

WOJCIECH SZCZYPIŃSKI-SALA, PIOTR STRZĘPEK*

WŁASNOŚCI SMARNE WYBRANYCH KOMPOZYCJI BIOPALIW DO SILNIKÓW O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM

LUBRICATION PERFORMANCE OF SOME BIOFUEL COMPOSITIONS FOR DIESEL ENGINES

Streszczenie

Obecnie na coraz szerszą skalę wprowadzane są paliwa ze źródeł odnawialnych. Do olejów napędowych stosowane są domieszki biokomponentów. W artykule opisano wyniki prób oceny własności smarnych wybranych kompozycji paliw. Testy przeprowadzono na aparacie czterokulowym, a podczas oceny porównano własności estrów metylowych kwasów tłuszczowych olejów roślinnych oraz ich mieszanin z olejem napędowym w różnych proporcjach.

Słowa kluczowe: biopaliwa, aparat czterokulowy, badania smarności i zużycia, silniki o zapłonie samoczynnym

Abstract

Refined from a renewable resource biodiesel fuel are widely use for diesel engines. The standard mixture is a blend of biodiesel in diesel fuel. In the paper bench tests comparing friction and wear characteristics of the fuels for diesel engines are described. The results were obtained in laboratory tests using the four-ball wear tester.

Keywords: biodiesel, four-ball wear tester, friction and wear tests, diesel engines

* Dr inż. Wojciech Szczypiński-Sala, dr inż. Piotr Strzępek, Instytut Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych, Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

Zapotrzebowanie światowej gospodarki na produkty ropopochodne stale rośnie, a kurczące się zasoby ropy naftowej i znaczący wzrost jej cen na giełdach zmuszają do poszukiwania nowych źródeł energii. Praktycznie niemożliwe wydaje się też gwałtowne przejście z produkcji energii z paliw kopalnych na jej produkcję tylko i wyłącznie ze źródeł odnawialnych. Stąd też obecnie rozwiązaniem sensownym wydaje się być łagodne wprowadzanie na coraz szerszą skalę nowych technologii, z których uzyskiwać można czystą energię. Najprostszym sposobem jest dodawanie do paliw produkowanych z ropy naftowej biokomponentów i stopniowe wypieranie z rynku paliw produkowanych ze źródeł nieodnawialnych. Duże zainteresowanie biokomponentami świata nauki rokuje ich coraz szybszy rozwój, a potwierdzałyby ten kierunek wytyczne Unii Europejskiej określające limity wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych. Dużą ich zaletą jest również łatwość produkcji, która nie wymaga zaawansowanych technologii.

2. Kompozycje biopaliw

Zarówno do benzyn, jak i olejów napędowych stosowane są domieszki biokomponentów. Jednakże nie ma jednolitej europejskiej normy, która określałaby skład takich paliw. Paliwo do silników wysokoprężnych z dodatkami biokomponentów nazywane jest popularnie biodieslem. Jako domieszki do olejów napędowych stosować można nawet olej roślinny (SVO – *Straight Vegetable Oil*), częściej jednak są to estry metylowe kwasów tłuszczowych olejów roślinnych lub tłuszczów zwierzęcych (FAME – *Fatty Acid Methyl Esters*). Znane są również technologie pozwalające na przetwarzanie tłuszczy roślinnych pozostałych po smażeniu bądź gotowaniu produktów spożywczych (MWVF – *Modified Waste Vegetable Fat*). Praktycznie w każdym Europejskim kraju powstały odrębne wytyczne mówiące o produkcji paliw ekologicznych. Na przykład we Francji sprzedawany jest olej napędowy z dodatkiem 5% estrów (RME – *Rape Methyl Ester*). Również w Anglii na stacjach paliwowych można otrzymać paliwo z 5% dodatkiem RME. Natomiast w Niemczech można zakupić paliwo będące w 100% RME, równolegle sprzedawany jest olej napędowy z dodatkiem 5% RME. Coraz częściej paliwo stanowiące w 100% FAME używane jest w USA.

3. Przegląd prowadzonych badań

Prowadzone na szeroką skalę badania nad biokomponentami dowodzą ich dobrych właściwości. Kilkuprocentowy dodatek biokomponentu może istotnie wpłynąć na własności smarne tak otrzymanej mieszaniny z olejem napędowym czy też benzyną.

Bardzo popularny w badaniach jest tak zwany test HFRR (*High Frequency Reciprocating Rig*). W próbie tej doprowadza się do styku kulki oraz dysku, a następnie wprowadza się cały układ w drgania. Jako wynik testu podawana jest średnica śladu zużycia powstałego na próbce. Metodą tą prowadzono badania w Williams Laboratory Services [1]. Badano smarność oleju napędowego z różnymi dodatkami – olejów rycynowego i sojowego. Oleje te dodawane były stopniowo do oleju napędowego.

Podobnie tą metodą na Politechnice Ateńskiej przeprowadzono próby smerności nisko siarkowych paliw do silników ZS. Badane były oleje napędowe o zawartości siarki 0,023 i 0,03%. Podczas testu HFRR każdy z nich pozostawiał na kulce ślad większy niż 0,46 mm. Do paliwa o mniejszej zawartości siarki dodawano również w próbach: eter butylo-etylowy, eter dibutyloowy, eter heptylo-metylowy, eter dipentyloowy, eter oktylo-etylowy, eter dioktyloowy, eter okta-decylo-etylowy.

K.S. Wain i in. [2] prowadzili badania własności smarnych na aparacie czterokulowym. Autorzy zbadali właściwości kilku rodzajów paliw, takich jak:

- oleju napędowego (zawartość siarki 350 ppm),
- biodiesla w postaci estrów (nie zawiera siarki),
- eteru dimetylowego (zawartość siarki 350 ppm),
- oleju napędowego o niskiej zawartości siarki (zawartość siarki 13 ppm).

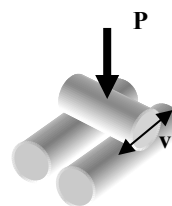
Wyniki przeprowadzonych doświadczeń wykazały, że paliwa z biokomponentami charakteryzują się niższym stopniem zużycia elementów badawczych niż w przypadku paliw niskosiarkowych. Dodatkowo autorzy zwrócili uwagę na możliwe do uzyskania zwiększenie żywotności systemów oczyszczania spalin dzięki mniejszym emisjom szkodliwych związków przy spalaniu biopaliw.

W badaniach przeprowadzone w Oak Ridge National Laboratory przez J. Qu, J. Truhan i in. [3, 4] zastosowano metodę polegającą na pocieraniu o siebie walcowych próbek smarowanych odpowiednim paliwem. Pozwala ona przetestować nie tylko różne paliwa, ale i to, jak ze sobą współpracują różne materiały. Schemat ideowy współpracy takich elementów testowych przedstawiono na rys. 1. Podczas prób można zaobserwować zmianę współczynnika tarcia, która spowodowana jest przerywaniem filmu smarującego i powstawaniem rys na próbkach. Autorzy opisali wyniki testów prowadzonych na:

- oleju napędowym (zawartość siarki 0,3%),
 - niskosiarkowym paliwie (zawartość siarki 0,002%),
- oraz kilku rodzajów materiałów elementów wtryskiwaczy:
- stali,
 - cyrkonu,
 - spieków ceramiczno-metalowych,
 - powłok tytanowo-niklowych.

Rys. 1. Schemat ideowy testu na próbkach walcowych w metodzie *pin-on-twin* [3]

Fig. 1. Scheme of pin-on-twin test for cylinder samples



Wyniki tych badań, między innymi, wskazały cyrkon jako najlepszy materiał na elementy wtryskiwaczy oraz potwierdziły słabe własności smarne paliw niskosiarkowych. Dodatkowo okazało się, że w przypadku takich właśnie paliw zmniejszenie chropowatości powierzchni elementów jeszcze bardziej pogarsza warunki współpracy.

4. Ocena własności smarnych

4.1. Zakres prowadzonych prób

W laboratorium Instytutu Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych wykonano próby oceny własności smarnych kilku kompozycji paliw do silników o zapłonie samoczynnym z domieszkami biokomponentów. Badania wykonano na przygotowanych następujących próbkach paliw: olej napędowy, estry metylowe oleju rzepakowego, mieszanina oleju napędowego oraz estrów w proporcji objętościowo: 50% oleju napędowego, 50% estrów (w skrócie w dalszej części tekstu proporcje zapisywane będą 50/50), mieszanina oleju napędowego oraz estrów w stosunku 80/20, nieprzetworzony olej rzepakowy, mieszanina oleju napędowego oraz oleju rzepakowego w stosunku 50/50, mieszanina oleju napędowego oraz oleju rzepakowego w stosunku 80/20, estrów oraz oleju rzepakowego w stosunku 50/50, estrów oraz oleju rzepakowego w stosunku 80/20. Zestawienie poddanych ocenie próbek zamieszczono w tab. 1.

Tabela 1

Zestawienie badanych kompozycji

Nr próbki	1	2	3	4	5	6	7	8
Zawartość składników objętościowo	%	%	%	%	%	%	%	%
Olej napędowy letni gatunek B	100	–	50	80	80	50	–	–
Estry	–	100	50	20	–	–	80	50
Olej rzepakowy	–	–	–	–	20	50	20	50

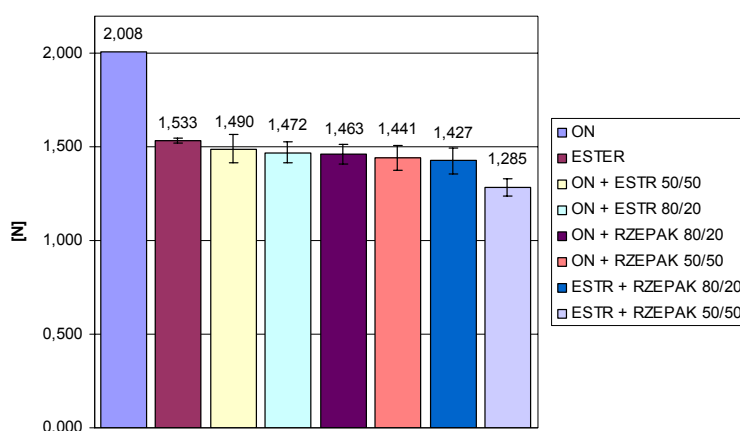
Podczas testów (prowadzonych na stanowisku czterokulowym) elementami badawczymi były standardowe kule o średnicy 1/2" każda, wykonane ze stali łożyskowej ŁH15 o twardości 62–66 HRC. Kula zamocowana w górnym uchwycie obraca się wraz z nim z prędkością 1500 obr./min, odpowiada to prędkości tarcia 0,55 m/s. Każda z prób trwała 60 min. Początkowa temperatura próbek paliwa wynosiła 20°C. Przyłożone obciążenie podczas współpracy kul to 400 N. Należy doprecyzować tu jeszcze, że podczas tego typu prób można wyróżnić kilka rodzajów obciążeń, jakim poddane są elementy testowe:

- obciążenie nadane P – obciążenie przyłożone do współpracujących elementów,
- obciążenie rzeczywiste kulek P_{rzecz} , tzn. obciążenie, które występuje między dolnymi kulkami a kulką górną, oblicza się je wg rozkładu sił w układzie regularnego czworościanu $P_{rzecz} = 0,408P$,
- nacisk właściwy P_{wt} , tzn. nacisk, który przypada na zwiększoną w wyniku zużycia powierzchnię styku kul $P_{wt} = \frac{0,52P}{d^2}$, gdzie: d – średnica śladu zużycia przy danym obciążeniu P ; 0,52 – współczynnik przeliczeniowy,
- obciążenie skorygowane $P_{skor} = \frac{PD_H}{d}$, gdzie: P – obciążenie nadane [N]; D_H – średnica odkształcenia sprężystego kulki wg Herta przy danym obciążeniu statycznym, można ją obliczyć ze wzoru: $D_H = 0,0873 \sqrt[3]{P}$.

Podane warunki badań odpowiadają wymaganiom określonym w normie [5] dla badań na tego typu stanowisku.

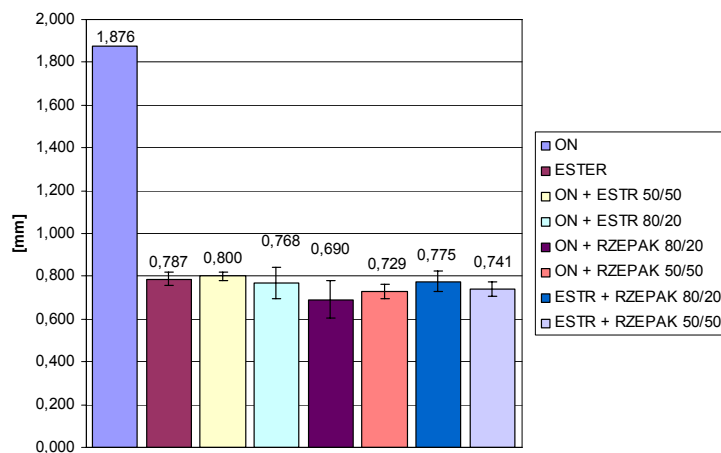
4.2. Własności kompozycji paliw z biododatkami

Wyniki pomiarów szczególnie jaskrawo wykazują zróżnicowanie własności pomiędzy czystym olejem napędowym a jego mieszaninami z dodatkami biokomponentów. Zarówno średnia siła tarcia, jak i wielkości śladów, które pozostały na kulkach, są większe niż w przypadku pozostałych paliw, co wskazuje na lepsze właściwości smarne zastosowanych jako dodatki biokomponentów. Dokładniejszą analizę można przeprowadzić na podstawie wykresów, które przedstawiają średnie wartości poszczególnych parametrów uzyskanych podczas badań.



Rys. 2. Średnia wartość siły tarcia pomiędzy kulkami [N]

Fig. 2. Mean value of friction force between test balls

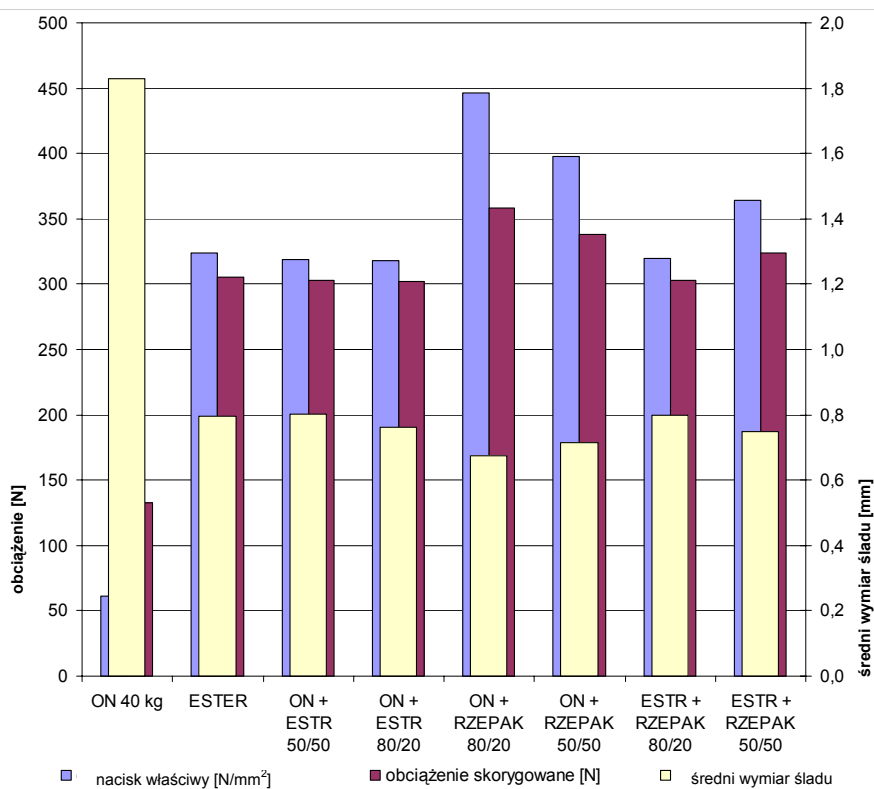


Rys. 3. Średni wymiar śladu na kulkach w kierunku równoległym do rys

Fig. 3. Mean width of the trace on the balls in parallel direction

Na podstawie przedstawionych na wykresie (rys. 2) wyników można stwierdzić, że siła tarcia jest najwyższa w przypadku czystego oleju napędowego. Najniższa odpowiada mieszaninie estru z olejem rzepakowym w stosunku 50/50. W pozostałych przypadkach siły są porównywalne. Wahają się od 1,42 [N] dla mieszaniny estru z rzepakiem do 1,53 [N] dla czystego estru. Jednak wartości te można uznać za porównywalne ze względu na rozrzut uzyskiwanych wyników.

Przedstawione wykresy potwierdzają, że olej napędowy charakteryzuje się najgorszymi spośród badanych mieszanin paliw własnościami smarnymi. Zarówno na kulce górnej, jak i dolnej wymiary śladów zużycia były największe – rys. 3. Najmniejszy ślad powstawał przy mieszaninie oleju napędowego i rzepaku w stosunku 80/20. Za charakteryzujące się dobrymi własnościami smarnymi paliwo można też uznać mieszaninę estru metylowego oraz oleju rzepakowego zmieszanych w proporcji 50/50. Przy nieznacznie większych – bo jedynie o ok. 7% – wymiarach śladu zużycia na kulkach cechuje się z kolei ono najmniejszą (o ok. 20% w porównaniu z pozostałymi badanymi mieszaninami) wartością siły tarcia. Jak z powyższego wynika zarówno czyste estry jak i wszystkie badane mieszaniny wykazują znacznie lepsze właściwości smarne niż sam olej napędowy.



Rys. 4. Średni wymiar śladu zużycia w odniesieniu do obciążenia skorygowanego i nacisku właściwego

Fig. 4. Mean width of the wear trace with reference to loading and specific pressure

Na podstawie analizy wyników stwierdzić również można, że najmniejsze wahania siły tarcia występowały podczas prób z mieszaninami oleju napędowego i estrów zarówno w proporcji 80/20, jak i 50/50, oscylując blisko wartości 1,5 [N].

Podczas prób temperatury badanych paliw osiągały wartości rzędu 70°C, przy czym dla czystego oleju napędowego temperatura ta sięgała 75°C i w tym czasie również dawał się zauważyć stały niewielki wzrost siły tarcia. Zestawienie dla poszczególnych prób wielkości śladów zużycia z odpowiadającym im obciążeniem właściwym, które przypada na zwiększoną w wyniku zużycia powierzchnię styku kul, obrazuje skalę zwiększenia obciążenia jednostkowego na powierzchni kontaktu elementów testowych – rys. 4. Oczywiście, będzie ono największe dla najmniejszego wymiaru śladu zużycia, co ma miejsce dla mieszaniny oleju napędowego i tłoczonego oleju rzepakowego.

5. Podsumowanie

Obecnie coraz częściej zastępuje się ropę naftową komponentami tlenowymi, znanymi również jako biokomponenty. Muszą one jednak spełniać wiele wymagań, w przeciwnym razie mogłyby spowodować poważne uszkodzenia aparatury wtryskowej silników, w których zostaną użyte jako paliwo. Biopaliwa muszą zapewniać odpowiednie smarowanie ruchomym częściom wtryskiwaczy oraz pomp wtryskowych. Z prowadzonych badań można wywnioskować, że nawet mały dodatek estrów metylowych kwasów tłuszczowych olejów roślinnych lub nieprzetworzonych olejów roślinnych wpływają korzystnie na własności smarne paliw. W szczególności na podstawie wyników z przeprowadzonych pomiarów można sformułować stwierdzenia:

- czysty olej napędowy charakteryzuje się znacznie mniejszą smarnością od pozostałych badanych paliw,
- nawet mały dodatek biokomponentu do oleju napędowego znacznie zwiększa jego smarność, co ma wpływ na trwałość elementów aparatury wtryskowej silnika,
- spośród przebadanych mieszanin najlepszymi właściwościami smarnymi wyróżnia się mieszanina oleju napędowego i oleju rzepakowego w proporcji 80/20,

Badania nad biokomponentami paliw płynnych prowadzone są w różnych dziedzinach nauki. Coraz doskonalsze metody badań w połączeniu z nowymi propozycjami zastosowania różnych związków jako paliw i ich domieszek rokuje uzyskanie alternatywnych paliw o bardzo dobrych własnościach.

Literatura

- [1] Goodrum J.W., Geller D.P., *Influence of fatty acid methyl esters from hydroxylated vegetable oils on diesel fuel lubricity*, Bioresource Technology 96, 2005.
- [2] Wain K.S., Perez J.M., Chapman E., Boehman A.L., *Alternative and low sulfur fuel options: boundary lubrication performance and potential problems*, Tribology International 38, 2005.

- [3] Qu J., Truhan J.T., Blau P.J., *Investigation of the scuffing characteristics of candidate material for heavy duty diesel fuel injectors*, Tribology International 38, 2005.
- [4] Qu J., Truhan J.T., Blau P.J., *Scuffing transition diagrams for heavy duty diesel fuel injector material In ultra low – sulphur fuel – lubricated environment*, Wear 259, 2005.
- [5] Norma BN-77/0535-46.