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

Warszawa, dnia 04.12.2020 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Macieja Sidorowicza

pt.: „IDENTYFIKACJA SYSTEMU TWORZENIA ŁADUNKU I SPALANIA Z DWUPALIWOWYM UKŁADEM ZASILANIA Z WTRYSKIEM BEZPOŚREDNIM"

Podstawę opracowania recenzji stanowi pismo nr DR-63/557/2/2020 z dnia 28.09.2020 r. Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Poznańskiej prof. dr hab. inż. Jacka Pielechy.

1. Syntetyczna charakterystyka recenzowanej rozprawy

Przedmiotowa rozprawa doktorska dotyczy problematyki bezpośredniego, wysokociśnieniowego wtrysku dwóch różnych paliw ciekłych do komory spalania silnika o zapłonie iskrowym. Rozprawa składa się z:

- 9 zasadniczych i ponumerowanych rozdziałów, w większości rozbudowanych o kilka podrozdziałów,
- streszczenia, w języku polskim i angielskim,
- wykazu ważniejszych skrótów, oznaczeń i indeksów,
- 109 rysunków i 20 tabel zawartych w tekście,
- spisu bibliograficznego zawierającego 125 pozycji literaturowych i opracowań, w tym: 102 pozycje literaturowe (82,0%) zagraniczne, 9 pozycji literaturowych (7,2%) polskich, 11 opracowań innych, 3 rozporządzenia i dyrektywy oraz 2 prace współautorskie doktoranta anglojęzyczne.

Całość pracy, zawarta jest na 112 ponumerowanych stronach.

Promotorem rozprawy doktorskiej jest prof. dr. hab. inż. Ireneusz Pielecha. Promotorem pomocniczym jest dr. inż. Mateusz Nowak.

2. Ocena doboru tematu rozprawy

Rozwój gospodarczy Unii Europejskiej (UE) determinuje wzrost przewozów towarowych i pasażerskich. W tym aspekcie systematycznie rosnące przepływy pasażerów i ładunków implikują wzrost znaczenia transportu.

Transport i jego rozwój niesie za sobą szeroko pojęte negatywne konsekwencje związane m. in. z emisją dużej ilości wydalanych do atmosfery zanieczyszczeń. Zanieczyszczenie powietrza pochodzące z transportu determinowane jest wieloma czynnikami, do których zaliczyć można m. in.: skład i rodzaj paliwa, rodzaj i podstawowe cechy konstrukcyjne pojazdu oraz rodzaj napędu. W tym aspekcie silniki spalinowe zasilane paliwami węglowodorowymi pozyskiwanymi ze źródeł kopalnych stały się podstawową jednostką napędową w światowej motoryzacji.

Autor w rozprawie zajął się problemem zwiększania sprawności procesu spalania w komorze spalania silnika o zapłonie iskrowym.

Wzrost znaczenia transportu determinuje rozwój układów napędowych w zakresie poszukiwania innowacyjnych technologii w obszarze nowych źródeł napędów pojazdów samochodowych. 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, 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.

Szacuje się, że silniki spalinowe będą wykorzystywane na całym świecie do napędu pojazdów samochodowych jeszcze przez co najmniej kilka dekad. Istnieją zatem racjonalne przesłanki do ich ulepszania, przyczyniając się tym samym do poprawy jakości powietrza oraz ochrony środowiska.

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

Autor rozprawy, wykorzystując trendy w rozwoju silników spalinowych, jakimi są zastosowanie paliw alternatywnych oraz kombinacja wtrysku pośredniego z bezpośrednim, podjął się połączenia obu tych działań, w toku poszukiwań sposobów zwiększania sprawności procesu spalania paliwa w komorze spalania.

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 napędów pojazdów.

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 dziewięciu zasadniczych i ponumerowanych rozdziałach poprzedzonych spisem treści i wykazem ważniejszych skrótów, oznaczeń i indeksów.

We wprowadzeniu – **rozdział pierwszy**, Autor rozprawy przedstawił tło i genezę poruszanych zagadnień oraz wskazał główne kierunki rozwoju silników i systemów spalania.

W rozdziale drugim, Autor nakreślił obszar problemowy oraz dokonał obszernego przeglądu literaturowego w zakresie stosowania paliw węglowodorowych i ich mieszanin do zasilania silników spalinowych o zapłonie iskrowym, zarówno w aspekcie ich bezpośredniego jak i pośredniego wtrysku do cylindra. Na podstawie analizy literatury, Autor rozprawy stwierdza, że rozwiązania wtrysku dwupaliwowego i spalania powstałych mieszanin, powodują duże możliwości kształtowania ładunku podczas jego tworzenia oraz jego spalania.

W rozdziale trzecim zostały sformułowane cel i teza rozprawy. Jako cel rozprawy przyjęto określenie wskaźników ilościowych umożliwiających potwierdzenie lub odrzucenie tezy naukowej. Teza naukowa rozprawy to: „*zastosowanie bezpośredniego wtrysku dwóch paliw do cylindra przed zapłonem, pozwala na zwiększenie możliwości sterowania procesami przygotowania i spalania ładunku uwarstwionego w silniku o zapłonie iskrowym*".

Określony przez doktoranta cel dysertacji stanowił punkt wyjścia do rozwiązania problemu oraz zdefiniowania metod i narzędzi do przeprowadzenia badań.

Kolejne rozdziały od czwartego do dziewiątego stanowią oryginalne osiągnięcie Autora rozprawy.

Rozdział czwarty przedstawia koncepcję dwupaliwowego systemu zasilania z bezpośrednim tworzeniem ładunku w komorze spalania. Badania w tym obszarze prowadzone były z wykorzystaniem nowatorskiego systemu wtrysku, w którym wykorzystano dwa wysokociśnieniowe wtryskiwacze paliwa umieszczone bezpośrednio w komorze spalania. Użycie tego systemu umożliwiło doktorantowi identyfikację efektów mieszania paliw bezpośrednio w komorze spalania przy tworzeniu mieszanki uwarstwionej. W rozdziale tym, Autor przedstawił również metodykę i dokonał doboru paliw wykorzystanych w badaniach oraz metodykę aktywnego tworzenia mieszanki przez parametryzację współczynnika nadmiaru powietrza.

W rozdziale piątym, Autor przedstawił charakterystykę metody badawczej oraz obiekt i aparaturę badawczą. Rozwiązanie zagadnienia badawczego przeprowadzono z wykorzystaniem metod modelowania symulacyjnego, w środowisku komputerowej mechaniki płynów – AVL Fire 2019.2 oraz stanowiskowych, z użyciem komory o stałej objętości (CVC – *constant volume chamber*) oraz z wykorzystaniem maszyny pojedynczego cyklu (MPC).

Badania symulacyjne doktorant przeprowadził z wykorzystaniem modelu komory spalania silnika odwzorowanej w środowisku Autodesk Inventor i zaimportowanej do programu

symulacyjnego, co pozwoliło na odwzorowanie warunków brzegowych modelowanego zjawiska. Przeprowadzenie badań symulacyjnych umożliwiło doktorantowi w większym stopniu odwzorować poziom stężenia składników spalin, niż ma to miejsce w przypadku badań laboratoryjnych z użyciem MPC. W badaniach stanowiskowych, w przebiegu rozpylenia paliwa wykorzystano metodę optyczną natomiast w badaniach przebiegu spalania paliw w maszynie pojedynczego cyklu wykorzystano równocześnie metodę optyczną i indykatorową. Jako obiekty badawcze scharakteryzowano autorski system dostarczania paliwa, badawczy układ wtryskowy, komorę o stałej objętości oraz maszynę pojedynczego cyklu spalania. Do rejestracji obrazu z przebiegu rozpylenia i spalania paliw wykorzystano kamerę rejestrującą o dużej częstotliwości próbkowania. Badania prowadzone były przy wykorzystaniu światła LED oraz światła laserowego w celu wyeliminowania zależności wyników badań od rodzaju oświetlenia.

Rozdział szósty poświęcony został problematyce modelowania i oceny procesu przygotowania mieszaniny palnej w silniku z dwupaliwowym układem tworzenia ładunku w komorze spalania z wykorzystaniem metod symulacyjnych. W tym obszarze doktorant przedstawił badania w zakresie określenie pseudooptymalnego położenia wtryskiwaczy w komorze spalania oraz przebiegu rozpylenia i spalania różnych paliw wraz z analizą stężenia powstałych w procesie składników spalin. Przeprowadzone badania symulacyjne rozpylenia i spalania paliw oraz emisji spalin posłużyły do formułowania badań eksperymentalnych.

Po zakończeniu badań symulacyjnych przeprowadzono badania stanowiskowe rozpylenia paliwa przy użyciu komory o stałej objętości. Celem tych badań była weryfikacja obserwacji z badań symulacyjnych opisanych w rozdziale szóstym.

W rozdziale siódmym, Autor przedstawił pierwszy etap badań eksperymentalnych dotyczących rozpylenia paliw przy użyciu metody optycznej w komorze o stałej objętości. Badania przeprowadzono w celu potwierdzenia wniosku płynącego z badań symulacyjnych, który dotyczył znikomego wpływu rodzaju paliwa na geometryczne właściwości strugi. Badania optyczne rozpylanych paliw oceniano na podstawie parametrów paliwa i powietrza jakimi były ciśnienie paliwa i przeciwciśnienie powietrza, czas wtrysku oraz objętość pojedynczej dawki. Czas rejestracji obserwacji strugi wynosił 5 ms z rozdzielczością 0,1 ms.

W następnym etapie doktorant przeprowadził badania indykatorowe oraz optyczne spalania paliw w różnych konfiguracjach przy użyciu maszyny pojedynczego cyklu. Ten etap prac przedstawiono **w rozdziale ósmym**. Celem analiz przedstawionych w tym rozdziale była identyfikacja zjawisk związanych ze spalaniem paliwa z wykorzystaniem autorskiego systemu wtrysku paliw, co **jest oryginalnym osiągnięciem doktoranta**. Przeprowadzone badania eksperymentalne spalania miały na celu ostateczne potwierdzenie założonej hipotezy badawczej dotyczącej zwiększenia możliwości sterowania procesami przygotowania ładunku i spalania różnych mieszanin paliw, a także potwierdzenie obserwacji z badań symulacyjnych procesu spalania.

Badania indykatorowe przeprowadzone przy użyciu maszyny pojedynczego cyklu polegały na jednoczesnym pomiarze przebiegu ciśnienia w komorze spalania i położenia tłoka w czasie trwania procesu. Na podstawie tych wartości doktorant przeprowadził analizę wartości ciśnienia maksymalnego, szybkości narastania ciśnienia po zapłonie, szybkości wywiązywania ciepła oraz wywiązanego ciepła. Przedstawiona analiza optyczna procesu spalania paliw w postaci zarejestrowanych obrazów wykazała na występowanie znaczących różnić w rozwoju

płomienia dla różnych konfiguracji spalanych paliw i wskazując na nieco odmienne przebiegi spalania poszczególnych mieszanin. W rozdziel tym doktorant przedstawił również walidację wyników symulacyjnych z wynikami badań eksperymentalnych przebiegu spalania.

Rozdział dziewiąty 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 w sposób wnikliwy przeanalizował stan wiedzy w obszarze prowadzonych badań oraz dokonał syntetycznej jej oceny a następnie na bazie przeprowadzonych analiz przeprowadził badania symulacyjne i eksperymentalne w zakresie tworzenia ładunku i jego spalania z wykorzystaniem wielopaliwowego układu z wtryskiem bezpośrednim.

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 i jej celu

Wnikliwa 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 „***zastosowanie bezpośredniego wtrysku dwóch paliw do cylindra przed zapłonem, pozwala na zwiększenie możliwości sterowania procesami przygotowania i spalania ładunku uwarstwionego w silniku o zapłonie iskrowym***".

Przyjęcie powyższej tezy umożliwiło doktorantowi sformułowanie celu naukowego rozprawy, którym było ilościowe określenie wskaźników umożliwiających potwierdzenie lub odrzucenie tezy naukowej.

Za wskaźniki oceny pozwalające na potwierdzenie lub odrzucenie tezy przyjęto wskaźniki ilościowe i jakościowe dotyczące:

- tworzenia ładunku (średnia średnica kropli, masa odparowanego paliwa i inne), wskaźniki uzyskiwane w wyniku zastosowania lekkich (ciekłych) paliw węglowodorowych wtryskiwanych bezpośrednio do cylindra,
- efektywności spalania, wskaźniki uzyskiwane w wyniku zastosowania różnych paliw, co skutkuje poprawą efektywności spalania, w porównaniu z wtryskiem samej benzyny,
- emisji szkodliwych składników spalin, wskaźniki uzyskiwane w wyniku zastosowania kombinacji paliw, które pozytywnie wpływają na ograniczenie emisji szkodliwych składników spalin.

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

Rozpatrywany w recenzowanej rozprawie doktorskiej problem dotyczy zagadnień przygotowania i spalania ładunku uwarstwionego z dwóch paliw w silniku o zapłonie iskrowym z wtryskiem bezpośrednim do cylindra. Przedstawiony problem jest ciekawy i odpowiada aktualnym wyzwaniom jakie stoją przed rynkiem motoryzacyjnym w obszarze konstrukcji

technicznych silników spalinowych, w zakresie ograniczania emisji szkodliwych składników paliw.

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

Część teoretyczna oparta na materiałach źródłowych, dotyczy zagadnień sposobu tworzenia mieszanki i spalania w silnikach o zapłonie iskrowym. W tej części opracowania doktorant dokonał obszernego przeglądu literatury w obszarach bezpośrednio związanych z zakresem dysertacji. Przegląd literaturowy dotyczył zagadnień:

- sterowania tworzeniem mieszanki paliwowo-powietrznej,
- przygotowania ładunku tworzonego w komorze spalania silnika spalinowego;
- genezy dwupaliwowych układów wtrysku paliwa;
- sterowania wielkością współczynnika nadmiaru powietrza w konwencjonalnych silnikach dwupaliwowych oraz w silnikach z dwupaliwowym systemem wtrysku bezpośredniego.

W części teoretycznej doktorant dokonał również przeglądu literaturowego w obszarze zagadnień związanych z procesem spalania paliwa, wskazując w konkluzji, że obecne badania spalania w układach bezpośredniego wtrysku paliwa skupiają się głównie na aspektach zwiększania sprawności procesu, ograniczania emisji szkodliwych związków spalin oraz zwiększania odporności na spalanie stukowe.

Przegląd literaturowy przeprowadzono na podstawie obszernej bibliografii obejmującej 125 pozycji literaturowych i opracowań w przeważającej większości zagranicznych (82,0% pozycji bibliograficznych). Większość pozycji literaturowych (77,0% pozycji bibliograficznych) stanowią te wydane w ciągu ostatnich 10 lat. W tej części analiz powstaje pytanie braku szerokiego przeglądu literaturowego autorów polskich prowadzących badania naukowe w tym obszarze w czołowych krajowych ośrodkach akademickich.

Część badawcza związana jest z eksperymentami naukowymi prowadzonymi na obiekcie badań z wykorzystaniem metod symulacyjnych oraz eksperymentalnych – stanowiskowych. Badania symulacyjne przeprowadzone zostały przez doktoranta z użyciem oprogramowania AVL Fire i dotyczyły ustalenia geometrycznego umieszczenia wtryskiwaczy w głowicy modelowanego silnika, wykorzystując przy tym metodę maksymalizacji wskaźnika procesów rozpylenia, spalania oraz emisji spalin dla trzech wariantów rozmieszczenia wtryskiwaczy w komorze spalania.

Kolejne badania – eksperymentalne – dotyczyły analizy procesów rozpylenia i spalania mieszanin paliw tworzonych bezpośrednio w komorze cylindra. Analizie poddano cztery mieszaniny paliw: benzyna + benzyna, benzyna + etanol, benzyna + n-heptan i benzyna + n-utanol.

Oryginalnym **osiągnięciem doktoranta jest opracowanie metody badań** dotyczącej analizy zjawiska tworzenia ładunku w komorze spalania, rozpylenia, spalania i emisji związków w spalinach z wykorzystaniem dwupaliwowego układu wtrysku bezpośredniego. Metoda obejmuje zarówno badania symulacyjne z wykorzystaniem oprogramowania AVL Fire jak i badania eksperymentalne – stanowiskowe z użyciem komory o stałej objętości oraz z wykorzystaniem maszyny pojedynczego cyklu.

W badaniach doktorant wykorzystał nowatorski system wtrysku (stanowisko badawcze), który w swojej konstrukcji ma dwa wysokociśnieniowe wtryskiwacze paliwa umieszczone bezpośrednio w komorze spalania. Użycie tego systemu umożliwiło identyfikację efektów mieszania paliw bezpośrednio w komorze spalania przy tworzeniu mieszanki uwarstwionej. **Praca wnosi zatem oryginalny wkład w rozwój nauki w obszarze rozwoju układów napędowych pojazdów.**

Problematyka rozprawy i uzyskane efekty końcowe posiadają wartość praktyczną dla analizy procesów przygotowania ładunku, wtrysku i spalania w dwupaliwowych systemach wtrysku bezpośredniego.

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 analizy zjawiska tworzenia ładunku w komorze spalania, rozpylenia, spalania i emisji związków w spalinach z wykorzystaniem dwupaliwowego układu wtrysku bezpośredniego,
- opracowanie autorskiego narzędzia do badań eksperymentalnych w postaci dwupaliwowego układu wtrysku bezpośredniego, umożliwiającego tworzenia ładunku w komorze spalania silnika spalinowego o zapłonie iskrowym,
- możliwość zastosowania opracowanej metody w przemyśle motoryzacyjnym,
- wykazanie umiejętności analizowania i dokumentowania wyników badań, a także posiadania znajomości aparatu matematycznego,
- zaproponowanie naukowego rozwiązania postawionego problemy badawczego i zrealizowanie założonego celu rozprawy.

Uwagi szczegółowe i pytania w dyskusji:

- występujące sporadycznie w pracy określenia kolokwialne, np. obaleniu tezy naukowej (str. 28),
- nie jednoznacznie sformułowane wskaźniki na etapie formułowania celu pracy, które w swoim zamyśle mają umożliwić przyjęcie lub odrzucenie tezy naukowej,
- zła numeracja rysunków w rozdziale 2,
- praca zawiera drobne błędy stylistyczne i językowe,
- 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?,
- w pracy wspomniał Pan, że dokładne porównywanie przebiegów wyników badań symulacyjnych z doświadczalnymi nie jest możliwe, ze względu na duże różnice w charakterze cykli termodynamicznych. Analizy porównawcze dotyczyły porównania wartości ciśnienia spalania. Wartości maksymalne ciśnienia spalania

mieszanin paliw dla benzyny z innymi paliwami dostarczanymi jednocześnie do komory spalania w badaniach symulacyjnych i doświadczalnych znacznie się różnią (zakres zmian 60-80%), przez co nie ma możliwości wyciągania wniosków dotyczących całego zakresu pracy modelowanego silnika. Zatem jakie są możliwość poprawy narzędzi symulacyjnych, aby wyniki eksperymentów symulacyjnych i doświadczalnych w analizowanym obszarze badań nie byłyby tak różne i w większym stopniu można byłoby opierać się na tych wynikach nie prowadząc zaawansowanych badań doświadczalnych, często bardzo kosztownych.

Osiągnięcia pracy:

Do najważniejszych osiągnięć pracy zaliczam:

- opracowanie metody badań dotyczącej analizy zjawiska tworzenia ładunku w komorze spalania, rozpylenia, spalania i emisji związków w spalinach z wykorzystaniem dwupaliwowego układu wtrysku bezpośredniego,
- opracowanie autorskiego narzędzia do badań eksperymentalnych w postaci dwupaliwowego układu wtrysku bezpośredniego, umożliwiającego tworzenia ładunku w komorze spalania silnika spalinowego o zapłonie iskrowym,
- możliwość zastosowania opracowanej metody w przemyśle motoryzacyjnym.

Autor rozprawy wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną w reprezentowanej dyscyplinie nauki, 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, uzasadniania i doboru narzędzi naukowych.

Niniejsza praca stanowi wkład w rozszerzenie wiedzy naukowej oraz technicznej dotyczącej przygotowania ładunku w komorze spalania w dwupaliwowych układach wtrysku paliwa. Stanowi próbę uzupełnienia prowadzonych dotychczas badań w zakresie zarówno rozwoju bezpośredniego wtrysku, jako metody tworzenia ładunku w silnikach spalinowych o zapłonie iskrowym jak i stosowania układów bezpośredniego dostarczania dwóch paliw do komory spalania, przyczyniając się do rozwoju jednego z aktualnych kierunków badań nad zmniejszaniem szkodliwości transportu na środowisko.

Praca z oczywistych względów nie wyczerpuje całości tematyki zagadnień badawczych dotyczących zjawisk tworzenia wielopaliwowego ładunku za pomocą aplikowanego systemu wtryskowego. Tym samym Autor będzie mógł prowadzić dalsze badania w tym zakresie, które mogą przyczynić się do bardziej szczegółowego rozpoznania systemu i jego potencjalnego wdrożenia.

Pod względem edytorskim praca jest napisana poprawnie. Język pracy jest dojrzały jednolity i poprawny, a całość jest logicznie uporządkowana. Zrozumiała metodologia postepowania, czytelne zobrazowanie przebiegu badań i prezentacja graficzna wspomagają śledzenie wywodu. Na przejrzystość struktury pracy wpływa również to, że jest właściwie zilustrowana graficznie.

Pod względem merytorycznym rozprawa nie budzi zastrzeżeń. Problem badawczy podjęty w rozprawie przez mgr. Macieja Sidorowicza, został sformułowany w sposób prawidłowy, Autor określił zadania badawcze i konsekwentnie je zrealizował w poprawnych eksperymentach badawczych.

5. Końcowa ocena rozprawy doktorskiej

Praca doktorska pt. „*Identyfikacja systemu tworzenia ładunku i spalania z dwupaliwowym układem zasilania z wtryskiem bezpośrednim*" jest ciekawa zarówno pod względem naukowym jak i praktycznym. 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 i teza naukowa zostały sformułowane poprawnie, osiągnięte i potwierdzone wynikami praktycznymi. Przedstawiona przez doktoranta metoda ma właściwości wdrożeniowe, co wpisuje się w ogólną tendencję prowadzonych badań naukowych, związaną z zastosowaniami aplikacyjnymi i wdrożeniowymi.

Wykazane wcześniej uwagi i kwestie dyskusyjne w żadnym stopniu nie osłabiają pozytywnego odbioru pracy i jej wartości merytorycznej. Na tej podstawie stwierdzam, że doktorant posiada odpowiedni poziom wiedzy teoretycznej, dobrą znajomość przedmiotu badań, zdolność do analitycznego spojrzenia na rozpatrywany problem badawczy oraz posiada kompetencje w zakresie samodzielnego prowadzenia badań w reprezentowanej dyscyplinie naukowej Inżynieria lądowa i transport.

Uważam, że mgr. inż. Maciej Sidorowicz opanował na wysokim poziomie współczesne metody i narzędzia badawcze, niezbędne do prowadzenia prac naukowych i rozwiązywania złożonych problemów badawczych.

Opiniowana rozprawa doktorska zawiera oryginalne cechy nowości i znaczące walory utylitarne. Wnosi ona znaczący wkład teoretyczny i praktyczny w rozwój nauk inżynieryjno-technicznych i mieści się w dyscyplinie naukowej Inżynieria lądowa i transport.

Biorąc pod uwagę, sformułowane powyżej opinie wyrażam jednoznaczne stanowisko, że rozprawa Pana mgr. inż. Macieja Sidorowicza pt.: „*Identyfikacja systemu tworzenia ładunku i spalania z dwupaliwowym układem zasilania z wtryskiem bezpośrednim*" spełnia ustawowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim oraz mieści się w dyscyplinie naukowej Inżynieria lądowa i transport. Wnoszę o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Na podstawie oceny metodycznej i merytorycznej recenzowanej rozprawy i z uwagi na jej wysoki poziom oraz aspekty utylitarne wnioskuje o jej wyróżnienie.

Prof. dr hab. inż. Dariusz Pyza