

Prof. dr hab. inż. Andrzej Tomporowski
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Politechnika Bydgoska im. J. J. Śniadeckich

OPINIA

o rozprawie doktorskiej mgra inż. Patryka Urbańskiego, pt.

Opracowanie i wdrożenie metody doboru układu oczyszczania spalin w pojazdach szynowych

Promotor rozprawy: prof. dr hab. inż. Jerzy Merkisz

Promotor pomocniczy: dr inż. Piotr Michalak

Dziedzina: Nauki inżynieryjno-techniczne

Dyscyplina: Inżynieria lądowa, geodezja i transport

Na podstawie starannie przeprowadzonej analizy pracy doktorskiej mgra inż. Patryka Urbańskiego, pt.

Opracowanie i wdrożenie metody doboru układu oczyszczania spalin do pojazdów szynowych,

stwierdzam, że jej zawartość merytoryczna spełnia obowiązujące przepisy i wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Wnioskuje do Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie mgra inż. Patryka Urbańskiego do dalszego etapu postępowania w sprawie nadania stopnia naukowego doktora.

UZASADNIENIE OPINII

Podstawę opracowania opinii stanowią następujące dokumenty:

- pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Poznańskiej, Prof. dra hab. inż. Jacka Pielechy (RD/d/52/03/2025), z dnia 8 października 2025 r.,
- rozprawa doktorska autorstwa mgra inż. Patryka Urbańskiego, pt. *Opracowanie i wdrożenie metody doboru układu oczyszczania spalin w pojazdach szynowych,*
- obowiązująca Ustawa Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

1. Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa porusza aktualny i ważny problem ograniczania emisji szkodliwych substancji z pojazdów szynowych napędzanych silnikami ZS (zapłon samoczynny). W warunkach polskich, przy relatywnie wysokim średnim wieku taboru oraz znaczącym udziale linii niezelektryfikowanych modernizacje pełne lub wymiana pojazdów na nowe są kosztowne i postępują wolno. Autor proponuje w dysertacji retrofitting układu wylotowego

z zastosowaniem filtra cząstek stałych (DPF) jako rozwiązanie pośrednie, finansowo i organizacyjnie dostępne, a jednocześnie przynoszące materialne korzyści środowiskowe.

W części wprowadzającej Doktorant akcentuje, że zaostrzanie norm emisji (do etapu Stage V) obejmuje głównie nowe jednostki, podczas gdy eksploatowane pojazdy kolejowe nadal funkcjonują w reżimie wymagań historycznych, i co więcej, często przekraczają nawet owe starsze progi emisyjne wskutek zużycia i degradacji układów napędowych. Teza ta została w pracy jasno sformułowana i przekonująco umotywowana przeglądem literatury i danych sektorowych.

Na płaszczyźnie tzw. „regulacyjnej”, Autor kompetentnie omawia miejsce kolei w obszarze NRMM (Non-Road Mobile Machinery) i porządkuje ewolucję wymagań Stage I–IV (w tym, specjalne kategorie dla silników trakcyjnych RC/RL/RH oraz wartości graniczne CO, HC, NO_x i PM), stanowiąc solidne tło dla późniejszej dyskusji projektowo-wdrożeniowej.

Wybór tematu rozprawy oceniam bardzo wysoko. Jest skutecznym i wartościowym połączeniem praktycznej istotności (emisje lokalne, zdrowie publiczne, koszty utrzymania floty) i nowatorstwa metodycznego (CFD → dobór DPF → weryfikacja PEMS „w terenie”).

2. Cel, zakres i struktura pracy

Celem rozprawy jest opracowanie i wdrożenie metody doboru układu oczyszczania spalin (DPF) dla pojazdów szynowych, z użyciem narzędzi CFD (Computational Fluid Dynamics) oraz weryfikacją w warunkach rzeczywistych przy użyciu PEMS (Portable Emissions Measurement System). W szczególności: (a) rozpoznanie charakterystyk eksploatacyjnych, w tym udziałów czasów pracy i specyfiki biegu jałowego; (b) zaprojektowanie wariantów filtrów (łączyjących cechy wall-flow i flow-through), ich parametryzacja i porównanie; (c) dobór rozwiązania do konkretnego pojazdu oraz walidacja efektów retrofitingu podczas pełnej zmiany roboczej na realnym szlaku/bocznicy.

Struktura ocenianej pracy (10 rozdziałów, streszczenia PL/EN, wykaz skrótów) jest logiczna i prowadzi od tła sektorowego i prawnego, przez diagnostykę eksploatacyjną, do fazy projektowo-symulacyjnej i weryfikującej. Układ treści sprzyja śledzeniu wątku badawczego oraz oddziela elementy przeglądowe od oryginalnego wkładu Autora.

3. Ocena merytoryczna

Przegląd stanu wiedzy i uwarunkowań (rozdz. 1–3)

Mgr inż. Patryk Urbański przedstawił syntetyczny, ale treściwy opis toksykologii spalin silników ZS oraz działania pozasilnikowych układów oczyszczania: DOC-DPF-SCR-CUC. Jasno i logicznie wyróżnił podstawowe typy filtrów DPF (wall-flow i flow-through), ich rolę oraz zależność skuteczności od temperatury i kontekstu (np. integracja z DOC w układ CRT dla pasywnej regeneracji), co ma znaczenie krytyczne przy dużych udziałach czasu pracy na biegu jałowym. Doktorant, w części odnoszącej się do regulacji prawnych poprawnie zobrazował/przybliżył ścieżkę norm Stage III/IV, ich zakres zastosowania

w kolejnictwie, podział na kategorie RC/RL/RH i bloki obciążeń cyklu ISO 8178-F (z uwzględnieniem ważenia biegu jałowego na poziomie 60% w teście 3-fazowym). To wszystko odniósł do kart UIC. Materiał ten jest poprawny i wykorzystany w dalszej części rozprawy do interpretacji wyników.

Uważam, że rozdziały wprowadzające są rzetelne i spójne. Stanowią dobrą bazę do dalszych części relacjonujących tzw. zadania własne.

Charakterystyka pracy taboru i znaczenie biegu jałowego (rozdz. 4–5)

Szczególne uznanie budzi empiryczna diagnoza udziałów czasu pracy pojazdów szynowych (w tym, lokomotyw manewrowych i liniowych oraz pojazdów specjalnych) w różnych scenariuszach. Autor zestawiał literaturowe i własne dane, pokazując, że w licznych zadaniach bieg jałowy obejmuje od ok. 30% do nawet >80% czasu pracy (zależnie od klasy pojazdu, zadania i infrastruktury). Rzetelne tabele i histogramy (np. dla SM42 na zadaniach budowlanych na linii, ~64% czasu biegu jałowego; dla ST44 w manewrach, do ~86%) potwierdzają, jak krytyczny jest to reżim dla projektu DPF (temperatura spalin, prędkości przepływu i straty ciśnienia).

Na tym tle kluczowe są własne badania całodzienne pojazdu WM-15A (pełna zmiana roboczą, z GPS i rozbiciem czynności roboczych), w których stwierdzono, że bieg jałowy stanowi 61,7% czasu — wartość determinująca dobór i strategię pracy układu DOC-DPF. Doktorant drobiazgowo opisuje profil trasy, zadania (uzupełnianie tłucznia, manewry, praca żurawiem, przestoje), masy składów i metody logowania danych.

W mojej opinii, ta część dysertacji jest mocną stroną ocenianego rozważania naukowego. Co ważne, mgr inż. Patryk Urbański, nie poprzestał na ogólnikach. Wskazał dane ilościowe i kontekst operacyjny. Dzięki temu w dalszej części sensownie kondycjonuje zakresy tematyczne pracy do analiz CFD.

Metodyka i wyniki badań emisji (rozdz. 6–7)

Metodyka terenowa została oparta na PEMS, co jest zgodne z podejściem RDE i współczesną praktyką oceny emisji poza laboratorium. Pomiary prowadzono na bocznicy i na realnym odcinku linii kolejowej, projektując kilka przejazdów o odmiennym profilu pochylenia, zadaniach i obciążeniach. Doktorant zebrał komplet sygnałów operacyjnych i emisyjnych (PM — masa; PN — liczba), co umożliwiło zarówno identyfikację problemu (dominacja PN w określonych warunkach), jak i kalibrację punktów odniesienia do symulacji.

W tym miejscu pozytywnie zauważam i oceniam dobór narzędzia (PEMS) do specyfiki problemu (odpowiednia dokumentacja trasy i scenariuszy; zdefiniowanie charakterystycznych punktów pracy do dalszych analiz CFD, przepływ, temperatura, obciążenie).

Propozycja rozwiązania własnego (rozdz. 8)

Autor zaprojektował trzy warianty filtrów DPF łączących rozwiązania wall-flow i flow-through (różnice w geometrii, porowatości, długości nośnika), zamodelował je w CAD, a następnie poddał analizom CFD dla trzech charakterystycznych punktów pracy (wyznaczonych z badań PEMS). Takie postępowanie twórcze (measurement-informed

modeling) odbieram bardzo pozytywnie ze względu na realistyczną wartość punktów pracy analizowanego systemu.

Tu nasuwa się istotna konkluzja dla ocenianego zakresu dysertacji. Doktorant skutecznie wykazał/zidentyfikował: (a) zależność przyczynowo-skutkową rozmiaru i porowatości nośnika na rozkład prędkości i czas przebywania spalin w fazie porowatej, (b) „kompromis” między skutecznością filtracji a spadkiem ciśnienia, (c) wariant o najkorzystniejszych wskaźnikach pracy (skuteczność vs. opory), rekomendowany do montażu w pojeździe.

W mojej opinii dobór i ocena wariantów DPF oparte na CFD są mocną, nowatorską częścią pracy. Stanowią realny „know-how” dla praktyki doposażania taboru.

Weryfikacja proponowanego rozwiązania (rozdz. 9)

Po zamontowaniu wytypowanego DPF przeprowadzono kolejne przejazdy w warunkach operacyjnych. Wyniki są jednoznacznie pozytywne: redukcja PM (masa) średnio 32,6% dla analizowanej trasy i profilu pracy; redukcja PN (liczba) 83,15% w ujęciu całkowitym, przy lokalnych spadkach 30–91% w zakresie średnic ~ 6 –165,5 nm oraz spadku skuteczności dla cząstek $> \sim 191$ nm, co Autor wiąże z aglomeracją w układzie wylotowym. Tak silna poprawa PN jest typowa dla filtrów DPF; umiarkowana, lecz istotna poprawa PM potwierdza właściwy dobór nośnika przy niewielkim wzroście oporów przepływu.

Uwaga metrologiczna: Autor dyskutuje ograniczenia estymacji PN w skrajach zakresów pomiarowych (komórki „zerowe”), zaznaczając możliwość niedoszacowania najmniejszych/największych cząstek, co nie podważa głównych wniosków.

4. Oryginalność, wkład własny, warsztat badawczy

Za oryginalne i wartościowe uważam: (a) metodykę doboru DPF opartą na CFD i zakotwiczoną w rzeczywistych punktach pracy z PEMS, z jasnym kryterium kompromisu (skuteczność/ Δp) oraz zabudową w pojeździe i weryfikacją „na torze”; (b) kompletny łańcuch badawczy: rozpoznanie eksploatacyjne $\rightarrow$ pomiary emisyjne $\rightarrow$ symulacje $\rightarrow$ wdrożenie $\rightarrow$ weryfikacja; (c) wyniki liczbowo istotne środowiskowo (PN –83%, PM –32,6%), przy zachowaniu wymagań eksploatacyjnych i bez ingerencji w konstrukcję silnika/ECU; (d) systematyzację udziałów biegu jałowego dla różnych klas zadań i pojazdów, rzadko spotykaną w literaturze polskiej.

Zrelacjonowane w rozprawie, procedura pomiarowa z wyraźnym opisem zadań, obciążeń i organizacji pracy a w konsekwencji i wnioski są wiarygodnym potwierdzeniem rzetelne przeprowadzonych prac weryfikacyjnych. Właściwy dobór tras i scenariuszy znacząco zwiększa uogólnialność sformułowanych podsumowań. Opracowane modele filtrów DPF w środowisku wirtualnym oraz przeprowadzone symulacje numeryczne z zastosowaniem (Computational Fluid Dynamics – CFD) wykonano poprawnie (zasadne warunki brzegowe i ocena Δp oraz strugi). Na podkreślenie zasługują również dokonane porównania zaproponowanych wariantów, oparte na fizycznie sensownych metrykach (rozkłady prędkości, czasy przebywania, spadki ciśnień). Pozytywnie odnoszę się także do skutecznie przeprowadzonej weryfikacji „przed/po” wykonanej w warunkach o porównywalnych profilach pracy analizowanych układów.

Całokształt metodyczny rozprawy uważam za dojrzały. Doktorant wykazał się kompetencjami eksperymentalnymi i analitycznymi.

5. Uwagi i rekomendacje doskonalące

Oceniana rozprawa stanowi cenny materiał naukowy pod względem poznawczo-aplikacyjnym. Zawarto w niej wiele interesujących i przydatnych w dalszym rozwoju systemów oczyszczenia spalin wyników badań i uogólnień. W tekście pracy, pomimo wartościowych treści merytorycznych, znajdują się pewne obszary i zagadnienia dyskusyjne, moim zdaniem warte wyjaśnienia i/lub uzupełnienia. Zachęcam Doktoranta do naukowej polemiki w następujących kwestiach:

- nieprecyzyjnie opisane/sparametryzowane modele CFD (typ turbulencji, charakterystyki porowatości, warunki brzegowe termiczne), brak analizy wrażliwości na porowatość i długość nośnika (krzywe Δp vs. przepływ, przy kilku temperaturach),
- kwantyfikacja niepewności wyników (przedziały ufności, wskaźniki powtarzalności dla powtórzeń) oraz ich dyskusja w zakresie czynników oddziałujących pośrednio o otrzymane wartości wynikowe: temperatura otoczenia, prędkość wiatru, stan toru, itp.,
- strategia regeneracji (pasywna/wymuszona) przy 61,7% czasu biegu, wpływ i rola przyjętego progu temperatury i roli DOC (CRT),
- zużycie paliwa w aspekcie wzrostu oporów przepływu (przed/po DPF) w funkcji czasu i wpływu DPF na zużycie paliwa (rachunek energetyczny $\Delta p \rightarrow \Delta P$),
- brak zobrazowanej zależności „obciążenie–czas” dla analizowanego pojazdu (analogiczny do SM42) – w mojej opinii taki wykres ułatwiłby odbiór wartościowej części wyników rozprawy.

W tekście rozprawy znajdują się także pomniejsze usterki natury głównie edytorskiej, np. miejscami rozbudowane tzw. tła tematyczne, statystyczne oraz drobne powtórzenia w partiach przeglądowych, które nie umniejszają wartości poznawczej, naukowej i merytorycznej rozprawy

6. Znaczenie praktyczne wyników i wniosków

Wnioski podsumowujące mają wartość poznawczą i aplikacyjną. Są logicznym następstwem zrealizowanych skutecznie badań. W szczególności:

- bieg jałowy stanowi największy udział czasu pracy pojazdów szynowych, co wymusza dopasowanie geometrii i strategii filtracji,
- skuteczność DPF w redukcji PN jest bardzo wysoka (~83% globalnie), a PM spada o ~33% w badanym czasie,
- rozmiar i geometria filtra mają kluczowe znaczenie (przepływ/czas przebywania, aglomeracja na wylocie), co potwierdzają zarówno CFD, jak i rozkłady średnic PN.

Zrealizowana metoda badawcza ma wartość praktyczną, może być adoptowana do innych pojazdów grupy NRMM oraz w procedurach doposażania taboru w filtrację cząstek.

7. Podsumowanie opinii

Rozprawa została przygotowana starannie, z właściwym odwołaniem do norm i dyrektyw sektorowych (Stage, UIC, ISO 8178-F) oraz z zachowaniem zasad rzetelności badań. Nie stwierdzam zapożyczeń niedozwolonych; cytowania są liczne i adekwatne. Zakres treści i poziom szczegółu spełniają w mojej opinii wymogi stawiane rozprawom naukowym.

Na podstawie przeprowadzonej szczegółowej analizy rozprawy doktorskiej stwierdzam, że mgr inż. Patryk Urbański:

- we właściwy sposób podjął i rozwiązał sformułowane w rozprawie zadania szczegółowe, tak więc zaprezentowane w pracy wyniki badań i analiz stanowią podstawę do stwierdzenia, że cele rozprawy zostały osiągnięte,
- wykazał znajomość i opanowanie wiedzy z zakresu inżynierii transportu kolejowego, którą wykorzystał we właściwym stopniu podczas prowadzonego postępowania badawczo-analitycznego w przedmiotowym zakresie,
- opracował rozprawę doktorską, która w obszarze przyjętych ogólnych kryteriów, ocen i syntezy badawczego postępowania spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim, a uzyskane wyniki wydatnie rozszerzają wiedzę w założonym obszarze.

Rozprawa mgra inż. Patryka Urbańskiego stanowi dojrzałe, oryginalne i wartościowe opracowanie naukowe z silnym akcentem aplikacyjnym. Autor wykazał się samodzielnością badawczą, bardzo dobrym opanowaniem warsztatu eksperymentalnego i obliczeniowego oraz umiejętnością przełożenia wyników na konkretny efekt praktyczny (dobór i wdrożenie DPF na pojeździe; udokumentowana redukcja PN i PM). Dysertacja spełnia wymagania określone w obowiązującej ustawie Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce oraz w przepisach wykonawczych.

Bydgoszcz, 2025-10-22