

Prof. dr hab. inż. Jerzy Merkisz  
Profesor zwyczajny  
Politechnika Poznańska  
Instytut Silników Spalinowych i Transportu

Poznań, 03.06.2024 r.

## O C E N A

**rozprawy doktorskiej mgr. inż. Janusz Chojnowski**

### **pt. „Badania układu zasilania dwupaliwowego do modernizacji silników spalinowych pojazdów ciężarowych”**

Podstawa opracowania: pismo Przewodniczący Rady Dyscypliny Naukowej „Inżynieria Mechaniczna” prof. dr. hab. inż. Jerzego Małachowskiego z dnia 20 maja 2024 r.

#### **1. AKTUALNOŚĆ ROZPRAWY**

Obecnie nie ma już wątpliwości, że dotychczasowy system energetyczny oparty głównie na węglu, ropie i gazie ziemnym nie ma przed sobą długiej przyszłości i musi ulec zasadniczej przebudowie. Ustawiczny wzrost zawartości CO<sub>2</sub> w atmosferze wymaga zahamowania i redukcji. Także wymusza to ciągle zaostrzanie wprowadzanych norm dotyczących emisji substancji toksycznych.

W ostatnich latach obserwuje się coraz bardziej intensywne badania nad poszukiwaniem tzw. alternatywnych napędów środków transportu, w tym także alternatywnych paliw dla silników spalinowych. Potrzeba takich badań wynika z prognoz dotyczących zmniejszania się światowych zasobów ropy naftowej. Na te przewidywania nakładają się problemy związane z niekorzystnym zjawiskiem zanieczyszczenia atmosfery w wyniku emisji związków szkodliwych zawartych w spalinach.

Od lat prowadzone są intensywne badania nad doskonaleniem procesu spalania wraz z możliwością stosowania do zasilania silników wspomnianych paliw alternatywnych. Wyniki tych badań znajdują coraz szersze wykorzystanie w technice, jednak nadal pozostaje wiele problemów wymagających dalszych prac. Dotyczy to różnych zastosowań tych silników i związanych z tym wymagań energetycznych, ekonomicznych i ekologicznych. Od dawna dla spełnienia wymagań ekologicznych nie wystarczą już pojedyncze środki, a niezbędne są rozwiązania kompleksowe. Spełnienie przyszłych wymagań ekologicznych wymagać będzie sięgnięcia po wszelkie dostępne rozwiązania. Wyraźnym sygnałem potwierdzającym tę tezę jest obserwowane zbliżenie silników ZI i ZS, prowadzące do wykorzystania zalet i eliminacji wad obu typów silników.

Wprowadzenie coraz bardziej rygorystycznych norm emisji związków toksycznych spalin oraz powszechny nacisk na zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych w Unii Europejskiej kieruje prace badawczo-rozwojowe na rozwój konstrukcji nowych, niskoemisyjnych pojazdów, używanie paliw alternatywnych, rozwój konstrukcji nowych typów silników i zwiększanie sprawności obecnie produkowanych jednostek napędowych.

Szczególnie kontrowersyjny jest pakiet Fit for 55, przyspieszający transformację energetyczną i realizację polityki klimatycznej Unii Europejskiej, w którym zawarte były

propozycje zakazu sprzedaży nowych samochodów z silnikami spalinowymi od 2035 roku. Z kolei planowane wprowadzenie normy emisyjnej Euro 7 stanowi wyzwanie dla producentów pojazdów. Dotyczy ona ograniczenia o co najmniej 50% emisji spalin i emisji CO<sub>2</sub> (zużycia paliwa), co zmusza producentów do poniesienia znaczących kosztów na rozwój i doskonalenie swoich pojazdów. Szczególnie trudne do opanowania jest nadmierna emisja tlenków azotu w silnikach o zapłonie samoczynnym, badanych w rzeczywistych warunkach eksploatacji, badane w teście RDE (Real Driving Emissions).

Zatem należy stwierdzić, że Komisja Europejska nie może się porozumieć co do zależności pomiędzy Fit for 55 i Euro 7. Jeśli byłaby utrzymana propozycja „likwidacji” samochodów z silnikami spalinowymi od 2035 r., to dyskusyjny byłby sens wprowadzania surowych przepisów Euro 7 tylko na parę lat. Producenci aut i silników nie byłiby zapewne w tej sytuacji skłonni do zaakceptowania wysokich kosztów adaptacji do normy Euro 7.

Pod koniec marca tego roku Rada Unii Europejskiej ostatecznie przegłosowała przepisy, które zakładają 100% redukcji emisji dwutlenku węgla w przypadku nowych pojazdów po 2035 roku, co oznaczałoby zakaz kupna i rejestracji nowego auta z silnikiem spalinowym. Będzie jednak od tej zasady wyjątek, który przeforsowali Niemcy – dozwolone pozostaną te samochody benzynowe, które będą zasilane ekologicznym paliwem, przy produkcji którego odzyskuje się dwutlenek węgla z atmosfery. Zatem unijny zakaz sprzedaży nowych samochodów spalinowych od 2035 roku nie dotyczy pojazdów zasilanych paliwem syntetycznym (e-paliwo) lub wodorem. Konsekwencją tego faktu jest konieczność zintensyfikowania prac nad opracowaniem nowych paliw do silników spalinowych.

Od wielu lat rozwój ekologicznych paliw silnikowych był wspierany przez realizację licznych programów badawczych ukierunkowanych głównie na ograniczanie emisji składników toksycznych oraz osiągi, trwałość i inne wskaźniki pracy silników spalinowych. Wszystkie te programy jednoznacznie potwierdziły, że paliwa mają kluczowy wpływ na poziom i właściwości chemiczne emitowanych związków toksycznych spalin. Naukowcy pracujący na rzecz ochrony środowiska nadal podtrzymują tezę, że rodzaj i właściwości paliw mają duży potencjał w ograniczaniu negatywnego oddziaływania środków transportu na środowisko naturalne i mogą służyć jako forma retrofitingu.

Zbliżenie silników ZI i ZS obejmuje obecnie przede wszystkim rozwiązania konstrukcyjne. Pojawiają się także jednostki, w których dochodzi do zbliżenia przebiegu procesu spalania charakterystycznego dla obu typów silników. Dotyczy to szczególnie silników ZS, gdzie dąży się do spalania homogenicznego, zbliżonego do występującego w silnikach ZI. Wynika to z faktu, że powstawanie PM i NO<sub>x</sub> (a więc najtrudniejszych do usunięcia składników spalin) w silniku ZS w znacznym stopniu wynika z heterogenicznego charakteru procesu spalania.

Zasilanie silników ZS dodatkowym paliwem gazowym CNG, dostarczonym najczęściej przez wtrysk fazy gazowej do układu dolotowego, realizowane jest równoległe z zasilaniem ON. Silnik jest wówczas silnikiem dwupaliwowym. Dawką inicjującą zapłon mieszaniny gazowo-powietrznej jest zawsze olej napędowy, a szczególnie ważny jest podział tej dawki na poddawki. Udział ON w całkowitej energii dostarczanego paliwa jest stopniowo zmniejszany kosztem zwiększenia udziału paliwa alternatywnego. Do istotnych korzyści zasilania dwupaliwowego zaliczane są: zwiększenie sprawności ogólnej (w odniesieniu do silników gazowych i utrzymanie jej na poziomie zbliżonym do uzyskiwanej dla silników ZS jednopaliwowych), zmniejszenie emisji tlenków azotu, cząstek stałych oraz dwutlenku węgla (w szczególności przy średnich i maksymalnych obciążeniach), łatwiejszy rozruch silnika, możliwość pracy silnika w szerokim zakresie składu mieszaniny gazowo-powietrznej, mniejszy wpływ zmian prędkości obrotowej i obciążenia na stabilność pracy silnika.

Temu zagadnieniu jest poświęcona oceniana rozprawa doktorska, co świadczy o dobrym i aktualnym doborze jej tematyki. Podjęcie studiów i badań w wyżej wymienionej

tematyce jest ze wszech miar wskazane i pożyteczne dla nauki, przede wszystkim dla dyscypliny „Inżyniera mechaniczna”, a zwłaszcza wiedzy w specjalności spalinowych zespołów napędowych.

Wybór tematu uważam za interesujący, wychodzący naprzeciw potrzebom przemysłu motoryzacyjnego, a jednocześnie bardzo trudny, czasochłonny oraz kosztowny, wymagający dużych nakładów finansowych.

## 2. OCENA MERYTORYCZNA

Opiniowana rozprawa doktorska jest zbiorem powiązanych tematycznie artykułów naukowych i przede wszystkim bardzo szerokim streszczeniem osiągnięcia naukowego na 94 stronach, składającego się z 7 merytorycznych rozdziałów i bardzo obszernego spisu literatury – 132 pozycje

Rozprawa doktorska mgr. inż. Janusza Chojnowskiego jest osiągnięciem Autora w zakresie objętym tytułem i zawiera elementy autorskie, istotne w dyscyplinie „Inżyniera mechaniczna”.

We wstępie Autor bardzo treściwie i rzeczowo wprowadza odbiorcę w tematykę pracy, na podstawie czego wskazuje potrzebę wykonania badań, o jakich jest mowa w dysertacji.

Wyczerpujące opracowanie stanu wiedzy teoretyczno-eksperymentalnej na temat roli gazu ziemnego i innych paliw niskoemisyjnych jako alternatywnych paliw silnikowych stanowią rozdziały 2 i 4. Przedstawione zostały rozwiązania wykorzystujące gaz ziemny jako nośnik energii w silnikach ZI i ZS. Uwagę zwrócono na fakt, iż ważny jest dobór składu mieszanki gaz-powietrze, wielkość dawki inicjującej oleju napędowego. Przedstawiono w nich szczegółowe informacje na temat właściwości i cech, jakie posiadają gazowe paliwo silnikowe. u, obejmujące:

Praca zawiera badania eksperymentalne dotyczące konwencjonalnej instalacji zasilania dwupaliwowego (CDF – Conventional Dual Fuel) o wysokim stopniu zastąpienia paliwa przeprowadzone na stacjonarnej hamowni silnikowej, podwoziowej oraz w warunkach drogowych. Autor prezentuje liczne wyniki badań, w tym analizy wpływu różnych parametrów na efektywność spalania. Dzięki temu możliwa jest weryfikacja teoretycznych założeń dotyczących zwiększania współczynnika zastąpienia paliw oraz ocena rzeczywistej skuteczności proponowanych rozwiązań. Efektem pracy było empiryczne potwierdzenie możliwości realizacji wysokich stopni wymiany pali w systemach CDF w przedziale ok 55 do 85 % w rzeczywistych warunkach pracy ciągnika siodłowego. Jedną z zalet pracy jest jej innowacyjne i kompleksowe podejście do tematu. Rozważano również nowatorskie rozwiązania technologiczne, takie jak systemy niskotemperaturowego spalania kontrolowanego reaktywnością paliw (RCCI – Reactivity Controlled Compression Ignition). Opisuje zarówno teoretyczne podstawy tych technologii, jak i praktyczne aspekty ich wdrożenia, co stanowi cenny wkład w rozwój dziedziny inżynierii mechanicznej. Praca ma także silne akcenty aplikacyjne, co jest widoczne w licznych przykładach potencjalnych wdrożeń technologii dwupaliwowych w różnych sektorach, takich jak przemysł motoryzacyjny czy morski. Autor omawia kwestie związane z retrofittingiem istniejących silników, co jest istotne z punktu widzenia zarówno przemysłu, jak i ekologii (nawiązując do stwierdzeń w pkt. 1 tej recenzji). Istotną częścią pracy jest również holistyczne podejście do problemu, które uwzględnia szeroki kontekst globalnych wyzwań związanych z emisją spalin i zmianami klimatycznymi. Przeanalizowano nie tylko aspekty techniczne, ale również ekonomiczne i społeczne, co nadaje pracy większe znaczenie i pozwala na lepsze zrozumienie złożoności omawianego zagadnienia. Autor przedstawia i opisuje również narzędzie badawczo rozwojowe w postaci mobilnej hamowni podwoziowej – którego wymiar praktyczny komercyjny jak i badawczy wpasowują się podjętą w pracy problematykę.

W pracy uwzględniono i opisano również problemy technologiczne związane z implementacją systemów dwupaliwowych. Przykładem są wyzwania związane ze zwiększoną emisją metanu podczas pracy silnika w trybie CDF i trudności z utrzymaniem stabilności spalania, zwłaszcza w stanach przejściowych dla RCCI. Problemy te mogą stanowić istotne wyzwanie w kontekście praktycznej implementacji technologii. Autor zwraca także uwagę na wysokie koszty początkowe związane z wdrożeniem proponowanych rozwiązań, co może być barierą dla ich komercjalizacji. Koszty te wynikają z konieczności modyfikacji istniejących systemów oraz złożoności technologicznej nowych rozwiązań. Dodatkowo, implementacja technologii RCCI wymaga skomplikowanych systemów sterowania, co stanowi dodatkowe wyzwanie techniczne. Podkreślono konieczność kompleksowego podejścia do sterowania silnikami dwupaliwowymi, co może być trudne do zrealizowania w praktyce. Niemniej wskazano na kompromis technologiczno-ekonomiczny w którym zastosowanie mieszanych trybów CDF i RCCI może stanowić odpowiedź na problematykę poruszoną w pracy.

Cykl powiązanych tematycznie publikacji naukowych będących elementem tej rozprawy doktorskiej podsumowujących przeprowadzone prace Doktoranta obejmuje: 10 artykułów opublikowanych w cenionych czasopismach naukowych o zasięgu międzynarodowym oraz 2 recenzowane materiały zaprezentowane na międzynarodowej konferencji naukowej. W swojej pracy, doktorant skoncentrował się odpowiednio na zagadnieniach związanych:

- z badaniami rynku, zasadnością i potencjałem aplikacyjnym oraz bezpieczeństwem niefabrycznych instalacji dwupaliwowych co znajduje odzwierciedlenie w następujących publikacjach: „Safety in the use of car gas fuel installations”, “Analysis of the market structure of long-distance transport vehicles in the context of retrofitting diesel engines with modern dual-fuel systems”, “Dual-fuel engines using hydrogen-enriched fuels as an ecological source of energy for industry and energy” oraz “Multi-criteria analysis of semi-trucks with conventional and eco-drives on the EU market”, “A review of technical solutions for RCCI engines”
- z analizą rozwiązań technicznych dla układów dwupaliwowych CDF i RCCI w pracach: “Solutions of CNG and LNG supply systems in modern land and marine CI engines working in dual-fuel (NG – DIESEL) mode”, “A review of technical solutions for RCCI engines”
- z paliwami niskoemisyjnymi oraz systemami silników dual-fuel, co znajduje odzwierciedlenie w jego publikacjach, takich jak "The Potential of HVO as a Highly Reactive Biofuel in Dual Fuel Systems" oraz "A Review of Low-CO2 Emission Fuels for a Dual-Fuel RCCI Engine".
- z badaniami laboratoryjnymi dotyczącymi instalacji CDF wysokiej wymiany paliw, tj: “The phenomenon of knocking combustion and the impact on the fuel exchange and the output parameters of the diesel engine operating in the dual-fuel mode (DIESEL-CNG)”, “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”
- jak również pracę opisującą zaprezentowane narzędzie badawczo rozwojowe zaprezentowane w pracach: “The concept of a mobile automated diagnostic and dynamometer station for heavy trucks” i “Influence of the working parameters of the chassis dynamometer on the assessment of tuning of dual-fuel systems”.

Uwagi o charakterze krytycznym,

### **Zalety pracy**

Recenzowana praca doktorska pt. „Badania układu zasilania dwupaliwowego do modernizacji silników spalinowych pojazdów ciężarowych” autorstwa mgr inż. Janusza Chojnowskiego stanowi obszerną i wartościową analizę teoretyczną i praktyczną dotyczącą implementacji systemów dwupaliwowych w używanych silnikach spalinowych o zapłonie

samoczynnym, w szczególności silników pojazdów ciężarowych. Praca jest cenna ze względu na jej kompleksowe podejście do problemu, obejmujące szeroki wachlarz zagadnień technicznych, ekologicznych, ekonomicznych, społecznych i aplikacyjnych.

Najistotniejszym osiągnięciem pracy jest dogłębna analiza możliwości współpracy oleju napędowego i gazu ziemnego jako źródła energii, przy jednoczesnej próbie doboru wielkości dawki inicjującej przez wprowadzenie wtrysku wieloczęściowego.

Szczególnymi osiągnięciami Autora są:

- wybór i aktualność omawianego zagadnienia, w tym przedstawienie 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
- 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.

**Do osiągnięć utylitarnych pracy** zaliczyłbym badania i prace rozwojowe z zakresu doskonalenia procesów spalania w silnikach tłokowych, jako obiektach rzeczywistych. Zaslugują one na szczególną uwagę, a uzyskane wyniki powinny być rozpowszechnione szerokiemu gronu specjalistów z przemysłu motoryzacyjnego. Ponadto przedstawioną koncepcję i realizację mobilnej stacji diagnostyczno-montażowej z hamownią podwoziową do badań pojazdów ciężarowych.

### **Merytoryczne niedoskonałości pracy**

Do badań wykonywanych w pracy nie zastosowano teorii planowania doświadczeń. Planowanie doświadczeń umożliwia optymalizowanie prac empirycznych. Dodatkowo, programy do planowania badań umożliwiają skuteczną analizę statystyczną uzyskanych wyników. Badania wykonane zgodnie z teorią planowania doświadczeń umożliwiają identyfikację modelu przedmiotu badań w pełnym zakresie wartości zmiennych niezależnych modelu. Brak jest zatem kryteriów wyboru parametrów układu wtryskowego lub silnika, które zastosowano w badaniach.

Ponadto w pracy jest brak prawidłowej analizy błędów; nawet sama informacja na temat dokładności użytej aparatury nie daje przecież pełnego poglądu na dokładność pomiarów. Dzięki temu możliwe byłoby określenie wartości uzyskanych analiz i zależności funkcyjnych w kontekście istotności statystycznej i wartości informacyjnej sygnałów pomiarowych.

W pracy, przy badaniach na hamowni silnikowej nad doбором parametrów układu dwupaliwowego, zabrakło też rozpatrzenia bardzo ważnego zagadnienia, jakim jest praca silnika w warunkach dynamicznych, gdyż one są obecnie kluczowe w aspekcie emisji szkodliwych składników spalin. Obecne testy homologacyjne dla pojazdów ciężkich (powyżej masy własnej 3500 kg) opierają się na pomiarach w warunkach dynamicznych – test **WHTC** (Worldwide Heavy Duty Transient Cycle), co wymaga użycia hamowni dynamicznej. W pracy nie wykonano chociażby test statycznego – **WHSC** (Worldwide Heavy Duty Stationary cycle). Testy dynamiczne są najmniej kilkukrotnie bardziej uciążliwe od warunków statycznych i kluczowe do doboru parametrów układu zasilania i procesu spalania.

Generalnie brak jest kompleksowych wyników badań emisji związków toksycznych spalin, które są obecnie decydujące dla oceny proponowanych nowych rozwiązań w silnikach spalinowych. Z kolei pomiary stężeń nie mogą zastępować pomiarów emisji spalin.

Także w części dotyczącej badań opracowanej instalacji zasilania dwupaliwowego brak jest jednoznacznego algorytmu prowadzenia badań i opracowania map sterowania, słabo uwidoczniono wady i zalety poszczególnych typów badań – stacjonarna hamownia silnikowa, hamownia podwoziowa, badania drogowe (z tych dwóch ostatnich niewiele wynika).

#### Kolejne niedoskonałości merytoryczne to:

1. Dla przeprowadzonego w pracy typu zasilania, konieczne jest badanie NM-HC, co było przyczyną wzrostu emisji węglowodorów,
1. Znaczna objętość części streszczenia dysertacji, wynikająca m.in. z „podręcznikowego” charakteru niektórych rozdziałów.
2. Nadmierne i niepotrzebne używania słów „optymalny” (pojęcia „optymalizacja”), używanym w znaczeniu popularno-naukowym. A przecież, według definicji, optymalizacja [łac. Optimus – najlepszy], to wyznaczenie najlepszego rozwiązania jakiegoś zadania (np. techn., ekon., społ.) ze względu na przyjęte kryterium (wskaźnik specyficznie rozumianej jakości, np. koszt, zysk, niezawodność, dokładność, czas realizacji zadania), przy uwzględnieniu istniejących ograniczeń. Zatem optymalizacja jest to zagadnienie matematyczne, w którym należy zdefiniować kryterium optymalizacji, funkcje celu, funkcje kary itd., a tego Autor nie zrobił. Szczególnie nic nie mówiące jest stwierdzenie „optymalizacja efektywności”.
3. W części dotyczącej badań opracowanej instalacji zasilania dwupaliwowego brak jest jednoznacznego algorytmu prowadzenia badań i optymalizacji map sterowania, słabo uwidoczniono wady i zalety poszczególnych typów badań –stacjonarna hamownia silnikowa, hamownia podwoziowa, badania drogowe,
4. Mało krytyczna ocena możliwości stosowania technologii RCCI – mimo upływu wiele lat, technologii ta nie jest stosowana we współcześnie stosowanych pojazdach,
5. Nierealne wartości godzinowego zużycia paliwa w tabeli 6, np. 1989 kg/h !!! przy prędkości obrotowej 1200 obr/min i mocy 250 kW, czyli jednostkowe zużycie paliwa byłoby 7956 g/kWh; zużycie paliwa na poziomie silnika samolotu F16,
6. Doprecyzowania wymaga zastosowany sposób modyfikacji sygnałów sterujących pompowtryskiwaczem podczas pracy dwupaliwowej,
7. Czasami użyte słownictwo, nie jest właściwe dla omawianych zagadnień – np. Tabela 8: „tryby operacyjne”, „tolerancje temperaturowe” powinny być zastąpione odpowiednio: realizowane tryby pracy, warunki środowiskowe pracy urządzenia.
8. W rozdziale „7. Wnioski końcowe” sugerowałbym bardziej przejrzyste zakończenie tej pracy przez dodanie wniosków w następującej konfiguracji:
  - wnioski ogólne (czy zrealizowano cele pracy i czy udowodniono tezy),
  - wnioski szczegółowe,
  - wnioski metodyczne,
  - wnioski utylitarne,
  - wnioski perspektywiczne (kierunki dalszych badań).

#### Uwagi edytorskie:

- Praca zawiera w sobie tzw. teksty wiszące – tekst wprowadzający, zamieszczony między rozdziałem, a towarzyszącym mu podrozdziałem (np. 5–5.1; 5.3–5.3.1). Dla wyjaśnienia problemu tekstu wiszącego wskazuję, że:
  - Przy numeracji cyfrowej wielorzędowej po tytule rozdziału 1 powinien od razu następować tytuł podrozdziału 1.1, a tuż po tytule podrozdziału 1.6 powinien być tytuł

podrozdziału 1.6.1 itd. Między nimi nie powinno być żadnych tekstów (zwanych wiszącymi),

- Teksty te to z reguły ogólne wprowadzenia do rozdziałów, omówienia czy streszczenia,
  - Jeżeli tekst wiszący jest cennym i niezbędnym wprowadzeniem do tematu – powinien mieć numer i tytuł,
  - Jeśli tekst ten zawiera same ogólniki lub omówienie dalszej części rozdziału – powinien zostać usunięty.
- Nie wszystkie oznaczenia znajdują się w wykaz skrótów i oznaczeń,
  - Niepotrzebny spis rysunków i tabel.
  - Brak jest streszczenia i tytułu pracy w języku angielskim.
  - jakość graficzna rysunków prezentujące wyniki badań doktoranta np. rys 16, 18, 21, 23 oraz 24.
  - literówki niewłaściwy sposób stosowania liczny mnogiej – np. Tabela 8 Tryby pracy – wskazano jedynie jeden tryb.

Omawiane uwagi nie umniejszają pozytywnej oceny rozprawy, a studia nad zagadnieniami ujętymi w tematyce pracy i sposób ich przedstawienia świadczą o wystarczającej wiedzy i doświadczeniu, jakie Doktorant posiada w rozważanym obszarze naukowym. Mimo dostrzeżonych niedociągnięć należy zauważyć, iż omawiana rozprawa stanowi dzieło naukowe, charakteryzujące się dążeniem do rozwiązania problemu naukowego w kontekście poznawczym i aplikacyjnym, co zostało wysoko ocenione.

### **Ocena końcowa rozprawy doktorskiej**

1. Opiniowana rozprawa doktorska dotyczy istotnej, zarówno ze względów poznawczych, jak i użytkowych, tematyki naukowo-badawczej związanej z silnikami spalinowymi.
2. Wyznaczone cele pracy zostały osiągnięte i dokonano tego na drodze realizacji określonego zakresu pracy, w nawiązaniu do rozważań opartych na bogatej analizie literaturowej, a w szczególności własnych badań i ich interpretacji.
3. Zaproponowana przez Autora metodyka badań w zakresie dokonywanej oceny może stanowić pewne kompendium wiedzy przydatnej do zastosowania w trakcie oceny eksploatacyjnej zasilania silników dwupaliwowych.
4. Prezentując wyniki badań własnych Autor poddaje je dyskusji na tle dotychczasowych osiągnięć w tym zakresie w świecie, a następnie reasumuje we wnioskach.
5. Autor wykazał dobre opanowanie przedmiotu badań, rozległą wiedzę w swojej dyscyplinie naukowej, a w szczególności umiejętności samodzielnego prowadzenia badań i korzystania z metod koniecznych do ich wykonania oraz krytycznej interpretacji wyników badań.
6. Należy podkreślić, że z tak trudnego, czasochłonnego i kosztownego zadania Doktorant wywiązał się w sposób dobry. Wykazał się umiejętnością prowadzenia eksperymentów badawczych oraz adekwatnym formułowaniem wniosków naukowych.
7. Biorąc pod uwagę aspekt naukowy i realną możliwość wykorzystania wyników badań w praktyce, uważam dorobek poznawczy Doktoranta za istotny i w wielu punktach również użytkowy.

### **3. PODSUMOWANIE**

Na podstawie analizy przedstawionej do oceny rozprawy doktorskiej stwierdzam, że:

- Autor dokonał wyjątkowo trafnego wyboru tematyki swojej pracy, a jej zakres spełnia stawiane wymagania,

- zasadnicze cele pracy zostały osiągnięte w zakresie przyjętym przez Doktoranta, a prezentowane wyniki są uzyskane w poprawnie przeprowadzonych studiach i eksperymentach własnych i mogą służyć do dalszych prac,
- formalny układ pracy jest prawidłowy,
- dysertacja dobrze nawiązuje do aktualnej wiedzy i praktyki, a w wielu elementach wnosi do nich nowe treści,
- znaczna akumulacja należycie ustalonych faktów sprawia, że zostało spełnione kryterium logicznej poprawności pracy.

Powyższe fakty świadczą o kompetencjach Doktoranta w zakresie samodzielnego prowadzenia badań naukowych oraz wskazują na Jego dużą wiedzę ogólną i umiejętności praktyczne w dyscyplinie naukowej „Inżynieria mechaniczna”, w której mieszczą się zagadnienia objęte rozprawą.

**Stwierdzam zatem, że praca mgr. inż. Janusza Chojnowskiego pt. „Badania układu zasilania dwupaliwowego do modernizacji silników spalinowych pojazdów ciężarowych” (promotor: prof. dr hab. inż. Tadeusz Dziubak, prof. WAT; promotor pomocniczy: dr inż. Mirosław Karczewski) spełnia wymagania stawiane pracom 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.) i stawiam wniosek do Rady Dyscypliny Inżynierii Mechanicznej o przyjęcie rozprawy i o dopuszczenie Autora do publicznej obrony.**

