

Zbigniew Stępień

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

Nieporównywalność ocen paliw w europejskich znormalizowanych testach silnikowych

W artykule przedstawiono porównawcze analizy wyników europejskich testów silnikowych, dotyczących oceny właściwości detergentowych zarówno benzyn silnikowych, jak i olejów napędowych. Testy silnikowe były prowadzone na różnych silnikowych stanowiskach badawczych według procedur europejskich, tj. CEC F-05-93 i CEC F-20-98 – w przypadku benzyn silnikowych; CEC F-23-01 oraz CEC F-98-08 – w przypadku olejów napędowych. Na podstawie przeprowadzonych analiz wyników powyższych testów silnikowych wykazano, że oceny właściwości detergentowych obydwóch paliw wykonane według różnych metod badawczych są nieporównywalne i na podstawie wyniku uzyskanego według jednej metody badawczej nie można wnioskować ani przewidywać czy też szacunkowo określać wyniku otrzymanego drugą metodą badawczą. Ustalono też najistotniejsze czynniki wpływające na tę nieporównywalność ocen.

Słowa kluczowe: benzyna, olej napędowy, właściwości detergentowe, testy silnikowe, oceny.

Incomparability of fuel assessment results in various European engine tests

The article presents comparative analyzes of the results of European motor tests concerning the assessment of the detergent properties of both motor oils and diesel oils. The engine tests were carried out on different engine test beds, in compliance with European procedures, that is to say CEC F-05-93 and CEC F-20-98 in the case of petrol and CEC F-23-01 and CEC F-98-08 in the case of diesel oils. On the basis of the above-mentioned engine test results, analyses indicated, that in the case of both fuels, assessments of detergent properties conducted in various test methods are incomparable and on the basis of results obtained with one of the methods there is no possibility to provide or estimate results obtained with the second test method. The main factors influencing this incomparability were also identified.

Key words: petrol, diesel fuel, detergent properties, engine tests, assessments.

Wstęp

Paliwom silnikowym stawiane są coraz wyższe wymagania, nie tylko użytkowo-eksploatacyjne, ale przede wszystkim proekologiczne, co stanowi obecnie pierwszorzędne kryterium oceny ich jakości, a nawet przydatności do stosowania. Warunkiem wdrożenia paliw do produkcji jest spełnienie przez nie coraz bardziej surowych limitów w zakresie szerokich, wielokierunkowych ocen właściwości fizykochemicznych, poprzedzających te najważniejsze, ostateczne oceny wykonywane na stanowiskach silnikowych [3, 4, 7, 9, 13–15, 24, 25].

Jak wiadomo, zarówno w przypadku benzyn silnikowych, jak i olejów napędowych, badania przeprowadzone na stanowiskach wyposażonych w silniki badawcze różnych generacji dają często odmienne jakościowo wyniki, świadczące o tym, że np. paliwa o dobrze ocenionych właściwościach detergent-

towych badanych na silnikach starszej generacji nie zawsze są równie dobrze oceniane na stanowiskach z silnikami nowszej generacji i odwrotnie. W przypadku benzyn silnikowych są to wyniki ocen właściwości detergentowych paliw uzyskiwane na stanowisku badawczym z silnikiem Mercedes Benz M102E według procedury badawczej CEC F-05-93 oraz na stanowisku badawczym z silnikiem Mercedes Benz M111 według procedury CEC F-20-98; w przypadku olejów napędowych na stanowisku badawczym z silnikiem Peugeot XUD9 A/L według procedury CEC F-23-01 i na stanowisku badawczym z silnikiem Peugeot DW10B według procedury CE F-98-08 [1, 16–23, 26–32].

W przypadku bardzo dużych kosztów prowadzenia silnikowych ocen paliw zachodzi potrzeba porównawczej analizy

wyników uzyskiwanych na stanowiskach wyposażonych w silniki różnych generacji. Ma to na celu ustalenie, czy istnieje jakaś względnie prosta, możliwa do określenia zależność po-

między wynikami ocen właściwości detergentowych paliw uzyskanymi na silnikowych stanowiskach badawczych właściwych dla różnych procedur badawczych.

Założenia dotyczące prowadzenia ocen porównawczych paliw

Przyjmując sposób przeprowadzenia porównawczych ocen właściwości detergentowych paliw założono, że analizie poddawane są wyniki ocen tych samych paliw uzyskane według różnych procedur na dwóch typach stanowisk badawczych. Na ostateczną, podlegającą analizie porównawczej ocenę paliwa składa się możliwie jak najwięcej pojedynczych ocen, otrzymanych podczas badań określonego paliwa w różnych laboratoriach (w tym w INiG – PIB) na różnych stanowiskach badawczych, jednak według tej samej procedury badawczej. Zatem ostateczna ocena każdego z paliw na każdego typu silnikowym stanowisku badawczym stanowiła uśrednioną wielkość z wielu ocen, z których każda została uwiarygodniona poprzez analizę rejestrów poprawności przebiegu parametrów prowadzenia każdego z testów.

Przyjęte wymagania dla ocen paliw spełniały oceny uzyskiwane w ramach organizowanych przez CEC międzynarodowych silnikowych badań porównawczych paliw. W tych badaniach co najmniej kilka różnych europejskich laboratoriów ocenia to samo paliwo według tej samej silnikowej procedury badawczej, na różnych stanowiskach silnikowych. Ostateczny wynik oceny stanowi wielkość uśrednioną wszystkich uzyskanych wyników, przy czym warunkiem dopuszczenia do oceny statystycznej każdego wyniku przesłanego przez każde z laboratoriów jest pozytywna ocena analizy prawidłowości przebiegu monitorowanych parametrów prowadzenia testu. Zatem wyniki wszystkich testów, otrzymane w ramach międzynarodowych badań zorganizowanych przez CEC, w których wziął udział INiG – PIB, a które zostały wykorzystane w po-

równawczej analizie ocen właściwości detergentowych paliw, zawierały wkład Instytutu w postaci pojedynczych wyników składowych, z których uzyskiwano ostateczny uśredniony wynik oceny danego paliwa.

W przypadku benzyn silnikowych ocenom porównawczym poddano wyniki badań tych samych benzyn nieuszlachetnionych i uszlachetnionych, które były przedmiotem ocen silnikowych przeprowadzonych na dwóch typach stanowisk badawczych w ramach ostatnich pięciu ogólnoeuropejskich badań porównawczych zorganizowanych przez CEC. Badania te obejmowały testy według procedur badawczych CEC F-05-93 (Mercedes Benz M102E) i CEC F-20-98 (Mercedes Benz M111). Wybór taki wynikał z ujednoczenia przez CEC, począwszy od 2006 r., paliw (benzyn silnikowych) stosowanych równocześnie w kolejnych badaniach porównawczych według ww procedur badawczych. Dało to

Tablica 1. Benzyny silnikowe poddane porównawczej analizie ocen właściwości detergentowych

Benzyna	Tendencja do tworzenia osadów	Badania porównawcze (rok)	Wielkość osadów na zaworach dolotowych [mg/zaw.]		Uwagi
			M102E	M111	
Low IVD RR2006 (DF-12-00 Batch 6 uszlachetniona)	niska	RR2006	15	3	rys. 1 i 2
Low IVD RR2008 (DF-12-00 Batch 7 uszlachetniona)		RR2008	39	18	
Low IVD RR2012 (RF-02-03)		RR2012	45	51	
Low IVD RR2013 (RF-02-03)		RR2013	34	81	
Low IVD RR2015 (RF-02-03 (E0))		RR2015	45	99	
High IVD RR2006 (DF-12-00 Batch 6 nieuszlachetniona)	wysoka	RR2006	206	253	rys. 3
High IVD RR2008 (DF-12-00 Batch 7 nieuszlachetniona)		RR2008	265	239	
High IVD RR2012 (DF-12-08 Batch 9)		RR2012	288	210	
High IVD RR2013 (DF-12-09 Batch 8)		RR2013	287	254	
High IVD RR2015 (DF-12-09 Batch 8 (E0))		RR2015	261	258	

możliwość porównania wyników ocen z pięciu kolejnych badań porównawczych różnych benzyn, zarówno o niskiej, jak i wysokiej tendencji do tworzenia osadów na zaworach dolotowych. Badania te przeprowadzono na stanowiskach z silnikami Mercedes Benz M102E oraz Mercedes Benz M111. W tablicy 1 zestawiono benzyny i wyniki badań podlegające analizie porównawczej.

W przypadku olejów napędowych porównano wyniki ocen różnych partii tego samego oleju napędowego, stosowanego jako paliwo wzorcowe do silnika Peugeot DW10B, zgodnie z wymaganiami procedury badawczej CEC F-98-08. Przyjęcie takiej odmiennej względem powyżej opisanej formuły badań wynikało z tego, że w przypadku stanowisk badawczych z silnikami Peugeot XUD9 A/L (procedura CEC F-23-01) i Peugeot DW10 (procedura CEC F-98-08) w ogólnoeuropejskich badaniach międzylaboratoryjnych – jak dotychczas – stosowano różne paliwa, za wyjątkiem paliwa CEC DF-79-07 (różne partie). W przypadku badań porównawczych równoległe prowadzonych w silnikach Mercedesa stosowano takie same paliwa. Dlatego też jedynie paliwo CEC DF-79-07 spełniało wymagania w zakresie porównania wiarygodnych, uśrednionych wyników ocen przeprowadzonych na obu silnikowych stanowiskach badawczych, co było jednym z ce-

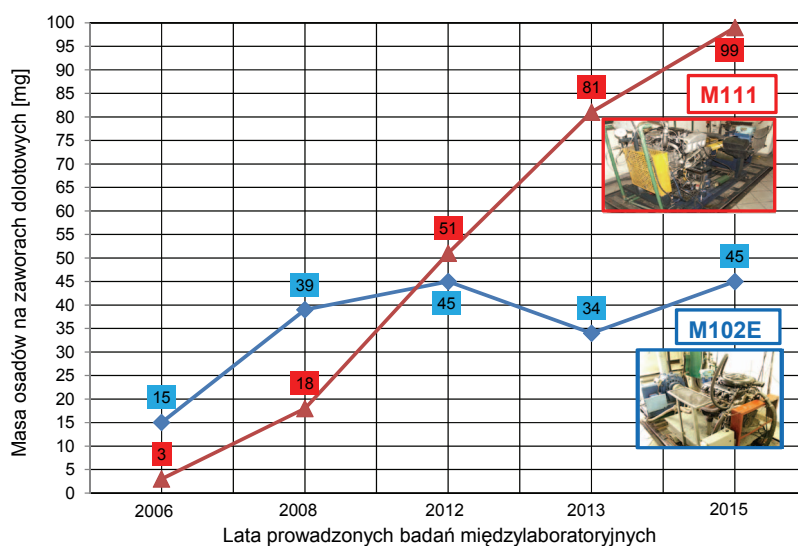
łów niniejszego projektu. Ponadto w przypadku olejów napędowych nie było możliwe oddzielne porównanie paliw o dużych i małych tendencjach do zanieczyszczania wtryskiwaczy paliwa. Zostało to spowodowane tym, że w przypadku silnika Peugeot XUD9 A/L jako paliwa wzorcowe o małej i dużej tendencji do tworzenia osadów zewnętrznych we wtryskiwaczach są wskazane (procedura CEC F-23-01) dwa różne paliwa, które sukcesywnie, w miarę wyczerpywania się poszczególnych partii, są zastępowane nowymi. W przypadku silnika Peugeot DW10B jako wzorcowe stosuje się tylko jedno paliwo (CEC DF-79-07), przy czym, gdy pozbawione jest ono celowo wprowadzonego „Zn” jako katalizatora procesów tworzenia osadów, jest to paliwo o małej tendencji do zanieczyszczania wtryskiwaczy paliwa, natomiast z celowo wprowadzonym „Zn” w ilości 1 ppm stanowi ono paliwo o dużej tendencji do zanieczyszczania wtryskiwaczy. Jednak w przypadku testów w silniku Peugeot XUD9 A/L nie stosuje się nigdy paliw z celowo wprowadzonym „Zn”, a zatem nie ma też wyników wiarygodnej, uśrednionej oceny w tym silniku paliwa CEC DF-79-07 + 1 ppm Zn. W związku z powyższym porównawcze analizy ocen właściwości detergentowych olejów napędowych przeprowadzono w oparciu o wyniki ocen partii 2, 4, 5, 8 i 9 paliwa CEC DF-79-07.

Analiza porównawcza wyników silnikowych ocen paliw

Porównując wyniki ocen właściwości detergentowych pięciu różnych benzyn silnikowych przeprowadzonych na dwóch różnych silnikowych stanowiskach badawczych, według procedur badawczych CEC F-05-93 (M102E) i CEC F-20-98 (M111), nie stwierdzono żadnych korelacji pomiędzy tymi wynikami. Zatem, znając ocenę benzyny przeprowadzoną według jednej z wyżej wymienionych procedur badawczych, nie można wnioskować ani przewidywać, czy też szacunkowo określać tej, jaką otrzymamy według drugiej procedury badawczej.

Wnioski takie wyciągnięto na podstawie wyników dwóch serii badań porównawczych, z których pierwsza obejmowała oceny właściwości detergentowych benzyn o niskiej tendencji do tworzenia osadów na zaworach dolotowych silników badawczych (tablica 1, rysunek 1), a druga – oceny właściwości detergentowych benzyn o dużej tendencji do tworzenia takich osadów (tablica 1, rysunek 2).

Porównując wyniki ocen właściwości detergentowych pięciu różnych partii tego samego oleju napędowego CEC DF-79-07, na dwóch różnych silnikowych stanowiskach badawczych, przeprowadzone według procedur badawczych CEC F-23-01

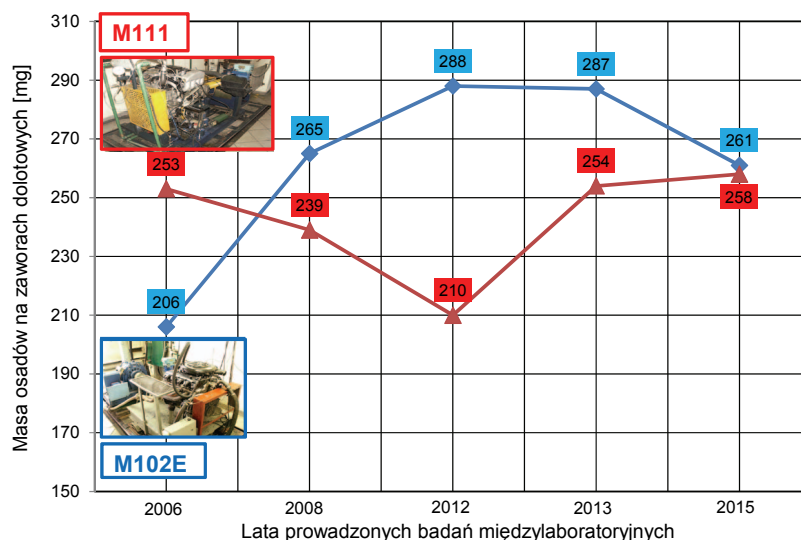


Rys. 1. Porównanie silnikowych ocen właściwości detergentowych benzyn o małej tendencji do tworzenia osadów na zaworach dolotowych przeprowadzonych według procedur badawczych CEC F-05-93 i CEC F-20-98

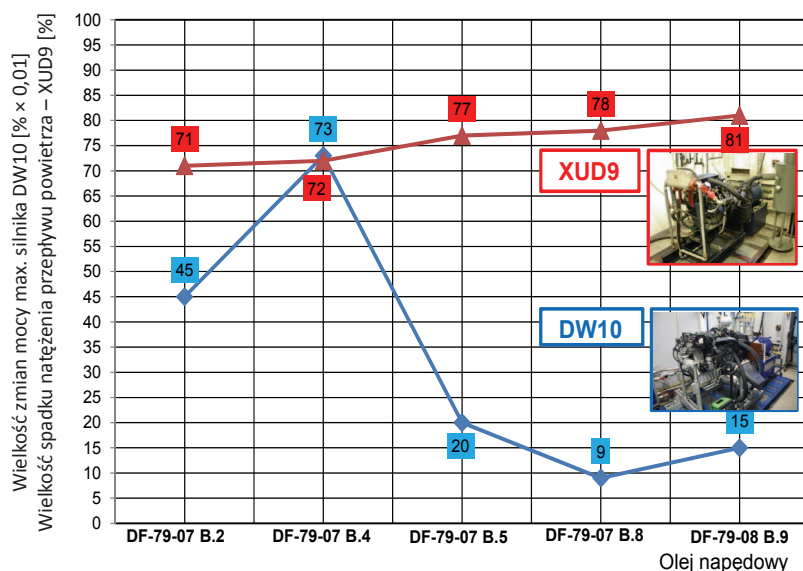
(XUD9 A/L) i CEC F-98-08 (DW10B), nie stwierdzono między nimi żadnych korelacji. Wobec tego, podobnie jak to miało miejsce w przypadku ocen właściwości detergentowych benzyn silnikowych, znając ocenę oleju napędowego przeprowadzoną według jednej z wyżej wymienionych procedur badaw-

czych, nie można wnioskować ani przewidywać czy też szacunkowo określać tej, jaką otrzymamy według drugiej procedury badawczej.

Wnioski takie wyciągnięto na podstawie wyników jednej serii badań porównawczych, obejmującej pięć ocen różnych partii wyżej wymienionego wzorcowego oleju napędowego, wykonanych obiema metodami badawczymi (rysunek 3).



Rys. 2. Porównanie silnikowych ocen właściwości detergentowych benzyn o dużej tendencji do tworzenia osadów na zaworach dolotowych przeprowadzonych według procedur badawczych CEC F-05-93 i CEC F-20-98



Rys. 3. Porównanie silnikowych ocen właściwości detergentowych oleju napędowego w zakresie tworzenia zewnętrznych osadów wtryskiwaczy paliwa przeprowadzonych według procedur badawczych CEC F-23-01 i CEC F-98-08

Przyczyny nieporównywalności wyników silnikowych ocen paliw – podsumowanie

Na przyczyny zróżnicowania ocen właściwości detergentowych benzyn silnikowych w testach prowadzonych według procedur badawczych CEC F-05-93 (Mercedes Benz M102E) i CEC F-20-98 (Mercedes Benz M111) może składać się wiele czynników sprowadzających się do różnorodnych warunków powstawania osadów w różnych silnikach, przy ich zasilaniu paliwami o odmiennym składzie.

Oceniane w przypadku dwóch wyżej wymienionych testów osady na zaworach dolotowych silników ZI z MPFI (*Multi Point Fuel Injection*) mogą przyjmować postać kruchych, słabo przylegających do powierzchni, smolistych, porowatych, lekkich osadów koksowych albo tłustych smołowatych osadów powstałych przy dużym udziale smarowego oleju silnikowego lub twardych, często porowatych osadów koksowych – rysunek 4 [16, 18, 20, 22].

Generalnie ich wielkość, postać i skład zależą od warunków pracy silnika, wpływających na temperaturę nagrzewania powierzchni grzybków zaworów, składu i udziału w ich tworzeniu paliwa oraz stosowanych do jego uszlachetniania dodatków, udziału w ich tworzeniu smarowego oleju silnikowego, czasu pracy silnika i jego konstrukcji, w tym w szczególności układu wtrysku paliwa.

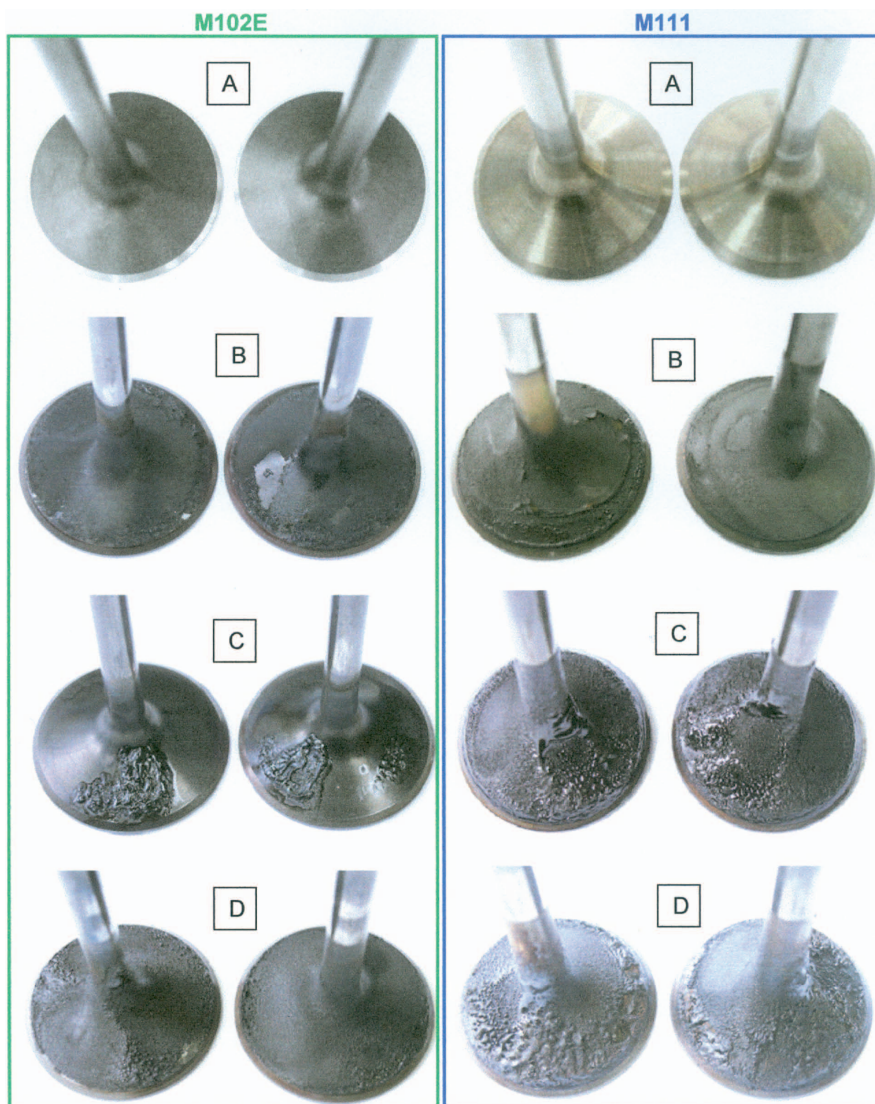
Z chemicznego punktu widzenia największe znaczenie w tworzeniu osadów koksowych, a także w postaci żywic odgrywają procesy termicznego utleniania i degradacji paliwa oraz oleju smarowego w warunkach pracy silnika. Osady takie powstają też na skutek procesów niepełnego spalania paliwa i oleju smarowego, np. w komorach spalania silników [18]. W przypadku osadów na grzybkach zaworów

dolotowych, olej smarowy niezbędny do smarowania prowadnic zaworowych spływa po trzonkach zaworowych, a następnie, przedostając się przez uszczelniacze (w stopniu uzależnionym od wielkości zużycia silnika i lepkości oleju), spływa na gorące grzybki zaworów, tworząc osady. Dla formowania prekursorów osadów mają znaczenie związki zawierające tlen, azot oraz siarkę, a także znajdujące się w paliwach (najczęściej w śladowych ilościach) metale stanowiące katalizatory procesów utleniania paliwa, np. cynk i miedź. Duże znaczenie w powstawaniu osadów przypisuje się też polarności związków tworzących prekursor osadów i interakcjom pomiędzy nimi a powierzchnią metali, na której się osadzają. Szerokie badania pozwoliły ustalić, że najistotniejsze znaczenie dla tworzenia osadów węglowych mają składniki paliwa o najwyższej temperaturze wrzenia, a zatem w kolejności: aromaty, diolefiny, olefiny, nafteny i w mniejszym stopniu parafiny [16, 18]. Nagrzewanie się powierzchni metalu do temperatury wyższej od temperatury wrzenia składników paliwa zapobiega lub ogranicza powstawanie osadów, a w przypadku osadów już osadzonych na takiej powierzchni powoduje ich łuszczenie i odrywanie, a zatem przyspiesza procesy samooczyszczania. Jednak nawet w przypadku temperatur powyżej 350°C możliwe jest tworzenie osadów węglowych. Powstają one na skutek rozkładu węglowodorów do wolnego węgla i wodoru lub kondensacji/polimeryzacji węglowodorów do większych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (PAH), które następnie tworzą osady węglowe [20].

Zatem, gdy średnia temperatura powierzchni zaworów dolotowych spada poniżej 200°C (w przypadku silnika M102E średnia temperatura powierzchni grzybków zaworowych jest wyższa o około 150°C w porównaniu z silnikiem M111), następuje znaczne zmniejszenie ilości osadów odkładanych na ich powierzchni. Wzrost obciążenia silnika i temperatury zaworów dolotowych powyżej 200°C prowadzi do zwiększenia ilości osadów tworzonych na grzybkach zaworów. Po przekroczeniu temperatury zaworów powyżej około 360°C osady praktycznie przestają się tworzyć, a wcześniej osadzone na zaworach podlegają procesom samooczyszczania [8, 12, 16, 18]. Przeprowadzone badania pozwoliły ustalić, że krytyczna temperatura powstawa-

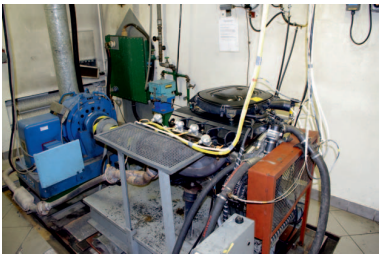

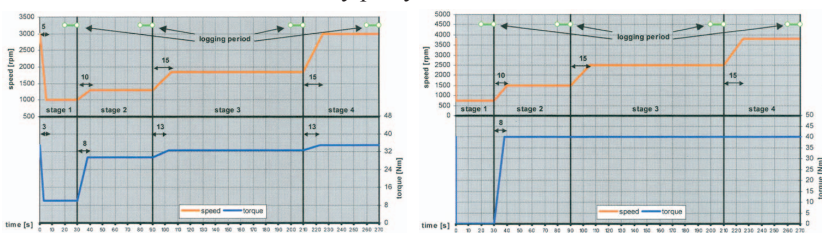
nia osadów na zaworach dolotowych zawiera się w granicach od 230°C do 350°C [6].

Biorąc pod uwagę konstrukcję i działanie układu wtrysku paliwa, gdy stosowany jest MPFI (jak to ma miejsce w przypadku silników Mercedes Benz M102E i M111, które posłużyły w projekcie do silnikowych ocen benzyn), umieszczony w kolektorze dolotowym wtryskiwacz kieruje wtryskiwane paliwo na powierzchnię grzybka zaworu dolotowego, co powoduje wymywanie części osadów, a zarazem kontrolę ich ilości, czyli niedopuszczanie do nadmiernego utrzymywania się ich na powierzchni grzybka zaworu. Jednak dla silnika M102E wtrysk paliwa przebiega w sposób ciągły, a w przypadku M111 w sposób przerywany. W tabelicy 2 zebrano, opisano i sklasyfikowano znaczenie różnic czynników mających największy wpływ na tworzeniu osadów w testach, według procedur CEC F-05-93 i CEC F-20-98.



Rys. 4. Porównanie osadów na zaworach dolotowych silników M102E i M111; A – brak osadów, B – kruche, słabo przylegające do powierzchni, smoliste, porowate osady koksowe, C – tłuste, smolowate osady, D – twarde, zwarte, porowate osady koksowe

Tablica 2. Klasyfikacja czynników wpływających na tworzenie osadów na zaworach dolotowych silników badawczych Mercedes Benz M102E i Mercedes Benz M111

Procedura badawcza		Znaczenie różnic czynników wpływających na tworzenie osadów na zaworach dolotowych silników badawczych xxx – duże xx – średnie x – małe 0 – bez znaczenia
CEC F-05-93 (M102E) 	CEC F-20-98 (M111) 	
WARUNKI PROWADZENIA TESTU		
Parametry pracy silnika w teście 		Taki sam czas i ilość faz cyklu badawczego. Nieco większe obciążenia silnika i prędkości obrotowe w przypadku CEC F-20-98 X
Całkowity czas prowadzenia testu 60 h		0
Parametry powietrza dolotowego silnika, chłodziwa, paliwa i oleju smarowego		Podobne, za wyjątkiem wyższej temperatury chłodziwa na wylocie silnika M111 X
CECHY KONSTRUKCYJNE SILNIKÓW BADAWCZYCH		
Pojemność skokowa silnika i liczba zaworów w cylindrze silnika 2,3 dm ³ , 2VPC (w tym 1 dolot.)		2,0 dm ³ , 4VPC (w tym 2 dolot.) W przypadku silnika M111, 2 zaw. dolot. w komorze spalania mają większą powierzchnię grzybków w porównaniu z 1 zaw. dolot. w komorze spalania silnika M102E X
Średnia temperatura powierzchni grzybków zaworów dolotowych		W przypadku silnika M102E jest ona wyższa o około 150°C w porównaniu z silnikiem M111 XXX
Stosowany system pośredniego wtrysku paliwa Ciągły, elektromechaniczny BOSCH KE-Jetronic		Przerywany, elektroniczny SIEMENS PMS Różne czasy i intensywność omywania grzybków zaworów przez strugi rozpylanego paliwa XX
Sposób przewietrzania skrzyni korbowej silnika Gazy ze skrzyni korbowej odprowadzane są: do 4-cyl. silnika		do 2-cyl. silnika (zewnętrznych) XX
Olej smarowy stosowany w silnikach Do smarowania obu silników używany jest taki sam olej smarowy		0
Wielkość zużycia oleju smarowego przez silnik w teście		Silnik M111 zużywa w pojedynczym teście około 40% więcej smarowego oleju silnikowego aniżeli M102E X
PALIWO		
Objętość zużywanego paliwa w teście 250 dm ³		380 dm ³ XX
Skład paliwa		W tworzeniu osadów istotna jest stabilność termiczna paliwa oraz ilość składników o wysokiej temperaturze wrzenia w powiązaniu z temperaturą, do jakiej nagrzewają się powierzchnie, na których odkładają się osady (w tym przypadku zawory dolotowe) XX

Podobnie jak we wcześniej analizowanych ocenach benzyn silnikowych, na przyczyny zróżnicowania ocen właściwości detergentowych olejów napędowych w testach prowadzonych według procedur badawczych CEC F-23-01 i CEC F-98-08 może składać się wiele czynników.

W przypadku silników Mercedes Benz M102E i M111 mechanizm tworzenia osadów na zaworach dolotowych, środowisko, w jakim powstają, i wygląd, jaki przyjmują, są podobne, ponieważ w obydwu silnikach mamy do czynienia z układem pośredniego wtrysku paliwa, gdzie wtryskiwacze paliwa znajdują się w kolektorach dolotowych przed zaworami dolotowymi i rozpylane w powietrzu paliwo oddziałuje na grzybki zaworowe. Przy czym środowisko chemiczne, w jakim pracują zawory dolotowe, jest bardzo podobne. Inaczej sytuacja wygląda, jeśli chodzi o mechanizm powstawania, środowisko chemiczne i wygląd osadów koksowych tworzonych i ocenianych w silnikach Peugeot XUD9 A/L i DW10B. Peugeot XUD9 A/L jest silnikiem z pośrednim wtryskiem paliwa, a zatem ma dzielone komory spalania, w których wtryskiwacze wtryskują paliwo do komór wstępnych. W układzie wtrysku paliwa wykorzystano hydrauliczną, rotacyjną (rozdzielaczową) pompę wtrysku paliwa i wtryskiwacze czopikowe. Z kolei w silniku Peugeot DW10B zastosowano wtrysk bezpośredni do komór spalania. Jako układ wtrysku paliwa wykorzystywany jest system HPCR (*High Pressure Common Rail*) sterowany elektronicznie. Jednak na wielkość, postać i skład zewnętrznych osadów koksowych ma wpływ nie tylko konstrukcja silnika, ale także warunki i czas jego pracy, skład paliwa (w tym zawartość biokomponentów i metalicznych zanieczyszczeń) oraz stosowane do jego uszlachetniania dodatki.

Osady koksowe rozpylaczy czopikowych silników ZS z pośrednim wtryskiem paliwa, których przykładem jest silnik Peugeot XUD9 A/L, tworzą się wokół otworków wylotowych między iglicą rozpylacza, jego korpusem oraz gniazdem iglicy. Najczęściej mają ciemnoszare lub czarne zabarwienie. Mogą słabo lub silnie przylegać do powierzchni, występować w postaci suchej, smolistej lub tłustej, smołowatej. Zazwyczaj ich grubość jest nierównomierna i mają tendencję do łuszczenia się (rysunek 5). Powstają na skutek termicznego utleniania i degradacji paliwa. Procesowi


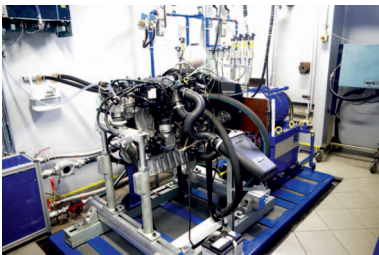
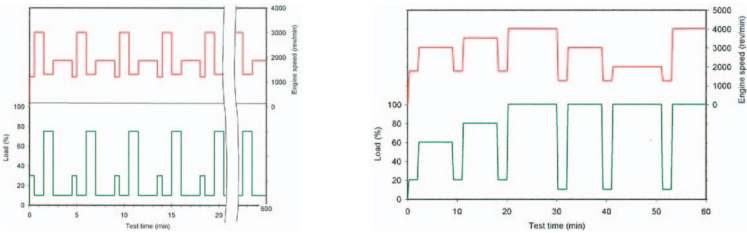
tworzenia osadów towarzyszy proces ich zazwyczaj częściowego usuwania. Przebiega to według różnych mechanizmów, z których najważniejsze to: utlenianie organicznych składników warstwy osadów, odparowanie i desorpcja zmniejszająca zawartość frakcji lotnej rozpuszczonej w osadach. Z kolei siły aerodynamiczne gazów opływających powierzchnie pokryte osadami w połączeniu z różnicami rozszerzalności cieplnej samych osadów oraz metali, na powierzchniach których się utworzyły (na skutek zmian temperatury podczas zachodzących procesów spalania w komorach spalania silnika), powodują odrywanie się i usuwanie osadów. Rozpuszczalna frakcja osadów jest wmywana np. przez wodę stanowiącą rozpuszczalnik soli stanowiących składnik osadów [5, 19].

W przypadku wysokociśnieniowych układów wtrysku paliwa typu HPCR duża precyzja wykonania wielootworkowych, sterowanych elektronicznie wtryskiwaczy, w tym średnica otworków wylotowych paliwa często poniżej 0,1 mm, wy-



Rys. 5. Widok końcówek rozpylaczy wtryskiwaczy silników Peugeot XUD9 A/L i Peugeot DW10B bez osadów i z różnymi formami osadów

Tablica 3. Klasyfikacja czynników wpływających na tworzenie osadów na zaworach dolotowych silników badawczych Peugeot XUD9 A/L i Peugeot DW10B

Procedura badawcza		Znaczenie różnic czynników wpływających na tworzenie osadów na zaworach dolotowych silników badawczych xxx – duże xx – średnie x – małe 0 – bez znaczenia
CEC F-23-01 (XUD9 A/L) 	CEC F-98-08 (DW10B) 	
WARUNKI PROWADZENIA TESTU		
Parametry pracy silnika w teście 		<i>Zupełnie inne cykle badawcze w przypadku prowadzenia obydwu testów. Większa liczba faz cyklu badawczego silnika DW10B, a ponadto znacznie większe jego obciążenia i prędkości obrotowe w porównaniu z silnikiem XUD9 A/L</i> XXX
10 h	Całkowity czas prowadzenia testu 44 h w tym 32 h pracy silnika	XXX
ciągła	Praca silnika w teście przerywana	<i>Przerywana praca silnika umożliwia stabilizację i utrwalenie powstałych osadów</i> XX
Parametry powietrza dolotowego silnika, chłodziwa, paliwa, oleju smarowego i inne		<i>W przypadku silnika DW10B kontroli podlega znacznie większa liczba parametrów jego pracy w teście</i> XX
Brak	Inne czynniki wspomagające proces tworzenia osadów na wtryskiwaczach paliwa Wprowadzanie do badanego paliwa katalizatora cynkowego	<i>Wprowadzenie 1 ppm Zn do paliwa badanego w silniku DW10B znacznie przyspiesza procesy tworzenia osadów wtryskiwaczy</i> XXX
CECHY KONSTRUKCYJNE SILNIKÓW BADAWCZYCH		
System dolotowy i zasilania Silnik wolnossący, OHC 2VPC z pośrednim wtryskiem paliwa Silnik turbodoładowany, DOHC 4VPC z bezpośrednim wtryskiem paliwa		<i>Różne systemy tworzenia mieszanki palnej, w tym dolotowy i wtrysku paliwa</i> XXX
Warunki pracy wtryskiwaczy paliwa Układ wtryskowy z rozdzielaczową pompą wtryskową. Wtryskiwacze umieszczone w komorze wstępnej Układ wtryskowy typu HPCR. Wtryskiwacze umieszczone w komorze spalania		<i>Znacznie wyższa temperatura i ciśnienie pracy wtryskiwaczy silnika DW10B</i> XXX
Konstrukcja rozpylaczy wtryskiwaczy paliwa Czopikowe Wielootworkowe		<i>Wtryskiwacze wielootworkowe systemów HPCR są bardziej podatne i wrażliwe na powstawanie osadów</i> XX
PALIWO		
Objętość zużywanego paliwa w teście 40 dm ³ 750 dm ³		XX
Skład paliwa		<i>W tworzeniu osadów istotna jest stabilność termiczna paliwa oraz ilość składników o wysokiej temperaturze wrzenia w powiązaniu z temperaturą, do jakiej nagrzewają się powierzchnie, na których odkładają się osady</i> XX
Zawartość biokomponentów w paliwie		<i>Ma duży wpływ na wynik, jednak w zależności od rodzaju biokomponentu i stopnia jego zesterzenia wpływ ten jest trudny do przewidzenia</i> XX

sokie ciśnienia wtrysku paliwa (220÷250 MPa), a także bezpośrednie oddziaływanie środowiska procesów spalania oraz bardzo wysokie temperatury, do których mogą nagrzewać się końcówki wtryskiwaczy (dochodzące do około 350°C), to niektóre z czynników sprzyjających powstawaniu osadów koksowych. Ponadto stosowanie lekko stożkowych kanalików wtrysku paliwa wraz z zaokrąglonymi krawędziami na wlocie, w celu poprawy sprawności wypływu paliwa, ułatwia powstawanie w nich osadów. Obserwowane na końcówkach wtryskiwaczy układów HPCR osady węglowo-koksove formujące się wokół otworów rozpylaczy paliwa są bardziej ziarniste względem tych, jakie powstają na rozpylaczach wtryskiwaczy silników starszych generacji (z pośrednim wtryskiem paliwa, np. Peugeot XUD9 A/L). Badania mechanizmu formowania przedmiotowych osadów przeprowadzone w ośrodkach zagranicznych [11, 31] 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 (temperatura części rozpylacza znajdującej się w obszarze procesów spalania w komorze silnika), część ich bezpośrednio sąsiadu-

jąca z krawędzią otworka ulega wykruszeniu, a w ich miejsce powstają nowe. Osady mogą przyjmować postać suchych lub tłustych, smołowatych, czarnych, niekiedy łuszczących się zanieczyszczeń dość równomiernie pokrywających końcówkę rozpylacza wtryskiwacza. Mogą też formować się wokół otworków wylotowych wtryskiwacza, tworząc tam charakterystyczne zgrubienia i przyjmować kolor brunatny lub brunatno-brązowy (rysunek 5).

Bardzo duże znaczenie dla intensyfikacji procesów tworzenia osadów mają pochodzące z zanieczyszczeń w paliwie lub np. z inhibitorów korozji metaliczne katalizatory. Już śladowe zawartości takich pierwiastków jak Zn i Cu mogą znacznie przyspieszyć szybkość i zwiększyć ilość tworzonych osadów koksowych, zarówno wewnątrz kanalików wypływu paliwa, jak i wokół otworków wylotowych wtryskiwaczy paliwa [2, 5, 10, 11]. W tablicy 3 zebrano, opisano i sklasyfikowano znaczenie różnic czynników mających wpływ na tworzenie zewnętrznych koksowych osadów wtryskiwaczy paliwa, w przypadku ocen prowadzonych na stanowiskach silnikowych zgodnie z procedurami badawczymi CEC F-23-01 i CEC F-98-08.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2017, nr 12, s. 964–973, DOI: 10.18668/NG.2017.12.08

Artykuł nadesłano do Redakcji 4.10.2017 r. Zatwierdzono do druku 16.11.2017 r.

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt.: *Porównawcza analiza ocen właściwości detergentowych olejów napędowych i benzyn na różnych stanowiskach silnikowych* – praca INiG – PIB na zlecenie MNiSW; nr zlecenia: 0090/TE/17/01, nr archiwalny: DK-4100-90/17.

Literatura

- [1] Arpaia A., Catania A., D'Ambrosio S., Ferrari A., Luisi S.P., Spessa E.: *Injector Coking Effects on Engine Performance and Emissions*. Conference Paper, ASME, 2009.
- [2] 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 Nr 2009-01-1877.
- [3] Fraidl G.: *Passenger Car Powertrain Trends beyond 2020*. 2015 JSAE/SAE Powertrains, Fuel & Lubricants, Kyoto 2015.
- [4] Hill H.: *Improving understanding of technology and costs for CO₂ reductions from cars and vans in the period to 2030*. DG Climate Action LDV Framework. Brussels 9.12.2014.
- [5] Iida Y.: *Biodiesel Studies in Japan*. CEN/TC19/WG24, 22.05.2012.
- [6] Kalghatgi G.: *Fuel/Engine Interactions*. SAE International, ISBN 978-0-7680-6458-2.
- [7] Kirwan J.: *Gasoline Powertrain Technologies: Developing Solutions for the Global Market DELPHI*; <http://www.umtri.umich.edu/content/John.Kirwan.Delphi.PS21.2012.Presentation.pdf> (dostęp: 5.07.2016).
- [8] Kolobielski M., McCaleb F.: *Gasoline and Engine Oils: Literature Review, New Laboratory Oxidation Method and Significance of Olefins in Fuel*. Report No. 2296, U.S.
- [9] Kuhn M.: *Automotive Powertrain Technologies through 2016 and 2025*. University of Michigan Transportation Research Institute Conference. Marketing New Powertrain Technologies: Strategies in Transition, 15.02.2012.
- [10] Lacey P., Gail S., Kientz J.M., Milanovic N., Gris C.: *Internal Injector Deposits*. SAE Technical Paper Nr 2011-01-1925.
- [11] Macduff M., Barbour R., Panesar A., Arters D., Dietz J., Quigley R.: *Diesel Detergent Additive Responses in Modern High Speed Direct Injection Light Duty Engines*. Fuels 2007, 6th International Colloquium, TAE Esslingen, 2007.
- [12] Orhan A., Semith E.: *Carbon Deposit Formation From Thermal Stressing of Petroleum Fuels – Prepr. Pap.-Am. Chem. Soc., Div. Fuel Chem.* 2004, vol. 49(2), s. 764.
- [13] Rivera E.A., Kirwan J.E.: *Fuel Injection Technology Trends*. Delphi Powertrain Systems, 25.02.2014; <http://www.crao.org/workshops/2014AFEE/Final%20Presentations/Day%201%20Session%20%20SI-Systems%20Presentations/2> (dostęp: 6.07.2016).
- [14] Rogers G.W.: *Powertrain Technologies to Achieve GHG and FE Goals by 2025 and Beyond*. CAR-MBS, Traverse City, Michigan 7.08.2012.
- [15] Steiner G.: *Engine & Powertrain Development Legislation – Trends Technologies – Methodologies*. AVL List GmbH, Warszawa 8.06.2016.
- [16] Stępień Z.: *Deposit in spark ignition engines – formation and threats*. Combustion Engines 2015, vol. 160, nr 1, s. 36–48, PTNSS-2015-104.
- [17] Stępień Z.: *Ewolucja metodyki oceny zanieczyszczenia rozpylaczy silników o zapłonie samoczynnym*. Nafta-Gaz 2014, nr 10, s. 707–716.

- [18] Stępień Z.: *Intake valve and combustion chamber deposits formation – the engine and fuel related factors that impacts their growth*. Nafta-Gaz 2014, nr 4, s. 28–34.
- [19] Stępień Z.: *Obecne i przyszłe silnikowe metody oceny właściwości detergentowych olejów napędowych*. Międzynarodowa Konferencja KONMOT 2014.
- [20] Stępień Z.: *Ocena właściwości użytkowych paliw w aspekcie niekorzystnych zjawisk zagrażających poprawnemu funkcjonowaniu silników z ZI oraz ZS*. Dokumentacja INiG – PIB, nr archiwalny: DK-4100-6/15.
- [21] Stępień Z.: *Przyczyny i skutki tworzenia wewnętrznych osadów we wtryskiwaczach silnikowych wysokociśnieniowego wtrysku paliwa*. Nafta-Gaz 2013, nr 3, s. 256–262.
- [22] Stępień Z.: *The reasons and adverse effect of internal diesel injector deposits formation*. Combustion Engines 2014, vol. 156, nr 1, s. 20–29, PTNSS-2014-103.
- [23] Stępień Z., Oleksiak S., Dybich K.: *Rozwój silnikowych metod badawczych „CEC” do oceny właściwości użytkowych paliw*. Międzynarodowa Konferencja KONES 2007, Rynia 9–11.09.2007.
- [24] Sugiyama M.: *The Future of Automobiles in 2035 toward realization of sustainable mobility society for customer's smiles*. 2015 JSAE/SAE Powertrains, Fuel & Lubricants, Kyoto 2015.
- [25] Wagner R., Dempsey A., Curran S.: *Next Generation Compression Ignition Engines and Future Fuel Opportunities*. 2015 JSAE/SAE Powertrains Fuels and Lubricants, Kyoto 2015.
- [26] Żak G., Ziemiański L., Stępień Z., Wojtasik M.: *Problemy związane z tworzeniem się osadów na elementach ukła-*

dów wtryskowych nowoczesnych silników Diesla – przyczyny, metody badań, przeciwdziałanie. Nafta-Gaz 2013, nr 9, s. 702–708.

Akty prawne i normatywne

- [27] CEC F-20 *Test Method For Inlet Valve Cleanliness – Test Procedure*.
- [28] CEC F-04-87 *The Evaluation of Gasoline Engine Intake System Deposition – Test Procedure*.
- [29] CEC F-05-93 *Inlet Valve Cleanliness in the MB M102E Engine – Test Procedure*.
- [30] CEC F-98-08 *Development of Peugeot DW10 Direct Injection Diesel Nozzle Fouling Test*.
- [31] Co-ordinating European Council CEC F-98-08; *Direct Injection Common Rail Diesel Engine Nozzle Coking Test*; (<http://www.cectests.org>).
- [32] CEC F-23-01 *Procedure for Diesel Engine Injector Nozzle Coking Test*.



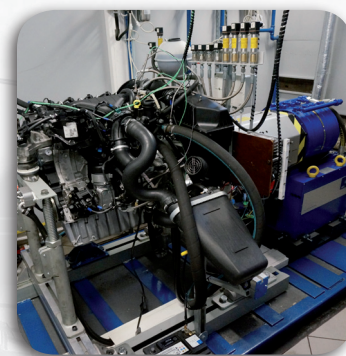
Dr inż. Zbigniew STĘPIEŃ
 Adiunkt; Kierownik Zakładu Oceny Właściwości Eksploatacyjnych, kierownik Pracowni Badań Silnikowych i Trybologicznych Zakładu Oceny Właściwości Eksploatacyjnych.
 Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
 ul. Lubicz 25 A, 31-503 Kraków
 E-mail: zbigniew.stepien@inig.pl

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,
 - » środków smarowych, 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 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. Zbigniew Stępień
Adres: ul. Łukasiewicza 1, 31-429 Kraków
Telefon: 12 617 75 78
Faks: 12 617 75 22
E-mail: zbigniew.stepien@inig.pl

