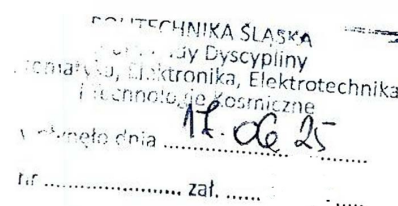


dr hab. inż. Grzegorz Klekot, prof. uczelni
Politechnika Warszawska
Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych

Warszawa, 10.06.2025 r.



Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr. inż. Muhammada Ahsana
pt. „Vehicle Diagnostics using Artificial Intelligence
and Digital Signal Processing Methods”

(„Diagnostyka pojazdów z wykorzystaniem sztucznej inteligencji
i metod cyfrowego przetwarzania sygnałów”)

Podstawy formalne opracowania recenzji:

Recenzję pracy doktorskiej mgr. inż. Muhammada Ahsana opracowano zgodnie z uchwałą Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologia Kosmiczne Politechniki Śląskiej z dnia 18 marca 2025 roku.

1. Uwagi o wyborze tematyki pracy

Dzięki rozwojowi motoryzacji samochody są przedmiotami powszechnego użytku. Bezpieczna, komfortowa, bezawaryjna eksploatacja tych skomplikowanych maszyn jest uwarunkowana monitorowaniem zmian parametrów procesów fizycznych lub chemicznych towarzyszących pracy poszczególnych mechanizmów i zespołów.

Układy kontrolno-sterujące są permanentnie doskonalone, współczesne samochody wyposażono w rozwiązania ograniczające konieczność angażowania człowieka do interpretacji parametrów eksploatacyjnych; rozszerzana jest baza cech – źródeł informacji o potencjalnych uszkodzeniach lub awariach. Coraz większego znaczenia dla diagnostyki nabierają procesy wibroakustyczne, zwłaszcza drgania rejestrowane w wybranych punktach maszyny.

Biorąc pod uwagę powyższe uważam, że tematyka pracy jest aktualna, a badania nad wykorzystaniem cyfrowego przetwarzania sygnałów drganiowych oraz sztucznej inteligencji do diagnozowania pojazdów mają znaczenie użytkowe i naukowe.

2. Charakterystyka pracy

Przedstawiona do oceny praca liczy 179 stron. Główna część merytoryczna zawiera 119 stron tekstu łącznie z rysunkami i tabelami. Resztę stanowią: 2 strony tytułowe, deklaracja Autora, podziękowania, spis treści, lista rysunków, lista tabel, streszczenia w języku angielskim i polskim, wykaz publikacji Autora, bibliografia licząca 126 pozycji, oraz 6 załączników (dane techniczne elementów rejestratora drgań, opis procedur obliczeniowych, rezultaty weryfikacji efektywności uczenia maszynowego struktur modelowych).

W pierwszym rozdziale zatytułowanym „Wprowadzenie” Autor sygnalizuje celowość diagnostyki samochodowych silników spalinowych przy wykorzystaniu sygnałów drganiowych przetwarzanych miniaturowymi akcelerometrami MEMS, zwraca uwagę na możliwość analizy w dziedzinach czasu i częstotliwości, podkreśla rolę metod uczenia maszynowego i sztucznej inteligencji w aspektach diagnostycznych, oraz przedstawia zakres i strukturę rozprawy.

Rozdział drugi zawiera podstawowe informacje o akcelerometrze i mikrokontrolerze na bazie których zbudowano zestaw do akwizycji i przetwarzania drgań, oraz o kalibracji toru pomiarowego.

W trzecim rozdziale Doktorant omówił eksperyment stanowiskowy, podczas którego zarejestrowano przebiegi czasowe przyspieszeń drgań silnika samochodu osobowego przy kilku prędkościach obrotowych z różnym obciążeniem w warunkach zadanej usterki układu zapłonowego. Przedstawił również źródła literaturowe użytych na potrzeby rozprawy zbiorów danych z zarejestrowanymi drganiami łóżysk tocznych wraz z opisem tych badań. Badania eksperymentalne z wykorzystaniem autorskiego rejestratora drgań uważam za istotną część pracy.

Zagadnieniom cyfrowego przetwarzania sygnałów w aspekcie diagnozowania wybranych usterek pojazdu poświęcono rozdział czwarty. Zwrócono uwagę między innymi na walory i ograniczenia szybkiej transformaty Fouriera, projektowanie filtrów optymalizowanych pod kątem konkretnych usterek, użyteczność analizy obwiedni oraz przekształcenia falkowego do wykrywania uszkodzeń.

W kolejnym rozdziale Doktorant przedyskutował przydatność metod sztucznej inteligencji do diagnozowania błędów zapłonu silnika spalinowego. W szczególności przeanalizował efektywność wnioskowania z wykorzystaniem sieci neuronowych operujących na jedno i dwuwymiarowych reprezentacjach przebiegów drgań.

Podsumowanie uzyskanych efektów badań Autor przedstawił w ostatnim, szóstym rozdziale. Uwypuklił potencjał wspartych sztuczną inteligencją niskobudżetowych platform sprzętowych bazujących na akcelerometrach MEMS w diagnostyce maszyn, sygnalizując jednocześnie ograniczenia takich rozwiązań. Doktorant wskazał również celowość poszerzania różnorodności danych oraz kontynuacji działań prowadzących do uzyskania możliwości automatyzacji wnioskowania diagnostycznego w czasie rzeczywistym. Osiągnięte rezultaty zachęcają do dalszego doskonalenia metodyki o dużym potencjale aplikacyjnym.

3. Ocena pracy

Praca ma charakter wielodyscyplinarny, obejmuje problematykę mieszczącą się w dziedzinie nauk inżynierijno-technicznych. Zakwalifikowanie pracy do dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne wynika ze stosowania przez Doktoranta metod i środków przetwarzania informacji typowych dla obszaru tej dyscypliny.

Przedstawiony przegląd literaturowy odzwierciedla aktualny stan wiedzy, nawiązuje do dotychczasowych badań związanych z problematyką rozprawy prowadzonych w ośrodkach zagranicznych i krajowych. Wybór literatury przedstawiony przez Autora uważam za trafny, a sposób cytowania za poprawny, świadczący o umiejętności posługiwania się materiałem bibliograficznym. Podkreślić należy własny dorobek publikacyjny Doktoranta związany z problematyką rozprawy obejmujący 4 współautorskie artykuły w uznanych czasopismach naukowych oraz 4 publikacje konferencyjne.

Autor jako cel rozprawy wskazał rozwiązanie problemów diagnostyki usterek pojazdów poprzez integrację nowoczesnych przetworników wielkości dynamicznych z metodami cyfrowego przetwarzania sygnałów i sztuczną inteligencją.

Osiągnięcie tak sformułowanego celu wymagało między innymi wykorzystania danych pomiarowych pozyskanych podczas czynnych eksperymentów diagnostycznych, zbadania przydatności różnych technik cyfrowego przetwarzania

sygnałów do wyodrębnienia informacji kluczowych, ocenienia trafności kwalifikacji niesprawności przez wybrane narzędzia sztucznej inteligencji.

Modułem pomiarowo-przetwarzającym autorstwa Doktoranta zarejestrowano drgania silnika samochodu osobowego bez uszkodzeń oraz z usterką układu zapłonowego; eksperymenty wykonano przy różnych obciążeniach i kilku prędkościach obrotowych. Bazę danych eksperymentalnych wykorzystanych do weryfikacji skuteczności analizowanych technik diagnostycznych poszerzono o przebiegi czasowe drgań łożysk tocznych udostępnione przez amerykański ośrodek badawczy.

Badania symulacyjne zrealizowane na przetworzonych danych eksperymentalnych wykazały przydatność narzędzi sztucznej inteligencji do diagnozowania stanów awaryjnych układu zapłonowego silnika samochodowego.

Praca została zakończona poprawnym podsumowaniem i wskazaniem kierunków rozwojowych; zaakcentowano użyteczność niskobudżetowych modułów pomiarowo-przetwarzających z akcelerometrami MEMS do diagnostyki pojazdów.

Zrealizowano cel pracy, a opracowana metodyka ma znaczenie użytkowe, stanowiąc wkład w rozwój nauk inżynierjno-technicznych.

Działania przedstawione w pracy oceniam pozytywnie pod względem merytorycznym i metodycznym. Autor poprawnie zrealizował badania literaturowe, opracował moduł do akwizycji drgań, właściwie zaplanował i wykonał eksperymenty stanowiskowe oraz symulacje numeryczne prowadzące do osiągnięcia celu pracy. Zaprezentował interesujące podejście do wspartego sztuczną inteligencją cyfrowego przetwarzania sygnałów, a rezultaty badań powinny usprawnić rozwiązywanie konkretnych zadań inżynierskich w obszarze diagnostyki pojazdów samochodowych.

4. Szczegółowe uwagi krytyczne

W trakcie czytania pracy nasuwają się następujące pytania i uwagi:

- W jakim stopniu na podstawie skuteczności narzędzi identyfikujących nieskomplikowaną usterkę układu zapłonowego silnika spalinowego można wnioskować o rozwiązaniu problemów diagnostyki innych usterek pojazdów?
- Jak zapewniono spójność pomiarową podczas kalibracji zestawu do rejestracji przyspieszeń drgań?
- W jakim celu sygnał drganiowy próbkowano z częstotliwością 88240 Hz jeżeli zakres liniowego przetwarzania akcelerometru nie przekracza 11 kHz?

- Jak należy rozumieć wymiary elementów łożysk tocznych podane w tabeli C1? Dlaczego obciążenie łożysk wyrażono w jednostkach spoza układu SI?
- Jakie przesłanki pozwoliły zrezygnować z oszacowania niepewności rezultatów badań eksperymentalnych? Czy niepewność pomiarów ma znaczenie dla poprawnej identyfikacji usterek?

5. Uwagi o stronie edytorskiej rozprawy

Praca pod względem edytorskim jest opracowana dość starannie, niemniej niekonsekwentne opisywanie osi właściwymi jednostkami (lub brak poziomu odniesienia dla skali decybelowej) oraz niewielki rozmiar czcionki utrudniają interpretację części wykresów.

Autor nie ustrzegł pracy przed drobnymi mankamentami redakcyjnymi, dwa przykłady poniżej:

- Podpis rysunku 1.1 ilustrującego nasycenie krajów europejskich pojazdami niewłaściwie odwołuje się wielkości produkcji pojazdów w tych krajach;
- Nieprecyzyjnie podano na stronie 8 przedział całkowania w definicji wartości skutecznej (powinno być od 0 do T zamiast od T_1 do T_2).

Zasygnalizowane mankamenty nie utrudniają odbioru istoty pracy.

6. Wnioski końcowe

Wymienione przeze mnie uwagi krytyczne nie obniżają pozytywnej całościowej oceny pracy. Uważam, że przedstawiona do recenzji rozprawa jest wartościowa pod względem poznawczym i utylitarnym, zawiera nowatorskie spojrzenie na wspartą sztuczną inteligencją diagnostykę usterek pojazdów na podstawie cyfrowo przetwarzanego sygnału drganiowego.

Mgr inż. Muhammad Ahsan wykazał się umiejętnością sformułowania i samodzielnego rozwiązania problemu naukowego, jakim jest opracowanie metodyki wibracyjnego diagnozowania usterek układu zapłonowego silnika samochodowego. Właściwie zaplanował cykl badań stanowiskowych i symulacyjnych oraz wykorzystał uzyskane rezultaty do poprawnego formułowania wniosków. Doktorant wykazał, że ma wystarczający zasób wiedzy teoretycznej i umiejętności praktycznych

w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne, oraz że potrafi samodzielnie prowadzić pracę naukową.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że recenzowana praca doktorska mgr. inż. Muhammada Ahsana „Vehicle Diagnostics using Artificial Intelligence and Digital Signal Processing Methods” spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim przez ustawę z dnia z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018 r. poz. 1668 z późn. zm.) i może zostać dopuszczona do publicznej obrony.