

## Results of the tests on the lubricity of some biofuels

*Abstract: The paper presents the results of research on lubricating properties of rapeseed oil methyl ester and its blends with diesel fuel. The study was conducted on a test bench built by the author. The test bench allows to conduct research with a rotary and reciprocate-rotary movement. Test cycle lasts about 11 hours, and the length of friction in rotary movement exceeds 20 km. Fuel circulates in open or closed circuit and the temperature is maintained at a set level. Conditions in the proposed test are more similar to the actual operation conditions of the injection system in real engine than in standardized tests. The results show that despite the reduction in the coefficient of friction by using FAME, the wear of samples increases.*

Keywords: *biofuel, friction coefficient, lubricity*

### Wyniki badań własności smarnych wybranych biopaliw

*Streszczenie: W referacie przedstawiono wyniki badań własności smarnych estru metylowego oleju rzepakowego i jego mieszanek z ON. Badania prowadzono na zbudowanym przez autora stanowisku. Stanowisko umożliwia realizację testu badawczego w cyklu obrotowym oraz obrotowo-zwrotnym. Cykl badawczy trwa ok. 11 godzin, a droga tarcia w cyklu obrotowym przekracza 20 km. Paliwo krąży w obiegu otwartym lub zamkniętym a jego temperatura jest utrzymywana na zadanym poziomie. Warunki proponowanego testu są bardziej od testów znormalizowanych zbliżone do warunków pracy aparatury wtryskowej rzeczywistego silnika. Wyniki badań wykazują, że mimo obniżenia wartości współczynnika tarcia przy zastosowaniu FAME, zużycie smarowanych paliwem próbek rośnie.*

Słowa kluczowe: *biopaliwo, współczynnik tarcia, smarność*

## 1. Wprowadzenie

Od wielu lat stosowane jest w Polsce paliwo z dodatkiem lub całkowicie składające się z estru metylowego oleju rzepakowego (FAME). Znane są liczne wyniki badań potwierdzające jego możliwość zastosowania do napędu silników wysokoprężnych [1-4]. Na wybranych stacjach można kupić paliwo o zawartości FAME 20, a nawet 100% (B 100). W handlowym oleju napędowym zawartość FAME dochodzi do 7%.

Rosnąca popularność tego paliwa w formie czystej, bądź jako dodatku, skłoniła autora do podjęcia badań, mających na celu określenie jego wpływu na własności smarne paliwa.

Przeprowadzone przez autora badania własności smarnych FAME oraz jego mieszanek z ON, dają gorsze wyniki niż paliwo tradycyjne. W ich świetle, trwałość aparatury paliwowej pojazdów napędzanych paliwem z tym dodatkiem może ulec obniżeniu. Podobnych obaw nie budzą natomiast wyniki badań czystych olejów roślinnych i ich mieszanek z ON.

## 2. Metodyka badań

Badania prowadzono na zbudowanym przez autora stanowisku [5-9], którego głównym zespołem jest węzeł trący ze stali łożyskowej. Trzy próbki

(rolki łożyska stożkowego), trą o obracającą się przeciwpróbkę w postaci płaskiego pierścienia (bieżni łożyska wzdłużnego). W efekcie trwającego ok. pół doby testu, w czasie którego każda próbka dociskana siłą 1 kN wykonuje drogę tarcia ok. 20 km z prędkością ok. 0,5 m/s, powstają trzy ślady - pola zużycia. Miarą własności smarnych badanego czynnika jest obok ubytku masowego próbek, który jest zwykle bardzo mały (rzędu mg lub mniejszy) - suma powierzchni pól zużycia, lub średnica koła o polu powierzchni równej sumie trzech pól zużycia, uzyskanych w teście. Tak obliczona średnica ekwiwalentna śladu zużycia dobrze oddaje własności smarne badanych czynników, a także „koresponduje” ze średnicą śladu współpracy, uzyskiwaną w powszechnie stosowanym do badań własności smarnych paliw do silników wysokoprężnych teście, wykonywanym metodą HFRR. Zaletą stosowanej przez autora metody jest jej bardziej eksploatacyjny, z racji długiego trwania charakter, oraz to że w badaniu uczestniczy duża porcja paliwa (zwykle 30 dm<sup>3</sup>), krążącego w obiegu zamkniętym, na bieżąco filtrowanego i stabilizowanego temperaturowo (60°C). Można przyjąć że w zbliżonej temperaturze pracują elementy aparatury wtryskowej. Tę wartość temperatury stosuje się również w znormalizowanej próbie smarności opartej o metodę HFRR (PN-EN-ISO 1256-1:2001. Oleje napędowe. Ocena smarności z użyciem aparatu o ruchu posuwisto zwrotnym o wysokiej częstotliwości), gdzie wyznacza się skorygowana do nominalnego ciśnienia pary

wodnej 1,4 kPa średnicę śladu zużycia stalowej kulki. Podobnie w metodzie HFRR stosuje się zblizoną temperaturę: 65°C, a także 25°C.

Na stanowisku możliwe też jest zrealizowanie cyklu „obrotowo-zwrotnego”, w którym przeciwpróbka wykonuje ruch obrotowy, przerywany po ok. 120 stopniach kątowych zmianą kierunku (porównanie parametrów obu rodzajów testów oraz przykładowych wyników zestawiono w tabelach 1 i 2). Jak wykazały badania porównawcze na tych samych paliwach, zarówno dla czystego ON, jak i czystego FAME, wyniki badań niezależnie od rodzaju ruchu przeciwpróbki są zblizone, lub nawet gorsze przy cyklu obrotowym. Prawdopodobnie zwiększenie zużycia związane ze zmianą kierunku ruchu (charakterystyczną dla wielu ruchomych elementów aparatury wtryskowej), w cyklu obrotowo-zwrotnym, kompensowane jest prawie trzy-

krotnie większą długością drogi tarcia oraz większą prędkością w cyklu obrotowym.

Tabela 1. Porównanie parametrów testu przy cyklu badawczym obrotowym i obrotowo-zwrotnym

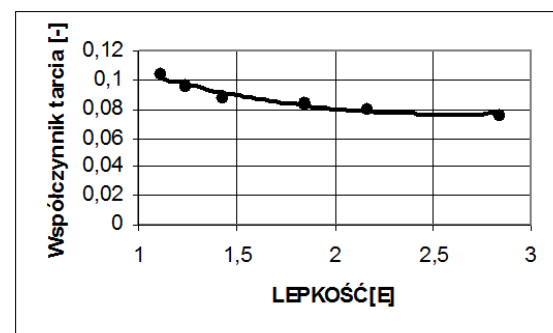
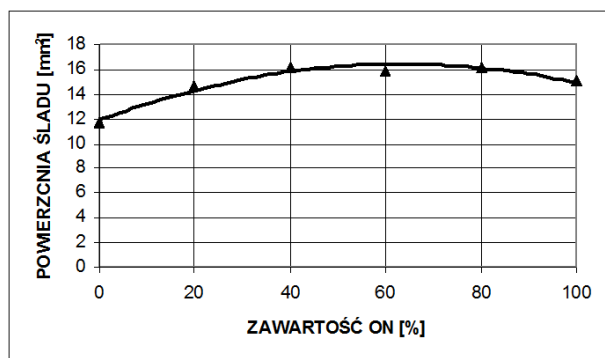
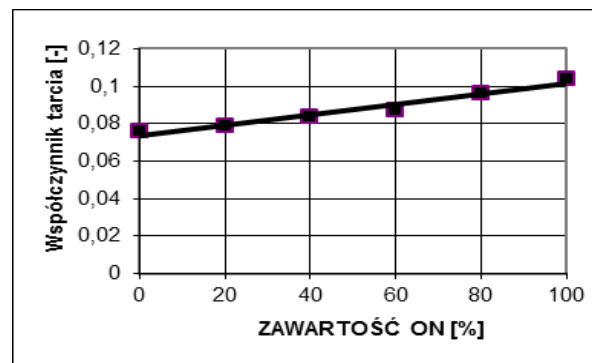
Własność [jednostka]	Ruch obrotowy	Ruch obrotowo-zwrotny
Droga tarcia na 1 cykl [mm]	201	87
Droga tarcia na 100 tys. cykli [km]	20,1	8,7
Prędkość średnia [m/s]	0,51	0,22
Prędkość maksymalna [m/s]	0,51	0,31
Ilość zmian kierunku ruchu na cykl [-]	0	2

Tabela 2. Wyniki przykładowych badań własności smarnych dla czystego ON i czystego FAME po 100 tys. obrotów (cykli), temperatura czynnika 60°C, obciążenie próbek 300 kg

Badany czynnik	Ubytek masy 3 próbek [g]	Powierzchnia śladu współpracy 3 próbek [mm <sup>2</sup> ]	Nacisk końcowy [MPa]	Współczynnik Tarcia [-]
ON nr 4 (ORLEN LATO) OBR-ZW	0,0010	13,39	220	0,111
ON nr 4 (ORLEN LATO) OBR	0,0010	12,31	240	0,120
ESTER TRZEBINIA 100% OBR-ZW	0,0035	18,95	155	0,082
ESTER TRZEBINIA 100% OBR	0,0049	23,02	129	0,082

### 3. Wyniki badań

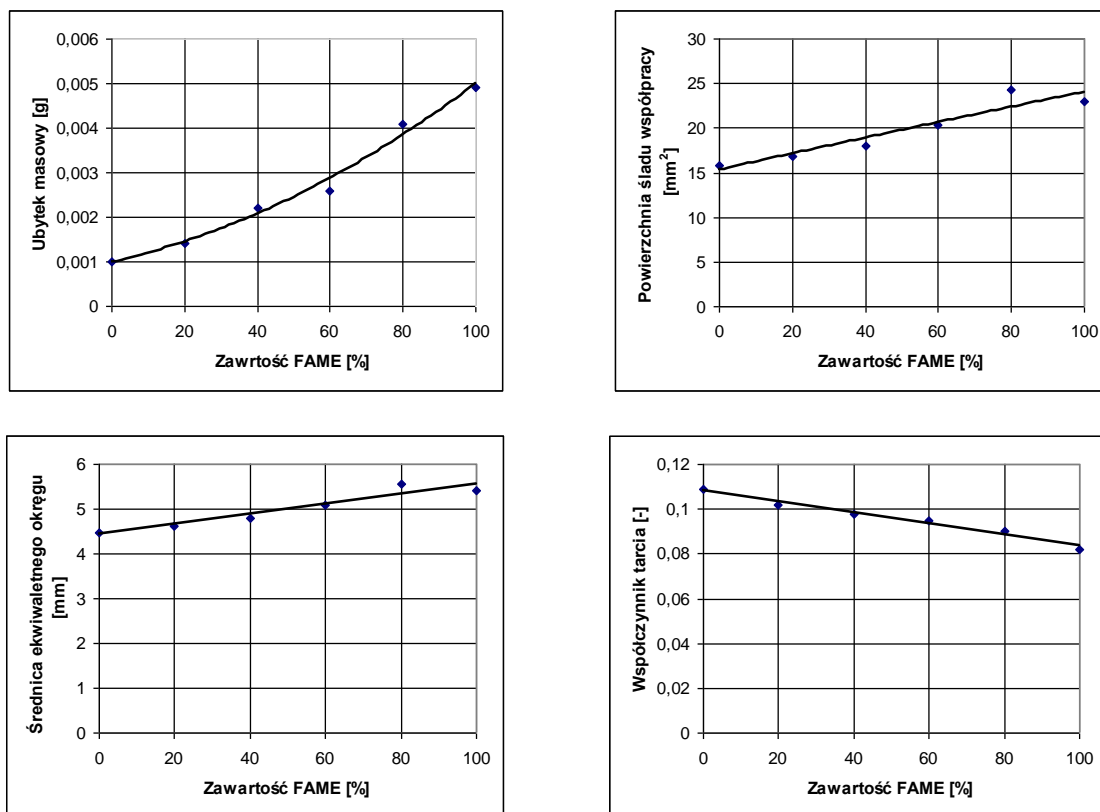
W pierwszej kolejności badaniom poddano olej rzepakowy i jego mieszanki z olejem napędowym. Na rysunku 1 przedstawiono w formie wykresów zestawienie wyników badań własności smarnych oleju napędowego zimowego oraz jego mieszanek z olejem rzepakowym i czystego oleju. Wykorzystano olej napędowy PKN Orlen (charakterystyka w tabeli 3) z czasów gdy jeszcze nie stosowano w nim występującego w obecnie sprzedawanych paliwach do silników wysokoprężnych 5% dodatku estru. Mieszanki wykonano dodając oleju roślinnego spożywczego rafinowanego.



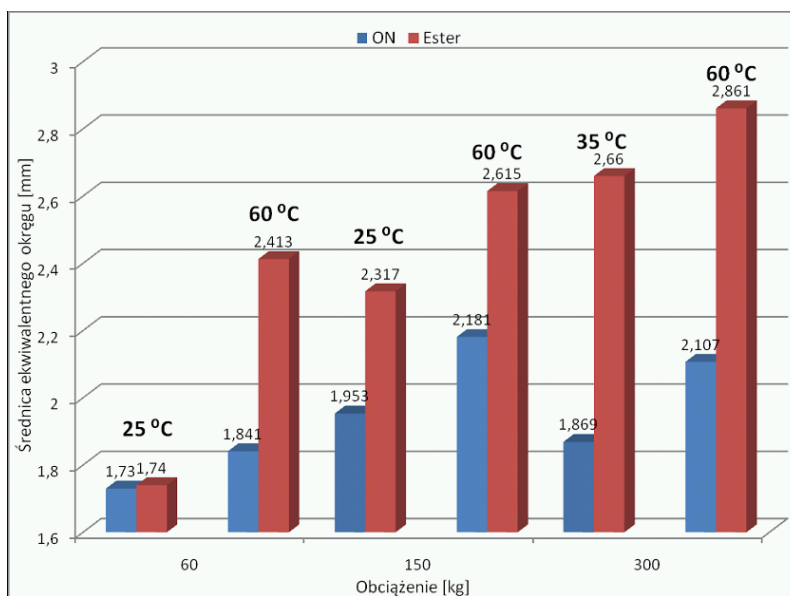
Rys. 1. Zestawienie wyników badań właściwości smarnych mieszanek olej napędowy-olej rzepakowy

Następnie badaniom poddano FAME i jego mieszanki z olejem napędowym. Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono w formie wykresów zestawienie wyników badań własności smarnych oleju napędowego zimowego oraz jego mieszanek z estrem metyloowym oleju rzepakowego i czystego estru.

Wykorzystano ten sam olej napędowy PKN Orlen. Mieszanki wykonano dodając czystego estru (B100) produkcji Rafinerii Trzebinia, zakupionego bezpośrednio u producenta (charakterystyka w tabeli 4).



Rys. 2. Zestawienie wyników badań właściwości smarnych mieszanek olej napędowy-ester metyloowy oleju rzepakowego



Rys. 3. Porównanie wielkości śladu zużycia próbek smarowanych ON i FAME przy różnych wartościach nacisku i temperatury

Tabela 3. Charakterystyka ON ORLEN EKODIESEL ULTRA-F

Lp.	Badany parametr	Wartość oznaczona	Wymagania Wg normy
1	Gęstość w temperaturze 15°C [kg/m <sup>3</sup> ]	835,6	820÷845
2	Skład frakcyjny [% (v/v)]: do 250°C destyluje do 350°C destyluje 95% destyluje do temperatury [°C]	37,5 97,5 337,1	max. 65 min. 85 max. 360
3	Indeks cetanowy [-]	51,8	min. 46
4	Lepkość kinematyczna [mm <sup>2</sup> /s]	2,545/40°C	2÷4,5
5	Zawartość siarki [mg/kg]	8,2	max 10
6	Temperatura zapłonu [°C]	68	min. 56
7	Całkowita zawartość zanieczyszczeń stałych [mg/kg]	8	max. 24
8	Działanie korodujące (3h, 50°C)	1	stopień 1
9	Pozostałości po spopieleniu [% (m/m)]	0,001	max. 0,01
10	Pozostałości po koksowaniu [% (m/m)]	0,01	max. 0,03
11	Temperatura mętnienia [°C]	-15	bez
12	Temperatura zablokowania filtra [°C]	-21	max. -20
13	Zawartość wody [mg/kg]	60	max. 200
15	Zawartość wielop. węglowodorów [% (m/m)]	2,40	max. 7

Tabela 4. Charakterystyka czystego estru metylowego oleju rzepakowego z Rafinerii Trzebinia (Biodiesel B-FAME)

Lp.	Badany parametr	Wartość oznaczona	Wymagania Wg normy
1	Zawartość estrów metylowych kwasów tłuszczowych [% (m/m)]	97,9	min. 96,5
2	Gęstość w 15°C [kg/cm <sup>3</sup> ]	883	860÷900
3	Lepkość kinematyczna w 40°C [mm <sup>2</sup> /s]	4,5	3,5÷5
4	Temperatura zapłonu [°C]	pow. 130	min. 120
5	Zawartość siarki [mg/kg]	6,0	max. 10
6	Pozostałość po koksowaniu z 10% pozostałości dest. [% (m/m)]	0,14	max. 0,3
7	Liczba cetanowa	52	min. 51
8	Zawartość popiołu siarczanowego [% (m/m)]	0,00	max. 0, 02
9	Zawartość wody [mg/kg]	78	max. 500
10	Całkowita zawartość zanieczyszczeń [mg/kg]	16	max. 24
11	Działanie korodujące (3h, 50°C)	klasa 1	stopień 1
12	Stabilność oksydacyjna w temp 110°C [h]	9,8	min. 6
13	Liczba kwasowa [mg KOH/g]	0,38	max. 0,5
14	Liczba jodowa [g jodu/100g]	110	max. 120
15	Zawartość estru metylowego kwasu linolenowego [% (m/m)]	9,2	max. 12
16	Zawartość estrów metylowych kwasów polienowych (min. 4 wiązania podwójne) [% (m/m)]	pon. 0,1	max. 1
17	Zawartość alkoholu metylowego [% (m/m)]	pon. 0,01	max. 0,2
18	Zawartość monoacylogliceroli [% (m/m)]	0,30	max. 0,8
19	Zawartość diacylogliceroli [% (m/m)]	0,15	max. 0,2
20	Zawartość triacylogliceroli [% (m/m)]	0,10	max. 0,8
21	Zawartość wolnego glicerolu [% (m/m)]	0,010	max. 0,02
22	Zawartość ogólnego glicerolu [% (m/m)]	0,12	max. 0,25
23	Zawartość metali grupy I (Na + K) [mg/kg]	3,0	max. 5
24	Zawartość metali grupy II (Ca + Mg) (ICP) [mg/kg]	2,7	max. 5
25	Zawartość fosforu [mg/kg]	pon. 4	max. 10
26	Temperatura zablokowania zimnego filtra (CFPP) [°C]	-17	max. 0

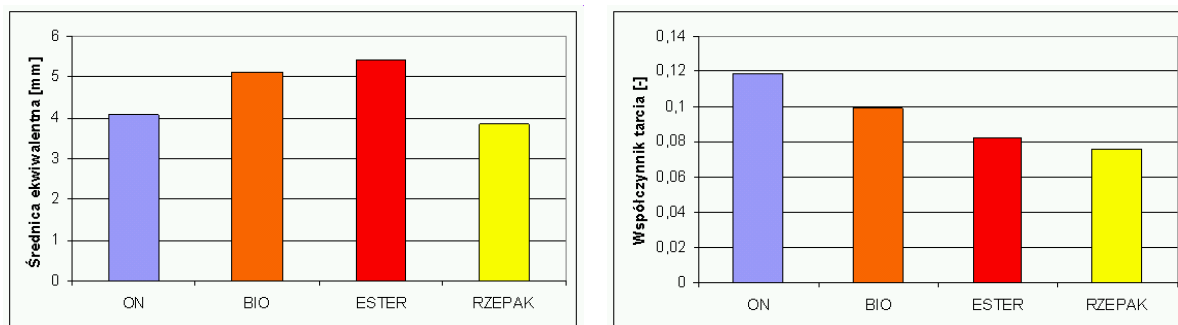
#### 4. Podsumowanie

Podsumowując uzyskane wyniki można zauważyć że zarówno dodatek oleju roślinnego jak i FAME do oleju napędowego, powodują podobne obniżenie współczynnika tarcia, przy smarowaniu badanym czynnikiem powierzchni stalowych. O ile w przypadku badanych mieszanin ON-OR, następu-

je przy tym zwykle zmniejszenie powierzchni śladu zużycia i zarazem jego średnicy ekwiwalentnej, a więc można ogólnie mówić o poprawie własności smarnych takiego paliwa, to w przypadku FAME i jego mieszanin z ON otrzymane wyniki są zaskakujące. Przy obniżeniu wartości współczynnika tarcia, dodatek FAME powoduje proporcjonalne do jego ilości zwiększenie zużycia smarowanych próbek.

Przy badaniu próbek paliw z innych partii, lub gotowych mieszanek typu BIO, niejednokrotnie

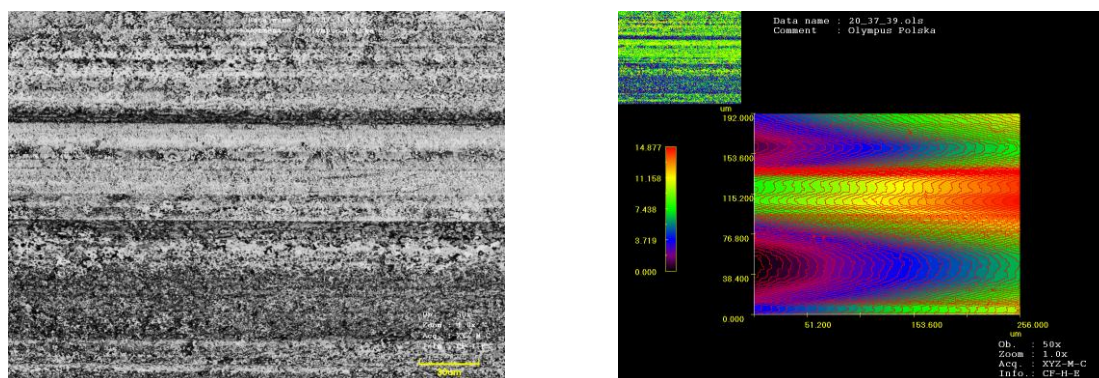
uzyskiwano jeszcze mniej korzystne dla biodiesla wyniki (rys. 4).



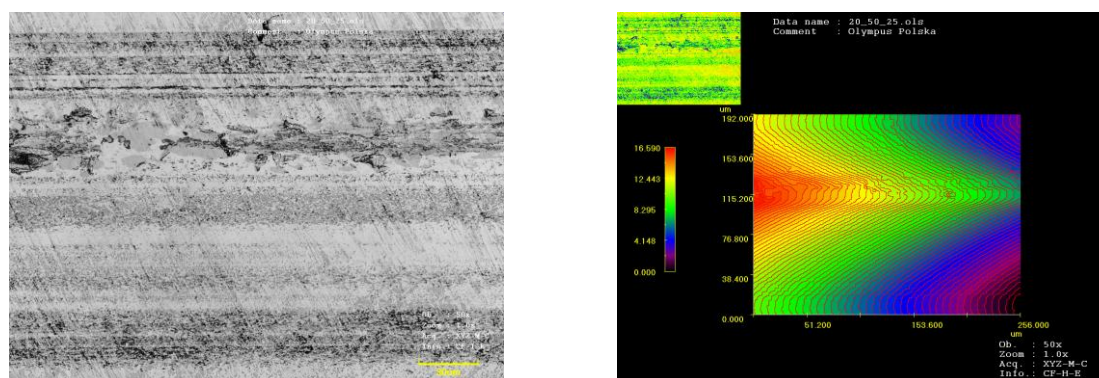
Rys. 4. Zestawienie wyników badań ekwiwalentnej średnicy zużycia i współczynnika tarcia dla czystego ON, mieszanki z 10% dodatkiem FAME (BIO), czystego FAME (ESTER) i czystego oleju rzepakowego (RZEPAK)

W dalszych badaniach autora planuje się podjęcie próby wyjaśnienia zaobserwowanego zjawiska. Aktualnie trwa opracowywanie fotografii mikroskopowych powierzchni badanych próbek. Wstępnie można powiedzieć o zauważonym odmiennym charakterze wyglądu ich powierzchni, a zarazem sposobu zużywania (rys. 5 i 6). Niestety wyraźnie gorsze wyniki od czystego ON uzyskuje się też dla sprzedawanych obecnie olejów napędowych, „ustawowo” zawierających do 7% FAME. Bardzo niekorzystnie wypadają też inne badane estry, np.

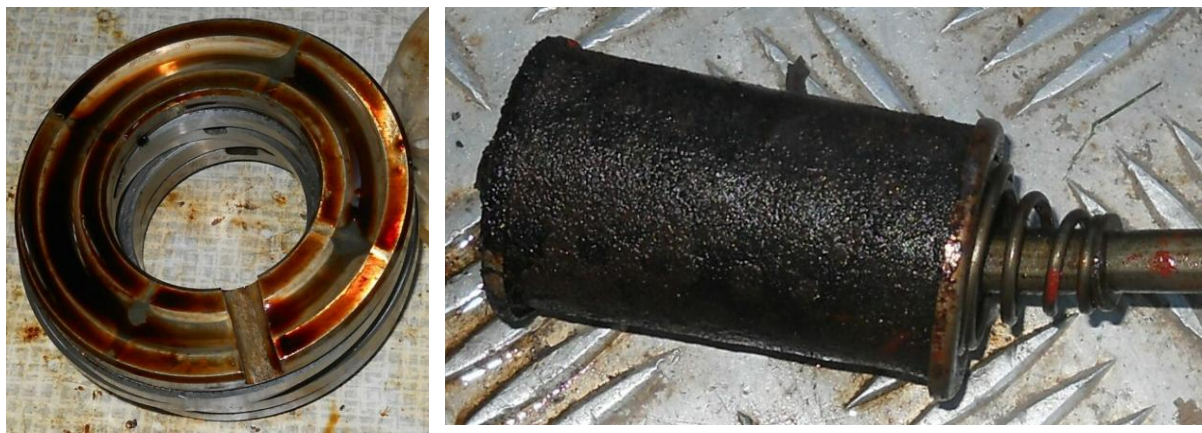
oleju uzyskanego z lnianki siewnej. Przy zasilaniu paliwami z dodatkiem FAME pojawiają się też nieznanne przy stosowaniu czystego ON, kłopoty eksploatacyjne, w postaci kleistego osadu, pozostawianego przez takie paliwa (rys. 7). W świetle powyższego należy mieć nadzieję, że negatywnych cech FAME nie będzie miała nowa generacja biopaliw – HVO [10], będących w istocie węglowodorami.



Rys. 5. Powierzchnia próbki po badaniu własności smarnych ON – mikroskop konfokalny



Rys. 6. Powierzchnia próbki po badaniu własności smarnych czystego FAME – mikroskop konfokalny; widoczne miejscowe wyrwania fragmentów materiału próbki



Rys. 7. Osad - kleista maź, powstająca w miejscach które miały kontakt z biopaliwem zawierającym FAME: na odwrotnej stronie przeciwpróbki wykorzystywanej w prezentowanych badaniach (z lewej), na siatce smoka paliwa w zbiorniku samochodu (z prawej) – osad uniemożliwił prawidłową pracę silnika

### Bibliography/Literatura

- [1] Monyem A., Van Gerpen J.: „The effect of biodiesel oxidation on engine performance and emissions“. *Biomass and Bioenergy* 20 (2001), 317÷325.
- [2] Schumacher L., Howell S., Weber J.: „Biodiesel Research – 1996, and Beyond“. University of Missouri, Columbia.
- [3] Merkisz J., Kozak M., Pielecha J., Andrzejewski M.: The influence of application of different diesel fuel-RME blends on PM emissions from a diesel engine. *Combustion Engines*. 2012, 148(1), 35-39.
- [4] Swat M., Madej K.: “The influence of biodepolymer fuel components on the exhaust emissions from diesel engines”. *Combustion Engines*. 2013, 152(1), 79-88.
- [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] Gardyński L.: „Recent research on the wear of fuel supply system elements lubricated with bio-fuels”. *Journal of EUROPEAN KONES’2006* Warszawa-Nałęczów, 2006, Vol. 13, No. 4, str. 195÷200.
- [7] Gardyński L.: „Badania własności smarnych paliw w aspekcie zasilania silników wielopaliwowych”. *Materiały konferencji EKSPLOLOG’2006*. Wydawnictwo Wyższej Szkoły Oficerskiej im. Gen. Tadeusza Kościuszki. Wrocław 2006. Rok wydania 2007. str. 131-135.
- [8] Gardyński L., Gorgol K.: „Badania porównawcze własności smarnych oleju napędowego i biopaliw rzepakowych”. *Materiały konferencyjne III Sympozjum Naukowo-Technicznego EKSPLOLOG 2008*. Wydawnictwo WSOWL Wrocław 2008, str. 80-85.
- [9] Gardyński L., Krzyżak A.: „Ocena wpływu oleju napędowego oraz paliwa roślinnego na zużycie tribologiczne wybranych tworzyw polimerowych”. *Motrol tom 11C*, Lublin 2009, str. 51-57.
- [10] Kulczycki K., Sarnecki J.: „Problemy smarności paliw lotniczych zawierających biokomponenty”. *Journal of KONBIN*, Warszawa 2011, str. 145-164.

Leszek Gardyński, DEng. – doctor in the Faculty of mechanical Engineering at Lublin University of Technology.

Dr inż. Leszek Gardyński – adiunkt na Wydziale Mechanicznym Politechniki Lubelskiej.

e-mail: l.gardynski@pollub.pl

