

Wiesława Urzędowska, Zbigniew Stępień
Instytut Nafty i Gazu, Kraków

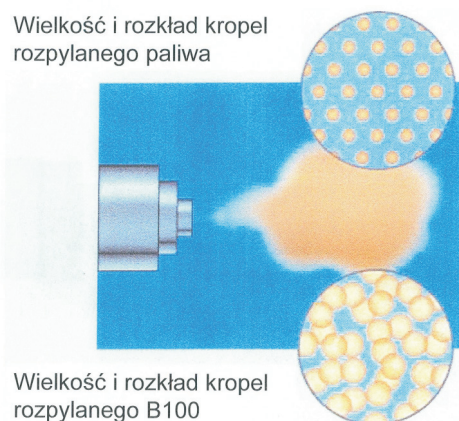
Olej silnikowy a biopaliwa – współdziałanie w eksploatacji

Wstęp

Olej smarujący wywiera coraz większy wpływ zarówno na osiągi silnika, jego właściwości użytkowe, niezawodność, trwałość i wielkość emisji składników szkodliwych do atmosfery; stąd jego skład jest coraz bardziej złożony, a zarazem olej ten musi być wielokierunkowo optymalizowany pod względem cech konstrukcyjnych, warunków eksploatacji konkretnego silnika i rodzaju stosowanego paliwa. Wprowadzane co kilka lat coraz ostrzejsze przepisy w zakresie ograniczania emisji szkodliwych składników spalin do atmosfery, przy równoczesnym, silnym dążeniu do obniżania emisji CO₂ poprzez zmniejszanie zużycia paliwa, wymusza nieustanny rozwój tłokowych silników spalinowych. Równocześnie, stawia to coraz trudniejsze do spełnienia wymagania równolegle opracowywanym technologiom nowoczesnych olejów smarowych.

Względy ochrony środowiska naturalnego oraz dywersyfikacja źródeł energii wymuszają też coraz większy udział biokomponentów zawartych w paliwach węglowodorowych. Dodawane do olejów napędowych biokomponenty w postaci FAME podwyższają gęstość i lepkość paliwa, co ma istotny wpływ na pogorszenie jakości jego rozpylenia w komorze spalania silnika. Dodatkowo, wyższe napięcie powierzchniowe FAME (B100) względem konwencjonalnego oleju napędowego (ON) także przyczynia się do ogólnie gorszego rozdrobnienia kropeł paliwa, a następnie ich rozproszenia i wymieszania z ładunkiem powietrza przed zainicjowaniem procesu spalania (rysunek 1) [3].

Systematycznie zaostrzane normy w zakresie ochrony środowiska naturalnego doprowadziły – w przypadku silników z zapłonem samoczynnym (ZS) – do szerokiego rozpowszechnienia filtrów cząstek stałych (DPF – *Diesel Particulate Filter*), które dla poprawnego funkcjonowania



Rys. 1. Porównanie wielkość i rozkładu kropeł rozpylanego ON i B100

wymagają co najmniej okresowych procesów regeneracji. W przypadku silników typu LD (*Light Duty*), powszechnie stosowaną praktyką jest aktywna regeneracja, wspomagana spalaniem dodatkowej dawki paliwa, wtryskiwanej przez wysokociśnieniowy system wtrysku paliwa pod koniec suwu spalania po to, aby spalając się w układzie wydechowym podnieść temperaturę gazów spalinowych przed DPF. W przypadku stosowania paliw zawierających FAME, ich podwyższona gęstość, lepkość i niższa lotność oraz omywanie przez rozpylane strugi paliwa ścianek tulei cylindrowych sprzyja procesowi intensyfikacji ściekania, a następnie przedostawania się paliwa z biokomponentem do miski olejowej silnika. Skutkiem wyżej opisanych procesów jest:

- gwałtowne obniżenie lepkości oleju smarowego na skutek rozcieńczenia go paliwem. Z informacji podanych przez niezależnych, renomowanych producentów silni-

ków samochodowych typu HSDI (*High Speed Direct Injection*) wynika, że w niektórych przypadkach użytkowanie pojazdu na dystansie 10 tys. km przy zasilaniu silnika paliwem B5 może doprowadzić nawet do ponad 20-procentowego rozcieńczenia oleju smarowego paliwem. Sytuacji takiej sprzyja eksploatacja samochodu na krótkich odcinkach przy niskim obciążeniu silnika, czego konsekwencją jest konieczność częstej regeneracji DPF, formowanie się w oleju szlamów i laków,

- wyczerpanie rezerwy alkalicznej oleju, a zatem drastyczny spadek liczby zasadowej,
- gwałtowny wzrost liczby kwasowej – wskazujący na degradację oleju smarowego,
- wypłukiwanie niektórych metali (jak np. miedzi i ołowiu) z panewek łożysk ślizgowych, spowodowane przedostaniem się biokomponentu do oleju smarowego,
- zatykanie się filtrów olejowych szlamami.

Badania przeprowadzone przez różne światowe ośrodki zgodnie wskazują na progresywnie postępujący proces degradacji silnikowego oleju smarowego rozcieńczonego biopaliwem.

Biorąc pod uwagę duże znaczenie warunków eksploatacji, a zatem i degradacji smarowych olejów silnikowych, obecnie wyróżnia się dwa zasadnicze mechanizmy procesów utleniania olejów. Pierwszy z nich dotyczy utleniania przebiegającego w cienkiej warstwie oleju oddzielającej powierzchnie elementów współpracujących przy tarcu ślizgowym, na zintensyfikowanie którego wpływa podwyższona temperatura części smarowanych. Z taką sytuacją mamy do czynienia w przypadku cienkiej warstwy oleju pokrywającego powierzchnie tulei cylindrowych i pierścieni współpracujących z nimi tłoków. Drugi me-

chanizm opisuje utlenianie przebiegające w dużej objętości oleju. Taka sytuacja występuje w przypadku oleju zawartego w misce olejowej silnika, gdzie jest on nieustannie mieszany przy podwyższonej temperaturze w styczności z powietrzem – co jest czynnikiem stymulującym jego utlenianie i tworzenie nierozpuszczalnych wytrąceń [2, 4].

Wyniki badań prowadzonych z uwzględnieniem wyżej podanych mechanizmów rozpatrywania procesów stabilności utleniania olejów potwierdzają, że w przypadku oleju rozcieńczonego biopaliwem jego stabilność znacząco pogarsza się, w stosunku do tego samego oleju smarującego rozcieńczonego – w takim samym stopniu – konwencjonalnym olejem napędowym (nie zawierającym biokomponentów). W konsekwencji następuje przyspieszone obniżanie liczby zasadowej, przy równoczesnym wzroście liczby kwasowej oleju smarowego.

Inne badania dowodzą, że już bardzo niewielka ilość biopaliwa, które przedostało się do oleju smarowego silnika może bardzo niekorzystnie wpływać na jego właściwości korozyjne w odniesieniu do miedzi, a szczególnie do ołowiu, które to metale są powszechnie stosowane w stopach panewek silnikowych łożysk ślizgowych. Jest to związane z powstawaniem w procesach utleniania FAME kwasów agresywnych względem wymienionych metali, w tym kwasu nadoctowego i innych kwasów organicznych.

Przedostawanie się do oleju smarowego wraz z paliwem biokomponentów wpływa też znacząco na zwiększenie osadów odkładających się na powierzchni walcowej tłoka i w rowkach pierścieni, co między innymi potwierdzają wyniki testu silnikowego CEC RF-90-A-92 – powszechnie stosowanego do oceny czystości tłoków i unieruchomienia pierścieni.

Założenia prowadzenia badań symulacyjnych

Podstawowym celem podjętych symulacyjnych badań silnikowych było określenie wpływu biokomponentów zawartych w oleju napędowym na procesy degradacji silnikowych olejów smarowych, w tym ich rodzaju, wielkości i postępowania w czasie, dla wytypowanych przypadków współdziałających paliw i olejów.

Od kilku lat stopniowo zwiększa się liczba producentów silników samochodowych zalecających – lub wręcz wymagających – stosowania do swoich jednostek napędowych olejów smarujących specjalnie do nich opracowanych, a zatem spełniających ich wewnętrzne normy jakościowe. Normy te obejmują własne testy badawczo-kwalifikujące, których spełnienie warunkuje dopuszczenie do stosowania konkretnego oleju w silnikach danego producenta. Wyni-

ka to z coraz częstszego stosowania w konstruowanych silnikach nietypowych rozwiązań bądź układów współpracujących z silnikiem, stanowiących wyróżnik danego producenta. Sytuacja taka jest spowodowana wykorzystaniem przez producentów rozmaitych, niekonwencjonalnych bądź mało rozpowszechnionych rozwiązań, służących w pierwszym rzędzie sprostaniu wymaganiom norm w zakresie ochrony środowiska naturalnego, ale także poprawie walorów trakcyjnych i użytkowych pojazdów, do napędu których zastosowane zostaną jednostki napędowe, oraz ograniczeniu czasu i częstotliwości ich obsługi. Duże znaczenie ma też technologia wytwarzania silników i związane z nią wymagania materiałowo-obróbkowe, w istotny sposób wpływające na dobór oleju smarującego silnik.

Wyżej wymienione przyczyny sprawiają, że ze względów zachowania wymaganej trwałości i niezawodności silnika oraz optymalnego wykorzystania jego parametrów użytkowych konieczne jest stosowanie do jego smarowania produktu, który będzie się odznaczał indywidualnymi właściwościami, dopasowanymi do wymagań przedmiotowej jednostki napędowej. Biorąc powyższe pod uwagę założono, że wybrane do badań oleje smarowe powinny różnić się (mając na uwadze cele poznawcze założonych badań) bazą, a także kompozycją (składem) pakietu dodatków uszlachetniających, spełniając jednak wymagania *Original Equipment Manufacturers* (OEM) producenta silnika, w którym ma on być zastosowany. W konsekwencji, do oceny procesów degradacji przyjęto dwa oleje spełniające wewnętrzne specyfikacje firmy FORD, będącej wytwórcą silnika stosowanego do prowadzenia badań. Równocześnie, w ramach olejów dopuszczonych specyfikacjami Ford WSS-M2C – 913A i Ford WSS-M2C – 913 B do stosowania w silnikach typu FORD 2.0i 16V Duratorq TDCi, starano się wybrać dwa oleje maksymalnie różniące się składem chemicznym. Jako pierwszy zastosowano olej silnikowy oznaczony symbolem „A” 5W/30, zalecany przez wytwórcę silnika. Według deklaracji producenta, olej ten spełnia wymagania klasyfikacji API SJ i ACEA: A-1/B-1 oraz Ford WSS-M2C – 913B.

Formulacja tego produktu obejmuje:

- olej bazowy z hydrokrakingu, spełniający według specyfikacji API wymagania gr. II⁺,
- główne składniki pakietu jakościowego to sulfoniany i fenolany wapnia i magnezu,
- dodatek przeciwzużyciowy typu alkiloditiofosforanu cynku.

Silnikowe badania symulacyjne

Badania w projekcie przeprowadzono przy wykorzystaniu uniwersalnego silnikowego stanowiska badawczo-testowego, skonstruowanego w INiG w ramach wcześniejszych projektów [5, 6] (rysunek 2). Zasadniczym elementem stanowiska jest nowoczesny silnik wysokoprężny typu HSDI marki FORD, noszący oznaczenie fabryczne 2.0i 16V Duratorq TDCi. Silnik ten jest zasilany bezpośrednio, wysokociśnieniowym układem wtrysku paliwa typu *Common Rail*. W projekcie stosowano silnikową procedurę badawczą składającą się z 4-fazowego, powtarzalnego cyklu badawczego, odzwierciedlającego przeciętne warunki pracy silnika podczas eksploatacji pojazdu w ruchu miejskim o małym natężeniu [5, 6]. Taki sposób postępowania sugeruje wiele silnikowych procedur badawczych – między

Przy wyborze drugiego oleju silnikowego starano się wytypować produkt krajowego wytwórcy. Jednym z istotnych kryteriów była pozytywna wstępna ocena kompatybilności oleju silnikowego z paliwem B30 (uznanym za najbardziej różnorodne pod względem udziału składowych dodatków uszlachetniających). Ostatecznie wykonano rozstrzygające, laboratoryjne testy według DGMK IF mod. W konsekwencji, jako drugi dla potrzeb projektu wytypowano silnikowy olej oznaczony jako „B” 5W/30, ACEA; A-1/B-1, spełniający wymagania Ford WSS-M2C – 913A i Ford WSS-M2C – 913 B. Olej ten, w teście DGMK, w wyniku kontaktu z paliwem B30 nie przyczyniał się do powstawania produktów antagonistycznego oddziaływania dodatków uszlachetniających paliwo-olej silnikowy w postaci żeli, jednak czas filtracji mieszaniny wzrósł o około 100%.

Formulacja tego oleju silnikowego składa się z:

- oleju bazowego, stanowiącego mieszaninę 25:75 (%) olejów bazowych według specyfikacji API gr. IV i gr. III,
- głównych składników pakietu jakościowego w postaci sulfonianów wapnia,
- dodatku przeciwzużyciowego typu alkiloditiofosforanu cynku.

Jako paliwa do badań przyjęto: wysokiej jakości niskosiarkowy olej napędowy zawierający (zgodnie z normą PN-EN 590:2006) do 5% (V/V) RME oraz biopaliwa B10 i B30. Przedmiotowe biopaliwa były komponowane w INiG z wykorzystaniem wyżej wymienionego oleju napędowego oraz biodiesela RME, spełniającego wymagania normy PN-EN 14214. Badania obejmowały sześć kolejnych testów, stanowiących kombinacje wyżej opisanych dwóch silnikowych olejów smarowych i trzech paliw, tzn.: „A”-B5, „A”-B10, „A”-B30 oraz „B”-B5, „B”-B10 i „B”-B30.

innymi opracowanych w ramach CEC. Ustalone parametry 4-fazowego cyklu silnikowego podano w tablicy 1.

Tablica. 1 Parametry 4-fazowego cyklu silnikowego

Nr fazy	Czas [s]	Prędkość obrotowa silnika [obr./min]	Obciążenie silnika [Nm]
1	30	800	~0
2	300	1850	100
3	120	3000	70
4	120	1500	50

- 1 faza – symuluje pracę nieobciążonego silnika na niskiej prędkości obrotowej (bieg jałowy),

- 2 faza – przejście z 1 do 2 fazy i 2 faza odzwierciedlają pracę silnika przy przyspieszaniu i średnim obciążeniu (warunki ruszania i rozpędzania pojazdu),
- 3 faza – symuluje wydłużoną pracę średnio obciążonego silnika pracującego z dość dużą prędkością obrotową (warunki swobodnego poruszania się pojazdu po ulicach miasta),
- 4 faza – symuluje warunki pracy średnio obciążonego silnika pracującego z małą prędkością obrotową (warunki poruszania się pojazdu po zatłoczonych ulicach miasta).

Określając czas prowadzenia testu wzięto pod uwagę doświadczenia zdobyte podczas projektów realizowanych w INiG wcześniej (o zbliżonej tematyce). W konsekwencji przyjęto, że czas przedmiotowego testu będzie wynosił 400 godzin rzeczywistej pracy silnika. Taką długość testu uznano za niezbędną do powstania wyraźnej (jednoznacznej z punktu widzenia wielkości zmian monitorowanych parametrów) degradacji oleju, biorąc jednocześnie pod uwagę konieczność ograniczenia wysokich kosztów długotrwałych testów silnikowych.

Próbki oleju pobierano i poddawano analizie na początku testu, a następnie po 150, 250, 340 i 400 godzinach rzeczywistej pracy silnika w teście.

Podstawę przyjętego zakresu i sposobu badań degradacji oleju smarowego oraz kryteriów jego oceny w długotrwałych, symulacyjnych testach silnikowych stanowił zbiór znormalizowanych metod badań opracowanych przez grupę roboczą CEC JL-21, procedury CEC M-13-T-92 oraz przewidziane klasyfikacją jakościową API. Dodatkowo, biorąc pod uwagę dotychczasowe doświadczenia autorów niniejszego projektu w zakresie monitorowanej oceny stopnia degradacji ole-

jów smarowych, a także nie zawsze jednoznaczne wyniki ocen przedmiotowego procesu za pomocą standardowych, ogólnie przyjętych metod badania, podjęto próbę bardziej wielokierunkowego, a zarazem kreatywnego podejścia do rozpatrywanego zagadnienia.

W konsekwencji, poza zakresem oceny olejów smarowych zalecanym przez wymienioną procedurę badawczą, dodatkowo monitorowano zmiany następujących parametrów:

- zawartość sadzy w oleju smarowym,
- lepkość dynamiczna HTHS.

Oprócz tradycyjnych metod oceny degradacji, zastosowano też nowo opracowaną metodę monitorowania utleniania cienkiej warstwy oleju, która to warstwa zazwyczaj – ze względu na specyficzne warunki pracy – ulega szybszej degradacji niż olej w dużej objętości. Metoda



Silnik: FORD 2.0i 16V Duratorq TDCi
 Układ cylindrów: rzędowy, pionowy
 Liczba cylindrów: 4
 Typ układu rozrządu: DOHC/4VPC
 Pojemność skokowa: 1998 cm³
 Moc maks.: 96 kW / 3800 obr./min
 Maks. mom. obr.: 330 Nm / 1800 obr./min
 Układ wtrysku paliwa: *Common Rail*
 Napędzanie cyl.: Turbodoładowany
 Emisja: EURO IV
 Pojemność układu smarowania: 6,0 dm³

Rys. 2. Stanowisko badawcze z silnikiem FORD 2.0i 16V Duratorq TDCi

Tablica 2. Zestawienie monitorowanych podczas eksploatacji właściwości olejów silnikowych

Lepkość kinematyczna	ASTM D 445 PN-EN ISO 3104
Wskaźnik lepkości	ASTM D 2270
Oznaczenie lepkości dynamicznej HTHS	ASTM D 4741 PN-94/C-04098
Liczba kwasowa	ASTM D 664 PN-88/C-04049
Całkowita liczba zasadowa	ASTM D 2896 PN-76/C-04163
Oznaczenie rozcieńczenia paliwem	ASTM D 3524
Zawartość wody	ASTM D 95
Zawartość pierwiastków pochodzących z pakietu jakościowego	ASTM D 4951
Zawartość pierwiastków pochodzących ze zużycia elementów silnika	ASTM D 5185
Zawartość zanieczyszczeń nierozpuszczalnych	ASTM D 893
Oznaczenie zawartości sadzy	DIN 51 452-1994
Utlenianie cienkiej warstwy oleju	ASTM D 4742 (modyfikacja)
Stopień oksydacji	ASTM E 2412 A.2

ta stanowi przeprowadzoną przez autorów opisywanych badań modyfikację procedury ASTM D 4742 pt.: *Standard Test Method for Oxidation Stability of Gasoline Automotive Engine Oils by Thin-Film Oxygen Uptake (TFOU)*, w celu dostosowania jej do oceny stabilności utleniania

przebiegającego w cieniwej warstwie oleju stosowanego do smarowania silników z zapłonem samoczynnym [2]. W rezultacie, ocenę zmian jakościowych monitorowanych podczas testów olejów smarowych prowadzono w oparciu o właściwości zestawione w tablicy 2.

Uzyskane wyniki

Podczas prowadzonych symulacyjnych stanowiskowych testów silnikowych monitorowano zmiany potencjału eksploatacyjnego olejów silnikowych (rysunki 3, 4, 5, 6).

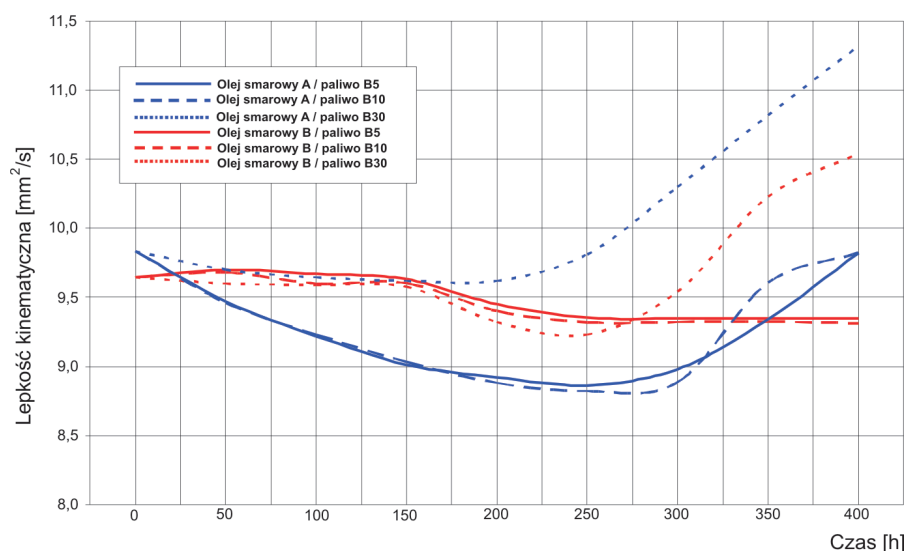
Spostrzeżenia:

- Współdziałanie oleju „A” 5W/30 z olejem napędowym B5 (rysunki 3, 4, 5 i 6).

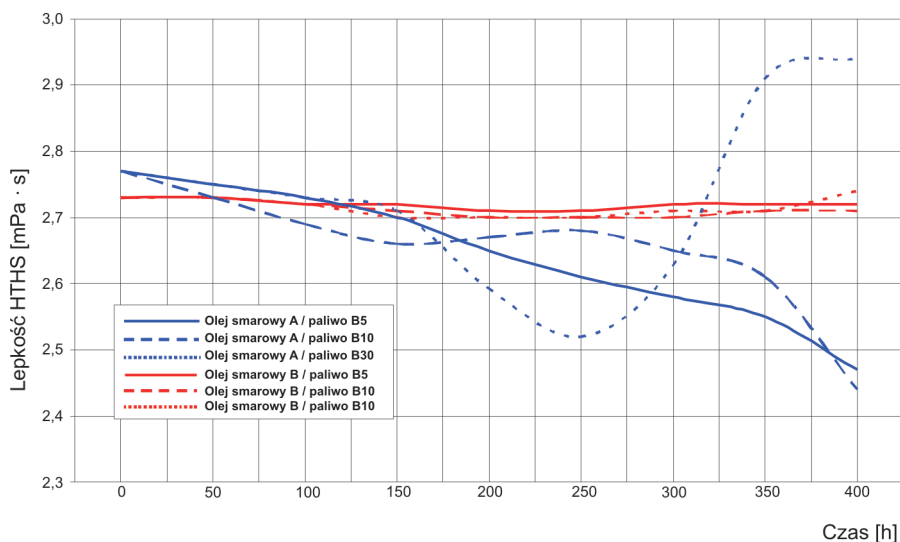
Monitorowanie zmian lepkości kinematycznej oleju silnikowego w czasie trwania testu daje podstawę do stwierdzenia, że już po 150 h testu lepkość oleju spadła

do poziomu przypisanego klasie SAE 20 i w takiej klasie lepkości olej ten utrzymywał się do ok. 340 h trwania testu, po czym wzrosła ona do wartości wyjściowej na koniec testu (rysunek 3). Przyczyną obserwowanej tendencji była niska lepkość wyjściowa oleju (w dolnym przedziale dopuszczalnych wartości), jego systematyczne rozcieńczanie paliwem, a przede wszystkim stopień trwałej utraty lepkości, będący wynikiem ścinania mechanicznego modyfikatora lepkości. Olej bazowy zastosowany w technologii

produkcji przedmiotowego oleju silnikowego posiada stosunkowo niski naturalny wskaźnik lepkości, dlatego konieczne jest stosowanie większego udziału dodatku lepkościowego niż ma to miejsce w przypadku wykorzystywania baz syntetycznych. Olej w eksploatacji wykazuje też znaczną skłonność do utraty lepkości pozornej, tym samym słabiej zabezpiecza odbudowywanie warstewki smarnej w warunkach wysokich temperatur pracy i „ciaśniejszych” pasowań współpracujących elementów (rysunek 6). Badany olej silnikowy dla zneutralizowania kwaśnych produktów utleniania wymaga stosunkowo dużej rezerwy alkalicznej, zatem obserwowany jest zwiększony spadek liczby zasadowej po przekroczeniu 250 h eksploatacji oraz wzrasta ilość produktów degradacji. Oznaczone poziomy oksydacji i nitracji nie dały podstaw do krytycznej oceny jakości oleju na koniec testu. W miarę wydłużania czasu eksploatacji oleju sukcesywnie obniżała się (w sposób znaczący) jego skuteczność działania (spełniania funkcji efektywnego smarowania) w warunkach ekstremalnych (utlenianie w cieniwej warstwie) – rysunek 6.



Rys. 3. Zmiany lepkości kinematycznej badanych olejów smarowych



Rys. 4. Zmiany lepkości HTHS badanych olejów smarowych

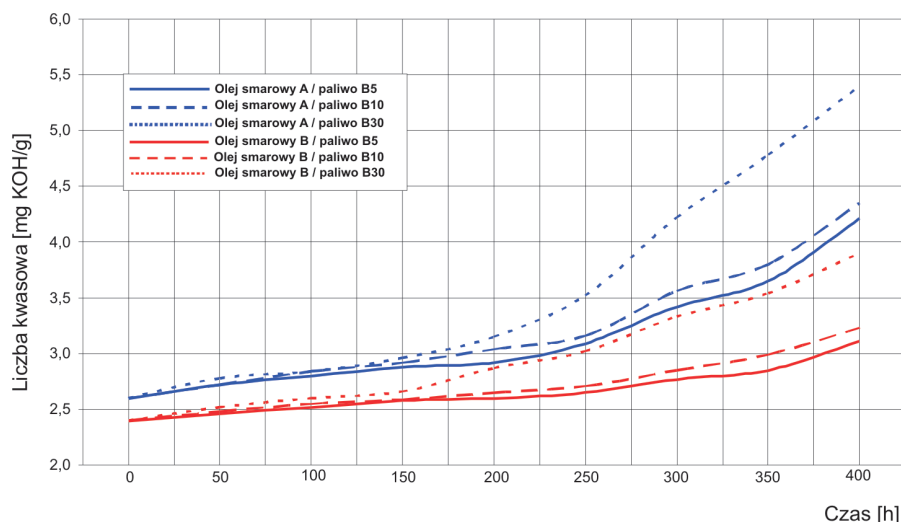
Na podstawie analizy zmian udziału pierwiastków pakietowych w oleju można stwierdzić odpowiedni skład oleju smarowego.

- Współdziałanie oleju „A” 5W/30 z biopaliwem B10 (rysunki 3, 4, 5 i 6).

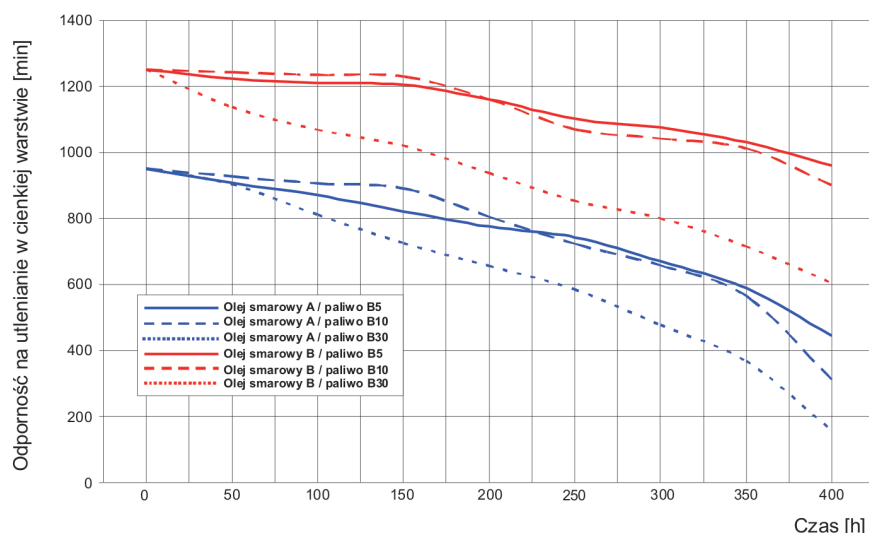
W okresie eksploatacji oleju silnikowego w 400-godzinny teście zaobserwowano sukcesywne pogarszanie oznaczanych właściwości w stopniu nieco intensywniejszym niż przy stosowaniu do zasilania silnika oleju napędowego zawierającego do 5% (V/V) FAME. Pomimo że np. przyspieszenie procesów utleniania skutkowało wzrostem lepkości oleju, badany olej dopiero po 300 h eksploatacji powrócił do swojej klasy lepkości, wtedy też obserwowane były gwałtowniejsze przemiany chemiczne oleju, na których przebieg istotny wpływ miało obecne w oleju paliwo (rysunek 3). Wyniki badania odporności na utlenianie w cienkiej warstwie przedmiotowego oleju wykazały, że niższa naturalna odporność na utlenianie baz węglowodorowych nie została wystarczająco zrekompensowana dodatkami przeciwutleniającymi (rysunek 6).

- Współdziałanie oleju „A” 5W/30 z biopaliwem B30 (rysunki 3, 4, 5 i 6).

Stosowane do zasilania silnika paliwo w sposób zdecydowany przyspieszyło procesy destrukcji oleju silnikowego. Lepkość kinematyczna oleju od samego początku testu wykazywała tendencję wzrostową, co – w powiązaniu ze znaczącym rozcieńczeniem oleju paliwem oraz z wynikami podatności stosowanego modyfikatora lepkości na trwałe ścinanie – jednoznacznie wskazywało na dużą intensywność procesów utleniania (rysunek 3). Wytworzone produkty degradacji z coraz mniejszą skutecznością były neutralizowane przez pakiet dodatków uszlachetniających, co spowodowało 50-procentowy spadek liczby zasadowej oleju na końcu testu. Poczynione w oparciu o właściwości fizykochemiczne oleju obserwacje są spójne z wnioskami wynikającymi z oceny stopnia przemian chemicznych. Na podstawie wyników uzyskanych w teście „cienkiej war-



Rys. 5. Zmiany liczby kwasowej badanych olejów smarowych



Rys. 6. Zmiany odporności na utlenianie badanych olejów smarowych w cienkiej warstwie

stwy” można stwierdzić, że po 400-godz. eksploatacji olej utracił odporność na utlenianie w warunkach smarowania krytycznego (rysunek 6). Niepokojący rezultat uzyskano również dla oleju podczas jego eksploatacji w zakresie zdolności odbudowywania warstewki smarnej w wysokich temperaturach pracy. Stopień zaawansowania przemian chemicznych spowodował, że olej utracił kwalifikację oleju energooszczędnego.

- Współdziałanie oleju „B” 5W/30 z olejem napędowym B5 (rysunki 3, 4, 5 i 6).

Olej silnikowy do końca testu utrzymywał wysoki poziom właściwości użytkowych. Analizując zmiany lepkości kinematycznej w 100°C należy stwierdzić, że pomimo obserwowanego podczas całej próby spadku lepkości (rysunek 3), spowodowanego niewielkim ścinaniem trwałym modyfikatora lepkości, a przede wszystkim

rozcieńczaniem oleju przez paliwo – w żadnym przypadku przedmiotowy olej nie obniżył swojej klasy lepkości, pomimo że lepkość wyjściowa oleju świeżego była bliska dolnej granicy klasy lepkości SAE 30. W tym miejscu warto zaznaczyć, że eksploatacja oleju nie powodowała stopniowego odparowania jego lekkich frakcji (ze względu na zalety w tym zakresie zastosowanego oleju bazowego), a tym samym spadek lepkości oleju spowodowany przyczynami opisanymi wyżej nie mógł być niwelowany wzrostem lepkości wynikającym ze zmiany składu bazy olejowej. Na uwagę zasługuje również fakt, że chwilowa utrata lepkości dynamicznej, wyrażana lepkością HTHS (rysunek 4), pozostawała praktycznie na stałym poziomie, zabezpieczając współpracujące ze sobą ruchome elementy przed zużyciem.

Pojawianie się w oleju substancji kwaśnych skutkowało systematycznym wzrostem liczby kwasowej (rysunek 5), która na koniec eksploatacji oleju osiągnęła wartość o ok. 30% wyższą od wyjściowej. Obecny w oleju pakiet dodatków uszlachetniających zachował do końca testu dużą zdolność neutralizacji kwaśnych produktów degradacji oleju, a jego skuteczność wraz z przebiegiem eksploatacyjnym nieznacznie malała, czego efektem było obniżanie się całkowitej liczby zasadowej (CLZ), na końcu testu osiągając poziom niższy od początkowego średnio o ok. 7%. Oznaczone zawartości osadów nierozpuszczalnych w n-pentanie i toluenie wskazują na powstanie podczas testu mało znaczącej ilości produktów utleniania oleju. Szybkość zachodzących procesów oksydacji i nitracji była niewielka. Utrzymujący się wysoki poziom odporności na utlenianie oleju smarowego dotyczy również szczególnie trudnych obszarów współpracy z elementami silnika, co zostało potwierdzone w teście „odporności w cienkiej warstwie” (rysunek 6). Wraz z wydłużającym się czasem eksploatacji zaobserwowano nieznaczny wzrost zawartości pierwiastków pochodzących z pakietu dodatków uszlachetniających, co potwierdza małą lotność bazy olejowej. Olej silnikowy utrzymał wysoki poziom właściwości przeciwzużyciowych, o czym świadczą niskie zawartości pierwiastków pochodzących ze zużycia elementów silnika.

- Współdziałanie oleju „B” 5W/30 z biopaliwem B10 (rysunki 3, 4, 5 i 6).

W czasie testu olej silnikowy zachował wysoki poziom oznaczanych właściwości. Olej do końca próby utrzymał klasę lepkości SAE 30 i posiadał zdolność odbudowy warstwy smarującej na gorących elementach silnika (rysunek 6). Porównując właściwości fizykochemiczne oleju smarowego współpracującego z B10 z analogicznymi, przy współpracy z olejem napędowym, należy zauważyć nieznacznie szybszą degradację tego pierwszego (rysunki 3, 4 i 5). Na uwagę zasługuje niewiele mniejsza odporność na utlenianie oleju silnikowego współpracującego z paliwem B10 w warunkach smarowania „cienkiej warstwy” (rysunek 6).

- Współdziałanie oleju „B” 5W/30 z biopaliwem B30 (rysunki 3, 4, 5 i 6).

Stosowanie biopaliwa B30 do zasilania silnika wpłynęło na zdecydowane przyspieszenie procesów degradacji oleju silnikowego. Lepkość kinematyczna oleju po ponad 250 h eksploatacji przekroczyła wartość wyjściową (rysunek 3), a następnie rosła – przy zdecydowanym wzroście zawartości paliwa w oleju. Powstające kwaśne produkty utleniania przyrastały z większą intensywnością, a obecny w oleju smarowym pakiet dodatków uszlachetniających ulegał zużyciu, co obserwowano jako pogarszanie jego zdolności do hamowania postępujących procesów destrukcji, czego dowodem jest spadek liczby zasadowej o ok. 20%. Paliwo przedostające się do oleju smarowego odgrywało w tych procesach wiodącą rolę – tym bardziej, że olej napędowy w znacznej części odparowywał z oleju silnikowego, natomiast estry się w nim kumulowały. Potwierdzają to wyniki monitorowania procesów chemicznych. Zaobserwowano znaczące przyspieszenie powstawania produktów degradacji oleju silnikowego po 250 godz. eksploatacji (wzrost zawartości substancji nierozpuszczalnych). Pomimo że na koniec testu właściwości fizykochemiczne oleju silnikowego nie wskazywały na gwałtowną utratę jego jakości, to jednak wynik testu badania odporności na utlenianie w cienkiej warstwie (rysunek 6), dowodzi zdecydowanego osłabienia potencjału eksploatacyjnego oleju w badanym zakresie.

Wnioski

1. Stosowanie do zasilania silników z ZS paliw z podwyższonym udziałem FAME wpływa na wielokierunkowe przyspieszenie procesów destrukcji oleju silnikowego – w stopniu zagrażającym jego bezpiecznej eksploatacji w zalecanym okresie użytkowania.
2. Skład oleju silnikowego, tj. jego baza i kompozycja pakietu jakościowego dodatków uszlachetniających, współdecydują o intensywności procesów destrukcji. Bazy olejowe o mniejszej naturalnej odporności na utlenianie podlegają szybszej degradacji w obecności

biopaliw, a stosowane do ich uszlachetniania pakiety dodatków uszlachetniających nie zawsze są w stanie to zjawisko wystarczająco ograniczyć.

3. Porównawcza, wieloparametrowa ocena postępujących procesów degradacji badanych olejów smarowych, współdziałających z olejem napędowym lub z biopaliwami, wykazała mniejszą utratę właściwości użytkowych oleju syntetycznego, względem oleju mineralnego skomponowanego z użyciem bazy z hydrotłoczenia.
4. Ocena stopnia utraty właściwości użytkowych oleju silnikowego wyłącznie w oparciu o właściwości fizyko-

chemiczne jest niewystarczająca, gdyż nie uwzględnia krytycznych warunków jego eksploatacji w cienkiej warstwie, co jest konieczne wobec powszechnych dążeń do zmniejszania tolerancji pasowania współpracujących ze sobą ruchomych elementów.

5. Pełna, wiarygodna, a co za tym idzie wielokierunkowa ocena złożonych procesów przyspieszonej degradacji oleju silnikowego rozcieńczonego paliwem zawierającym biokomponenty wymaga rozszerzenia zakresu ocenianych właściwości użytkowo-eksploatacyjnych, w oparciu o modyfikacje metod już istniejących lub opracowanie nowych.

Artykuł nadesłano do Redakcji 14.06.2010 r. Przyjęto do druku 29.09.2010 r.

Recenzent: doc. dr Michał Krasodomski

Literatura

- [1] Caprotti R., Breakspear A., Klaua T., Weiland P., Graupner O., Bittner M.: *RME Behaviour in Current and Future Diesel Fuel FIE's*. SAE Technical Paper No 2007-01-3982.
- [2] *Greek Fuels Give Engine Oils The Blues* – Materiały techniczne firmy Lubrizol – Europe-Middle East-Africa – May/June 2008.
- [3] Lauterwasser F.: *Development of High Performance Heavy Duty Engine Oils*. Materiały Chevron Oronite LLC, August 6, 2009.
- [4] Simon A.G., Watson, Victor W. Wong: *The Effect of Fuel Dilution with Biodiesel on Lubricant Acidity, Oxidation and Corrosion – a Study with CJ-4 and CI-4 PLUS Lubricants*. 2008 Diesel Engine-Efficiency and Enissions Research (DEER) Conference – August 7th 2008.
- [5] Stępień Z., Urzędowska W.: *Badanie związków przyczynowo-skutkowych pomiędzy zanieczyszczeniami oleju napędowego, uszkodzeniami układu wtrysku paliwa typu Common Rail i emisją cząstek stałych*. Dokumentacja INiG nr 0080/TE/08.
- [6] Urzędowska W., Stępień Z.: *Porównawcze badania degradacji oleju smarowego w silniku wysokoprężnym z bezpośrednim, wysokociśnieniowym wtryskiem paliwa, zasilanym standardowym olejem napędowym lub olejem napędowym zawierającym FAME*. Dokumentacja INiG nr 0085/TE/08.



Mgr inż. Wiesława URZĘDOWSKA – z-ca kierownika Zakładu Oceny Właściwości Eksploatacyjnych INiG w Krakowie. Specjalista w zakresie oceny właściwości użytkowych paliw i środków smarowych. Kierownik i uczestnik licznych projektów badawczych na rzecz przemysłu rafineryjnego. Autor i współautor dokumentacji badawczych, projektów oraz patentów.



Dr inż. Zbigniew STĘPIEŃ – kierownik Pracowni Badań Silnikowych i Trybologicznych INiG w Krakowie. Specjalista m.in. w zakresie zjawisk będących wynikiem współdziałania silników z paliwami i olejami smarowymi. Kierownik i uczestnik wielu projektów badawczych. Autor i współautor opracowań, dokumentacji badawczych, projektów oraz patentów.