

Trends in development of motor oil technology including alternative fuels

The article presents a information of direction of development of engine motor oil technology from regard alternative fuels, in this the biogas, recipes relating of the environment protection as well as criterion of selection motor oils. It the attention was turned on quality requirements engine fuels – the biogas - in formation the exploational propriety of engine motor oil.

Key words: motor oils, alternative fuels

Kierunki rozwoju technologii olejów silnikowych z uwzględnieniem paliw alternatywnych

Praca zawiera informacje dotyczące kierunku rozwoju technologii olejów silnikowych, paliw alternatywnych, w tym biogazu, w nawiązaniu do ochrony środowiska jak również kryterium wyboru olejów silnikowych. Uwaga została skoncentrowana na wymaganiach jakościowych dotyczących paliw silnikowych, takich jak biogaz, w określaniu właściwości eksploatacyjnych oleju silnikowego.

Słowa kluczowe: oleje silnikowe, paliwa alternatywne

1. Wstęp

Rozwój silników spalinowych związany jest od początku z wykorzystaniem ropy naftowej, jako podstawowego źródła napędu pojazdów samochodowych. Kurczące się zasoby ropy naftowej, wysoka cena, stały wzrost zapotrzebowania na paliwa ropopochodne oraz następujący globalny wzrost efektu cieplarnianego wywołany emisją CO₂ skutkuje poszukiwaniem nowych paliw alternatywnych, w tym przyjaznych dla środowiska naturalnego.

Wśród paliw alternatywnych dużą szansę upatruje się w biogazie pozyskanym z oczyszczalni ścieków, odpadów komunalnych czy rolnych. Wykorzystanie energii ze źródeł odnawialnych jest jednym z ważniejszych elementów zrównoważonego rozwoju gospodarki przynoszący zarówno efekty ekologiczne jak i energetyczne.

Wprowadzenie do eksploatacji paliw alternatywnych, w tym biogazu wiąże się z zapewnieniem niezawodności i trwałości pracy silnika. Na tym etapie istotną rolę odgrywa paliwo i olej silnikowy, który obecnie traktowany jest jako element konstrukcyjny silnika [1].

2. Podstawowe kierunki zmian jakości olejów silnikowych

Obecnie tendencje do konstruowania jednostek napędowych o mniejszych rozmiarach powodują, że współczesne silniki są narażone na większe obciążenia cieplne i mechaniczne. Ich prawidłowe użytkowanie zależy w znacznej mierze od zastosowania nowoczesnych olejów smarowych. Toteż olejom silnikowym stawia się wygórowane wymagania [2].

Olej silnikowy w coraz większym stopniu wpływa na osiągi silnika, własności użytkowe, trwałość i niezawodność oraz wielkość emisji toksycznych składników spalin.

Nowoczesne oleje silnikowe w nieustanny sposób muszą nadążać za zmianami konstrukcyjnymi silników i wprowadzeniem do eksploatacji nowych paliw oraz ciągle zaostrza-

jącymi się wymaganiami ochrony środowiska. Reasumując należy podkreślić, że produkt ten powinien charakteryzować się coraz to większą ilością właściwości często ze sobą sprzecznych, spośród których najistotniejsze to [2]:

- zachowanie wymaganej lepkości w coraz to większym zakresie temperatur wynikających z coraz bardziej ekstremalnej pracy współczesnych silników,
- zapewnienie jak najmniejszej wartości współczynnika tarcia płynnego w celu zwiększenia trwałości silników oraz poprawy ich sprawności mechanicznej,
- wysoka temperatura zapłonu,
- utrzymywanie niskiej temperatury krzepnięcia,
- sprzyjanie energooszczędnym właściwościom silnika,
- gwarancja dobrej mieszalności z dodatkami uszlachetniającymi,
- ograniczenie do minimum zawartości popiołów siarczanowych, siarki i fosforu,
- nie oddziaływanie destrukcyjne na materiały metalowe i tworzywa, z których wykonywane są elementy konstrukcyjne silników,
- zapewnienie kompatybilności ze stosowanym paliwem silnikowym (nie dopuszczanie do powstawania niekorzystnych interakcji pomiędzy składnikami oleju smarującego i paliwa).

Ponadto powodów w kierunku zmian jakości olejów silnikowych należy jeszcze upatrywać w:

- konkurencji producentów olejów na polskim rynku,
- oczekiwań klientów,
- konkurencji producentów samochodowych,
- konkurencji producentów dodatków uszlachetniających.

Powyższe powody zmian jakościowych olejów silnikowych są ze sobą powiązane. Istotną cechą olejów silnikowych jest zapewnienie kompatybilności ze stosowanym paliwem (nie dopuszczenie do powstawania niekorzystnych interakcji pomiędzy składnikami oleju smarowego i paliwa),

utrzymywać niską temperaturę krzepnięcia, zapewnić dobrą mieszalność baz olejowych z pakietem dodatków uszlachetniających i wydłużenie przebiegu eksploatacyjnego pomiędzy kolejnymi wymianami oleju w silniku [2].

3. Olej silnikowy jako źródło emisji cząstek stałych

Postęp w zakresie technologii produkcji olejów silnikowych, jaki nastąpił w ostatnim dziesięcioleciu związany jest również z działaniami mającymi na celu zmniejszenie uciążliwości środowiska naturalnego. Zaostrzenie przepisów dotyczących redukcji emisji związków szkodliwych spalin silnikowych, emisji gazów cieplarnianych i zużycia paliwa oraz oleju smarującego są najważniejszymi czynnikami kształtującymi rozwój konstrukcji pojazdów samochodowych.

W tabelach 1-2 zamieszczono dopuszczalne wartości emisji spalin w kolejno wprowadzonych normach emisji Euro dla pojazdów wyposażonych silniki o ZI i ZS.

Restrykcyjność kolejnych norm Euro pokazuje jak dużym wyzwaniem musi sprostać przemysł motoryzacyjny i producenci olejów silnikowych. Dla producentów olejów

Tabela 1. Normy emisji spalin dla pojazdów osobowych z silnikiem benzynowym [g/km]

Norma	Euro I	Euro II	Euro III	Euro IV	Euro V
Rok wprowadzenia	1992	1996	2000	2005	2009
CO	2,72	2,2	2,3	1	1
HC	–	–	0,2	0,1	0,1
NO	–	–	0,15	0,08	0,08
Cząstki stałe	–	–	–	–	0,005

Tabela 2. Normy emisji spalin dla pojazdów osobowych z silnikiem ZS [g/km]

Norma	Euro I	Euro II (IDI)	Euro II (DI)	Euro III	Euro IV	Euro V
Rok wprowadzenia	1992	1996	1996	2000	2005	2009
CO	2,72	1	1	0,64	0,5	0,5
HC	–	–	–	–	–	–
NO	–	–	–	0,5	0,25	0,18
Cząstki stałe	0,14	0,08	0,1	0,05	0,025	0,005

silnikowych wprowadzenie norm emisji spalin Euro V, a w konsekwencji zmian w konstrukcji silników oznacza konieczność opracowania formułacji olejów niskopopiołowych o niewielkich możliwościach tworzenia się popiołu siarczanowego (SA), ograniczonej zawartości fosforu (P) oraz siarki (S). Tak więc nowoczesne oleje niskopopiołowe muszą zapewniać pełną kompatybilność z filtrami cząstek stałych PDF (*Diesel Particulate Filter*) w silnikach o zapłonie samoczynnym oraz katalizatorami silników benzynowych (CAT).

Ograniczenie emisji cząstek stałych (PM) z silników o zapłonie samoczynnym powstających z udziałem oleju smarującego staje się najpoważniejszym zadaniem dla producentów silników spalinowych oraz wytwórców środków smarowych. Prowadzone prace badawcze zmierzają w

kierunku oceny mechanizmów powstawania emisji cząstek stałych, jak również ich ograniczania [3].

Wieloletnie badania i obserwacje autorów pozwalają na stwierdzenie, że rodzaj paliwa i jego jakość, parametry pracy silnika, w tym jego stan techniczny oraz stabilność właściwości fizykochemicznych oleju smarowego w okresie eksploatacji mają istotny wpływ na poziom emisji cząstek stałych PM [3]. Za cząstki stałe powszechnie uważa się produkty wydostające się z układu wydechowego silnika w konsystencji ciekłej lub stałej, a więc zawierające między innymi pewną ilość cząstek węgla, związków siarki i azotu, metali oraz ciężkich węglowodorów.

Jednym z istotnych zagadnień związanych z genezą powstawania, budową, składem oraz szkodliwością emisji cząstek stałych (PM) jest określenie wpływu oddziaływania oleju smarującego i warunków pracy silnika na jego emisję i to zarówno tą ilościową jak i jakościową. Rodzaj bazy olejowej, stan techniczny i warunki pracy silnika, wielkości zużycia oleju, typ dodatków uszlachetniających oraz rodzaj paliwa to zasadnicze czynniki wpływające na ilość emitowanych PM.

Fazę nierozpuszczalną organiczną (IOF) tworzy: węgiel w postaci sadzy, produkty niepełnego spalania dodatków do paliwa czy oleju smarowego, natomiast część nierozpuszczalną nieorganiczną (INSINOF – *Insoluble Inorganic Fraction*) stanowią popioły, siarczany, śladowe ilości żelaza, fosforu, wapnia, krzemu, chromu itp. oraz zanieczyszczenia mechaniczne przedostające się do silnika z otoczenia.

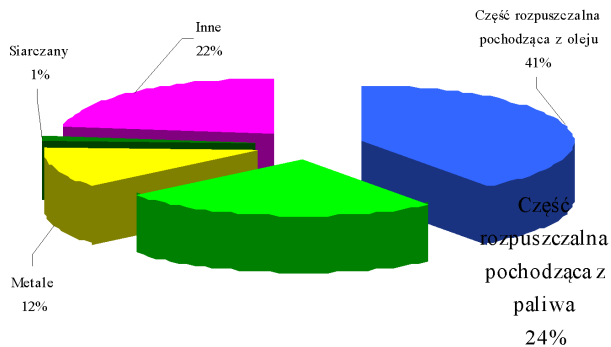
Zasadniczy składnik fazy nierozpuszczalnej stanowią cząstki sadzy. Charakteryzują się one bardzo dużą zdolnością adsorbowania produktów niepełnego spalania paliwa i oleju smarującego silnik. Sadza, po adsorbowaniu tych produktów, których znaczna ilość wykazuje działanie rakotwórcze staje się szczególnie groźnym zanieczyszczeniem środowiska. Dotyczy to głównie cząstek najdrobniejszych, których rozmiary wyrażane są w nanometrach, powszechnie zwanych nanocząstkami.

Według [4, 5] współczesne silniki o ZS emitują ok. 20-30 razy więcej PM i ok. 3 razy więcej tlenków azotu w porównaniu z silnikami o zapłonie iskrowym (ZI). Ograniczenie emisji PM z silników o zapłonie samoczynnym jest jednym z najpoważniejszych, a zarazem najtrudniejszym problemem, jaki musi zostać rozwiązany dla spełnienia przyszłych coraz bardziej zaostrzonych przepisów dotyczących ochrony środowiska naturalnego i zdrowia człowieka. Intensywnie prowadzone prace badawcze zmierzają do poznania mechanizmów powstawania cząstek stałych, jak również ich ograniczania.

Badania te dowodzą, że wielkość zużycia oleju smarowego w silniku o zapłonie samoczynnym (ZS) istotnie oddziałuje na emisję PM [6], im większe jego zużycie tym większa emisja cząstek stałych. Procentowy udział różnych składników tworzących cząstki stałe (PM) przedstawiono na rys. 1.

Według [7] istotne znaczenie dla procesu tworzenia, składu i wielkości emisji cząstek stałych (PM) ma również jakość oleju smarowego, a przede wszystkim właściwości fizyczne i chemiczne bazy olejowej oraz w mniejszym stopniu pakiet dodatków uszlachetniających ten produkt. Kolejną cechą fizyczną oleju silnikowego oddziałującą na wielkość emisji cząstek stałych (PM) jest lepkość [8]. W

miarę zmniejszania się lepkości kinematycznej oleju silnikowego wzrasta emisja PM ze względu na przedostawanie się większej ilości oleju do komory spalania, co jest skutkiem występowania dwóch zjawisk. Pierwsze z nich polega

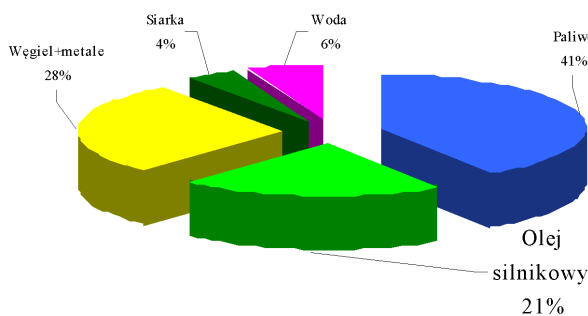


Rys. 1. Procentowy udział różnych składników tworzących emisję cząstek stałych PM

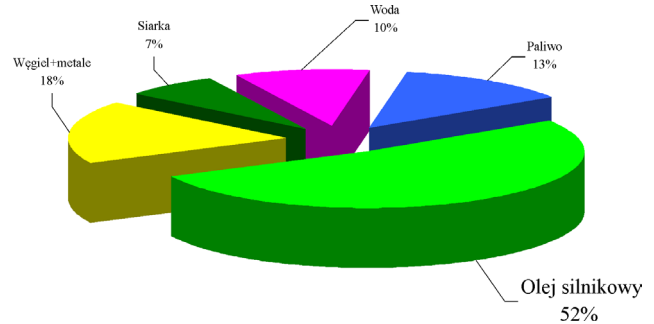
na tym, że przy spadku lepkości tworzy się coraz grubsza warstwa przyścienna oleju ściankach tulei cylindrowej. Drugie zjawisko związane jest z tym, że przy zmniejszaniu lepkości oleju większa jego ilość przedostaje się ponad górny pierścień uszczelniający tłoka [9].

Ważną rolę w kształtowaniu ilości emitowanych cząstek stałych (PM) i ich składu stanowią warunki pracy silnika o zapłonie samoczynnym. Na rys. 2-3 przedstawiono uśredniony skład PM w dużych turbodoładowanych silnikach o pojemności 12 litrów i z bezpośrednim wtryskiem, stosowanych do napędu autobusów oraz dużych samochodów ciężarowych w różnych prędkościowo-obciążeniowych warunkach pracy [10].

Przy małym obciążeniu silnika o ZS olej silnikowy, który nie uległ całkowitemu spalaniu duży udział w tworzeniu emisji PM ma procentowa część rozpuszczalna oleju (SOF), której emisja w tych warunkach pracy jest najwyższa. Wiąże się to z temperaturą w komorze spalania silnika i krótkim czasem utleniania ładunku, co sprzyja niecałkowitemu i niezupełnemu spalaniu przedostającego się oleju. W miarę wzrostu obciążenia silnika, a co za tym idzie zwiększenie temperatury w komorze spalania, utlenianie oleju przebiega w sposób nieco pełniejszy, dlatego też w warunkach dużych obciążeń największy udział w powstawaniu emisji PM ma część nierozpuszczalna oleju ISO [3].



Rys. 2. Skład emisji cząstek stałych dla parametrów pracy silnika o ZS ($n = 1000$ obr/min, wielkość obciążenia 80%)



Rys. 3. Skład emisji cząstek stałych dla parametrów pracy silnika o ZS ($n = 1800$ obr/min, wielkość obciążenia 15%)

4. Kryteria doboru oleju smarowego do silnika

Nowoczesne rozwiązania konstrukcyjne silników spalinyowych, wprowadzenie paliw alternatywnych przyjaznych dla środowiska, w tym biometanu generują coraz wyższe wymagania dla oleju smarowego. Dla przypomnienia podstawowym celem oleju smarowego jest zapewnienie odpowiedniego smarowania, czyli rozdzielanie współpracujących części, odprowadzenie ciepła z silnika i ochrona przed korozją. Poza tym olej smarowy powinien zmywać powstające w silniku zanieczyszczenia, utrzymywać je z postaci zawiesiny i zapobiegać tworzeniu się różnego rodzaju osadów, oraz ograniczać emisję szkodliwych składników spalin z silnika. Jego skład chemiczny staje się coraz bardziej skomplikowany, a za tym jego dobór do silnika wymaga wnikliwych badań laboratoryjnych, testów silnikowych oraz prób eksploatacyjnych z uwzględnieniem rodzaju paliwa.

W rozważaniach teoretycznych dobór ten jest na ogół wstępnie rozstrzygnięty już na etapie jego projektowania z uwzględnieniem rodzaju paliwa [2]. W pracach badawczych mechanizm ten oparty jest o standardy certyfikacji lepkościowej i jakościowej:

- certyfikacja lepkościowa, w której dobór uzależniony jest od przewidywanych warunków pracy silnika, strefy klimatycznej użytkownika środka smarowego oraz ogólnego stanu technicznego silnika,
- certyfikacja jakościowa – dobór oleju smarowego do silnika uzależniony jest od jego konstrukcji, wysilenia, obciążeń cieplnych oraz rodzaju i jakości paliwa.

Olej silnikowy w okresie eksploatacji ulega procesom degradacji, które obniżają właściwości użytkowe, co z kolei rzutuje na wzrost zanieczyszczeń, w tym obecnością pierwiastków metali pochodzących z jego zużycia.

Skład oleju silnikowego, w tym jego baza oraz pakiet dodatków uszlachetniających współdecydują o intensywności procesów degradacji [11]. Naturalne bazy olejowe o niższej odporności na utlenianie podlegają szybszej degradacji. Do czynników kształtujących przyspieszoną, wielokierunkową degradację olejów silnikowych należą:

- nowoczesne, skomplikowane konstrukcje silników,
- zaawansowane systemy oczyszczania spalin,
- nowe materiały konstrukcyjne,
- zwiększone obciążenie termiczne i mechaniczne elementów silników,

- nowe paliwa, w tym biometan,
- skomplikowane układy smarowania,
- zmiany w technologii wytwarzania olejów,
- wydłużone przebiegi eksploatacyjne olejów pomiędzy kolejnymi wymianami,
- destrukcja bazy olejowej i ubytek pakietu dodatków uszlachetniających.

Istotną rolę w ocenie eksploatacyjnej oleju smarowego silnika gazowego odgrywa jakość paliwa – biogazu. Jeżeli zawartość substancji szkodliwych w biogazie ulega zwiększeniu to olej podlega przyspieszonej degradacji, co rzutuje na wzrost liczby kwasowej, oraz zwiększone zużycie tulei cylindrowej czy łożysk ślizgowych układu korbowego silnika. Bardzo ważną rolę odgrywa wartość liczby zasadowej.

Według [12] badanie biogazu w zakresie oceny użytkowej powinno obejmować ocenę:

- parametrów energetycznych biogazu,
- stężenia siarkowodoru,
- stężenia amoniaku,
- stężenia związków siarki,
- stężenia związków fluoru,
- stężenia związków chloru,
- stężenia pyłu,
- stężenia krzemu,
- wilgotności względnej.

Na ogół w praktyce dobór oleju smarowego do silnika zasilanego biogazem wykonuje się w oparciu o próbę trwałościową pracy silnika tj. 500 godz. Stabilność parametrów fizykochemicznych oleju smarowego w silnikach gazowych np. JENBACHER IMS 312 GS-B.LC kształtuje klasa jakościowa, ilości recyklującego oleju, wartość i obciążeń termicznych i mechanicznych oraz stan techniczny silnika. W przypadku drastycznego obniżenia jego właściwości fizykochemicznych

zwiększa się objętość oleju (adaptując dodatkowy zbiornik). Podstawowym kryterium wymiany oleju smarowego w silnikach JENBACHER IMS 312 GS-B.LC są wyniki oceny monitoringu jego właściwości fizykochemicznych podczas pracy silnika oraz rygorystyczne przepisy obsługi silnika.

Ważną rolę dla oceny długości czasu pracy oleju w tych jednostkach kogeneracyjnych odgrywa efektywność pracy filtra oleju, którego wymianę dokonuje się po okresie 500 godzin pracy silnika. Wśród znaczących producentów silników biogazowych wymienić można JENBACHER IMS 312 GS-B.LC, DEUTZ TBG 620 V12K, MAN, a jako preferowane oleje smarowe to:

- BP – Energas LFM,
- CASTROL – Duratec MX,
- CHEVRON – HDAX LPG40,
- MOBIL – Pegasus 610 i Pegasus 805,
- STATOIL – Power Way 40,
- TOTAL – Nateria ML 406,
- ESSO – Estor PX40.

5. Podsumowanie

Postęp w dziedzinie technologii produkcji olejów silnikowych jaki nastąpił w ostatnim dziesięcioleciu to zasługa rozwoju konstrukcji silników tłokowych, działań zmierzających do zmniejszenia uciążliwości dla środowiska, w tym wprowadzenia na szerszą skalę paliw alternatywnych, w tym biogazu oraz zwiększenie czasookresu wymiany oleju.

Ograniczenia emisji zanieczyszczeń do środowiska naturalnego przy współudziale oleju silnikowego wymusza wprowadzenie do eksploatacji nowych formułacji, których pakietów dodatków uszlachetniających uległy istotnym zmianom.

Obecność szkodliwych związków krzemu, siarki i chloru w biogazie przyczynia się do zwiększonej degradacji oleju silnikowego, co przekłada się na ograniczenie trwałości silnika.

Literatura

- [1] Jakóbiec J.: Olej silnikowy jako element konstrukcyjny silnika; Nowoczesny Warsztat Nr 6/2005, str. 32-39
- [2] Jakóbiec J.: Rozwój konstrukcji silników spalinowych wyznacznikiem postępu technologii olejów smarowych; Nowoczesny Warsztat Nr VII edycja 2010, str. 38-40
- [3] Jakóbiec J., Mazanek A.: Ocena eksploatacyjna oleju smarującego SL/CF SAE 5W/30 w silniku zasilanym ON i biopaliwem B10; IV Konferencja Naukowa EKOENERGIA'2009 „Postęp naukowo-techniczny w pozyskaniu, przetwarzaniu i wykorzystaniu biopaliw”; Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Lublin 2009, str. 48-57
- [4] Directive 98/69/EC of the European Parliament and the Council, 13 October 1998.
- [5] Burtscher H., Master U.: Particle Formation Due to Fuel Additives; SAE Paper 2000-01-1883, 2000
- [6] Inoue T., Maruda Y., Yamamoto M.: Reduction of Diesel Particulate Matter by Oil Consumption Improvement Utilizing Radioisotope Tracer Techniques; SAE Paper 971630, 2004
- [7] Manni M., Floro S., Gommellini C.: An Investigation on the Reduction of Lubricating Oil Impact on Diesel-Exhaust Emissions; SAE Paper 972956
- [8] Krasodomski M., Stępień Z., Mazur-Banduła X.: Badanie emisji cząstek stałych; Biuletyn ITN Nr 3/2004, str. 188-195
- [9] Laurencje R. B., Vong V. W., Brown A. J.: Effect's of Lubrication System Parameters on Diesel Particulate Emission Characteristics; SAE Paper 960318
- [10] Dowling M.: The impact of Oil Formulation on Emissions from Diesel Engines; SAE Paper 922198
- [11] Jakóbiec J.: Zmiana właściwości użytkowych olejów silnikowych w warunkach eksploatacji; Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji Nr 83/2001, str. 25-29
- [12] Dużyński A.: Analiza rzeczywistych parametrów techniczno-eksploatacyjnych gazowych zespołów kogeneracyjnych; Monografia Nr 142 – Częstochowa 2008

Dr inż. Wojciech Gis – Instytut Transportu Samochodowego, Warszawa.

Mgr inż. Grzegorz WYSOPAL – Małopolski Ośrodek Ruchu Drogowego MORD, Kraków.

Prof. dr hab. inż. Janusz Jakóbiec – Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków.