

Zbigniew Stępień

Institut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

Ewolucja metodyki oceny zanieczyszczenia rozpylaczy silników o zapłonie samoczynnym

W artykule omówiono rozwój najważniejszych zatwierdzonych ogólnoeuropejskich metod silnikowych służących do oceny zanieczyszczenia rozpylaczy silników ZS. Przedstawiono ewolucję układów paliwowych silników ZS i ich skłonności do zanieczyszczania rozpylaczy wtryskiwaczy. Obszernie zostały opisane problemy związane z powstawaniem różnego rodzaju osadów wtryskiwaczy oraz czynniki sprzyjające ich tworzeniu. Wyjaśniono także, dlaczego rozwój technologii w zakresie układów wtrysku paliwa odgrywa zasadniczą rolę w spełnianiu sukcesywnie zaostrzanych przepisów ograniczających emisję szkodliwych składników spalin i w sprośnaniu wymaganiom użytkowników dotyczącym ciągłej poprawy osiągnów silników. Podkreślono duże znaczenie stałego rozwoju nowych testów silnikowych do monitorowania i oceny skłonności paliw dostępnych na rynku do tworzenia w układach wtryskowych osadów, które mają istotny wpływ na utratę właściwości użytkowo-eksploatacyjnych silników.

Słowa kluczowe: silniki Diesla, zanieczyszczenia rozpylaczy, zewnętrzne osady koksowe.

Evolution of the methodology for the evaluation of diesel engine nozzle fouling

The paper describes the development of the most important, approved, European engine tests for the evaluation of diesel engine nozzle fouling. Evolution of the diesel engine fuel injection equipment and their propensity for injector deposits formation were presented. The problems associated with various injector deposits and factors responsible for the formation of these deposits were discussed at length. Explained also, are why advancements in the technology of diesel injection systems have played an important role in the achievements of the successively tightened emission standards and user demands for steadily improving engine performance. Great importance for the constant development of new diesel engine tests to monitor and evaluate the propensity of fuels available on the market to form deposits in injection systems and which have a significant impact on the loss in designed performance has been emphasized.

Key words: Diesel engine, nozzle fouling, outside coking deposits.

Wstęp

Zjawisko tworzenia się osadów we wtryskiwaczach silnikowych układów wtryskowych jest znane od dawna. Szerokie rozpowszechnienie w latach 80. ubiegłego wieku w samochodach osobowych silników ZS z pośrednim wtryskiem paliwa ujawniło problem tzw. zakoksoywania otworków wylotowych rozpylaczy, co powodowało utrudniony ruch silnika, zmniejszenie mocy, zwiększenie dymienia oraz podwyższenie zużycia paliwa i emisji szkodliwych składników spalin [8, 12]. W tym czasie głównym czynnikiem wpływającym na rozwój i rozpowszechnianie się (zwłaszcza

w Europie) silników ZS były niższe ceny oleju napędowego względem cen benzyny, z czego wynikają mniejsze koszty eksploatacji takich jednostek napędowych. Jednak już w latach 90. ubiegłego wieku rozwój silników ZS (podobnie jak silników z zapłonem iskrowym) został całkowicie podporządkowany konieczności spełniania rozmaitych zaostrzonych norm prawnych i przepisów zakładających stopniowe ograniczanie emisji składników szkodliwych, dostających się wraz ze spalinami do atmosfery (w Europie znajduje to wyraz w kolejnych wydaniach przepisów „Euro”, ukazujących się

zazwyczaj co 4 lata). Regulacje te związane są wyzwaniem zarówno w zakresie nieustannego rozwoju konstrukcji samych silników, jak i technologii opracowywanych do nich paliw. W świetle stawianych obecnie wymagań podstawowe cele, jakim muszą sprostać konstrukcje silników, to: zmniejszenie emisji składników szkodliwych i CO₂, zagwarantowanie wysokich osiągnięć, przy równoczesnym znaczącym zmniejszeniu zużycia paliwa oraz wytwarzanego hałasu, a także wydłużenie okresów międzyobsługowych i utrzymywanie umiarkowanych kosztów produkcji takich jednostek napędowych. W konsekwencji, w ostatnich kilkunastu latach szczególny postęp nastąpił w rozwoju nieustannie zyskujących na popularności silników ZS typu HSDI (ang. *high speed direct injection*) i przejawiał się zasadniczo w innej organizacji oraz odmiennym sterowaniu procesem spalania, przede wszystkim dzięki zastosowaniu nowoczesnych, wysokociśnieniowych układów wtrysku paliwa w połączeniu z turbodoładowaniem i wykorzystaniem efektywnych, zintegrowanych ze sterowaniem silnika systemów recyrkulacji i oczyszczania spalin. Powszechnie uważa się, że wprowadzenie w drugiej połowie lat 90. XX wieku układów wtryskowych typu HPCR (ang. *high pressure common rail*) do szerokiego stosowania w silnikach ZS zapoczątkowało ich gwałtowny rozwój i zmieniło stereotypy odnoszące się do pracy silników oraz osiągnięć. Zatem kluczową rolę w osiągnięciu powyższych celów odegrał rozwój systemów wtrysku paliwa [12].

Wykorzystanie nowych technologii, w szczególności w układach wysokociśnieniowego wtrysku paliwa, ujawniło równocześnie ich dużą podatność na dysfunkcje i uszkodzenia, spowodowane między innymi niewystarczającymi dla tego typu konstrukcji właściwościami detergentów, produkowanych wówczas paliw. W tym miejscu należy podkreślić, że w przypadku silników z pośrednim wtryskiem paliwa, na wielkość i szybkość zakoksovania rozpylaczy wtryskiwaczy duży wpływ ma typ (konstrukcja) zastosowanego rozpylacza, natomiast w przypadku silników z bezpośrednim wtryskiem właśnie paliwo odgrywa kluczową rolę w tworzeniu przedmiotowych osadów koksowych. Charakterystyka pracy wysokociśnieniowych układów wtrysku paliwa spowodowała wyraźne zwiększenie udziału osadów wysokotemperaturowych, powstających na końcówkach rozpylaczy w przypadku nowoczesnych konstrukcji silników ZS. Wynika to przede wszystkim z małej średnicy otworów wylotowych rozpylaczy i bardzo wysokich temperatur, do jakich nagrzewają się ich końcówki podczas pracy silnika (często >300°C). Ponadto w przypadku współczesnych konstrukcji wysokociśnieniowych układów wtrysku paliwa, jak np. HPCR, śladowe zawartości niektórych pierwiastków metalicznych (nawet poniżej 1 ppm), stanowiących zanieczyszczenia w paliwie, mogą w znaczący sposób inicjować i przyspieszać procesy

zakoksovania rozpylaczy wtryskiwaczy. Warto podkreślić, że takie zjawiska występowały też w układach wtryskowych poprzednich generacji, nie miały jednak istotnego wpływu na ich poprawne funkcjonowanie ze względu na budowę i charakterystykę pracy tych konstrukcji.

Obecnie wielu producentów silników z wtryskiem bezpośrednim wskazuje, że zmniejszanie się efektywnego przekroju otworów wypływu paliwa z rozpylaczy na skutek procesu ich stopniowego zakoksovowania, a zatem zmniejszanie się hydraulicznego przepływu postępuje tak szybko, że już po około 100 godzinach pracy silnika, ilość paliwa dostarczanego do jego komór spalania zmniejsza się o około 15%, co prowadzi do ograniczenia mocy znamionowej silnika o około 5% i znacznego podwyższenia temperatury procesu spalania, z wszelkimi związanymi z tym konsekwencjami. W przypadku pracy silnika pod pełnym obciążeniem, już po około 20 godzinach może nastąpić dysfunkcja układu wtrysku paliwa, spowodowana zakoksovaniem rozpylaczy wtryskiwaczy, uniemożliwiająca dalsze działanie silnika.

Konieczność spełniania przyszłych, coraz bardziej zastrzyżonych przepisów, w zakresie sukcesywnego zmniejszania dopuszczalnych limitów emisji szkodliwych składników spalin z silników ZS, będzie bezpośrednio związana z dalszym rozwojem precyzyjnie działających systemów wysokociśnieniowego wtrysku paliwa i nim uwarunkowana. Ponadto należy wziąć pod uwagę ewolucję metod i testów służących do oceny przedmiotowej emisji, kładących coraz większy nacisk na dynamiczne warunki pracy silnika, nieustannie przybliżane do tych, jakie mają miejsce w rzeczywistej eksploatacji. W rezultacie postęp technologiczny w rozwoju układów wtrysku paliwa będzie ukierunkowany na zapewnienie coraz bardziej precyzyjnego, powtarzalnego odmierzenia zmniejszanych dawek paliwa wtrysku dzielonego, jego jak najlepszego rozdrobnienia podczas procesu wtrysku oraz modelowania kształtu i zasięgu strug, w zależności od przebiegu procesu spalania, a zatem warunków pracy silnika [2, 8, 12]. Równocześnie stałe dążenie do uzyskiwania coraz lepszych parametrów, w zakresie tak mocy jednostkowej, jak i zużycia paliwa, wymusza systematyczny techniczny postęp w aspekcie podnoszenia osiągnięć energetycznych silników, przejawiający się zarówno w rozwoju konstrukcji, jak i w zmianach stosowanych materiałów oraz sposobach i jakości ich obróbki. Optymalizacja procesów spalania w silniku, niezależnie od przyjętych kryteriów, jest bezpośrednio związana z tworzeniem mieszanki paliwowo-powietrznej. W tym aspekcie szczególnie znaczenia nabiera konieczność zapobiegania występowaniu w komorze spalania silnika niekontrolowanych obszarów o bogatszej mieszance paliwowo-powietrznej. Także w tym przypadku wysokociśnieniowy wtrysk paliwa odgrywa kluczową rolę, ponieważ umożliwia homoge-

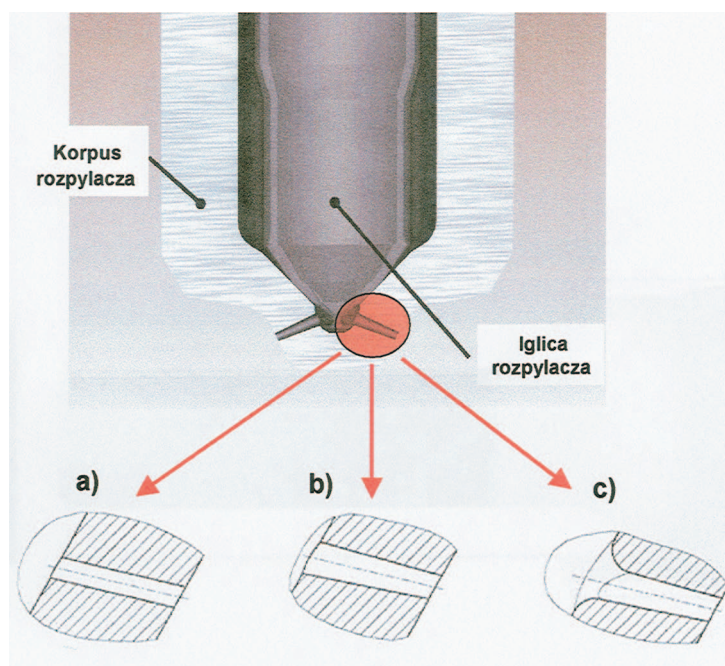
niczne wymieszanie wprowadzanego paliwa z powietrzem w komorach spalania poprzez dobre rozpylenie, a następnie rozproszenie jego kropelek w powietrzu, dzięki dużemu zasięgowi strug sprzyjających intensywnemu ruchowi ładunku. Jednak wykorzystanie pełnych możliwości technicznych nowoczesnych układów wtrysku paliwa, gwarantujących równocześnie utrzymywanie w czasie parametrów i osiągnięć silnika deklarowanych przez producenta, jest bezwzględnie związane z koniecznością ograniczenia do minimum osadów powstających w czasie eksploatacji na elementach funkcyjnych i wykonawczych układów wtryskowych.

Jednymi z najważniejszych, a zarazem najbardziej wrażliwych na zanieczyszczenia podzespołów układu wtrysku paliwa są wtryskiwacze, których typ i geometria zastosowanego rozpylacza mają istotny wpływ na kształtowanie i przebieg procesów spalania. Wykorzystane w układach typu HPCR środki techniczne, decydujące o ich zaletach, to przede wszystkim maksymalne ograniczenie średnicy otworków rozpylających paliwo i wysokie ciśnienie wtrysku paliwa. Przedmiotowe otworki stanowią wyloty kanalików, których kształt (geometria) ma zasadniczy wpływ na linie pola prądu przepływu i w konsekwencji na rozdrobnienie kropli paliwa oraz ich rozproszenie w ładunku powietrza, a następnie odparowanie. Dla uzyskania bardziej precyzyjnego i stabilnego wtrysku paliwa, krawędzie wlotowe kanalików są zaokrąglane za pomocą szlifowania przepływowego z zastosowaniem specjalnej cieczy, a zatem przy wykorzystaniu obróbki elektroerozyjnej [12].

Ukształtowanie końcówki rozpylacza, ciśnienie wtrysku paliwa, warunki środowiska, do którego wtryskiwane jest paliwo, oraz właściwości samego paliwa są decydującymi czynnikami, wpływającymi na charakterystykę wtrysku, natomiast geometria otworu wypływu paliwa oddziałuje na procesy turbulencji, kawitacji i przestrzenny rozkład prędkości strumienia paliwa wewnątrz rozpylacza [12]. Geometria kanalików wypływu paliwa ma też decydujący wpływ na występowanie procesu kawitacji, prowadzącego do ich uszkodzeń. Proces ten przebiega w zamkniętych przestrzeniach na przewężeniach lub zagięciach, gdzie następują lokalne zmiany prędkości przepływu paliwa, co powoduje zmiany ciśnienia. W przypadku pojawienia się przy ścianie przewodu obszarów podciśnienia dochodzi do odparowania cieczy i wytworzenia pęcherzyków pary. Powstałe na skutek kawitacji pęcherzyki gazu mogą powodować nieprawidłową pracę układu wtryskowego, a ponadto ulegać implozji w obszarze powstawania, ale także w dalszych częściach układu wtryskowego, gdzie zostały przeniesione wraz z paliwem. Implozji towarzyszy wydzielenie dużej ilości energii i jeśli nastąpi to w pobliżu ściany przewodu, pojawia się wżer

kawitacyjny. Występowanie kawitacji wzdłuż kanalika paliwowego może zostać zminimalizowane poprzez wykonanie otworów stożkowych (rysunek 1).

Zaokrąglenie krawędzi na wlocie kanalika paliwowego o kształcie stożkowym prowadzi do podwyższenia prędkości i sprawności niezaburzonego przepływu paliwa oraz zwiększenia zasięgu wypływającej strugi – a zatem do poprawy warunków przepływu. Powyższy opis dotyczy techniki konstrukcji i obróbki wtryskiwaczy, wymaganych i stosowanych w układach wtrysku paliwa typu HPCR. W przypadku wtryskiwaczy układów poprzedniej generacji (np. czopikowych), stosowano ostre krawędzie na wlocie do kanalików zakończonych otworkami wtryskującymi paliwo, co było wykorzystywane do wywoływania kontrolowanego zjawiska zawirowań i turbulencji strugi paliwa, a nawet ograniczonej kawitacji, przyczyniającej się do oczyszczania otworków z powstających wewnątrz nich osadów.



Rys. 1. Ewolucja geometrii kanalików rozpylaczy paliwa układu HPCR

a) kanalik cylindryczny, b) kanalik stożkowy, c) kanalik stożkowy o zaokrąglonej krawędzi na wlocie paliwa

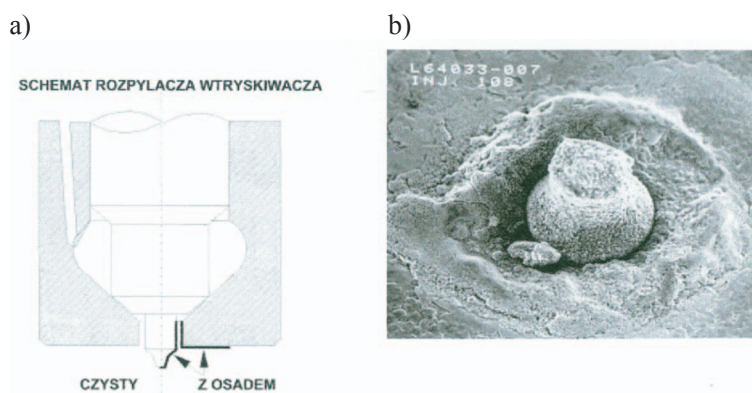
Duża złożoność i precyzja współczesnych jednostek napędowych wymagają stosowania dobrej jakości płynów eksploatacyjnych, w tym paliw i olejów smarowych, oraz ich wzajemnej kompatybilności. Niestety, w dalszym ciągu niedostateczna korelacja rozwoju technologii produkcji paliw z wymaganiami nowoczesnych jednostek napędowych, zwłaszcza z ZS, sprzyja występowaniu niekorzystnych zjawisk, w tym tworzeniu się różnego rodzaju osadów, często prowadzących do awarii w szczególności układów wysokieciśnieniowego wtrysku paliwa.

We współczesnych wysokociśnieniowych układach wtrysku paliwa typu HPCR, charakteryzujących się wyżej opisanymi, bardzo małymi (o średnicy rzędu 0,05 mm do 0,12 mm) otworkami rozpylającymi paliwo, znajdującymi się w końcowej części rozpylacza narażonej na oddziaływanie wysokich temperatur procesów spalania, występuje podwyższone ryzyko ograniczenia natężenia wypływu i zniekształcenia strugi rozpylanego paliwa. Rozpylacze muszą gwarantować odpowiednią chwilę i czas otwierania oraz wtrysku paliwa do komór spalania. W stanie zamkniętym nie mogą wykazywać przecieków, które mogłyby niekorzystnie wpływać na emisję szkodliwych składników spalin z silnika i na zwiększenie zużycia paliwa oraz prowadzić do zakoksovania i zniekształcenia wypływu strug paliwa z otworów ich końcówek, co zaburzałoby proces rozpylania paliwa.

Ocena zakoksovania rozpylaczy wtryskiwaczy silnika Diesla z wtryskiem pośrednim – metoda CEC F-23-01 (Peugeot XUD9 A/L)

W pierwszej połowie lat 90. ubiegłego wieku zaobserwowano narastające zjawisko pogarszania się parametrów trakcyjnych i utrudnionego rozruchu silników ZS z pośrednim wtryskiem paliwa, jaki dominował wówczas w jednostkach napędowych samochodów osobowych i dostawczych [11]. Bezpośrednią tego przyczyną było intensywnie zachodzące zjawisko zanieczyszczania końcówek rozpylaczy poprzez ich zakoksovowanie, co prowadziło do jakościowych i ilościowych zaburzeń w procesie dostarczania paliwa do komory wstępnej i wynikającymi stąd opisanymi skutkami.

Zakoksovowanie jest procesem odkładania się osadów węglowych w rozpylaczu. Osady te powstają między iglicą rozpylacza czopikowego, jego korpusem oraz gniazdem iglicy (rysunek 2a) i są potencjalną przyczyną niekorzystnych zmian osiągow silnika [11].



Rys. 2. Osady na rozpylaczach wtryskiwaczy
a) rozmieszczenie, b) widok osadów

Potrzeba rozwiązania przedstawionych problemów doprowadziła do opracowania, a następnie wprowadzenia

By jednak spełnić te wszystkie wymagania, będące warunkiem koniecznym poprawnego funkcjonowania układów typu CR, należy rozwiązać problem osadów powstających na ściankach kanałów rozpylaczy, spowodowanych przede wszystkim złą jakością paliwa.

Opisane wyżej zjawiska i narastająca potrzeba ich ograniczenia, a obecnie nawet zapobiegania im, spowodowały konieczność rozwoju odpowiednich metod badawczych. W warunkach testów silnikowych metody te pozwalają na odtwarzanie przedmiotowych procesów w warunkach symulowanych, a równocześnie umożliwiają ocenę paliw, w szczególności ich właściwości detergentowych, w zakresie tendencji do tworzenia takich zjawisk. W miarę rozwoju konstrukcji silników i technologii produkowanych paliw, techniki te ewoluują w kierunku wynikającym z aktualnych potrzeb.

przez CEC (Coordinating European Council – organizacja europejskich stowarzyszeń przemysłowych, w tym ACEA, ATIEL, ATC i CONCAWE) w 1995 r. procedury testowej CEC F-23-X-95. Było to rozwiązanie eksperymentalne, które zakładało prowadzenie testu w warunkach zmiennych parametrów pracy silnika, symulujących eksploatację pojazdu w mieście. Czas trwania testu wynosił 6 godzin. Dalsze prace grupy roboczej CEC PF-023 doprowadziły do wprowadzenia istotnych zmian w projekcie tej procedury badawczej, w tym do wydłużenia czasu testu do 10 godzin oraz wykorzystania dwóch paliw wzorcowych do regulacji i sprawdzenia silnikowych stanowisk badawczych. Po przeprowadzeniu w 1999 r. międzynarodowych badań okrężnych i zatwierdzeniu wspomnianych wcześniej zmian – nowej wersji procedury nadano oznaczenie CEC F-23-T-00, czyli przyznano jej równocześnie status metody tymczasowej. Stwierdzono ponadto, że w porównaniu do poprzedniego 6-godzinnego testu, wydłużenie czasu jego trwania doprowadziło do znacznie lepszej rozróżnialności badanych paliw oraz poprawiło precyzję uzyskiwanych wyników. Równocześnie już w wymaganiach podanych wówczas w *Światowej Karcie Paliw* (kwiecień 2000 r.) wskazywano powyższą metodę, jako najważniejszy test silnikowy, odnoszący się do olejów napędowych w zakresie oceny ich skłonności do zanieczyszczania rozpylaczy wtryskiwaczy. W 2001 r. dokonano dalszych istotnych modyfikacji procedury badawczej, w tym wprowadzono precyzyjne zalecenia i sposób regulacji kąta wyprzedzenia wtrysku. W rezultacie przeprowadzenia kolejnych badań okrężnych w 2001 r. procedura

uzyskała status metody zatwierdzonej i oznaczenie CEC F-23-01 (*Procedure for Diesel Engine Injector Nozzle Coaking Test*), pod którym występuje do dnia dzisiejszego.

Przedmiotowa procedura została przygotowana w celu oceny jakości olejów napędowych, bez dodatków uszlachetniających i z pakietem takich dodatków, pod kątem ich skłonności do zakoksowania rozpylaczy wtryskiwaczy nowoczesnego (wówczas) silnika ZS z wtryskiem pośrednim. Jako aparat badawczy stosuje się w tym przypadku zamontowany na stanowisku testowym seryjny 4-cylindrowy silnik Peugeot XUD9 A/L (OHC, 2 VPC), o objętości skokowej 1,9 dm³, mocy maksymalnej 47 kW przy 4600 obr./min i maksymalnym momencie obrotowym 118 Nm przy 2000 obr./min. Silnik uruchamia się na 10 godzin i utrzymuje w warunkach pracy cyklicznej, symulującej sytuację jazdy miejskiej. Parametry pracy silnika w kolejnych czterech fazach cyklu,

podane w konwencji: nr fazy/czas/prędkość obr. silnika/obciążenie-moment obr., są następujące [11]:

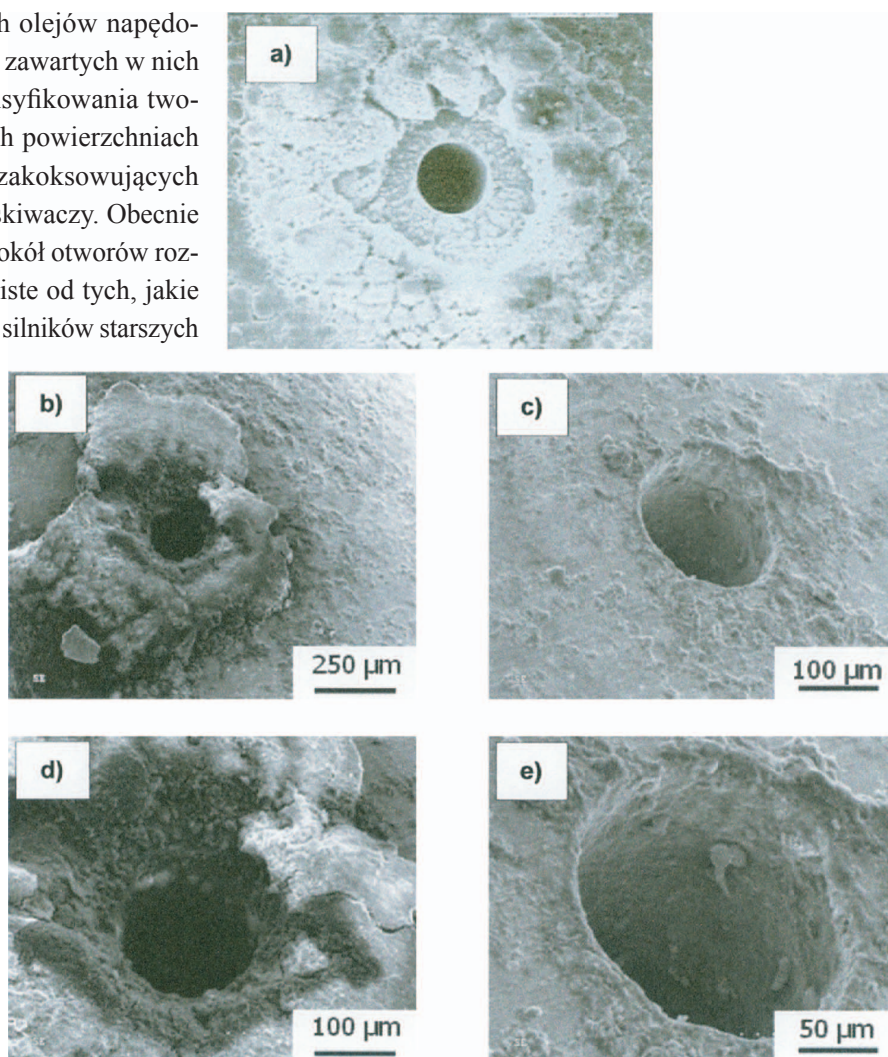
- I/30 s/1200 obr./min/10 Nm;
- II/60 s/3000 obr./min/50 Nm;
- III/60 s/1300 obr./min/35 Nm;
- IV/120 s/1850 obr./min/50 Nm.

Skłonność badanego paliwa do zakoksowywania rozpylaczy (rysunek 2b) wyraża się w postaci zmniejszenia natężenia przepływu powietrza (w procentach) przez rozpylacz przy wielkościach wzniosu iglicy 0,10 mm, 0,20 mm i 0,30 mm. Obecnie obowiązujące wydanie *Światowej Karty Paliw* (wrzesień 2013 r.) wymaga, aby w przypadku olejów napędowych kategorii 2 do 5 maksymalny spadek przepływu powietrza przez wtryskiwacz po przeprowadzonym teście XUD9 nie był większy niż 85%, podczas gdy producenci paliw oczekują już spadku nie większego niż 60%, a nawet niższego (poniżej 30%).

Ocena zanieczyszczenia wtryskiwaczy silnika Diesla z bezpośrednim wtryskiem paliwa – metoda CEC F-98-08 (Peugeot DW10)

Rozpowszechnienie niskosiarkowych olejów napędowych i systematycznie wzrastający udział zawartych w nich biokomponentów doprowadził do zintensyfikowania tworzenia osadów, zarówno na wewnętrznych powierzchniach elementów pomp i wtryskiwaczy, jak i zakoksowujących otwory dozujące paliwo rozpylaczy wtryskiwaczy. Obecnie obserwowane osady węglowo-koksowe wokół otworów rozpylaczy układów HPCR są bardziej ziarniste od tych, jakie powstawały na rozpylaczach wtryskiwaczy silników starszych generacji (z pośrednim wtryskiem paliwa, np. Peugeot XUD9 A/L). Badania mechanizmu formowania przedmiotowych osadów, przeprowadzone zarówno w ośrodkach zagranicznych – rysunek 3a [1], jak i w INiG – PIB – rysunki 3b, c, d, e [1, 12], wykazały, że w miarę upływu czasu narastają one, tworząc wokół otworka coraz grubszą warstwę. Ich topografia wskazuje równocześnie, że co pewien czas, zależny od składu paliwa i warunków pracy silnika (temperatury części rozpylacza znajdującej się w obszarze procesów spalania w komorze silnika), ich część bezpośrednio sąsiadująca z krawędzią otworka ulega wykruszeniu i w to miejsce powstają nowe.

Dodatkowym czynnikiem stwarzającym potencjalne zagrożenie dla silników ZS, a w szczególności ich układów zasilania (zwłaszcza typu *common rail*



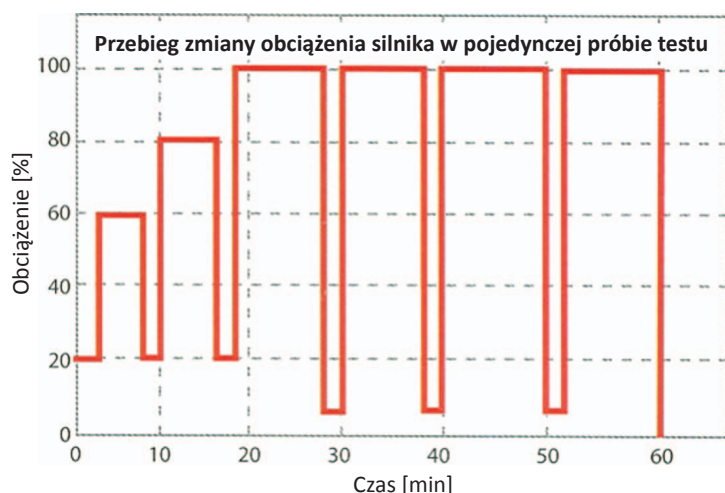
Rys. 3. Zdjęcia osadów uformowanych w obszarze otworów wylotowych rozpylaczy CR

i pompowtryskiwaczy), jest eksploatacja na biopaliwach. Paliwa tego rodzaju, poza wieloma niewątpliwymi, ogólnie znanymi zaletami, odznaczają się szeregiem niekorzystnych właściwości, z punktu widzenia współdziałania z tradycyjnym silnikiem spalinowym, w tym między innymi niską stabilnością oraz sprzyjaniem powstawaniu kwasów o niskiej masie cząsteczkowej, które znacznie przyspieszają tworzenie osadów koksowych w obszarze rozpylaczy wtryskiwaczy układu zasilania silnika.

Do smarowania współczesnych układów wtrysku paliwa wykorzystywane jest przepływające paliwo. Wytwarzane obecnie oleje napędowe zawierają rozmaite komponenty kwasowe. W różnym stopniu nienasycone kwasy tłuszczowe są powszechnie używane jako dodatki smarowościowe. Jak wykazano, takie kwasy łatwo reagują z jonami metali, stanowiącymi zanieczyszczenie paliwa, formując mydła i osady. Dla przykładu mydła kwasów tłuszczowych zawierające cynk powodują, między innymi, odkładanie się osadów zakoksowiających otwory wylotowe rozpylaczy wtryskiwaczy [3, 13]. Opisana sytuacja doprowadziła do konieczności opracowania w ramach CEC nowej, ogólnieuropejskiej metodyki badawczej, służącej do oceny tendencji paliw silnikowych do tworzenia koksowych osadów we wtryskiwaczach wyżej scharakteryzowanej nowej generacji silników ZS typu HSDI. Dodatkowym czynnikiem mobilizującym do takich działań były napływające z serwisów samochodowych i od użytkowników doniesienia wskazujące na zwiększoną tendencję do zakoksowywania rozpylaczy wtryskiwaczy w nowoczesnych silnikach Diesla, wyposażonych w bezpośredni, wysokociśnieniowy wtrysk paliwa, współdziałający z dostępnymi na rynku paliwami. W 2001 r. została zawiązana grupa robocza CEC TDG-F-035, której zadaniem było opracowanie, a następnie wdrożenie procedury badawczej *Deposit Forming Tendencies In High Speed Direct Injection Diesel Engines*. Niestety, kilkuletnie prace tej grupy nie doprowadziły do opracowania pełnowartościowej metodyki badawczej w zakresie dostatecznej powtarzalności uzyskiwanych wyników oceny wielkości zakoksowywania rozpylaczy wtryskiwaczy, a co za tym idzie możliwości klasyfikowania paliw pod kątem przedmiotowej właściwości. Niedoskonała (wymagająca dalszego rozwoju) metodyka, którą w konsekwencji opracowano, ale nie wdrożono do powszechnego stosowania, pozwoliła jednak na pozyskanie wielu bardzo cennych doświadczeń w zakresie problemów wymagających rozwiązania podczas dalszych prac rozwojowych. Opracowana w ramach działalności powyższej grupy roboczej metodyka badawcza została zawarta w raporcie CEC RDD 06-02. W tym samym czasie podobne testy typu *in-house* opracowały firmy Siemens (VDO) i PSA, która zgłosiła do CEC propozycję rozważenia swojej metody jako alternatywnej dla opracowywanej przez grupę roboczą

CEC TDG-F-035. W konsekwencji CEC zdecydowało o zamknięciu grupy roboczej CEC TDG-F-035 (kwiecień 2006 r.) i powołaniu w jej miejsce grupy roboczej CEC TDG-F-098 (luty 2006 r.), do rozwoju metodyki zaproponowanej przez PSA. Przedłożony przez PSA projekt metody oceny zakoksowywania rozpylaczy wtryskiwaczy w nowoczesnych silnikach z zapłonem samoczynnym uznano za łatwiejszy i mniej kosztowny w realizacji, a zarazem stwarzający większe szanse pomyślnego zakończenia. Jako aparat badawczy przyjęto silnik typu HSDI, a konkretnie Peugeot DW10 z rodziny HDi, spełniający wymagania Euro 4 w zakresie emisji szkodliwych składników spalin. Jest to turbodoładowana jednostka 4-cylindrowa o objętości skokowej 2,0 dm³, z rozrządem DOHC, 4 VPC, rozwijająca moc maksymalną 100 kW, zasilana układem wtrysku paliwa typu *common rail* o maksymalnym ciśnieniu wtrysku 1600 bar. W układzie wtryskowym zastosowano wtryskiwacze firmy Siemens VDO (obecnie Continental), spełniające wymagania Euro 5, o sześciu otworkach wylotowych o średnicy 0,11 mm. Charakteryzują się one szczególnie dokładną obróbką wykańczającą wewnętrznych, stożkowych kanalików otworków wylotowych o małym współczynniku stożkowatości CD (ang. *cone factor*). Krawędzie na wlocie do kanalików zostały zaokrąglone za pomocą obróbki hydroerozyjnej, w celu ograniczenia procesów kawitacji. Takie kanaliki zapewniają wysoką sprawność przepływu rozpylanego paliwa, ale w połączeniu z małą średnicą i wysoką temperaturą, do jakiej nagrzewają się końcówki rozpylaczy, w których te kanaliki są umieszczone, mogą sprzyjać powstawaniu osadów na ich wewnętrznych ściankach, co będzie stopniowo zwiększało straty przepływu hydraulicznego [2]. Tendencja wzrostu szybkości tworzenia osadów jest dodatkowo wzmocniona poprzez ograniczenie procesów kawitacji sprzyjających „samoczyszczaniu” otworków rozpylaczy [3]. Podstawą wieloetapowego testu silnikowego jest jednogodzinny, 12-fazowy, powtarzalny cykl, opisujący przebieg zmian obciążenia i prędkości obrotowej silnika (rysunek 4). W celu zintensyfikowania procesów zakoksowywania rozpylaczy wtryskiwaczy – w cyklu założono pracę silnika przy bardzo wysokich lub maksymalnych prędkościach obrotowych i obciążeniach. Przyjęcie takiego założenia wynika z trzech najistotniejszych czynników powodujących powstawanie i wzrost osadów we wtryskiwaczach układów HPCR nowoczesnych silników typu HSDI, tj.: kształtu kanalików wtrysku paliwa, temperatury końcówki wtryskiwacza i zanieczyszczeń znajdujących się w paliwie (Zn).

Na początku testu powyższy, jednogodzinny cykl zmiennych obciążeń i prędkości obrotowych silnika jest powtarzany 16 razy w celu „ulożenia” się – dotarcia wtryskiwaczy przy użyciu paliwa wzorcowego (DF-79-07). Paliwo to nie

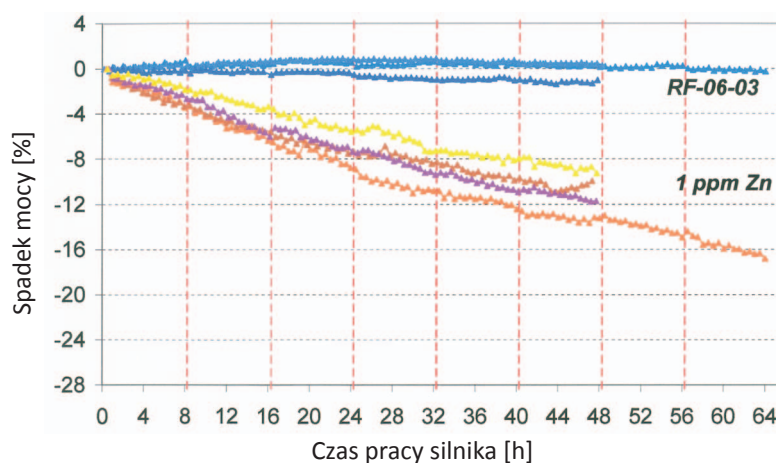


Rys. 4. Wykres zmian obciążenia silnika Peugeot DW10 w pojedynczym, jednogodzinnym cyklu

zawiera dodatków uszlachetniających ani śladów Zn i nie powoduje widocznego spadku mocy po 32 godzinach pracy silnika, a nawet po okresie dłuższym (rysunek 5). Następnie, już z wykorzystaniem poddawanego badaniom paliwa zawierającego 1 ppm Zn, cykl zostaje powtórzony osiem razy, z tym że po każdym pojedynczym (jednogodzinnym) cyklu mierzy się i rejestruje moc silnika. W kolejnym, czterogodzinnym etapie testu silnik zostaje wyłączony, a elementy układu paliwowego poddawane są oddziaływaniu paliwa zawartego w układzie. W dalszym ciągu procedury zestaw ośmiu jednogodzinnych cykli badawczych silnika wraz z następującym po nim czterogodzinnym okresem oddziaływania paliwa na elementy układu paliwowego jest powtarzany jeszcze dwa razy, a test kończy kolejne ośmiokrotne powtórzenie jednogodzinnego cyklu pracy silnika w zmiennych warunkach obciążenia i prędkości obrotowej. W rezultacie, w tym 60-godzinnym teście czas rzeczywistej pracy silnika (pomijając okres docierania wtryskiwaczy) wynosi 32 godziny (monitorowanych zmian mocy silnika), a czas oddziaływania paliwa na elementy układu paliwowego przy wyłączonym silniku jest równy 12 godzin. W przedmiotowej metodyce kryterium oceny wielkości zakoksovania rozpylaczy stanowi spadek mocy maksymalnej, mierzonej na początku i po zakończeniu testu [10]. W konsekwencji, w ten sposób badane paliwo (z dodatkiem detergentowym i zawierające 1 ppm Zn) w teście określanym jako *keep clean* nie powinno powodować większego spadku mocy niż maksymalnie 2%. Można też prowadzić dwuetapowe badanie oceny detergentowych właściwości paliwa, w którym w pierwszej fazie (*dirty up*) silnik zasilany jest testowanym paliwem (np. zgodnym z wymaganiami EN 590, jednak bez dodatku detergentowego,

ale zawierającym 1 ppm Zn), a po osiągnięciu założonej wielkości spadku mocy, w drugiej części testu (*clean up*) – tym samym paliwem, jednak z dodatkiem ocenianego dodatku detergentowego. W przypadku wzorcowania silnika (oceny jego czułości), poza paliwem DF-79-07, stosuje się także paliwo zawierające dodatek 1 ppm Zn, które po 32 godzinach pracy silnika powinno spowodować spadek jego mocy rzędu 8÷12% (rysunek 5). W najnowszym wydaniu *Światowej Karty Paliw* (wrzesień 2013) test CEC F-98-08 przejmuje rolę podstawowego w ocenie właściwości detergentowych olejów napędowych w kategoriach 4 i 5.

Kilkuletnie prace doprowadziły ostatecznie do wdrożenia w czerwcu 2008 r. wstępnego opracowania ogólnoeuropejskiej metodyki badawczej, opisaną procedurą pt. *Development of Peugeot DW10 Direct Injection Diesel Nozzle Fouling Test* i oznaczonej jako CEC F-98-08. Aktualnie jest to jedyny znormalizowany test tego typu na świecie.



Rys. 5. Wielkość spadku mocy silnika w zależności od czasu jego pracy w przypadku zasilania paliwem wzorcowym DF-79-07 niezawierającym i zawierającym 1 ppm Zn

Należy jednak zaznaczyć, że powyższa metoda osiągnęła dopiero pierwszy stopień rozwoju, ma wiele ograniczeń i wymaga dalszych, szeroko zakrojonych prac badawczo-rozwojowych, w celu osiągnięcia pełnych możliwości dokonywania precyzyjnych ocen różnorodnych paliw, zwłaszcza z biokomponentami i stosowanymi do nich dodatkami, w zakresie ich tendencji do zakoksovowania wtryskiwaczy silników HSDI. O tym, jak trudny dla silnika i kosztowny jest to test, świadczą analogie do parametrów eksploatacyjnych pojazdu (w tym przypadku samochodu Peugeot 407, gdzie stosowany jest taki typ silnika), który przy założeniu pracy silnika określonej w teście przejechałby w czasie równym jego trwaniu 6900 km przy średniej prędkości 143 km/h i średnim zużyciu paliwa 17,4 dm³/100 km [7, 10]. Należy

podkreślić, że uzyskanie niezbędnej (według procedury CEC F-98-08) czystości wtryskiwaczy nowoczesnych układów wtrysku paliwa wymagało opracowania zupełnie nowych, pod względem chemicznym, dodatków detergentowych do paliw, które nie zawsze spełniają równocześnie wymagania

stawiane przez starsze konstrukcje układów wtryskowych (test CEC-F-23-01). Stwarza to dodatkowe wyzwania dla producentów dodatków uszlachetniających paliwa, stosowanych zarówno do pojazdów starszej, jak i nowej generacji, jakie są eksploatowane na rynku.

Przyszłe metody badań osadów wtryskiwaczy silników Diesla

Od około 2008 r. zaczęto obserwować na całym świecie niepokojąco zwiększającą się liczbę awarii układów HPCR, a w konsekwencji silników, związanych z powstawaniem osadów na wewnętrznych elementach tych układów. Przeprowadzone analizy chemiczne wykazały, że osady te mają odmienny skład od dotychczas badanych osadów koksowych wewnątrz kanalików i wokół otworków wylotowych rozpylaczy [4, 5, 9, 14]. Stwierdzono też, że czynniki powodujące powstawanie tej nowej grupy osadów, nazwanych osadami wewnętrznymi układów wtryskowych silników Diesla (IDID – z ang. *internal diesel injector deposit*), i warunki sprzyjające ich przyrostowi są zupełnie inne aniżeli w przypadku osadów koksowych. Jak już wcześniej wspomniano, obecnie wytwarzane oleje napędowe zawierają rozmaite komponenty kwasowe. Od dłuższego czasu wiadomo, że sole karboksylowe i polarne związki o niskiej masie cząsteczkowej znacznie słabiej rozpuszczają się w niskosiarkowych olejach napędowych aniżeli w dawniej stosowanych wysokosiarkowych. To w połączeniu z warunkami panującymi wewnątrz wtryskiwaczy układów HPCR sprzyja tworzeniu osadów wewnętrznych. Dla przykładu, sodowe mydła kwasów tłuszczowych są słabo rozpuszczalne w oleju napędowym, a zatem mogą wzmacniać tendencje do tworzenia wewnętrznych osadów we wtryskiwaczach. Coraz większy udział FAME w olejach napędowych wpływa na zwiększenie zawartości sodu w paliwie, ponieważ metal ten jest składnikiem typowych katalizatorów stosowanych w reakcjach transestryfikacji. FAME mogą dodatkowo sprzyjać tworzeniu osadów typu IDID poprzez obecne w nich kwasowe zanieczyszczenia powstałe podczas produkcji FAME oraz zanieczyszczenia, których źródłem jest autokatalityczny podział estrów tłuszczowych z udziałem jonów metali. Powstałe w ten sposób osady mogą powodować sklejanie powierzchni ruchowo współpracujących ze sobą elementów [4, 5, 9, 14] i intensyfikować procesy korozyjne. W USA, Danii i Francji zaobserwowano, że sole sodowe, zazwyczaj w postaci azotynów (NaNO_2), używane jako inhibitory korozji w rurociągach do przesyłu paliw już przy zawartości powyżej 0,1 mg/kg w paliwie mogą wchodzić w reakcje z kwasami tłuszczowymi stanowiącymi dodatki smarowości, tworząc sodowe mydła kwasów tłuszczowych [14]. Podobnie chlorek sodowy, stosowany jako czynnik osuszający podczas produkcji oleju napędowego, może przedostawać się do paliwa

na etapie jego produkcji i w połączeniu z kwasami tłuszczowymi tworzyć mydła wytrącane w postaci IDID. Generalnie sodowe mydła kwasów tłuszczowych są słabo rozpuszczalne w oleju napędowym, dlatego też łatwo rozdzielają się z nim i przywierają do wewnętrznych powierzchni elementów roboczych podzespołów układu wtrysku paliwa w postaci osadów o jasnej, białoszarej barwie.

W krajach europejskich częściej obserwowane są IDID tworzone z polimerów organicznych. Osady te mają postać lepkich, brązowych laków pokrywających wewnętrzne powierzchnie elementów układów HPCR, a ich skład chemiczny jest zupełnie odmienny od wyżej opisanych mydeł. Nie zawierają one jonów metalicznych. Powstają na skutek reakcji powszechnie stosowanych dodatków detergentowych do olejów napędowych w postaci poliizobutylenowego imidu kwasu bursztynowego (PIBSI – ang. *polyisobutylene succinimide*) z kwasem mrówkowym, inhibitorami korozji lub dodatkami smarowościowymi stanowiącymi monomery bądź dimery kwasów tłuszczowych.

W obecnie wykorzystywanych układach typu HPCR ciśnienie wtrysku paliwa sięga 2000 bar, a nawet 2200 bar, a ilość odmierzanego, a następnie wtryskiwanego paliwa w przypadku silnika do samochodu osobowego mieści się w zakresie od 1 mm³ (dawka wstępna – pilotująca) do 40 mm³ (dawka przy pełnym obciążeniu silnika). Równocześnie czas wtrysku dawki paliwa to 1÷2 milisekundy, co w przypadku strategii wtrysku wielokrotnego (wielofazowego) oznacza wykonanie do 10 000 wtrysków/minutę [3, 7, 10]. Nie są to jednak pełne możliwości układów wtrysku paliwa, bowiem najszybsze stosowane wtryskiwacze elektromagnetyczne uzyskują czas otwarcia równy 0,303 ms, a coraz szerzej wykorzystywane wtryskiwacze piezoelektryczne – do 0,1 ms. Biorąc pod uwagę powyższe parametry użytkowe wtryskiwaczy i wymaganą, bardzo wysoką dokładność wykonania (luz pomiędzy obudową rozpylacza i poruszającą się w nim walcową, prowadzącą częścią iglicy wynosi około 1 μm), związaną z bardzo wysokimi ciśnieniami wtrysku paliwa, wszelkie osady wewnętrzne na powierzchniach współpracujących elementów roboczych mają szkodliwy wpływ na działanie całego zespołu. IDID spowalniają szybkość działania wtryskiwaczy (tzw. czas przesterowania) i skleją (unieruchamiają) współpracujące ze sobą ich elementy

robotyczne, co prowadzi do utraty kontroli nie tylko w zakresie ilościowego i jakościowego tworzenia dawki paliwa, ale także jej podziału i okresu wtryskiwania w czasie. IDID wpływają też na niekontrolowane zaburzenia profilu zmian ciśnienia wielofazowego wtrysku paliwa poprzez osadzanie się na zworach i kotwicach elektromagnesów sterujących przepływem paliwa we wtryskiwaczach. W praktyce powoduje to: utrudniony rozruch silnika, jego nierównomierną pracę – zarówno na biegu jałowym, jak i podczas poruszania się pojazdu, niekontrolowane zmiany mocy i momentu obrotowego silnika, a nawet nieoczekiwane zatrzymanie silnika.

W konsekwencji ma to też wpływ na wielkość zużycia paliwa i zwiększoną emisję składników szkodliwych do atmosfery. O dużej wadze przedmiotowego problemu i jego globalnym zasięgu świadczy fakt założenia w ramach CEC/TC 19/WG 24 tzw. *Ad-Hoc Injector Sticking Task Force* (wrzesień 2011 r.) oraz obecne tworzenie przez CEC nowej grupy roboczej, która zajmie się problematyką *Test Development for Internal Diesel Injector Deposits (IDID)*, a w konsekwencji doprowadzi do opracowania nowej procedury badawczej służącej do oceny wpływu IDID na funkcjonowanie układów wtrysku paliwa w powiązaniu z ograniczaniem osiągnięć silników.

Podsumowanie

Nieustannie zaostrzane wymagania stawiane wobec spalinyowych silników samochodowych, znajdujące odzwierciedlenie w wielu normach i przepisach międzynarodowych, wymuszają systematyczne ograniczenia emisji, zarówno składników szkodliwych dla zdrowia, jak i CO₂. Wpływa to w sposób decydujący na kierunki zmian konstrukcyjnych silników, jak i technologii stosowanych do nich paliw. Dla przykładu, zastąpienie technologii pośredniego wtrysku paliwa, stosowanego między innymi w silniku badawczym Peugeot XUD9 A/L, przez wtrysk bezpośredni, wykorzystany w silniku badawczym Peugeot DW10, doprowadziło do znacznego rozwoju układów wtrysku paliwa – w dążeniu do spełnienia wyżej wymienionych wymagań. Jednak kolejne generacje coraz bardziej precyzyjnych i skomplikowanych układów wtryskowych wykazują coraz większą skłonność do tworzenia różnego rodzaju osadów, zarówno zewnętrznych, jak i wewnętrznych, które zagrażają ich poprawnemu funkcjonowaniu. Ponadto zmiany konstrukcji układów

wtryskowych oraz parametrów i warunków ich pracy sprawiają, że mechanizmy powstawania osadów, ich morfologia, skład oraz miejsca występowania ulegają zmianom, co pociąga za sobą konieczność wprowadzania kolejnych, różniących się składem i wielkością dozowania uniwersalnych dodatków detergentowych do paliw. Silnikowe badania właściwości detergentowych paliw i/lub stosowanych do nich dodatków mają bardzo duże znaczenie ze względu na ich zasadniczy wpływ na poprawne funkcjonowanie układu wtrysku paliwa, co decyduje nie tylko o utrzymywaniu w czasie osiągnięć i właściwości użytkowo-eksploatacyjnych silników, ale także o spełnianiu przez nie wymagań, dotyczących dopuszczalnych wielkości emisji składników podlegających ograniczeniom. Dlatego też sukcesywnie rozwijane silnikowe metody oceny właściwości detergentowych paliw są jednymi z najważniejszych narzędzi, jakie są obecnie stosowane do ostatecznego, wiarygodnego określania jakości użytkowej paliw silnikowych.

Wykaz skrótów

- CEC – Coordinating European Council / organizacja europejskich stowarzyszeń przemysłowych
 DOHC – *double overhead camshaft* / dwa wały rozrządu na głowicy silnika
 FAME – *fatty acid methyl esters* / estry metylowe kwasów tłuszczowych
 HPCR – *high pressure common rail* / wysokociśnieniowy układ wtryskowy *common rail*
 HSDI – *high speed direct injection* / szybki wtrysk bezpośredni
 IDID – *internal diesel injector deposits* / osady wewnętrzne we wtryskiwaczach silników ZS
 OHC – *overhead camshaft* / wał rozrządu na głowicy silnika
 PIBSI – *polyisobutylene succinimide* / imid poliizobutylenobursztynowy
 VPC – *valves per cylinder* / zawory (liczba) w cylindrze silnika
 ZS – (silnik) o zapłonie samoczynnym

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2014, nr 10, s. 707–716

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt. *Modernizacja stanowiska badawczego i ocena jakości prowadzenia badań wg uaktualnionych wymagań procedury CEC F-23-01 (Peugeot XUD9 A/L)* – praca INiG na zlecenie MNiSW; nr zlecenia: 0057/TE/2013, nr archiwalny: DK-4100-57/13.

Literatura

- [1] Barker J., Richards P., Goodwin M., Wooler J.: *Influence of High Injection Pressure on Diesel Fuel Stability: A Study of Resultant Deposits*. SAE Technical Paper No. 2009-01-1877.
- [2] Caprotti R., Breakspear A., Graupner O., Klaua T., Kohnen O.: *Diesel Injector Deposits Potential in Future Fueling Systems*. SAE Technical Paper No. 2006-01-3359.
- [3] 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.
- [4] CEN/TC 19/WG 24; Report of the Ad-hoc Injector Sticking Task Force – August 02 2011.
- [5] Chapman L.: *Diesel Soap – Formation and Related Problems*. National Tanks Conference, Boston, MA September 21, 2010.
- [6] Graupner O., Klaua T., Caprotti R., Schik A.: *Injector Deposit Test For Modern Diesel Engines*. APL Automobil Prueftechnik Landau GmbH. TAE Symposium, 2005.
- [7] Hawthorne M., Roos J., Openshaw M.: *Use of Fuel Additives to Maintain Modern Diesel Engine Performance with Severe Test Conditions*. SAE Technical Paper No. 2008-01-1806.
- [8] Leedham A., Caprotti R., Graupner O., Klaua T.: *Impact of Fuel Additives on Diesel Injector Deposits*. SAE Technical Paper No. 2004-01-2935.
- [9] Quigley R., Barbour R., Fahey E., Arters D., Wetzel W., Ray J.: *A Study of the Internal Diesel Injector Deposit Phenomenon*. TAE Fuels 7th Annual Colloquium, January 2009.
- [10] Quigley R., Barbour R., Panesar A., Arters D.: *A Review of Fuel and Additive Performance in the New CEC F-98-08 DW10 Injector Fouling Test*. Fuels Colloquium, Esslingen, 2009.
- [11] Stepień Z., Oleksiak S.: *Deposit Forming Tendency In Spark Ignition Engines And Evaluation Of Gasoline Detergent Additives Effectiveness*. Journal of KONES Powertrain and Transport 2009, vol. 16, no. 2, pp. 421–431.
- [12] Stepień Z., Urzędowska W., Rozniatowski K.: *Influence of Fuel Quality on Advanced Diesel Injection Systems Failures*. 8th International Congress, Engine Combustion Processes, Monachium 15–16.03.2007.
- [13] Ullmann J., Geduldung M., Stutzenberger H., Caprotti R., Balfour G.: *Effects of Fuel Impurities and Additive Interactions on the Formation of Internal Diesel Injector Deposits*. TAE Fuels 8th Annual Colloquium, January 2011.
- [14] Ullmann J., Geduldung M., Stutzenberger H., Caprotti R., Balfour G.: *Investigation into the Formation and Prevention of Internal Diesel Injector Deposits*. SAE Technical Paper No. 2008-01-0926.
- [15] Urzędowska W., Stepień Z.: *Badanie wpływu jakości oleju napędowego na uszkodzenia układu wysokociśnieniowego wtrysku paliwa*. Nafta-Gaz 2009, nr 10, s. 789–796.
- [16] Zak G., Ziemiński L., Stepień Z., Wojtasik M.: *Problemy związane z tworzeniem się osadów na elementach układów wtryskowych nowoczesnych silników Diesla – przyczyny, metody badań, przeciwdziałanie*. Nafta-Gaz 2013, nr 9, s. 702–708.



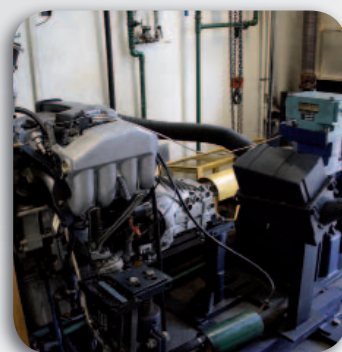
Dr inż. Zbigniew STĘPIEŃ
 Adiunkt; kierownik Pracowni Badań Silnikowych i Trybologicznych Zakładu Oceny Właściwości Eksploatacyjnych.
 Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
 ul. Lubicz 25A, 31-503 Kraków
 E-mail: zbigniew.stepien@inig.pl

OFERTA

ZAKŁAD OCENY WŁAŚCIWOŚCI EKSPLOATACYJNYCH

Zakres działania:

- ocena w testach laboratoryjnych właściwości fizykochemicznych oraz użytkowo-eksploatacyjnych wg najnowszych procedur badawczych; zarówno europejskich jak i amerykańskich:
 - » paliw ciekłych, biopaliw i biokomponentów,
 - » materiałów smarnych, w tym: olejów silnikowych, przekładniowych i przemysłowych; zarówno świeżych, jak i przepracowanych;
- pełny zakres usług w zakresie nowoczesnego planowania i monitorowania właściwości olejów smarowych w eksploatacji wraz z oceną zachodzących w nich zmian, doradztwo i ekspertyzy w zakresie użytkowania olejów niewłaściwej jakości lub ich niewłaściwej eksploatacji;
- szeroki zakres ocen stanowiskowych właściwości trybologicznych paliw, środków smarowych oraz cieczy hydraulicznych;
- oceny liczb oktanowych i cetanowych w testach silnikowych wg procedur europejskich i amerykańskich;
- jedyne w kraju oceny właściwości użytkowo-eksploatacyjnych paliw silnikowych wg ogólnoeuropejskich testów silnikowych opracowanych przez CEC i wymaganych między innymi przez Worldwide Fuel Charter;
- oceny kompatybilności dodatków do paliw i olejów smarowych, usługi eksperckie w zakresie problemów związanych z niekompatybilnością wyżej wymienionych produktów w eksploatacji;
- oceny właściwości użytkowo-eksploatacyjnych paliw i olejów smarowych w badaniach eksploatacyjnych;
- usługi eksperckie w zakresie wpływu jakości paliw na możliwości powstania dysfunkcji i uszkodzeń silnikowych układów wtrysku paliwa;
- badania procesów regeneracji filtrów cząstek stałych na stanowisku silnikowym, doradztwo w zakresie eksploatacji układów filtracji spalin wyposażonych w filtry cząstek stałych.



Kierownik: dr inż. Stanisław Oleksiak
Adres: ul. Łukasiewicza 1, 31-429 Kraków
Telefon: 12 617-75-81
Faks: 12 617-75-86
E-mail: stanislaw.oleksiak@inig.pl

