

dr hab. inż. Rafał Longwic, prof. PL

Lublin, 21 lipiec 2019

Politechnika Lubelska

Wydział Mechaniczny

Katedra Pojazdów Samochodowych

RECENZJA

Rozprawy Doktorskiej

mgr. inż. Arkadiusza Hernika

Podstawą niniejszej recenzji jest pismo nr PK-042/31/98-1/dr-r/19 Prorektora ds. Rozwoju Kadry i Współpracy z Zagranicą Uniwersytetu Technologiczno – Humanistycznego w Radomiu prof. dr. hab. Sławomira Bukowskiego z dnia 24 czerwca 2019 roku.

1. Charakterystyka ogólna rozprawy

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska pt.: „Wpływ eteru dietylowego w mieszaninie z olejem rzepakowym na wybrane parametry pracy silnika o zapłonie samoczynnym” składa się ze 131 stron - w tym z wprowadzenia, wraz z nim z siedmiu numerowanych rozdziałów i spisu literatury. Na początku pracy znajduje się wykaz ważniejszych oznaczeń. W poszczególnych rozdziałach poruszono następujące zagadnienia:

Rozdział pierwszy stanowi krótkie wprowadzenie, autor dokonuje syntezy wiedzy w zakresie stosowania paliw alternatywnych i ropopochodnych, wskazuje na uregulowania prawne warunkujące poszukiwanie nowych rodzajów paliw,

charakteryzuje kierunki rozwoju w zakresie źródeł napędu pojazdów samochodowych.

Rozdział drugi zawiera analizę i syntezę literatury w zakresie podejmowanego tematu. Zwrócono uwagę na ekonomiczne przesłanki poszukiwania innych paliw niż te, które pochodzą z destylacji frakcyjnej ropy naftowej. Omówiono doniesienie literaturowe w zakresie stosowania olejów roślinnych, estrów metylowych tych olejów oraz stosowania dodatków do olejów roślinnych. W grupie dodatków zwrócono uwagę na alkohole oraz etery. Wreszcie przedstawiono wyniki prac w zakresie stosowania eteru dietylowego (DEE) w mieszaninie z olejem rzepakowym (OR) do zasilania silników o zapłonie samoczynnym. Doniesienia te bazują często na badaniach własnych promotora. Wykazano, że w literaturze brak kompleksowej analizy stosowania DEE do poprawy właściwości fizykochemicznych olejów roślinnych z ich przeznaczeniem na cele paliwowe.

W **rozdziale trzecim** przedstawiono szczegółowo cel pracy i jej zakres. Nie podano też pracy.

W **rozdziale czwartym** omówiono szczegółowo wybrane własności fizykochemiczne badanych paliw w odniesieniu do oleju napędowego, oleju rzepakowego i eteru dietylowego (DEE).

Rozdział piąty zawiera opis stanowiska badawczego, obiektu badań oraz metodyki badań. Omówiono tu również przeprowadzone badania właściwości fizykochemicznych mieszanin DEE z olejem rzepakowym (OR).

W **rozdziale szóstym** zatytułowanym „Wyniki badań” przedstawiono trzy aspekty w zakresie prowadzonych prac: wpływ eteru dietylowego na zmianę właściwości fizykochemicznych oleju rzepakowego, wybrane parametry procesu spalania mieszanin DEE-OR w silniku o zapłonie samoczynnym, ocenę stężeń szkodliwych składników spalin silnika.

Rozdział siódmym zawarto podsumowanie i wnioski oraz zaproponowano dalsze kierunki badań.

W **rozdziale ostatnim** przedstawiono **spis literatury**. Składa się on ze 111 pozycji. Nie znalazłem publikacji autora rozprawy. Zdecydowana większość prac posiada datę publikacji po roku 2005.

Pracę napisano czcionką Times New Roman o wielkości 12 pkt, z interlinią 1,5 pkt. Praca zawiera 94 rysunki, kilkadziesiąt tabel oraz kilkanaście zależności matematycznych.

2. Ocena podjętej tematyki i treści rozprawy

Gwałtowny wzrost liczby eksploatowanych pojazdów oraz zaostrzenie norm dotyczących emisji związków toksycznych spalin zmuszają do prowadzenia prac w zakresie poszukiwania nowych rodzajów paliw do zasilania silników spalinowych. Do głównych kierunków w zakresie alternatywnych paliw silnikowych należy zaliczyć oleje roślinne i ich estry, metan i biometan, wodór, domieszki do paliw w postaci eterów i alkoholi. Przyjmuje się, że wykorzystanie energii z biopaliw jest jednym z ważniejszych elementów rozwoju gospodarki, przynoszącym efekty ekologiczne, energetyczne, jak i ekonomiczne. Niestety czasem o zastosowaniu danego paliwa alternatywnego nie decyduje jego przydatność techniczna a bliżej nieokreślone względy natury ekonomiczno – politycznej. Aktualnie szczególnie ważną kwestią jest ograniczanie emisji dwutlenku węgla do atmosfery. W zakresie tym, stosowanie biopaliwa wytwarzanego z roślin oleistych przynosi znaczące korzyści. Można bowiem założyć, że ilości CO₂ emitowane podczas spalania paliw pochodzenia roślinnego są podobne jak te pobrane przez rośliny w procesie fotosyntezy w okresie wzrostu roślin (obieg zamknięty CO₂). Ma to istotny wpływ na nie pogłębianie się efektu cieplarnianego. Regulacje w zakresie dozwolonych limitów emisji szkodliwych substancji takich jak tlenki azotu (NO_x), cząstki stałe (PM), węglowodory (HC), tlenki węgla (CO) oraz dwutlenek węgla (CO₂) dotyczą większości pojazdów mechanicznych sprzedawanych na terenie UE, i są sankcjonowane między innymi przez Unię Europejską normami EURO. Zgodnie z obowiązującymi przepisami (od dnia 01.09.2016 r.) trakcyjne silniki o ZS są objęte normą EURO 6, która gwałtownie obniżyła emisję szkodliwych tlenków azotu (NO_x) o 60%. Nowe normy emisji będą nadal wymuszać zmniejszenie poziomu tej emisji.

Oceniana praca wpisuje się zatem w ważny i aktualny trend badań nad paliwami alternatywnymi. Dotyczy oleju rzepakowego, który ma szczególne znaczenie w warunkach krajowych oraz eteru dietylowego (DEE). Eter ten można również zaliczyć do dodatków pochodzących częściowo ze źródeł odnawialnych. Cząsteczka eteru dietylowego powstaje w procesie dehydratacji etanolu w podwyższonej temperaturze i w obecności odpowiedniego katalizatora. Etanol może pochodzić z produkcji roślinnej. Stosowanie DEE w mieszaninie z olejem rzepakowym OR może przyczynić się do zmniejszenia lepkości i gęstości OR ale również może dostarczyć dodatkową ilość tlenu do spalania tych mieszanin. Tlen ten jest związany w cząsteczce DEE. Uważam, że należy bardzo ostrożnie odnosić się do drugiej z przedstawionych korzyści. Obecność tlenu związanego nie oznacza, że będzie on mógł być wykorzystany w procesie spalania. Tak przecież nie jest w przypadku czystego oleju rzepakowego, który posiada w swej cząsteczce tlen związany. Analizując ten aspekt stosowania DEE należałoby wykonać analizy chemiczne polegające na określeniu energii aktywacji wiązań tlenowych w cząsteczce DEE w warunkach przebiegu procesu spalania w silniku o ZS. Tego wątku naukowego w pracy nie odnalazłem. Mimo to przyjęta koncepcja pracy jest słuszna. Stosowanie czystego oleju rzepakowego jako paliwa do zasilania silników o ZS jest utrudnione głównie z uwagi na znacznie większą lepkość OR względem ON. Podjęto zatem próbę zastosowania dodatku w postaci DEE, który oddziaływałby na tę lepkość a jednocześnie być może dostarczałby dodatkową ilość tlenu do spalania. Taka jest koncepcja pracy i wokół tej koncepcji zbudowany obszerny eksperyment naukowy. Jednocześnie badania takie nie były wcześniej prezentowane w dostępnej literaturze tematu.

Autor sformułował cel pracy jako przeprowadzenie badań umożliwiających ocenę wpływu eteru dietylowego (DEE) w mieszaninie z olejem rzepakowym (OR) na wybrane parametry pracy silnika o zapłonie samoczynnym. Uważam, że tak postawiony cel pracy w pewien sposób dewaluuje jej sens naukowy. Nie formułując tezy należało zaproponować bardziej szczegółowe cele naukowe. Dla przykładu jednym z celów mogło być ustalenie wpływu wybranych własności fizykochemicznych

badanych mieszanin na przebieg procesu wtrysku oraz spalania. Zawarty w pracy cel sugeruje, że w pracy prowadzono głównie badania a nie wskazuje na naukowe związki pomiędzy obserwowanymi wielkościami fizycznymi. Nie umniejsza to jednak dokonań autora w zakresie przeprowadzenia bardzo rozległego eksperymentu naukowego. Określono obszernie własności fizykochemiczne badanych mieszanin oleju rzepakowego OR z DEE. Poddano ocenie: przebieg zmian ciśnienia w komorze spalania, wartości maksymalnej prędkości narastania ciśnienia w komorze spalania, zmiany wartości kąta opóźnienia samozapłonu, wartość maksymalnego ciśnienia w komorze spalania, wartość średniej szybkości wywiązywania ciepła dla badanych paliw. Określono wpływ procesu spalania badanych paliw na stężenie szkodliwych składników w spalinach, takich jak: niespalonych węglowodorów, niespalonych węglowodorów niemietanowych, tlenku węgla, tlenków azotu, cząstek stałych.

Autor zaplanował zatem bardzo złożony eksperyment badawczy. Każde z zagadnień rozwinięto w mojej ocenie w sposób obszerny i wyczerpujący. Wydaje się zatem, że powstało całościowe opracowanie dotyczące problemów wykorzystania mieszanin oleju rzepakowego z DEE, które jest pierwszym i kompletnym opracowaniem w tym zakresie.

Eksperyment silnikowy poprzedzono badaniami własności fizykochemicznych stosowanych paliw. Określono szereg parametrów fizykochemicznych istotnych z punktu widzenia procesów roboczych silnika i jego trwałości tj. wskaźnik lepkości kinematycznej, gęstość, właściwości niskotemperaturowe, temperaturę zapłonu, napięcie powierzchniowe, wartość opałowawą, właściwości tribologiczne, oddziaływanie korozyjne, stabilność. W prowadzonych badaniach empirycznych stosowano pięć rodzajów paliw tj. olej napędowy mineralny, olej rzepakowy rafinowany i jego 10, 20, i 30% mieszaniny z DEE. Badania prowadzono w warunkach statycznych, dla trzech obciążeń wału korbowego silnika momentem obrotowym – 7, 14 i 21 Nm, przy trzech wartościach prędkości obrotowej – 1200, 2200 i 3200 obr/min. W trakcie realizacji prób dokonywano indykowania silnika oraz pomiaru stężenia składników toksycznych spalin. Dane uzyskane metodą indykowania posłużyły do wyznaczenia szeregu

parametrów procesu spalania, tłoczenia i wtrysku paliwa. Do głównych parametrów, które określono należały: kąta początku wtrysku dla dawki pilotującej, kąta trwania wtrysku dla dawki pilotującej, kąta początku wtrysku dla dawki głównej, kąta trwania wtrysku dla dawki głównej, kąt opóźnienia samozapłonu, maksymalna prędkość narastania ciśnienia w komorze spalania, maksymalne ciśnienie spalania, szybkość wywiązywania ciepła, stopień wypalenia dawki paliwa. W ocenie stężeń szkodliwych składników spalin uwzględniono jak już wspomniano wcześniej: niespalone węglowodory, tlenek węgla, tlenki azotu, cząstki stałe.

Eksperyment prowadzono z wykorzystaniem silnika badawczego firmy AVL. Ilość pracy jaką włożono w uzyskanie wyników badań i ich opracowanie jest znaczna.

Wyniki badań poddano drobiazgowej analizie i podjęto próbę wyjaśnienia obserwowanych zjawisk. Należy mieć na uwadze, że zwłaszcza w zakresie parametrów toksyczności spalin taka analiza naukowa nie jest łatwa. Autor dokonał jednak interpretacji właściwej dla poziomu prac doktorskich.

W pracy sformułowano szereg wniosków natury szczegółowej, ogólnej i użytecznej. Stwierdzono między innymi, że ważną cechą DEE jest jego wpływ na obniżenie napięcia powierzchniowego testowanych mieszanin. Niższe napięcie powierzchniowe sprzyja tzw. wtórnemu rozpadowi kropeł paliwa. Dzięki temu proces jego fizycznego przygotowania do samozapłonu powinien być odpowiednio krótszy. Zastosowanie DEE jako dodatku do OR jest korzystne, gdyż pozwala ograniczyć stężenia szkodliwych składników spalin oraz może sprzyjać poprawie efektywności pracy silnika. DEE dodawany do OR znacząco skraca okres opóźnienia samozapłonu uzyskanej mieszaniny. Jest to spowodowane m.in. wysoką liczbą cetanową DEE. Wpływało to na korzystne zmniejszenie maksymalnej prędkości narastania ciśnienia. Rosnąca zawartość DEE w mieszaninie z OR znacząco obniża stężenie niespalonych węglowodorów oraz tlenku węgla w spalinach. Stężenie NO_x w spalinach rośnie wraz z obciążeniem silnika, ale nie zmieniało się w znaczący sposób w zależności od rodzaju spalanego paliwa. Na podstawie przeprowadzonych badań zauważono, że dodatek DEE do OR ma wpływ na ograniczenie emisji cząstek sadzy z silnika. Ten wpływ jest

szczególnie widoczny dla dużych obciążeń tj. w warunkach, w których wzrasta temperatura oraz ilość paliwa dostarczonego do komory spalania.

Reasumując uważam, że w pracy podjęto bardzo istotne i nowe zagadnienie dotyczące oceny przydatności stosowanie mieszanin DEE z OR do zasilania silników o zapłonie samoczynnym. Zaplanowano i wykonano obszerny eksperyment naukowy. Wagę i aktualność tematu należy dodatkowo uzasadnić ustawodawstwem UE wymuszającym stosowanie i poszukiwanie nowych, odnawialnych źródeł energii.

3. Uwagi krytyczne do rozprawy doktorskiej

Szczegółowa analiza treści rozprawy skłania do sformułowania kilku uwag krytycznych, mających jednak charakter dyskusji naukowej i nie wpływających na wysoką ocenę pracy:

1. Autor sformułował cel pracy jako: „Przeprowadzenie badań umożliwiających ocenę wpływu eteru dietylowego (DEE) w mieszaninie z olejem rzepakowym (OR) na wybrane parametry pracy silnika o zapłonie samoczynnym”. Uważam, że tak postawiony cel pracy nie jest do końca poprawny. Nie formując tezy należało zaproponować bardziej szczegółowe cele naukowe. Dla przykładu jednym z celów mogło być ustalenie wpływu wybranych własności fizykochemicznych badanych mieszanin na przebieg procesu wtrysku oraz spalania. Zawarty w pracy cel sugeruje, że prowadzono głównie badania a nie wskazuje na naukowe związki pomiędzy obserwowanymi wielkościami fizycznymi.
2. Autor wielokrotnie zwraca uwagę na korzystny fakt istnienia tlenu związanego w cząsteczce DEE. Obecność tlenu związanego nie oznacza, że będzie on mógł być wykorzystany w procesie spalania. Analizując ten aspekt stosowania DEE należałoby wykonać analizy chemiczne polegające na określeniu energii aktywacji wiązań tlenowych w cząsteczce DEE w warunkach przebiegu procesu spalania w silniku o ZS.

3. Dla pełnej oceny przydatności mieszanin OR z DEE do spalania w silniku o ZS należało wykonać charakterystyki obciążeniowe oraz wyliczyć średnie ciśnienie indykowane. W pracy bezpośrednio nie odniesiono się do energetycznych skutków stosowania badanych mieszanin.
4. Na stronie 54 w tabeli 5.5 podano parametry pracy silnika oraz parametry wtrysku paliwa stosowane podczas badań. Należało obszernie opisać dlaczego dokonano wyboru prezentowanych parametrów oraz od czego i w jaki sposób uzależniano czas wtrysku. Uważam, że dobór tych parametrów winien być uzależniony od dawki wtryskiwanych paliw i uzyskiwanych efektów energetycznych – patrz uwaga punkt 3.
5. Podrozdział 6.1.1 winien zostać zatytułowany „wskaźnik lepkości kinematycznej” a nie „lepkość kinematyczna” – takie pojęcie nie występuje w nomenklaturze naukowej.
6. Interpretacja wyników dotyczących stężeń składników toksycznych spalin winna być w mojej ocenie skorelowana z dawką wtryskiwanych paliw przy danym obciążeniu silnika. Najłatwiej było zaprezentować wyniki z charakterystyki obciążeniowej ale dyskusję taką można było również prowadzić w oparciu o porównanie czasów wtrysku paliwa. Były one chyba zmienne w zależności od rodzaju paliwa.
7. Silnik o zapłonie samoczynnym a zwłaszcza silnik z wtryskiem bezpośrednim konstruowany jest dla potrzeb spalania oleju napędowego. Stosowanie paliwa o innych własności fizykochemicznych wpływa przede wszystkim na proces tworzenia mieszaniny palnej. Autor w rozdziale 5.6 podejmuje to zagadnienie ale nie stara się wyznaczyć opisywanych wzorami wielkości fizycznych.
8. W opisie uzyskanych wyników badań zabrakło mi szczegółowych odniesień do oleju napędowego. Silnik przystosowany jest do spalania oleju napędowego i stosowanie oleju rzepakowego pogarsza zachodzące procesy

robocze. Uważam, że należało dowodzić, że stosowanie dodatku DEE do OR zbliża parametry procesów roboczych do tych dla ON.

4. Ocena końcowa rozprawy

Przedstawione uwagi krytyczne mają w głównej mierze charakter dyskusji naukowej i nie wpływają na ogólną wysoką ocenę rozprawy. Uważam, że kandydat rozwiązał złożony problem naukowy, wykazał się samodzielnością w pracy oraz odpowiednią wiedzą teoretyczną i praktyczną w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Podsumowując stwierdzam, że Kandydat spełnia wymogi stawiane w art. 13 ust. 1-2 ustawy z dnia 14.03.2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późn. zm.) w związku z art. 179 ust. 1 ustawy z dnia 03 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. poz. 1669 z późn. zm.) i wnioskuję o dopuszczenie mgra inż. Arkadiusza Hernika do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

