

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Patryka Urbańskiego

pt.: „Opracowanie i wdrożenie metody doboru układu oczyszczania spalin do pojazdów szynowych”

Podstawę opracowania recenzji stanowi:

- Pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Poznańskiej Pana prof. dr. hab. inż. Jacka Pielechy nr RD/d/52/02/2025 z dnia 08.10.2025 r.

Dokumentację merytoryczną do sporządzenia recenzji stanowi egzemplarz rozprawy doktorskiej mgr inż. Patryka Urbańskiego pt. „*Opracowanie i wdrożenie metody doboru układu oczyszczania spalin do pojazdów szynowych*”.

1. Syntetyczna charakterystyka recenzowanej rozprawy

Przedmiotowa rozprawa doktorska dotyczy problematyki transportu szynowego, w szczególności oczyszczania spalin w pojazdach szynowych. Rozprawa składa się z:

- 10 zasadniczych i ponumerowanych rozdziałów,
- streszczenia w języku polskim i angielskim,
- wykazu ważniejszych skrótów i symboli,
- 105 rysunków i 35 tabel zawartych w tekście zasadniczym,
- spisu bibliograficznego zawierającego 134 pozycje literaturowe, z czego 58 pozycji (43%) stanowią prace anglojęzyczne, 76 pozycji (57%) to prace polskojęzyczne, w bibliografii znajduje się 6 prac współautorskich doktoranta.

Całość pracy, zawarta jest na 118 ponumerowanych stronach.

Promotorem rozprawy doktorskiej jest prof. dr. hab. inż. Jerzy Merkiś. Promotorem pomocniczym rozprawy jest dr inż. Piotr Michalak.

2. Ocena doboru tematu rozprawy

Postępujące zaostreżenie wymagań dotyczących ochrony środowiska oraz wzrost świadomości ekologicznej społeczeństwa powodują, że problem emisji zanieczyszczeń z silników spalinowych staje się jednym z kluczowych wyzwań współczesnego transportu. Sektor kolejowy, mimo że w dużym stopniu zelektryfikowany, nadal wykorzystuje znaczną liczbę pojazdów szynowych napędzanych silnikami wysokoprężnymi. Dotyczy to zwłaszcza lokalnych linii nieelektryfikowanych, manewrów na stacjach, transportu towarowego oraz pojazdów specjalnych. W tych zastosowaniach emisja spalin jest znaczącym źródłem



zanieczyszczeń powietrza, w tym tlenków azotu (NO_x), cząstek stałych (PM), tlenku węgla (CO) oraz węglowodorów (HC).

W ostatnich latach przepisy regulujące emisję spalin dla silników kolejowych uległy istotnemu zaostrzeniu. W Unii Europejskiej obowiązują normy emisji Stage V, które wymagają od producentów i operatorów pojazdów szynowych zastosowania skutecznych systemów oczyszczania spalin. W praktyce oznacza to konieczność stosowania technologii takich jak selektywna redukcja katalityczna (SCR), filtry cząstek stałych (DPF), katalizatory oksydacyjne (DOC) czy układy recyrkulacji spalin (EGR). Jednakże dobór odpowiedniego systemu oczyszczania spalin dla konkretnego typu pojazdu szynowego stanowi złożone zagadnienie inżynierskie, wymagające uwzględnienia wielu czynników technicznych, eksploatacyjnych i ekonomicznych.

Zróźnicowanie pojazdów szynowych pod względem mocy, sposobu użytkowania, cyklu pracy silnika czy warunków eksploatacji sprawia, że uniwersalne rozwiązanie w zakresie redukcji emisji spalin jest praktycznie niemożliwe. Wymagane jest indywidualne podejście, oparte na analizie parametrów technicznych pojazdu, charakterystyki pracy napędu oraz wymagań środowiskowych i ekonomicznych. Dlatego konieczne staje się opracowanie metody, która w sposób usystematyzowany pozwoli na dobór optymalnego zestawu technologii oczyszczania spalin dla danego zastosowania.

Temat rozprawy doktorskiej pt. *„Opracowanie i wdrożenie metody doboru układu oczyszczania spalin do pojazdów szynowych”* należy uznać za trafnie dobrany i w pełni odpowiadający aktualnym potrzebom badawczym oraz wyzwaniom praktyki inżynierskiej. Problem ograniczania emisji zanieczyszczeń z pojazdów szynowych z napędem spalinowym ma obecnie kluczowe znaczenie w kontekście realizacji celów klimatycznych Unii Europejskiej oraz transformacji sektora transportu w kierunku zrównoważonej mobilności. Istniejące rozwiązania technologiczne w zakresie oczyszczania spalin wymagają dostosowania do specyficznych warunków pracy kolejowych silników spalinowych, które różnią się od aplikacji drogowych pod względem charakterystyki obciążenia, cyklu eksploatacyjnego i dostępnej przestrzeni zabudowy.

Reasumując, temat pracy doktorskiej został dobrany celowo, trafnie i z pełną świadomością współczesnych wyzwań w dziedzinie transportu kolejowego. Odpowiada aktualnym kierunkom rozwoju celów klimatycznych Unii Europejskiej, a jego realizacja wnosi istotny wkład w podnoszenie jakości środowiska oraz bezpieczeństwa i komfortu użytkowników transportu kolejowego.

3. Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska pt. *„Opracowanie i wdrożenie metody doboru układu oczyszczania spalin do pojazdów szynowych”* ma układ logiczny i przejrzysty, prowadzący czytelnika od ogólnego kontekstu problematyki, przez analizę stanu wiedzy i badań, aż po opracowanie autorskiej metody i systemu oczyszczania spalin stosowanych w pojazdach szynowych. Struktura pracy składa się z dziesięciu rozdziałów, z których każdy pełni określoną funkcję poznawczą i metodologiczną.

Rozdział pierwszy przedstawia motywację podjęcia tematu, znaczenie ograniczenia emisji zanieczyszczeń w transporcie kolejowym oraz aktualne wyzwania stojące przed sektorem

w zakresie modernizacji pojazdów spalinowych. Drugi rozdział prezentuje ogólną charakterystykę sektora kolejowego w Polsce. Omówiono strukturę infrastruktury kolejowej, rozwój przewozów pasażerskich i towarowych oraz specyfikę eksploatowanego taboru szynowego. W podrozdziałach przedstawiono podział taboru na pojazdy pasażerskie, towarowe i specjalne, z uwzględnieniem ich stanu technicznego i stopnia zużycia jednostek napędowych.

Rozdział trzeci opisuje ramy prawne i normatywne związane z emisją spalin w pojazdach szynowych. Przedstawiono historyczny rozwój dokumentów ORE B13 Rp22 oraz kart UIC, a następnie omówiono kolejne etapy rozwoju norm emisji typu Stage (I–V). Szczególną uwagę poświęcono różnicom w metodach badań i kryteriom oceny emisji. Zawarto również analizę odniesienia norm emisji do rzeczywistych warunków pracy pojazdów kolejowych oraz omówiono kwestie utrzymania taboru i stanu jednostek napędowych w Polsce.

Celem czwartego rozdziału jest określenie rzeczywistego profilu eksploatacji pojazdów szynowych. Na podstawie danych operacyjnych i obserwacji przeprowadzono analizę czynników wpływających na parametry pracy silników spalinowych, w tym udziałów czasu pracy na biegu jałowym, przy częściowym i pełnym obciążeniu. Uzyskane dane posłużyły jako punkt odniesienia do późniejszych badań emisji.

Rozdział piąty syntetyzuje główne założenia badawcze oraz zakres realizacji dysertacji. Określono w nim szczegółowe cele naukowe oraz oczekiwane rezultaty, takie jak opracowanie i wdrożenie metody doboru układu oczyszczania spalin, filtrów DPF do retrofitingu pojazdów szynowych.

W rozdziale szóstym przedstawiono szczegółowy opis metody badawczej, wykorzystanej aparatury pomiarowej oraz przygotowania infrastruktury i pojazdu do badań. Zaprezentowano zastosowane urządzenia do pomiaru emisji cząstek stałych (PM) i liczby cząstek (PN), a także sposób prowadzenia pomiarów w warunkach zbliżonych do eksploatacyjnych.

Rozdział siódmy prezentuje wyniki badań empirycznych przeprowadzonych na pojeździe specjalnym. Określono charakter rzeczywistej pracy jednostki napędowej, przeprowadzono pomiary emisji cząstek stałych i gazowych oraz przeanalizowano wyniki w kontekście wymagań normatywnych.

W rozdziale ósmym opisano proces opracowania i weryfikacji modelu numerycznego emisji. Przedstawiono metodykę badań symulacyjnych, zastosowane modele obliczeniowe oraz wyniki analiz, które umożliwiły optymalny dobór układu oczyszczania spalin do określonych warunków pracy pojazdu.

Rozdział dziewiąty przedstawia wyniki badań weryfikujących skuteczność zastosowanego układu oczyszczania spalin w rzeczywistych warunkach pracy. Dokonano porównania wyników z symulacji z danymi pomiarowymi, potwierdzając poprawność opracowanej metody.

W ostatnim rozdziale zawarto podsumowanie wyników oraz najważniejsze wnioski z przeprowadzonych badań. Oceniono skuteczność opracowanej metody w kontekście ograniczenia emisji spalin i dostosowania pojazdów szynowych do aktualnych norm środowiskowych. Wskazano także kierunki dalszych prac badawczych i możliwości wykorzystania opracowanej metody w procesach modernizacji taboru kolejowego. Rozdział ten potwierdza, że przyjęte cele zostały zrealizowane, a opracowana metoda może znaleźć zastosowanie w praktyce inżynierskiej.

Podsumowując powyższy układ recenzowanej rozprawy doktorskiej należy stwierdzić, że doktorant w sposób wnikliwy przeanalizowała stan wiedzy w obszarze prowadzonych badań naukowych oraz dokonał syntetycznej jej oceny a następnie na bazie przeprowadzonych analiz przeprowadził badania eksperymentalne.

Biorąc pod uwagę całość rozprawy, strukturę podziału treści na poszczególne rozdziały i podrozdziały oraz precyzyjne odnoszenie się do poszczególnych publikacji naukowych stanowiących rozszerzenie prowadzonych w opracowaniu analiz uważam, że metodycznie jest to układ poprawny i odpowiada wymaganiom prac doktorskich.

4. Ocena merytoryczna rozprawy

Analiza rozprawy doktorskiej wskazuje, iż zakres pracy przedstawiony w dysertacji prezentuje obszar badawczy doktoranta i dotyczy zagadnień transportu kolejowego, w szczególności ograniczania emisji zanieczyszczeń z pojazdów szynowych z napędem spalinowym.

Na podstawie przedstawionego stanu wiedzy naukowej doktorant sformułował cele badawcze w obszarze poznawczym, użytecznym oraz naukowym.

Przyjęcie przez doktoranta takiego podejścia umożliwiło sformułowanie następujących celów: *celem poznawczym pracy jest szczegółowa analiza i ocena skutecznych metod i systemów oczyszczania spalin stosowanych w pojazdach szynowych. Celem użytecznym dysertacji jest opracowanie i wdrożenie metody doboru układu oczyszczania spalin, filtrów DPF do retrofitingu pojazdów szynowych oraz celem naukowym jest weryfikacja skuteczności działania tych systemów w rzeczywistych warunkach eksploatacji.*

Realizacja celów została zdekomponowana na siedem szczegółowych zadań badawczych. Zarówno cele główne pracy, przyjęte przez doktoranta jak i szczegółowe zadania badawcze są prawidłowe i odpowiadają założeniom określonym na etapie formułowania zakresu prowadzonych badań naukowych.

Weryfikacja tez badawczych oraz realizacji celów pracy wymagała od doktoranta realizacji wielu zadań badawczych, które zostały szczegółowo opisane w zasadniczej części dysertacji.

Rozprawa została przygotowana z zachowaniem wysokiego poziomu poprawności metodologicznej. Autor prawidłowo przeprowadza proces badawczy, którego struktura jest logiczna, spójna i zgodna z zasadami pracy naukowej. Dobór metod oraz sposób ich zastosowania zostały uzasadnione zarówno w kontekście teoretycznym, jak i praktycznym.

Część badawcza pracy została opracowana w sposób metodycznie poprawny i świadczy o dużych kompetencjach autora w zakresie prowadzenia eksperymentów i analizy danych. Badania rzeczywistej charakterystyki pracy pojazdu szynowego oraz pomiary emisji cząstek stałych (PM) i liczby cząstek (PN) przeprowadzono z wykorzystaniem odpowiednio dobranej aparatury pomiarowej, a ich wyniki zaprezentowano w sposób przejrzysty i logiczny. Autor prawidłowo zidentyfikował udziały czasów pracy silnika w różnych stanach obciążenia, co stanowiło istotną podstawę do dalszych analiz symulacyjnych.

Na szczególne podkreślenie zasługuje część pracy poświęcona opracowaniu metodyki doboru układu oczyszczania spalin. Autor zaproponował nowatorskie podejście, polegające na połączeniu danych z badań rzeczywistych z analizą numeryczną, co umożliwiło dobór odpowiedniego zestawu elementów oczyszczania (DOC, DPF, SCR) w odniesieniu do

faktycznych profili eksploatacyjnych pojazdu. Takie zintegrowane podejście jest rzadko spotykane w krajowej literaturze i stanowi o oryginalności naukowej pracy.

Wyniki badań weryfikacyjnych potwierdzają skuteczność opracowanej metody. Przeprowadzone pomiary w warunkach eksploatacyjnych wykazały istotne ograniczenie emisji cząstek stałych. Autor nie ograniczył się jedynie do opracowania teoretycznego modelu, lecz doprowadził do praktycznego wykorzystania rozwiązania w rzeczywistym pojeździe, co dowodzi dużego znaczenia aplikacyjnego uzyskanych rezultatów.

Pod względem merytorycznym i metodologicznym rozprawa prezentuje wysoki poziom. Autor wykazał się umiejętnością krytycznej analizy literatury, właściwego planowania i realizacji badań, a także interpretacji wyników w kontekście praktycznych zastosowań. Przedstawione wyniki mają wysoką wartość poznawczą, a jednocześnie mogą być bezpośrednio wykorzystane przez producentów, użytkowników oraz jednostki modernizujące tabor kolejowy.

Oryginalność pracy przejawia się w opracowaniu metodyki pozwalającej na powiązanie rzeczywistego profilu eksploatacji z doбором systemu oczyszczania spalin. Propozycja ta wypełnia lukę między laboratoryjnymi badaniami emisji a rzeczywistymi warunkami pracy pojazdów. Dodatkową wartość stanowi zaprezentowanie kompleksowego podejścia obejmującego analizę, pomiary, symulacje i weryfikację w praktyce.

Od strony formalnej rozprawa jest napisana w sposób uporządkowany, język jest precyzyjny i komunikatywny, a układ graficzny i sposób prezentacji wyników ułatwiają ich interpretację. Materiał ilustracyjny (rysunki, tabele, wykresy) został przygotowany starannie i stanowi istotne uzupełnienie treści dysertacji.

Podsumowując, rozprawa doktorska stanowi wartościowe i oryginalne opracowanie naukowo-techniczne, wnoszące istotny wkład w rozwój metod ograniczania emisji spalin w transporcie kolejowym. Opracowana i zweryfikowana metoda doboru układów oczyszczania spalin może znaleźć szerokie zastosowanie w procesach modernizacji taboru z napędem spalinowym oraz w dalszych pracach badawczo-rozwojowych nad niskoemisyjnym transportem szynowym.

Z punktu widzenia kryteriów oceny rozpraw doktorskich można stwierdzić, że praca spełnia wymagania określone w ustawie o stopniach naukowych, wykazuje znaczną samodzielność badawczą autora, posiada cechy nowości naukowej oraz praktyczną użyteczność wyników.

Niemniej jednak w kilku miejscach wystąpiły drobne błędy językowe, stylistyczne i redakcyjne. Poniżej umieściłem wybrane uwagi szczegółowe:

- w opinii recenzenta w dysertacji występuje zbyt długie wprowadzenie – rozdziały 1-4, zanim określony został cel pracy (rozdział 5). Można było rozdział 5 – Cel pracy przenieść przed rozdział 4 – Analiza udziałów czasu pracy pojazdów szynowych,
- niedociągnięciem w rozprawie jest brak analizy w zakresie niepewności pomiarów, zarówno w zakresie dokładności wykorzystywanej aparatury jak i wpływu czynników pośrednich takich jak aspekty środowiskowe w jakich wykonywano pomiary,
- zbyt ograniczony zakres pomiarów wykonywany na jednym typie środka transportu kolejowego, badania należałoby przeprowadzić na rozszerzonej grupie środków transportu kolejowego.

Drobne potknięcia językowe lub techniczne oraz uwagi recenzenta nie wpływają na odbiór treści ani nie obniżają ogólnego poziomu merytorycznego pracy. Stanowią one kierunki dalszych badań i dociekań naukowych.

Problem, do którego prosiłbym o ustosunkowanie się Pana mgr inż. Patryka Urbańskiego podczas publicznej obrony jest następujący:

1. Czy opracowana przez Pana metoda mogłaby zostać zastosowana do innych kategorii pojazdów spalinowych, np. lokomotywy i spalinowe zespoły trakcyjne, jakie ewentualnie modyfikacje byłyby wówczas konieczne?
2. W pracy wykorzystano zarówno badania eksperymentalne, jak i symulacje numeryczne. Jakie są według Pana główne ograniczenia modelu numerycznego zastosowanego w analizie emisji, i w jaki sposób można je w przyszłości zminimalizować?

5. Podsumowanie i wniosek końcowy

Praca doktorska mgr inż. Patryka Urbańskiego pt. „*Opracowanie i wdrożenie metody doboru układu oczyszczania spalin do pojazdów szynowych*” stanowi przemyślaną, kompletną i oryginalną pracę badawczą, której wyniki mają istotne znaczenie zarówno dla nauki, jak i praktyki inżynierskiej. Autor w sposób dojrzały i samodzielny podjął aktualny problem badawczy, dotyczący opracowania, zweryfikowanie i wdrożenie metody doboru układów oczyszczania spalin dla pojazdów szynowych z napędem spalinowym. Zagadnienie to ma istotne znaczenie w kontekście aktualnych wyzwań środowiskowych i prawnych, związanych z koniecznością ograniczania emisji zanieczyszczeń w transporcie kolejowym.

Opracowana metoda doboru układów oczyszczania spalin, łącząca analizę eksploatacyjną, pomiary rzeczywiste i modelowanie numeryczne. Opracowana koncepcja pozwala na dopasowanie rozwiązań technicznych do rzeczywistych warunków pracy pojazdów, co znacząco zwiększa skuteczność redukcji emisji oraz efektywność eksploatacyjną.

Pod względem metodologicznym praca została przeprowadzona rzetelnie, z zachowaniem zasad poprawności naukowej. Autor umiejętnie połączył badania eksperymentalne z analizą teoretyczną i symulacyjną, zachowując logiczny ciąg rozumowania – od identyfikacji problemu, przez opracowanie metody, aż po jej weryfikację w praktyce. Badania rzeczywiste, wykonane na pojeździe szynowym, potwierdziły skuteczność zaproponowanej metody w ograniczaniu emisji cząstek stałych i tlenków azotu.

Pod względem formy i języka rozprawa prezentuje wysoki poziom edytorski i merytoryczny. Tekst jest przejrzysty, logiczny i poprawny terminologicznie, a sposób prezentacji wyników – zrozumiały i czytelny. Autor wykazał się dojrzałością naukową, umiejętnością interpretacji wyników oraz krytycznej analizy literatury i danych eksperymentalnych.

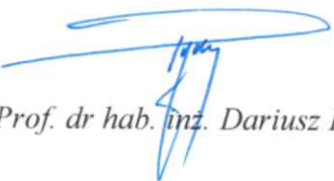
Z punktu widzenia dyscypliny naukowej inżynieria lądowa, geodezja i transport, tematyka rozprawy jest w pełni zgodna z jej zakresem i stanowi wartościowe rozszerzenie wiedzy w obszarze transportu kolejowego. Praca ma również potencjał rozwojowy – może być punktem wyjścia do dalszych badań, np. w procesach modernizacji taboru kolejowego, a także adaptowana do innych grup pojazdów spalinowych.

Biorąc pod uwagę wszystkie przedstawione wyżej aspekty, stwierdzam, że rozprawa:

- przedstawia istotny i aktualny problem naukowy,

- zawiera oryginalne i wartościowe wyniki,
- została poprawnie i rzetelnie przeprowadzona metodologicznie,
- spełnia wszystkie wymagania formalne stawiane rozprawom doktorskim.

Biorąc pod uwagę, sformułowane powyżej opinie wyrażam jednoznaczne stanowisko, że rozprawa Pana mgr inż. Patryka Urbańskiego spełnia ustawowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim oraz mieści się w dyscyplinie naukowej Inżynieria lądowa, geodezja i transport. Wnoszę o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.



Prof. dr hab. inż. Dariusz Pyza