

Grzegorz ZAJĄC<sup>1</sup>

### **BADANIA TRIBOLOGICZNE I EKSPLOATACYJNE OLEJU RZEPAKOWEGO**

*W artykule przedstawiono metodykę badań laboratoryjnych i eksploatacyjnych surowego oleju rzepakowego użytego do smarowania silnika benzynowego. Zaprezentowano wybrane wyniki badań, m.in. analizę widmową hałasu emitowanego przez silnik smarowany olejem rzepakowym oraz mineralnym w aspekcie rodzaju paliwa użytego do napędu silnika. Pomiarzy zużycia przeprowadzono z wykorzystaniem testera tribologicznego T05. Próbkę oleju do pomiarów pobierane były co określony interwał przebiegu (1000 km). Przed pobraniem próbki mierzono widmo drgań i hałasu, generowane przez silnik pracujący w ustalonych warunkach obciążenia i prędkości obrotowej. Wyniki badań oleju rzepakowego porównywano z wynikami, jakie otrzymano w badaniach oleju zalecanego przez producenta pojazdu dla tych samych warunków eksploatacji.*

### **TRIBOLOGICAL AND OPERATIONAL TESTS OF RAPESEED OIL**

*In the paper both, laboratory and operational investigation methodologies of natural rapeseed oil used for petrol engine lubrication were presented. Selected test results, among the others the spectroanalysis of the noise emitted by the engine lubricated with rapeseed and mineral oil in the aspect of the engine fuel type. Sample wear measurements have been carried out using T05 tribological test apparatus. Oil test samples were taken each 1000 km run interval. Vibration and noise spectrum generated by the engine working in steady-state both load and rotational speed conditions were measured before the oil samples had been taken. The results of the rapeseed oil investigation were compared to the investigation results of the engine oil recommended by vehicle producer and working in the same conditions.*

#### **1. WSTĘP**

Wyczerpujące się światowe zasoby ropy naftowej oraz dążenie do ograniczenia degradacji środowiska spowodowanego emisją do otoczenia produktów ropopochodnych i związków chemicznych z procesu ich spalania, powoduje wzrost zainteresowania ekologicznymi paliwami i przyjaznymi środowisku środkami smarowymi. Największym zainteresowaniem ośrodków naukowych zajmujących się tworzeniem i badaniem środków smarnych przyjaznych środowisku, jako baza surowcowa cieszą się oleje roślinne. Wynika

---

<sup>1</sup> Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny, Instytut Pojazdów Szynowych;  
31-864 Kraków; al. Jana Pawła II 37. Tel: + 48 12 374-36-26, + 48 12 374-33-10, Fax: + 48 12 374-33-11  
E-mail: gzajac@m8.mech.pk.edu.pl

to z ich nietoksyczności, oraz dużej podatności na biodegradację po przeniknięciu do otoczenia. Charakteryzują się również dobrymi właściwościami smarnymi i lepkościowo - temperaturowymi, wykazują dużą odporność na ścinanie, nie powodują korozyjnego oddziaływania na metale a także mają dobrą kompatybilność z olejami mineralnymi i materiałami uszczelniającymi. Z inżynierskiego punktu widzenia te zalety są bardzo pożądane. Mimo tak wielu zalet oleje te nie znajdują powszechnego zastosowania w przemyśle. Spowodowane jest to ich małą odpornością termooksydacyjną i hydrolityczną. Podczas tych procesów powstaje szereg produktów tlenoorganicznych (m.in. estry, alkohole, kwasy karboksylowe) znanych, jako nietoksyczne substancje wykazujące aktywność tribochemiczną w warunkach tarcia mieszanego [6].

Od szeregu lat na świecie i w Polsce prowadzone są badania nad olejami roślinnymi. Badania te można podzielić niejako na dwa główne kierunki. Przykładowo, w krajowych badaniach pierwszy kierunek dotyczy badań, których celem jest wykorzystanie olejów roślinnych jako bazy do tworzenia ekologicznych środków smarnych [1], [2], [3], [4], [5], [6]. Drugi kierunek to wykorzystanie olejów roślinnych jako paliwa do napędu silników spalinowych, głównie z zapłonem samoczynnym (ZS) m.in. [8], [9], [10], [11], [12], [13]. Kierunek badań związany z wykorzystywaniem olei roślinnych jako bazy do tworzenia ekologicznych środków smarnych miały głównie charakter laboratoryjny, a występujące przemiany chemiczne zachodzące w tych olejach w rzeczywistym procesie eksploatacji maszyn (m.in. polimeryzacja, hydroliza) wymuszano stosownym procesem obróbki chemicznej. Badania w aspekcie wykorzystania olei roślinnych jako paliwa koncentrowały się nie tylko na badaniach laboratoryjnych ale również oparte były na doświadczeniach realizowanych w warunkach eksploatacji obserwowanej. Te dwa kierunki badań realizowane przez innych badaczy pozwoliły autorowi na opracowanie, koncepcji zasilania i smarowania silnika spalinowego ZS, którego ekwiwalentna emisja tlenu węgla (IV) ( $CO_{2eq}$ ) do atmosfery m.in. [14] będzie równa zero.

## 2. METODYKA BADAŃ

Projekt układu zasilania i smarowania ekologicznego silnika z zapłonem ZS przewiduje zastosowanie oleju roślinnego zarówno do smarowania silnika jak i do jego zasilania. W badaniach uwzględniono olej rzepakowy, ponieważ surowy olej rzepakowy charakteryzuje się lepszymi właściwościami przeciwzużyciowymi niż olej słonecznikowy, jest tańszy a także nasza strefa klimatyczna sprzyja uprawie rzepaku. Realizację eksperymentu podzielono na dwa etapy. Pierwszy etap badań obejmował porównawcze badania eksploatacyjne silnika ZI smarowanego olejem mineralnym 15W – 40 SJ/CF – 10 000 km, a następnie przez kolejne 10 000 km silnik smarowany był surowym olejem rzepakowym (bez dodatków). Mając na celu zapobieganie uszkodzeniu silnika spowodowane szybkim procesem degradacji oleju roślinnego interwały pomiędzy wymianami oleju rzepakowego ustalono odpowiednio na: 3000 km, 2000 km, 1500 km. Krótsze okresy pomiędzy wymianami olejów stosowano w warunkach letnich, ponieważ wysoka temperatura pracy znacznie przyspieszała polimeryzację oleju. W trakcie eksploatacji obserwowanej, co ustalony interwał dokonywano pomiarów:

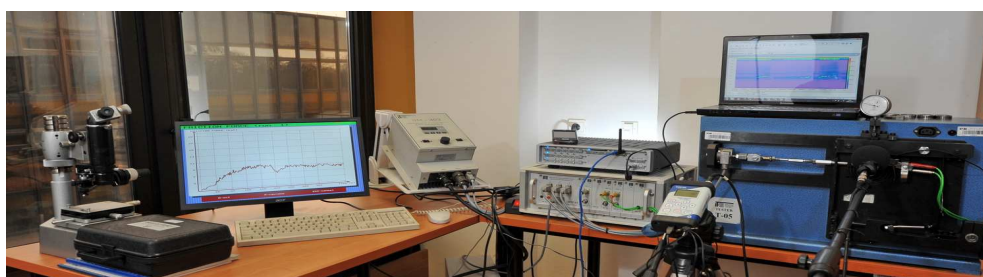
- ciśnienia oleju
- ciśnienia sprężania
- zużycia oleju

- toksyczności spalin (za pomocą analizatora będącego wyposażeniem Stacji Kontroli Pojazdów).

Prowadzone pomiary obejmowały analizę sygnału wibroakustycznego (widmo drgań silnika i hałasu) emitowanego przez pracujący w określonych warunkach silnik. Podczas obsługi codziennej a także obsług okresowych dokonywano oceny wizualnej silnika pod kątem ewentualnych nieszczelności powodujących wycieki oleju.

## 2. WYBRANE WYNIKI BADAŃ

Próbki oleju pobierane podczas kolejnych jego wymian poddawano badaniom zużyciowym przeprowadzanym na testerze tribologicznym T05, którego widok ogólny przedstawiono na rys. 1.



Rys.1. Stanowisko badawcze tester T05 z dodatkowymi urządzeniami pomiarowymi.

Pomiary zużycia mierzono wykorzystując elementy testowe z płaską powierzchnią i stykiem skoncentrowanym wykonane ze stali 45 współpracujące z przeciwpróbką ze stali 100Cr6. W badanym węzle tribologicznym naprężenia obliczano ze wzoru (1).

$$\sigma_{dH} = 0.418 \sqrt{\frac{P \cdot E}{l \cdot r}} \quad [MPa] \quad (1)$$

gdzie:  $P$  – siła obciążająca [N],  
 $E$  – moduł Younga [MPa],  
 $l$  – szerokość styku [mm],  
 $r$  – promień obręczy (przeciwpróbki)

Zużycie objętościowe próbki  $Z_v$  obliczano z zależności (2)

$$Z_v = \frac{D_t^2 \cdot l}{8} \left[ 2 \arcsin \frac{b}{D_t} - \sin \left( 2 \arcsin \frac{b}{D_t} \right) \right] [mm^3] \quad (2)$$

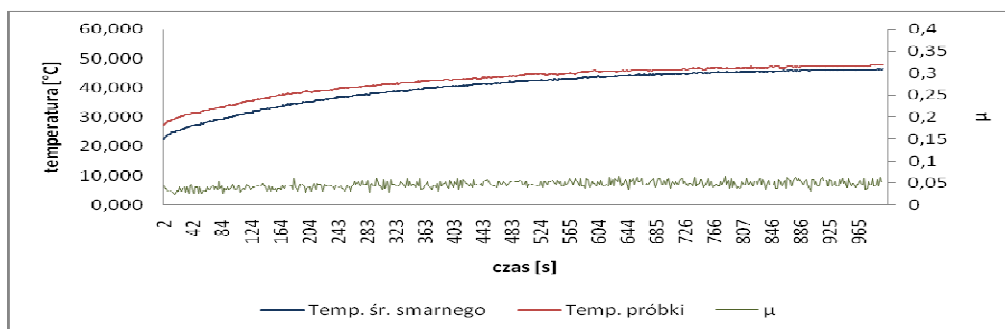
gdzie:  $D_t$  – średnica obręczy (przeciwpróbki) [mm],  
 $l$  – szerokość klocka (próbki) [mm],  
 $b$  – średnia szerokość śladu tarcia [mm].

Średnioważone wartości zużycia badanych próbek smarowanych olejem mineralnym i rzepakowym nominalnym oraz po określonych przebiegach w silniku ZI zestawiono w tab. 1.

Tab. 1. Zestawienie porównawcze średnioważonych zużyć dla oleju mineralnego Lotos 15W-40 i oleju rzepakowego po różnych przebiegach w silniku ZI

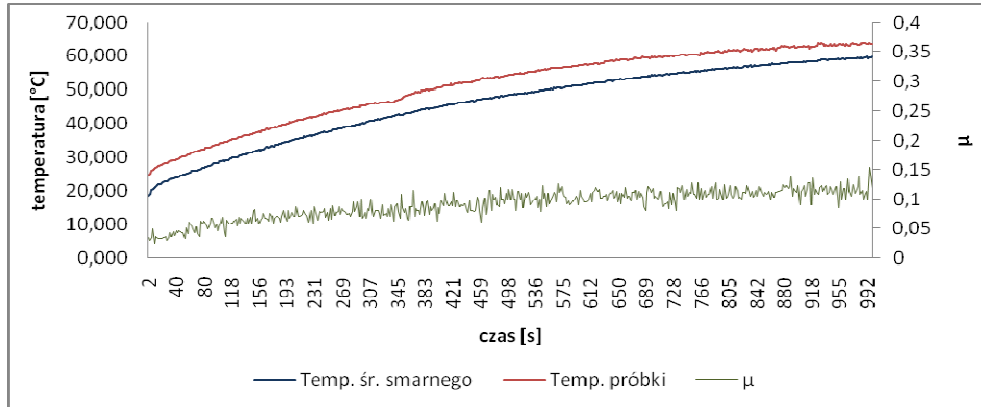
Lp	Materiał próbki	Rodzaj oleju	Nacisk [N]	Ilość cykli	Prędkość tarcia [m/s]	ubytek objętości [mm <sup>3</sup> ]
1	100Cr6/stal45	15W-40 nominalny	200	20000	2.2	0.013
2	100Cr6/stal45	15W-40 po przebiegu 10 000 km	200	20000	2.2	0.010
3	100Cr6/stal45	Rzepakowy nominalny	200	20000	2.2	0.011
4	100Cr6/stal45	Rzepakowy po przebiegu 1500 km	200	20000	2.2	0.012
5	100Cr6/stal45	Rzepakowy po przebiegu 2000 km	200	20000	2.2	0.016
6	100Cr6/stal45	Rzepakowy po przebiegu 3000 km	200	20000	2.2	0.019

Na rys. 2. przedstawiono przykładowe przebiegi temperatury masowej klocka i oleju oraz współczynnika tarcia podczas badania testowego próbek smarowanych nominalnym (surowym) olejem rzepakowym.



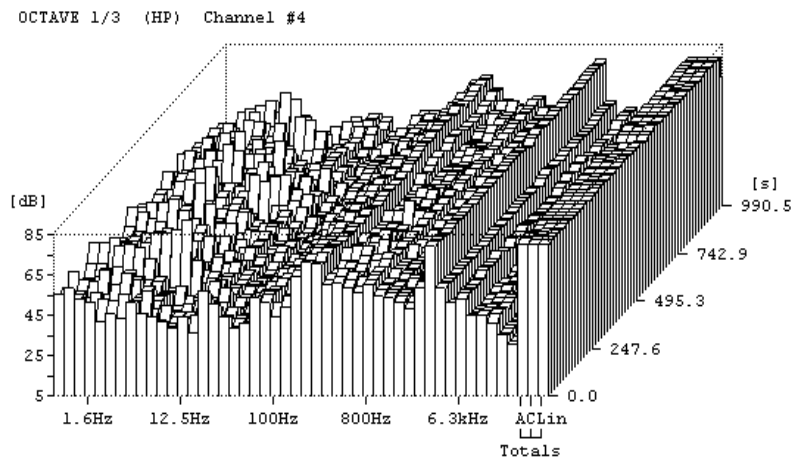
Rys.2. Wykres przebiegu współczynnika tarcia, temperatury masowej próbki i środka smarowego dla oleju rzepakowego nominalnego, prędkość tarcia 2,2 [m/s], nacisk 200 [N],  $\mu_s = 0,05$

Dla porównania na rys. 3 pokazano wyniki otrzymane w trakcie smarowania olejem mineralnym 15W-40 w analogicznych warunkach obciążenia i prędkości.



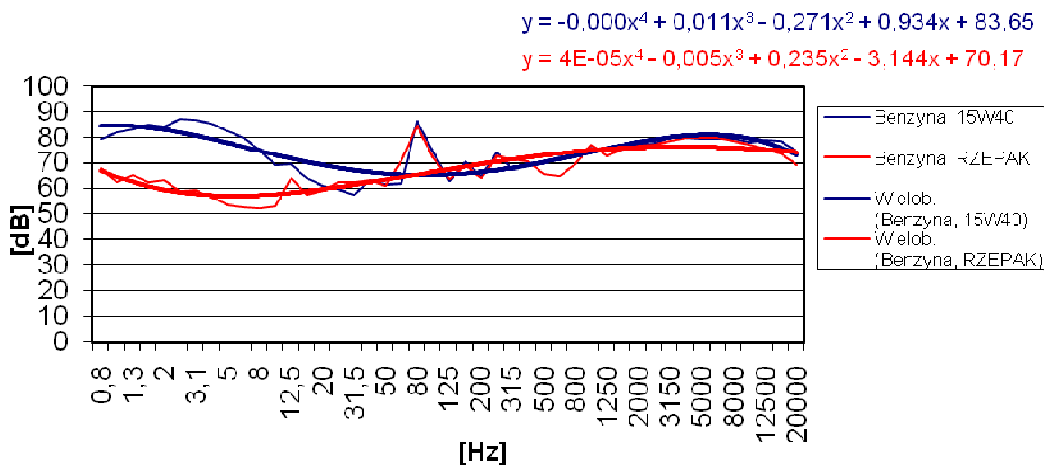
Rys.3. Wykres przebiegu współczynnika tarcia, temperatury próbki i środka smarnego dla oleju mineralnego 15W40 nominalnego, prędkość tarcia 2,2 [m/s], nacisk 200 [N],  $\mu_s = 0,08$

Rys. 4. przedstawia histogram analizy tercycznej widma hałasu zarejestrowanego podczas badania próbki oleju rzepakowego, który przepracował w silniku 3000 km.



Rys.4. Histogram analizy tercycznej poziomu hałasu dla badanej próbki oleju rzepakowego po przebiegu 3000 km.

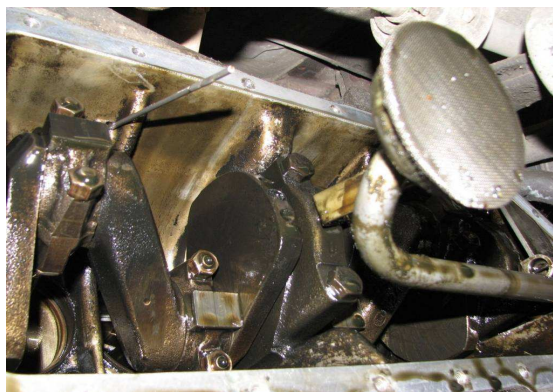
Bardzo interesujące wyniki otrzymywano podczas badań porównawczych widma hałasu pracującego silnika smarowanego olejem rzepakowym i olejem mineralnym 15W-40 po różnych przebiegach. Na rys 5. przedstawiono analizę tercyczną ekwiwalentnego hałasu emitowanego przez silnik pracujący ze stałą prędkością obrotową 3000 obr/min. Silnik smarowano olejem mineralnym i roślinnym (po 2000 km przebiegu).



Rys.5. Analiza widmowa ekwiwalentnego poziomu hałasu przy 3000 obr/min emitowanego przez badany silnik zasilany Pb95. Współczynnik korelacji wynosi 0,77.

Widoczne na rys. 5. niższe poziomy hałasu w pasmach tercjowych do 80 Hz (silnik smarowany olejem rzepakowym) wynikają z znacznie większej jego lepkości spowodowanej procesem polimeryzacji w trakcie pracy w silniku. W wyższych pasmach częstotliwości występuje praktycznie pełna korelacja poziomów hałasu.

Po zakończeniu cyklu badawczego dokonano oceny i weryfikacji łożysk ślizgowych a także sprawdzono czystość elementów silnika pod kątem nagarów. Nie stwierdzono znacznego przyrostu nagarów na elementach silnika eksploatowanego na oleju rzepakowym. Widok ogólny elementów silnika ze zdemontowaną miską olejową, po eksploatacji obserwowanej na oleju rzepakowym pokazano na rys. 6.



Rys.6. Widok ogólny silnika po zdemontowaniu miski olejowej smarowanego olejem rzepakowym przez 10 000 km.

Na rys. 7 pokazano widok ogólny elementów silnika ze zdemontowaną miską olejową, po eksploatacji obserwowanej na oleju mineralnym Lotos 15W-40



Rys.7. Widok ogólny silnika po zdemontowaniu miski olejowej smarowanego olejem mineralnym Lotos 15W-40 przez 10 000 km.

### 3. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania porównawcze eksploatacyjne oleju rzepakowego jako oleju silnikowego pozwoliły na określenie rzeczywistego czasu po jakim następuje degradacja oleju rzepakowego zwiększająca prawdopodobieństwo zmniejszenia trwałości silnika i jego uszkodzenie. Niektóre wyniki badań laboratoryjnych znalazły potwierdzenie w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych. Wraz ze wzrostem czasu eksploatacji oleju rzepakowego w silniku stwierdzono pogarszanie się jego właściwości przeciwzużyciowych. Silnik smarowany olejem rzepakowym emitował mniej toksycznych związków do atmosfery w stosunku do silnika smarowanego olejem mineralnym.

Optymistyczne wyniki badań eksploatacyjnych z silnikiem ZI pozwalają na kontynuację badań w tym zakresie z silnikiem ZS wyposażonym w zintegrowany układ zasilania i smarowania, którego ekwiwalentna emisja tlenku węgla (IV) (CO<sub>2</sub>eqv) do atmosfery będzie równa zero.

#### 4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Fiszer S., Szałajko S.: *Oleje roślinne jako substytuty środków smarowych pochodzenia naftowego*, Nafta - Gaz, 3/2000, 181-187.
- [2] E. Siwiec, A. Urbański, M. Grądkowski.: *Wpływ hydrolizy na właściwości oleju rzepakowego*, Problemy Eksploatacji 3 – 2001, s. 279 - 286
- [3] Sajewicz J., Gniady J., Kozupa M., Drabik J., Pawelec E.: *Wpływ Polimeryzacji termicznej oleju rzepakowego na jego właściwości smarne i stabilność chemiczną*, Przemysł Chemiczny 5/2007
- [4] Siwiec E., Piekoszewski W., Grądkowski M.: *Modelowanie właściwości oraz technologii ekologicznych smarów plastycznych*, „Problemy Eksploatacji 2 - 2001” 2001, nr 2, s. 67 - 79 Instytut Technologii Eksploatacji, Radom
- [5] Janecki J., Drabik J., Pawelec E., Bajer J.: *Nietoksyczne środki smarowe przeznaczone do maszyn i urządzeń przemysłu spożywczego*, Sprawozdanie z realizacji programu celowego. Radom, 2000.
- [6] Siwiec E., Piekoszewski W., Grądkowski M.: *Wpływ obróbki chemicznej na właściwości smarne olejów roślinnych*, Problemy eksploatacji 2/2003 Instytut Technologii Eksploatacji, Radom
- [7] Jurkowski S.: *Porównawcze badania wibroakustyczne silnika w aspekcie ekologicznych środków smarnych*, Praca dyplomowa. Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska 2009. Promotor dr inż. Zajac G.
- [8] Szlachta Z.: *Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2002.
- [9] Cisek J.: *Wpływ oleju rzepakowego i jego mieszanin z olejem napędowym na własności silnika wysokoprężnego*, Praca doktorska. Politechnika Krakowska 1998 r.
- [10] Zabłocki M., Cisek J.: *Zastosowanie oleju rzepakowego do napędu silnika wysokoprężnego*, Sprawozdanie z realizacji projektu badawczego KBN, nr PB 9 03131 91 01. Cz. I i II. Kraków 1994 r.
- [11] Latko W.: *Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami węglowodorowymi i roślinnymi*, WNT, Warszawa 1997 r.
- [12] Latko W., Adamczyk A.: *Wstępne badania silnika ZS zasilanego paliwem z roślin oleistych*, AUTO-Technika Motoryzacyjna 1990, nr 11.
- [13] Latko W., Luft S.: *Wpływ paliwa roślinnego na podstawowe osiągi silników*. AUTO-Technika Motoryzacyjna 1995, nr 2.
- [14] Gronowicz J.: *Ochrona środowiska w transporcie lądowym*, Wydawnictwo ITE Poznań-Radom 2003.