

RECENT RESEARCH ON THE WEAR OF FUEL SUPPLY SYSTEM ELEMENTS LUBRICATED WITH BIO-FUELS

Leszek Gardyński

Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii Materiałowej
ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin
tel.: +48 81 53 81 215, 53 81209, 691853035, e-mail: l.gardynski@pollub.pl.

Abstract

The paper presents selected results of the research on the wear of the metal elements of a diesel engine fuel supply system operating on green bio-mass fuels. The tests were conducted on a dedicated facility following a new, original methodology. Several bio-fuels were tested, including the rapeseed oil and various mixtures of the rapeseed oil and the standard diesel oil. The test results show significant differences in lubricating properties of bio-fuels.

A stand used in described research for determining of the lubricating characteristics and resistance of materials on wear, example surfaces of samples after test cycles and a way of the qualification area surface of the trace interaction, characteristics of tested vegetable oils and dependence of parameters of friction and wear of samples are introduced among other things in the paper.

Performed tests showed that refined oils vegetable did not cause inclinations for enlarging wear oiled with them elements in conditions of performed tests, pure rapeseed oil in the temperature of the test (60°C) shows nearing abrasive proprieties in comparison to tested diesel oil, at the visibly lower coefficient of friction. Tested mixtures of the rapeseed oil with diesel oil showed slightly elevated inclination for wear oiled with them samples.

Keywords: fuel supply system elements, abrasive wear, testing facility, bio-fuels, vegetable oils.

BADANIA ODPORNOŚCI MATERIAŁU ELEMENTÓW APARATURY PALIWOWEJ NA ZUŻYCIE W WARUNKACH SMAROWANIA PALIWAMI POCHODZENIA ROŚLINNEGO

Streszczenie

W referacie przedstawiono wybrane wyniki badań odporności na zużycie ściernie materiałów metalowych, stosowanych w budowie aparatury paliwowej silników wysokoprężnych, w warunkach smarowania paliwami pochodzenia roślinnego. Badania wykonano na zbudowanym w ramach projektu badawczego stanowisku, przy użyciu oryginalnej metodyki. Badania prowadzono przy użyciu różnych rodzajów olejów pochodzenia roślinnego. Szczególną uwagę poświęcono olejowi rzepakowemu i jego mieszankom z olejem napędowym. Uzyskano ciekawe wyniki, stwierdzając wyraźne różnice we własnościach smarnych badanych czynników

W artykule przedstawiono między innymi stosowane w opisywanych badaniach stanowisko do określania właściwości smarnych i odporności materiałów na zużycie, przykładowe powierzchnie próbek po cyklu badawczym i sposób określenia pola powierzchni śladu współpracy, charakterystyki badanych olejów roślinnych oraz zależność parametrów tarcia i zużycia próbek.

Przeprowadzonych badania wykazały, że rafinowane oleje roślinne nie powodują skłonności do zwiększonego zużycia smarowanych nimi elementów w warunkach prowadzonych prób, czysty olej rzepakowy w temperaturze testu (60°C) wykazuje zbliżone właściwości ściernie w porównaniu z badanym olejem napędowym, przy wyraźnie niższym współczynniku tarcia. Badane mieszanki oleju rzepakowego z napędowym wykazywały nieznacznie podwyższoną skłonność do zużycia smarowanych nimi próbek.

Słowa kluczowe: elementy aparatury wtryskowej, zużycie ściernie, stanowisko, badawcze oleje roślinne

1. Wprowadzenie

Używanie paliw alternatywnych pochodzenia roślinnego w silnikach wysokoprężnych, w tym olejów roślinnych i badania z nimi związane stanowią w ostatnim czasie już nie tylko „modę”, a coraz powszechniejsze zjawisko w obliczu drastycznie wysokich cen oleju napędowego [1, 8]. Jak zwykle nie hasła o ekologii i paliwach odnawialnych lecz polityka akcyzowa i twarde prawa rynku skłoniły użytkowników silników wysokoprężnych do zainteresowania tym źródłem napędu. W pracy podjęto próbę określenia wpływu stosowania czystych olejów roślinnych oraz mieszanek najbardziej u nas popularnego z racji ceny, oleju rzepakowego na ew. możliwość wystąpienia przyspieszonego zużycia elementów aparatury wtryskowej. Do badań wybrano oleje o cenie niższej niż 10 zł/dm^3 . Część wybranych olejów raczej nigdy w naszych warunkach nie będzie cenowo mogła konkurować z olejem napędowym. Szansę mają głównie oleje z roślin, które da się hodować w Kraju. Określono też wartości współczynników tarcia przy smarowaniu wymienionymi czynnikami, mogące mieć wpływ na prawidłową pracę tej aparatury. Badania paliw alternatywnych opisane w referacie przeprowadzono na stanowisku, którego założenia i szczegóły budowy przedstawiono w [4, 5]. Stanowisko zostało zbudowane w ramach projektu badawczego finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Edukacji.



Rys. 1. Stosowane w opisywanych badaniach stanowisko do określania własności smarnych i odporności materiałów na zużycie. 1 - osłona węzła trącego, 2 - podstawa i układ napędowy maszyny trącej, 3 - układ pomiarowy momentu tarcia, 4 - dźwignia obciążająca, 5 - układ stabilizacji temperatury badanego czynnika smarnego, 6 - falownik, 7 - zabezpieczenia elektryczne, 8 - termometr i regulator temperatury czynnika smarnego, 9 - licznik cykli, 10 - zespół wzmacniaczy, karta pomiarowa, układy sterowania i zabezpieczeń progowych, 11 - układ cyrkulacji i filtracji czynnika smarnego, 12 - wskaźnik momentu tarcia, 13 - komputer rejestrujący wyniki

Fig. 1 Testing facility used for determining the lubricating properties and wear resistance of materials: 1 – friction device safety cover, 2 – base and motor of the friction device, 3 – friction torque measurement unit, 4 – mechanical load lever, 5 – oil temperature stabiliser, 6 – inverter, 7 – electric circuit breakers, 8 thermometer and oil temperature controller, 9 – cycle counter, 10 – amplifiers, measurement cards, control and safety circuits, 11 – oil circulation and filtering unit, 12 - friction torque indicator, 13 computer used as data logger

2. Opis i wyniki badań

Badano 6 rodzajów olejów roślinnych rafinowanych zakupionych w MAKRO cash & carry w Lublinie oraz olej rzepakowy, nieznanego dokładnie pochodzenia, prawdopodobnie tłoczony, dostarczony do zbadania przez prywatnego przewoźnika w celu określenia przydatności do zastosowania jako paliwo. Charakterystykę oraz wyniki badań olejów roślinnych zestawiono w tabeli I. Zbadano także olej napędowy zimowy EKODIESEL ULTRA-F (nr LR-5/0072/06), zakupiony na jednej ze stacji PKN ORLEN w Lublinie. Zbadano mieszanki oleju rzepakowego rafinowanego z olejem napędowym. Wyniki badań odporności na zużycie i współczynnika tarcia przedstawiono w tabeli II. W tabeli III zestawiono wyniki badań oleju napędowego zawarte w świadectwie jakości uzyskanym od sprzedawcy.

Test badawczy polegał każdorazowo na przeprowadzeniu próby tarcia powierzchni czołowej (lekką stożkowy pierścieni o średnicach ok. 5mm i ok. 2,5 mm) trzech próbek o obracającą się płaską przeciwpróbkę. Próbki rozmieszczono symetrycznie na okręgu o średnicy 61,5mm, zapewniając równomierny docisk siłą 2943N (300kg). W czasie próby przeciwpróbką wykonywała 100tys. obrotów, w czasie ok. 11 godzin. Próbki i przeciwpróbkę wykonano ze stali łożyskowej ŁH15SG. Jest to materiał bardzo często stosowany do produkcji elementów aparatury wtryskowej, np. korpusów rozpylaczy oraz tłoczków pomp rzędowych. Jako próbki stosowano rolki łożyska stożkowego JL 68145/111, jako przeciwpróbkę - płaską powierzchnię bieżni łożyska oporowego 51309. Twardość elementów wynosiła ok. 65 HRC. Badany czynnik w ilości min. 1 dm³, na ogół 5 dm³, w czasie próby krążył w obiegu zamkniętym, gdzie był filtrowany w filtrze papierowym i stabilizowany termicznie. Utrzymywano stałą temperaturę czynnika w okolicy węzła tarcia na poziomie 60±2°C. Warunki próby są wynikiem kompromisu pomiędzy skłonnością poszczególnych czynników do zacierania próbek a możliwością uzyskania możliwie maksymalnego zużycia w powtarzalnych warunkach i realnym czasie trwania próby, pretendującej zdaniem autora, z racji dosyć długiego czasu trwania i drogi tarcia, do miana testu o charakterze trwałościowym. Do ustalenia takich warunków przyczyniły się wyniki wcześniejszych badań [2, 3, 7], na znacznie prostszym stanowisku, gdzie w podobny sposób badano niewielką porcję czynnika, bez filtrowania, w zmiennej temperaturze, która była wynikiem tarcia i własności cieplnych stanowiska. Dodatkowo przy użyciu lepkościomierza wyznaczono lepkość [°E] badanych czynników przy temperaturze testu.



Rys. 2. Wygląd przykładowych powierzchni próbek po cyklu badawczym (100000 obrotów) i sposób określenia pola powierzchni śladu współpracy

Fig. 2. Example test samples after a full test cycle (100000 rotations) and the contact area calculation

Zużycie próbek określano metodą wagową, ważąc jednocześnie po trzy próbki na wadze o dokładności odczytu 0,0001g. Ze względu na niepewność ostatniej cyfry znaczącej przy niewielkich, w niektórych przypadkach ubytkach masy, dodatkowo wyznaczano powierzchnię śladu współpracy (zużycia), co pozwoliło na określenie końcowej wartości nacisku jednostkowego w poszczególnych próbach.

Tabela 1. Charakterystyka badanych olejów roślinnych, dane producentów i wg [1]. Lepkość oraz parametry tarcia i zużycia wyznaczone w badaniach własnych

Table 1. Properties of the oils used in the research, manufacturer data and values according to [1]. Viscosity, friction and wear properties as measured during the tests

Badany olej/ Własność	Słonecznikowy BARTEK	Sojowy ZPT W-wa	Ryżowy AGRO NOVO TAJLA NDIA	Arachidowy SALV ADORI WŁO CHY*	Kukurydziany SALVADO RI WŁOC HY*	Rzepakowy rafinowany ZPT W-wa	Rzepakowy tłoczony prod. nieznany
Wartość energetyczna [kJ/kg]	37000	-	33640	36998	36998	(37000 - 37500)	(37000 - 37500)
Zawartość tłuszczów nasyconych (wg [1])	11 (10-13)	(11,5 - 20)	18	14 (13)	14 (12,5)	(5,2-6,8)	(5,2-6,8)
Zawartość tłuszczów jednonienasyconych (wg [1])	27 (23-28)	(22-28)	43	37,5 (42)	37,5 (28)	(60-73)	(60-73)
Zawartość tłuszczów wielonienasyconych (wg [1])	62 (61-67)	(61-64)	39	48,5 (45)	48,5 (59,5)	(28-33)	(28-33)
Cena (luty 2006, MAKRO) [zł/dm ³]	4,67	4,06	9,58	9,62	6,41	2,99	-
lepkość względna przy 60°C [°E]	2,66	2,76	2,74	3,02	2,66	2,84	-
Ubytek masy próbek w teście [g]	0,0011	0,0000	0,0006	0,0001	0,0007	0,0010	0,0078
Powierzchnia śladu współpracy [mm ²]	14,46	6,23	10,42	9,51	11,73	11,62	30,70
Nacisk końcowy [MPa]	204	472	282	309	251	253	96
Średnia wartość współczynnika tarcia	0,072	0,068	0,065	0,063	0,070	0,076	0,080
[-]							

*- w odniesieniu do olejów SALVATORI prawdopodobnie omyłkowo na opakowaniach podano jednakowe własności oleju kukurydzianego i arachidowego.

Tabela 2. Zależność parametrów tarcia i zużycia próbek w teście od zawartości oleju rzepakowego, rafinowanego w mieszance z ON. Temperatura 60°C

Table 2. Friction and wear of the samples as a function of the rapeseed oil content in a mixture with standard diesel oil. Temperature 60°C

Skład OR/ON	Ilepkość względna przy 60°C [⁰ E]	Ubytek masy próbek [g]	Powierzchnia śladu tarcia [mm ²]	Nacisk końcowy [MPa]	Współczynnik tarcia [-]
100%OR/0%ON	2,84	0,0010	11,62	253	0,076
80%OR/20%ON	2,16	0,0015	14,69	200	0,079
60%OR/40%ON	1,85	0,0019	16,15	182	0,084
40%OR/60%ON	1,43	0,0020	15,80	186	0,087
20%OR/80%ON	1,24	0,0022	16,15	182	0,096
0%OR/100%ON	1,11	0,0010	15,03	196	0,104

Tabela 3. Specyfikacja badanego oleju napędowego wg ZN/ITN-ORLEN/NF-229/2004

Table 3. Specification of the diesel oil used in the tests according to the ZN/ITN-ORLEN/NF-229/2004 standard

Badany parametr	Wartość oznaczona	Wymagania wg normy
Gęstość w temperaturze 15°C [kg/m ³]	835,6	820-845
Skład frakcyjny [% V]: destyluje do 250°C do 350°C destyluje 95% destyluje do temperatury [°C]	37,5 97,5 337,1	min. 65 max. 85 max. 360
Indeks cetanowy	51,8	min. 46
Lepkość kinematyczna [mm ² /s]	2,545/40°C	2-4,5
Zawartość siarki [% m/m]	0,0082	0,01
Temperatura zapłonu [°C]	68	min. 56
Całkowita zawartość zanieczyszczeń stałych [mg/kg]	8	max. 24
Działanie korodujące (3h, 50°C)	1	stopień 1
Pozostałości po spopieleniu [% m]	0,001	max. 0,01
Pozostałości po koksowaniu [% m]	0,01	max. 0,03
Temperatura mętnienia [°C]	-15	bez
Temperatura zablokowania filtra [°C]	-21	max. -20
Zawartość wody [mg/kg]	60	max. 200
Zawartość wielop. węglowodorów [% m]	2,40	max. 7

3. Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że badane rafinowane oleje roślinne nie powodują skłonności do zwiększonego zużycia smarowanych nimi elementów w warunkach prowadzonych prób.

Szczególnie korzystne wydaje się stosowanie oleju sojowego, w przypadku którego nie zauważono praktycznie żadnego ubytku masy próbek. Olej ten zapewniał przenoszenie przez skojarzenie zdecydowanie największej wartości nacisków jednostkowych spośród badanych czynników. Cena oleju sojowego jest aktualnie porównywalna z olejem napędowym.

Czysty olej rzepakowy w temperaturze testu (60°C) wykazuje zbliżone własności „ścierne” w porównaniu z badanym olejem napędowym, przy wyraźnie niższym współczynniku tarcia. Jak wynika z wcześniejszych badań [2, 3], przy wyższych temperaturach, czyli np. w warunkach pracy wtryskiwaczy, olej rzepakowy może mieć gorsze właściwości smarne od napędowego. Zdecydowanie niekorzystnie wypadł olej rzepakowy nierafinowany, przy zastosowaniu którego zarejestrowano ośmiokrotnie wyższe zużycie masowe próbek i prawie trzykrotnie większą powierzchnię śladu współpracy w stosunku do oleju rafinowanego. Skłania to do refleksji nad celowością stosowania paliw alternatywnych z „niepewnych źródeł”.

Trudno dopatrywać się zależności pomiędzy składem i lepkością badanych olejów roślinnych a wynikami przeprowadzonych prób. Celowe wydaje się prowadzenie szerszych badań, z zastosowaniem partii olejów od różnych producentów.

Badane mieszanki oleju rzepakowego z napędowym wykazywały nieznacznie podwyższoną skłonność do zużywania smarowanych nimi próbek w warunkach testu, w nieznacznym stopniu zależną od proporcji. Ścisłą, liniową zależność od proporcji wykazywała natomiast w przypadku mieszanek wartość współczynnika tarcia.

Opracowana metoda badania własności smarnych wydaje się być powtarzalnym testem porównawczym szerokiej gamy paliw i środków smarnych. Charakter testu można określić mianem próby trwałościowej.

Literatura

- [1] Baczewski, K., Kałdoński, M., *Paliwa do silników o zapłonie samoczynnym*. WKŁ Warszawa 2004.
- [2] Gardyński, L., Kiernicki, Z., Jakóbiec, J., *Wpływ stosowania mieszanin oleju napędowego i rzepakowego oraz lekkich olejów opalowych na zużycie elementów aparatury wtryskowej*. Materiały konferencyjne KONES'2002, str. 34-40, Gdańsk 2002.
- [3] Gardyński, L., Kiernicki, Z., *Wybrane właściwości smarne mieszanin oleju napędowego i rzepakowego*. Proceeding of KONSPAL'2002, Tadeusz Kościuszko Military Academy - Wrocław 2002, str. 65÷72.
- [4] Gardyński, L., *Założenia stanowiska do badania odporności materiału elementów aparatury paliwowej na zużycie w warunkach smarowania*. Journal of KONES'2004 Zakopane, 1999, str. 165-170.
- [5] Gardyński, L., *Stanowisko do badania odporności materiału elementów aparatury paliwowej na zużycie w warunkach smarowania*. Materiały konferencji Silniki Spalinowe w Zastosowaniach Wojskowych SILWOJ'2005. Akademia Marynarki Wojennej, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2005, str. 93-100.
- [6] Jakóbiec, J., Janik, R., Gardyński, L., *Wpływ pakietu dodatku uszlachetniającego na właściwości fizykochemiczne i użytkowe Auto-Gazu*. Materiały konferencyjne konferencji Silniki Gazowe, Szczyrk 2003. Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej 155. Częstochowa 2003, str. 362-372.
- [7] Niewczas, A., Czerniec, M., Ignaciuk, P., *Badania trwałości elementów maszyn współpracujących tarciowo*. Lublin 2000.
- [8] Sitnik, L., *Ekopaliwa silnikowe*. Politechnika Wrocławska. Wrocław 2004.

Praca naukowa finansowana ze środków Komitetu Badań Naukowych w latach 2004 - 2006 jako projekt badawczy.