

Prof. dr hab. inż. Dariusz Pyza
Wydział Transportu
Politechnika Warszawska
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

Warszawa, dnia 14.09.2023 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgra inż. Pawła Marca

pt.: „ANALIZA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA MIESZANIN PALIW
GAZOWYCH O ZMIENNYM SKŁADZIE DO ZASILANIA SILNIKÓW
SPALINOWYCH”

Podstawę opracowania recenzji stanowi Uchwała nr 82/2023 Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Śląskiej z dnia 13 lipca 2023 r. w sprawie wyznaczenia recenzentów rozprawy doktorskiej oraz pismo nr RDILGT.512.24.2022 z dnia 18.07.2023 r. Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Śląskiej Pana dr hab. inż. Marcina Stańka, prof. PŚ.

Dokumentację merytoryczną do sporządzenia recenzji stanowił egzemplarz rozprawy doktorskiej mgra inż. Pawła Marca pt. „Analiza możliwości wykorzystania mieszanin paliw gazowych o zmiennym składzie do zasilania silników spalinowych”.

1. Syntetyczna charakterystyka recenzowanej rozprawy

Rozprawa doktorska autorstwa mgra inż. Pawła Marca dotyczy problematyki wykorzystania paliw alternatywnych do zasilania silników spalinowych z zapłonem iskrowym (ZI) w pojazdach samochodowych. Jako paliwo alternatywne do badań wykorzystano mieszaninę paliw gazowych LPG (*Liquid Petroleum Gas*) i DME (*Dimetyloeter*) w różnych proporcjach masowych. Badania eksperymentalne przeprowadzono na hamowni podwoziowej wykorzystując pojazd z silnikiem spalinowym o zapłonie iskrowym, należący do grupy samochodów osobowych klasy kompaktowej, który został uprzednio przystosowany do zasilania paliwem gazowym. Całość pracy ma spójną, przemyślaną strukturę i składa się z:

- 6 zasadniczych i ponumerowanych rozdziałów, w większości rozbudowanych o kilka podrozdziałów,
- 195 rysunków i 8 tabel zawartych w tekście,
- spisu bibliograficznego zawierającego 66 pozycji literaturowych i opracowań, w tym: 46 pozycji literaturowych zagranicznych (70,0%), 12 pozycji literaturowych polskich (18,0%) oraz 8 opracowań innych. Bibliografia zawiera 2 prace doktoranta (praca dyplomowa inżynierska i magisterska).

Całość pracy, zawarta jest na 137 ponumerowanych stronach.

Promotorem rozprawy doktorskiej jest dr. hab. inż. Grzegorz Kubica, prof. PŚ. Promotorem pomocniczym jest dr. inż. Monika Andrych – Zalewska.

2. Ocena doboru tematu rozprawy

Polityka Unii Europejskiej (UE) w zakresie ograniczania emisji gazów cieplarnianych do atmosfery, wyrażana w wielu aktach normatywnych, w sposób istotny wpływa na kształtowanie współczesnych systemów transportowych, w tym również w obszarze środków transportu. Szczególnie istotna w tym zakresie jest nowa unijna strategia wzrostu, która ma przekształcić Europę w neutralne klimatycznie, sprawiedliwe i dostatnie społeczeństwo o nowoczesnej, zasobooszczędnej i konkurencyjnej gospodarce. Strategia ta została wyrażona w dokumencie **Europejski Zielony Ład** (2019 (grudzień): komunikat Komisji Europejskiej (COM(2019) 640 final), w myśl której zakłada się przekształcenia UE w pierwszy kontynent neutralny dla klimatu do roku 2050. Osiągnięcie powyższego celu wymaga w myśl przyjętej strategii m. in. ograniczenia emisji gazów cieplarnianych o co najmniej 55% do roku 2030 w stosunku do poziomów z roku 1990 oraz ograniczenia emisji zanieczyszczeń w sektorze transportu o 90 % do roku 2050.

Szczególnie istotny dla sfery transportu jest pakiet nowych i zaktualizowanych przepisów pod nazwą *Fit for 55* (Gotowi na 55) przyjęty w 2021 r. przez Komisję Europejską. Pakiet ten składa się z 13 połączonych ze sobą i zaktualizowanych przepisów oraz 6 proponowanych przepisów dotyczących klimatu i energii. W pakiecie zakłada się, że nowe samochody osobowe i dostawcze w UE będą generować zerową emisję netto w roku 2035. Takie podejście istotnie wpływa na wykorzystywanie paliw alternatywnych w sektorze transportu i rozwój nowych technologii w tym zakresie.

Pakiet *Fit for 55* zawiera cztery wnioski promujące czystsze ekologicznie pojazdy i czyste paliwa w sposób technologicznie neutralny. Zmiana norm emisji CO₂ dla nowych samochodów osobowych i samochodów dostawczych ma na celu dalsze ograniczenie emisji gazów cieplarnianych przez te pojazdy, zapewniając jasną i realistyczną ścieżkę prowadzącą do mobilności bezemisyjnej.

Cele jakie zostały zdefiniowane w pakiecie *Fit for 55* determinują nowe wyzwania w zakresie m. in.: składu i rodzaju paliwa, konstrukcji technicznych pojazdu oraz rodzaju napędu.

W tym aspekcie Autor w rozprawie zajął się aktualnym problemem wykorzystania paliwa alternatywnego w silnikach samochodowych o zapłonie iskrowym, co wpisuje się w działania pakietu.

Wzrost znaczenia transportu jak również ograniczenia środowiskowe zdefiniowane w aktach normatywnych UE determinują rozwój w obszarze zarówno nowych konstrukcji pojazdów jak i wykorzystania paliw alternatywnych. Taka sytuacja powoduje, że producenci samochodów inwestują w rozwój nowoczesnych układów napędowych, głównie hybrydowych, elektrycznych i wodorowych. Ponadto wsparcie przez rządy poszczególnych krajów nabywców pojazdów, w postaci subwencji na zakup zelektryfikowanych aut, prowadzi do coraz większej liczby sprzedawanych aut wyposażonych w alternatywne układy napędowe.

Pomimo znacznej intensyfikacji trendu w rozwoju napędów alternatywnych i wykorzystania bardziej ekologicznych paliw transportowych, producenci nie zaprzestali prac nad modyfikacją i unowocześnianiem konwencjonalnych napędów pojazdów samochodowych, a tym samym żaden z producentów samochodów, oferujących auta z napędem konwencjonalnym, nie zdecydował się na całkowite wyeliminowanie silników spalinowych ze swojej oferty.

W światowej motoryzacji obserwuje się intensywne prace w zakresie poszukiwania nowoczesnych i alternatywnych rozwiązań w obszarze zastosowań napędów środków transportu drogowego i wykorzystania bardziej ekologicznych paliw transportowych. Poprawa efektywności silników spalinowych wraz z jednoczesnym rozwojem układów oczyszczania spalin stanowi jeden z głównych kierunków tych poszukiwań.

W tym kontekście zagadnienia poruszone w rozprawie wpisują się w aktualne problemy badawcze, a opracowane wnioski i rekomendacje mogą posłużyć do dalszych badań i zastosowań w obszarze rozwoju wykorzystania paliw alternatywnych w pojazdach samochodowych.

Zagadnienia zawarte w rozprawie mają charakter zarówno teoretyczno-badawczy jak i praktyczny z możliwością ich wykorzystania do celów wdrożeniowych. Zatem realizacja rozprawy doktorskiej stanowi przykład dobrze rozumianych badań stosowanych.

Reasumując stwierdzam, że temat recenzowanej rozprawy doktorskiej jest aktualny i odpowiadający na zapotrzebowanie rynku motoryzacyjnego w tym obszarze. Tak, więc podjęty przez doktoranta problem badawczy jest jak najbardziej uzasadniony, a sformułowanie tematu właściwe.

3. Ogólna charakterystyka rozprawy

Treść rozprawy została przedstawiona w sześciu zasadniczych i ponumerowanych rozdziałach poprzedzonych spisem treści oraz wykazem ważniejszych skrótów i symboli.

We wstępie – **rozdział pierwszy**, Autor rozprawy przedstawił tło i genezę poruszanych zagadnień oraz wskazał główne kierunki rozwoju wykorzystania paliw w motoryzacji. Ponadto przedstawiono aktualny podział paliw oraz wybrane sposoby zasilania środków transportu.

W **rozdziale drugim**, Autor pracy przedstawił szczegółową analizę mieszanin paliw gazowych. Dokonano charakterystyki kryteriów oceny paliw w tym omówiono szczegółowo kryterium dostępności, ekonomiczności, akceptacji, oddziaływania na środowisko oraz kryterium technologiczne i uniwersalności. Ponadto przedstawiono charakterystykę dimetyloeteru (DME) oraz sposób jego wytwarzania i wykorzystania w gospodarce w tym zastosowania w transporcie jako paliwo alternatywne.

Wprowadzenie do problematyki oraz przegląd literaturowy w zakresie paliwa alternatywnego jakim jest dimetyloeter, umożliwiło Autorowi rozprawy zdefiniowanie celu i hipotezy pracy – **rozdział trzeci**.

Kolejne rozdziały stanowią oryginalne osiągnięcie Autora rozprawy. W **rozdziale czwartym** przedstawiono metodykę badań, na którą składa się przedmiot badań, obiekt badań i procedury badawcze oraz wyznaczenie próbki badawczej. W rozdziale Autor przedstawił charakterystykę stanowiska badawczego wykorzystywanego do wytwarzania mieszanin paliw gazowych oraz procedury związane z obliczaniem udziału składników w mieszaninie paliwowej i wytwarzania mieszanin. W dalszej części rozdziału przedstawiono obiekt badań, którym był samochód marki Opel Astra F z silnikiem spalinowym o zapłonie iskrowym. Pojazd ten należy do grupy samochodów osobowych klasy kompaktowej. Pojazd przystosowano do zasilania paliwem gazowym, wykorzystując instalację do wtrysku fazy gazowej produkowaną przez firmę Tartarini – model Etagas w wersji LPG. Istotnym elementem rozdziału są procedury badawcze, w ramach których Autor pracy zaproponował pomiary: mocy i momentu

obrotowego na hamowni podwoziowej, ciśnienia wewnątrz cylindra, masowego zużycia paliwa, dynamiki pojazdu, stężenia składników spalin oraz realizację obciążeń częściowych. W tej części rozdziału przedstawiona została również metodyka wyznaczania próbki reprezentatywnej. Przedstawione założenia i procedury posłużyły do badań i prezentacji wyników w kolejnym rozdziale dysertacji.

Rozdział piąty przedstawia wyniki badań i ich analizę. W rozdziale przedstawiono szereg wykresów wraz z ich szczegółową analizą. Wyniki badań eksperymentalnych dotyczą średniego ciśnienia indykowanego, identyfikacji granic procesu spalania oraz wpływu udziału DME w mieszaninie na moc silnika, korekty kąta wyprzedzenia zapłonu na zużycie paliwa oraz parametry pracy silnika, udziału DME w mieszaninie na stężenie składników spalin i dynamikę pojazdu. Autor dysertacji w tej części pracy przeprowadził również obliczenia i analizy sprawności ogólnej. Badania prowadzone były dla wybranych prędkości obrotowych silnika oraz sześciu obciążeń silnika. Przeprowadzono również badania w zakresie możliwości poprawy parametrów użytkowych silnika poprzez korektę kąta zapłonu.

Rozdział szósty stanowią wnioski, w których Autor przedstawił w sposób syntetyczny efekty przeprowadzonych badań w ramach realizacji pracy i wskazał kierunki dalszych prac badawczych.

Podsumowując powyższy układ recenzowanej rozprawy doktorskiej należy stwierdzić, że doktorant przeanalizował stan wiedzy w obszarze prowadzonych badań oraz dokonał syntetycznej jej oceny a następnie na bazie przeprowadzonych analiz wykonał badania eksperymentalne w zakresie wykorzystania paliwa alternatywnego jakim była mieszanina paliw gazowych LPG i DME w różnych proporcjach masowych do zasilania silnika spalinowego z zapłonem iskrowym.

Biorąc pod uwagę całość rozprawy oraz strukturę podziału treści na poszczególne rozdziały i podrozdziały uważam, że metodycznie jest to układ poprawny i odpowiada wymaganiom prac doktorskich o profilu technicznym.

4. Ocena merytoryczna rozprawy

Analiza rozprawy pozwala na stwierdzenie, że zakres pracy przedstawiony w dysertacji jest obszerny i prezentuje obszar badawczy doktoranta.

Jako punkt wyjścia do badań prowadzonych przez doktoranta i przedstawionych w dysertacji przyjęto tezę naukową, która brzmi *„Wykorzystanie DME jako składnika mieszaniny paliwowej z LPG umożliwia utrzymanie parametrów użytkowych silnika na zbliżonym lub wyższym poziomie w pełnym zakresie jego pracy”*.

Przyjęcie powyższej tezy umożliwiło doktorantowi sformułowanie celu naukowego rozprawy, którym było *„wykazanie, że mieszaniny paliw gazowych mogą pełnić rolę pełnowartościowego paliwa w silnikach o zapłonie iskrowym, wykorzystywanych do napędu środków transportu”*.

Realizacja celu głównego wymagała od doktoranta sformułowania celów cząstkowych, które, obejmują:

1. Zbadanie wpływu wielkości udziału DME w mieszaninie z LPG, na moc silnika.
2. Pomiar zużycia paliwa, przy zasilaniu silnika mieszaninami paliwowymi o zmiennych proporcjach LPG/DME.

3. Analizę zmian ciśnienia indykowanego i granic procesu spalania przy zasilaniu mieszaninami o różnych udziałach składników.
4. Porównanie parametrów dynamicznych pojazdu zasilanego mieszaninami z udziałem DME, w stosunku do wartości osiąganych przy zasilaniu LPG.
5. Określenie możliwości poprawy parametrów użytkowych silnika zasilanego mieszaninami LPG/DME poprzez korektę kąta wyprzedzenia zapłonu.

Cel pracy, przyjęty przez doktoranta jest prawidłowy i odpowiada założeniom określonym na etapie formułowania tezy naukowej.

Rozpatrywany w recenzowanej rozprawie doktorskiej problem dotyczy zagadnień wykorzystania paliwa alternatywnego jakim jest mieszanka paliw gazowych LPG i DME w różnych proporcjach masowych w silniku o zapłonie iskrowym. Przedstawiony problem jest ciekawy i odpowiada aktualnym wyzwaniom jakie stoją przed rynkiem motoryzacyjnym w obszarze wykorzystania paliw alternatywnych do silników spalinowych i ograniczania emisji szkodliwych składników paliw do atmosfery.

Obszar badawczy przedstawiony w rozprawie, można podzielić na dwie części, teoretyczną i badawczą.

Część teoretyczna oparta na materiałach źródłowych, dotyczy zagadnień wykorzystania dimetyloeteru (DME) w motoryzacji i sposobu tworzenia mieszanki paliw wykorzystywanej do badań w silniku o zapłonie iskrowym. W tej części opracowania doktorant dokonał przeglądu literatury w obszarach bezpośrednio związanych z zakresem dysertacji. Przegląd literaturowy dotyczył zagadnień:

- podziału paliw i ich wykorzystania w motoryzacji oraz sposobów zasilania środków transportu,
- kryteriów oceny paliw wykorzystywanych w środkach transportu,
- powstawania eteru dimetylowego oraz jego zalet i wad jako paliwa alternatywnego do środków transportu,
- możliwości wykorzystania eteru dimetylowego jako paliwa alternatywnego w środkach transportu,
- kierunków zmian w grupie paliw wykorzystywanych do napędu środków transportu.

W części teoretycznej doktorant dokonując przeglądu literaturowego w obszarze zagadnień związanych z pracą, wskazuje w konkluzji, że obecne badania związane z dimetyloeterem i jego wykorzystaniem w transporcie jako paliwa alternatywnego w większości związane są z zastosowaniami w silnikach o zapłonie samoczynnym (ZS) w mniejszym zakresie w silnikach o zapłonie iskrowym (ZI). Badania prowadzone na silniku ZI zasilanego mieszaniną paliw LPG i DME prowadzono jedynie dla maksymalnych obciążeń oraz bez zmiany nastaw zapłonu. Wnioski takie sprawiają, że niniejsza praca stanowi nie tylko weryfikację aktualnego stanu wiedzy, ale również jest kontynuacją badań wykorzystania mieszanin paliw gazowych do zasilania silników spalinowych ZI.

W ciągu ostatnich kilku lat, wiele ośrodków badawczych podjęło tematykę silnikowego procesu spalania mieszanin LPG i DME, co świadczy o rosnącym zainteresowaniu tym paliwem.

Przegląd literaturowy przeprowadzono na podstawie bibliografii, której charakterystykę przedstawiłem w pkt. 1 recenzji. W tej części analiz powstaje pytanie braku szerszego

przeglądu literaturowego autorów polskich prowadzących badania naukowe w tym obszarze w czołowych krajowych ośrodkach akademickich.

Część badawcza pracy związana jest z eksperymentami naukowymi prowadzonymi na obiekcie badań z wykorzystaniem metod eksperymentalnych – stanowiskowych. Badania eksperymentalne dotyczyły pomiarów: mocy i momentu obrotowego na hamowni podwoziowej, ciśnienia wewnątrz cylindra, masowego zużycia paliwa, dynamiki pojazdu, stężenia składników spalin oraz realizacji obciążeń częściowych. Tak dobrane i przeprowadzone badania eksperymentalne pozwoliły doktorantowi na opracowanie i przedstawienie wyników badań, które dotyczyły średniego ciśnienia indykowanego, identyfikacji granic procesu spalania oraz wpływu udziału DME w mieszaninie na moc silnika, korekty kąta wyprzedzenia zapłonu na zużycie paliwa oraz parametry pracy silnika oraz udziału DME w mieszaninie na stężenie składników spalin i dynamikę pojazdu. Autor dysertacji przeprowadził również obliczenia i analizy sprawności ogólnej. Badania prowadzone były dla wybranych prędkości obrotowych silnika (2000, 2500, 3000 obrotów/min) oraz sześciu stopni obciążenia silnika (21, 33, 48, 69, 90, 100%). Przeprowadzono również badania w zakresie możliwości poprawy parametrów użytkowych silnika poprzez korektę kąta zapłonu.

Oryginalnym **osiągnięciem doktoranta jest opracowanie metodyki badań** dotyczącej wykorzystania paliwa alternatywnego jakim była mieszanina paliw gazowych LPG i DME w różnych proporcjach masowych do zasilania silnika spalinowego z zapłonem iskrowym. Metodyka badań została zweryfikowana podczas badań eksperymentalnych przeprowadzonych na hamowni podwoziowej wykorzystując pojazd z silnikiem spalinowym o zapłonie iskrowym, należący do grupy samochodów osobowych klasy kompaktowej, który został uprzednio przystosowany do zasilania paliwem gazowym.

Praca wnosi zatem oryginalny wkład w rozwój nauki w obszarze wykorzystania paliw alternatywnych w pojazdach samochodowych.

Problematyka rozprawy i uzyskane efekty końcowe posiadają wartość praktyczną dla analizy możliwości wykorzystania eteru dimetylowego jako paliwa alternatywnego w środkach transportu. Biorąc pod uwagę wartość merytoryczną rozprawy oraz aspekty praktyczne, za istotne walory rozprawy należy uznać:

- trafny wybór tematyki i przedmiotu badań,
- właściwy dobór badań i metodyki badawczej,
- wykazanie umiejętności samodzielnego prowadzenia badań naukowych,
- opracowanie metody badań dotyczącej wykorzystania paliwa alternatywnego jakim była mieszanina paliw gazowych LPG i DME w różnych proporcjach masowych do zasilania silnika spalinowego z zapłonem iskrowym,
- opracowanie stanowiska do wytwarzania mieszaniny paliw gazowych, wykorzystywanych do badań eksperymentalnych na obiekcie badań,
- możliwość zastosowania opracowanej metody w przemyśle motoryzacyjnym,
- wykazanie umiejętności analizowania i dokumentowania wyników badań, a także posiadania znajomości aparatu matematycznego (bardzo liczne wykresy i ich szczegółowa i trafna interpretacja),
- zaproponowanie naukowego rozwiązania postawionego problemu badawczego i zrealizowanie założonego celu rozprawy.

Uwagi szczegółowe i pytania w dyskusji:

1. Mieszanina paliw LPG i DME wykorzystywana w badaniach eksperymentalnych przygotowana była w różnych proporcjach masowych. W pracy wspomniał Pan, że przyjęte udziały określono na podstawie analizy stanu wiedzy – brak jest szerszej analizy w tym zakresie. Jakie zasady przyjęto w dysertacji przy określaniu udziałów masowych DME przy sporządzaniu mieszanki paliwowej do badań i z czego to wynikało? Czy przyjęte w dysertacji udziały masowe DME przy sporządzaniu mieszanki paliwowej do badań są w pełni wystarczające aby wyniki badań były reprezentatywne?
2. Badania eksperymentalne prowadzone były dla wybranych prędkości obrotowych silnika oraz sześciu stopni obciążenia silnika. Czy uważa Pan, że taki zakres badań jest wystarczający aby można było uogólnić wyniki badań?
3. Jakimi błędami obarczone są wyniki pomiarów. Przeprowadzenie analizy niepewności pomiarowej w odniesieniu do uzyskanych przez Autora wielkości podniosłoby wartość merytoryczną ocenianej pracy.
4. W badaniach eksperymentalnych wykorzystano samochód marki Opel Astra F z silnikiem spalinyowym o zapłonie iskrowym, przystosowany do zasilania paliwem gazowym. Czy wyniki badań można uogólnić na inne pojazdy np. innych marek czy silniki ZI o innej pojemności?
5. Doktorant w przeglądzie literaturowym w większości skupił się na badaniach prowadzonych w ośrodkach naukowych zagranicznych, zatem moje pytanie brzmi, czy w polskich ośrodkach naukowych prowadzone są badania w zakresie problematyki podjętej w dysertacji. Jeżeli tak, to dlaczego nie odniesiono się do wyników badań prezentowanych przez te ośrodki w przeglądzie literaturowym dysertacji?
6. Praca zawiera błędy stylistyczne i językowe np. str. 17, 18, 20, 21, 62 (błąd w opisie legendy powielany na pozostałych rysunkach), 76, itd.
7. Pomyłona numeracja rysunków np. podwójna numeracja rys. 2.1 – str. 14 i str. 15, brak kolejności numeracji rysunków w rozdziale 5 – jest rys. 5.77 a następnie jest rys. 5.58.
8. Brak spisu rysunków i tabel – wykaz pozwoliłby Autorowi pracy na uporządkowanie numeracji.
9. Układ spisu literaturowego jest chaotyczny. W opracowaniach naukowych zasadne jest aby pozycje literaturowe uporządkowane były według przyjętej chronologii, zazwyczaj alfabetycznie po nazwiskach autorów. W dysertacji spis pozycji literaturowych wydaje się chaotyczny i nieprzemyślany. Ponadto w ocenie recenzenta nie należy wyróżniać literatury jako oddzielnego rozdziału.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska napisana jest poprawnym językiem, na dobrym poziomie edytorskim. Niemniej jednak w kilku miejscach wystąpiły drobne błędy językowe, stylistyczne i redakcyjne. Powyższe drobne uwagi nie wpływają na pozytywną ocenę wartości merytorycznej pracy. Stanowi ona cenny dorobek naukowy Autora w reprezentowanej dyscyplinie naukowej, a jej wyniki są ważne i interesujące zarówno z poznawczego jak i praktycznego punktu widzenia.

Problemy, do których prosiłbym o ustosunkowanie się Pana mgra inż. Pawła Marca podczas publicznej obrony to udzielenie odpowiedzi na pytanie nr 1.

Autor rozprawy wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną w reprezentowanej dyscyplinie naukowej, dobrą znajomością przedmiotu badań oraz umiejętnością analitycznego spojrzenia na rozpatrywany problem. Wprowadził nowe elementy wiedzy w obszarze podjętych badań posługując się przy tym nowoczesnymi narzędziami służącymi realizacji pracy naukowej oraz umiejętnością samodzielnego prowadzenia tego typu badań przez znajomość metodyki badań oraz uzasadniania i doboru narzędzi naukowych.

Niniejsza praca stanowi wkład w rozszerzenie wiedzy naukowej oraz technicznej dotyczącej wykorzystania paliw alternatywnych w pojazdach samochodowych i stanowi uzupełnienie prowadzonych dotychczas badań przez różne inne ośrodki naukowe.

Praca z oczywistych względów nie wyczerpuje całości tematyki zagadnień badawczych dotyczących wykorzystania paliw alternatywnych w pojazdach samochodowych, tym samym Autor będzie mógł prowadzić dalsze badania w tym zakresie.

5. Podsumowanie i wniosek końcowy

Praca doktorska mgra inż. Pawła Marca pt. *„Analiza możliwości wykorzystania mieszanin paliw gazowych o zmiennym składzie do zasilania silników spalinowych”* jest ciekawa zarówno pod względem naukowym jak i praktycznym.

Przedstawiona do recenzji dysertacja dotyczy aktualnych problemów związanych z wykorzystaniem paliw alternatywnych w pojazdach samochodowych.

Na podstawie przeprowadzonej analizy treści pracy uważam, że doktorant dokonał trafnego wyboru tematyki swoich badań, a praca stanowi oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego. Tak przedstawiona dysertacja nawiązuje do aktualnej wiedzy i praktyki, wnosząc do niej nowe treści.

Cel rozprawy został sformułowany poprawnie, osiągnięty i potwierdzony wynikami badań. Przedstawiona przez doktoranta metoda ma właściwości wdrożeniowe, co wpisuje się w ogólną tendencję prowadzonych badań naukowych, związaną z zastosowaniami aplikacyjnymi i wdrożeniowymi.

Opiniowana rozprawa jest opracowaniem o znacznych walorach poznawczych i ma charakter opracowania naukowego. Przygotowana została starannie i wyczerpująco, omawia zastosowany aparat badawczy, przeprowadzone badania i analizy oraz prawidłowo formułuje ciekawe i istotne dla dalszych prac wnioski.

Zaprezentowane w pracy wyniki badań są cenne zarówno z naukowego punktu widzenia, jak i zastosowań praktycznych oraz wnoszą elementy nowej wiedzy w dyscyplinie naukowej: Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport.

Zgromadzony w ramach realizacji pracy obszerny materiał badawczy, może zostać wykorzystany do dalszej analizy naukowej. Autor pracy – mgr inż. Paweł Marzec wykazał się umiejętnością samodzielnego formułowania i rozwiązywania zadań naukowych na poziomie prac doktorskich i reprezentuje wysoki poziom wiedzy w dziedzinie tematyki rozprawy.

W trakcie czytania pracy nasunęły mi się pewne wątpliwości i pytania wymagające wyjaśnienia, które zawarłem w niniejszej recenzji, ale które w moim przekonaniu nie obniżają jednoznacznie pozytywnej oceny pracy. Sformułowane przeze mnie uwagi mogą w części

wynikać z odmienności poglądów i różnych ocen omawianych zagadnień, a w części są zachętą do dyskusji w zakresie poruszanych kwestii.

Biorąc pod uwagę, sformułowane powyżej opinie wyrażam jednoznaczne stanowisko, że rozprawa Pana **mgra inż. Pawła Marca** pt.: *„Analiza możliwości wykorzystania mieszanin paliw gazowych o zmiennym składzie do zasilania silników spalinowych”* 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