

prof. dr hab. inż. Oleh Klyus dr.h.c.
Instytut Eksploatacji Siłowni Okrętowych
Wydział Mechaniczny
Akademia Morska w Szczecinie

Szczecin, 04.07.2019r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Arkadiusza Hernika pt. „Wpływ eteru dietylowego w mieszaninie z olejem rzepakowym na wybrane parametry pracy silnika o zapłonie samoczynnym”

Podstawą opracowania recenzji jest:

Pismo Prorektora ds. Rozwoju Kadry i Współpracy z Zagranicą
Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. Kazimiera Pułaskiego w Radomiu
Prof. dr hab. Sławomira I. Bukowskiego z dnia 24.06.2019_r.

Recenzowana praca zawiera 132 strony tekstu, 94 rysunków (w tym 89 – opracowania własne), 12 tabel i składa się z 7 rozdziałów, łącznie z wnioskami końcowymi oraz listy wykorzystanej literatury – 111 pozycji w tym 7 ze stron www.

1. Aktualność tematyki badań

Od wielu lat w różnych ośrodkach naukowych prowadzone są prace badawcze dotyczące poszukiwania odnawialnych paliw alternatywnych do zasilania silników spalinowych. Potwierdzają to m.in. wyniki prac prezentowane na corocznych konferencjach i sympozjach naukowych (jak na przykład KONMOT, KONES czy Kongres Silników Spalinowych). Podczas tych konferencji przedstawiane są rezultaty badań związanych z zastosowaniem biopaliw pierwszej, drugiej i trzeciej generacji, mieszaniny paliw ropopochodnych z paliwami syntetycznymi pochodzącymi z odpadów komunalnych, CNG, LNG i in. do zasilania silników spalinowych. Niezależnie od aspektów politycznych, czy ekonomicznych, realizowane prace są związane głównie z troską o środowisko naturalne. W tym zakresie dla silników o zapłonie samoczynnym najczęściej proponowane są oleje pochodzenia roślinnego i ich estry. Interesujące wyniki przedstawiają również prace naukowe dotyczące zastosowania mieszanin olejów ropopochodnych z eterem etylo-tert butylowym, które były prowadzone w Instytucie Eksploatacji Pojazdów i Maszyn

Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu. Kontynuację tych prac stanowi zastosowanie mieszaniny olejów roślinnych z eterem dietylowym do zasilania silników o zapłonie samoczynnym. Ograniczenie wykorzystania paliw ropopochodnych w tych silnikach bez wątplenia stanowi interesujący i ważny aspekt zarówno naukowy jak i użyteczny. Pod tym względem temat recenzowanej rozprawy doktorskiej jest jak najbardziej aktualny i ważny m.in. w aspekcie dywersyfikacji źródeł energii.

2. Cel pracy

Celem rozprawy doktorskiej było przeprowadzenie badań umożliwiających ocenę wpływu eteru dietylowego (DEE) w mieszaninie z olejem rzepakowym (OR) na wybrane parametry pracy silnika o zapłonie samoczynnym.

Aby osiągnąć tak postawiony cel sformułowano zakres pracy, który obejmował również określenie właściwości fizykochemicznych mieszanin DEE-OR, a następnie przeprowadzenie odpowiednich badań na stanowisku hamownianym wyposażonym w jednocylindrowy, badawczy silnik o zapłonie samoczynnym firmy AVL. Ta część eksperymentalna przewidywała rejestrację i analizę przebiegu zmiany ciśnienia i wywiązywania się ciepła w komorze spalania oraz określenie wpływu badanych paliw na poziom stężeń wybranych związków toksycznych w gazach wylotowych.

Tak przedstawiony program prac badawczych nie budzi zastrzeżeń.

Natomiast do uwag dla tak postawionego celu i zakresu pracy można wymienić samo sformułowanie „przeprowadzenie badań”, które najlepiej odpowiada realizacji pracy inżynierskiej, natomiast w przypadku dysertacji doktorskiej należy uwypuklić jej cel dotyczący aspektów naukowych. Biorąc to pod uwagę korzystniej byłoby, aby w celu pracy wskazać, że dotyczy ona „analizy czy oceny wpływu eteru dietylowego (DEE) w mieszaninie z olejem rzepakowym (OR) na wybrane parametry pracy silnika o zapłonie samoczynnym”. Pomimo to należy podkreślić, że de facto w ocenianej dysertacji doktorskiej taka analiza została wykonana i odpowiednio opisana.

3. Treść pracy

Wykaz ważniejszych oznaczeń.

Wykaz ważniejszych oznaczeń odpowiada stosowanym w rozprawie skrótom i oznaczeniom. Jednak byłoby korzystniej, aby w ocenianej pracy przedstawiono jednostki układu SI stosowane do poszczególnych, ocenianych parametrów fizycznych.

1. Wprowadzenie

We wprowadzeniu Autor w skrócie omawia podstawowe problemy związane z obecnym stanem motoryzacji, przedstawia odpowiednie dokumenty i publikacje naukowe dotyczące ochrony środowiska naturalnego, charakteryzuje obecne źródła energii, które mają zastosowanie do zasilania silników o zapłonie samoczynnym. Analiza tych zagadnień upoważnia Autora do stwierdzenia o niewystarczającej wiedzy w zakresie wykorzystania eteru dietylowego jako komponentu mieszaniny z olejami roślinnymi, a w szczególności z olejem rzepakowym do zasilania silników o zapłonie samoczynnym – pod tym względem wprowadzenie potwierdza aktualność wybranego tematu rozprawy doktorskiej.

Rozdział 2. Analiza literaturowa przedmiotu pracy

W rozdziale tym przedstawiono problematykę stosowania paliw ciekłych do zasilania silników spalinowych. Analiza dotychczasowej wiedzy w zakresie wykorzystania paliw odnawialnych skupiała się przede wszystkim na wykorzystaniu paliw ropopochodnych jako bazy do opracowania mieszanin z olejami roślinnymi i ich estrów, rzadziej do dodawania do tych komponentów alkoholi i ich pochodnych w postaci eterów dimetylowych lub dietylowych. Przeprowadzona analiza literaturowa upoważnia Autora do przedstawienia wad i zalet stosowania tego typu mieszanin. Biorąc to pod uwagę Autor zauważa, że w chwili obecnej brakuje wyników prac naukowo-badawczych, w których olej roślinny stanowiłby bazę dla otrzymania mieszaniny paliwowej o charakterystyce fizykochemicznej, która byłaby porównywalna do olejów ropopochodnych.

Rozdział 3. Cel i zakres pracy

W trzecim rozdziale rozprawy przedstawiono główny cel pracy doktorskiej oraz zakres jej realizacji. Jak już wspomniano dotyczy on badań silnika o zapłonie samoczynnym zasilanego mieszaninami oleju rzepakowego i eteru dietylowego oraz porównawczo olejem napędowym. Dodatkowo, zakres pracy obejmował przeprowadzenie kompleksowych badań właściwości fizykochemicznych mieszanin DEE-OR. Biorąc to pod uwagę Autor dysertacji doktorskiej starał się uzasadnić wpływ badanych parametrów fizykochemicznych paliw na przebieg procesu ich spalania.

Rozdział 4. Właściwości fizykochemiczne paliw bazowych

W czwartym rozdziale pracy przedstawiono właściwości fizykochemiczne paliw bazowych, które wykorzystano w realizowanych badaniach tj.: ropopochodnego oleju

napędowego, oleju rzepakowego oraz eteru dietylowego jako głównych składników badanych mieszanin. W tym celu wykorzystano także wymagania określone w Światowej Karcie Paliw (V edycja), jak również rezultaty publikacji zawierające niezbędne informacje o składzie chemicznym paliw (prof. W.Lotko i prof. S.Luft) oraz własności fizykochemiczne OR (dane firmy Kruszwica S.A. jako producenta badanego oleju rzepakowego), a także właściwości fizykochemiczne eteru dietylowego (prof. Górski K. i in.).

Nasuwa się uwaga - dlaczego wybrano OR produkowany przez firmę Kruszewica S.A.? Jest wiadome, że wartości parametrów fizykochemicznych oleju rzepakowego zależą od stopnia jego rafinacji, gatunku rośliny oraz warunków jej uprawy. Skoro tak, to czy zastosowanie w badaniach oleju rzepakowego innego producenta miałooby wpływ na uzyskane rezultaty oraz sformułowane wnioski?

Rozdział 5. Zastosowane metody badawcze

W tym rozdziale zaprezentowano metody badania właściwości fizykochemicznych mieszaniny DEE-OR. Ponadto scharakteryzowano stanowisko silnikowe i sposób realizacji badań hamownianych. Przedstawiono definicje analizowanych parametrów pracy silnika jak również wybrane zagadnienia z zakresu tworzenia mieszanki palnej. Zastosowane metody i aparatura badawcza nie budzą zastrzeżeń, szczególnie dotyczy to pomiarów stabilności mieszanin DEE-OR (urządzenie Turbiscan Lab) oraz badań silnika przeprowadzonych na nowoczesnym, jednocylindrowym silniku o zapłonie samoczynnym firmy AVL.

Do uwag tego rozdziału należy odnieść brak informacji o zakresie i błędach pomiarowych wykorzystanych urządzeń oraz dość skąpe informacje dotyczące analizy jakości rozpylania badanych paliw, gdyż ma to wpływ na realizację procesu ich spalania i emisji toksycznych składników spalin.

Rozdział 6. Wyniki badań

Do najbardziej istotnej części rozprawy doktorskiej należy odnieść wyniki badań laboratoryjnych i stanowiskowych przedstawionych w szóstym rozdziale rozprawy. Dotyczy to określenia takich parametrów fizycznych badanych paliw jak: lepkość kinematyczna, gęstość, temperatura blokowania zimnego filtra, temperatura zapłonu, wartość opałowa, smarność i odporność korozyjna. Warto zauważyć, że w badaniach laboratoryjnych określono także takie parametry jak stabilność mieszaniny OR i DEE oraz jej napięcie powierzchniowe, które nie są uwzględniane w PN590, ale mają one istotny wpływ na proces rozpylania mieszaniny paliwowej. Uzyskane wyniki badań laboratoryjnych świadczą

o tym, że zwiększenie dodatku DEE do OR zmniejsza wartości takich parametrów fizycznych jak lepkość kinematyczna, gęstość oraz temperatura blokowania zimnego filtra. W tym zakresie mieszaniny OR zawierające powyżej 20% DEE spełniają wymagania PN590 dotyczące tych parametrów. Natomiast minimalna wartość temperatury zapłonu jest przekroczona dla wszystkich testowanych mieszanin. W związku z tym należy podkreślić, że wymagania transportowe dla badanych mieszanin powinny być podobne to tych, które są stosowane do benzyn. Interesującymi są także wyniki badań laboratoryjnych dotyczących smarności i oddziaływania korozyjnego mieszaniny DEE i OR. Analiza tych wyników, przeprowadzona przez Autora jest wystarczająca. Ciekawymi i istotnymi dla poszerzenia wiedzy o zastosowaniu mieszaniny DEE i OR są wyniki pomiarów stabilności takiego paliwa – ważnym dla podkreślenia jest wniosek o rosnącej stabilności mieszaniny przy zwiększeniu zawartości DEE.

Jak już wspomniano bardzo interesującymi w recenzowanej pracy są wyniki badań stanowiskowych. Zastosowana aparatura badawcza, metodyka i zaplanowany na szeroką skalę eksperyment badawczy nie budzą zastrzeżeń. Warto do podkreślenia są zmienne parametry eksperymentu, tj. dla pięciu badanych paliw: ON, OR, OR+10%DEE, OR+20%DEE i OR+30%DEE przygotowano charakterystyki obciążeniowe. Wykonano je dla trzech prędkości obrotowych wału korbowego silnika tj. 1200, 2200 i 3500 min^{-1} przy obciążeniach 7, 14 i 21 Nm. Szkoda, że nie uzyskano charakterystyk prędkościowych badanego silnika, gdyż pokazałoby to jaki jest wpływ badanych paliw na jego maksymalne osiągi.

Przedstawione w pracy wykresy indykatorowe i ich analiza dotycząca kąta opóźnienia samozapłonu, maksymalnej wartości ciśnienia w cylindrze i prędkości jego narastania, szybkości wywiązywania się ciepła i stopnia wypalania dawki paliwa stanowią główny dorobek naukowy Autora. Analiza przebiegu zmian ciśnienia w cylindrze silnika i obróbka tej charakterystyki upoważniła Autora do stwierdzenia o tym, że dodatek DEE do OR jest skutecznym związkiem chemicznym poprawiającym właściwości fizykochemiczne oleju rzepakowego jako paliwa do silnika o zapłonie samoczynnym.

Ocena procesu spalania badanych mieszanin wykonana w zakresie stężeń związków toksycznych w gazach wylotowych badanego silnika, w tym niespalonych węglowodorów, tlenku węgla i tlenków azotu oraz cząstek stałych potwierdziła stan wiedzy w obszarze biopaliw silnikowych. Należy zauważyć, że wielokrotnie w licznych pracach między innymi prof. J. Merkisza, prof. Z. Szlachty, prof. W. Lotko, dotyczących zastosowania biopaliw w silnikach o zapłonie samoczynnym stwierdzono, że są one korzystne m.in. w aspekcie

ekologicznym. Jednocześnie należy podkreślić, że oceniana praca wzbogaciła istniejący stan wiedzy w zakresie zastosowania do silników o zapłonie samoczynnym innowacyjnych biopaliw w postaci mieszaniny oleju rzepakowego z eterem dietylowym.

Rozdział 7. Podsumowanie i wnioski

W rozdziale 7 przedstawiono podstawowe wnioski wynikające z realizacji pracy doktorskiej. Stwierdzono, że eter dietylowy jako odnawialny, wysokocetanowy dodatek znacząco poprawia właściwości fizykochemiczne oleju rzepakowego jako paliwa do silników o zapłonie samoczynnym. Wskazano, że może to stanowić alternatywę dla obecnie stosowanego dodatku estrów metylowych nienasyconych kwasów tłuszczowych do ropopochodnego oleju napędowego. Jednocześnie Autor wskazuje, że tak optymistycznie przedstawiona prognoza musi być poprzedzona dalszymi, dogłębniejszymi badaniami między innymi związanymi z określeniem jakości rozpylania paliwa, jego stabilnością oksydacyjną z uwzględnieniem dalszej poprawy technik pomiarowych.

4. Podsumowanie oceny

Recenzowana rozprawa doktorska nosi znamiona pracy naukowej ze względu na uzupełnienie wiedzy w zakresie zastosowania odnawialnych paliw w postaci mieszaniny oleju rzepakowego i eteru dietylowego do silników o zapłonie samoczynnym. Uzyskane wyniki badań laboratoryjnych i stanowiskowych na jednocylindrowym silniku doświadczalnym firmy AVL potwierdzają osiągnięcie celów pracy.

Do uwag merytorycznych recenzowanej pracy można odnieść pytania - czy zamieszczone w rozprawie równania na określenie okresu opóźnienia samozapłonu były wykorzystane w analizie danych uzyskanych drogą eksperymentalną na stanowisku badawczym z silnikiem jednocylindrowym? Taka analiza mogłaby doprowadzić do powstania zależności określających okres opóźnienia samozapłonu dla nowych paliw zawierających DEE i OR (skorygowanie równań Hardenberga i Hasa, N.N. Siemionowa, J.B. Swiridowa i in.) i byłaby szczególnie cenna dla określenia wpływu takich paliw na parametry procesu roboczego silnika o zapłonie samoczynnym. To samo dotyczy innego mierzonego parametru fizycznego paliwa tj. napięcia powierzchniowego. Dzięki temu możliwe byłoby modelowanie jakości rozpylania nowych paliw (wg równania 5.2).

Do szczegółowych uwag recenzowanej pracy należą:

- str. 4, 110 – NMHC – węglowodory niemetalowe (niemetanowe ?);
- str. 4, 5 - brak jednostek w wykazie ważniejszych oznaczeń;

- str. 6, 55, 78, 90 – zastosowano określenie „związki szkodliwe” do związków toksycznych;
- str. 11 – powtórzenie ze str. 8;
- str. 24 – co to jest „zaczernienie spalin” ?
- str. 58 – brak jednostek w opisie równania 5.2;
- str. 60 – p – ciśnienie powietrza [bar] – [Pa], ciśnienie i temperatura powietrza w cylindrze;
- str. 62 – eksponentalny – eksponencjalny;
- str. 72 – „wzrost biologiczny” ?
- str. 82 – „stuk silnika AVL staje się bardziej widoczny” - ?
- str. 85 – „najintensywniejsze oscylacje ciśnienia” – były mierzone ?
- str. 92 – „konfiguracji wtrysku paliwa” ?
- str. 109 – „konwencjonalnym zasilaniu silnika” ?
- str. 111 – „zasilanego standardowo” ?
- str. 122 – „momentem oporowym” – obrotowym ?
- str. 124 – „cząstek sadzy” – cząstek stałych ?

Oprócz tego, podczas czytania rozprawy zwrócono uwagę na błędy stylistyczne i edytorskie, które zaznaczono w ocenianej pracy. Nie ma to jednak znaczącego wpływu na ogólnie pozytywny odbiór recenzowanej rozprawy.

Mimo uwag krytycznych zamieszczonych przy ocenie poszczególnych rozdziałów i całej pracy doktorskiej uważam, że nie umniejszają one wartości naukowej przedstawionej rozprawy. Dotyczy to przede wszystkim uzyskanych wyników obszernych badań eksperymentalnych i ich interpretacji.

Kończąc recenzję rozprawy doktorskiej mgr inż. mgr inż. Arkadiusza Hernika pt. „Wpływ eteru dietylowego w mieszaninie z olejem rzepakowym na wybrane parametry pracy silnika o zapłonie samoczynnym” uważam, że spełnia ona wymagania stawiane rozprawom doktorskim zgodnie z Ustawą o stopniach naukowych i tytule naukowym z dnia 14 marca 2003 roku (Dz. Ust. nr 65, poz. 595). Biorąc to pod uwagę wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Arkadiusza Hernika do publicznej obrony przedłożonej mi do recenzji rozprawy doktorskiej.

