

Prof. dr hab. inż. Wiesław Piekarski
Zakład Inżynierii Transportu i Logistyki
Wydział Nauk Technicznych i Sztuk Projektowych
Państwowa Akademia Nauk Stosowanych
37-700 Przemyśl ul. Ks. Lubomirskich 6

Lublin dn. 10.09.2023 r.

Recenzja

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Artura Krzemińskiego
nt.: „Analiza wpływu dodatku etanolu do oleju napędowego na parametry strugi w
zasobnikowym układzie wtrysku silnika o zapłonie samoczynnym ”

Podstawa opracowania: Pismo przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów z dnia 31.05.2023 r. Nr RM-530-10-02/18/2023.

1. INFORMACJA O ROZPRAWIE

Przedstawiona rozprawa do recenzji została wykonana na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa, Politechniki Rzeszowskiej pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Kazimierza Lejdy i promotora pomocniczego dr inż. Adama Ustrzyckiego. Rozprawa została napisana na 144 stronach formatu A4. Składa się z 6 rozdziałów oraz wykazu cytowanej literatury, treść pracy poprzedzona jest wykazem ważniejszych oznaczeń i skrótów, wstępem, obszerną analizą stanu wiedzy z zakresu tematu pracy obejmującą 5 podrozdziałów. Zasadniczy tekst rozprawy zawiera 3 rozdziały składające się z: badań własnych dotyczących właściwości paliw poddanych analizie, wpływu parametrów wtrysku wybranych paliw na proces formowania strugi oraz wniosków końcowych. Praca została uwieńczona podsumowaniem i wnioskami, streszczeniem w języku polskim i angielskim. W treści pracy zamieszczono łącznie 90 rysunków, 33 tabele i 18 wzorów. Przy redakcji merytorycznej rozprawy doktorskiej skorzystano z bogatej literatury, składającej się ze 159 aktualnych i ściśle związanych z tematyką rozprawy publikacji krajowych i znacznej liczby pozycji zagranicznych, 8 norm i 4 stron internetowych.

2. OCENA METODYCZNA, STRUKTURA, PODZIAŁ TREŚCI

Przedstawiona do opinii rozprawa doktorska dotyczyła bardzo istotnych problemów związanych z dodatkiem etanolu do oleju napędowego w aspekcie charakterystyki parametrów strugi badanego paliwa w zasobnikowym układzie wtrysku silnika o zapłonie samoczynnym.

Rozprawa przedstawia aktualny i ważny z naukowego punktu widzenia problem związany z wykorzystaniem paliw ekologicznych w aspekcie motoryzacyjnego skażenia środowiska. W ostatnich latach tak w Unii Europejskiej jak i w naszym kraju zaobserwowano wzmożone działania związane z poprawą bezpieczeństwa ekologicznego, ukierunkowane na paliwa silnikowe.

Analiza problemów związanych z doбором parametrów wtrysku mieszanin oleju napędowego i dodatków etanolu z możliwością modyfikacji parametrów strugi rozpylonego paliwa dostarczanego do cylindra silnika stanowiła główny problem jakim zajął się **mgr inż. Artur Krzemiński** w swojej rozprawie. Większość publikacji prac krajowych i zagranicznych prezentuje głównie ogólne informacje dotyczące tego typu problemów badawczych. W związku z tym, że na przestrzeni ostatnich lat, a szczególnie po wejściu Polski do Unii Europejskiej, problemy bezpieczeństwa ekologicznego stały się główną strategią szeroko zakrojonych działań.

Publikacje prac krajowych i zagranicznych o charakterze aplikacyjnym, prezentują różnorodne podejście dotyczące problemów bezpieczeństwa ekologicznego. Omawiana rozprawa wychodzi naprzeciw oczekiwaniom społeczno-gospodarczym kraju jak i politycznym Unii Europejskiej. Praca ma głównie charakter eksperymentu analitycznego wytypowanych właściwości fizykochemicznych badanych paliw, oraz parametrów wtrysku paliwa w zależności od ilości dodatku etanolu, ciśnienia wtrysku. Pod względem metodycznym pracę można podzielić na część wprowadzającą w temat rozprawy (rozdział 1) i część studialną (podrozdziały 2.1; 2.2; 2.3; 2.4; 2.5). W rozdziale 2 przedstawiono analizowo-krytycznie charakterystykę układów wtryskowych, charakterystykę procesu rozpylenia i tworzenia mieszaniny palnej, podstawowe wygania paliw do silników ZS i kończąc przegląd stanu wiedzy omówieniem metod oceny procesów rozpylenia paliw. Stwierdzam, że przegląd stanu wiedzy jest zbyt obszerny, szczególnie podrozdziały się na 2.1, gdzie po krótkiej charakterystyce poszczególnych układów wystarczyło się skupić się na układzie ze sterowaną elektronicznie pompą wysokiego ciśnienia z zasobnikiem paliwa. Natomiast podrozdział 2.2 jest bardzo interesujący i dobrze przedstawiony przez Autora, który dotyczący charakterystyki procesu rozpylenia paliwa i tworzenia mieszanki paliwowo-powietrznej. Pozostałe dwa podrozdziały 2.3 i 2.4 gdyby były analitycznie i krótko przedstawione byłyby znacznie czytelniejsze w odbiorze. Bardzo cenny z punktu problematyki pracy doktorskiej jest podrozdział 2.5.

W rozdziale 3 Cel zakres pracy **Autor** ciekawie zinterpretował problem badawczy na tle aktualnego stanu wiedzy, gdzie jako podstawowy cel rozprawy przyjął analizę wpływu dodatku etanolu do oleju napędowego na parametry makrostruktury strugi w zasobnikowym

układzie wtrysku paliwa. Najistotniejszym argumentem wyboru tematu pracy były następujące determinanty obejmujące: w jaki sposób zastosowanie etanolu wpływa na parametry fizykochemiczne badanej mieszaniny i jak ukształtowanie i rozpad strugi paliwa na parametry pracy silnika. Jako tezę w swojej pracy przyjął: **czy poprzez odpowiedni dobór parametrów wtrysku dla mieszaniny oleju napędowe z etanolem można modyfikować parametry makrostruktury strugi rozpylonego paliwa doprowadzonego do cylindra silnika.**

W dalszej części pracy w rozdziale 4 przedstawiono **badania właściwości paliw poddanych analizie**, stąd w zakresie i metodyce badań (podrozdz. 4.1) przyjęto, że istotnym jest wiedza na temat różnic podstawowych właściwości fizykochemicznych badanych paliw składających się z czystego oleju napędowego i mieszanin o różnych ilościach dodatku etanolu. Analizę właściwości fizykochemicznych przeprowadzono dla **7 próbek o różnym składzie objętościowym oleju napędowego z etanolem**. Badania przeprowadzono dla mieszanin od 5% do 30% etanolu oraz dodatku 5% dodecanolu poprawiającego jednorodność mieszanin. W zaprezentowanej tabeli 4.1 podano mieszaniny paliw wykorzystane w badaniach, w tabeli 4.2 przedstawiono podstawowe właściwości alkoholu etylowego a w tabeli 4.3 podstawowe właściwości dodecanolu. Należy wyraźnie podkreślić, że Autor profesjonalnie dobrał i wykorzystał aparaturę badawczą do określenia właściwości fizykochemicznych paliw zgodnych ze standardami i normami badań. Pomiaru istotnych właściwości fizykochemicznych czystego oleju napędowego oraz poszczególnych mieszanin z etanolem pozwoliły na otrzymanie wyników, które zostały usystematyzowane i odpowiednio zaprezentowane w postaci tabelarycznej (tabela 4.40 i w postaci wykresów (rys.4,13 do 4,26). Na podstawie pomiarów przedstawionych na rys.4.13 stwierdzono, że udział etanolu skutkuje obniżeniem gęstości o 0,2 % dla każdego dodatku etanolu o 5%. Natomiast zwiększenie udziału etanolu mieszaninie rys.4.14, skutkuje obniżeniem w lepkości kinematycznej średnio o ok. 4 %. Zaś przy pomiarach destylacji paliw, najwyższą temperaturę początku destylacji rys. 4,15 uzyskał czysty olej napędowy ON100, pozostałe mieszaniny paliw charakteryzowały się odpowiednio niższą wielkością a mieszaniny ON-ET25 i ON-ET30 nie udało się wyznaczyć krzywych destylacji przy danych parametrach pomiaru. Najwyższą temperaturę zapłonu rys. 4.16 uzyskano dla ON-100 wynosząca 60,5⁰C a pozostałe mieszaniny zapalały się średnio w temperaturze 24⁰C. Z kolei przeprowadzone pomiary temperatury zablokowania zimnego filtra (CFPP) przedstawione na rys.4.17 wykazały, że mieszanina ON-ET10 charakteryzowała się najniższą wielkością. Na rys.4.18 do 4.24 przedstawiono narastająco liniowo przebieg siły obciążającej węzeł tarcia P, moment tarcia M_T i współczynnik tarcia w funkcji czasu testu badawczego. Wszystkie zmierzone właściwości badanych paliw poddano szczegółowej

analizie, zamieszczając spostrzeżenia we wnioskach szczegółowych. Analiza pozwoliła na określenie przydatności paliw pod kątem ich wpływu na kształt rozpylonego paliwa, charakteryzujący zasięg strugi oraz kąt rozpylenia.

Rozdział 5 to analiza wpływu parametrów wtrysku badanych paliw na proces formowania strugi w komorze wizualizacyjnej o stałej objętości.

Rozprawę wieńczą wnioski końcowe poprzez ogólne podsumowanie problemu badawczego, wnioski o charakterze poznawczym (3 wnioski), wnioski szczegółowe (22 wnioski), wnioski o charakterze użytkowym (4 wnioski) i wniosek rozwojowy. Wszystkie wnioski są poprawne i nawiązują do celu i zakresu badań oraz mają swoje odniesienie do rezultatów uzyskanych w badaniach przeprowadzonych przez Autora w toku jej realizacji. Podsumowanie zakończono cennym sformułowaniem proponowanych kierunków dalszych badań.

3. OCENA MERYTORYCZNA ROZPRAWY I UWAGI SZCZEGÓŁOWE

Ustawiczny i dynamiczny wzrost natężenia ruchu drogowego związany z dużą mobilnością społeczeństwa, wymaga szeregu działań ukierunkowanych na poprawę bezpieczeństwa głównie związanego z ochroną środowiska przyrodniczego. Stąd bardzo ważna jest problematyka dotycząca zastosowania paliw niekonwencjonalnych, najczęściej jako dodatków do paliw konwencjonalnych. Ograniczenie do minimum szkodliwych emisji spalin, to działania niezwykle ważne w życiu społeczno-gospodarczym każdego kraju.

Perspektywa szerszego wykorzystania różnych paliw i ich mieszanek, były inspiracją do podjęcia rozwiązania problemu dotyczącego wpływu mieszanek paliwowych na makrostrukturę strugi paliwa, co przekłada się na optymalizację parametrów spalania i uzyskanie korzystnych wskaźników pracy silnika i zmniejszenie emisji szkodliwych składników spalin. Tematyka ta jest bardzo ważna zarówno z punktu widzenia społecznego, gospodarczego i politycznego (pozwalająca ograniczyć poziom emisji spalin do atmosfery a w konsekwencji zmniejszyć straty ludzkie i materialne). Tempo wzrostu natężenia ruchu samochodowego wraz z rozwojem cywilizacji, nasila problemy związane z nadmierną mobilnością społeczeństwa i ustawicznie narastającym zagrożeniem dla środowiska przyrodniczego.

Dlatego tematyka recenzowanej rozprawy jest aktualna i znacząca a jej podjęcie przez **mgr inż. Artur Krzemiński** jest w pełni uzasadnione tak w aspekcie naukowym jak i aplikacyjnym. Przeprowadzona w szerokim zakresie analiza stanu wiedzy oraz eksperyment badawczy, znacznie rozszerza zasób wiedzy dotyczący poprawy bezpieczeństwa w ruchu

drogowym ze szczególnym zwróceniem uwagi na bezpieczeństwo ekologiczne. Praca zawiera obszerny materiał badawczy, który dostarcza bardzo dużo wyników do analizy i porównań. Należy nadmienić, że wyniki takich badań są wyjątkowo trudne do jednoznacznych interpretacji i formułowania wniosków ogólnych o charakterze poznawczym i aplikacyjnym. Stąd wartość merytoryczna rozprawy doktorskiej jako całości oceniam bardzo pozytywnie.

Za istotny dorobek Doktoranta należy uznać następujące problemy:

1. Analizowo - krytycznie przeprowadzona analiza obszernego stanu wiedzy.
2. Właściwie sformułowane hipotezy badawcze i cel pracy.
3. Metodyka badań jest zgodna z zasadami prac eksperymentalnych stosowanych w badaniach naukowych.
4. Autor rozprawy przyjął właściwie sposób interpretacji wyników i ich prezentacji.
5. Analiza uzyskanych wyników badań pozwoliła Doktorantowi odpowiedzieć na szereg problemów związanych z doborem paliw dotyczących ilości dodatku etanolu,
6. Właściwe przeprowadzenie oceny korelacji pomiędzy składem paliwa, ciśnienia wtrysku a parametrami kształtu strugi wtryskiwanego paliwa.
7. Autor do oceny wagi wybranego czynnika na przebieg danego procesu wykorzystał testy statystyczne, korzystając z programu Matlab do określenia istotności wpływu lepkości kinematycznej paliwa i ciśnienia wtrysku na maksymalny zasięg czoła strugi oraz kąt wierzchołkowy strugi.
8. Właściwy sposób planowania i prowadzenia eksperymentu.
10. Dobre opracowanie graficzne rysunków z wynikami badań w tabelach.
11. Niezmiernie cenne jest sformułowanie przez **Autora** proponowanych kierunków dalszych badań dla głębszego poznania problemów naukowych rozwiązywanych w pracy.

W podsumowaniu omówionych wyników badań **mgr inż. Artur Krzemiński** stwierdza, że rodzaj paliwa w tym przypadku oleju napędowego z dodatkiem etanolu, ciśnienie wtrysku jak i zaproponowane metody oceny kształtowania się makrostruktury wtryskiwanego paliwa w zależności od udziału etanolu, mogą być wykorzystane podczas projektowania jak wytwarzania silników spalinowych w tym głównie układów paliwowych.

Prezentowane zagadnienia rozważane przez doktoranta wyraźnie są umiejscowione w zakresie dyscypliny „**Inżynieria Mechaniczna**”. Autor rozprawy umiejętnie akcentuje wszystkie etapy swoich badań, zmierzające do oceny właściwości badanych paliw i ich wpływu na parametry strugi wtryskiwanego paliwa, ciśnienia wtrysku i poszczególnych strug.

Badania eksperymentalne są trudne i pracochłonne, stąd bardzo istotnym jest przyjęcie stosownej metodyki badań. Doktorant opracowała taką metodykę, zarówno do badań poszczególnych właściwości paliw jak i zasadniczych dotyczących makrostruktury strugi paliwa. Mgr inż. Artur Krzemiński wykazał się przy tym samodzielnością i dużym doświadczeniem w prowadzeniu badań eksperymentalnych oraz umiejętnością wyboru problemu badawczego.

Autor przedstawionej do recenzji rozprawy w sposób właściwy sformułował, rozwiązał i opisał problem naukowy zrealizowany zgodnie z metodyką badań naukowych. Rozprawa doktorska stwarza wrażenie opracowania, o dużej zwięzłości i na dobrym poziomie edytorskim oraz merytorycznym.

Poza wyżej wymienionymi cennymi wartościami pracy, wystąpiły również pewne nieprawidłowości, na które oczekiwałbym odpowiedzi i wyjaśnienia:

WĄTPLIWOŚCI DO WYJAŚNIENIA.

Pytania do odpowiedzi:

1.- Mam pewien niedosyt wyjaśnienia, co do różnych zasięgów strug dla badanych paliw przy różnych ciśnieniach wtrysku, które są zaprezentowane na rysunkach?

2.- Chciałbym uzyskać szersze wyjaśnienie dotyczące pojęcia : operacyjne parametry silnika, gdyż tego typu określenie jest używane w pracy ?.

Uwagi szczegółowe:

- **zmian regulacyjnych** lepiej **nastaw regulacyjnych**,
- **środowiska naturalnego**, którego już nie ma, lepiej środowiska przyrodniczego”,
- pojęcie „wartość” często nadużywane w pracy, lepiej zastępować jako „wielkość” gdyż dotyczy głównie parametrów fizykochemicznych,
- **paliw alternatywnych** lepiej **paliw niekonwencjonalnych**,
- **osiągi silnika** lepiej **wskaźniki lub parametry pracy silnika**,
- w sekcjach paliwowych pomp często używano słów **tłok czy cylinder** lepiej używać **tłoczek i cylinderek**,
- **niezrozumiałe jest określenie chwila wtrysku, do wyjaśnienia?**,
- zamiast „przypieszenia” lepiej słowo „przyspieszenia”

Nadmieniam, że mimo tych drobnych uwag, które są podane tylko do niezbędnej korekty przy jej publikacji, nie umniejszają one wysokiej ogólnej jakości pracy. Nadmieniam, że rozprawa jest napisana bardzo dobrze pod względem językowym, stylistycznym i edytorskim zgodnym z zasadami pisania prac naukowych i o wysokiej jakości merytorycznej oraz walorów aplikacyjnych.

PODSUMOWANIE

Mgr inż. Artur Krzemiński wykazał się umiejętnością poprawnego sformułowania problemu badawczego, prowadzenia trudnego eksperymentu podczas badań własnych oraz poprawnej interpretacji uzyskanych wyników badań, co świadczy o **Jego** przygotowaniu do samodzielnej pracy naukowo badawczej. Uważam, że problem naukowy jak i cel pracy oraz zakres badań został osiągnięty. Pod względem metodycznym praca nie budzi również zastrzeżeń. Przytoczone w niniejszej recenzji drobne krytyczne uwagi nie pomniejszają ogólnie pozytywnej oceny odnośnie wartości niniejszego opracowania. Niektóre z nich posiadać mogą charakter dyskusyjny lub wyjaśniający. Sądzę jednak, że niektóre z tych uwag i spostrzeżeń mogą być przydatne Autorowi w dalszym rozwoju naukowym.

Przeprowadzone w szerokim zakresie rozważania teoretyczne i eksperyment, dostarczają bardzo dużo materiału badawczego do analizy i porównań. Należy nadmienić, że wyniki takich analiz są wyjątkowo trudne do jednoznacznych interpretacji i formułowania wniosków ogólnych o charakterze poznawczym. Stąd też wartość merytoryczna rozprawy doktorskiej jako całości oceniam pozytywnie.

W pełni uważam, że rozprawa **mgr inż. Artura Krzemińskiego** spełnia warunki określone dla prac naukowych w rozumieniu Ustawy „O stopniach naukowych i tytule naukowym” Stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy doktorskiej **mgr inż. Artura Krzemińskiego** nt.: „Analiza wpływu dodatku etanolu do oleju napędowego na parametry strugi w zasobnikowym układzie wtrysku silnika o zapłonie samoczynnym” i dopuszczenie do jej publicznej obrony na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej, w dyscyplinie „Inżynieria Mechaniczna”.

Jednocześnie wnoszę o wyróżnienie stosowną nagrodą mgr. inż. Artura Krzemińskiego, za szczególnie wzorową stronę merytoryczną, metodyczną i edytorską pracy, ogromny nakład pracy do wykonania eksperymentu naukowo-badawczego (stanowisko badawcze, przygotowanie materiału badawczego) oraz duże znaczenie podjętej tematyki badawczej z możliwością jej aplikacji.

