

Zbigniew Stępień, Stanisław Oleksiak, Kornel Dybich

Instytut Nafty i Gazu, Kraków

Ocena właściwości użytkowych paliw na stanowiskach silnikowych

W artykule omówiono historię rozwoju silnikowych metod badawczych opracowanych w Instytucie Technologii Nafty do oceny właściwości użytkowych paliw oraz obecnie stosowane w Instytucie Nafty i Gazu procedury badań, które są wynikiem działalności grup roboczych CEC, tworzących i doskonalących przedmiotowe metody badań. W pracach większości tych grup roboczych od wielu lat czynny udział biorą przedstawiciele INiG (wcześniej ITN), wnosząc swój wkład w rozwój procedur badawczych o kluczowym, międzynarodowym znaczeniu. W dziedzinie paliw do silników z zapłonem iskrowym (ZI) przedstawiono metody badawcze CEC F-04-87 (Opel Kadett), CEC F-05-93 (MB M 102E) i CEC F-20-98 (MB M111) stosowane do oceny skłonności benzyn do tworzenia osadów w układach dolotowych, na zaworach i w komorach spalania silników. Wspomniano także o pracach grupy roboczej TDG-F-034, której zadaniem było wprowadzanie testu do oceny wpływu paliwa na zanieczyszczenie układu dolotowego, a także rozpylaczy silnika z zapłonem iskrowym i bezpośrednim wtryskiem benzyny. W dziedzinie paliw do silników z zapłonem samoczynnym (ZS) omówiono procedurę CEC F-23-01, umożliwiającą w sposób miarodajny określanie tendencji paliwa do zakokosowania rozpylaczy wtryskiwaczy silnika Peugeot XUD9 A/L oraz wyniki prac grup roboczych TDG-F-035 i ostatnio utworzonej, zastępującej ją grupy TDG-F-098, przygotowujących nową metodę oceny tego zjawiska z zastosowaniem nowoczesnego silnika ZS z bezpośrednim, wysokociśnieniowym wtryskiem paliwa typu *common rail*. Omówiono ponadto własne procedury, obejmujące badania dodatków typu FBC (*Fuel Born Catalyst*), ułatwiających regenerację filtrów cząstek stałych DPF (silnik SWT 300/11/1 i MAN D0826 LOH.18) oraz metodykę oceny współdziałania paliw (z udziałem biokomponentów) i olejów w silniku Ford Duratorq 2.0 TDCi.

Fuels performance evaluation using engine test benches

In paper was described history of developed in Institute of Petroleum Processing engine test methods used to evaluation of fuels performance and current, applied in Oil and Gas Institute procedures, being of results of CEC Working Groups, creating and improving engine test methods for fuels performance evaluation. From many years in major of these Groups representatives of Oil and Gas Institute (earlier as Institute of Petroleum Processing) taken an active part. In field of gasoline fuels test methods CEC F-04-87 (Opel Kadett), CEC F-05-93 (MB M 102E) and CEC F-20-98 (MB M111), used to evaluation of deposit tendency on valves and combustion chamber, were presented. The work of Group TDG-F-034, trying to introduce test method for evaluation of tendency to deposit formation in inlet system and nozzles of direct injection gasoline engine, was mentioned. In field of diesel fuels, procedure CEC F-23-01, enabling to determine of diesel fuel tendency to coking of engine Peugeot XUD9 A/L injector nozzle, was presented. Also was mentioned the activity of Working Group TDG-F-035, and replaced it recently by Working Group TDG-F-098, preparing new test method for evaluation of this phenomena by use of modern CI engine with direct, high pressure fuel injection system. Also in-house methods containing investigation of FBC character additives making easy DPF regeneration (engine SWT 300/11/1 and MAN D0826 LOH 18) and evaluation methodology of interaction between fuels (with bio-components) and engine oils in Ford Duratorq 2.0 TDCi engine were described.

Wstęp

Historia rozwoju silnikowych metod badań paliw w Instytucie Technologii Nafty rozpoczęła się na przełomie lat 70. i 80., kiedy zaczęto stosować do benzyn komponenty krakingowe, powodujące silne zanieczyszczenie układów dolotowych silników o zapłonie iskrowym. Koniecznością stało się stosowanie dodatków detergentowych do benzyn oraz posiadanie odpowiedniego warsztatu badawczego do ich selekcji i oceny skuteczności działania. W pierwszym, zaprojektowanym i skonstruowanym w ITN w 1981 roku, stanowisku badawczym wykorzystano silnik 115C076 (FSO 1500), zmodyfikowany w taki sposób, aby możliwy był symetryczny podział układu

dolotowego i wydechowego. Zabieg ten pozwalał na równoległe, porównawcze badanie dwóch paliw benzynowych i np. jednego z dodatkiem drugiego bez dodatku. Dla ułatwienia oceny skłonności paliwa do tworzenia osadów w układzie dolotowym, pod każdym z dwóch gaźników wprowadzono dodatkowe, wymienne elementy testowe, w postaci podgrzewanych tulejek. Silnik pracował cyklicznie przez okres 20 godzin. Skuteczność działania dodatku, bądź skłonność paliwa do tworzenia zanieczyszczeń w układzie dolotowym, określana była na podstawie wizualnej oceny czystości gaźnika i tulejki oraz przez pomiar masy osadów na tulejce [8].

Dalsza ocena wpływu dodatków myjących do benzyn na pracę silników z zapłonem iskrowym prowadzona była na typowych, wielocylindrowych stanowiskach silnikowych. W ITN do oceny paliw wykorzystywano stanowiska z silnikami 115C076 i Zastava 750, stosowane do badania jakości olejów silnikowych. W badaniach na obydwu tych silnikach odwrócono niejako rolę paliwa i oleju, tzn. przyjęto za parametr stałą jakość oleju, a jako przedmiot badania potraktowano wpływ różnych paliw na zanieczyszczenie silników, ze szczególnym uwzględnieniem układów dolotowych. Obok oceny czystości silników, brano również pod uwagę zmianę właściwości fizykochemicznych oleju smarującego, co pozwalało na ocenę (ewentualnego) wpływu dodatków detergentowych do benzyn na właściwości oleju silnikowego. Zatem, prowadzono wstępne oceny kompatybilności paliw z olejami smarowymi, co – jak okazało się po kilku latach – miało odgrywać ogromną rolę przy ocenie wyżej wymienionych materiałów eksploatacyjnych. W latach 90. testy te zostały zastąpione ogólnie przyjętymi w świecie procedurami badań opracowanymi przez CEC (*Coordinating European Council for the Development of Performance Tests for Transportation Fuels, Lubricants and Other Fluids* – Europejską Radę Koordynacyjną ds. Rozwoju Metod Badań Paliw, Środków Smarowych i Innych Płynów Stosowanych w Transporcie) z wykorzystaniem silników Opel Kadett 1.2S, Mercedes M 102E i M 111.

Obok prac związanych z rozwojem dodatków detergentowych do benzyn silnikowych, w latach 80. prowadzono w ITN prace obejmujące wytwarzanie i testową ocenę dodatków uszlachetniających oleje napędowe. W celu oceny skuteczności działania dodatków przeciwdymnych do olejów napędowych, zbudowano stanowisko z silnikiem SW 200 (zastąpionym później silnikiem SW 400), wyposażone w dymomierz Hartridge MK-3. Zestaw ten pozwalał określić stopień zadymienia spalin w różnych punktach charakterystyki pracy silnika, umożliwiając ocenę skuteczności działania dodatków przeciwdymnych w pełnym zakresie obciążeń. Stanowisko to wykorzystywano w ITN również do oceny skłonności oleju napędowego do tworzenia osadów w kanałkach rozpylaczy, wzorując się na opracowywanej przez CEC procedurze badań, polegającej na pomiarze wielkości przepływu powietrza przez rozpylacz, przy założonym wzniosie iglicy i ustalonej różnicy ciśnień [7]. W 1997 roku metodę badania ITN zastąpiono ogólnie przyjętą w Europie metodą CEC F-023, z zastosowaniem silnika PSA XUD9 A/L.

CEC – organizacja normalizacyjna, w ramach której współpracuje europejski przemysł rafineryjny i samochodowy, producenci dodatków oraz więksi użytkownicy i niezależne laboratoria badawcze – odpowiada za rozwój metod badawczych paliw i olejów. CEC została założona w roku 1963 na bazie organizacji narodowych 14 krajów europejskich, do których w roku 1996 dołączyła Polska. W roku 2001 dokonano gruntownej reorganizacji i restrukturyzacji CEC, mającej na celu poprawę efektywności działania i szybszy postęp w rozwoju procedur badawczych. Obecnie członkami CEC są europejskie organizacje przemysłowe ACEA (*Association des Constructeurs Europeenes d'Automobiles*), ATIEL (*Association Technique de l'Industrie Europeenne des Lubrifiants*), ATC (*Additives Technical Committee*) i CONCAWE (*Conservation of Clean Air and Water in Europe*), a metody badawcze opracowane przez CEC znajdują miejsce w aktualnych europejskich specyfikacjach paliw i olejów silnikowych, a także w Światowej Karcie Paliw (*Worldwide Fuel Charter*). W pracach CEC uczestniczy około 1500 członków z prawie 300 firm, zorganizowanych w 42 grupach roboczych, nadzorujących stosowane procedury bądź opracowujących nowe, efektywne kosztowo i spełniające wymogi jakości metody badawcze, zgodne z oczekiwaniami przemysłu.

Metody badawcze CEC znane są w Polsce od wielu lat i w krajowym przemyśle rafineryjnym zostały spopularyzowane przez Instytut Technologii Nafty. Wprowadzane w ostatnich latach systemy jakości, obejmujące akredytację laboratoriów badawczych, wymuszają współpracę laboratoriów stosujących metody badawcze CEC w tzw. grupach roboczych. Współpraca obejmuje stały nadzór nad metodami badawczymi, wymianę doświadczeń i udział w badaniach międzylaboratoryjnych z zastosowaniem ściśle określonych materiałów wzorcowych.

Oczywiście obok znormalizowanych testów silnikowych, wymaganych w specyfikacjach paliwowych, w INiG realizowane są też prace rozwojowe i projekty badawcze w oparciu o własne procedury badawcze, z wykorzystaniem stanowisk silnikowych skonstruowanych pod kątem specyficznych potrzeb. W ostatnich latach większe projekty dotyczyły badania dodatków ułatwiających regenerację filtrów cząstek stałych (w latach 2001-2004 silnik SWT 300/11/1, obecnie MAN D0826 LOH.18) oraz metodyki oceny współdziałania paliw (z udziałem biokomponentów) i olejów smarowych w silniku Ford Duratorq 2.0 TDCi.

Metody oceny paliw do silników z zapłonem iskrowym (ZI)

Metoda oznaczona jako CEC F-04-87 stanowi nowelizację wcześniej stosowanej metody CEC F-02-T-79. Została ona opracowana do oceny właściwości użytkowych benzyn lub formułacji dodatków stosowanych do benzyn w zakresie ich wpływu na odkładanie się osadów w układzie dolotowym (na zaworach dolotowych, w komorze mieszankowej gaźnika i innych częściach układu). Procedurę wprowadzono do powszechnego stosowania w 1987 r.

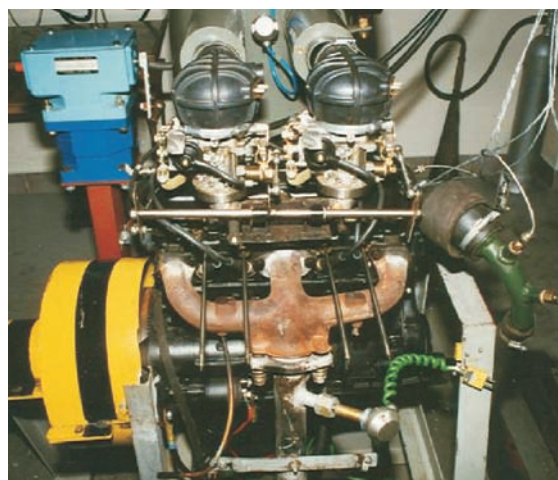
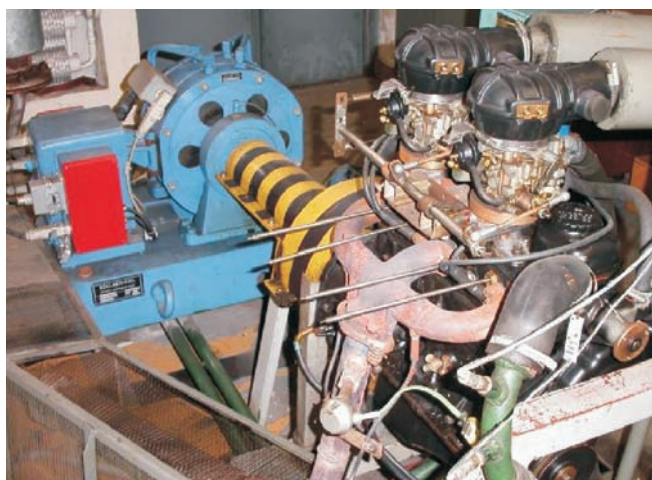
Ocena skłonności do odkładania osadów w układzie dolotowym gaźnikowych silników benzynowych (OPEL Kadett)

Jako aparat badawczy stosuje się zamontowany na stanowisku testowym (fotografia 1) seryjny, 4-cylindrowy silnik OPEL Kadett 1.2S, zmodyfikowany w ten sposób, aby mógł pracować przy zasilaniu z dwóch gaźników, z których każdy dostarcza paliwo do dwóch cylindrów. Ponadto do smarowania trzonek zaworów dolotowych stosowany jest specjalny układ dozujący, gwarantujący jednakową ilość doprowadzanego oleju, w określonym czasie, do prowadnic poszczególnych zaworów. Silnik

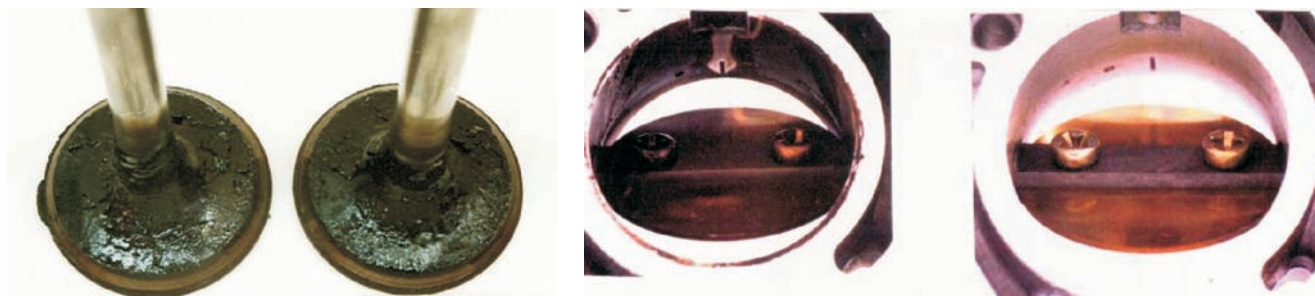
pracuje w 40-godzinym, czterofazowym, cyklicznie powtarzającym się teście, symulującym warunki jazdy miejskiej. Parametry pracy silnika w poszczególnych fazach cyklu, podane w konwencji: nr fazy/czas/prędkość obrotowa silnika/obciążenie-moment obrotowy, są następujące: I/30 s/1200 obr./min./~0 Nm; II/60 s/3000 obr./min./35,3 Nm; III/60 s/1300 obr./min./29,6 Nm; IV/120 s/1850 obr./min./32,5 Nm [1].

Skłonność badanego paliwa do odkładania osadów na grzybkach zaworów dolotowych ocenia się wizualnie – na podstawie wzorcowej skali osadów, na zaworach dolotowych silnika OPEL Kadett (punktowo) i określając wagowo masę nagromadzonych osadów. Dodatkowo ocenia się wizualnie obszar wokół przepustnicy gaźnika w oparciu o skalę osadów lakowych CRC (fotografia 2). Od 1990 r. ocenę ograniczono tylko do zaworów dolotowych.

Grupa Robocza SG-F-004, zajmująca się rozwojem i nadzorem nad badaniami prowadzonymi według powyższej procedury, została w 2001 r. rozwiązana z uwagi na znaczny spadek zainteresowania badaniami paliw w silnikach gaźnikowych.



Fot. 1. Stanowisko testowe z silnikiem OPEL Kadett (ITN)



Fot. 2. Silnikowe elementy testowe oceniane zgodnie z procedurą CEC F-04-87

Ocena czystości zaworów dolotowych w silniku Mercedes-Benz M102E

W latach 80. pojawiły się problemy eksploatacyjne występujące w silnikach z zapłonem iskrowym, wyposażonych w ciągły, wielopunktowy, elektromechaniczny wtrysk paliwa, polegające na intensywnym tworzeniu się osadów na zaworach dolotowych, wpływających na parametry trakcyjne i właściwości użytkowe silników. Problemy te były wynikiem wzajemnego niedostosowania technologii produkcji ówczesnych paliw z nowymi konstrukcjami silników, a w szczególności związane z rozposzczelnianiem układów wtrysku paliwa. Konsekwencją zapoczątkowanych przez CEC badań nad mechanizmem tworzenia przedmiotowych osadów było opracowanie metody oznaczonej jako CEC F-05-93. W praktyce metoda jest przeznaczona do oceny skłonności benzyn bazowych lub benzyn uszlachetnionych pakietami dodatków (w tym detergentowych), do zapobiegania tworzeniu się osadów na zaworach dolotowych silnika z wielopunktowym, pośrednim wtryskiem paliwa. Procedurę wprowadzono do powszechnego stosowania w 1993 r. i szybko stała się ona jedną z najpopularniejszych i najważniejszych metod oceny benzyn silnikowych.

Jako aparat badawczy stosuje się zamontowany na stanowisku testowym (fotografia 3) seryjny, 4-cylin-

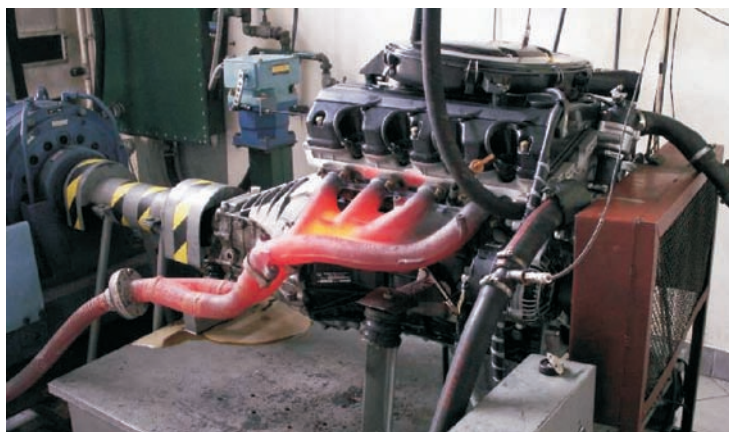
drowy, OHC, 2 VPC silnik Mercedes-Benz M102E o pojemności skokowej 2,3 l, w którym zawory dolotowe zostały zakołkowane, aby zapobiec ich ruchom obrotowym. Silnik uruchamia się na okres 60 godzin i utrzymuje w warunkach pracy cyklicznej, symulującej warunki jazdy miejskiej. Parametry pracy silnika w kolejnych czterech fazach cyklu, podane w konwencji: nr fazy/czas/prędkość obr. silnika/obciążenie-moment obr., są następujące: I/30 s/800 obr./min./<5 Nm; II/60 s/1300 obr./min./29,4 Nm; III/120 s/1850 obr./min./32,5 Nm; IV/60 s/3000 obr./min./35,0 Nm [2].

Skłonność badanego paliwa do zapobiegania tworzeniu się osadów na zaworach dolotowych ocenia się jako masę osadów zgromadzonych w czasie badania na grzybkach zaworów dolotowych (fotografia 4) oraz w postaci oceny punktowej dokonywanej na podstawie wzorcowej skali osadów na zaworach silnika Mercedes-Benz M102E.

Przewiduje się powszechne wykorzystywanie wyżej opisanej procedury co najmniej do 2013 roku.

Metoda testowa do oceny czystości zaworów dolotowych w silniku Mercedes-Benz M111

Na początku lat 90. w dążeniu do uzyskiwania większych mocy jednostkowych, przy równoczesnym ogra-



Fot. 3. Stanowisko testowe z silnikiem Mercedes-Benz M102E (INiG)



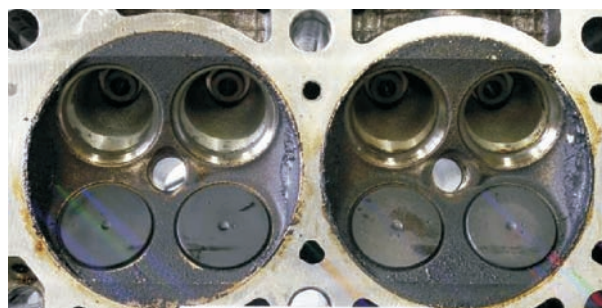
Fot. 4. Zawory dolotowe jako silnikowe elementy testowe (CEC F-05-93)

niczaniu emisji składników szkodliwych do atmosfery, zaczęto popularyzować silniki z wielozaworowymi głowicami i pośrednim, sekwencyjnym, w pełni elektronicznym wtryskiem paliwa. Skutkowało to między innymi poprawą homogeniczności tworzonej mieszanki paliwowo-powietrznej, zwiększeniem szybkości i jakości w zakresie wymiany ładunku, jego pełniejszym spalaniem, innym przestrzenno-czasowym rozkładem temperatur procesu spalania i w konsekwencji zwiększoną tendencją do tworzenia osadów na zaworach dolotowych i w komorach spalania tak skonstruowanych silników, zasilanych dostępnymi w tym czasie paliwami. Doprowadziło to do opracowania w ramach CEC kolejnej procedury, zalecanej do oceny skłonności benzyny lub mieszaniny benzyny z dodatkami detergentowymi, do zapobiegania tworzeniu się osadów na zaworach dolotowych w przypadku silnika z wielopunktowym, pośrednim, przerywanym, elektronicznym wtryskiem paliwa i z głowicą typu 4 VPC. Procedurę oznaczono symbolem CEC F-20-98 i przekazano do powszechnego stosowania w 1998 roku.

W tym przypadku, jako aparat badawczy stosuje się zamontowany na stanowisku testowym (fotografia 5) seryjny, 4-cylindrowy, DOHC, 4 VPC silnik Mercedes-Benz M111 o pojemności skokowej 2,0 l. Zarówno



Fot. 5. Stanowisko testowe z silnikiem Mercedes-Benz M111 (INiG)



Fot. 6. Zawory dolotowe i komory spalania oceniane w procedurze CEC F-20-98

zapłon jak i wtrysk paliwa są sterowane elektronicznie. Silnik pracuje w teście przez 60 godzin w warunkach czterofazowego, automatycznie powtarzanego cyklu, symulującego warunki jazdy miejskiej. Parametry pracy silnika w kolejnych czterech fazach cyklu, podane w konwencji: nr fazy/czas/prędkość obr./silnika/obciążenie-moment obr., są następujące: I/30 s/750 obr./min./~0 Nm; II/60 s/1500 obr./min./40,0 Nm; III/120 s/2500 obr./min./40,0 Nm; IV/60 s/3000 obr./min./40,0 Nm [4].

Skłonność badanego paliwa do tworzenia osadów na zaworach dolotowych ocenia się jako masę osadów zgromadzonych w czasie badania na grzybkach zaworów dolotowych (fotografia 6). Dodatkowo test umożliwia też dokonywanie masowej oceny osadów całkowitych, zgromadzonych w komorach spalania. Na przedmiotowe osady całkowite składają się osady z części komór spalania umieszczonych w głowicy cylindrowej (fotografia 6), z dolnych powierzchni grzybków zaworów dolotowych oraz wylotowych, osady z górnych powierzchni denek tłoków, górnych powierzchni tulei cylindrowych (powyżej pierścieni uszczelniających) i z powierzchni pierścieni ogniowych uszczelki głowicy cylindrowej.

Przewiduje się powszechne wykorzystywanie wyżej opisaney procedury co najmniej do roku 2012.

Pod koniec lat 90., w poszukiwaniu efektywnego rozwiązania umożliwiającego zmniejszenie zużycia paliwa przez silniki ZI, zaczęto rozwijać i popularyzować (zwłaszcza przez producentów japońskich) silniki z bezpośrednim wtryskiem benzyny. Wkrótce na rynku europejskim wielu zwolenników zyskał Mitsubishi Carisma, pierwszy wielkoseryjny, popularny samochód osobowy z silnikiem typu GDI (*Gasoline Direct Injection*). Szybko zdobyte doświadczenia eksploatacyjne wskazywały na dużą tendencję do tworzenia osadów; zarówno na zaworach dolotowych, jak i w komorach spalania oraz na końcówkach wtryskiwaczy takich silników, zasilanych dostępnymi wówczas na rynku, niezupełnie dostosowanymi do tego typu konstrukcji paliwami. W związku z powyższym, w 2001 r. CEC powołał Grupę Roboczą CEC TDG-034, której zadaniem było opracowanie i wdrożenie odpowiedniej procedury badawczej do ilościowej i jakościowej oceny tendencji tworzenia wymienionych osadów. Do tej Grupy Roboczej przystąpił też ITN. Wkrótce jednak okazało się, że silniki typu GDI w ówczesnym stadium rozwoju nie stanowią rozwiązania dla znaczącego ograniczenia zużycia paliwa przez silniki ZI, a ponadto, ze względu na wyższą temperaturę procesu spalania, emitują większe

(w stosunku do silników z pośrednim wtryskiem paliwa) ilości związków azotu, wymagające stosowania bardziej rozbudowanych, kosztownych układów oczyszczania spalin. W konsekwencji nastąpiło, jak się później okazało, krótkotrwałe zatrzymanie rozwoju silników takiej konstrukcji, co w połączeniu z brakiem w owym czasie szeroko stosowanego silnika typu GDI produkcji europejskiej doprowadziło do rozwiązania Grupy Roboczej CEC TDG-034 już we wczesnym okresie opracowywania metodyki badawczej. Szybki postęp w konstrukcji tłokowych silników spalinowych, wymuszany nieustannie zaostrożanymi przepisami w zakresie ograniczania emisji składników szkodliwych oraz gazów cieplarnianych, doprowadził przed kilku laty do powrotu rozwoju silników ZI typu GDI i ich coraz szerszego wykorzystywania przez różnych producentów europejskich. Obecnie prognozowane tendencje w zakresie przyszłościowych technologii silników ZI, w tym tzw. „*downsizing*”, wskazują jednoznacznie na konieczność dalszego rozwoju GDI. W związku z powyższym, aktualnie CEC ponownie rozważa powołanie Grupy Roboczej, która zajęłaby się testową oceną zjawisk tworzenia osadów na wybranych, wewnętrznych elementach systemów zasilania i spalania tego typu silników.

Metody oceny paliw do silników z zapłonem samoczynnym (ZS)

W pierwszej połowie lat 90. zaobserwowano narastające zjawisko pogarszania parametrów trakcyjnych i utrudnionego rozruchu silników z ZS i pośrednim wtryskiem paliwa, jaki wówczas dominował w jednostkach napędowych samochodów osobowych i dostawczych. Jak się okazało, ujawnione problemy wiązały się z intensywnym zakoksowywaniem końcówek rozpylaczy wtryskiwaczy w układzie wtrysku paliwa, co prowadziło do jakościowych i ilościowych zaburzeń w procesie dostarczania paliwa do komory wstępnej i wynikającymi stąd opisanymi skutkami. Zakoksowywanie jest procesem odkładania się osadów węglowych w rozpylaczu. Osady te powstają między iglicą rozpylacza, jego korpusem oraz gniazdem iglicy (fotografia 8a) i są potencjalną przyczyną niekorzystnych zmian osiągnięć silnika.

Ocena zakoksowania rozpylaczy wtryskiwaczy silnika Diesla (PSA XUD9 A/L)

Potrzeba rozwiązania przedstawionych problemów doprowadziła do wprowadzenia przez CEC w 1995 r. procedury testowej CEC F-23-X-95, która następnie

została znacznie zmodyfikowana i w 2001 r. wdrożona jako CEC F-23-01. Przedmiotowa procedura została opracowana w celu oceny olejów napędowych bez i z pakietem dodatków uszlachetniających, pod kątem ich skłonności do zakoksowania rozpylaczy wtryskiwaczy nowoczesnego (wówczas) silnika Diesla z wtryskiem pośrednim. Jako aparat badawczy stosuje się zamontowany na stanowisku testowym (fotografia 7) seryjny, 4-cylindrowy, OHC, 2 VPC silnik PSA XUD9 A/L o pojemności skokowej 1,9 l, mocy maksymalnej 47 kW przy 4600 obr./min. i maksymalnym momencie obrotowym 118 Nm przy 2000 obr./min. Silnik uruchamia się na okres 10 godzin i utrzymuje w warunkach pracy cyklicznej, symulującej warunki jazdy miejskiej. Parametry pracy silnika w kolejnych czterech fazach cyklu, podane w konwencji: nr fazy/czas/prędkość obr. silnika/obciążenie-moment obr., są następujące: 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 [5].

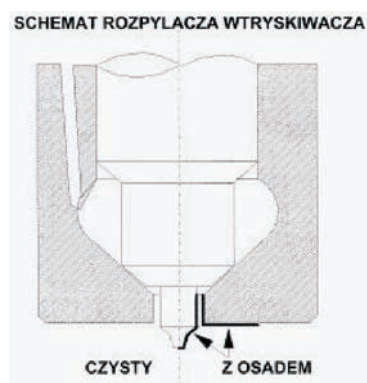
Skłonność badanego paliwa do zakoksowania rozpylaczy wtryskiwaczy – Fot. 7b, wyraża się w procentach



Fot. 7. Stanowisko testowe z silnikiem PSA XUD9 A/L (INiG)



a)



b)



Fot. 8. Osady na rozpylaczach wtryskiwaczy a) rozmieszczenie, b) widok osadów

ograniczenia natężenia przepływu powietrza przez rozpylacz, przy wielkościach wzniosu iglicy: 0,10; 0,20 i 0,30 mm. Obecnie jest to jedyna silnikowa metoda CEC stosowana do oceny olejów napędowych. Przewiduje się jej powszechne wykorzystanie co najmniej do 2013 roku.

Pod koniec lat 90. w samochodach osobowych i dostawczych nastąpiła znaczna popularyzacja szybkoobrotowych silników Diesla z bezpośrednim wtryskiem paliwa, szeroko już rozpowszechnionych w wielkolitrażowych silnikach typu HD (*Heavy Duty*). Okazało się, że kluczowymi elementami decydującymi o szeroko pojętej funkcjonalności, niezawodności oraz trwałości takich jednostek napędowych są podzespoły układów wysokociśnieniowego wtrysku paliwa, dużo bardziej precyzyjne, niż w przypadku silników z wtryskiem pośrednim; w tym w szczególności wtryskiwacze. Są one bardzo wrażliwe na zakokszowywanie i osadzanie się w ich wnętrzu różnych zanieczyszczeń, związanych z procesami spalania w komorach cylindrów silnika. Znacznie większe zagrożenie występowania wyżej opisanych, niekorzystnych zjawisk w silnikach ZS

z bezpośrednim wtryskiem paliwa wiąże się z pracą wtryskiwaczy w wyższych temperaturach i nieustanną tendencją do zmniejszania średnic ich otworków rozpylających, przy równoczesnym wzroście ciśnienia wtrysku paliwa; co wynika z konieczności spełniania coraz ostrzejszych norm w zakresie emisji składników szkodliwych do atmosfery. W związku z powyższym, CEC postanowiła rozpocząć prace nad procedurą oceny osadów w takich silnikach, powołując w 2001 r. Grupę Roboczą CEC TDG-035, do której w 2002 r. przystąpił ITN. Niestety, kilkuletnie prace wymienionej grupy nie doprowadziły do opracowania pełnowartościowej metodyki badawczej w zakresie dostatecznej powtarzalności uzyskiwanych wyników oceny wielkości zakokszowania rozpylaczy wtryskiwaczy, a co za tym idzie – możliwości klasyfikowania paliw pod kątem przedmiotowej właściwości. W konsekwencji CEC zdecydowało o zamknięciu Grupy Roboczej CEC TDG-035 (kwiecień 2006 r.) i powołaniu w jej miejsce Grupy Roboczej CEC TDG-F-098 (luty 2006 r.), do rozwoju metodyki zaproponowanej przez PSA, z wykorzystaniem silnika PSA DW10 o bezpośrednim

wtrysku, wyposażonego w układ wysokociśnieniowego wtrysku paliwa typu *common rail*. Opracowana przez Grupę Roboczą CEC TDG-035 metodyka badawcza została opublikowana w postaci tzw. *Code of Practice* i stała się podstawą przygotowanej w INiG metody własnej, która znalazła uznanie i była wykorzystywana w badaniach prowadzonych na rzecz zleceniodawców krajowych. Przed kilkoma miesiącami CEC wprowadził do powszechnego wykorzystania procedurę badawczą CEC F-98-08, opracowaną przez wyżej wspomnianą grupę roboczą. Procedura ta daje możliwość oceny paliw w zakresie ich skłonności do zakoksovania wtryskiwaczy w nowoczesnych silnikach HSDI (*High Speed Direct Injection*) oraz oceny dodatków detergentowych pod kątem ich zdolności do zapobiegania lub kontroli ilości osadów formujących się w obszarze otworów wylotowych wtryskiwaczy. Testowy silnik – PSA DW10 typu HSDI, o mocy maksymalnej 100 kW/4000 min⁻¹, pracuje cyklicznie, głównie pod dużym obciążeniem, a wynikiem testu jest utrata mocy silnika, spowodowana zanieczyszczeniem rozpylaczy paliwowych.

Badania systemów filtracji cząstek stałych (PM)

Prace nad zastosowaniem systemu filtracji spalin do *retrofittingu* autobusów komunikacji miejskiej podjęto w kraju w drugiej połowie 2000 r. Wybrano do realizacji wariant najtańszy i najprostszy, zakładający wykorzystanie systemu filtracji z pasywną regeneracją za pomocą dodatków typu FBC (*Fuel Born Catalyst*) do paliwa. W ITN opracowano program wyjściowych prac badawczych, który przedłożono Komitetowi Badań Naukowych w formie propozycji GRANT'u [9]. Podjęte, po uzyskaniu akceptacji Komitetu, prace dały podstawę do zawiazania konsorcjum, z udziałem

krajowych i zagranicznych partnerów z grona MPS (małych i średnich przedsiębiorstw), które podjęło się opracowania technologii filtracji gazów spalinowych z silników Diesla typu HD, z zastosowaniem dodatków do paliwa umożliwiających regenerację filtrów, w celu zmniejszenia emisji cząstek stałych przez autobusy komunikacji miejskiej. Naukowym partnerem konsorcjum został ITN, ściśle współpracujący z czołowymi w tym zakresie ośrodkami badawczymi w Szwajcarii. Konsorcjum wystąpiło do Komisji Europejskiej z propozycją Projektu CRAFT, współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej. Projekt uzyskał aprobatę specjalistów z Komisji Europejskiej i z końcem 2001 r. rozpoczęto jego realizację.

W Instytucie Technologii Nafty zbudowano w tym celu silnikowe stanowisko badawcze. Przyjęto założenie, że powinno być ono wyposażone w popularny na rynku krajowym silnik, w którym mógłby znaleźć zastosowanie opracowywany układ filtracji spalin o pasywnej regeneracji, wspomaganej za pomocą dodatku obniżającego temperaturę zapłonu sadzy osadzającej się w filtrze w czasie pracy silnika. Wybrano krajowy silnik HD typu SWT 11/300/1, spełniający w zakresie wielkości emisji wymagania normy Euro I, służący do napędu autobusów Jelcz 120 M, powszechnie wówczas stosowanych w miejskich przedsiębiorstwach komunikacyjnych (fotografia 9).

Przystępując w ITN do prac badawczych związanych z opracowaniem skutecznego, wydajnego dodatku organometalicznego do regeneracji DPF (*Diesel Particle Filter*) założono, że powinien on obniżać temperaturę zainicjowania procesu utleniania (wypalania) sadzy w filtrze do temperatury gazów spalinowych, uzyskiwanej w czasie eksploatacji miejskiej autobusu. W celu stworzenia możliwości oceny efektywności



Fot. 9. Widok silnika SWT 11/300/1 z filtrem cząstek stałych na stanowisku badawczym (ITN)

i sposobu działania opracowywanych dodatków (regeneracja ciągła lub okresowa), w warunkach zbliżonych do występujących w eksploatacji, wykonano pomiary rozkładu temperatur gazów spalinowych w autobusie miejskim, a następnie opracowano czterofazowy test, pozwalający odtworzyć warunki pracy układu wylotowego na stanowisku w hamowni, wyposażonym w silnik SWT11/300/1.

W wyniku wykonanych prac badawczych na stanowisku silnikowym wytypowano najskuteczniejszy, spośród opracowanych uprzednio w ITN, dodatek do paliwa umożliwiający regenerację DPF. Stworzyło to podstawę do rozpoczęcia badań eksploatacyjnych w autobusach, zakończonych opracowaniem warunków technicznych systemu filtracji spalin.

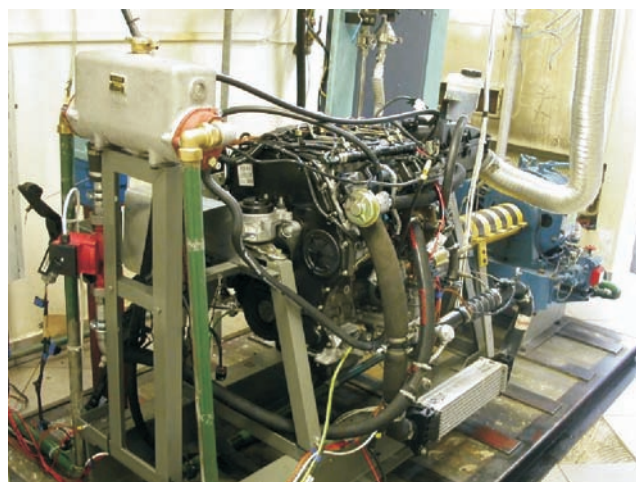
W 2008 roku stanowisko to zostało gruntownie zmodernizowane. Zamiast silnika SWT 11/300/1 zastosowano silnik MAN D0826 LOH.18 (spełniający wymagania normy EURO II), wykorzystywany między innymi do napędu autobusów Solaris Urbino 15. Używany wcześniej hamulec hydrauliczny HSP 300 zastąpiono hamulcem elektrowirowym typu Dynoperform 350 produkcji AVL. W czerwcu 2008 roku rozpoczęto realizację kolejnego projektu badawczego z dziedziny filtracji spalin i regeneracji DPF, finansowanego w ramach Przedsięwzięcia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego „*Inicjatywa Technologiczna P*”.

Badania współdziałania paliwo/olej (Ford Duratorq 2.0 TDCi)

Konieczność ochrony środowiska naturalnego spowodowała wprowadzenie na całym świecie różnych przepisów zmniejszających emisję szkodliwych składników gazów wylotowych z silników spalinowych. W Europie, kolejne edycje norm czystości spalin EURO wymuszają coraz bardziej drastyczne ograniczenia tzw. normowanych składników szkodliwych, jak: CO, HC, NO_x i PM, co stanowi coraz poważniejsze wyzwanie dla producentów silników i dla wytwórców stosowanych do nich olejów smarowych i paliw.

Dynamiczny rozwój konstrukcji tłokowych silników samochodowych oraz ich układów zasilania, wynikający z wyżej opisanych uwarunkowań, a także nieustanne zmiany w technologii produkcji oraz formulacji paliw i olejów silnikowych, doprowadziły już w połowie lat 80. do alarmującego zintensyfikowania się zjawiska powstawania tzw. czarnych szlamów. W ostatnich

latach ponownie można zaobserwować wzmagające się tendencje do powstawania różnej natury szlamów, laków i substancji żelowych w silnikach. Jak wykazują doświadczenia i obserwacje z lat minionych, zjawisko wytrąceń i szlamów powstających w silnikach jest wynikiem niekorzystnych interakcji zachodzących pomiędzy paliwem, a pakietami dodatków stosowanych w wysokojakościowych olejach silnikowych przeznaczonych do nowoczesnych jednostek napędowych i zawsze związane jest ze skomplikowanymi procesami fizykochemicznymi i różnorodnością dużej liczby nierozdzielnie ze sobą związanych czynników. Obecnie brak jest usystematyzowanej wiedzy w zakresie rozpoznania mechanizmów powstawania powyższych zjawisk, a zarazem jednoznacznej oceny ewentualnych zagrożeń, jakie niosą one ze sobą. W związku z powyższym w ITN zbudowano silnikowe stanowisko badawcze, pozwalające na efektywne badanie wpływu, a zatem i skutków oddziaływania paliwa na olej silnikowy, oraz jego degradacji, na tworzenie osadów w silniku z zapłonem samoczynnym (fotografia 10).



Fot. 10. Silnik Ford Duratorq 2.0 TDCi na stanowisku badawczym (INiG)

Utylitarne wykorzystanie wyników takich badań ma duże znaczenie praktyczne, z uwagi na brak w skali światowej znormalizowanej metodyki identyfikowania i badania problemów wynikających z niekorzystnych oddziaływań składników olejów smarujących silniki wysokoprężne i stosowanych do nich paliw. Zalecenia nakazujące producentom aby wytwarzane przez nich paliwa były kompatybilne ze stosowanymi olejami smarowymi można obecnie znaleźć m.in. w Światowej Karcie Paliw.

Podsumowanie

Przedstawiony przegląd metod badań paliw na stanowiskach silnikowych obejmuje testy stanowiskowe, które wprowadzono w ITN w związku z intensywnym rozwojem prac w zakresie paliw silnikowych, datującym się od początku lat 80. Pierwsze stanowiska silnikowe, wykorzystujące krajowe silniki, budowano pod kątem potrzeb krajowego przemysłu rafineryjnego, opracowując metodyki badawcze oparte na światowych osiągnięciach w tej dziedzinie. W 1996 roku, poprzez Stowarzyszenie Współpracy Przemysłu Naftowego Samochodowego CEC POLSKA, Polska formalnie przystąpiła do CEC, a specjaliści ITN mogli brać udział w pracach grup roboczych opracowujących akceptowane przez przemysł samochodowy metody badań właściwości użytkowych paliw.

Wprowadzane w ITN, rozwijane i nadzorowane przez CEC, ogólnoeuropejskie, silnikowe metody testowe są nierozdzielnie związane z potrzebą rozwiązywania problemów, jakie pojawiają się podczas współdziałania paliw z silnikami. Ciągły rozwój technologii produkcji paliw oraz zmiany konstrukcyjne wprowadzane przez producentów silników skutkują powstawaniem coraz to nowych zagadnień, wymagających dokładnego rozeznania. Służą temu kolejno opracowywane procedury badawcze w ramach tworzonych w CEC grup roboczych, w których pracach brał też udział ITN. Obecnie prace te kontynuowane są przez specjalistów Instytutu Nafty i Gazu.

Obok znormalizowanych testów silnikowych, wymaganych w specyfikacjach paliwowych, w INiG realizowane są prace rozwojowe i projekty badawcze w oparciu o własne procedury badawcze, z wykorzystaniem stanowisk silnikowych skonstruowanych pod kątem specyficznych potrzeb. W ostatnich latach większe projekty dotyczyły badania dodatków ułatwiających regenerację filtrów cząstek stałych (w latach 2001-2004 autobusowy silnik SWT 300/11/1, obecnie MAN D0826 LOH.18) oraz metodyki oceny współdziałania paliw (z udziałem biokomponentów) i olejów w silniku Ford Duratorq 2.0 TDCi.

Literatura

- [1] CEC F-04-87 – *The Evaluation of Gasoline Engine Intake System Deposition.*
- [2] CEC F-05-93 – *Inlet Valve Cleanliness in the MB M102E Engine.*
- [3] CEC F-16-96 – *Assessment of the Inlet Valve Sticking Tendency of Gasoline Fuels.*
- [4] CEC F-20 – *Test Method For Inlet Valve Cleanliness.*
- [5] CEC F-23-01 – *Procedure for Diesel Engine Injector Nozzle Coking Test.*
- [6] <http://www.cectests.org/>.
- [7] Kotowski M., Oleksiak S., Urzędowska W.: *Rozwój metod oceny użytkowych właściwości paliw silnikowych.* Nafta 4-5, 1988.
- [8] Oleksiak S.: *Budowa stanowiska do badania dodatków myjących układu zasilania silnika gaźnikowego.* Dokumentacja ITN 1427, 1981.
- [9] Stępień Z., Krasodomski M., Ziemiański L.: *Badania silnika z zapłonem samoczynnym zasilanego olejem napędowym z dodatkiem umożliwiającym ciągłą regenerację filtra spalin.* Projekt badawczy GRANT nr 8 T12D 006 20.
- [10] Stępień Z.: Dokumentacje ITN Nr: 3070/98, 3108/98, 3357/00, 3407/00, 3497/01, 3500/01, 3599/02, 3612/02, 3740/04, 3825/04, 3939/05.

Recenzent: doc. dr Michał Krasodomski



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.



Dr inż. Stanisław OLEKSIK – absolwent Wydziału Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej. W 1992 r. obronił pracę doktorską nt. dodatków detergentowych do benzyn silnikowych. Kierownik Zakładu Oceny Właściwości Eksploatacyjnych INiG w Krakowie. Specjalność – ocena właściwości użytkowych paliw silnikowych i środków smarowych.



Mgr inż. Kornel DYBICH – ukończył studia o specjalności silniki spalinowe na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej. Jest asystentem w Zakładzie Oceny Właściwości Eksploatacyjnych Instytutu Nafty i Gazu w Krakowie. Zajmuje się zagadnieniami związanymi z oceną parametrów użytkowych paliw silnikowych na stanowiskach hamownianych.