i walidację scenariuszową.

Rozprawa obejmuje 120 stron i składa się z pięciu rozdziałów, poprzedzonych streszczeniami w języku polskim i angielskim oraz wykazem skrótów i najważniejszych oznaczeń. Zasadniczą część pracy uzupełniają bibliografia obejmująca 115 pozycji oraz aneks zawierający zestawienie wartości krytycznych i progów zmiennych wejściowych modelu FIS, a także pełną bazę 54 reguł końcowego systemu wnioskowania rozmytego. W pracy zamieszczono 22 rysunki i 25 tabel.

W pierwszych trzech rozdziałach rozprawy Autor przedstawił podstawy teoretyczne podjętej problematyki, dokonał analizy aktualnego stanu wiedzy oraz sformułował lukę badawczą, problem badawczy, pytania badawcze i cele pracy. Rozważania te dotyczą przede wszystkim systemów AGV, strategii utrzymania ruchu oraz możliwości wykorzystania podejścia systemowego i logiki rozmytej w procesie podejmowania decyzji eksploatacyjnych.

Rozdział czwarty stanowi zasadniczą część badawczą rozprawy. Przedstawiono w nim procedurę opracowania, formalizację i implementację modelu Fuzzy Proactive Maintenance Decision Framework (FPMDF). W dalszej części rozdziału Autor omówił procedury weryfikacji formalno-logicznej modelu, jego walidacji scenariuszowej oraz oceny w warunkach eksploatacyjnych. Rozdział piąty zawiera podsumowanie wyników, charakterystykę wkładu naukowego i praktycznego, ograniczenia badań oraz proponowane kierunki dalszych prac.

Układ rozprawy jest logiczny i odpowiada kolejnym etapom postępowania badawczego, począwszy od analizy stanu wiedzy i identyfikacji luki badawczej, poprzez opracowanie i implementację modelu, aż po jego ocenę oraz sformułowanie wniosków. Poszczególne rozdziały tworzą spójną całość i umożliwiają prześledzenie toku postępowania badawczego Autora.

2. Ocena rozprawy doktorskiej

Analiza rozprawy, obejmująca jej założenia, zakres, zastosowane metody oraz przedstawione wyniki, pozwala stwierdzić, że Autor podjął aktualny i istotny problem z obszaru utrzymania ruchu systemów AGV. Praca potwierdza znajomość omawianej problematyki oraz umiejętność opracowania i implementacji modelu wspomagania decyzji z wykorzystaniem logiki rozmytej. Jednocześnie przy ocenie przyjętych założeń metodycznych, sposobu przeprowadzenia walidacji oraz zakresu empirycznej oceny modelu należy zachować odpowiednią ostrożność interpretacyjną, uwzględniając uwarunkowania i możliwości realizacji szeroko zakrojonych badań w rzeczywistym środowisku przemysłowym.

Temat, problem badawczy, cele i zakres rozprawy

Rozprawa doktorska mgr. inż. Juniego Rohmana dotyczy wspomagania decyzji w zakresie proaktywnego utrzymania ruchu flot automatycznych wózków transportowych AGV eksploatowanych w środowisku Magazynu 4.0. Podjęte zagadnienie mieści się w dyscyplinie inżynieria mechaniczna, w szczególności w obszarze eksploatacji i niezawodności systemów technicznych, utrzymania ruchu oraz modelowania procesów decyzyjnych z wykorzystaniem logiki rozmytej.

Wybór tematu uznaję za uzasadniony poznawczo i aplikacyjnie. Rosnący poziom automatyzacji procesów intralogistycznych sprawia, że dostępność i niezawodność floty AGV wpływają na ciągłość przepływów materiałowych, przepustowość magazynu oraz terminowość realizacji zadań. Awaria pojedynczego pojazdu nie zawsze pozostaje zdarzeniem lokalnym. W określonych warunkach wymusza zmianę przydziału zadań i zwiększa obciążenie pozostałych jednostek, co sprzyja powstawaniu zatorów i zakłóca funkcjonowanie całego systemu transportu wewnętrznego. Dlatego w utrzymaniu ruchu floty AGV należy uwzględniać stan techniczny poszczególnych pojazdów oraz ich znaczenie dla funkcjonowania całego systemu intralogistycznego.

Autor trafnie wskazał ograniczenia klasycznych strategii utrzymania ruchu: reaktywnej, zapobiegawczej i predykcyjnej. Rozpoznanie pogorszenia stanu technicznego lub prognoza uszkodzenia nie przesądza o terminie, zakresie ani priorytecie interwencji. Nie określają również skutków czasowego wyłączenia pojazdu dla systemu intralogistycznego. Dlatego w rozprawie proaktywne utrzymanie ruchu ujęto szerzej jako proces decyzyjny łączący diagnozę techniczną z informacjami operacyjnymi, środowiskowymi i historycznymi. Takie podejście uznaję za trafne, ponieważ odpowiada potrzebom eksploatacji złożonych systemów intralogistycznych.

Zasadniczą lukę badawczą Autor powiązał z brakiem zintegrowanego, systemowego modelu decyzyjnego wspierającego utrzymanie ruchu floty AGV w warunkach niepewności. Na podstawie zidentyfikowanej luki sformułował problem badawczy, pięć pytań badawczych oraz cel główny rozprawy.

Doktorant zdefiniował cel główny rozprawy następująco: „Celem głównym pracy jest opracowanie oraz weryfikacja systemowego modelu decyzyjnego wspomagającego podejmowanie decyzji utrzymaniowych w flotach AGV funkcjonujących w środowisku Magazynu 4.0, który integruje dane techniczne i operacyjne, uwzględnia współzależności pomiędzy zasobami oraz umożliwia ocenę wpływu podejmowanych decyzji na funkcjonowanie systemu intralogistycznego w warunkach niepewności”. Cel ten jest spójny z tytułem i zakresem rozprawy.

Realizacji celu głównego podporządkowano cele szczegółowe obejmujące identyfikację i uporządkowanie czynników wpływających na funkcjonowanie systemów AGV, dobór danych i metod ich integracji, opracowanie oraz implementację modelu FPMDF, a także przeprowadzenie jego weryfikacji formalno-logicznej, walidacji scenariuszowej i oceny w warunkach przemysłowych.

Zakres rozprawy jest szeroki i logicznie spójny. Pozytywnie oceniam związek pomiędzy zidentyfikowaną luką badawczą, sformułowanymi pytaniami i celami oraz przyjętym zakresem badań.

Ocena zastosowanych metod badawczych i modelu FPMDF

Autor przyjął wieloetapową procedurę badawczą. Obejmowała ona rozpoznanie problemu, dobór zmiennych, opracowanie i formalizację modelu, jego implementację, a następnie weryfikację i walidację. Zastosowane metody pełniły w tej procedurze uzupełniające się funkcje.

W pierwszym etapie Autor wykorzystał przegląd literatury, analizę przypadków awarii oraz diagram Ishikawy. Diagram pozwolił uporządkować czynniki prowadzące do pogorszenia stanu technicznego pojazdu lub konieczności skierowania go do obsługi poza planowanym harmonogramem. Czynniki podzielono na sześć grup: materiały, maszyny, metody, zarządzanie, człowiek i środowisko. Pozytywnie oceniam uwzględnienie czynników technicznych, organizacyjnych, środowiskowych i związanych z jakością sterowania.

W kolejnym etapie Autor zastosował analizę Pareto-Lorenza w celu ograniczenia liczby parametrów wejściowych na podstawie częstości występowania zdarzeń. Analizę przeprowadził odrębnie dla systemu zasilania, układu jezdnego i napędowego oraz systemu sterowania i nawigacji. Wykorzystał dane pochodzące z literatury, rejestru zdarzeń niepożądanych oraz obserwacji przeprowadzonych w przedsiębiorstwie produkcyjnym. Pozytywnie oceniam oparcie doboru zmiennych na danych pochodzących z kilku źródeł.

Analizę Pareto-Lorenza przeprowadzono na podstawie liczby ujawnionych przypadków. Parametry uporządkowano malejąco, wyznaczono ich udział skumulowany oraz przyjęto próg 80%, który określa obszar priorytetowy. Zastosowana procedura pozwoliła wskazać najczęściej występujące nieprawidłowości. Przyjęte kryterium nie uwzględnia jednak czasu trwania zdarzeń, kosztu ich usunięcia ani dotkliwości skutków. Wyniki analizy odzwierciedlają zatem częstość występowania nieprawidłowości, a nie ich pełne znaczenie eksploatacyjne.

Model FPMDF ma hierarchiczną, trójpoziomową architekturę. Na pierwszym poziomie oceniane są podsystemy techniczne i funkcjonalne pojazdu AGV. Na poziomie drugim wyniki są agregowane w czterech obszarach: stanu technicznego pojazdu, funkcjonowania systemu komunikacji i nawigacji, oddziaływania środowiska pracy oraz danych historycznych. Poziom trzeci integruje te informacje i generuje wartość ciągłą S^* oraz jedną z trzech klas decyzyjnych: „Krytyczny”, „Ostrzeżenie” albo „Akceptowalny”. Hierarchiczna struktura ogranicza liczbę reguł w poszczególnych blokach i ułatwia interpretację wyników.

W modelu zastosowano trójkątne i trapezowe funkcje przynależności, operator minimum dla koniunkcji i implikacji, operator maksimum do agregacji oraz metodę środka ciężkości do defuzyfikacji. Są to rozwiązania klasyczne, czytelne i sprzyjające interpretacji wyników. Autor uzasadnił wybór funkcji przynależności ich interpretowalnością i efektywnością obliczeniową oraz odniósł je do funkcji Gaussa. W rozprawie nie przeprowadzono analizy porównawczej pozwalającej ocenić wpływ innych typów funkcji przynależności, operatorów agregacji i metod defuzyfikacji na wyniki modelu.

Systemowy charakter modelu wymaga doprecyzowania. FPMDF integruje dane techniczne, operacyjne, środowiskowe i historyczne odnoszące się do ocenianego pojazdu. Systemowość rozwiązania wynika z szerokiego zakresu informacji uwzględnianych w jego ocenie. W przedstawionej postaci model nie odwzorowuje bezpośrednio zależności pomiędzy pojazdami, przydziału zadań, możliwości zastępowania wyłączonych pojazdów ani ograniczeń przepustowości systemu intralogistycznego.

Ocena weryfikacji, walidacji i wyników badań

Pozytywnie oceniam wieloaspektowy sposób oceny modelu. Autor zastosował kilka uzupełniających się procedur obejmujących:

- weryfikację pokrycia dziedzin funkcji przynależności;
- ocenę spójności semantycznej i sprzeczności reguł;
- kontrolę monotoniczności odpowiedzi;
- walidację scenariuszową z udziałem 20 ekspertów;
- analizę macierzy pomyłek oraz dokładności, precyzji, czułości i miary F1;
- ocenę wartości ciągłej S^* z wykorzystaniem miar MAE i RMSE;
- test odporności na kontrolowane zaburzenia danych wejściowych;
- analizę zmian wskaźników KPI na podstawie danych z rzeczywistego środowiska eksploatacyjnego.

Weryfikacja formalno-logiczna objęła pokrycie dziedzin funkcji przynależności, spójność semantyczną zbiorów, sprzeczność reguł oraz monotoniczność odpowiedzi modelu. Zakres przeprowadzonych testów pozwala ocenić poprawność konstrukcji systemu wnioskowania. Wynik dotyczący naruszeń monotoniczności przedstawiono niejednolicie. W tabeli 4.5 podano wartość 0,60%, a w opisie wyników na stronie 69 wartość 60%. Rozbieżność ta wymaga wyjaśnienia.

Walidację scenariuszową przeprowadzono z wykorzystaniem 18 scenariuszy. Zgodność klasyfikacji modelu z ocenami ekspertów wyniosła 94,44%, co oznacza 17 zgodnych klasyfikacji na 18 scenariuszy. Wyznaczony metodą Wilsona 95-procentowy przedział ufności wynosi od 74,24% do 99,01%. Szeroki zakres przedziału wskazuje na ograniczoną precyzję oszacowania dokładności modelu. Wynik należy zatem interpretować jako rezultat uzyskany dla badanego zestawu scenariuszy, a nie jako precyzyjne oszacowanie skuteczności modelu w szerszej populacji przypadków eksploatacyjnych.

Przy interpretacji wyników walidacji należy uwzględnić, że ten sam zbiór scenariuszy wykorzystano do strojenia modelu i oceny jego końcowej dokładności. Przed strojeniem zgodność wynosiła 88,89%, a po jego przeprowadzeniu 94,44%. Oznacza to wzrost z 16 do 17 zgodnych klasyfikacji w zbiorze 18 scenariuszy. Modyfikacje funkcji przynależności i reguł oparto na rozbieżnościach stwierdzonych w tym samym zbiorze. Z tego względu wynik końcowy opisuje dopasowanie modelu do badanego zestawu scenariuszy, lecz nie stanowi w pełni niezależnej oceny jego działania w odniesieniu do nowych scenariuszy.

Odporność modelu oceniono na zbiorze 180 przypadków utworzonych przez kontrolowane zaburzenie 18 scenariuszy bazowych. Uzyskana dokładność wyniosła 92,78%. Wynik ten wskazuje na stabilność decyzji modelu przy zmianach wartości wejściowych w przyjętym zakresie zaburzeń. Zbiór 180 przypadków powstał na podstawie tych samych scenariuszy bazowych, dlatego nie stanowi niezależnego zbioru walidacyjnego. Dla klasy „Krytyczny” w zbiorze nominalnym uzyskano pełną czułość i precyzję, co oznacza prawidłową klasyfikację wszystkich siedmiu przypadków tej klasy w badanym zestawie.

Ocenę modelu w warunkach przemysłowych przeprowadzono dla floty 12 pojazdów AGV obserwowanych przez trzy miesiące. W rozprawie wskazano wzrost dostępności i wartości MTBF oraz zmniejszenie wartości MTTR, udziału przestojów nieplanowanych

i jednostkowego kosztu utrzymania. Uwzględnienie danych z rzeczywistego środowiska eksploatacyjnego zwiększa praktyczną wartość pracy. Ocena miała charakter obserwacyjny i nie obejmowała grupy kontrolnej ani normalizacji wyników względem intensywności pracy floty. Na wartości analizowanych wskaźników wpływają również warunki eksploatacyjne i organizacyjne. Wyniki wskazują na współwystępowanie korzystnych zmian KPI ze stosowaniem modelu, lecz nie pozwalają oddzielić jego wpływu od pozostałych czynników.

Wartości wskaźników MTBF i MTTR wymagają wyjaśnienia ze względu na rozbieżności pomiędzy wynikami obliczeń wykonanych zgodnie ze wzorami (4.38) i (4.39) na podstawie danych z tabeli 4.12 a wartościami podanymi w tabeli 4.13. Należy wyjaśnić, czy obliczenia wykonano na podstawie innych danych niż wartości zaprezentowane w tabelach.

Przeprowadzone badania potwierdzają formalno-logiczną poprawność modelu oraz jego zgodność z ocenami ekspertów w badanym zestawie scenariuszy. Wyniki uzyskane w środowisku przemysłowym wskazują na potencjał aplikacyjny rozwiązania. Ocena działania modelu w innych warunkach wymaga dalszych badań przeprowadzonych na niezależnych danych i w dłuższym okresie obserwacji.

Oryginalność rozprawy oraz jej wkład naukowy i praktyczny

Za oryginalny element rozprawy uznaję sposób połączenia znanych metod logiki rozmytej w hierarchiczną strukturę decyzyjną dostosowaną do proaktywnego utrzymania ruchu floty AGV. Wkład Autora polega na spójnej integracji dostępnych metod i ich zastosowaniu do rozwiązania zdefiniowanego problemu badawczego. Opracowany model łączy dane techniczne, operacyjne, środowiskowe i historyczne oraz przedstawia wynik w formie interpretowalnej rekomendacji utrzymaniowej.

Do głównych elementów wkładu naukowego rozprawy zaliczam:

- opracowanie interpretowalnego modelu FPMDF, który łączy ocenę podsystemów pojazdu AGV z końcową rekomendacją utrzymaniową;
- zaproponowanie hierarchicznej architektury integrującej dane techniczne, operacyjne, środowiskowe i historyczne;
- połączenie identyfikacji przyczyn, doboru zmiennych i modelowania rozmytego w jednej procedurze badawczej;
- formalizację wiedzy eksperckiej w postaci czytelnych reguł podlegających kontroli i modyfikacji;
- zastosowanie wyniku ciągłego S^* wraz z klasami decyzyjnymi, co pozwala określić stan pojazdu i jego priorytet obsługowy.

Wartością rozprawy jest rozróżnienie utrzymania predykcyjnego i proaktywnego. Autor trafnie wskazał, że prognoza pogorszenia stanu technicznego nie jest decyzją utrzymaniową. W modelu FPMDF ocenę stanu technicznego połączono z informacjami o warunkach eksploatacji i wykorzystano do określenia klasy rekomendacji oraz priorytetu interwencji. Takie ujęcie rozszerza ocenę poza diagnozę pojedynczego podsystemu pojazdu.

Wynik ciągły S^* uzupełnia klasy dyskretne i umożliwia uporządkowanie pojazdów należących do tej samej klasy decyzyjnej. Zwiększa to użyteczność modelu przy ograniczonych zasobach obsługowych. Model nie określa sposobu przełożenia wartości S^* na

termin i zakres interwencji, wymagane zasoby ani harmonogram obsługi floty. Opracowanie takiej procedury stanowi uzasadniony kierunek dalszego rozwoju rozwiązania.

Wkład praktyczny rozprawy obejmuje implementację modelu FPMDF w środowisku MATLAB oraz jego wstępną ocenę z wykorzystaniem danych pochodzących z rzeczywistej floty AGV. Zestawienie progów, funkcji przynależności i pełnej bazy reguł zwiększa przejrzystość rozwiązania oraz ułatwia jego odtworzenie. Przeniesienie modelu do innej floty lub zakładu wymaga ponownego dostosowania parametrów do warunków eksploatacyjnych. Nie ogranicza to wartości opracowanego rozwiązania, lecz określa warunki jego praktycznego zastosowania.

Wkład naukowy i praktyczny rozprawy oceniam pozytywnie. Ma on charakter koncepcyjny, metodyczny i aplikacyjny. Opracowany model stanowi spójne oraz interpretowalne rozwiązanie wspomagające podejmowanie decyzji w utrzymaniu ruchu pojazdów AGV i tworzy podstawę do dalszego rozwoju w kierunku zarządzania całą flotą.

Uwagi krytyczne i zagadnienia do dyskusji

W rozprawie dostrzegam kilka zagadnień wymagających doprecyzowania i omówienia podczas publicznej obrony. Dotyczą one założeń i parametryzacji modelu, zakresu walidacji oraz przełożenia wyników na konkretną decyzję utrzymaniową. Część przedstawionych ograniczeń została rozpoznana przez Doktoranta i wskazana w rozprawie jako przedmiot dalszych badań, co świadczy o świadomości zakresu opracowanego rozwiązania oraz warunków jego dalszego rozwoju. Uwagi te służą określeniu zakresu zastosowania modelu i granic interpretacji uzyskanych wyników.

– Zakres przyjętych założeń modelowych i sposób parametryzacji modelu

Przyjętą konfigurację modelu uzasadniono potrzebą zachowania interpretowalności wyników. Autor zastosował trójkątne i trapezowe funkcje przynależności, operatory minimum i maksimum oraz metodę środka ciężkości do defuzyfikacji. W rozprawie nie przedstawiono porównania wyników uzyskanych dla alternatywnych konfiguracji. Wpływ przyjętych rozwiązań na wyniki i stabilność rekomendacji modelu wymaga omówienia.

Parametry funkcji przynależności i progi wejściowe dobrano z uwzględnieniem charakterystyki analizowanych wielkości oraz danych dotyczących badanego środowiska eksploatacyjnego. Aneks przedstawia przyjęte wartości w sposób przejrzysty i ułatwia odtworzenie sposobu parametryzacji modelu. Zastosowanie rozwiązania do pojazdów innych producentów, flot o odmiennej konstrukcji lub w innych warunkach pracy może wymagać dostosowania parametrów modelu. Jest to naturalna konsekwencja zależności parametrów od środowiska eksploatacyjnego. Wyjaśnienia wymaga zakres parametrów uniwersalnych oraz tych, które należy każdorazowo dostosować do konkretnej floty.

Dobór zmiennych wsparto analizą Pareto-Lorenza opartą na liczbie ujawnionych przypadków. Zastosowana procedura wskazuje najczęściej występujące nieprawidłowości i wyznacza obszar priorytetowy według progu 80%. Przyjęte kryterium nie uwzględnia czasu trwania zdarzeń, kosztu ich usunięcia ani dotkliwości skutków. Dyskusji wymaga sposób uwzględnienia rzadkich zdarzeń, które wiążą się z poważnymi skutkami dla bezpieczeństwa lub ciągłości procesu.

Pytania do Autora:

- Jak zmieniłyby się wyniki modelu po zastosowaniu innych funkcji przynależności, operatorów wnioskowania i agregacji lub metody defuzyfikacji?
- Które elementy parametryzacji mają charakter uniwersalny, a które wymagają ponownego określenia dla konkretnej floty AGV?
- Jak uwzględnienie czasu trwania zdarzeń, kosztu ich usunięcia lub dotkliwości skutków wpłynęłoby na dobór zmiennych i wyznaczenie obszaru priorytetowego?

– **Zakres walidacji i oceny modelu w warunkach rzeczywistych**

W rozprawie podano minimalne doświadczenie zawodowe ekspertów oraz ogólnie określono reprezentowane przez nich obszary zawodowe. Nie przedstawiono szczegółowej charakterystyki składu panelu ani sposobu doboru jego członków. Opisano procedurę dochodzenia do konsensusu, lecz nie podano poziomu zgodności ocen indywidualnych ani liczby scenariuszy wymagających uzgodnienia stanowisk. Informacje te są istotne dla oceny rzetelności przyjętych ocen referencyjnych.

Po zakończeniu strojenia modelu nie wydzielono niezależnego zbioru testowego. Te same 18 scenariuszy wykorzystano do modyfikacji funkcji przynależności i reguł oraz do oceny końcowej dokładności. Zbiór 180 przypadków powstał przez zaburzenie scenariuszy bazowych, dlatego również nie jest zbiorem niezależnym. Uzyskane wyniki potwierdzają zgodność modelu z ocenami ekspertów i jego odporność w otoczeniu badanych scenariuszy, lecz nie rozstrzygają o działaniu rozwiązania dla nowych, niezależnych scenariuszy.

Ocena w warunkach przemysłowych objęła jedną flotę 12 pojazdów i okres trzech miesięcy. Badanie nie obejmowało grupy kontrolnej ani normalizacji wskaźników względem intensywności pracy floty. Na wartości KPI wpływają również liczba i rodzaj wykonywanych misji, obciążenie pojazdów oraz warunki organizacyjne. Autor wskazał ograniczenia przeprowadzonej oceny. Korzystne zmiany wskaźników należy zatem traktować jako wyniki obserwacyjne związane z okresem stosowania modelu.

Pytania do Autora:

- W jaki sposób zapewniono niezależność ocen ekspertów i określono poziom ich zgodności przed uzyskaniem konsensusu?
- Jak należałoby przygotować niezależny zbiór testowy do oceny modelu po zakończeniu strojenia?
- Jak zabezpieczono model przed brakiem danych wejściowych, opóźnieniami transmisji oraz błędami czujników w rzeczywistym systemie AGV?

– Relacja pomiędzy oceną stanu technicznego a decyzją utrzymaniową

Autor trafnie wskazuje, że rozpoznanie stanu technicznego nie jest równoznaczne z podjęciem pełnej decyzji utrzymaniowej. Model FPMDF generuje klasę decyzyjną oraz wartość ciągłą S^* . W rozprawie nie przedstawiono pełnej procedury przekształcenia tych wyników w plan obsługi obejmujący termin interwencji, zakres czynności, wymagane zasoby, czas wyłączenia pojazdu oraz kolejność obsługi pojazdów. Wyznacza to zakres decyzji wspieranych przez model w jego obecnej postaci.

Klasy „Krytyczny”, „Ostrzeżenie” i „Akceptowalny” mają charakter rekomendacyjny i określają poziom wymaganej reakcji. Nie wskazują konkretnej czynności obsługowej, takiej jak wymiana komponentu, dodatkowa diagnostyka, kalibracja lub ograniczenie obciążenia pojazdu. Wybór działania pozostaje po stronie operatora lub służb utrzymania ruchu. Model wspiera więc ocenę priorytetu interwencji, a nie opracowanie kompletnej decyzji obsługowej.

Pytania do Autora:

- Jak operator lub służby utrzymania ruchu powinny przełożyć klasę decyzyjną i wartość S^* na termin oraz zakres interwencji?
- Czy pojazdy należące do tej samej klasy, lecz uzyskujące różne wartości S^* , powinny otrzymać odmienne priorytety obsługi?
- W jaki sposób model powinien uwzględniać dostępność personelu, części zamiennych, stanowisk serwisowych i pojazdów zastępczych przy tworzeniu harmonogramu obsługi floty?

Ocena formalna i redakcyjna

Pod względem formalnym rozprawa jest kompletna i uporządkowana. Numeracja rozdziałów, podrozdziałów, tabel, rysunków i zależności matematycznych jest konsekwentna. Autor zamieścił wykaz skrótów i najważniejszych oznaczeń, streszczenia w języku polskim i angielskim, spis treści, spis rysunków oraz spis tabel. Większość stosowanych symboli i skrótów została wyjaśniona, a zapis matematyczny jest czytelny i powiązany z opisem słownym.

Strona graficzna rozprawy jest poprawna. Rysunki i tabele zostały opatrzone numerami, podpisami oraz informacjami o źródłach. W niektórych schematach i zrzutach ekranowych ze środowiska MATLAB wskazane jest zwiększenie rozmiaru czcionki w celu poprawy czytelności.

Język rozprawy jest formalny i poprawny. Wywód jest zrozumiały, lecz miejscami zawiera powtórzenia dotyczące stanu wiedzy i systemowego charakteru utrzymania ruchu. Ujednolicenia wymagają określenia „model”, „framework”, „system” i „system wspomagania decyzji”. Należy zachować konsekwencję w nazwach klas wyjściowych. Obok klas „Krytyczny”, „Ostrzeżenie” i „Akceptowalny” w wybranych fragmentach pojawia się określenie „optymalny”. Niektóre pozycje bibliograficzne, np. 7, 99 i 109, wymagają weryfikacji i ujednolicenia według przyjętego standardu, ponieważ zawierają niepełne lub nieprawidłowo przypisane dane.

Korekty wymagają wzory (4.27)–(4.29), definiujące precyzję, czułość i miarę F1. W mianownikach pominięto znaki dodawania pomiędzy składnikami. Wyniki przedstawione w tabeli 4.8 wskazują, że obliczenia wykonano według prawidłowych zależności.

Pod względem formalnym i redakcyjnym rozprawę oceniam pozytywnie. Wskazane usterki uzasadniają uwzględnienie korekt w przyszłych publikacjach opartych na rozprawie. Nie wpływają one na możliwość oceny przedstawionego osiągnięcia naukowego.

3. Podsumowanie i ocena końcowa

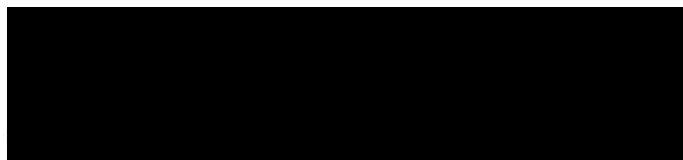
Na podstawie przeprowadzonej oceny rozprawy doktorskiej mgr. inż. Juniego Rohmana pt. *Model decyzyjny proaktywnego utrzymania ruchu systemów AGV w magazynach Przemysłu 4.0 z integracją danych technicznych i operacyjnych oraz wykorzystaniem logiki rozmytej* stwierdzam, że spełnia ona wymagania określone w art. 187 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2024 r., poz. 1571). Rozprawa prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata w dyscyplinie inżynieria mechaniczna oraz potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Przedstawiony w rozprawie model FPMDF stanowi oryginalne rozwiązanie podjętego problemu naukowego.

Pozytywnie oceniam opracowanie hierarchicznego modelu FPMDF, integrującego dane techniczne, operacyjne, środowiskowe i historyczne oraz generującego interpretowalne rekomendacje z wykorzystaniem logiki rozmytej. Praca potwierdza kompetencje Autora w zakresie rozpoznawania problemów badawczych, doboru metod ich rozwiązania oraz implementacji opracowanej koncepcji.

Badania potwierdzają formalno-logiczną poprawność modelu i jego zgodność z ocenami ekspertów w badanym zestawie scenariuszy, a wyniki przemysłowe wskazują na potencjał aplikacyjny rozwiązania. Brak niezależnego zbioru testowego i obserwacyjny charakter oceny KPI wymagają ostrożności przy uogólnianiu wyników. Ograniczenia te nie podważają wartości osiągnięcia naukowego ani realizacji głównego celu rozprawy.

Uwzględniając całokształt przeprowadzonej oceny, rozprawę uznaję za wartościową i oryginalną pracę naukową w zakresie wspomagania decyzji w utrzymaniu ruchu flot AGV.

Tym samym wnoszę o dopuszczenie mgr. inż. Juniego Rohmana do publicznej obrony rozprawy doktorskiej oraz dalszych etapów postępowania w sprawie nadania mu stopnia doktora w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.



dr hab. inż. Bożena Zwolińska, prof. AGH