

Kornel Dybich

*Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy*

## Wpływ zawartości i jakości bioetanolu w paliwach do silników ZI na oznaczenie liczby oktanowej

Artykuł dotyczy zagadnień związanych z oznaczaniem liczb oktanowych (LO) biopaliw E85, przeznaczonych do zasilania silników spalinowych o zapłonie iskrowym typu *Flex-Fuel* – fabrycznie przystosowanych do eksploatacji na biopaliwach. Przedstawiono w nim problemy wynikające z zastosowania odpowiednich norm ASTM podczas wykonywania oznaczeń liczb oktanowych biopaliw E85 oraz opisano ich wpływ na możliwość uzyskania wiarygodnych wyników. Zaprezentowano bogate doświadczenia własne w zakresie oceny przydatności silnikowych stanowisk typu CFR (*Co-operative Fuel Research Unit*) do oznaczeń liczby oktanowej badawczej (LOB) i motorowej (LOM). Dokonano też wyznaczenia powtarzalności uzyskanych wyników LO w zależności od udziału etanolu w bezołowiowej benzynie silnikowej.

Słowa kluczowe: biopaliwa, *Flex-Fuel*, bioetanol, liczba oktanowa (LO).

### The influence of the contents and quality of bioethanol fuel for SI engines on the determination of octane numbers

This article concerns issues related to the determination of octane number (ON) for E85 biofuel, designed to power internal combustion engines with spark ignition of the *Flex-Fuel* type, which is factory-prepared to operate on biofuels. The article presents the problems arising from the application of the relevant ASTM standards when performing designation of octane numbers for E85 biofuel, and their impact on the ability to obtain reliable results. Individual extensive experience in assessing the suitability of the CFR (*Co-operative Fuel Research Unit*) type motor positions for the determination of the research (RON) and motor (MON) octane number is described. Depending on the amount of ethanol in unleaded gasoline engine fuel, the determination of the reproducibility of obtained ON results were also carried out.

Key words: biofuels, *Flex-Fuel*, bioethanol, octane number (ON).

### Wprowadzenie

Pojęcie dywersyfikacji dostaw ropy naftowej w obecnym czasie nabiera szczególnego znaczenia, zwłaszcza gdy główny dostawca jest monopolistą zewnętrznym, prowadzącym nieprzewidywalną politykę energetyczną.

Niemal pełne uzależnienie od zewnętrznych dostaw ropy naftowej oraz realizacja dyrektyw Unii Europejskiej w zakresie ochrony środowiska powodują konieczność podjęcia zdecydowanych działań zapobiegawczych, mających na celu poprawę bezpieczeństwa energetycznego państwa i pogarszającej się sytuacji odbiorców paliw.

Budowa i rozbudowa magazynów na ropę i produkty ropopochodne to niezbędny element wzmocnienia

bezpieczeństwa kraju w warunkach niestabilności rynków zewnętrznych, spowodowany zarówno czynnikami naturalnymi, jak i zmieniającą się sytuacją polityczną i ekonomiczną państw-eksporterów [12].

Natomiast dywersyfikacja paliw może być zapewniona poprzez zmniejszenie stopnia uzależnienia polskiego rynku paliwowego od importu ropy naftowej i paliw płynnych z jednego kierunku oraz zwiększenie udziału biokomponentów i biopaliw ciekłych produkowanych w większości z krajowych surowców.

Zwiększanie udziału biokomponentów i biopaliw ciekłych na krajowym rynku paliwowym jest też spójne z realizacją

Narodowego Celu Redukcyjnego (NCR), który wprowadza obowiązek ograniczania emisji gazów cieplarnianych (zwłaszcza CO<sub>2</sub>) pochodzących z wykorzystania paliw w transporcie drogowym, a także Narodowego Celu Wskaźnikowego (NCW). NCW określa minimalny udział biokomponentów i innych paliw odnawialnych w ogólnej ilości paliw ciekłych i biopaliw ciekłych zużywanych w ciągu roku kalendarzowego w transporcie, liczony według wartości opałowej (*Ustawa z dnia 25 sierpnia 2006 r. o biokomponentach i biopaliwach ciekłych*, art. 2.1, pkt. 24) [13].

Ponadto od 2009 roku funkcjonuje rozporządzenie Ministra Gospodarki określające wymagania jakościowe dla biopaliw ciekłych wyprodukowanych lub wprowadzonych do obrotu na terenie Rzeczypospolitej Polskiej.

Mając powyższe na uwadze, a także obserwując dynamiczny wzrost na polskim rynku sprzedaży nowych samochodów zasilanych benzyną silnikową, w stosunku do sprzedaży samochodów zasilanych olejem napędowym, zasadny byłby wybór drogi prowadzącej do zwiększenia produkcji i dystrybucji paliw alternatywnych z odnawialnych źródeł energii, przeznaczonych do zasilania silników spalinowych o zapłonie iskrowym (ZI).

Przykładem mogłaby tu być promocja i wprowadzenie do obrotu handlowego na szeroką skalę biopaliwa E85, zawierającego 70÷85% (V/V) bioetanolu o jakości zgodnej z wymaganiami normy EN 15376 i 15÷30% (V/V) bezołowiowej benzyny silnikowej o jakości zgodnej z wymogami normy EN 228.

Bioetanol (alkohol etylowy wytwarzany z biomasy, w tym bioetanol zawarty w eterze etylo-tert-butylovym lub eterze etylo-tert-amylowym) [8] może być w całości produkowany w Polsce, co umożliwiłoby stymulację rozwoju gospodarczego kraju, jak i uniezależnienie się od zagranicznych koncernów paliwowych.

Przedstawione powyżej czynniki powinny więc przyczynić się do rozwoju krajowej produkcji bioetanolu i związanego z tym sukcesu biopaliwa E85.

Paliwo etanolowe E85 jest biopaliwem przeznaczonym do zasilania silników spalinowych o zapłonie iskrowym typu *Flex-Fuel*, czyli silników fabrycznie przystosowanych do eksploatacji na biopaliwach, z płynną regulacją kąta wyprzedzenia zapłonu, co umożliwia spalanie bezołowiowej benzyny silnikowej zawierającej od 0% (V/V) do 85% (V/V) bioetanolu [9]. Oznacza to, że silniki pojazdów samochodowych typu *Flex-Fuel Vehicle* (FFV), przystosowane do spalania biopaliwa E85, mogą być również zasilane konwencjonalną, ogólnie dostępną bezołowiową benzyną silnikową.

Możliwość tankowania do jednego zbiornika paliwowego samochodu FFV benzyny lub biopaliwa albo obu tych paliw w dowolnych proporcjach powinna zachęcać potencjalnych

nabywców do zakupu tego typu samochodów, zwłaszcza że są one oferowane przez producentów wielu marek samochodowych w szerokiej gamie modeli.

Samochody wyposażone w silniki o zapłonie iskrowym typu *Flex-Fuel* nie cieszą się popularnością ze względu na prawie zerowy dostęp na polskim rynku dystrybucyjnym do biopaliwa E85 oraz fakt, że są one droższe od ich odpowiedników wyposażanych w konwencjonalne silniki benzynowe ZI.

Nie przekreśla to jednak rozwoju eksploatacyjnego biopaliwa E85, zwłaszcza że już od 2009 roku funkcjonuje prawne dopuszczenie do wprowadzenia na rynek krajowy tego rodzaju paliwa.

Przypuszcza się, że uwarunkowania Unii Europejskiej w zakresie ochrony środowiska spowodują ożywienie problematyki związanej z wprowadzeniem w szerszym zakresie niż do tej pory biopaliw ciekłych na polski rynek paliw silnikowych.

Uzasadnione jest zatem podejmowanie badań mających na celu określenie jakości i przydatności biopaliwa E85 do zasilania silników spalinowych o zapłonie iskrowym typu *Flex-Fuel*, chociaż procentowy udział samochodów FFV w polskim rynku jest znikomy.

Do określenia jakości paliwa do zasilania silników spalinowych wykorzystuje się szereg metod badawczych stosowanych w laboratoriach chemicznych, ale ostateczna weryfikacja paliwa powinna zawsze kończyć się na stanowiskach badawczych z silnikami spalinowymi (obiekt rzeczywisty).

Podstawową ocenę jakości paliwa stosowanego do zasilania silników benzynowych przeprowadza się w jednocylindrowych, czterosurowych silnikach badawczych CFR Dresser Waukesha, produkcji USA, ze zmiennym stopniem sprężania, określając odporność benzyn na spalanie stukowe, wyrażoną liczbami oktanowymi (badawczą i motorową) [2].

Zgodnie z definicjami według odpowiednich norm ASTM, **liczba oktanowa (LO)** stanowi miarę odporności na spalanie stukowe (detonacyjne) paliw przeznaczonych do zasilania silników o zapłonie iskrowym, przy czym: **liczba badawcza (LOB)** – dla umiarkowanego obciążenia silnika, a **motorowa (LOM)** – dla większego obciążenia silnika [10, 11], odzwierciedlającego eksploatację samochodu w ruchu pozamiejskim.

Liczba oktanowa motorowa umożliwia też pomiar odporności na spalanie stukowe paliw do tłokowych silników lotniczych, przez przeliczenie na liczbę oktanową oznaczoną według Aviation Metod lub liczbę wyczynową (badanie ubogiej mieszanki paliwa lotniczego) [10]. W Laboratorium Badań Silnikowych i Trybologicznych INiG – PIB od wielu lat prowadzone są oznaczania liczb oktanowych (badawczej – LOB, motorowej – LOM) benzyn silnikowych w znormalizowanych silnikach CFR, wyprodukowanych przez amerykańską firmę Dresser Waukesha. Ocena liczb oktanowych

wych przeprowadzana jest w znormalizowanych, jednocylindrowych, czterosurowych, gaźnikowych silnikach ZI o

zmiennym stopniu sprężania (4:1 do 18:1), pracujących ze stałą prędkością obrotową.

### Część badawcza

Przed przystąpieniem do oznaczeń liczb oktanowych w ramach badań wpływu zawartości i jakości bioetanolu w paliwach do silników ZI na oznaczenia liczb oktanowych, dokonano przeglądu stanowisk badawczych zgodnie z technicznymi instrukcjami obsługi silników badawczych, stanowiącymi załączniki do norm ASTM opisujących metodyki oznaczania LOB i LOM.

Na podstawie Specyfikacji Technicznej PKN-CEN/TS 15293, precyzującej wymagania i metody badań dla paliwa etanolowego (E85) do pojazdów samochodowych, oceniono przewidywany zakres oznaczeń liczb oktanowych.

Stwierdzono, że w przypadku liczb oktanowych badawczych zakres oznaczalności LOB dla tych paliw mieści się powyżej wartości 103,5, gdzie niezbędnym do przeprowadzenia badań materiałem wzorcowym jest mieszanina podstawowego paliwa wzorcowego (PRF), jakim w tym przypadku jest izooktan i rozcieńczony tetraetylen ołowiu (TEL).

Ten ostatni stanowi roztwór płynu ołowiowego, zawierającego tetraetylen ołowiu, używany do etylizacji benzyn lotniczych w mieszaninie węglowodorowej składającej się w 70% (V/V) z ksyłenu i w 30% (V/V) z n-heptanu [11]. Stosowanie płynu ołowiowego podwyższającego liczbę oktanową paliw wzorcowych

Tablica 1. Analiza właściwości fizykochemicznych wykonana w INiG – PIB dla próbek paliw etanolowych E85 na zgodność ze Specyfikacją Techniczną PKN-CEN/TS 15293:2012

Parametr	Próbka biopaliwa E85(E0+85)	Próbka biopaliwa E85(E0+70)	Wymagania według PKN-CEN/TS 15293:2012			
			zakresy		metoda badań według	
			minimum	maksimum		
1. Gęstość (w 15°C) [kg/m <sup>3</sup> ]	784	773	760,0	800,0	PN-EN ISO 12185	
2. Okres indukcyjny [minuta]	>360	>360	360	–	PN-EN ISO 7536	
3. Udział żywic (po przemyciu rozpuszczalnikiem) [mg/100 ml]	1,0	1,1	–	5	PN-EN ISO 6246	
4. Badanie działania korodującego na płytce miedzianej (3 h w 50°C) [klasa]	1	1	klasa 1		PN-EN ISO 2160	
5. Całkowita kwasowość (w przeliczeniu na kwas octowy) [% (m/m)]	<0,003	–	–	0,005	PN-EN ISO 15491	
6. Przewodność elektryczna [μS/cm]	1,0	–	–	1,5	PN-EN 15938	
7. Zawartość metanolu [% (V/V)]	0,4	0,3	–	1,0	PN-EN 1601	
8. Udział wyższych nasyconych alkoholi jednowodorotlenowych (C <sub>3</sub> –C <sub>5</sub> ) [% (V/V)]	<0,17	<0,17	–	6,0		
9. Udział eterów (z pięcioma lub więcej atomami węgla) [% (V/V)]	<0,17	<0,17	–	11,0		
10. Udział etanolu + wyższych nasyconych alkoholi [% (V/V)]	84,5	70,5	70 klasa a**	85 klasa a**		
11. Udział wody [% (m/m)]	0,118	–	–	0,400	PN-EN 15489	
12. Udział chlorków nieorganicznych [mg/kg]	<4,0	–	–	1,2	PN-EN 15492	
13. Udział miedzi [mg/kg]	<0,05	–	–	0,10	PN-EN 15837	
14. Udział fosforu [mg/l]	<0,15	–	–	0,15	PN-EN 15487	
15. Udział siarki [mg/kg]	<0,5	<0,5	–	10,0	PN-EN 15486	
16. Udział siarczanów [mg/kg]	2,7*	2,2*	–	4,0	PN-EN 15492	
17. Prężność par [kPa]	32,0	45,2	35,0 klasa a**	60,0 klasa a**	PN-EN 13016-1	

\* Wartości obliczone.

\*\* Klasa a – dla okresu letniego trwającego od 1 maja do 30 września [7].

PRF może doprowadzić do wystąpienia zanieczyszczenia przez osady ołowiu układu dolotowego silnika badawczego.

Zjawisko to jest nazywane efektem „pamięci ołowiowej” i może znacząco wpłynąć na wielkość liczby oktanowej benzyny silnikowej o jakości zgodnej z normą EN 228 [9].

Celem wyeliminowania w jak największym stopniu tego typu zjawiska, do prowadzenia oznaczeń liczb oktanowych badawczej i motorowej dla biopaliw E85, w oparciu o paliwa wzorcowe PRF zawierające TEL, zastosowano fabrycznie nowy, znormalizowany układ zasilania paliwem silników badawczych CFR, w skład którego wchodzi gaźnik wyposażony w kilka zbiorniczków paliwa oraz zawór rozdzielaczy, umożliwiający dostarczenie paliwa do silnika poprzez jednokanałową dyszę i gardziel gaźnika [10, 11].

Do wielokrotnych badań liczb oktanowych przygotowano dwie partie paliw silnikowych o podwyższonej zawartości biokomponentów. Poniżej opisano i podano skład próbek biopaliw E85 (bazowej benzyny silnikowej i etanolu) przygotowanych do badań silnikowych w dziesięciu powtórzeniach dla każdej partii:

- **E85(E0+70)** – bazowa benzyna silnikowa z udziałem 70% (V/V) bioetanolu,
- **E85(E0+85)** – bazowa benzyna silnikowa z udziałem 85% (V/V) bioetanolu.

W tablicy 1 zestawiono wyniki analiz właściwości fizykochemicznych próbek paliw etanolowych E85, wykonanych w INiG – PIB zgodnie ze Specyfikacją Techniczną PKN-CEN/TS 15293.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że w trakcie zestawiania biopaliwa E85(E0+85) nastąpiło zmniejszenie prężności par. Etanol charakteryzuje się bardzo niską wartością prężności par, co spowodowało, że zestawione biopaliwo E85 nie spełnia wymagań jakościowych.

Jednak dla celów poznawczych, polegających na sprawdzeniu możliwości oznaczania liczb oktanowych biopaliwa o tak dużym udziale etanolu w bazowej benzynie silnikowej, postanowiono wykonać na jednostkach badawczych CFR założoną serię oznaczeń (LOB, LOM) i określić w wynikach i wnioskach zalecenia obejmujące całość zagadnienia.

Jakość przygotowania jednostek badawczych CFR do wielokrotnych oznaczeń liczb oktanowych próbek biopaliw E85 sprawdzono w próbnym testach silnikowych, według norm ASTM D2699-13b (LOB) i D2700-13b (LOM).

Stwierdzono, że podczas prowadzenia wstępnych oznaczeń liczb oktanowych dla przygotowanych mieszanin nie można osiągnąć znormalizowanego współczynnika nadmiaru powietrza (masa paliwa do powietrza w mieszance) odpowiadającego maksymalnemu natężeniu stuku.

Znormalizowany skład mieszanki paliwowo-powietrznej w silnikach CFR określany jest za pomocą wyskalowanej

szklanej rurki wskaźnikowej gaźnika dla znormalizowanego przepływu paliwa, zależnego od rozmiaru poziomej dyszy gaźnikowej. Rozmiar dyszy określa, ile mililitrów izooktanu przepuści ona w czasie jednej minuty, przy ciśnieniu jednej stopy (29,9 mbar) [5].

Standardowo do silników badawczych CFR montowane są dysze gaźnikowe o rozmiarach podanych w tablicy 2, które według badań wykonanych w INiG – PIB umożliwiają prowadzenie znormalizowanych oznaczeń LO dla benzyn silnikowych zawierających do 25% (V/V) bioetanolu.

Tablica 2. Zestawienie wartości przepływu (rozmiaru) gaźnikowych dysz paliwowych silników badawczych CFR do oznaczania liczb oktanowych

Metoda badawcza	Wartość przepływu (rozmiar) dyszy według ASTM	Wartość przepływu (rozmiar) dyszy dobranej w INiG – PIB
LOB ASTM D2699-13b	86 [ml/min]	139 [ml/min]
LOM ASTM D2700-13b	68 [ml/min]	120 [ml/min]

Na potrzeby przedmiotowej pracy badawczej, metodą porównawczą i wielokrotnych prób silnikowych, dobrano odpowiednie (dla danej metody) przepływy dysz paliwowych (tablica 2), umożliwiające przeprowadzenie badań liczb oktanowych przygotowanych biopaliw E85 zawierających 70÷85% (V/V) bioetanolu i 15÷30% (V/V) bezołowiowej benzyny silnikowej.

Uzyskanie właściwego przepływu przez dysze paliwowe dla badanych biopaliw E85 umożliwiło przeprowadzenie wstępnych badań przybliżonych wartości liczb oktanowych, na podstawie których należy dobrać skład mieszanin podstawowych paliw wzorcowych warunkujący oznaczenia LOB i LOM zgodnie z normami ASTM D2699-13b i D2700-13b.

Otrzymane przybliżone wartości liczb oktanowych motorowych dla badanych próbek biopaliw E85 nie budzą żadnych zastrzeżeń pod względem możliwości dobrania znormalizowanych mieszanin podstawowych paliw wzorcowych dla oznaczenia LOM. Natomiast uzyskane przybliżone wartości liczb oktanowych badawczych wskazują na zakres oznaczalności powyżej LOB = 107,5, co wiąże się z przygotowaniem znormalizowanych mieszanin izooktanu (PRF) i rozcieńczonego tetraetylu ołowiu (TEL).

Na podstawie otrzymanych przybliżonych wartości LOB dla badanych próbek biopaliw E85 zestawiono „nawiasujące” mieszaniny paliw PRF i TEL o największej dopuszczalnej różnicy pomiędzy ich wartościami, zgodnej z wytycznymi zamieszczonymi w tablicy 3.

Według odpowiednich norm ASTM dla metod badawczych LO, mieszanina paliw nawiasujących jest to para paliw

Tablica 3. Dopuszczalne różnice liczb oktanowych badawczych nawiasujących mieszanin podstawowych paliw wzorcowych (PRF) i rozcieńczonego tetraetylku ołowiu (TEL) [6]

Zakres LOB próbki paliwa	Największa dopuszczalna różnica pomiędzy mieszaninami paliw wzorcowych PRF i TEL
103,5 do 108,6	0,2 ml TEL na U.S. gallon PRF (0,053 ml TEL na litr PRF)
108,6 do 115,5	0,5 ml TEL na U.S. gallon PRF (0,132 ml TEL na litr PRF)

wzorcowych, dobrana w taki sposób, żeby odczyt przybliżonej liczby oktanowej dla badanego paliwa mieścił się pomiędzy wartościami zestawionych paliw wzorcowych.

Opisane powyżej odpowiednie przygotowanie warsztatu badawczego oraz określenie zakresu oznaczalności LO i zestawienie właściwych znormalizowanych paliw wzorcowych umożliwia przystąpienie do prowadzenia wielokrotnych oznaczeń liczb oktanowych dla przygotowanych próbek biopaliw E85, zgodnie z metodyką badań zawartą w normach ASTM D2699-13b (LOB) i D 2700-13b (LOM).

Przygotowane próbki biopaliw E85(E0+70) i E85(E0+85) poddano badaniom LOB i LOM w Laboratorium Badań Silnikowych i Trybologicznych INiG – PIB w celu wyznaczenia różnicy bezwzględnej między wynikami oznaczonych liczb.

Wpływ zawartości i jakości bioetanolu w paliwach do silników ZI na oznaczenia liczb oktanowych postanowiono ocenić w warunkach powtarzalności, w których niezależne wyniki takich samych jednostek badania są otrzymywane dla tej samej próbki paliwa, za pomocą identycznej metody, w tym samym laboratorium, przez tego samego operatora, z użyciem jednakowego wyposażenia, w krótkich odstępach czasu [2].

Przed rozpoczęciem badań liczb oktanowych dla każdej serii próbek biopaliw E85 sprawdzano, czy silniki badawcze spełniają wszystkie wymagania dotyczące regulacji i warunków użytkowania oraz czy znajdują się one w stanie ustabilizowanym i zgodnym z wymaganiami norm ASTM, dotyczącymi silników CFR i ich oprzyrządowania pomiarowego.

Priorytet stanowiło wzorcowanie jednostek badawczych dla każdego poziomu oznaczalności LO. Był on zależny od przybliżonej liczby oktanowej oznaczanej dla danej serii próbek biopaliw E85, gdzie kwalifikowano silniki LOB i LOM jako nadające się do wykonywania oznaczeń, poprzez ocenę odpowiedniej znormalizowanej mieszaniny paliwa toluenowego (TSF Blend). Mieszaninę TSF Blend zestawia się w proporcjach objętościowych następujących składników: wzorcowego toluenu, izooktanu i n-heptanu, które mają wywzorcowane liczby oktanowe i oznaczone granice tolerancji wartości wzorcowania [11]. Skład mieszaniny i związaną z nią wielkość liczby oktanowej dobiera się każdorazowo dla zakresu LOB i LOM, w którym oznaczane są próbki paliw silnikowych. Wykonane wcześniej badania wstępne liczb

oktanowych dla przygotowanych próbek biopaliw E85 pozwoliły wyznaczyć odpowiednie przedziały liczb oktanowych, w zależności od których wzorcowano silniki badawcze CFR i prowadzono standardowe badania LOB i LOM.

Przez cały okres trwania oznaczeń liczb, zgodnie z odpowiednimi procedurami badawczymi, ściśle przestrzegano wykonywania czynności obejmujących kontrolę i czyszczenie paliwowych układów zasilających silniki CFR Dresser Waukesha po dziesięciu oznaczeniach liczb dla każdej partii paliw silnikowych z biokomponentami.

Uzyskane w warunkach powtarzalności, w Laboratorium Badań Silnikowych i Trybologicznych INiG – PIB, średnie wyniki badań liczb oktanowych badawczych i motorowych dla próbek biopaliw E85(E0+70) i E85(E0+85) pokazuje analiza porównawcza rezultatów oznaczeń zestawionych w tablicy 4.

Tablica 4. Wyniki oznaczeń liczb oktanowych (LO) bazowej benzyny silnikowej z udziałem 70÷85% (V/V) bioetanolu, badanej na stanowiskach silnikowych CFR Dresser Waukesha USA

Średnia arytmetyczna z dziesięciu oznaczeń liczb oktanowych (LOB, LOM) biopaliwa E85			
Badana liczba oktanowa	Oznaczenie próbki		Zastosowana norma
	E85(E0+70)	E85(E0+85)	
LOB <sub>SR</sub>	107,96	109,52	ASTM D2699-13b
LOM <sub>SR</sub>	92,00	92,94	ASTM D2700-13b

Obliczone średnie arytmetyczne z dziesięciu oznaczeń liczb oktanowych próbek biopaliw E85 stanowią podstawę określenia rozrzutów wyników oznaczeń powtarzanych badań, czyli minimalnej najlepszej oczekiwanej precyzji – powtarzalności [1].

Stosując techniki walidacji, zgodne z normą PN-EN ISO/IEC 17025, wyznaczono powtarzalność otrzymanych wyników badań, uwzględniając odchylenie standardowe rozrzutu wyników oznaczonych liczb oktanowych.

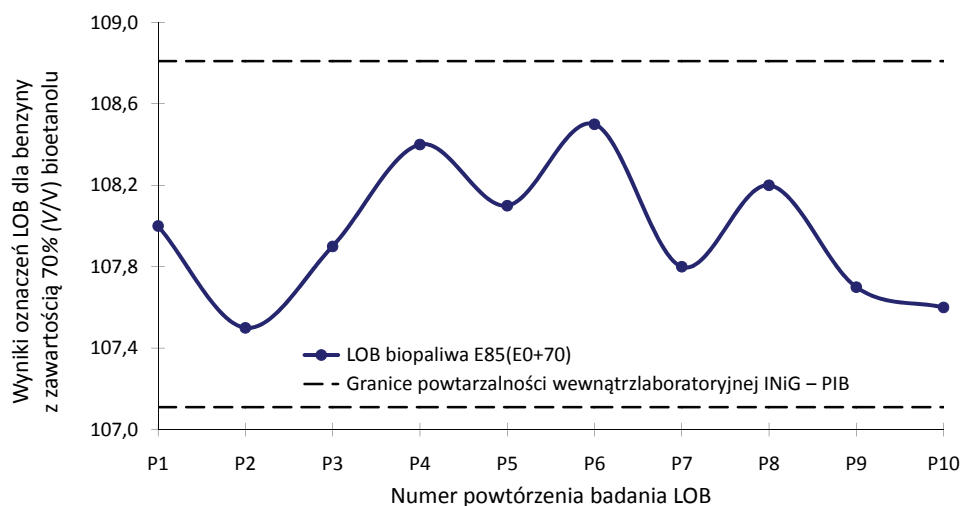
Końcowe wyniki badań wykonanych w Laboratorium Badań Silnikowych i Trybologicznych INiG – PIB dla liczb oktanowych próbek biopaliw E85(E0+70) i E85(E0+85) oraz statystycznie obliczoną wewnątrzlaboratoryjną granicę powtarzalności oznaczeń LOB i LOM zestawiono w tablicach 5–6 oraz graficznie przedstawiono na rysunkach 1–4.

Tablica 5. Zestawienie statystycznie uzyskanych wyników w Laboratorium Badań Silnikowych i Trybologicznych INiG – PIB dla liczby oktanowej badawczej (LOB)

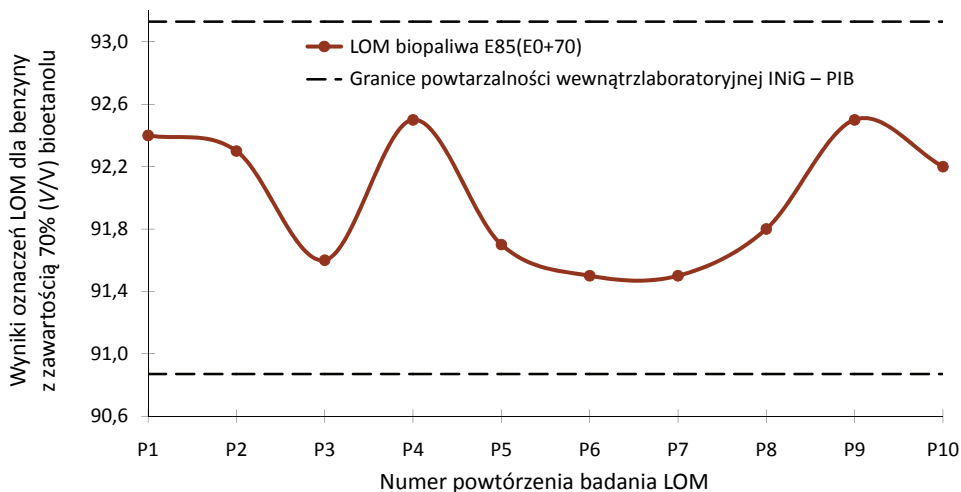
Elementy statystyki [1]	Próbka E85(E0+70)	Próbka E85(E0+85)
Średnia arytmetyczna LOB $\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$	107,96	109,52
Odchylenie standardowe rozrzutu wyników $s = SD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$	0,30	0,50
Powtarzalność wewnątrzlaboratoryjna $r = 2\sqrt{2} \cdot s$	0,85	1,41
Normatywna powtarzalność/odtworzalność metody badawczej LOB	<i>Zgodnie z normą ASTM D2699-13b brak danych dotyczących powtarzalności i odtwarzalności LOB dla oznaczanych paliw silnikowych z zawartością etanolu powyżej 25% (V/V).</i>	
Wyznaczona górna i dolna granica powtarzalności dla obliczonej średniej arytmetycznej LOB	LOB <sub>górna</sub> = 108,81 LOB <sub>dolna</sub> = 107,11	LOB <sub>górna</sub> = 110,93 LOB <sub>dolna</sub> = 108,11

Tablica 6. Zestawienie statystycznie uzyskanych wyników w Laboratorium Badań Silnikowych i Trybologicznych INiG – PIB dla liczby oktanowej motorowej (LOM)

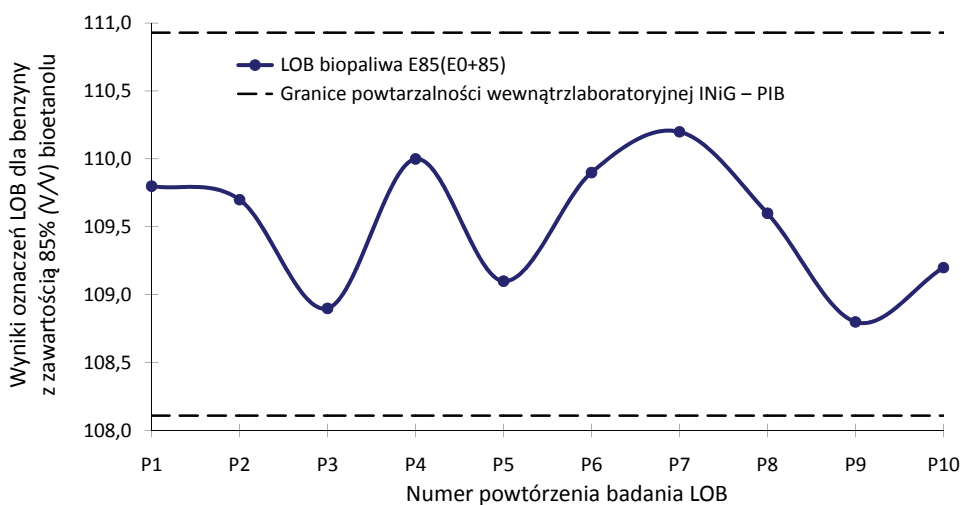
Elementy statystyki [1]	Próbka E85(E0+70)	Próbka E85(E0+85)
Średnia arytmetyczna LOM $\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$	92,00	92,94
Odchylenie standardowe rozrzutu wyników $s = SD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$	0,40	0,50
Powtarzalność wewnątrzlaboratoryjna $r = 2\sqrt{2} \cdot s$	1,13	1,41
Normatywna powtarzalność/odtworzalność metody badawczej LOM	<i>Zgodnie z normą ASTM D2700-13b brak danych dotyczących powtarzalności i odtwarzalności LOM dla oznaczanych paliw silnikowych z zawartością etanolu powyżej 25% (V/V).</i>	
Wyznaczona górna i dolna granica powtarzalności dla obliczonej średniej arytmetycznej LOM	LOM <sub>górna</sub> = 93,13 LOM <sub>dolna</sub> = 90,87	LOM <sub>górna</sub> = 94,35 LOM <sub>dolna</sub> = 91,53



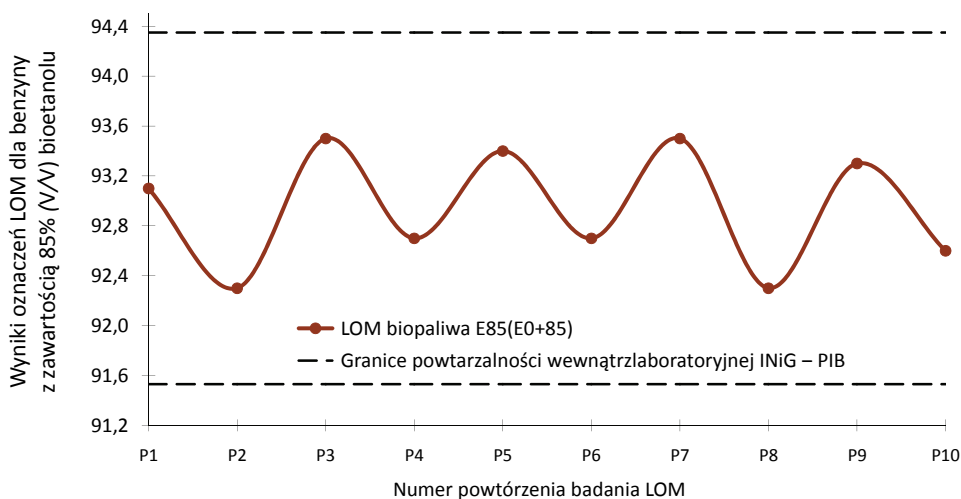
Rys. 1. Wyniki oznaczeń liczby oktanowej badawczej (LOB) dla biopaliwa E85(E0+70)



Rys. 2. Wyniki oznaczeń liczby oktanowej motorowej (LOM) dla biopaliwa E85(E0+70)



Rys. 3. Wyniki oznaczeń liczby oktanowej badawczej (LOB) dla biopaliwa E85(E0+85)



Rys. 4. Wyniki oznaczeń liczby oktanowej motorowej (LOM) dla biopaliwa E85(E0+85)

### Wyniki i wnioski

Zgodnie z normami ASTM D2699-13b (LOB) i D2700-13b (LOM) nie zostały przeprowadzone badania mające na celu oszacowane wartości powtarzalności oznaczeń liczb oktanowych (badawczej i motorowej) dla benzyn silnikowych z udziałem etanolu w ilości od 70 do

85% (V/V). Jednak wielokrotne oznaczenia liczb oktanowych dla zestawionych w INiG – PIB próbek biopaliw E85 umożliwiły wyliczenie odchylenia pojedynczego wyniku od średniej arytmetycznej wartości LO badanych biopaliw o udziale 70÷85% (V/V) bioetanolu w bezołowiowej

benzynie silnikowej o jakości zgodnej z wymaganiami normy PN-EN 228:2013-04. Stanowiło to podstawę do oszacowania powtarzalności wewnątrzlaboratoryjnej oznaczonych liczb oktanowych dla całego procentowego zakresu biopaliw E85.

Przeprowadzenie czynności wstępnych, przed właściwymi badaniami liczb oktanowych biopaliw E85, mających na celu zestawienie znormalizowanych mieszanin paliw wzorcowych i wyposażenie silników badawczych CFR w odpowiednio dobrane poziome gaźnikowe dysze paliwowe, warunkuje prawidłowe prowadzenie wielokrotnych oznaczeń liczb oktanowych dla przygotowanych próbek biopaliw, zgodnie z metodyką badań zawartą w normach ASTM D2699-13b (LOB) i D 2700-13b (LOM).

W celu spełnienia wymagań jakościowych w niskiej i wysokiej temperaturze dla benzyn silnikowych zawierających od 70 do 85% (V/V) bioetanolu, zdefiniowano zależną od warunków klimatycznych klasę lotności [7], którą określa parametr „prężność par”, badany zgodnie z normą PN-EN 13016-1. Przeprowadzona w INiG – PIB analiza fizykochemiczna biopaliw E85 wykazała, że prężność par biopaliwa E85(E0+85) jest niższa od wymaganego minimum określonego w Specyfikacji Technicznej PKN-CEN/TS 15293 – tablica 1, poz. 17. Zmieszanie dwóch komponentów (bioetanolu i bazowej benzyny silnikowej) spełniających wymagania swoich specyfikacji jakościowych nie gwarantuje, że otrzymany produkt końcowy, jakim jest biopaliwo, te oczekiwania również spełni [4].

Przekroczenie wymaganego dolnego limitu prężności par badanego biopaliwa E85(E0+85) dyskwalifikuje zestawioną mieszaninę bazowej benzyny silnikowej z udziałem 85% (V/V) bioetanolu pod względem dopuszczenia do eksploatacji w silnikowych pojazdach samochodowych typu FFV. Zbyt mała prężność par (zwłaszcza w okresie zimowym) może być przyczyną trudności w uruchomieniu silnika ZI i decydować o szybkości jego nagrzewania, co w konsekwencji wpływa na czas potrzebny do podjęcia pracy reaktora katalitycznego i sondy lambda [3].

Niespełnienie wymagań jakościowych, dotyczących prężności par zestawionego w INiG – PIB biopaliwa E85(E0+85), w żaden sposób nie wpłynęło na metodykę badań prowadzonych według najnowszych norm ASTM z 2013 roku o numerach D2699 (LOB) i D2700 (LOM). Zgodnie z tymi normami

warunki pracy silników badawczych CFR są tak dobrane, że eliminują czynniki mogące wpłynąć na przebieg badania paliw, niekoniecznie zgodnych z wymaganiami swoich norm jakościowych.

Celem usprawnienia metody przygotowania mieszanin paliw wzorcowych izooktanu PRF i rozcieńczonego tetraetylu ołowiu TEL, podczas oznaczeń dużej liczby próbek paliw silnikowych powyżej LOB = 103,5 zaleca się pozyskanie gotowego paliwa wzorcowego „PRF Isooctane + 6 ml TEL” od preferowanego przez ASTM D2699 producenta materiału wzorcowego, jakim jest Chevron Phillips Chemical Company LP. Wprowadzony tetraetyk ołowiu TEL, w ilości 6 ml na U.S. gallon izooktanu PRF, umożliwi zestawianie paliw wzorcowych o różnych wielkościach LO bezpośrednio na stanowisku badawczym z silnikiem CFR, zgodnie z procedurą badawczą ASTM D2699-13b. Jednak sugerowana cena zakupu tego typu paliwa, która aktualnie wynosi około 4600 euro za 5 galonów amerykańskich (19 litrów), może być ceną zaporową, zwłaszcza przy małej liczbie oznaczanych próbek paliw silnikowych kwalifikowanych do badań LOB powyżej wartości 103,5.

Wyniki oznaczonych liczb oktanowych (badawczej i motorowej) dla bazowej benzyny silnikowej z udziałem 85% (V/V) bioetanolu charakteryzują się mniejszą precyzją badania, niż wyniki uzyskane dla bazowej benzyny silnikowej z udziałem 70% (V/V) bioetanolu (tablice 5–6). Jest to konsekwencją faktu, że w miarę wzrostu wartości liczb oktanowych oznaczanych paliw silnikowych pogarsza się charakterystyka pracy czujnika spalania stukowego, odpowiedzialnego za przełożenie zmian ciśnienia panującego w cylindrze silnika CFR podczas spalania paliw na impulsy elektryczne umożliwiające w sposób pośredni oznaczenie liczb oktanowych (LOB, LOM).

Uzyskana precyzja wyników badań liczb oktanowych dla otrzymanych rezultatów badań biopaliwa E85 w żadnym przypadku nie przekracza dopuszczalnych granic wyznaczonej powtarzalności wewnątrzlaboratoryjnej. Prowadzi to do stwierdzenia, że Laboratorium Badań Silnikowych i Trybologicznych INiG – PIB jest w stanie zapewnić wykonanie oznaczenia liczb oktanowych benzyn silnikowych z udziałem 70÷85% (V/V) bioetanolu zgodne z metodyką badań zawartą w aktualnych normach ASTM i wdrożonym w Instytucie systemem jakości.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2015, nr 7, s. 520–528

Artykuł nadesłano do Redakcji 18.11.2014 r. Zatwierdzono do druku 20.02.2015 r.

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt. *Wpływ zawartości i jakości bioetanolu w paliwach do silników ZI na oznaczenie liczby oktanowej* – praca INiG – PIB na zlecenie MNiSW; nr archiwalny: DK-4100-80/14, nr zlecenia: 0094/TE/14/01.



**Literatura**

- [1] CE2 Centrum Edukacji: *Walidacja i potwierdzenie metod badan chemicznych i mechanicznych oraz szacowanie niepewnosci*. Materiały szkoleniowe CE2 dla INiG – PIB, Kraków 2013.
- [2] Dybich K.: *Wplyw zawartosci biokomponentow w paliwach silnikowych na jakosc oznaczen liczb oktanowych i liczby cetanowej*. Nafta-Gaz 2014, nr 1, s. 37–45.
- [3] Merksiz J.: *Wspolczesne paliwa do tlokowych silnikow spaliniowych*; <http://warsztaty.samochodowka.internetdsl.pl/serwishdd/wykaz/paliwa/paliwa.htm> (dostęp: lipiec 2014).
- [4] Rogowska D.: *Problem nieaddytywnych efektow mieszania dla parametru „preznosc par” w trakcie blendingu biopaliwa E85*. Nafta-Gaz 2010, nr 3, s. 211–215.
- [5] PKN-CEN/TS 15293:12 *Paliwa do pojazdow samochodowych. Paliwo etanolowe (E85) do pojazdow samochodowych. Wymagania i metody badan*.
- [6] PN-EN ISO 5163:07 *Przetwory naftowe. Oznaczenie odpornosci benzyny samochodowej i benzyny lotniczej na spalanie stukowe. Metoda motorowa*.
- [7] PN-EN ISO 5164:07 *Przetwory naftowe. Oznaczenie odpornosci benzyny samochodowej na spalanie stukowe. Metoda badawcza*.
- [8] Portal Funduszy Europejskich; Bezpieczenstwo energetyczne, w tym dywersyfikacja zrodel energii; [www.pois.gov.pl/WstepDoFunduszyEuropejskich/Strony/10.aspx?N=N](http://www.pois.gov.pl/WstepDoFunduszyEuropejskich/Strony/10.aspx?N=N) (dostęp: sierpień 2014).
- [9] Serwis Prawa; [www.serwisprawa.pl/definicje,10670,narodowy-cel-wskaznikowy9](http://www.serwisprawa.pl/definicje,10670,narodowy-cel-wskaznikowy9) (dostęp: wrzesień 2014).

**Akty prawne i normatywne**

- [5] Annual Book of ASTM Standards 1994; *Volume 05.04; A4. Maintenance*.
- [6] ASTM D2699-13b *Standard Test Method for Research Octane Number of Spark-Ignition Engine Fuel*.
- [7] Załącznik nr 3 do *Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 22 stycznia 2009 r. w sprawie wymagań jakościowych dla biopaliw ciekłych* (Dz.U. z 2012 roku, poz. 98).
- [8] *Ustawa z dnia 21 marca 2014 r. o zmianie ustawy o biokomponentach i biopaliwach ciekłych oraz niektórych innych ustaw* (Dz.U. z 2014 roku, poz. 457).



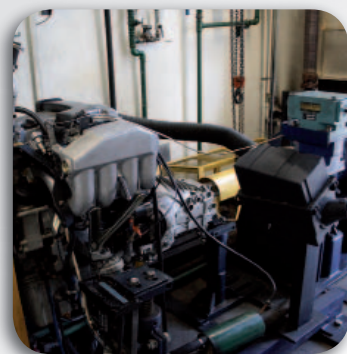
Mgr inż. Kornel DYBICH  
 Starszy specjalista badawczo-techniczny w Zakładzie Oceny Właściwości Eksploatacyjnych.  
 Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy  
 ul. Lubicz 25A  
 31-503 Kraków  
 E-mail: [kornel.dybich@inig.pl](mailto:kornel.dybich@inig.pl)

**OFERTA**

**ZAKŁAD OCENY WŁAŚCIWOŚCI EKSPLOATACYJNYCH**

Zakres działania:

- ocena w testach laboratoryjnych właściwości fizykochemicznych oraz użytkowo-eksploatacyjnych wg najnowszych procedur badawczych; zarówno europejskich jak i amerykańskich:
  - » paliw ciekłych, biopaliw i biokomponentów,
  - » materiałów 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 wyżej wymienionych produktów w eksploatacji;
- oceny właściwości użytkowo-eksploatacyjnych paliw i olejów smarowych w badaniach eksploatacyjnych;
- usługi eksperckie w zakresie wpływu jakości paliw na możliwości powstania dysfunkcji i uszkodzeń silnikowych układów wtrysku paliwa;
- badania procesów regeneracji filtrów cząstek stałych na stanowisku silnikowym, doradztwo w zakresie eksploatacji układów filtracji spalin wyposażonych w filtry cząstek stałych.



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

