

RECENZJA

rozprawy doktorskiej „Badania układu zasilania dwupaliwowego do modernizacji silników spalinowych pojazdów ciężarowych” autorstwa mgra inż. Janusza Chojnowskiego

Podstawą opracowania recenzji jest pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej „Inżynieria Mechaniczna” prof. dr hab. inż. Jerzego Małachowskiego z dnia 20.05.2024 r.

I. Informacje ogólne

Rozprawa doktorska mgra inż. Janusza Chojnowskiego pt. „Badania układu zasilania dwupaliwowego do modernizacji silników spalinowych pojazdów ciężarowych” została wydana w Wojskowej Akademii Technicznej im. Jarosława Dąbrowskiego w 2024 r. Promotorem pracy jest dr hab. inż. Tadeusz Dziubak, prof. WAT, promotorem pomocniczym dr inż. Mirosław Karczewski.

Rozprawa jest zbiorem powiązanych tematycznie artykułów naukowych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

Praca została wydana jako zwarte opracowanie formatu A4 na 299 stronach. Podzielona jest na dwie zasadnicze części. Pierwsza, merytoryczna, podzielona jest na 7 rozdziałów oraz druga stanowiąca wykaz artykułów wchodzących w skład cyklu publikacji. Cykl publikacji podsumowujących przeprowadzone prace obejmuje: dziesięć artykułów opublikowanych w cenionych czasopismach naukowych o zasięgu międzynarodowym oraz dwa recenzowane materiały zaprezentowane na międzynarodowej konferencji naukowej. Sumaryczna liczba uzyskanych punktów MEiN to 930, artykuły zacytowano 57 razy oraz przeczytano łącznie 1602 razy. Całkowity sumaryczny Impact Factor cyklu publikacji przedkładanych jako osiągnięcie naukowe wynosi $IF=12,8$ (stan na 06.05.2024).

Rozprawa poparta jest czytelnym wykazem stosowanych skrótów i oznaczeń, a także wykazem wykorzystanej i cytowanej literatury w liczbie 132 pozycje.

Zaproponowana tematyka rozprawy jest obszarem szczególnie istotnym dla rozwoju motoryzacji. Podjęto zagadnienie potencjału modernizacji tłokowych silników o ZS do zasilania dwupaliwowego. Poruszono szerokie spektrum zagadnienia, zaczynając od aspektów ekonomicznych, bezpieczeństwa i gospodarczych, z uwzględnieniem analiz atrakcyjność rynkowej. Wytypowano perspektywiczne paliwa do rozwiązań dwupaliwowych.

Podsumowując część wstępną recenzji należy podkreślić, że przyjęta tematyka rozprawy jest bardzo aktualna a każde podjęte w tej tematyce działanie badawcze stanowi cenny wkład w rozwój nauki.

II. Ocena formalna rozprawy

Przedstawiona praca podzielona jest na dwie zasadnicze części.

Pierwsza „Streszczenie rozprawy doktorskiej” została podzielona na siedem rozdziałów. W mojej ocenie nietrafione jest zatytułowanie niniejszej części. Zawartość stanowi merytoryczne podsumowanie, istotę osiągnięcia naukowego Doktoranta. Tytuł „streszczenie” umniejsza rangi zawartości.

W rozdziale pierwszym dokonano wprowadzenia do zagadnienia oraz omówiono motywację autora do podjęcia prac nad wybraną tematyką. Przedstawione prognozy dotyczące przyszłego zużycia energii wskazują, że w nadchodzących dekadach paliwa kopalne będą nadal odgrywać istotną rolę na skalę globalną. Szacuje się, że tłokowe silniki spalinowe odpowiadają za około 10% globalnej emisji CO₂ ze źródeł przemysłowych. W takim kontekście szczególne znaczenie zyskuje koncepcja retrofittingu, rozumiana jako proces modernizacji istniejących systemów, urządzeń lub konstrukcji, mający na celu poprawę efektywności energetycznej, dodanie nowych funkcjonalności i wydłużenie okresu użytkowania. W związku z tym w pracy podjęto tematykę potencjału modernizacji tłokowych silników o ZS do zasilania dwupaliwowego. Motywacją do podjęcia pracy była chęć wykorzystania warunków dokonującej się transformacji źródeł napędu pojazdów do znalezienia i wykorzystania niszy, w której beneficjentami mogą być wszyscy ludzie związani na co dzień z szeroko pojętym sektorem motoryzacyjnym oraz branżą polskiego transportu drogowego.

Rozdział drugi zawiera szeroko zakrojoną analizę stanu zagadnienia ze szczególnym naciskiem na kwestie: imperatywów ekologicznych i ich ograniczeń, idei retrofittingu, analiz rynkowych i bezpieczeństwa, omówiono również systemy spalania dwupaliwowego dla silników o ZS – CDF i RCCI. Wykazano, że rozwój i implementacja systemów niefabrycznych realizacji spalania dwupaliwowego stanowi atrakcyjną alternatywę mającą na celu wpisanie się w nowoczesne strategie dekarbonizacyjne. Zatem zasadne jest podjęcie działań wskazanych w rozprawie doktorskiej.

Rozdział trzeci przedstawia główne cele oraz układu pracy doktorskiej. Główna teza pracy definiowana jest „Implementacja systemów niefabrycznych spalania dwupaliwowego stanowi alternatywną, atrakcyjną ścieżkę strategii dekarbonizacyjnych transportu”.

Cele użyteczne dotyczą zbadania możliwości aplikacyjnych niefabrycznych systemów dwupaliwowych, w których skład wchodziły:

- badania atrakcyjności rynkowej i gotowości do retrofittingu,
- przeglądy rozwiązań technologicznych i dotyczących niezbędnych modyfikacji mechanicznych dla silników dwupaliwowych,
- wytypowanie paliw niskoemisyjnych do nowoczesnych rozwiązań dwupaliwowych,
- opracowanie narzędzi i wskazanie kluczowych obszarów badań i rozwoju nad retrofittingiem w RCCI.

Cel naukowy:

- eksperymentalna ocena skutków zwiększenia współczynnika zastąpienia w układzie dwupaliwowym CDF - opracowanie koncepcji i badania weryfikacyjne instalacji CDF CNG/ON o średnim współczynniku zastąpienia przekraczającym 50% w pełnym zakresie obciążeń silnika realizowanych na hamowni silnikowej, podwoziowej oraz w warunkach drogowych.

W rozdziale przedstawiono również zawartość części „streszczenie rozprawy doktorskiej” co mogłoby stanowić niejako streszczenie całej pracy – którego de facto zabrakło w przedstawionej dysertacji.

W rozdziale czwartym dokonano analizy wykorzystania paliw niskoemisyjnych w nowoczesnym zasilaniu dwupaliwowym o ZS, ze szczegółowym omówieniem wytypowanych paliw oraz zasadności wykorzystania ich w systemach dwupaliwowych.

W rozdziale piątym, będącym efektem badań własnych autora i jednocześnie stanowiącym najważniejszy rozdział dysertacji, zaprezentowano wyniki prac dotyczących opracowania i badań instalacji CDF CNG/ON o średnim Wz przekraczającym 50% w pełnym zakresie obciążeń silnika realizowanych na hamowni silnikowej, podwoziowej oraz warunkach drogowych. Wyodrębniono trzy etapy zgodnie z miejscem ich realizacji tj.: badania na hamowni silnikowej, badania na hamowni podwoziowej oraz badania drogowe. Chronologicznie dla etapu pierwszego: omówiono szczegóły budowy stanowiska pomiarowego oraz metodyki pomiarów. Zaprezentowano pierwotną i rozwojową

koncepcję ww. instalacji. Wykonano badania podstawowe. Omówiono system minimalizujący efekty spalania detonacyjnego w zakresie dużych obciążeń. Poddano analizie wyniki badań gazów odlotowych/spalin. W etapie drugim: omówiono koncepcję i realizację mobilnej stacji diagnostyczno-montażowej z hamownią podwoziową do badań pojazdów ciężarowych. Opisano wyniki badań nad kluczowymi elementami prac w warunkach hamowni podwoziowej gwarantujące możliwie bezinwazyjną i poprawną realizację przeprowadzonych badań. Ostatecznie opisano efekt optymalizacji parametrów eksploatacyjnych po modyfikacji technicznej pojazdu w zasilanie dwupaliwowe. W etapie trzecim: przedstawiono metodykę realizacji badań drogowych pojazdu oraz dokonano analizy wyników. Rozdział piąty kończy się syntetycznymi wnioskami z badań.

W rozdziale szóstym uzyskane rezultaty badań i analiz zestawiono z działaniami dotyczącymi przyszłości retrofitingu silników w RCCI oraz omówiono inne miejsca transferu technologii dwupaliwowej. Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, że istnieje możliwość opracowania instalacji CDF o wysokim współczynniku zastąpienia paliw dla używanych pojazdów ciężarowych w celu poddania ich procesowi retrofitingu. Zaprezentowane w pracy technologie retrofitingu silników o zapłonie samoczynnym mogą znaleźć zastosowanie w wielu obszarach poza sektorem pojazdów ciężarowych, otwierając nowe możliwości dla ekologicznego zasilania dwupaliwowego.

Wnioski zaprezentowano w rozdziale siódmym. Podzielono je na cztery części dotyczące:

- analizy rynku
- potencjału paliw niskoemisyjnych do przyszłych zastosowań dwupaliwowych
- badań własnych nad instalacją CDF CNG/ON dla serii silników Volvo D13
- przyszłości retrofitingu w zasilanie dwuetapowe.

Omawianą część pracy kończy bibliografia (132 pozycje) oraz spis rysunków i tabel.

Treść rozprawy ilustrowana jest dużą ilością dobrze tematycznie dobranych rysunków, co znacznie ułatwia jej czytelność.

Druga część pracy nosi tytuł „Cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych stanowiących rozprawę doktorską”. Jest to cykl publikacji podsumowujących przeprowadzone prace obejmuje: dziesięć artykułów opublikowanych w cenionych czasopismach naukowych o zasięgu międzynarodowym oraz dwa recenzowane materiały zaprezentowane na międzynarodowej konferencji naukowej.

Do cyklu stanowiącego rozprawę doktorską wliczono następujące publikacje:

nr	autorzy:	tytuł:	wydawnictwo:	rok wydania	pkt MEiN
A1	Chojnowski, J.; Nogas, P.	<i>Potencjał HVO jako biopaliwa wysokoreaktywnego w dwupaliwowych układach zasilania.</i>	Biuletyn WAT	2021	20
A2	Chojnowski, J.; Karczewski, M. Szamrej, G.;	<i>A Review of Low-CO2 Emission Fuels for a Dual-Fuel RCCI Engine</i>	Energies	2021	140
A3	Chojnowski, J.	<i>Safety in the use of car gas fuel installations</i>	Combustion Engines	2021	70
A4	Chojnowski, J.; Karczewski, M..	<i>Analysis of the market structure of long-distance transport vehicles in the context of retrofitting diesel engines with modern dual-fuel systems</i>	Combustion Engines	2021	70
A5	Chojnowski, J.; Karczewski, M.; Szamrej, G.	<i>The phenomenon of knocking combustion and the impact on the fuel exchange and the output parameters of the diesel engine</i>	NAŠE MORE	2021	*

		<i>operating in the dual-fuel mode (DIESEL-CNG),</i>			
A6	Chojnowski, J.; Karczewski, M.; Szamrej, G.	<i>Solutions of CNG and LNG supply systems in modern land and marine CI engines working in dual-fuel (NG – DIESEL) mode</i>	NAŠE MORE	2021	*
A7	Chojnowski, J.; Karczewski, M.; Szamrej, G.	<i>A review of technical solutions for RCCI engines</i>	Combustion Engines	2021	70
A8	Chojnowski, J.; Karczewski, M.; Szamrej, G.	<i>Experimental assessment of the impact of replacing diesel fuel with CNG on the concentration of harmful substances in exhaust gases in a dual-fuel diesel engine.</i>	Energies	2022	140
A9	Chojnowski, J.; Karczewski, M.	<i>Influence of the working parameters of the chassis dynamometer on the assessment of tuning of dual-fuel systems</i>	Energies	2022	140
A10	Chojnowski, J.	<i>The concept of a mobile automated diagnostic and dynamometer station for heavy trucks.</i>	Combustion Engines	2023	70
A11	Chojnowski, J.; Karczewski, M.; Szamrej, G.	<i>Dual-fuel engines using hydrogen-enriched fuels as an ecological source of energy for industry and energy</i>	Combustion Engines	2024	70
A12	Chojnowski, J.; Dziubak, T.	<i>Multi-criteria analysis of semi-trucks with conventional and eco-drives on the EU market</i>	Energies	2024	140

Dla kaŹdej z uwzględnionych publikacji przedstawiono merytoryczny oraz procentowy udział Doktoranta.

Stronę formalną rozprawy oceniam bardzo wysoko. Autor z godną podkreślenia skrupulatnością dba o ścisłość wyrażania myśli. W pracy jest konsekwentnie stosowane przemyślane nazewnictwo specjalistyczne, dotyczące różnych obszarów wiedzy w tym: mechaniki, transportu, budowy i eksploatacji maszyn, chemii oraz matematyki.

Nieliczne ważniejsze uwagi natury formalnej przedstawiono poniżej.

1. Tytuł pierwszej części pracy „Streszczenie rozprawy doktorskiej” nie odzwierciedla faktycznej zawartości tej części – w mojej ocenie jest to istota rozprawy doktorskiej.
2. Brak streszczenia w podstawowym tego słowa znaczeniu tj. przekształcenie tekstu polegające na zmniejszeniu jego długości przy zachowaniu zasadniczych, wyróżnionych jego elementów: najważniejszych treści, problemów.
3. „96% pojazdów” jest formą potoczną – udział może być tylko w odniesieniu do wielkości. Zatem powinno być „96% liczby pojazdów”.
4. Nie powinno się stosować do wielkości skalarnych terminu „prędkość” – jest szybkość spalania, a nie prędkość spalania (strona 28).
5. W języku polskim stosujemy akapity bez odstępów między wierszami.
6. Spis treści powinien znajdować się na samym początku pracy. Nie uwzględniono punktów znajdujących się przed nim, a także wykazu najistotniejszych skrótów i oznaczeń oraz bibliografii.

7. Kilkakrotnie w pracy są używane terminy pochodzące od czasownika „określać” w sensie: „wyznaczać” lub „badać”, zaś termin „określenie” oznacza prawie to samo, co definiowanie, ale bez konieczności spełnienia wszystkich formalnych wymagań.

8. Literówka w tabeli z wykazem artykułów stanowiących cykl publikacji (strona 98) – „wydawnictowo”. W humorystyczny nastrój wprowadza literówka (i kolokwializm, jednak poza częścią merytoryczną) w podziękowaniach dla kolegi mgr Grzegorza Szemraj – „steki rozkmin”.

9. W pracy występuje tzw. „tekst wiszący” czyli tekst pomiędzy rozdziałem głównym a podrozdziałem (np. rozdział 5 - 5.1 itd.). Taki tekst powinien mieć swój podtytuł.

Przykładowe uchybienia formalne, na które zwróciłam uwagę, nie zmieniają faktu, że praca z formalnego punktu widzenia przygotowana jest prawidłowo. Nieliczne krytyczne uwagi dotyczące strony formalnej pracy nie mają wpływu na jej jakość merytoryczną.

III. Ocena merytoryczna rozprawy

Opiniowaną pracę oceniam wysoko zarówno ze względu na aspekt, wynikających ze współczesnych potrzeb eksploatacji samochodowych silników spalinowych, jak i – przede wszystkim – ze względu na oryginalny sposób potraktowania rozpatrywanej tematyki. Zrealizowany proces badawczy należał do bardzo trudnych, ponieważ jego realizacja wymagała wykonania skomplikowanych badań, co potwierdza umiejętność prowadzenia unikalnych eksperymentów badawczych przez Doktoranta.

Badania i obliczenia wykonano dla silnika D13C460 stosowanego w ciągnikach siodłowych Volvo serii FH trzeciej generacji w latach 2009–2014. W badaniach użyto dwóch paliw:

- ON – paliwo zgodne z PN-EN590,
- CNG – paliwo zgodne z ISO 15403-2:2010

Dokonano analizy niepewności toru pomiarowego na podstawie metod statystycznych, zgodnie z wytycznymi Głównego Urzędu Miar. W ramach badań dotyczących diagnostyki i optymalizacji pracy pojazdów ciężarowych w kontekście retrofitingu w zasilanie dwupaliwowe opracowano i zrealizowano projekt mobilnej hamowni podwoziowej.

Pod względem merytorycznym i metodycznym oceniam pracę bardzo wysoko, ponieważ odpowiada postawionemu celowi, przyjętym zadaniom badawczym i jest dostosowana do obowiązujących w tym zakresie wymogów, co świadczy o wysokiej wiedzy teoretycznej Doktoranta.

Na szczególne wyróżnienie zasługują następujące elementy:

1. Uzasadnienie podjęcia tematu. Zaproponowany temat rozprawy jest aktualny w związku z potrzebami eksploatacyjnymi silników spalinowych
2. Umiejętność korzystania ze współczesnej literatury specjalistycznej oraz formułowanie oryginalnych wniosków, co dowodzi naukowej i zawodowej dojrzałości Doktoranta.
3. Obszerny materiał badawczy i analityczny.
3. Zastosowanie innowacyjnych metod w badaniach silników spalinowych.
4. Przyjęcie oryginalnego programu badań empirycznych.
5. Możliwość wykorzystania wyników rozprawy do celów praktycznych.

Uwagę należy zwrócić, że w wyniku realizacji rozprawy doktorskiej empirycznie potwierdzono, na podstawie badań drogowych, możliwość osiągnięcia rzeczywistego współczynnika zastąpienia paliw w zakresie 56–82%.

Nieliczne uwagi krytyczne, niektóre o charakterze dyskusyjnym a także zapytania w sprawach nie do końca oczywistych przedstawiam poniżej:

1. W pracy przedstawiono rozwiązanie układu zasilania dwupaliwowego do modernizacji silników spalinowych pojazdów ciężarowych, którego głównym celem ma być redukcja związków szkodliwych spalin. Pomimo jasno sprecyzowanego celu tego układu, w pracy badania dotyczące zmian poziomu emisji związków szkodliwych są bardzo okrojone. Wykonano jedynie ubogie badania na hamowni

silnikowej. Nie wykonano badań w warunkach dynamicznych (test WHTC - Worldwide Heavy Duty Transient Cycle), które decydują o emisji związków szkodliwych, ani w warunkach rzeczywistej eksploatacji pojazdu. Podsumowując w pracy zabrakło badań emisji związków szkodliwych spalin.

2. Na jakiej podstawie dobrany został zakres prowadzonych badań? Z treści pracy nie wynika, aby zostało zastosowane planowanie eksperymentu, mające na celu uzyskanie odpowiedzi na pytanie, jak zaplanować doświadczenie, aby przy możliwie najmniejszych kosztach uzyskać jak najwięcej użytecznej informacji?

3. W tabeli 6 wskazano godzinowe zużycie paliwa na poziomie 1989 kg/h. Czy jest to wartość prawidłowa?

IV. Podsumowanie

Przedstawiona do recenzji rozprawa dotyczy zagadnień bardzo aktualnych związanych z ochroną środowiska wobec gwałtownie zwiększającej się liczby eksploatowanych pojazdów. Tematykę rozprawy uznaję za w pełni uzasadnioną.

Doktorant zaproponował i zrealizował rozbudowany program badań, którego wyniki zostały przedstawione w publikacjach w sposób czytelny i niebudzący zastrzeżeń. Dysertacja stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, swą treścią dobrze nawiązuje do aktualnej wiedzy i praktyki, a miejscami ją wzbogaca.

Powyższe wskazuje, że przedstawiona do recenzji praca prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta oraz umiejętność samodzielnego formułowania oryginalnych problemów naukowych i prowadzenia unikalnych eksperymentów badawczych w obszarze inżynierii mechanicznej.

W podsumowaniu oceny rozprawy uważam, że **opiniowana praca w pełni odpowiada wymaganiom stawianym rozprawom doktorskim w myśl Ustawy z dnia 20 lipca 2018 – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2020 r., poz. 85 z późn. zm.)**, ze względu na wysoki poziom merytoryczny oraz osiągnięcia użyteczne w zakresie rozpatrywanych problemów. Praca stanowi dobry przykład zastosowania nowoczesnych metod naukowych, zarówno teoretycznych, jak i – szczególnie – empirycznych, do rozwiązania zadań dyscypliny naukowej „inżynieria mechaniczna”. Wnioskuje zatem o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

Monika Andrych-Zalenska