

Warszawa, 22 września 2026 roku

Prof. dr hab. inż. Konrad Lewczuk
Wydział Transportu, Politechnika Warszawska
ul. Koszykowa 75,
00-662 Warszawa,
Konrad.Lewczuk@pw.edu.pl

Recenzja

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Juni Rohman
pt. Model decyzyjny proaktywnego utrzymania ruchu systemów AGV w magazynach
Przemysłu 4.0 z integracją danych technicznych i operacyjnych oraz wykorzystaniem
logiki rozmytej**

Promotor dr hab. Agnieszka Tubis, prof. PWr

1 Podstawa wykonania recenzji

Recenzja opracowana została na zlecenie Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Wrocławskiej (pismo nr W10/RDND07/131/52026, bez daty, data wpływu 22 lipca 2026 r.), na podstawie Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tj. Dz. U. z 2024 r. poz. 1571). Wraz z pismem przesłano w formie drukowanej rozprawę doktorską autorstwa mgr inż. Juni Rohmana pt. *Model decyzyjny proaktywnego utrzymania ruchu systemów AGV w magazynach Przemysłu 4.0 z integracją danych technicznych i operacyjnych oraz wykorzystaniem logiki rozmytej*.

Recenzja stanowi element postępowania o nadanie Panu mgr inż. Juni Rohmanowi stopnia doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie Inżynieria mechaniczna.

2 Ogólna charakterystyka pracy

Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest zastosowanie modelowania rozmytego do wspomagania decyzji związanych z utrzymaniem floty urządzeń AGV (Automated Guided Vehicle) w systemie intralogistycznym (magazynie) w oparciu o dane rzeczywiste.

Temat ten został przedstawiony przez Doktoranta w formie rozprawy w języku polskim, która obejmuje:

- 120 stron tekstu zasadniczego oraz 10 stron obejmujących spisy, streszczenia i stronę tytułową,

- bibliografię liczącą 115 pozycji, w tym artykuły naukowe, materiały konferencyjne, monografie i rozdziały w monografiach, w znacznej większości w języku angielskim (w tym jedna pozycja współautorska Doktoranta),
- 5 rozdziałów numerowanych, wykaz skrótów i oznaczeń, streszczenia w języku polskim i angielskim oraz aneksy.

Zasadnicza treść rozprawy zawarta jest w rozdziałach od 2. do 5. Rozprawa ma formę książkową, a jej układ jest zgodny z formą przyjętą dla dysertacji naukowych. W rozprawie najpierw opisano zjawiska i okoliczności leżące u podstaw zagadnienia stanowiącego temat badań, następnie sformułowano założenia modelu wspierającego utrzymanie systemów AGV w magazynach, zbudowano model oparty na logice rozmytej oraz przedstawiono implementację metody w warunkach rzeczywistego systemu transportu wewnętrznego. Wyniki zastosowania metody zostały przedyskutowane i na ich podstawie sformułowano wnioski kończące rozprawę oraz kierunki dalszych badań. Rozprawa w rozdziale 2. przedstawia przegląd stanu wiedzy, a dodatkowo ujawnia go w dalszych rozdziałach, wraz z omawianiem kolejnych elementów tematu. Zastosowane przez Doktoranta podejście jest spójne, a rozprawa czytelna.

W rozdziale 3.2 Doktorant sformułował cel badawczy, którym 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.”*

W kolejnych rozdziałach Doktorant realizuje swoje zamierzenie badawcze. Układ treści rozprawy, jej podział na rozdziały i podrozdziały oraz sformułowanie problemu badawczego, celów, pytań badawczych i wniosków są ogólnie prawidłowe i logiczne oraz pozostają w zgodności z przyjętymi zasadami pisania pracy naukowej. Widoczny jest dość wyraźny podział na część określającą bieżący stan wiedzy i zaawansowania technicznego w dziedzinie utrzymania AGV oraz część koncepcyjną, w której Doktorant zaprezentował model wykorzystujący logikę rozmytą i jego zastosowanie. Badania zostały udokumentowane za pomocą grafik oraz tabel.

Stwierdzam zatem, że struktura pracy odpowiada charakterowi dysertacyjnemu, a sposób sformułowania i ujęcia tematu badawczego jest poprawny.

3 Ocena doboru tematu

Współczesne łańcuchy dostaw, a zatem także systemy intralogistyczne, stoją przed nowymi wyzwaniami wynikającymi ze zmian technologicznych, gospodarczych i geopolitycznych, a także z ewolucji zachowań konsumentów. Niezawodność, elastyczność, wielokanałowość oraz krótki czas i względnie niski koszt stały się oczekiwanymi cechami obsługi logistycznej, a te wymagają niezawodnych i wydajnych rozwiązań technologicznych.

Rozwijana od 2011 roku koncepcja Przemysłu 4.0 oraz jej odmiany wywarły istotny wpływ na rozwój systemów intralogistycznych, zwłaszcza w obszarze gromadzenia i przesyłania danych, ich przetwarzania w czasie rzeczywistym, wspomagania podejmowania decyzji oraz sterowania procesami. Wdrażanie tych rozwiązań sprzyja rozwojowi

predykcyjnego i proaktywnego utrzymania technicznego, integrowanego z nadrzędnymi systemami takimi jak MES, WMS, WCS i MFC. W takich warunkach automatyka magazynowa stała się jednym z czynników decydujących o efektywności procesów logistycznych. Rozwiązania automatyczne pozwalają w określonych warunkach zwiększać wydajność, powtarzalność i bezpieczeństwo operacji, a jednocześnie ograniczać liczbę błędów i koszty pracy.

Zautomatyzowane systemy transportu wewnętrznego wykorzystujące pojazdy AGV (Automated Guided Vehicles) są stosowane od lat 50. XX wieku. W ostatnich latach rozwiązania te podlegają intensywnym zmianom technologicznym stanowiącym przedmiot badań naukowych i wdrożeń przemysłowych. Szczególne znaczenie mają nowe technologie autonomicznej nawigacji i lokalizacji, dynamicznego planowania tras, zdecentralizowanego zarządzania flotą oraz diagnostyki predykcyjnej. Rozwój ten poszerza możliwości automatycznie sterowanych pojazdów, a jednocześnie prowadzi do upowszechniania autonomicznych robotów mobilnych (AMR, Autonomous Mobile Robots). Intensywne prace prowadzone są także w obszarze integracji systemowej, współdziałania urządzeń, bezpieczeństwa, zasilania oraz utrzymania technicznego.

W utrzymaniu technicznym automatyki magazynowej, w tym pojazdów AGV, strategię reaktywne i planowe są uzupełniane elementami diagnostycznymi, predykcyjnymi i proaktywnymi. Wczesne wykrywanie nieprawidłowości pozwala ograniczać ryzyko przestojów, zwiększać gotowość operacyjną i niezawodność pojazdów oraz wydłużać okres eksploatacji. W szerszej perspektywie przyczynia się to do zwiększenia efektywności systemów intralogistycznych w łańcuchach dostaw.

Narzędzia wspomagające utrzymanie pojazdów AGV mają istotne znaczenie w praktyce przemysłowej, ponieważ dostarczają podstaw do podejmowania decyzji operacyjnych. Mogą być również wykorzystywane w realizacji umów serwisowych oraz stanowić kryterium wyboru dostawcy wyposażenia. Rozwijanie nowych metod w tym obszarze ma zatem zarówno znaczenie poznawcze, jak i potencjał wdrożeniowy.

Modelowanie z wykorzystaniem logiki rozmytej stanowi ugruntowane podejście do formalizacji wiedzy eksperckiej oraz wnioskowania na podstawie niejednoznacznych reguł. Koszt obliczeniowy takich rozwiązań zależy przede wszystkim od liczby zmiennych, reguł oraz funkcji przynależności, jednak w zastosowaniach praktycznych zazwyczaj nie stanowi istotnej bariery wdrożeniowej.

Na tej podstawie można stwierdzić, że kierunek badań przyjęty przez Doktoranta jest przyszłościowy oraz dobrze odpowiada aktualnym i praktycznym potrzebom sektora logistycznego i przemysłu. Badania nad praktycznym wspomaganiem utrzymania flot pojazdów za pomocą modeli opartych na logice rozmytej mają istotną wartość poznawczą i aplikacyjną. Proponowany obszar badawczy i narzędzia badawcze wpisują się w aktualne kierunki badań nad systemami intralogistycznymi.

Biorąc pod uwagę powyższe oraz dorobek badawczy w tym obszarze, należy stwierdzić, że podjęte przez Doktoranta zagadnienie ma istotny potencjał poznawczy, może stanowić podstawę rozprawy doktorskiej, a ponadto wykazuje duży potencjał aplikacyjny.

4 Analiza treści rozprawy

Rozdział **pierwszy**, pt. *Wprowadzenie do problematyki proaktywnego utrzymania systemów AGV w środowisku Przemysłu 4.0*, przedstawia ogólne przesłanki podjęcia tematu badań. Doktorant wskazuje na rosnące znaczenie AGV w zautomatyzowanych procesach intralogistycznych oraz na konsekwencje niedostępności pojazdów AGV dla jakości realizacji zadań. Formułuje wstępnie lukę badawczą i cel rozprawy oraz przedstawia strukturę pracy.

Rozdział obejmuje trzy strony, ma charakter syntetyczny i poprawnie wprowadza w problematykę badań. W rozdziale sformułowano bardzo szeroki zakres proponowanego rozwiązania, szerszy od zakresu modelu faktycznie przedstawionego w zasadniczej części rozprawy.

Rozdział **drugi**, pt. *Analiza stanu wiedzy w zakresie utrzymania ruchu oraz eksploatacji systemów AGV w środowisku Intralogistyki 4.0*, zawiera przegląd stanu wiedzy dotyczący Przemysłu 4.0, Logistyki 4.0, intralogistyki i Magazynu 4.0. Doktorant omawia technologie wspierające automatyzację procesów magazynowych, następnie charakteryzuje systemy AGV, warunki ich eksploatacji oraz kierunki rozwoju utrzymania ruchu tych urządzeń.

Znaczną część rozdziału poświęcono klasyfikacji strategii utrzymania ruchu i ewolucji podejścia od utrzymania reaktywnego i zapobiegawczego aż do podejść proaktywnych. Zgodnie z ustaleniami Doktoranta podejście predykcyjne ma umożliwiać przewidywanie przyszłych uszkodzeń, natomiast podejście proaktywne powinno dodatkowo wskazywać działanie, jego priorytet oraz konsekwencje operacyjne. Takie rozróżnienie jest istotne dla oceny modelu przedstawionego w dalszej części rozprawy.

Rozdział 2. obejmuje 29 stron, tj. około 29% zasadniczej części rozprawy. Przegląd jest szeroki i zasadniczo poprawnie wprowadza w problematykę AGV oraz utrzymania ruchu. Względnie mało miejsca przeznaczono jednak na analizę podejść zbliżonych do rozwiązania Doktoranta i charakterystykę samego AGV jako przedmiotu badań.

W rozdziale **trzecim**, pt. *Problem badawczy, cel oraz zakres pracy związany z modelem proaktywnego utrzymania ruchu systemów AGV*, Doktorant zidentyfikował lukę badawczą, zdefiniował problem badawczy, sformułował pięć pytań badawczych i omówił etapy pracy. Luka ma polegać na braku zintegrowanego, systemowego modelu decyzyjnego wspomagającego utrzymanie flot AGV, uwzględniającego dane techniczne i operacyjne, współzależności zasobów, niepewność danych oraz wpływ decyzji na funkcjonowanie systemu intralogistycznego. Sformułował także cel główny, siedem celów szczegółowych i cel użyteczny. Cele dotyczą identyfikacji czynników degradacji, analizy strategii utrzymania, integracji danych diagnostycznych i operacyjnych, odwzorowania niepewności, priorytetów interwencji, implementacji i walidacji modelu.

Rozdział obejmuje pięć stron. Problem, pytania i cele badawcze są logiczne i zgodne z luką badawczą. Zakres celu głównego i niektórych pytań wydaje się zbyt szeroki w stosunku do zrealizowanych badań, o czym wspomniano w punkcie 6. recenzji.

Rozdział **czwarty**, pt. *Koncepcja i formalizacja modelu proaktywnego utrzymania ruchu jako systemu decyzyjnego opartego na logice rozmytej*, stanowi zasadniczą część rozprawy i główne osiągnięcie Doktoranta. Obejmuje 57 stron, tj. około 58% zasadniczej części pracy.

W pierwszej części rozdziału omówiono koncepcję modelu FPMDF, która obejmuje identyfikację czynników z wykorzystaniem diagramu Ishikawy, selekcję zmiennych za pomocą

analizy Pareto-Lorenza, budowę wielopoziomowej architektury systemu rozmytego, implementację w MATLAB oraz weryfikację i walidację rozwiązania.

Płaski diagram Ishikawy wykorzystano jako narzędzie eksploracyjne i porządkujące, co jest zasadne na etapie identyfikacji przestrzeni problemu badawczego z pewnymi zastrzeżeniami sformułowanymi w punkcie 6. recenzji. Diagram nie przedstawia rozwiniętych łańcuchów prowadzących do bezpośrednich przyczyn wystąpienia zakłóceń.

Analizę Pareto-Lorenza przeprowadzono dla systemu zasilania, układu napędowego oraz systemu nawigacji na podstawie danych pozyskanych w czasie trzymiesięcznej obserwacji prowadzonej w 2024 r. w przedsiębiorstwie z branży *automotive*. Realizacja analizy jest poprawna z pewnymi zastrzeżeniami sformułowanymi w punkcie 6. recenzji.

Następnie Doktorant opracował system wnioskowania rozmytego typu Mamdaniego (FPMDF). Architektura systemu obejmuje pięć bloków lokalnej oceny podsystemów, cztery bloki agregacyjne i blok decyzyjny. Model integruje informacje dotyczące układu przenoszenia ładunku, napędu, zasilania, nawigacji, komunikacji, środowiska i historii eksploatacji. Wyniki pośrednie przedstawiono na wspólnej skali (ciągły wskaźnik S^*) w zakresie 0-10 oraz w jednej z trzech klas: krytyczny, ostrzeżenie lub akceptowalny. Zastosowanie logiki rozmytej Mamdaniego jest odpowiednie dla badanego problemu. Należy zauważyć, że model nie zawiera jawnego zapisu relacji między pojazdami, a także zadaniami, które realizują, co może rzutować na postrzeganie proponowanego rozwiązania jako systemowego modelu floty. Proaktywny charakter modelu również został zrealizowany w ograniczonym zakresie.

W dalszej części rozdziału przedstawiono implementację w środowisku MATLAB, formalną kontrolę funkcji przynależności i reguł, walidację ekspercką (20 ekspertów) oraz ocenę stabilności modelu. Zakres zrealizowanych testów jest szeroki i poprawny, chociaż walidacja ma charakter wewnętrzny (użycie jednego zestawu scenariuszy).

Rozdział kończy opis ewaluacji wdrożeniowej. Doktorant przeprowadził trzymiesięczną ewaluację modelu dla 12 pojazdów AGV analizując dostępność, MTBF, MTTR, przestoje i koszty utrzymania wykazując korzystne zmiany KPI w okresie stosowania. Pewną słabością jest brak okresu bazowego lub grupy kontrolnej dla porównania uzyskanych wyników.

Rozdział **piąty**, pt. *Wnioski, wkład pracy, ograniczenia oraz kierunki dalszych badań*, obejmuje pięć stron. Doktorant przedstawił wnioski, deklarowany wkład naukowy i praktyczny, ograniczenia badań oraz propozycje dalszego rozwoju modelu. Za wkład naukowy uznał opracowanie interpretowalnego modelu FPMDF, architektury integracji informacji, połączenie diagramu Ishikawy, analizy Pareto-Lorenza i logiki rozmytej, wykorzystanie wiedzy eksperckiej oraz rozszerzenie sposobu oceny modelu o analizę stabilności i KPI. Doktorant trafnie wskazuje część ograniczeń podejścia oraz proponuje kierunki dalszych badań, w szczególności analizę zmian i rozwój mechanizmów predykcyjnych. Kierunki te są zasadne, ale jednocześnie wskazują, że część funkcji deklarowanych w celu głównym nie została w pełni zrealizowana w aktualnej wersji modelu.

Stwierdzenie Doktoranta, że cel główny osiągnięto w całości może być zbyt kategoryczne. Opracowano i przetestowano wartościową koncepcję modelu oceny stanu zbioru pojazdów AGV wraz z pewnymi konsekwencjami dla systemu (koszty, dostępność), ale nie włączono do niej modelowania współzależności między pojazdami i przydziałem zadań i wpływu decyzji na funkcjonowanie systemu intralogistycznego. Cel główny został zasadniczo osiągnięty, przy

czym jego elementy dotyczące współzależności między pojazdami i wpływu decyzji na proces intralogistyczny zrealizowano częściowo.

Pracę uzupełnia **aneks**, zawierający wartości krytyczne i progi zmiennych wejściowych oraz 54 reguły końcowego systemu FIS.

Literatura wykazana w **Bibliografii** obejmuje 115 pozycji. Dominują artykuły naukowe w czasopismach (w znacznej większości anglojęzyczne), w tym jedna publikacja współautorska Doktoranta. Wykaz obejmuje 29 publikacji starszych niż dziesięć lat, jednocześnie 57 pozycji opublikowano w latach 2020-2025, co świadczy o aktualności wykorzystanej literatury. Dobór źródeł jest odpowiedni i szeroki, chociaż w ograniczonym stopniu omawia rozwiązania pokrewne proponowanemu.

Rozprawa ma logiczną strukturę, prowadzącą od przeglądu literatury i sformułowania problemu do budowy oraz oceny modelu. Jej zasadniczą wartością jest opracowanie interpretowalnej, hierarchicznej koncepcji integracji danych technicznych, środowiskowych i historycznych w ocenie AGV, z zastrzeżeniem, że w ograniczonym stopniu ujmuje ona deklarowany poziom systemowy funkcjonowania AGV.

5 Ocena merytoryczna rozprawy i jej celu

Zamierzenie Doktoranta, sformułowane jako opracowanie i weryfikacja systemowego modelu wspomagającego podejmowanie decyzji utrzymaniowych dla flot AGV w środowisku Magazynu 4.0, należy uznać za zrealizowane. Osiągnięto także cel użyteczny polegający na opracowaniu narzędzia mogącego rozszerzać systemy zarządzania magazynem lub flotą AGV. Doktorant opracował model FPMDF, zaimplementował go w MATLAB oraz poddał weryfikacji, walidacji eksperckiej i ewaluacji z wykorzystaniem danych eksploatacyjnych.

Sformułowane w rozprawie cele (str. 35) tworzą poprawną i spójną strukturę badań. Najpełniej zrealizowano cele dotyczące identyfikacji czynników, integracji informacji, formalizacji wiedzy eksperckiej oraz budowy i implementacji modelu rozmytego. Pytania badawcze w większości uzyskały odpowiedź w zakresie odpowiadającym opracowanej architekturze.

Zakres zrealizowanego rozwiązania jest nieco węższy niż wynikałoby to ze sformułowania celu głównego, ale nie jest to kwestia wagi krytycznej. Model dokonuje oceny stanu kolejnych pojazdów AGV, a w mniejszym stopniu uwzględnia współzależności między pojazdami i strukturę zadań w procesie oraz elementy prognostyczne. Elementy te należy traktować jako kierunek dalszego rozwoju koncepcji. Nie umniejsza to wartości opracowanego modelu jako interpretowalnego narzędzia wspomagania decyzji utrzymaniowych.

O oryginalności badań Doktoranta stanowią w szczególności:

- opracowanie hierarchicznej architektury FPMDF integrującej informacje techniczne, komunikacyjne, środowiskowe i historyczne nt. pracy AGV,
- formalizacja wiedzy eksperckiej w postaci systemu reguł rozmytych,
- połączenie identyfikacji czynników za pomocą diagramu Ishikawy, priorytetyzacji za pomocą analizy Pareto-Lorenza oraz modelowania rozmytego,
- opracowanie ciągłego wskaźnika S^* i trzech klas decyzji utrzymaniowych,
- zastosowanie wieloaspektowej procedury oceny modelu,
- przeprowadzenie walidacji scenariuszowej (20 ekspertów),

- przeprowadzenie ewaluacji wdrożeniowej dla floty 12 pojazdów AGV.

Za zasadnicze osiągnięcie naukowe Doktoranta należy uznać treści rozdziału 4., obejmujące koncepcję, formalizację, implementację oraz ocenę modelu FPMDF. Oryginalność modelu wynika z autorskiego sposobu zestawienia zmiennych, organizacji hierarchicznego procesu wnioskowania i jego ukierunkowania na utrzymanie pojazdów AGV. Pomimo ograniczonych zdolności prognostycznych FPMDF może być traktowany jako istotny element proaktywnego systemu utrzymania ruchu.

Rozprawa napisana została zasadniczo poprawnym językiem. Układ treści jest w swoim założeniu logiczny. Pewne zastrzeżenia w tym zakresie sformułowano w punkcie 6. recenzji, jednakże nie mają one wagi krytycznej.

Reasumując, stwierdzam, że zarówno naukowy jak i użyteczny cel rozprawy został osiągnięty, a moja ocena merytoryczna rozprawy jest pozytywna.

6 Uwagi do rozprawy i pytania

Sformułowane poniżej uwagi i pytania nie wpływają w sposób zasadniczy na ocenę merytoryczną, ale mają na celu uporządkowanie niektórych aspektów rozprawy oraz ukierunkowanie przyszłych prac Doktoranta.

Uwagi ogólne:

1. Na str. 1 przetłumaczono Automated Guided Vehicles jako „automatyczne wózki transportowe” co oddaje szeroki sens zastosowania tych urządzeń, ale nie jest precyzyjne z punktu widzenia semantycznego i klasyfikacyjnego. Kategoria „automatycznych wózków transportowych” jest szersza niż AGV.
2. Wybrane pojęcia w rozprawie nie są definiowane wprost, w szczególności: Magazyn 4.0, utrzymanie ruchu. Ich definicja jest ujawniana poprzez kolejne konteksty zastosowań. Korzystne z punktu widzenia jasności przekazu byłoby jednoznaczne definiowanie pojęć i odnoszenie się do nich.
3. Pojęcia automatyzacji i autonomizacji nie są precyzyjnie rozróżnione i wykorzystywane w rozprawie (np. drugi akapit, str. 14, drugi akapit od dołu, str. 19), zwłaszcza w kontekście funkcjonalności i definicji klasyfikacyjnej Automated Guided Vehicle.
4. W rozprawie zabrakło syntetycznej klasyfikacji systemów i rozwiązań AGV, szczególnie w zakresie typowych konstrukcji, podzespołów, mechanizmów kierowania i orientacji w przestrzeni oraz typowych usterek klasyfikowanych w innych badaniach. Pozwoliłoby to uniknąć niejasności przy określaniu elementów systemu AGV wymienionych w tabeli 2.3 (nie jest jasne, czy zalicza się do nich także otoczenie – oznakowanie, systemy prowadzenia, systemy zasilania i czy jest to lista zamknięta). Zabrakło także jasnego rozróżnienia między AGV a rozwiązaniami typu AMR i wózkami tzw. inteligentnymi. Nieostre pojęcie AGV stosowane w rozprawie utrudnia ocenę uniwersalności proponowanego podejścia, ale nie wpływa na jego poprawność.
5. W rozprawie nie podano typu analizowanych urządzeń AGV, opisu działań operacyjnych, które wykonują ani opisu aktualnie stosowanego systemu utrzymania. Utrudnia to w pewnym stopniu ocenę skalowalności proponowanego podejścia na inne systemy.

6. W tabeli 4.3. podano liczby ujawnionych przypadków wystąpienia określonych zdarzeń, ale nie wskazano warunków, w których miały one miejsce ani skali odchyień od normy, która mogłaby wskazywać na wybrane czynniki w większym stopniu niż na pozostałe.
7. W zakresie przeglądu literatury nie przedyskutowano dostatecznie modeli i rozwiązań konkurencyjnych lub zbliżonych do proponowanego w rozprawie rozwiązania (np. zawarte w spisie publikacje [8] i [94]). Tym samym nie ustalono jednoznacznego punktu odniesienia dla wymienionych w rozprawie nowych cech proponowanego podejścia.
8. W rozdziałach od 1. do 3. Doktorant zapowiedział opracowanie systemowego modelu utrzymania floty AGV. W sformułowaniu luki badawczej na str. 37 stwierdził, że brak jest modelu, który będzie uwzględniał m.in. „określanie priorytetów interwencji oraz analizę wpływu podejmowanych decyzji na funkcjonowanie systemu intralogistycznego w warunkach niepewności”. Jednocześnie w celu głównym pracy (str. 35) postuluje opracowanie modelu systemowego, który m.in. „integruje dane techniczne i operacyjne, uwzględnia współzależności między zasobami oraz umożliwia ocenę wpływu podejmowanych decyzji na funkcjonowanie systemu intralogistycznego w warunkach niepewności.” O ile pełne pokrycie luki badawczej nie jest obowiązkowe, to deklarowane w celu pracy i innych miejscach uwzględnienie danych operacyjnych, danych o współzależnościach między zasobami i ocena wpływu decyzji na cały system intralogistyczny zostały uwzględnione tylko częściowo – przez warstwę KPI opartych na dostępności i koszcie. Model FPMDF bada stan pojedynczego pojazdu AGV i nie wskazuje bezpośrednio na powiązania między zadaniami i innymi pojazdami. Dopiero ewaluacja KPI integruje wybrane wskaźniki dla całej floty.
9. Doktorant zdefiniował podejście proaktywne jako obejmujące prognozowanie degradacji oraz wybór działań i ocenę ich konsekwencji (str. 26 i 30), tymczasem model FPMDF nie zawiera jawnych mechanizmów prognostycznych.
10. Parametryzacja FIS została omówiona w najważniejszych obszarach, ale dość ogólnie. Nie przedstawiono pełnych parametrów funkcji przynależności ani uzasadnienia punktów załamania.
11. Diagram Ishikawy (str. 43, rys. 4.2 i tabela 4.2) został wykorzystany poprawnie, jednak jego konstrukcja wymagałaby większej konsekwencji. W poszczególnych kategoriach połączono przyczyny źródłowe, symptomy techniczne, mierniki diagnostyczne i skutki zdarzeń, a część czynników przypisano do kategorii w sposób dyskusyjny (np. obniżenie dokładności LIDAR umieszczono w kategorii „Zarządzanie”). Katalog nie jest również kompletny z punktu widzenia techniki AGV, np. w obszarze oprogramowania, komunikacji, infrastruktury i organizacji pracy floty.
12. W analizie Pareto-Lorenza przyjęto próg odcięcia 80%, który spowodował odrzucenie wybranych czynników, ale nie uzasadniono dostatecznie wartości tego progu. Dodatkowo analiza obejmuje trzy podsystemy, ale ostatecznie w modelu uwzględniono także wejścia dotyczące przenoszenia ładunku, komunikacji, otoczenia i danych historycznych.
13. W ewaluacji wdrożeniowej nie wskazano jasno badania kontrolnego, które służyłoby do jasnego wykazania korzyści płynących ze stosowania modelu, ani informacji o wykonanych zadaniach. Należy wskazać, że Doktorant dostrzega to ograniczenie.

14. Na str. 85 Doktorant wskazuje, że scenariusze wykorzystane do walidacji służyły również do strojenia modelu, co powoduje pewne zapętlenie przy ustalaniu poziomu zgodności modelu.

Uwagi polemiczne:

1. Przymioty Magazynu 4.0 podane w tabeli 2.1, str. 10, poza cyber-fizycznym charakterem systemu oraz integracją informacyjną i wspomaganie decyzji, można zaliczyć do standardowych funkcji magazynu w łańcuchu dostaw.
2. Akapit drugi od dołu, str. 14. Doktorant stwierdza: „Na tle klasycznych systemów transportu wewnętrznego AGV wyróżniają się wysoką elastycznością przestrzenną i operacyjną”, co jest zasadne tylko w określonych przypadkach. Systemy AGV zasadniczo projektowane są do konkretnych zastosowań, w określonych warunkach operacyjnych, których zmiana wymaga wysiłku organizacyjnego, programistycznego i sprzętowego, który nie występuje w przypadku urządzeń kierowanych przez pracowników.
3. W akapicie pierwszym, str. 17, Doktorant stwierdza „W odróżnieniu od urządzeń pracujących w warunkach względnie stabilnych, eksploatacja AGV przebiega w środowisku dynamicznym i niestacjonarnym...”. Systemy AGV (i podobne), jak wskazano wyżej, projektowane są dla określonych, tj. znanych wcześniej, warunków eksploatacji, a systemy transportu wewnętrznego wykorzystujące wózki widłowe kierowane i prowadzone mogą obsługiwać procesy znacznie bardziej dynamiczne i zmienne.
4. W sformułowaniu problemu badawczego (str. 34) Doktorant postuluje opracowanie „modelu wspomagającego (...) utrzymanie floty AGV funkcjonującej w środowisku Magazynu 4.0.”. Należy jednak zauważyć, że systemy AGV w formie klasycznej nie wymagają środowiska Przemysłu 4.0 do funkcjonowania.

Uwagi techniczne:

1. Wykaz skrótów i oznaczeń nie został uporządkowany alfabetycznie, co utrudnia korzystanie z niego w trakcie lektury rozprawy.
2. Rozprawa, zwłaszcza w rozdziałach 2. i 3. napisana została tekstem nadmiarowym, w którym część treści i pojęć jest często powtarzana. Uproszczenie stylu pisarskiego i bardziej precyzyjne i jednorazowe opisy ułatwiłoby odbiór tekstu.
3. W niektórych przypadkach brak jest w tekście odwołań do tabel (np. tabela 2.8).
4. W rozprawie znaleziono usterki językowe (np. str. 1 „Na ostatnim Rozdział 5 ...”, str. 1 „Problem badawczy, pytanie badawczy oraz cel pracy związany z modelu proaktywnego...”, str. 15 „Platformy transportowy”, str. 27 „planowalność działań”, str. 31 „proces ich eksploatacja”, str. 40 „Eksploracja probelumu”, str. 51 „na pierwszym poziomie”, str. 67 „opracowanego struktury modelu”, str. 68 „aktywowalność reguł”, str. 96 „metodyczny”, str. 97 „ciągowy wskaźnik”, str. 89 „spójny mechanicznie”), a także błędy ortograficzne, gramatyczne i stylistyczne (np. str. 17 „Zatem, że ocena stanu technicznego AGV nie może być prowadzona...”). Błędy nie są liczne, często mają charakter około-edycyjny i nie utrudniają odbioru rozprawy.
5. W tekście rozprawy Doktorant stosuje obco brzmiące pojęcie „framework” i jego odmiany, stosuje słowo „granularność” zamiast bardziej poprawnego „ziarnistość” oraz inne kalki z języka angielskiego.

6. Na str. 82 Doktorant wskazuje na równania (15)–(16), zamiast odpowiadających im oznaczeń 4.32–4.33.

Pytania:

1. Podejście proaktywne zdefiniowano jako obejmujące prognozowanie degradacji oraz wybór działań i ocenę ich konsekwencji (str. 26 i 30). W modelu zrealizowano przede wszystkim integrację informacji o bieżącym stanie, warunkach pracy i historii eksploatacji. Proszę doprecyzować jakie cechy pozwalają określać FPMDF jako model proaktywny oraz które funkcje proaktywnego utrzymania pozostają poza jego zakresem?
2. Które elementy modelu FPMDF i całego proponowanego w rozprawie podejścia opisują pojedynczy pojazd, a które współzależności między pojazdami i ich zadania w procesie magazynowym?
3. Czy model ma charakter uniwersalny, czy został skalibrowany dla konkretnego typu AGV? Które funkcje przynależności, progi i reguły wymagałyby dostosowania przy innej konstrukcji pojazdu lub innym magazynie?
4. Jakie dane i warunki porównania pozwoliłyby wykazać wpływ zastosowania FPMDF na efektywność procesu magazynowego, z uwzględnieniem zmian obciążenia floty i rzeczywiście podjętych interwencji?
5. Jaka jest różnica między rozwiązaniami automatycznymi a autonomicznymi w intralogistyce?

Przedstawione powyżej uwagi i pytania mają charakter wyłącznie dyskusyjny i nie rzutują znacząco na jakość osiągnięcia naukowego Pana mgr inż. Juni Rohman.

7 Ocena metod stosowanych oraz samodzielności rozwiązania zagadnienia

Samodzielność rozwiązania zagadnienia przedstawionego w rozprawie nie budzi zastrzeżeń. Wykorzystując analizę literatury, dane eksploatacyjne oraz pozyskaną wiedzę ekspercką Doktorant opracował autorski model FPMDF wspomagający podejmowanie decyzji w utrzymaniu ruchu pojazdów AGV w badanym systemie intralogistycznym. Dobór logiki rozmytej i systemu wnioskowania typu Mamdaniego należy uznać za odpowiedni wobec niepewności danych oraz jakościowego charakteru przesłanek decyzyjnych.

W procesie budowy modelu zastosowano diagram Ishikawy, analizę Pareto-Lorenza, hierarchiczny system FIS, implementację w MATLAB, walidację scenariuszową z udziałem ekspertów oraz ewaluację na podstawie danych eksploatacyjnych. Zastosowane metody są prawidłowe i prowadzą do oczekiwanego wyniku, tj. opracowania i wstępnego zweryfikowania modelu wspomagającego ocenę stanu pojazdów AGV oraz dobór działań utrzymaniowych.

Pewne zastrzeżenia dotyczą klasyfikacji i kompletności czynników wejściowych oraz ograniczonego uwzględnienia zależności między pojazdami a procesem magazynowym. Nie podważają one jednak zasadniczej wartości zastosowanego podejścia. Przeprowadzony proces badawczy, opracowanie i implementacja modelu oraz analiza wyników potwierdzają dobre opanowanie przez Doktoranta metod modelowania i wspomagania decyzji w zakresie eksploatacji zautomatyzowanych systemów transportu wewnętrznego, właściwych dla dyscypliny inżynieria mechaniczna.

8 Podsumowanie i konkluzja oceny rozprawy doktorskiej

Przeprowadzona analiza rozprawy uzasadnia opinię, że stanowi ona oryginalny wkład w rozwój metod modelowania i wspomagania decyzji w obszarze utrzymania ruchu systemów AGV. Za najważniejsze osiągnięcie Doktoranta należy uznać opracowanie i zweryfikowanie modelu FPMDF integrującego dane techniczne, operacyjne, środowiskowe i historyczne z wykorzystaniem logiki rozmytej. Sformułowane w recenzji uwagi dotyczące zakresu systemowego modelu, doboru jego parametrów oraz sposobu walidacji nie podważają pozytywnej oceny rozprawy.

Biorąc pod uwagę powyższe uważam, że rozprawa Pana mgra inż. Juni Rohmana pt. *Model decyzyjny proaktywnego utrzymania ruchu systemów AGV w magazynach Przemysłu 4.0 z integracją danych technicznych i operacyjnych oraz wykorzystaniem logiki rozmytej* prezentuje wymaganą ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie inżynieria mechaniczna, potwierdza jego umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej oraz przedstawia oryginalne rozwiązanie problemu naukowego o potencjale aplikacyjnym. Rozprawa spełnia tym samym wymagania określone w art. 187 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2024 r. poz. 1571).

W związku z powyższym wnioskuję o przyjęcie rozprawy doktorskiej oraz dopuszczenie Pana mgra inż. Juni Rohmana do publicznej obrony w postępowaniu o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

prof. dr hab. inż. Konrad Lewczuk

Konrad Ryszard
Lewczuk

Digitally signed by
Konrad Ryszard Lewczuk
Date: 2026.09.23
19:08:09 +02'00'