

Dariusz Sacha
Instytut Nafty i Gazu, Kraków

Zawartość zanieczyszczeń stałych w paliwach do silników Diesla, w aspekcie wymagań stawianych przez Światową Kartę Paliw

Wstęp

Trwałość i niezawodność pracy silników, maszyn, urządzeń hydraulicznych i innych mechanizmów w dużej mierze zależy od jakości stosowanych w nich cieczy eksploatacyjnych.

Ciecze eksploatacyjne muszą spełniać wiele zadań, z których najważniejsze to: dostarczanie energii, smarowanie układów napędowych i pompowych, przenoszenie mocy w układach hydraulicznych, ochrona przed korozją oraz przenoszenie ciepła. Aby spełniać swoje funkcje ciecze te muszą mieć odpowiednie parametry jakościowe. Występowanie w cieczach eksploatacyjnych zanieczyszczeń mechanicznych bądź zanieczyszczeń biologicznych powoduje przyspieszone zużycie mechaniczne elementów urządzeń, korozję oraz różnego typu zakłócenia w ich prawidłowym działaniu. Prowadzi to do częstych awarii, powoduje przestoje i związane z tym straty finansowe.

Głównymi źródłami zanieczyszczeń stałych w cieczach eksploatacyjnych są zanieczyszczenia:

- powstałe w trakcie transportu,
- wnikające do układu poprzez nieszczelności,
- powstałe w wyniku utleniania się cieczy eksploatacyjnej,
- wynikające z wzajemnej współpracy elementów układu: tarcia, oddziaływania wysokiego ciśnienia oraz kontaktu oleju z elementami uszczelnienia.

Zanieczyszczenia, w zależności od ich wielkości, mogą w sposób znaczący wpływać na sprawność układów napędowych, przekładniowych czy hydraulicznych.

Największym zagrożeniem są zanieczyszczenia o wymiarach zbliżonych do wielkości szczelin współpracu-

jących ze sobą elementów. Zanieczyszczenia te mogą powodować powstawanie większych luzów, różnego rodzaju wycieki, uszkodzenia uszczelnień, opory ruchów, a w skrajnych przypadkach – zatarcia elementów. Ma to szczególne znaczenie w układach pracujących pod wysokim ciśnieniem.

Zanieczyszczenia stałe mogą znacznie różnić się między sobą, a ich podziału można dokonać według następujących kryteriów:

- wielkości cząstek,
- natury chemicznej (nieorganiczne, organiczne),
- twardości,
- reaktywności chemicznej,
- kształtu,
- rozpuszczalności w cieczy hydraulicznej,
- charakteru elektrycznego.

Po raz pierwszy ocenę stopnia zanieczyszczenia cieczy eksploatacyjnej wprowadzono dla olejów hydraulicznych w roku 1991. Opracowano wówczas normę ISO 4407:1994 [7], pozwalającą za pomocą mikroskopu określić poziom zanieczyszczenia oleju hydraulicznego.

Ciecz robocza w różnego rodzaju układach hydraulicznych jest nie tylko środkiem smarowym, ale również nośnikiem energii. Musi ona mieć odpowiedni poziom dodatków uszlachetniających, odpowiednią lepkość, odczyn i odpowiednio niski poziom zanieczyszczeń.

Współczesne układy hydrauliczne cechują się bardzo dużą dokładnością. Luzy technologiczne na tłoczkach pomp czy suwakach rozdzielaczy zaworów wynoszą zaledwie od 2 do 8 μm . Dokładne pasowanie elementów

stawia wysokie wymagania w zakresie czystości olejów hydraulicznych oraz systematycznego nadzoru ich właściwości. Nadmiernie zanieczyszczona ciecz hydrauliczna może powodować nieprawidłową pracę urządzeń oraz

prowadzić do przyspieszonego zużycia – niejednokrotnie bardzo drogich części. W układach pracujących pod wysokimi ciśnieniami już niewielkie luzy mogą powodować poważne awarie.

Zawartość zanieczyszczeń stałych w paliwach do silników Diesla

Specyfikacja olejów napędowych EN 590 w wymaganiach dla paliw do silników Diesla określa dopuszczalną ilość zanieczyszczeń, wyznaczoną masowo. Światowa Karta Paliw w wydaniu z 2006 r. [8] dla olejów napędowych kat. 1, 2 i 3 wprowadza dodatkowo wymagania dotyczące rozmiarów zanieczyszczeń paliw do silników z zapłonem samoczynnym, określając ich rozkład w klasach o wymiarach: powyżej 4 μm , powyżej 6 μm i powyżej 14 μm . Wymagania te związane są z nowymi zadaniami, jakie postawiono przed konstruktorami i użytkownikami silników z zapłonem samoczynnym.

Względy ekologiczne, a w szczególności wymóg zmniejszenia zużycia paliwa oraz obniżania toksyczności spalin, spowodował gwałtowny rozwój silników wysokoprężnych. Coraz częściej silniki z zapłonem samoczynnym wyposażane są w układy bezpośredniego wtrysku paliwa (*common rail*). Układy te posiadają bardzo precyzyjnie wykonane pompy i wtryskiwacze, w których pod dużym ciśnieniem (dla układów czwartej generacji powyżej 1600 barów) paliwo podawane jest bezpośrednio do komór spalania.

Wykonane precyzyjnie elementy aparatury wtryskowej są bardzo wrażliwe na jakość stosowanego paliwa. Szczególne znaczenie mają właściwości smarne oraz poziom zanieczyszczeń stałych w paliwie. Paliwo niespełniające wymagań w tym zakresie może w krótkim czasie spowodować uszkodzenia bardzo kosztownej aparatury wtryskowej.

Zastosowanie filtrów nie zawsze może zapobiec temu procesowi. Drobin zanieczyszczeń mechanicznych w dużej mierze zatrzymywane są w czasie przepływu paliwa przez filtry, jednak część tych drobin, których wymiary są mniejsze od średnicy porów filtra, swobodnie przez nie przechodzi, a następnie działa jak środek ścierny – rysując gładkie powierzchnie mechanizmów wtryskowych układu paliwowego. Dokładnie pasowane elementy pomp i wtryskiwaczy, przetwarzające paliwo pod bardzo dużym ciśnieniem, narażone są na wysokie obciążenia mechaniczne i cieplne, i dlatego wszelkiego rodzaju zanieczyszczenia stałe, które mogą się znaleźć w paliwie

są dla nich niezwykle niebezpieczne. Stosowanie paliwa zanieczyszczonego zazwyczaj kończy się uszkodzeniem lub radykalnym skróceniem żywotności kluczowego, a przez to bardzo drogiego osprzętu silnika. Obecnie, gdy na rynek wprowadzane są nowe formułacje paliw, a w szczególności paliwa z dodatkami biokomponentów oraz biopaliwa, problem ten może zacząć narastać.

Analiza źródeł pozwala na następujący podział zanieczyszczeń paliw do silników Diesla:

- produkcyjne – z instalacji rafineryjnych oraz wytwórni estrów,
- powstałe w wyniku transportu w cysternach i przechowywania w zbiornikach stacji paliw,
- dostające się z zewnątrz w trakcie napełniania układów lub w przypadku ich nieszczelności,
- powstałe w wyniku wzajemnej współpracy elementów układu tarcia, ciśnienia i temperatury (np. w trakcie przepompowywania paliwa),
- powstałe w wyniku oddziaływania z uszczelnieniami oraz przewodami elastomerowymi,
- powstałe w wyniku procesów utleniania w trakcie ich przechowywania,
- związane z korozyjną destrukcją powierzchni układów.

Światowa Karta Paliw, jako metodę badawczą określającą poziom zanieczyszczeń zaleca normę PN-ISO 4406:2005 [6], a jako normę do wyznaczania ilości zanieczyszczeń – normę PN-ISO 4407:1994 lub normy, w których skład granulometryczny wyznaczany jest metodą z wykorzystaniem automatycznego licznika cząstek, np. ISO 11500:1997 [3], ASTM D 6786-08 [1].

Normy ISO 4406 i ISO 4407 pierwotnie stosowane były jedynie w badaniach olejów hydraulicznych, a obecnie zostały również zaadaptowane do oceny paliw do silników wysokoprężnych.

Dla konstruktorów silników, jak również dla użytkowników pojazdów mechanicznych, znajomość rozkładu wielkości zanieczyszczeń w paliwie ma ogromne znaczenie, gdyż na jej podstawie można określić stopień zagrożenia uszkodzenia elementów osprzętu silnika.

Metody oznaczania i kodyfikacji zanieczyszczeń stałych

Czystość paliw do silników Diesla określa się oznaczając zawartość zanieczyszczeń metodą wagową, zgodnie z procedurą PN-EN 12662:2008 [5].

Analiza grawimetryczna polega na sączeniu w próżni (od 2 do 5 kPa) 800 mililitrowej próbki badanego paliwa przez uprzednio zważony filtr, o nominalnej średnicy porów 0,8 μm . Sączek z pozostałością przemywa się, suszy i waży. Zawartość zanieczyszczeń jest obliczana z różnicy mas sączków czystego i po filtracji. Wynik podawany jest w odniesieniu do masy analizowanej próbki, w mg/kg.

Specyfikacja olejów napędowych EN 590 w wymaganiach dla paliw do silników Diesla określa maksymalny poziom zanieczyszczeń stałych, oznaczonych zgodnie z ww. normą, jako równy 24 mg/kg.

Badanie to pozwala określić całkowitą ilość zanieczyszczeń stałych zawartych w danej partii paliwa, natomiast nie mówi nic o ich rozmiarach.

Wprowadzona w 2006 r. do Światowej Karty Paliw specyfikacja dla paliw do silników z zapłonem samoczynnym, dotycząca określania zawartości zanieczyszczeń, wymaga wykonania nie tylko badania grawimetrycznego, ale również granulometrycznego określenia klasy czystości. Badanie to wykonuje się zgodnie z normami ISO 4407 i ISO 4406.

Skład granulometryczny ocenia się na podstawie zliczania cząstek zanieczyszczeń o określonych wymiarach, przypadających na jednostkę objętości cieczy (najczęściej 1 ml lub 100 ml).

Metody polegające na zliczaniu cząsteczek zanieczyszczeń można podzielić na dwie grupy:

I. Badanie zawartości zanieczyszczeń pod mikroskopem.

Oznaczenie polega na przesączeniu określonej objętości cieczy (najczęściej 100 ml) przez odpowiedni sączek, pod określonym przez normę ciśnieniem. Odpowiednio przygotowany i wysuszony sączek poddaje się obserwacji pod mikroskopem, w celu zliczenia cząsteczek i pogrupowania ich na odpowiednie frakcje wymiarowe. Zliczanie odbywa się w ustalony przez normę sposób – tak, by analizowane fragmenty sączka były reprezentatywne dla całej jego powierzchni.

W analizie tej pomocne jest zastosowanie automatycznych programów analizujących obrazy odpowiednio wytypowanych fragmentów sączka, zarejestrowane za pomocą kamery cyfrowej [4].

W metodzie tej ważne jest odpowiednie przygotowanie aparatury badawczej, a w szczególności zestawu filtracyjnego – tak, by do badanej próbki nie wprowadzić dodatkowych zanieczyszczeń.

Osad na sączku musi być rozłożony równomiernie, aby analizowane fragmenty były reprezentatywne dla całej jego powierzchni.



Fot. 1. Mikroskop optyczny wyposażony w kamerę do automatycznej analizy klasy czystości (fot. INiG Kraków)

II. Badanie zawartości zanieczyszczeń przy użyciu automatycznego licznika cząstek.

Oznaczenie polega na pomiarze zmian natężenia strumienia świetlnego zatrzymywanego przez obecne w cieczy cząsteczki stałe. W trakcie badania ciecz przepływa przez układ pomiarowy czujnika. Następuje określenie wielkości i ilości cząstek zawieszonych w oleju. Wykorzystuje się metodę zliczania cząstek poprzez pomiar zmian natężenia emitowanego światła: albo przez odpowiednią żarówkę, albo laser. Nowoczesne urządzenia, przed pomiarem klasy czystości przeprowadzają efektywne przepłukanie miejsca pomiaru i czujnika pomiarowego oraz odgazowanie próbki, w celu usunię-



Fot. 2. Stacjonarny, automatyczny licznik cząstek do analizy klasy czystości (fot. INiG Kraków)

cia pęcherzyków gazu, mogących zafałszować wynik pomiaru. Ten typ przyrządu pozwala na automatyczną klasyfikację wielkości zanieczyszczeń.

Na podstawie wyniku zliczania cząstek (uzyskanego metodą mikroskopową lub za pomocą licznika cząstek) dokonuje się przyporządkowania oleju napędowego do odpowiedniej klasy czystości, zgodnie z systemem kodowania według ISO 4406. Następuje to poprzez przypisanie oznaczonej liczby cząstek do odpowiedniej klasy, obejmującej określony przedział wielkości zanieczyszczeń stałych.

Poziom czystości oleju napędowego według ISO 4406:2005 jest określany przez trzy umowne liczby, odpowiadające odpo-

wiednio liczbom cząsteczek o średnicach powyżej 4 μm , powyżej 6 μm i powyżej 14 μm w 100 ml badanej cieczy.

Paliwo spełnia wymagania stawiane przez Światową Kartę Paliw wówczas, gdy w badaniu uzyska kod co najwyżej 18/16/13, czyli w 100 ml cieczy nie może znaleźć się więcej zanieczyszczeń niż podano w tablicy 1.

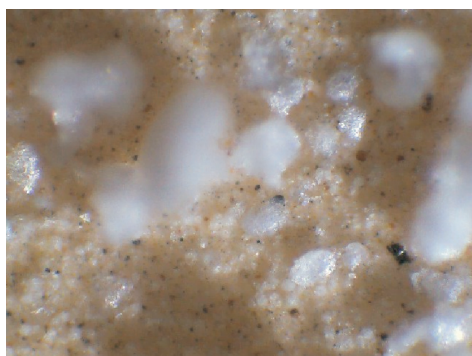
Tablica 1. Dopuszczalna liczba zidentyfikowanych zanieczyszczeń stałych w 100 ml cieczy

| Klasa czystości | Liczba zanieczyszczeń stałych w 100 ml cieczy | | |
|-----------------|---|-------------------------|--------------------------|
| | powyżej 4 μm | powyżej 6 μm | powyżej 14 μm |
| 18/16/13 | poniżej 2500 | | |
| | | poniżej 640 | |
| | | | poniżej 80 |

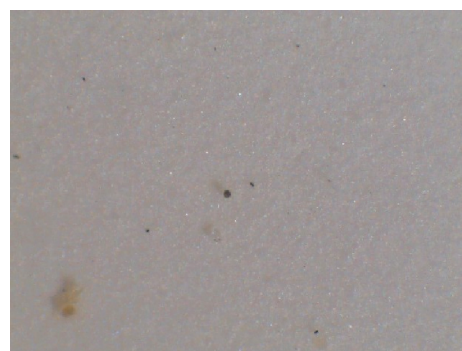
Badania laboratoryjne

Wykonano serię badań porównawczych paliw do silników z zapłonem samoczynnym, wykorzystując obie przedstawione wyżej metody oceny klasy czystości. Badania te wykazały, że mimo zastosowania bardzo różnych technik wyznaczania ilości zanieczyszczeń, otrzymane wyniki określające klasę czystości produktu są zbieżne lub porównywalne dla obu metod. Dodatkowo stwierdzono, iż pomimo spełnienia wymagań stawianych przez procedurę PN-EN 590 w zakresie zanieczyszczeń stałych oznaczanych metodą grawimetryczną, blisko połowa badanych paliw nie spełnia w tym względzie wymagań stawianych przez Światową Kartę Paliw.

Należy dodać, że część badanych paliw została pobrana na początku łańcucha dystrybucji i nie była narażona na kontakt z zanieczyszczeniami mogącymi pochodzić z cystern transportowych i zbiorników stacji paliw. Problem ten szczególnie widoczny jest dla olejów napędowych zawierających w swym składzie zwiększoną ilość FAME oraz dla biopaliw.



Fot. 3. Przykładowy obraz sączka po filtracji badanego w INiG biopaliwa. Ocena 22/19/15. Powiększenie $\times 100$ (fot. INiG Kraków)



Fot. 4. Przykładowy obraz sączka po filtracji badanego w INiG paliwa spełniającego wymagania Światowej Karty Paliw. Ocena 16/14/11. Powiększenie $\times 100$ (fot. INiG Kraków)

Na fotografiach 3 i 4 przedstawiono dwa fragmenty sączków, badanych w INiG paliw. Fotografia 3 przedstawia wygląd sączka uzyskanego po filtracji typowego, spełniającego wymagania paliwa do silników z zapłonem samoczynnym. Uzyskany wynik to 16/14/11. Ilość zanieczyszczeń jest znacząco niższa niż dopuszczona przez Światową Kartę Paliw. Fotografia 4 przedstawia fragment sączka po filtracji biopaliwa. Widać na niej znaczną ilość osadu. Uzyskany wynik 22/19/15 jest zdecydowanie wyższy od dopuszczalnego. Analiza mikroskopowa takiego sączka jest bardzo utrudniona, a czasami wręcz niemożliwa – ze względu na fakt, iż drobiny zanieczyszczeń zachodzą wzajemnie na siebie, tworząc jednolitą strukturę.

Z przeprowadzonych badań wynika, że w związku z coraz powszechniejszym stosowaniem biopaliw problem ten może narastać i należy go monitorować. Celowym wydaje się zainteresowanie nim zarówno producentów

i dystrybutorów paliw, jak również użytkowników pojazdów i korzystających z serwisów, gdyż wiedza na temat ilości i rodzaju zanieczyszczeń znajdujących się w paliwie jest kluczowa dla trwałości głównych elementów osprzętu silnika.

Fot. 5. Zużycie ścierno-adhezyjne wału napędowego pompy układu *common rail* silnika z zapłonem samoczynnym (fot. INiG Kraków)



Artykuł nadesłano do Redakcji 05.01.2010 r. Przyjęto do druku 15.02.2010 r.

Recenzent: doc. dr Michał Krasodomski

Literatura

- [1] ASTM D 6786-08 *Standard Test Method for Particle Count in Mineral Insulating Oil Using Automatic Optical Particle Counters.*
- [2] EN 590:2009 *Paliwa do pojazdów samochodowych. Oleje napędowe. Wymagania i metody badań.*
- [3] ISO 11500:2008 *Hydraulic fluid power – Determination of particulate contamination by automatic counting using the light extinction principle.*
- [4] *Mikroanalizator wersja 1.5.* Podręcznik użytkownika, Rzeszów 2007.
- [5] PN-EN 12662:2008 *Ciekłe przetwory naftowe. Zawartość zanieczyszczeń w średnich destylatach.*
- [6] PN-ISO 4406:2005 *Napędy i sterowania hydrauliczne. Zanieczyszczenia cieczy roboczej. Metoda kodowania poziomu zanieczyszczeń w postaci cząstek stałych.*
- [7] PN-ISO 4407:1994 *Napędy i sterowania hydrauliczne. Zanieczyszczenia cieczy roboczej. Wyznaczanie zanieczyszczeń w postaci cząstek stałych metodą zliczania za pomocą mikroskopu.*
- [8] *Światowa Karta Paliw*, wydanie z roku 2006.



Mgr inż. Dariusz SACHA – starszy specjalista badawczo-techniczny w Zakładzie Oceny Właściwości Eksploatacyjnych INiG Kraków. Prowadzi badania w zakresie oceny stabilności oksydacyjnej i odporności korozyjnej produktów naftowych oraz kompatybilności produktów naftowych z elastomerami.

ZAKŁAD OCENY WŁAŚCIWOŚCI EKSPLOATACYJNYCH

Zakres działania:

- badania właściwości użytkowych paliw silnikowych w testach stanowiskowych (LO, LC, Mercedes M102 i M111, Peugeot XUD9);
- oznaczanie stabilności oksydacyjnej biopaliw (test Rancimat);
- ocena właściwości użytkowych paliw i olejów smarowych w badaniach eksploatacyjnych;
- ocena wybranych, fizykochemicznych właściwości użytkowych paliw i środków smarowych (oddziaływanie na metale i elastomery, odporność na działanie wody, odporność na utlenianie, skłonność do pienienia, stabilność podczas przechowywania);
- ocena właściwości smarnych olejów napędowych (test HFRR) oraz środków smarowych i cieczy hydraulicznych;
- oznaczanie zanieczyszczeń paliw i środków smarowych;
- oznaczenia właściwości reologicznych olejów w szerokim zakresie temperatur (testy CCS, HTHS, MRV, Brookfield);
- ocena kompatybilności dodatków do paliw i olejów smarowych;
- ocena stopnia degradacji olejów smarowych w badaniach stanowiskowych i podczas eksploatacji u użytkownika;
- badania pasywnej regeneracji filtrów cząstek stałych na stanowisku z silnikiem o zapłonie samoczynnym.

Kierownik: dr inż. Stanisław Oleksiak

Adres: ul. Łukasiewicza 1, 31-429 Kraków

Faks: 12 617-74-40, 12 617-75-22

Telefon: 12 617-74-29

E-mail: stanislaw.oleksiak@inig.pl