

MAREK LITWIŃSKI, PAWEŁ PIEC\*

## WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNE OLEJU SILNIKOWEGO W ASPEKCIE SPEKTROMETRII W PODCZERWIENI

---

### TRIBOLOGICAL PROPERTIS OF ENGINE OIL IN INFRA RED SPECTROSCOPY ASPECT

---

#### Streszczenie

Praca zawiera wyniki badań tribologicznych odporności na zacieranie olejów silnikowych eksploatowanych w silnikach spalinowych ciągników siodłowych. W artykule zamieszczono charakterystyki widm absorpcyjnych IR dla próbek olejów. Próbkę pobierano systematycznie z silnika spalinowego podczas jego eksploatacji w ciągniku siodłowym.

*Słowa kluczowe: olej silnikowy, test zatarcia, spektrometria IR*

#### Abstract

The paper presents the results of tribological research of oil engine resistance influence on the combustion engine seizing in truck-tractor. The paper contains the absorption spectrum IR characteristic of oil samples. The oil samples took in advance from the combustion engine during his technical operating.

*Keywords: engine oil, test seizing, infra red spectroscopy – IR*

---

\* Dr inż. Marek Litwiński, dr hab. inż. Paweł Piec, prof. PK, Instytut Pojazdów Szynowych, Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska.

## 1. Wstęp

Warunki eksploatacji oleju silnikowego wpływają na intensywność zużycia smarowanych elementów maszyn.

Do warunków eksploatacyjnych OS należy zaliczyć, między innymi, następujące okresy pracy OS:

- proces rozruchu silnika,
- praca na biegu jałowym,
- praca przy różnych obciążeniach,
- praca na biegu luzem,
- zatrzymanie silnika.

Każdy olej smarowy składa się z dwóch podstawowych części:

- oleju bazowego,
- zestawu dodatków uszlachetniających.

W zależności od rodzaju zastosowania oraz warunków pracy oleju wartość dodatków uszlachetniających mieści się w przedziale od kilku do kilkunastu procent. I tak na przykład dla olejów wykorzystywanych w ciężkich warunkach zawartość elementów wzbogacających może wynosić 30%. Pozostała część stanowi olej bazowy, który może być otrzymywany przez różne formy technologiczne:

- proces przetworzenia ropy naftowej, w wyniku czego powstają oleje bazowe mineralne,
- metodą syntezy chemicznej, w wyniku czego powstają oleje bazowe syntetyczne.

W badaniach uwzględniono następujące oleje silnikowe OS:

- OSM mineralny „Shell Rimula Ultra R4L 15W-40” – wymieniany, zgodnie z obowiązującym cyklem utrzymania, po przebiegu ciągnika siodłowego 60000 km,
- OSS syntetyczny „Shell Rimula Ultra R6M 10W-40” – wymieniany, zgodnie z obowiązującym cyklem utrzymania, po przebiegu ciągnika siodłowego 120 000 km.

## 2. Dodatki uszlachetniające OS

Oleje bazowe można wykorzystać bezpośrednio do smarowania elementów maszyn bez użycia jakichkolwiek dodatków. Istnieje jednak potrzeba uszlachetnienia olejów w celu poprawienia własności zarówno fizycznych, jak i chemicznych. Istnieje pewna grupa dodatków, które w połączeniu ze sobą reagują w różny sposób. Niektóre związki wzmacniają substancje uszlachetniające, które wchodzi w skład oleju bazowego. Proces ten nazywamy synergią. Natomiast inne substancje wpływają niekorzystnie lub osłabiają korelujące związki (chodzi tu o zjawisko antagonizmu). Niektóre związki chemicznie działają wielofunkcyjnie i wpływają na kilka różnych własności olejów.

Dodatki uszlachetniające można podzielić na trzy zbiory:

- chroniące powierzchnię smarowania olejem,
- poprawiające właściwości oleju,
- chroniące same oleje przed niekorzystnymi zmianami.

Zestawienie dodatków uszlachetniających oleje silnikowe zamieszczono w tabeli 1.

Zestawienie dodatków uszlachetniających oleje silnikowe [6]

<b>Dodatki uszlachetniające</b>	<b>Mechanizm działania</b>	<b>Rodzaje związku chemicznego</b>
Wiskozatory	Poprawiają lepkość i jej zależności temperaturowe	Polimery wielocząsteczkowe
Depresatory	Obniżają temp. krzepnięcia, adsorbując na zarodkach krystalizacji, opóźniają ich łączenie się w ciała stałe	Prod. alkilowania naftalenu lub fenolu chloroparfinami itp.
Smarnościowe	Tworzą na pow. smarowanych warstwy ochronne tzw. graniczne	Subst. polarne zaw. siarkę, fosfor, chlor, kw. tłuszczowe
Inhibitory utleniania	Spowalniają utlenianie; tworzą warstwy na pow. metali, eliminując ich katalityczne wspomag. utleniania	Sole dwustrów kw. fosforowego, siarczki, dwu siarczki, wielosiarczki
Inhibitory korozji	Tworzą warstwy na pow. metali	Org. zw. Siarki, estry kw. fosfor., olefiny
Detergenty, dyspergatory	Związki powierzchni. czynne – zmywają osady z powierzchni, dyspergują w objętości drobne cząstki stałe, tworzą warstwy na pow. zabezp. przed osadami	Bezpopiołowe – poch. kw. bursztyń., popiołowe – org. zw. wapnia, magnezu
Rezerwa alkaliczna	Neutralizuje kwaśne produkty, głównie w procesie spalania paliwa, częściowo z proc. utleniania oleju	Nośnikami zw. zasadowych są najczęściej dyspergatory popiołowe oraz inhibit. korozji
Antypienne	Zmniejszają napięcie pow. Na granicy olej–powietrze	Polimery silikonowe

Zmiana budowy fizycznej i chemicznej dokonuje się podczas zmieszania dodatków uszlachetniających z olejem bazowym. Jak już wcześniej zostało przedstawione, olej bazowy mineralny to mieszanina węglowodorów. W przypadku doprowadzenia do tej substancji cząstek dodatku powstają asocjaty, czyli dwie do trzech cząstek połączonych ze sobą. Kolejnym efektem wprowadzenia dodatku do oleju bazowego jest tworzenie się z asocjaty micel, czyli tak zwanych skupisk. Powstanie micel oznacza, że mamy do czynienia z roztworem koloidalnym.

### 3. Badania tribologiczne odporności OS na zacieranie

Ocenę właściwości tribologicznych środków smarnych bada się sposobami laboratoryjnymi bądź podczas badań eksploatacyjnych w rzeczywistych warunkach pracy maszyny.

Zaletą badań laboratoryjnych jest niska cena, krótki czas. Wadą natomiast jest częsta niezgodność stosowanego modelu z rzeczywistymi warunkami pracy. Modelowe badania mogą odtworzyć, co najwyżej kilka parametrów procesów.

Badania eksploatacyjne charakteryzują się natomiast zupełną zgodnością warunków badań z warunkami eksploatacji. Do wad należą wysokie koszty badań oraz długi czas oczekiwania na wyniki.

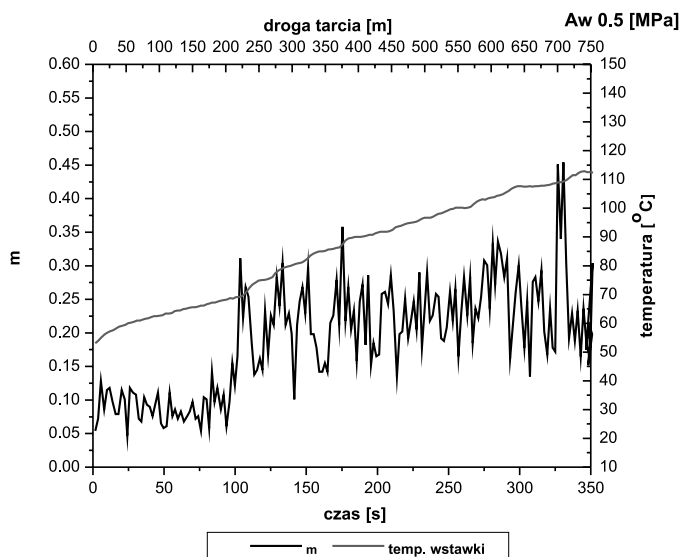
Podczas badań tribologicznych odporności na zacieranie zapewniono „ograniczone” smarowanie „pary tarciowej” czop-panewka. Na powierzchnię tarcia czopa badanej „pary tarciowej” nanoszono „jednorazowo odmierzoną objętość OS”.

Elementami testowymi w urządzeniu T-05 są: obracająca się przeciwpróbka w postaci rolki i nieruchoma próbka w kształcie klocka, która pracuje w „styku rozłożonym”.

Badania stanowiskowe procesu zacierania się „obracającej się przeciwpróbki w postaci rolki i nieruchomej próbki w kształcie klocka” pozwalają na określenie charakterystyk ich trwałości. Jest rzeczą oczywistą, że parametry określające warunki pracy takie jak: prędkość względna poślizgu, nacisk, temperatura elementów, w przypadku badań muszą swoimi wartościami odbiegać od rzeczywistości, między innymi, dlatego że w doświadczeniach, do zatarcia elementów musi się (powinno) doprowadzić w ciągu najwyżej kilkunastu minut. Przyjęto koncepcję wyznaczenia tzw. charakterystyk trwałości badanych próbek – przy nanoszeniu ustalonej objętości „testowanego oleju” na ich trące powierzchnie. Odczytywano czas trwania próby do momentu nagłego wzrostu mierzonej siły tarcia.

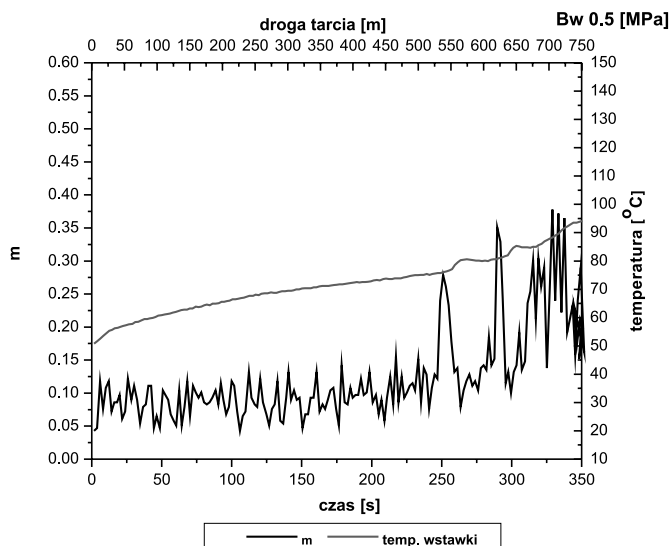
Wyniki badań tribologicznych na zacieranie próbek oleju pobranych podczas wymiany tego oleju po obowiązującym okresie przebiegu zamieszczono na rysunkach:

- rys. 1, OSM mineralny „Shell Rimula Ultra R4L 15W-40” – próbka Aw (po przebiegu ciągnika siodłowego 60000 km),
- rys. 2, OSS syntetyczny „Shell Rimula Ultra R6M 10W-40” – próbka Bw, (po przebiegu ciągnika siodłowego 120 000 km).



Rys. 1. Wykres zacierania na testerze T-05; próbka oleju Aw6, nacisk 0,5 [MPa], prędkość tarcia 2,2 [m/s], zatarcie po około 100 s

Fig. 1. Seizing diagram on the Tester T-05: oil sample Aw6, pressure 0,5 [MPa], speed 2,2 [m/s], seizing after approximately 100 s



Rys. 2. Wykres zacierania na testerze T-05; próbka oleju Bw12, nacisk 0,5 [MPa], prędkość tarcia 2,2 [m/s], zatarcie po około 250 s

Fig. 2. Seizing diagram on the Tester T-05: oil sample Bw12, pressure 0,5 [MPa], speed 2,2 [m/s], seizing after approximately 250 s

Badania tribologiczne procesu zacierania „obracającej się przeciwpróbki w postaci rolki i nieruchomej próbki w kształcie klocka o styku rozłożonym” wykazały, że:

- proces zacierania dla OSM rozpoczyna się po około 100 sekundach trwania próby,
- proces zacierania dla OSS rozpoczyna się po około 250 sekundach trwania próby.

Olej silnikowy syntetyczny OSS „Shell Rimula Ultra R6M 10W-40” wykazuje, w porównaniu z olejem silnikowym mineralnym OSM „Shell Rimula Ultra R4L 15W-40”, około 2,5 razy większą odporność na zacieranie.

#### 4. Spektroskopia w podczerwieni

**Spektroskopia w podczerwieni** (IR – *infra red spectroscopy*) jest metodą analityczną wykorzystującą absorpcję lub emisję promieniowania ze środkowego zakresu podczerwieni (o długości fali 2,5–50  $\mu\text{m}$ ), związaną z wzbudzeniami drgań cząsteczek wchodzących w skład próbki. Wszystkie cząsteczki wykazują pewne drgania charakterystyczne (tzw. drgania normalne), które można przypisać do określonych wiązań lub grup funkcyjnych. Spektroskopia IR jest wykorzystywana zarówno do identyfikacji substancji (zwłaszcza związków organicznych), jak i do oznaczania ich zawartości.

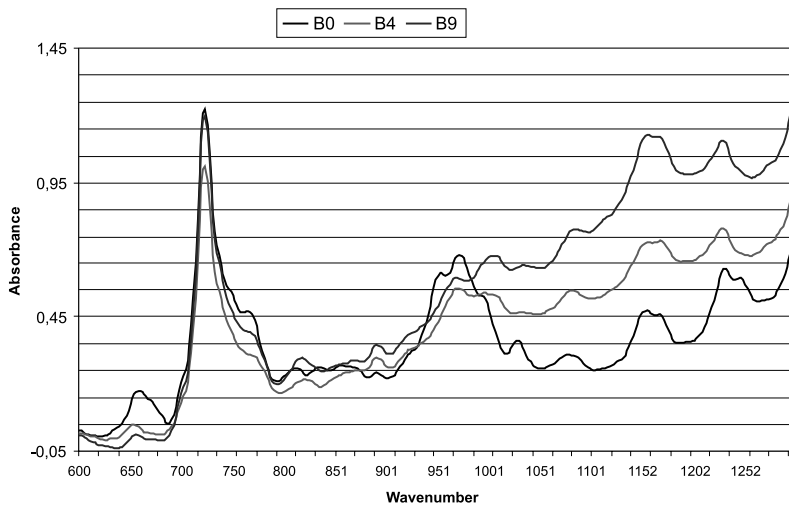
Spektrometria absorbcyjna w podczerwieni, inaczej *spektrometria w podczerwieni*, bada widma oscylacyjne i rotacyjne w cząsteczkach (absorpcja promieniowania w zakresie 4000–700  $\text{cm}^{-1}$ ). Jest niezastąpioną metodą identyfikacji grup funkcyjnych i innych elementów struktury związku, dla których charakterystyczne dla nich ugrupowania atomów zwykle absorbują promieniowanie podczerwone w stosunkowo niskim obszarze częstości, niezależnie od budowy reszty molekuly.

Na rysunkach 3 i 4 zamieszczono kolejno wyniki badań widma IR OS mineralnego i syntetycznego.



Rys. 3. Widmo IR OSM „Shell Rimula Ultra R4L 15W-40” po przebiegu pojazdu: A0 – 0 km, A2 – 20 000 km, A4 – 40 000 km, A6 – 60 000 km [4]

Fig. 3. The spectrum of the OSM „Shell Rimula Ultra R4L 15W-40” after vehicle mileage: A0 – 0 km, A2 – 20 000 km, A4 – 40 000 km, A6 – 60 000 km



Rys. 4. Widmo IR OSS „Shell Rimula Ultra R5 10W-40” po przebiegu pojazdu: B0 – 0 km, B4 – 40 000 km, B9 – 90 000 km

Fig. 4. The spectrum of the OSS „Shell Rimula Ultra R5 10W-40” after vehicle mileage: B0 – 0 km, B4 – 40 000 km, B9 – 90 000 km

Z analizy wykresów widm IR zamieszczonych na rysunkach 3 i 4, w zakresie zmian wartości absorpcji, wynika, że charakterystyczne pasma absorpcji w granicach: 900–1250  $\text{cm}^{-1}$ , obejmujące strefę dodatków uszlachetniających dodawanych do olejów, nadają się w dużym stopniu do identyfikacji „zużycia OS”.

Badane podczas eksploatacji silnika spalinowego próbki oleju silnikowego mineralnego i syntetycznego wykazują ten sam charakter przebiegu widma IR.

## 5. Analiza wyników badań

Wyniki badań odporności badanych próbek na zatarcie, z wykorzystaniem wyżej wymienionych próbek OS, odnoszą się do analizy zmian wartości współczynnika tarcia oraz trwałości pary cieiernej ze względu na jej zatarcie.

Badania oleju metodą spektrometrii w podczerwieni IR wykazały, że na podstawie zmian poziomu absorpcji, dla wydzielonych pasm liczby falowej, istnieją podstawy do wykorzystania tych wyników w ramach badań diagnostycznych zużycia oleju silnikowego.

Analiza porównawcza wykresów widm IR olejów silnikowych podczas eksploatacji pojazdu, w aspekcie zmian absorpcji w zakresie liczby falowej dodatków uszlachetniających te oleje, stanowi podstawę do stwierdzenia, że metoda IR może być wdrożona do oceny intensywności zużycia oleju silnikowego w ramach wykonywanych badań diagnostycznych silnika spalinowego w ciągniku siodłowym.

## Literatura

- [1] Litwiński M., *Badania wybranych właściwości olejów silnikowych w warunkach eksploatacji*, praca doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków 2011.
- [2] Piec P., Litwiński M., Zajac G., *Badania starzenia oleju silnikowego*, TRIBOLOGIA, 3/2007, 97-103.
- [3] Pinta M., *Absorpcyjna spektrometria atomowa. Zastosowanie w analizie chemicznej*, PWN, Warszawa 1977.
- [4] PN-C-96050; Polska norma: Przetwory Naftowe – Oleje, opracowane, kwiecień 1999.
- [5] PN-77/Z-04108.01 Badania zawartości olejów. Oznaczanie olejów (mgła) na stanowiskach pracy metodą spektrofotometrii absorpcyjnej w podczerwieni.
- [6] Podniało A., *Paliwa, oleje i smary w ekologicznej eksploatacji*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2003.