

Janusz JAKÓBIEC¹
Mariusz WĄDRZYK²

WPŁYW OLEJU SMARUJĄCEGO I BIOPALIWA NA STAN TECHNICZNY SILNIKA O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM

W referacie zamieszczono informacje dotyczące postępu w zakresie technologii produkcji olejów silnikowych i ich roli w pracy tłokowego silnika spalinowego. Część badawcza obejmuje monitorowanie zmian właściwości fizykochemicznych oleju silnikowego SL/CF SAE 5W/30 EURO IV w okresie eksploatacji silników o ZS zasilanych olejem napędowym Ekodiesel Ultra i biopaliwem B10 i oceny ich stanu technicznego.

EFFECT OF LUBRICATING OIL AND BIOFUEL ON TECHNICAL STATE OF COMPRESSION-IGNITION ENGINES

In this paper there are presented information about development trend of lubricating oil production technology and their role in combustion engine operation. Part of research include also monitoring of physical chemistry properties of engine oil SL/CF SAE 5W/30 EURO IV in the operation period. Engines was fed with diesel oil Ekodiesel Ultra and biofuel B10.

1. WSTĘP

Bezawaryjna praca współczesnych silników spalinowych zasilanych biopaliwem wymaga dobrego smarowania, w tym współdziałania (kompatybilności) pakietów dodatków uszlachetniających te produkty [1]. Olej silnikowy jako element konstrukcyjny w coraz większym stopniu wpływa zarówno na osiągi silnika, jego właściwości użytkowe, niezawodność, trwałość i wielkość emisji toksycznych składników spalin [2]. Jego skład staje się coraz bardziej skomplikowany, a zatem wymaga wnikliwych badań zarówno laboratoryjnych, stanowiskowych (silnikowych) i eksploatacyjnych z uwzględnieniem rodzaju paliwa [3].

Postęp w zakresie technologii produkcji olejów silnikowych, jaki nastąpił w ostatnim dziesięcioleciu w dużej mierze związany jest z działaniami mającymi na celu zmniejszenie uciążliwości dla środowiska, oraz zwiększenie ich trwałości- czasookresu wymiany oleju. Ponadto od kilkunastu lat widoczny jest trend rozwoju tzw. olejów smarowych

¹Akademia Górniczo-Hutnicza Kraków, Wydział Energetyki i Paliw, 30-059 Kraków, Al. A.Mickiewicza 30.
Tel. 502-135-911, jakobie@agh.edu.pl

²Akademia Górniczo-Hutnicza Kraków, Wydział Energetyki i Paliw, 30-059 Kraków, Al. A.Mickiewicza 30.
Tel. 692-278-362, wadrzyk@agh.edu.pl

energooszczędnych [4]. Nowoczesne oleje silnikowe klasy SAE 5W-30 czy też SAE OW-30 są produkowane w oparciu o bardzo wytrzymałą syntetyczną bazę olejową uszlachetnioną odpowiednim pakietem dodatków uszlachetniających w tym przeciwzużyciowych, co sprawia, że oprócz małych oporów, wynikających z niskiej lepkości, zachowują znakomitą zdolność ochrony silnika przed zużyciem i przyczyniają się do sprostania coraz ostrzejszych norm emisji spalin. Ponadto podmiotowe oleje znacznie ułatwiają rozruch silnika, nawet w bardzo niskich temperaturach otoczenia. Oczekiwania użytkownika dotyczą przede wszystkim: żywotności silnika, bezawaryjności pracy i wydłużonego przebiegu eksploatacyjnego.

2. MONITOROWANIE WŁAŚCIWOŚCI UŻYTKOWYCH OLEJU SMAROWEGO W EKSPLOATACJI SILNIKA ZASILANEGO BIOPALIWEM [5]

Ze względu na skład grupowy oleju silnikowego, który jest mieszaniną związków o różnych właściwościach fizycznych i chemicznych oraz warunków jego użytkowania, istnieje szerokie spektrum związków mogących się tworzyć w czasie eksploatacji oleju i zmniejszyć jego przydatność do dalszego spełnienia funkcji. Wydzielające się w czasie pracy silnika ciepło, kontakt z paliwem i produktami jego spalania, przy powszechnej obecności tlenu z powietrza, powodują degradację podstawowego składnika olejów silnikowych- węglowodorów [6]. Towarzyszące temu inne przemiany chemiczne powodują obniżenie zawartości dodatków uszlachetniających wprowadzonych do oleju silnikowego dla nadania mu wymaganych cech jakościowych. Zatem w czasie eksploatacji obserwuje się zarówno zmiany charakteru chemicznego oleju jak i tworzące zmiany jego jakości. Stopniowe zmiany składu oleju smarowego są zjawiskiem normalnym, a dopiero ich skumulowanie i zaobserwowanie gwałtownych różnic w wartościach jednego lub kilku parametrów jakościowych jest podstawą do podejmowania zdecydowanych działań zmierzających do przywrócenia olejowi silnikowemu jego funkcji – jest to zwykle wymiana oleju [6]. Olej smarowy w tłokowym silniku spalinowym pełniąc swoje funkcje ulega jednocześnie procesom degradacji, które pogarszają jego właściwości użytkowe [6-7]. Istotną rolę odgrywają takie czynniki jak:

- rodzaj paliwa silnikowego;
- konstrukcja silnika;
- warunki eksploatacji silnika w tym:
 - krótkie odcinki jazdy samochodem (wielokrotne rozgrzewanie i chłodzenie silnika);
 - jazda w korkach ulicznych (warunki jazdy określane jako „stop and go”)
 - wydłużona praca silnika na biegu jałowym (jazda i postoje samochodu w korkach ulicznych);
 - częste uruchamianie silnika w niskich temperaturach;
 - eksploatacja samochodu w terenach górzystych (naprzemienne, gwałtowne przegrzewanie i chłodzenie silnika);
 - kondensacja wody na wewnętrznych elementach silnika, a następnie jej skraplanie i tworzenie emulsji z olejem smarującym.

Przedmiotem badań eksploatacyjnych był olej silnikowy SL/CF SAE 5W/30. Podstawowe właściwości fizykochemiczne przedmiotowego oleju wytypowanego do smarowania silnika DURATORQ TDCi zamieszczono w tabl.1.

Tab. 1. Właściwości fizykochemiczne oleju silnikowego SL/CF SAE 5W/30 EURO IV

Oznaczana cecha; Warunki badania	Jedn.	Wartość typowa	Metoda badania Wg
Lepkość kinematyczna: - w temp. 100 °C	<i>mm²/s</i>	12,52	PN EN ISO 3104
Wskaźnik lepkości	-	170	ASTM D 2270
Lepkość HTHS w 150 °C	<i>mPa/s</i>	2,92	CEC L-36-90
Temperatura płynięcia	°C	- 39	ASTM D 97
Temperatura zapłonu	°C	224	ASTM D 92
Całkowita liczba zasadowa	<i>mg KOH/g</i>	8,66	ASTM D 2896
Odparowalność met. Noacka	<i>% (m/m)</i>	11,4	CEC L-40-A-93
Zawartość pierwiastków z pakietu jakościowego: - wapń - magnez - cynk - fosfor	<i>mg/kg</i>	1582,9 160,1 733,5 727,8	ASTM D 4951

W okresie czterech prób badawczych 4x20 tys.km. monitorowano zmiany właściwości fizykochemiczne oleju silnikowego, których wyniki badań przedstawiono w tabl. 2 [5].

Tab. 2. Monitorowanie właściwości fizykochemicznych oleju silnikowego SL/CF SAE 5W/30 eksploatowanego w okresie eksploatacji

Oznaczana cecha; Warunki badania	Wynik badania po przebiegu eksploatacyjnym w [km]			Metoda badania Wg
	10 000	15000	20000	
Lepkość kinematyczna, mm ² /s - w temp. 100 °C - w temp. 40 °C	10,08 56,76	9,77 54,47	9,55 52,77	PN-EN ISO 3104
Całkowita liczba zasadowa, mg KOH/g	7,34	6,40	5,80	PN-76/C-04163
Liczba kwasowa, mg KOH/g	3,48	4,40	5,23	PN-88/C-04049
Zawartość paliwa, %(m/m): - olej napędowy - FAME	-	-	3,0 1,8	
Stopień oksydacji, Abs (0,1 mm)	0,2656	0,3759	0,4950	ASTM E 2412 A.2
Stopień nitracji Abs (0,1 mm)	0,0953	0,1477	0,1791	ASTM E 2412 A.2
Sulfonowanie, Abs (0,1 mm)	0,1050	0,1510	0,1938	ASTM E 2412 A.2
Zawartość sadzy, % m/m	-	-	0,4	DIN 51452
Zawartość pierwiastków z pakietu jakościowego, ppm :				
- wapń	1802,2	2012,6	1925,0	ASTM D 5185
- magnez	144,1	165,3	144,5	
- cynk	838,0	938,6	862,6	
- fosfor	765,1	759,3	774,0	
Zawartość pierwiastków pochodzących ze zużycia elementów silnika, ppm:				
- ołów	< 0,5	27,4	< 0,5	ASTM D 5185
- żelazo	68,2	140,7	200,8	
- molibden	39,1	58,7	54,3	
- chrom	< 0,5	3,7	< 0,5	
- cyna	< 0,5	11,4	< 0,5	
- krzem	6,9	10,9	10,8	
- glin	4,4	4,9	5,1	
- miedź	16,3	16,7	17,4	
- nikiel	< 0,5	< 0,5	< 0,5	

3. OCENA EFEKTYWNOŚCI PRACY FILTRA OLEJU W KSZTAŁTOWANIU CZASOOKRESU WYMIANY ŚRODKA SMAROWEGO W SILNIKU

Istotną rolę w kształtowaniu żywotności silnika o ZS, zasilanego przedmiotowymi paliwami (ON, B10) i wydłużonego przebiegu eksploatacyjnego oleju smarowego odgrywa praca filtra oleju. W okresie eksploatacji oleju silnikowego w filtrze gromadzą się różnego rodzaju zanieczyszczenia pochodzące z różnych źródeł w następstwie, których dochodzi do przyspieszonego zużycia silnika. Są to zanieczyszczenia organiczne lub nieorganiczne w postaci cząstek pyłu z otoczenia, które przedostają się głównie przez filtr powietrza nawet o wysokiej separacji. Produkty niecałkowitego spalania paliwa i obecności wody oraz utleniania i rozpadu oleju, w tym destrukcji pakietu dodatków uszlachetniających tworzą złożoną, wielofazową płynną mieszaninę, która niekorzystnie wpływa na proces smarowania silnika [5]. Skutecznym sposobem ograniczenia przepływu zanieczyszczeń w układzie smarowania silnika jest wysoka efektywność pracy filtra oleju. W pracy do badania parametru przepustowości filtrów olejowych oraz paliwowych, wykorzystywano wcześniej zaprojektowane i wykorzystywane w Instytucie, uniwersalne stanowisko testowe do badań funkcjonalnej oceny silnikowych filtrów olejowych i paliwowych. Ogólna koncepcja konstrukcji stanowiska została przyjęta z normy SAE J905 (FUEL FILTER TEST METHODS) rys.1.



Rys.1. Widok ogólny stanowiska do badania filtrów paliwowych i olejowych silników spalinowych

W czasie prowadzenia testu najistotniejsze parametry pracy stanowiska badawczego tj. ciśnienie czynnika roboczego przed i za badanym filtrem oraz jego temperatura, które są zapisywane przy wykorzystywaniu rejestratora. Badania polegały na wykonaniu pomiaru wielkości oporów przepływu przez filtr olejowy przy stopniowym zwiększaniu wielkości

natężenia przepływu oleju smarującego silnik nagrzanego do odpowiedniej temperatury $80\pm 5^{\circ}\text{C}$ (w przypadku oleju smarującego).

W pracy ograniczono się do przedstawienia wyników badań obejmujących tylko dwie próby badawcze (z czterech wykonanych) każda po 20 tys. km silnika DURATORQ TDCi zasilanego olejem napędowym Ekodiesel Ultra i biopaliwem B10- tablice 3-4.

Tab.3. Zmiana oporów przepływu przez filtr oleju w samochodzie napędzanym olejem napędowym Ekodiesel Ultra- wymiana I i II

Nat. przep [l/min]	Filtr świeży			Filtr po 20 tys km – I w			Filtr po 20 tys km – II w		
	Cisn. przed filtrem [bar]	Cisn. za filtrem [bar]	Wielk. spadku cisl [bar]	Cisn. przed filtrem [bar]	Cisn. za filtrem [bar]	Wielk. spadku cisl [bar]	Cisn. przed filtrem [bar]	Cisn. za filtrem [bar]	Wielk. spadku cisl [bar]
0,2	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1
0,4	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1
0,6	0,1	0,0	0,1	0,2	0,0	0,2	0,2	0,1	0,1
0,8	0,1	0,0	0,1	0,3	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2
1,0	0,1	0,0	0,1	0,4	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2
1,2	0,1	0,0	0,1	0,5	0,2	0,3	0,4	0,2	0,2
1,4	0,1	0,0	0,1	0,6	0,2	0,4	0,5	0,2	0,3
1,6	0,2	0,1	0,1	0,6	0,2	0,4	0,5	0,2	0,3
1,8	0,2	0,1	0,1	0,6	0,2	0,4	0,6	0,2	0,4
2,0	0,2	0,1	0,1	0,6	0,2	0,4	0,6	0,2	0,4
1,8	0,2	0,1	0,1	0,5	0,2	0,3	0,5	0,2	0,3
1,6	0,2	0,1	0,1	0,4	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2
1,4	0,2	0,1	0,1	0,4	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2
1,2	0,2	0,1	0,1	0,4	0,2	0,2	0,3	0,1	0,2
1,0	0,1	0,0	0,1	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2
0,8	0,1	0,0	0,1	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2
0,6	0,1	0,0	0,1	0,2	0,0	0,2	0,2	0,1	0,1
0,4	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
0,2	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2	0,1	0,1

Tab. 4. Zmiana oporów przepływu przez filtr oleju w samochodzie napędzanym biopaliwem B10- wymiana I II

Nat. przep [l/min]	Filtr świeży			Filtr po 20 tys km – I w			Filtr po 20 tys km – II w		
	Cisn. przed filtrem [bar]	Cisn. za filtrem [bar]	Wielk. spadku cisl [bar]	Cisn. przed filtrem [bar]	Cisn. za filtrem [bar]	Wielk. spadku cisl [bar]	Cisn. przed filtrem [bar]	Cisn. za filtrem [bar]	Wielk. spadku cisl [bar]
0,2	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
0,4	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
0,6	0,1	0,0	0,1	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2
0,8	0,1	0,0	0,1	0,3	0,0	0,3	0,4	0,1	0,3
1,0	0,1	0,0	0,1	0,4	0,1	0,3	0,4	0,1	0,3
1,2	0,1	0,0	0,1	0,5	0,1	0,4	0,5	0,1	0,4
1,4	0,1	0,0	0,1	0,5	0,1	0,4	0,5	0,1	0,4
1,6	0,2	0,1	0,1	0,6	0,1	0,5	0,7	0,2	0,5
1,8	0,2	0,1	0,1	0,7	0,1	0,6	0,8	0,2	0,6
2,0	0,2	0,1	0,1	0,8	0,1	0,7	0,9	0,2	0,7
1,8	0,2	0,1	0,1	0,8	0,2	0,6	0,7	0,1	0,6
1,6	0,2	0,1	0,1	0,7	0,2	0,5	0,6	0,1	0,5
1,4	0,2	0,1	0,1	0,5	0,1	0,4	0,6	0,2	0,4
1,2	0,2	0,1	0,1	0,5	0,1	0,4	0,5	0,2	0,3
1,0	0,1	0,0	0,1	0,4	0,1	0,3	0,5	0,2	0,3
0,8	0,1	0,0	0,1	0,3	0,1	0,2	0,4	0,2	0,2
0,6	0,1	0,0	0,1	0,3	0,1	0,2	0,4	0,2	0,2
0,4	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
0,2	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1

Przeprowadzone badania pozwalają na stwierdzenie:

- maksymalna wielkość spadku ciśnienia w filtrze pochodzącym eksploatacji silnika ON zwiększyła się czterokrotnie w stosunku do filtra nowego i była porównywalna dla każdego z czterech ocenianych filtrów, co pośrednio może wskazywać na niewielkie różnice w zakresie postępującej degradacji oleju silnikowego w okresie przebiegu eksploatacyjnego 20 tys. km;
- w przypadku filtrów pochodzących z eksploatacji silnika zasilanego biopaliwem B10 przeprowadzone pomiary wykazały maksymalny wzrost wielkości spadku ciśnienia w granicy 6-8 razy większy dla filtra nowego;
- porównując wielkości uzyskane w przedmiotowym zakresie dla obu pojazdów (napędzanych ON i B10) nie zaobserwowano znacznych różnic w stopniu ich zanieczyszczenia;

Reasumując omawiane zagadnienie można powiedzieć, że w przypadku zasilania silnika DURATORQ TDCi biopaliwem B10 olej smarujący ulegał intensywniej degradacji, a jej produkty w większym stopniu zatrzymywane są na filtrze oleju, natomiast w

przypadku zasilania silnika olejem napędowym wśród zanieczyszczeń zatrzymywanych na filtrze olejowym znaczący udział ma sadza.

4. ZANIECZYSZCZENIA WYBRANYCH ELEMENTÓW ROBOCZYCH SILNIKA PRODUKTAMI ZUŻYCIA OLEJU SILNIKOWEGO

Stopniowa degradacja oleju silnikowego wiąże się ze zmianą jego właściwości fizykochemicznych, co z kolei rzutuje na wzrost zanieczyszczeń wybranych elementów roboczych silnika produktami jego zużycia oraz pierwiastkami metali pochodzących ze zużycia elementów roboczych silnika. W badaniach oceniano następujące elementy robocze silnika: głowicę, zewnętrzną i wewnętrzną powierzchnie płaszczyzny tłoków, pierścienie tłoków i pokrywę miski olejowej [5]. W referacie ograniczono się do przedstawienia wyników oceny punktowej stopnia unieruchomienia pierścieni tłoka silnika DURATORQ TDCi zasilanego ON i biopaliwem B10 po przebiegu eksploatacyjnym 80 tys. km, tabl 5-6.

Tab. 5. Ocena punktowa stopnia unieruchomienia pierścieni tłoków silnika DURATORQ TDCi zasilanego olejem napędowym Ekodiesel po przebiegu eksploatacyjnym 80 tys.km

Silnik	Nr kolejny tłoka	Nazwa pierścieni Tłokowych	Swobodny	Oporny	Zakleszczony na obwodzie /stopie	Zapieczony na obwodzie /stopie	Ocena [pkt]
FORD MONDEO 2.0 TDCi	1.	- uszczelniający - uszczelniająco-zgar. - zgarniający	Tak	nie	Nie	Nie	10
	2.	- uszczelniający - uszczelniająco-zgar. - zgarniający	Tak	nie	Nie	Nie	10
	3.	- uszczelniający - uszczelniająco-zgar. - zgarniający	Tak	nie	Nie	Nie	10
	4.	- uszczelniający - uszczelniająco-zgar. - zgarniający	Tak	nie	Nie	Nie	10
		Średnia ocen stopnia unieruchomienia pierścieni tłokowych:					

Tab. 6. Ocena punktowa stopnia unieruchomienia pierścieni tłoka silnika DURATORQ TDCi zasilanego biopaliwem B10 po przebiegu eksploatacyjnym 80 tys. km

Silnik	Nr kolejny tłoka	Nazwa pierścieni Tłokowych	Swobodny	Oporny	Zakleszczony na obwodzie /stopie	Zapieczony na obwodzie /stopie	Ocena [pkt]
FORD MONDEO 2,0 TDCi	1.	- uszczelniający - uszczelniająco-zgar. - zgarniający	Tak	nie	Nie	Nie	10
	2.	- uszczelniający - uszczelniająco-zgar. - zgarniający	Tak	nie	Nie	Nie	10
	3.	- uszczelniający - uszczelniająco-zgar - zgarniający	Tak	nie	Nie	Nie	10
	4.	- uszczelniający - uszczelniająco-zgar - zgarniający	Tak	nie	nie	Nie	10
		Średnia ocen stopnia unieruchomienia pierścieni tłokowych:					

Ocenę wizualną stanu technicznego unieruchomienia pierścieni tłoków silnika po przebiegu eksploatacyjnym 80 tys. km reprezentują rys. 2-3.



Rys. 2. Ocena wizualna stanu technicznego unieruchomienia pierścieni tłoka silnika DURATORQ TDCi ZASILANEGO OLEJEM NAPĘDOWYM Ekodiesel Ultra



Rys.3. Ocena wizualna stanu technicznego unieruchomienia pierścieni tłoka silnika DURATORQ TDCi zasilanego biopaliwem B10 po przebiegu eksploatacyjnym 80 tys. km

5. OCENA STANU TECHNICZNEGO SILNIKÓW O ZS DURATORQ TDCI ZASILANYCH PRZEDMIOTOWYMI PALIWAMI (ON, B10) PO PRZEBIEGU EKSPLOATACYJNYM 80 TYS. KM

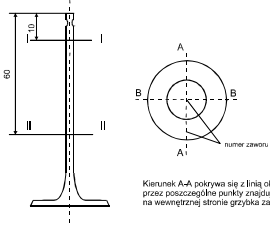
Ocenę stanu technicznego silników o ZS DURATORQ TDCi zasilanych przedmiotowymi paliwami (ON, B10) po przebiegu eksploatacyjnym 80 tys. km rozpatrywano w układzie: silnik-paliwo-olej smarujący. Stopień zużycia elementów roboczych silnika określono na podstawie pomiarów mikrometrycznych przed i po przebiegu eksploatacyjnym 80 tys. km. Pakiet elementów roboczych silnika o ZS objętych pomiarami mikrometrycznymi przedstawiono na rys.4.



Rys.4. Pakiet elementów roboczych silnika o ZS objętych pomiarami mikrometrycznymi przed i po przebiegu eksploatacyjnym 80 tys. km

Pomiary geometryczne podstawowych elementów roboczych silników smarowanych przedmiotowym olejem smarowym przeprowadzono przy użyciu mikrometrów elektronicznych DIGIMATIC MDC- M serii 193 japońskiej firmy Mitutoyo zapewniających dokładny i szybki odczyt wyświetlanych wyników pomiarów z rozdzielczością 1 μm . Pomiary wagowe (masowe) wykonano przy użyciu wagi analitycznej z dokładnością 0,0001 g. Wyniki pomiarów rejestrowano w kartach pomiarów mikrometrycznych. W pracy ograniczono się do zamieszczenia wyników pomiarów wybranych elementów składowych silników uczestniczących w badaniach eksploatacyjnych. Wyniki pomiarów przedstawiono w kartach pomiarów mikrometrycznych tabl. 7-12.

Tab.7. Pomiar mikrometryczny średnicy trzonka zaworu wydechowego silnika o ZS zasilanego olejem napędowym Ekodiesel Ultra po przebiegu eksploatacyjnym 80 tys. km

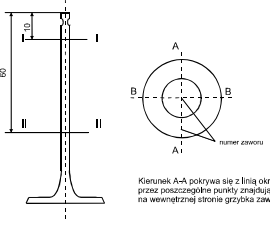


Kierunek A-A pokrywa się z linią określoną przez poszczególne punkty znajdujące się na wewnętrznej stronie grzybka zaworu

dokładność pomiaru 0,001 [mm]

Płaszczyzna pomiaru	Pomiar	Zawór 1		Zawór 2		Zawór 3		Zawór 4		Zawór 5		Zawór 6		Zawór 7		Zawór 8	
		A-A	B-B	A-A	B-B	A-A	B-B	A-A	B-B	A-A	B-B	A-A	B-B	A-A	B-B	A-A	B-B
I – I	Przed badaniem	5,963	5,963	5,964	5,964	5,964	5,964	5,964	5,964	5,963	5,963	5,964	5,964	5,963	5,963	5,963	5,963
	Po badaniu	5,962	5,962	5,962	5,962	5,963	5,962	5,962	5,962	5,962	5,962	5,963	5,963	5,962	5,961	5,962	5,961
	Zużycie [mm]	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002
II – II	Przed badaniem	5,963	5,964	5,964	5,964	5,964	5,963	5,964	5,963	5,963	5,964	5,964	5,963	5,962	5,964	5,963	
	Po badaniu	5,961	5,962	5,962	5,963	5,962	5,961	5,962	5,962	5,962	5,963	5,962	5,961	5,961	5,962	5,962	
	Zużycie [mm]	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001	

Tab.8. Pomiar mikrometryczny średnicy trzonka zaworu wydechowego silnika o ZS zasilanego biopaliwem B10 po przebiegu eksploatacyjnym 80 tys. km



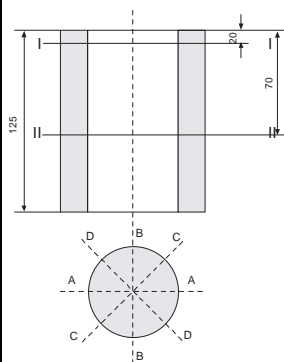
Kierunek A-A pokrywa się z linią określoną przez poszczególne punkty znajdujące się na wewnętrznej stronie grzybka zaworu

dokładność pomiaru 0,001 [mm]

Płaszczyzna pomiaru	Pomiar	Zawór 1		Zawór 2		Zawór 3		Zawór 4		Zawór 5		Zawór 6		Zawór 7		Zawór 8	
		A-A	B-B	A-A	B-B	A-A	B-B	A-A	B-B	A-A	B-B	A-A	B-B	A-A	B-B	A-A	B-B
I – I	Przed badaniem	5,964	5,963	5,964	5,964	5,965	5,964	5,964	5,964	5,964	5,964	5,964	5,964	5,964	5,964	5,965	5,965
	Po badaniu	5,962	5,962	5,963	5,962	5,963	5,963	5,963	5,962	5,963	5,963	5,963	5,962	5,962	5,962	5,964	5,963
	Zużycie [mm]	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002
II – II	Przed badaniem	5,963	5,963	5,964	5,964	5,965	5,965	5,964	5,964	5,964	5,964	5,964	5,964	5,964	5,964	5,965	5,965
	Po badaniu	5,961	5,961	5,963	5,963	5,963	5,963	5,962	5,962	5,963	5,963	5,963	5,962	5,963	5,962	5,964	5,963
	Zużycie [mm]	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002

Tab.9. Pomiar mikrometryczny geometrii średnicy wewnętrznej cylindra silnika o ZS zasilanego olejem napędowym Ekodiesel Ultra

Numer cylindra	Płaszczyzna pomiaru	Pomiar	Kierunek pomiaru				Zużycie średnie
			A – A	B – B	C – C	D – D	
1	I – I	Po badaniu	85,02	85,02	85,02	85,00	0,042
		Przed badaniem	84,99	85,00	84,99	84,99	
		Zużycie [mm]	0,03	0,02	0,03	0,01	
	II – II	Po badaniu	85,02	85,02	85,02	85,03	0,030
		Przed badaniem	84,99	85,00	84,99	84,99	
		Zużycie [mm]	0,03	0,02	0,03	0,04	
2	I – I	Po badaniu	85,02	85,03	85,01	85,00	0,020
		Przed badaniem	85,00	84,99	85,00	84,99	
		Zużycie [mm]	0,02	0,04	0,01	0,01	
	II – II	Po badaniu	85,03	85,03	85,01	85,00	0,030
		Przed badaniem	85,00	85,00	85,00	84,99	
		Zużycie [mm]	0,03	0,03	0,03	0,03	
3	I – I	Po badaniu	85,02	85,04	85,03	85,02	0,025
		Przed badaniem	85,00	85,01	85,00	85,00	
		Zużycie [mm]	0,02	0,03	0,03	0,02	
	II – II	Po badaniu	85,03	85,02	85,02	85,02	0,030
		Przed badaniem	85,00	84,99	84,99	84,99	
		Zużycie [mm]	0,03	0,03	0,03	0,03	
4	I – I	Po badaniu	85,02	85,03	85,01	85,02	0,022
		Przed badaniem	84,99	85,01	84,99	85,00	
		Zużycie [mm]	0,03	0,02	0,02	0,02	
	II – II	Po badaniu	85,02	85,03	85,03	85,02	0,027
		Przed badaniem	84,99	85,00	85,00	85,00	
		Zużycie [mm]	0,03	0,03	0,03	0,02	



dokładność pomiaru 0,01 [mm]

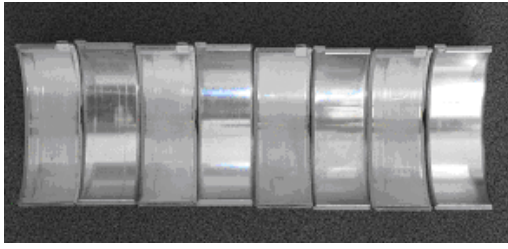

Tab.10. Pomiar mikrometryczny geometrii średnicy wewnętrznej cylindra silnika o ZS zasilanego biopaliwem B10

Numer cylindra	Płaszczyzna pomiaru	Pomiar	Kierunek pomiaru				Zużycie średnie
			A – A	B – B	C – C	D – D	
1	I – I	Po badaniu	84,02	84,04	84,02	84,03	
		Przed badaniem	84,00	84,00	83,99	84,00	
		Zużycie [mm]	0,02	0,04	0,03	0,03	0,030
	II – II	Po badaniu	84,02	84,02	84,02	84,02	
		Przed badaniem	83,99	83,99	83,99	83,99	
		Zużycie [mm]	0,03	0,03	0,03	0,03	0,030
2	I – I	Po badaniu	84,02	84,03	84,02	84,02	
		Przed badaniem	83,99	84,00	83,99	84,00	
		Zużycie [mm]	0,03	0,03	0,03	0,02	0,027
	II – II	Po badaniu	84,03	84,03	84,02	84,03	
		Przed badaniem	84,00	84,00	84,00	84,00	
		Zużycie [mm]	0,03	0,03	0,02	0,03	0,027
3	I – I	Po badaniu	84,02	84,03	84,02	84,02	
		Przed badaniem	83,99	84,00	84,00	84,00	
		Zużycie [mm]	0,03	0,03	0,02	0,02	0,025
	II – II	Po badaniu	84,03	84,03	84,02	84,02	
		Przed badaniem	84,00	83,99	84,00	83,99	
		Zużycie [mm]	0,03	0,04	0,02	0,03	0,030
4	I – I	Po badaniu	84,02	84,03	84,02	84,03	
		Przed badaniem	83,99	84,00	83,99	84,00	
		Zużycie [mm]	0,03	0,03	0,03	0,03	0,030
	II – II	Po badaniu	84,02	84,03	84,02	84,03	
		Przed badaniem	84,00	84,00	84,00	84,00	
		Zużycie [mm]	0,02	0,03	0,02	0,03	0,025

dokładność pomiaru 0,01 [mm]



Tab.11. Pomiar masy łożysk ślizgowych korbwodowych wału korbowego silnika o ZS zasilanego olejem napędowym Ekodiesel Ultra po przebiegu eksploatacyjnym 80 tys. km

Zasilanie silnika paliwem Olej napędowy Ekodiesel Ultra	Smarowanie silnika olejem smarowym	Pomiar	Panewka korbwodowa czopa I	Panewka korbwodowa czopa II	Panewka korbwodowa czopa III	Panewka korbwodowa czopa IV	
	SL/CF SAE 5W/30	Przed przebiegiem eksploatacyjnym		43,1830	43,2830	43,2000	43,1911
		Po przebiegu eksploatacyjnym 80 tys. km		42,9529	43,2252	43,1504	43,1227
Zużycie [g]			0,2301	0,0578	0,0496	0,0684	

	
<p><i>Ogólny widok łożysk ślizgowych korbwych wału korbowego silnika o ZS a) przed i b) po przebiegu eksploatacyjnym 80 tys. km</i></p>	

Tab.12. Pomiar masy łożysk ślizgowych korbwodowych wału korbowego silnika o ZS zasilanego biopaliwem B10- po przebiegu eksploatacyjnym 80 tys. km

Zasilanie silnika paliwem Biopaliwem B10	Smarowanie silnika olejem smarowym	Pomiar	Panewka korbwodowa czopa I	Panewka korbwodowa czopa II	Panewka korbwodowa czopa III	Panewka korbwodowa czopa IV
	SL/CF	Przed przebiegiem eksploatacyjnym	43,6240	43,5371	43,5470	43,6073
	SAE 5W/30	Po przebiegu eksploatacyjnym 80 tys. km	43,4916	43,4382	43,4573	43,5275
		Zużycie [g]	0,1324	0,0989	0,0897	0,0798

Ogólny widok łożysk ślizgowych korbwych wału korbowego silnika o ZS a) przed i b) po przebiegu eksploatacyjnym 80 tys. km

6. PODSUMOWANIE

- 1) Ocenę stanu silników o ZS DURATORQ TDCi zasilanych przedmiotowymi paliwami (ON, B10) po przebiegu eksploatacyjnym 80 tys. km rozpatrywano w układzie: silnik-paliwo-olej smarujący
- 2) Istotną rolę w kształtowaniu stanu technicznego silnika o ZS oprócz jakości oleju smarującego i paliwa odgrywa efektywność pracy filtra oleju i paliwa
- 3) Uzyskane wyniki pomiarów mikrometrycznych upoważniają do stwierdzenia:
 - zasilanie silnika o ZS biopaliwa B10 w okresie eksploatacji 80 tys. km nie wpłynęło generalnie na przyśpieszenie zużycia podstawowych elementów roboczych silnika;
 - nie stwierdzono istotnych różnic w ocenie stanu technicznego silnika zasilanego biopaliwem B10 w stosunku do oleju napędowego Ekodiesel Ultra;
 - intensywność zużycia tulei cylindrowych i pierścieni tłokowych silnika była porównywalna dla obydwu paliw (ON, B10);
 - niewielki wzrost zużycia łożysk ślizgowych wału korbowego silnika zasilanego biopaliwem B10 wynika ze zwiększonej degradacji oleju smarowego SL/CF SAE 5W/30 w układzie smarowania.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Jakóbiec J., Wysopal G.: „Dodatki uszlachetniające do olejów silnikowych”; Nowoczesny Warsztat Nr.6/2005
- [2] Jakóbiec J.: „Olej silnikowy jako element konstrukcyjny silnika”; Nowoczesny Warsztat Nr.4/2005
- [3] Jakóbiec J., Mazanek A.: „Monitorowanie właściwości użytkowych oleju silnikowego w eksploatacji”; Biuletyn Instytutu Transportu Samochodowego Nr.3/2008
- [4] Jakóbiec J., Wądrzyk M.: „Trendy rozwoju olejów silnikowych w pojazdach mechanicznych”, I Seminarium Ogólnopolskie silniki o zapłonie samoczynnym- nowe wyzwania”, Zwierzyniec 2/2010, (materiały w druku)
- [5] Jakóbiec J., Urzędowska W., Mazanek A., Lubowicz J.: „Badania eksploatacyjne biopaliwa B10 zawierającego 10% (V/V) FAME w nowoczesnych silnikach o ZS z bezpośrednim wtryskiem paliwa w układzie Common Rail, uwzględniając aspekt współdziałania z olejem silnikowym”; Dokumentacja INiG: 0684/TE3/2008
- [6] Jakóbiec J.: „Zmiany właściwości użytkowych olejów silnikowych w warunkach eksploatacji”; Paliwa i smary w Eksploatacji, Nr.3/2001
- [7] Mazur-Badura M., Krasodamski M.: „Badania identyfikacyjne produktów interakcji dodatków uszlachetniających benzyny i syntetyczne oleje silnikowe”; Biuletyn ITN Nr 1/2006