

Martynika Pałuchowska, Łukasz Jęczmionek
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

Wykorzystanie metody BZ-154-01 do badania skłonności benzyny silnikowej E10 do tworzenia osadów w komorach spalania

Przedstawiono wyniki badania skłonności benzyny silnikowej E10 do tworzenia osadów w komorach spalania metodą oznaczania zawartości żywic nieprzemysłowych PN-EN ISO 6246 oraz metodą termogravimetryczną FLTM BZ-154-01. W badaniach wykorzystano próbki dwóch benzyn E10 zawierających etanol i/lub eter etylo-tert-butylowy (ETBE) oraz cztery różne dodatki uszlachetniające.

Słowa kluczowe: benzyna silnikowa, etanol, eter, osady w komorze spalania.

Using the BZ-154-01 method to study the tendency of E10 petrol to forming deposits in combustion chambers

This paper presents results of a study focused on the tendency of E10 petrol to forming deposits in combustion chambers by the determination of the unwashed gum method PN-EN ISO 6246 and by the thermo-gravimetric method TGA FLTM BZ-154-01. Two gasolines containing ethanol and/or ethyl-tert-butyl ether were improved by the addition of 4 different additives and studied for unwashed gum content and gum decomposition during combustion using the thermo-gravimetric method.

Key words: petrol, ethanol, ethers, combustion chamber deposits.

Wstęp

Podczas procesu spalania benzyny silnikowej w komorach spalania silnika samochodowego o zapłonie iskrowym tworzą się osady [17]. Powstają one częściowo ze spalanego paliwa, a częściowo w wyniku termiczno-oksydacyjnej degradacji oleju smarującego węzeł cierny (cylinder–pierścienie tłoka).

Badania dotyczące powiązania właściwości benzyn silnikowych (w szczególności ich składu chemicznego) ze skłonnością do tworzenia osadów w komorze spalania były prowadzone przez licznych autorów [7–14, 19]. Podejmowano również próby opracowania matematycznego modelu powstawania osadów podczas spalania benzyny [15, 16]. Badania opisane w pracy [1, 4] wykazały, że prekursorami osadów w komorach spalania silnika o zapłonie iskrowym są zarówno składniki benzyny silnikowej, szczególnie wyższe wrzące węglowodory aromatyczne, jak i olej silnikowy, a także dodatki uszlachetniające. Prowadzono również badania

trwałości termicznej dodatków dyspergująco-myjących do paliw silnikowych z wykorzystaniem technik analizy termicznej [2, 5, 6, 18]. Badano też wpływ związków tlenowych na powstawanie osadów. O ile przy spalaniu cięższych węglowodorów może występować spalanie niecałkowite, to w przypadku związków tlenowych spalanie to jest zwykle całkowite, dlatego też benzyny silnikowe zawierające związki tlenowe mogą charakteryzować się obniżoną tendencją do tworzenia osadów w komorze spalania. W pracy [3] podano zależność powstawania osadów w komorach spalania silników samochodów FFV (*flex-fuel vehicles*) po przebiegu około 8000 km, od zawartości etanolu w benzynie silnikowej. W konkluzji stwierdzono, że wzrost zawartości etanolu w granicach 0÷100% (V/V) powoduje zmniejszanie grubości osadu w komorach spalania tych silników. Obniżenie temperatur w komorach spalania silnika na skutek wysokiego

ciepła parowania uniemożliwia odparowanie cięższych frakcji benzynowych, które osiadają na ściankach. Jednak sukcesywny wzrost zawartości etanolu w benzynie obniża zawartość cięższych frakcji w paliwie.

Ograniczanie tendencji benzyny silnikowej do formowania osadów w układach dolotowych i komorze spalania silnika można realizować przez zastosowanie nowej formuły paliwa oraz odpowiednich dodatków detergentowych.

Wykorzystanie nowej formuły benzyny silnikowej jest trudne, gdyż wiąże się ze zmianami technologicznymi w procesach wytwarzania komponentów benzynowych i musi uwzględniać bilans komponentów. W związku z tym, aby poprawić właściwości eksploatacyjne benzyn silnikowych, stosuje się pakiety dodatków uszlachetniających. Pakiety takie zawierają w swoim składzie dodatki o działaniu:

- detergentowym – których zadaniem jest utrzymanie w czystości układu dolotowego i komór spalania oraz zagwarantowanie wymywania osadów powstałych podczas stosowania paliwa o nieznanym pochodzeniu i niezawierającego detergentów;
- przeciwkorozyjnym – których zadaniem jest ochrona przed korozją części silnika, co jest istotne w przypadku obecności etanolu w benzynie silnikowej;
- przeciwutleniającym – których zadaniem jest spowolnienie procesów starzenia i degradacji jakości podczas przechowywania benzyny silnikowej.

Pakiety nowoczesnych dodatków powinny utrzymywać w odpowiedniej czystości zarówno zawory dolotowe, jak i komorę spalania. Pakiety te zawierają w swoim składzie pochodne kwasu poliizobutenobursztynowego.

W Światowej Karcie Paliw [20] podano metody oceny właściwości eksploatacyjnych mające gwarantować, że benzyna silnikowa, która uzyska ocenę mieszczącą się w ustalonych limitach, pozwoli na efektywniejszą pracę silnika i umożliwi kontrolowanie emisji spalin na wymaganym poziomie. Światowa Karta Paliw dla kategorii 3, 4 i 5 określa takie

same wymagania co do oceny czystości komór spalania. Podane limity czystości komór spalania silnika odpowiadają ustaleniom przyjętym dla rynków o zaawansowanych wymaganiach odnośnie do kontroli emisji spalin (EURO 4, EURO 5, EURO 6) oraz dla rynków o wysoko zaawansowanych wymaganiach kontroli emisji spalin i zużycia paliw. Według Światowej Karty Paliw [20] ocenę czystości komór spalania (czyli skłonność do tworzenia osadów w komorze spalania) można przeprowadzić, stosując metodę ASTM D6201, metodę CEC-F-20-A-98 lub metodę TGA FLTM BZ-154-01.

Odnośnie do oceny czystości komór spalania w Światowej Karcie Paliw wyjaśniono, że w celu zapewnienia swobody wyboru metody oceny przyjmuje się, iż paliwo powinno spełniać albo limit zawartości żywic nieprzemysłowych, albo limit osadzonych w komorze depozytów CCD (*combustion chamber deposit*), przy świadomości, że zastosowanie pakietów dodatków detergentowych powoduje powiększenie zawartości żywic nieprzemysłowych w paliwie. W tabelicy 1 podano za Światową Kartą Paliw wymagania dla benzyny silnikowej w zakresie oceny jej skłonności do zanieczyszczania komór spalania według poszczególnych metod.

O ile metody oceny czystości komór spalania według ASTM D6201 i CEC-F-20-A-98 są realizowane na hamowni silnikowej, wymagają wielogodzinnych testów z użyciem silnika Ford lub Mercedes Benz i zużycia kilkuset litrów paliwa, o tyle TGA FLTM BZ 154-01 oraz oznaczanie zawartości żywic nieprzemysłowych są metodami laboratoryjnymi krótkotrwałymi, zużywającymi jedynie kilkadziesiąt mililitrów paliwa.

Celem badań było określenie wpływu poszczególnych pakietów dodatków detergentowych oraz poziomu ich dozowania na zawartość żywic nieprzemysłowych oraz na wartość współczynnika rozkładu żywic (współczynnik *A*, podawany w procentach) dwóch benzyn E10.

Tablica 1. Wymagania dla kategorii paliw 2, 3, 4 i 5 według Światowej Karty Paliw

Metoda badania	Jednostka	Kategoria	
		2	3, 4 i 5
Ocena czystości komór spalania (CCD): ASTM D6201	% paliwa bazowego	maks. 140	maks. 140
CEC-F-20-A-98	mg/silnik	maks. 3500	maks. 2500
TGA FLTM BZ-154-01	% mas. w 450°C	maks. 20	maks. 20
Zawartość żywic nieprzemysłowych według ISO 6246	mg/100 ml	maks. 70	maks. 30

Część doświadczalna

Przedmiotem badań były dwie benzyny silnikowe E10 95:

- benzyna I, zawierająca 7% obj. bioetanolu i 4,5% obj. eteru

etylowo-tert-butylowego (ETBE), oznaczona symbolem E7/4,5ETBE,

- benzyna II, zawierająca 22% obj. ETBE, oznaczona symbolem E22ETBE.

W badaniach skłonności do tworzenia osadów w komorze spalania metodami laboratoryjnymi zastosowano cztery handlowo dostępne dodatki do benzyn (D1, D2, D3, D4) o zadeklarowanym składzie. W skład dodatku D1 wchodziły pochodne kwasu poliizobutenobursztynowego (imidy), spełniając funkcję myjącą. Dodatek D2 zawierał poliamidy kwasu poli-butenobursztynowego jako dodatki myjące. Dodatek D4 zawierał imido-amid kwasu polibutenobursztynowego o funkcji

myjącej. W przypadku dodatku D3 wykazano tylko obecność inhibitorów utleniania i frakcji węglowodorowych, nie ujawniając typu dodatku myjącego. We wszystkich rodzajach dodatków obecne były inhibitory utleniania typu fenolowego.

Przygotowano 16 próbek benzyny E7/4,5ETBE. Cztery próbki zawierały dodatek D1, kolejno w ilości: 150, 350, 550 i 750 mg/kg. Kolejne cztery próbki zawierały dodatek D2, następne cztery dodatek D3, a ostatnie cztery – dodatek D4 w identycznych ilościach. W taki sam sposób przygotowano 16 próbek benzyny E22ETBE.

Metodyka badań

Zastosowano metodykę badawczą wskazaną w Światowej Karcie Paliw. Zawartości żywic nieprzemywanych oznaczono według metody określonej normą PN-EN ISO 6246, a oceny czystości komór spalania dokonywano zgodnie z metodą TGA FLTM BZ 154-01. Ta ostatnia polega na pomiarze stopnia rozkładu żywic nieprzemywanych w temperaturze 450°C, uzyskanych z próbki badanego paliwa. Nieprzemywane żywice otrzymuje się według metody PN-EN ISO 6246. Żywice te rozpuszcza się następnie w dichlorometanie (CH₂Cl₂) i poddaje badaniu z zastosowaniem analizatora termogravimetrycznego. Próbkę ogrzewa się w aparacie do analizy termogravimetrycznej przy stałej szybkości 5°C/min w zakresie temperatur od 20°C do 500°C, w atmosferze powietrza. Przebieg ten uzupełniony jest pięciominutowym okresem izotermicznym w 150°C. Termiczny rozkład próbki zostaje zbadany w funkcji straty masy wraz ze wzrostem temperatury. W celu określenia

współczynnika rozkładu żywic odczytuje się z wykresu termogravimetrycznego ubytek masy próbki w temperaturach 150°C i 450°C. Współczynnik rozkładu żywic A jest zdefiniowany w sposób następujący:

$$A = \frac{(M_{450} - m_{450})100\%}{M_{150} - m_{150}} \quad (1)$$

gdzie:

M_{450} – masa żywicy pozostałej w tyglu uzyskana z pomiaru termogravimetrycznego w temperaturze 450°C,

M_{150} – masa żywicy pozostałej w tyglu uzyskana z pomiaru termogravimetrycznego w temperaturze 150°C,

m_{450} – poprawka dla linii bazowej w 450°C (pusty tygiel),

m_{150} – poprawka dla linii bazowej w 150°C (pusty tygiel).

Parametry: M_{450} , M_{150} , m_{450} , m_{150} odczytuje się z linii T_g , uzyskanej w wyniku pomiaru termogravimetrycznego.

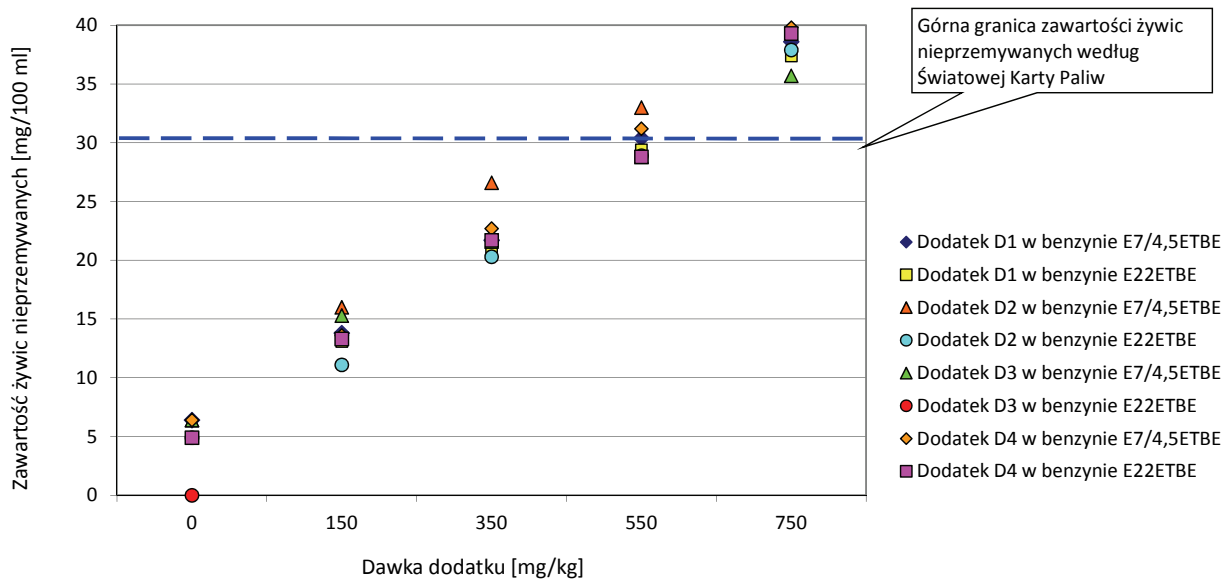
Wyniki badań

Stwierdzono, że obecność każdego z badanych pakietów dodatków detergentowych powodowała wzrost zawartości żywic nieprzemywanych we wszystkich próbkach benzyny bazowej. Uzyskane wartości liczbowe zawartości żywic nieprzemywanych w zależności od poziomu dozowania dodatków przedstawiono na rysunku 1.

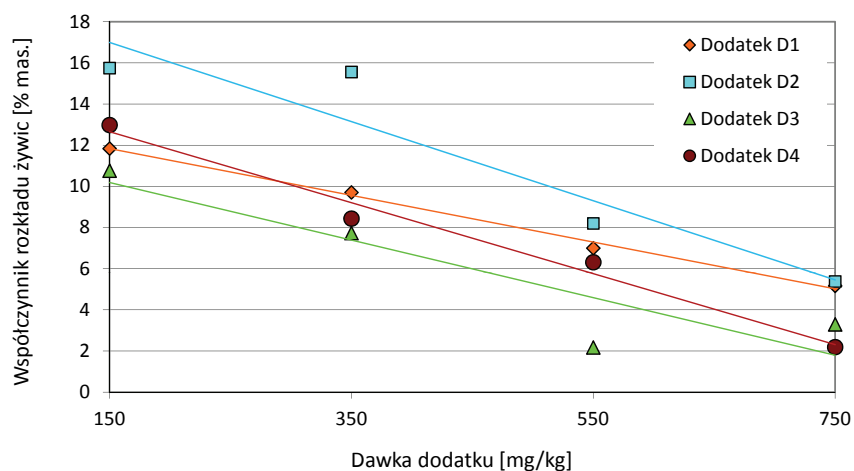
Na podstawie otrzymanych wyników postawiono hipotezę, że stosowana metoda oznaczania żywic nieprzemywanych PN-EN ISO 6246 może być wykorzystywana do analizy jakościowej zgrubnie potwierdzającej lub negującej obecność pakietów dodatków uszlachetniających w benzynie silnikowej E10. Weryfikując tę hipotezę, zaobserwowano na podstawie zależności zobrazonej na rysunku 1, że zawartość żywic nieprzemywanych w benzynie silnikowej wzrastała liniowo wraz ze wzrostem dawki dodatku. Na podstawie wykresu (rysunek 1) można było zatem odczytać przybliżoną dawkę dodatku, oznaczając zawartość żywic nieprzemywanych.

Metoda ta nie rozróżniała rodzaju chemicznego dodatku. Odnosząc się do wymagań Światowej Karty Paliw, przedstawione wyniki badań wskazywały, że aby utrzymać właściwą czystość komór spalania, dawki dodatków, niezależnie od składu chemicznego, nie powinny przekraczać wartości 550 mg/kg. Ta ilość dodatku generowała graniczną zawartość żywic nieprzemywanych (30 mg/100 ml dla paliw kategorii 3–5).

Wyniki badań w odniesieniu do wartości współczynnika rozkładu żywic uzyskanego z analizy termogravimetrycznej przedstawiono na rysunkach 2 i 3. Na rysunku 2 zaprezentowano zależność pomiędzy dawką pakietu dodatków w benzynie silnikowej E7/4,5ETBE a wartością współczynnika rozkładu żywic. W przypadku tej benzyny zaobserwowany kierunek zmian wskazywał na obniżanie się wartości współczynnika A rozkładu żywic wraz ze wzrostem dawki każdego z dodatków, przy czym wartości współczynnika A dla dodatku D2 były najwyższe w całym badanym zakresie



Rys. 1. Zawartość żywic nieprzemysłowych w zależności od dawki dodatków



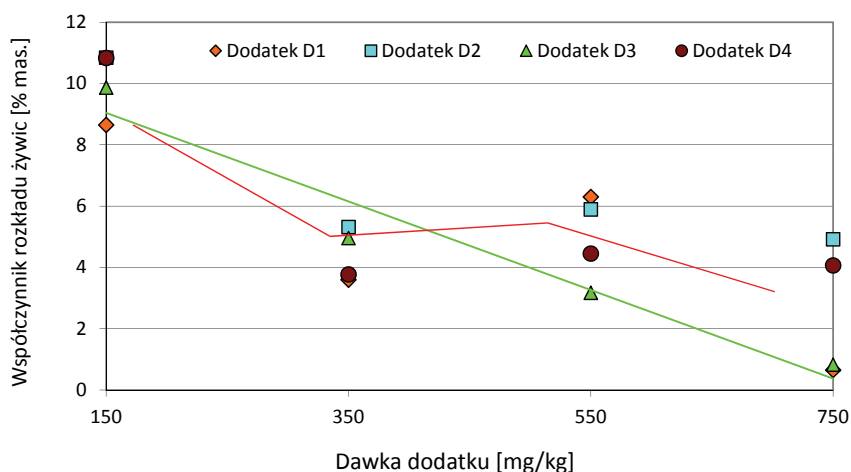
Rys. 2. Współczynnik rozkładu żywic w zależności od dawki dodatku w benzynie silnikowej E7/4,5ETBE

dozowania, a dla dodatku D3 – najniższe. Mając na uwadze, że stopień rozkładu żywic wyrażony współczynnikiem A jest według Światowej Karty Paliw parametrem oceniającym skłonność benzyny do zanieczyszczenia komory spalania, można było na podstawie otrzymanych wyników badania stwierdzić, że wzrost zawartości pakietu dodatków obniżał skłonność benzyny silnikowej E7/4,5ETBE do zanieczyszczenia komór spalania. Uzyskane wyniki wskazały na możliwość rozróżnienia efektywności działania poszczególnych pakietów dodatków detergentowych.

Na rysunku 3 przedstawiono zależność pomiędzy dawką pakietu dodatków w benzynie silnikowej E22ETBE a wartością współczynnika rozkładu żywic. W przypadku tej

benzyny zwiększenie dawki każdego z pakietów dodatków do 350 mg/kg spowodowało zmniejszenie wartości współczynnika A . Stosowanie dawki 550 mg/kg dodatków D1, D2 i D4 spowodowało wzrost współczynnika A , natomiast w przypadku dodatku D3 zaobserwowano jego obniżenie. Efektem dalszego zwiększenia dawki dodatków, do 750 mg/kg, było znaczne obniżenie wartości współczynnika A w przypadku dodatków D1 i D3 i powrót do jego wartości uzyskanych przy dozowaniach 350 mg/kg i 550 mg/kg.

Według Światowej Karty Paliw za wykazującą wysoką skłonność do tworzenia osadów uznaje się benzynę, dla której stopień rozkładu żywic wynosi powyżej 20%. Biorąc pod uwagę, że stopień rozkładu żywic wyrażony współczynnikiem A

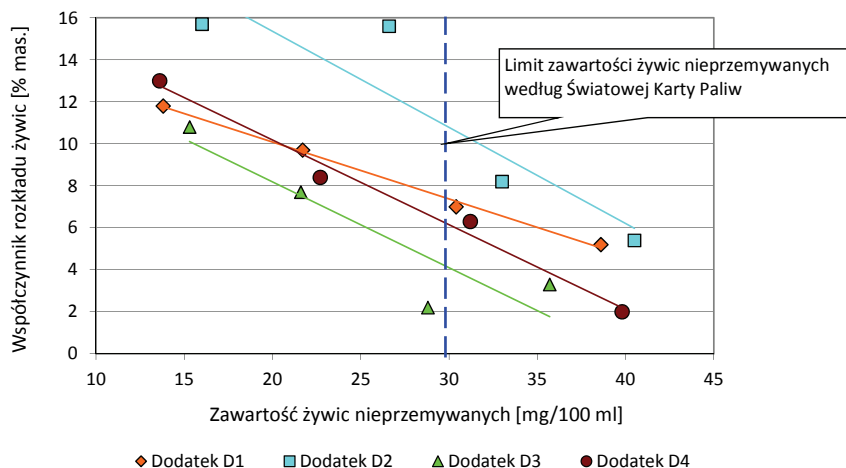


Rys. 3. Współczynnik rozkładu żywic w zależności od dawki dodatku w benzynie silnikowej E22ETBE

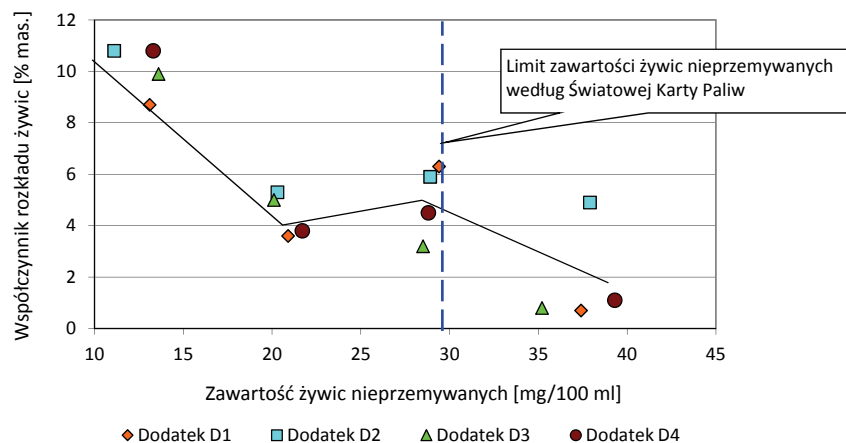
jest, według Karty, parametrem oceniającym czystość komory spalania, można było na podstawie wyników badania stwierdzić, że dodatki D1, D2 i D3 generowały najniższe wartości tego współczynnika w przypadku poziomu dozowania 750 mg/kg, a dodatek D4 dla poziomu 350 mg/kg. Większość uzyskanych wartości współczynnika *A* rozkładu żywic dla benzyny silnikowej E22ETBE nie pozostawała w zależności liniowej od dawki pakietu dodatków.

Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono wartości współczynnika rozkładu żywic w zależności od odpowiadających im zawartości żywic nieprzemysłowych kolejno w benzynie silnikowej E7/4,5ETBE i benzynie silnikowej E22ETBE. Na obu rysunkach zaznaczono limit zawartości żywic nieprzemysłowych ustalony w Światowej Karcie Paliw, wynoszący 30 mg/100 ml.

Przegląd wyników zawartości żywic nieprzemysłowych w korelacji z odpowiadającymi im współczynnikami *A* rozkładu żywic w odniesieniu do benzyny E7/4,5ETBE wskazuje na zależność odwrotnie proporcjonalną, zbliżoną do liniowej. W przypadku najniższej dawki każdego z dodatków (150 mg/kg) w obu rodzajach benzyny rozkład żywic był mało efektywny, na co wskazują wysokie wartości współczynnika *A*. Zwiększanie dawki każdego z dodatków generowało z jednej strony coraz wyższe zawartości żywic nieprzemysłowych w benzynie E7/4,5ETBE, z drugiej jednak strony w coraz większym stopniu ulegały one rozkładowi pod wpływem temperatury w analizie termogravimetrycznej. W przypadku benzyny E7/4,5ETBE najniższe współczynniki *A* uzyskano dla dodatku D3, a najwyższe dla dodatku D2. Wyniki przedstawione na rysunku 4 wskazują na możliwość rozróżnienia efektywności działania różnych typów dodatków do benzyny



Rys. 4. Współczynnik rozkładu żywic w zależności od zawartości żywic nieprzemysłowych w benzynie silnikowej E7/4,5ETBE



Rys. 5. Współczynnik rozkładu żywic w zależności od zawartości żywic nieprzemysłowych w benzynie silnikowej E22ETBE

silnikowej zawierającej etanol i ETBE. W przypadku benzyny silnikowej E22ETBE rozkład termiczny żywic dla dawki dodatków 350 mg/kg przy dodatkach D1, D2 i D4 był większy niż dla dawki 550 mg/kg. Z kolei dla dawki 750 mg/kg przy dodatkach D1, D2 i D3 uzyskano najniższe wartości współczynnika rozkładu żywic. W przypadku benzyny silnikowej zawierającej tylko ETBE nie zaobserwowano wyraźnego rozróżnienia efektywności działania dodatków.

Podsumowanie i wnioski

Na podstawie otrzymanych wyników badań stwierdzono, że metoda oznaczania żywic nieprzemysłowych PN-EN ISO 6246 może być wykorzystywana do analizy jakościowej zgrubnie potwierdzającej lub negującej obecność pakietów dodatków uszlachetniających w benzynie silnikowej E10. Metoda ta nie rozróżnia rodzaju chemicznego dodatku. Z jednej strony rezultaty badań zawartości żywic nieprzemysłowych wskazały, że w przypadku badanych

pakietów dodatków dawka 550 mg/kg była graniczną ze względu na limit ustalony w Światowej Karcie Paliw na poziomie 30 mg/100 ml, z drugiej strony najniższe współczynniki rozkładu zawartości żywic uzyskiwano dla najwyższych zawartości żywic nieprzemysłowych (o najwyższej dawce dodatków). Ze względu na wykazaną niespójność pomiędzy wynikami otrzymanymi dla obu parametrów oceny skłonności benzyny do zanieczyszczenia komory

spalania i wobec niemożności jednoznacznej ich interpretacji stwierdzono, że metoda termogravimetryczna BZ-154-01 nie jest w pełni wystarczająca do oceny skłonności benzyn do tworzenia osadów w komorze spalania. Uzyskane wyniki

mogą zatem wskazywać na konieczność weryfikacji oznaczeń wykonanych tą metodą innymi, równoległymi metodami zapisanymi w Światowej Karcie Paliw, czyli za pomocą testów silnikowych.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2015, nr 4, s. 230–235

Artykuł nadesłano do Redakcji 20.10.2014 r. Zatwierdzono do druku 30.01.2015 r.

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt. *Określenie korelacji pomiędzy zawartością żywic nieprzemysłowych a oceną skłonności benzyny silnikowej do tworzenia osadów w komorze spalania według metodyki FTLM BZ 154* – praca INiG – PIB na zlecenie MNiSW; nr archiwalny: DK-4100-38/13, nr zlecenia: 0038/TP/13.

Literatura

- [1] Chevron Corporation: *Motor gasolines technical review (FTR-1)*. 2009. www.chevronwithtechron.com/products/documents/69083_motorgas_tech_review.pdf (dostęp: 25.07.2013).
- [2] Clarke L., Haddock G.: *The relationship between gasoline additive thermal stability and combustion chamber deposits*. SAE Technical Paper, 1997, doi: 10.4271/972840.
- [3] Corkwell K.: *E85 – it's a whole new ballgame*. Clean Fuels. Hydrocarbon Proc. 2008, 2, s. 99–101.
- [4] Kalghatgi G., Sutkowski A., Pace S., Schwahn H. i in.: *ASTM unwashed gum and the propensity of a fuel to form combustion chamber deposits*. SAE Technical Paper, 2000, doi: 10.4271/2000-01-2026.
- [5] Krasodowski M., Krasodowski W.: *Badania trwałości termicznej dodatków dyspergująco-myjących do paliw silnikowych z wykorzystaniem technik analizy termicznej. Część I. Stan wiedzy*. Nafta-Gaz 2012, nr 10, s. 684–692.
- [6] Krasodowski M., Krasodowski W.: *Badania trwałości termicznej dodatków dyspergująco-myjących do paliw silnikowych z wykorzystaniem technik analizy termicznej. Część II. Badania termogravimetryczne*. Nafta-Gaz 2013, nr 4, s. 310–318.
- [7] Mackowski J.: *Wpływ benzyny na zanieczyszczenia silnika – część 1*. Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji 2003, 106, s. 25–32.
- [8] Mackowski J.: *Wpływ benzyny na zanieczyszczenia silnika – część 2*. Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji 2003, 107, s. 33–38.
- [9] Mackowski J.: *Wpływ benzyny na zanieczyszczenia silnika – część 3*. Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji 2003, 108, s. 31–35.
- [10] Mackowski J.: *Wpływ benzyny na zanieczyszczenia silnika – część 4*. Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji 2003, 109, s. 29–33.
- [11] Mackowski J.: *Wpływ benzyny na zanieczyszczenia silnika – część 5*. Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji 2003, 110, s. 15–20.
- [12] Mackowski J.: *Wpływ benzyny na zanieczyszczenia silnika – część 6*. Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji 2003, 111, s. 25–31.
- [13] Mackowski J.: *Wpływ benzyny na zanieczyszczenia silnika – część 7*. Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji 2003, 112, s. 25–35.
- [14] Mackowski J.: *Wpływ benzyny na zanieczyszczenia silnika – część 8*. Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji 2003, 113, s. 25–35.
- [15] Marchut A., Jeczminek L., Krasodowski M., Paluchowska M.: *Wykorzystanie analizy termicznej do oceny skłonności benzyn do tworzenia osadów w silniku, cz. I*. Biuletyn Instytutu Technologii Nafty 2007, 1, s. 23–26.
- [16] Marchut A., Jeczminek L., Krasodowski M., Paluchowska M.: *Wykorzystanie analizy termicznej do oceny skłonności benzyn do tworzenia osadów w silniku, cz. II*. Biuletyn Instytutu Technologii Nafty 2007, 2, s. 109–114.
- [17] Marshal E. L., Owen K. (eds.): *Motor gasoline*. The Royal Society of Chemistry, Oxford, 1995.
- [18] Ramadhas A., Singh V., Subramanian M., Acharya G. i in.: *Impact of fuel additives on intake valve deposits, combustion chamber deposits and emissions*. SAE Technical Paper 2011, doi: 10.4271/2011-01-1980.
- [19] Woodyard M. E., Lee G. R.: *Using Gasoline Properties to Predict CCD Performance*, SAE Technical Paper 1999, doi: 10.4271/1999-01-3582.

Akty prawne i normatywne

- [20] *Worldwide Fuel Charter*. Fifth Edition. September 2013.



Dr inż. Martynika PAŁUCHOWSKA
Główny specjalista badawczo-techniczny
w Zakładzie Paliw i Procesów Katalitycznych.
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25A
31-503 Kraków
E-mail: martynika.paluchowska@inig.pl



Dr inż. Łukasz JĘCZMIONEK
Adiunkt w Zakładzie Paliw i Procesów
Katalitycznych.
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25A
31-503 Kraków
E-mail: lukasz.jeczminek@inig.pl