

Wykorzystanie komponentów biogenych do wytwarzania paliw pozostałościowych

The use of biogenic components for the production of residual fuels

Anna Duda

Institut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

STRESZCZENIE: W niniejszej publikacji przeprowadzono badania wpływu komponentów biogenych na jakość paliw pozostałościowych. Zastosowanie komponentów biogenych do wytwarzania paliw pozostałościowych umożliwiłoby uzyskanie paliw żeglugowych oraz ciężkiego oleju opałowego o poprawionych walorach ekologicznych, tj. o niższej zawartości siarki oraz mniejszej emisji GHG (*greenhouse gas*). Badania prowadzono dla jednego rodzaju bazowego paliwa ciężkiego oraz dwóch komponentów lekkich: FAME (*fatty acid methyl ester*) i biowęglowodorów z procesu ETG (*ethanol to gasoline*). Zakres destylacji komponentu z procesu ETG mieścił się w przedziale od 172°C do około 318°C. Był on produktem stabilnym, o charakterze aromatycznym, bardzo niskiej temperaturze płynięcia i śladowej zawartości siarki. Komponent FAME charakteryzował się jakością typową dla tego typu komponentu z wyjątkiem stabilności oksydacyjnej. Komponent pozostałościowy wykazywał wysoką lepkość, wysoką zawartość wanadu i siarki oraz dobrą stabilność. Badania paliw z udziałem komponentów biogenych obejmowały analizę w zakresie parametrów typowych dla paliw pozostałościowych oraz stabilności po okresie długotrwałego przechowywania, jak również badania wpływu na elastomery. Uzyskano paliwa o poprawionych właściwościach reologicznych, tj. o znacznie niższej lepkości i temperaturze płynięcia, co umożliwia zmianę warunków przechowywania, dystrybucji i eksploatacji na mniej energochłonne. Paliwa pozostałościowe z udziałem komponentów biogenych w zakresie przebadanych parametrów spełniają wymagania jakościowe dla paliw żeglugowych. Przekroczenie wymagań dla ciężkiego oleju opałowego dotyczących zawartości wanadu wynika z jakości komponentu pozostałościowego. Badane komponenty biogenne nie pogarszają stabilności paliw finalnych nawet w trakcie długotrwałego przechowywania, co jest bardzo istotne w aspekcie warunków eksploatacji tego typu produktów. Wyniki badania wpływu paliw na elastomery wskazują na konieczność wymiany uszczelnień nitylowych na fluorowe w instalacjach zasilania paliwa.

Słowa kluczowe: paliwo pozostałościowe, biowęglowodory, FAME, olej opałowy, paliwo żeglugowe, komponenty biogenne.

ABSTRACT: In this article, research was carried out on the influence of biogenic components on the quality of residual fuels. The use of biogenic components for composing residual fuels, would allow obtaining marine fuels and heavy fuel oil with improved ecological values, i.e. lower sulfur content and reduced GHG emissions. The research was conducted for one type of heavy fuel base and two light components: FAME and biohydrocarbons from the ETG process. The distillation range of the component from the ETG process was from 172°C to approx. 318°C. It was a stable product of aromatic character, very low pour point and trace sulfur content. The FAME component was characterized by the quality typical for this type of component, with the exception of oxidative stability. The residual component showed high viscosity, high vanadium content, high sulfur content and good stability. The research included analysis of parameters typical for residual fuels and stability during long-term storage as well as the impact of fuels on elastomers. The obtained fuels improved rheological properties, i.e. a much lower viscosity and pour point, which makes it possible to change storage, distribution and exploitation conditions to less energy-consuming ones. Residual fuels with the use of biogenic components, in terms of the parameters tested, meet the quality requirements for marine fuels. Exceeding the requirements for heavy fuel oil in terms of vanadium content results from the quality of the residual component. The biogenic components tested do not deteriorate the stability of final fuels, even during long-term storage, which is very important in terms of the operating conditions of this type of products. Introduction of the tested biogenic components to the composition of residual fuels will involve the need to replace the seals from nitrile to fluorine in the fuel installations.

Key words: residual fuel, biohydrocarbons, FAME, fuel oil, marine fuel, biogenic component.

Wstęp

Paliwa pozostałościowe wykorzystywane są jako paliwo do kotłów w zakładach energetycznych, jak również do zasilania silników o zapłonie samoczynnym stosowanych w żegludze.

Ostatnio promowanym kierunkiem polityki energetycznej Unii Europejskiej jest zastępowanie paliw kopalnych surowcami biogennymi. Przyjmuje się, że komponenty biogenne mają zerową emisję ditlenku węgla, ponadto charakteryzują się śladową zawartością siarki. Wprowadzenie komponentów lekkich do paliw pozostałościowych wydaje się celowe również ze względu na zmniejszenie lepkości paliwa finalnego, można zatem oczekiwać lepszej atomizacji paliwa, a co za tym idzie – redukcji emisji substancji szkodliwych powstających podczas spalania.

Gama ciekłych biopłynów przeznaczonych do spalania w kotłach przemysłowych obejmuje głównie: surowy olej roślinny, biodiesel, produkty uboczne z produkcji biodiesla oraz bioolej z procesu pirolizy. Stosunkowo niska jakość biooleju oraz wysoki koszt produkcji stanowią duże wyzwanie dla jego powszechnego wykorzystania w dużych zakładach energetycznych (Ushakov et al., 2013). Biodiesel jest głównie przeznaczony do zasilania silników, ale testowany był także jako paliwo do wytwarzania ciepła w kotłach. W publikacjach (Jiru et al., 2010; Bazooyar et al., 2011; Alonso et al., 2012; Daho et al., 2014; González-González et al., 2014) prezentowano wyniki wielu prac przeprowadzonych w obiektach badawczych o małej skali. Dla zastosowań przemysłowych w dużych obiektach energetycznego spalania korzystniejsze jest współspalanie ze względu na ograniczoną dostępność biopłynów oraz minimalizację wpływu na istniejące wyposażenie instalacji (Park et al., 2015, 2017).

Znaczny potencjał paliwowy – pomimo innego składu chemicznego, niższej wartości opałowej, wyższej lepkości i wyższej temperatury zapłonu – ma również powstający w procesie produkcji biodiesla surowy glicerol. Charakteryzuje się on wyższą emisją, wynikającą z obecności katalizatora i tworzenia się toksycznej akroleiny w trakcie spalania (Bohon et al., 2011; Steinmetz et al. 2013). Prowadzono również próby współspalania surowej gliceryny w kotle o mocy 200 MWe

przy jej 12-procentowym udziale (Pawlak-Kruczek et al., 2013). Była ona spalana w palnikach olejowych umieszczonych pomiędzy palnikami węglowymi, przez co redukcji uległa emisja tlenków azotu i pyłów.

Badania emisji związków karbonylowych z silnika okrętowego zasilanego paliwem pozostałościowym oraz paliwem destylatowym, zawierającym 3,2% estrów metylowych oleju rzepakowego, prowadzono na Uniwersytecie w Rostocku (Reda et al., 2015).

W kontekście warunków eksploatacyjnych bardzo ważnym parametrem jest stabilność paliw pozostałościowych (Duda et al., 2017). Warunki eksploatacji paliw pozostałościowych sprzyjają ich szybkiemu starzeniu, przejawiającemu się w wytrącaniu osadów, a tym samym w skłonności do zatykania filtrów w instalacji zasilającej palniki lub silnik. Podobne skutki może wywołać mieszanie paliw pozostałościowych z innymi komponentami.

W Polsce jakość ciężkiego oleju opałowego określa norma PN-C-96024:2011 (Polski Komitet Normalizacyjny, 2011). Jakość paliw żeglugowych określa norma międzynarodowa ISO 8217 (International Organization for Standardization, 2017). Parametry jakościowe paliw żeglugowych zostały szczegółowo opisane w publikacji autorki niniejszego artykułu (Duda, 2014).

Część doświadczalna

Metody badań

Komponenty po naważeniu mieszano w temperaturze 70°C przez 20 min z szybkością obrotów mieszadła około 750 rpm. Badania próbek paliw obejmowały gęstość, temperaturę zapłonu, lepkość kinematyczną, CCAI, temperaturę płynięcia, zawartość siarki, zawartość osadów obecnych i potencjalnych, zawartość wody, pozostałość po spopieleniu, zawartość wanadu, liczbę kwasową, stabilność metodą płam, kompatybilność z elastomerami, zawartość sodu, zawartość glinu i krzemu, zawartość wapnia i cynku lub wapnia i fosforu, zawartość zanieczyszczeń oraz stabilność oksydacyjną. Metody badań przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zastosowane metody badań

Table 1. Applied analytical methods

Badana właściwość	Metoda badawcza	Aparatura
Lepkość kinematyczna	PN-EN ISO 3104:2004	łaźnia olejowa z kapilarami Ubbelohdego, Petrotest
Gęstość	PN-EN ISO 12185:2002	gęstościomierz oscylacyjny DMA 4500M, Anton Paar
Temperatura płynięcia	PN ISO 3016:2005	aparat CPP 5Gs, ISL Comp.
Zawartość siarki	PN-EN ISO 20884:2012	aparat Sindie 7039, XOS Comp.
Czystość (kompatybilność) metodą płam	ASTM D 4840:2014	płyta grzewcza z mieszadłem magnetycznym RCT Basic IKA-Werke, suszarka WTB Binder

cd. **Tabela 1/** ect. **Table 1**

Badana właściwość	Metoda badawcza	Aparatura
Zawartość osadów obecnych i potencjalnych	PN ISO 10307:2010	Setaclean Total Sediment Tester firmy Stanhope-Seta
Temperatura zapłonu	PN ISO 2719:2016	aparat firmy LMM, Hungary, typ OB 305
Liczba kwasowa	PN-88/C-04049	titrator automatyczny 848 Titrino plus firmy Metrohm, Szwajcaria
Pozostałość po koksowaniu	PN EN ISO 10370:2014-12	aparat automatyczny NMC 420 firmy Normalab, Holandia; waga analityczna AS 310X firmy Radwag, Polska
Zawartość wody	PN-83/C-04523/App2:2004; PN ISO 12937:2005	aparat Deana-Starka DL 39, Mettler Toledo; aparat do oznaczania zawartości wody firmy Radelkis, typ OP
Zawartość popiołu	PN-EN ISO 6245:2008	piec mufłowy WK-106 firmy MOTGOS, Polska waga analityczna AS 310X firmy Radwag, Polska
Zawartość wanadu	ASTM D 5708:2015	spektrometr ICP-OES Spectro Arcos SOP, Spectro Analytical Instruments
Zawartość sodu, glinu, krzemu, cynku, wapnia, fosforu	metodyka ICP-OES	
Wartość opałowa	PN-C-04062:1986	kalorymetr automatyczny KL-10, Precyzja
Zawartość zanieczyszczeń	PN EN ISO 3735:2001	zestaw do ekstrakcji firmy Normalab, Holandia; waga analityczna AS 310X firmy Radwag, Polska
Stabilność oksydacyjna metodą przyspieszonego utleniania	PN-EN 15751:2014	aparat 893 Professional Biodiesel Rancimat firmy Metrohm

Materiały

W charakterze surowca pozostałościowego wykorzystywano frakcję ciężką (oznaczoną kodem SG) o właściwościach przedstawionych w tabeli 2.

W charakterze komponentów biogenych stosowano:

- frakcję biowęglowodorów aromatycznych (oznaczoną kodem EK) pochodzących z procesu ETG, udostępnioną przez firmę Ekobenz Sp. z o.o.;

- FAME;

których właściwości także zawarto w tabeli 2.

Komponent z procesu ETG wykazuje typową dla węglodorów aromatycznych wysoką gęstość przy niskiej lepkości, a zakres destylacji mieści się w przedziale 172–318°C. Jest produktem stabilnym, o bardzo niskiej temperaturze płynięcia i śladowej zawartości siarki.

Komponent FAME charakteryzuje się jakością typową dla tego typu komponentu z wyjątkiem stabilności oksydacyjnej.

Tabela 2. Właściwości surowców stosowanych w badaniach

Table 2. Properties of raw materials used in tests

Właściwość	Komponent SG	EK	FAME
Lepkość kinematyczna [mm ² /s]: – w temperaturze 50°C – w temperaturze 20°C	976,5 –	– 1,876	– 7,302
Gęstość w temperaturze 15°C [kg/m ³]	976,2	921,8	833,4
CCAI	828	–	–
Zawartość siarki: – % (m/m) – mg/kg	3,26 –	– 3	– 5
Czystość (kompatybilność) metodą płam [stopień]	1	–	–
Zawartość osadów [% (m/m)]	0,01	–	–
Zawartość osadów potencjalnych [% (m/m)]	0,01	–	–
Temperatura płynięcia [°C]	–9	pon. –40	–12
Wartość opałowa [kJ/kg]	40 434	40 831	38 706
Liczba kwasowa [mg KOH/g]	0,45	<0,05	0,26
Temperatura zapłonu [°C]	71,5	63,5	149,5
Zawartość wody [% (m/m)]	0,03	0,011	0,034

cd. **Tabela 2/** ect. **Table 2**

Właściwość	Komponent SG	EK	FAME
Pozostałość po spopieleniu [% (m/m)]	0,048	<0,001	<0,001
Zawartość [mg/kg]:			
– wanadu	271,0	0	0
– sodu	25,0	0	0
– glinu	4,0	0	0
– krzemu	2,0	28	0,5
– wapnia	3,3	0	0
– cynku	1,8	0	5
– fosforu	0	0	0
Skład frakcyjny:			
– koniec destylacji [°C]	–	318,6	–
– do 250°C przeddestylowało [% (V/V)]	–	78,4	–
– do 350°C przeddestylowało [% (V/V)]	–	99,1	–
Odporność na utlenianie [g/m ³]	–	3	–
Stabilność oksydacyjna metodą przyspieszonego utleniania [h]	–	–	6,9
Wyniki badań po starzeniu w temperaturze 80°C w ciągu 1 miesiąca			
Czystość (kompatybilność) metodą płam [stopień]	1	–	–
Zawartość osadów [% (m/m)]	0,02	–	–

Wyniki badań

Skład i właściwości wytworzonych próbek paliw przedstawiono w tabeli 3.

Najbardziej widoczny wpływ badanych komponentów biogenych zaobserwowano w zakresie lepkości. Lepkość

kinematyczna pozostałościowego paliwa bazowego, wynosząca 976,5 mm²/s, została obniżona ponad dwudziestokrotnie po dodaniu biowęglowodorów z procesu ETG w stężeniu 30% (m/m) oraz ok. piętnastokrotnie po dodaniu 30% (m/m) FAME. Jednocześnie zmianom lepkości towarzyszył niewielki spadek

Tabela 3. Wyniki badań skomponowanych paliw

Table 3. Test results of composed fuels

Kod próbki/udział komponentu [% (m/m)]	10ES	20ES	30ES	10FS	20FS	30FS
Komponent biogeny EK	10	20	30	0	0	0
Komponent biogeny FAME	0	0	0	10	20	30
Komponent pozostałościowy SG	90	80	70	90	80	70
Właściwości:						
Lepkość w temperaturze 50°C [mm ² /s]	266,5	90,22	35,32	365,6	137,2	62,60
Lepkość w temperaturze 100°C [mm ² /s]	30,8	15,1	9,3	35,5	21,9	16,4
Gęstość w temperaturze 15°C [kg/m ³]	971,2	965,5	959,6	968,0	957,5	947,3
CCAI	836	843	851	829	830	830
Zawartość siarki	2,93	2,61	2,28	2,93	2,61	2,28
Zawartość zanieczyszczeń [% (m/m)]	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05
Czystość (kompatybilność) metodą płam [stopień]	1	1	1	1	1	1
Zawartość osadów [% (m/m)]	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Zawartość osadów potencjalnych [% (m/m)]	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Temperatura płynięcia [°C]	–24	–30	–38	–15	–24	–27
Wartość opałowa [kJ/kg]	40 474	40 513	40 553	40 261	40 088	39 916
Liczba kwasowa [mg KOH/g]	0,46	0,42	0,39	0,26	0,25	0,24
Pozostałość po koksowaniu [% (m/m)]	17,76	15,77	13,78	15,02	14,42	13,81
Temperatura zapłonu [°C]	70,5	68,5	66,5	82,0	84,0	85,0

cd. Tabela 3/ ect. Table 3

Kod próbki/udział komponentu [% (m/m)]	10ES	20ES	30ES	10FS	20FS	30FS
Zawartość wody [% (m/m)]	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03
Pozostałość po spopieleniu [% (m/m)]	0,043	0,039	0,034	0,043	0,039	0,034
Zawartość [mg/kg]:						
– wanadu	244	217	190	244	217	190
– sodu	22,5	20	17,5	22,5	20	17,5
– glinu	3,6	3,2	2,8	3,6	3,2	2,8
– krzemu	4,6	7,2	9,8	1,9	1,7	1,6
– wapnia	2,97	2,6	2,3	3,0	2,6	2,3
– cynku	1,6	1,4	1,3	1,6	1,4	1,3
– fosforu	0	0	0	0	0	0
Kategoria ISO-F-	RMG 380	RMG 180	RMG 180	RMG 380	RMG 180	RMG 180
Wyniki badań po starzeniu w temperaturze 80°C w ciągu 1 miesiąca						
Czystość (kompatybilność) metodą płam [stopień]	1	1	1	1	1	1
Zawartość osadów [% (m/m)]	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02

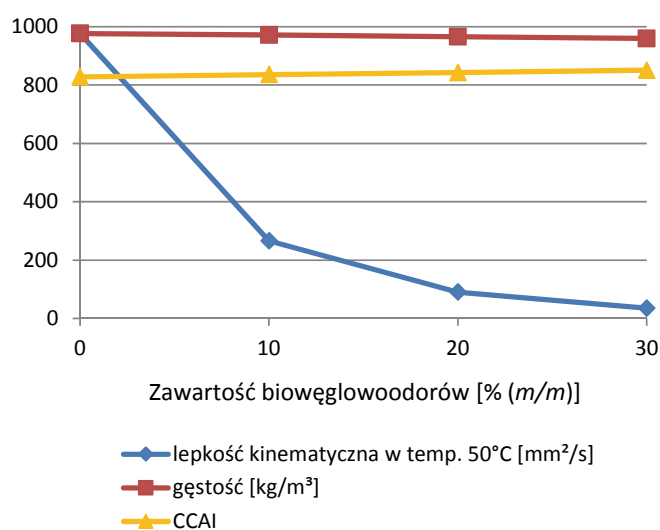
gęstości oraz – w przypadku paliw zawierających biowęglowodory z procesu BTL – nieznaczny wzrost indeksu CCAI. Wzrost CCAI nie jest zjawiskiem korzystnym, świadczy o pogorszeniu właściwości zapłonowych, niemniej jednak to zjawisko typowe dla węglowodorów o charakterze aromatycznym. Wpływ dodatku biokomponentów na wybrane parametry przedstawiono na rysunku 1.

Dla paliw z udziałem FAME nieoczekiwanie osiągnięto stosunkowo niskie temperatury płynięcia, znacznie niższe niż wartości tego parametru dla komponentów wchodzących w ich skład. Można przypuszczać, że obniżenie temperatury płynięcia wynika z nietypowych zmian lepkości mieszaniny w niskich temperaturach. Według Maksimuka i wsp. (2013) zjawisko takie może wynikać z ograniczonej rozpuszczalności FAME we frakcjach ciężkich, co w konsekwencji prowadzi

do częściowej separacji obu faz i zmniejszenia oporu przepływu warstw paliwa.

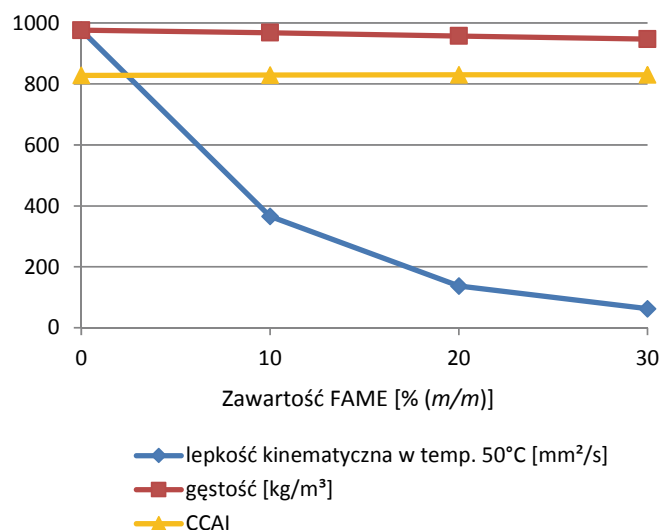
Ze względu na wpływ badanych komponentów biogenych na właściwości reologiczne paliw pozostałościowych należy oczekiwać istotnych zmian w warunkach ich przechowywania, dystrybucji i eksploatacji.

Obecność komponentów biogenych, tj. FAME i biowęglowodory z procesu ETG, w paliwach pozostałościowych spowodowała ponadto znaczne obniżenie zawartości siarki w paliwach finalnych: z 3,26% (m/m) w paliwie bazowym do 2,28% (m/m) w paliwach zawierających 30% (m/m) biokomponentu. Należy przypuszczać, że zarówno zmiany lepkości, jak i zawartości siarki w paliwach pozostałościowych z udziałem komponentów biogenych będą miały istotny wpływ na redukcję emisji substancji szkodliwych powstających podczas spalania.



Rys. 1. Wpływ biowęglowodórów z procesu BTL na wybrane parametry jakościowe paliw pozostałościowych

Fig. 1. Impact of biohydrocarbons from the BTL process on selected quality parameters of residual fuels



Rys. 2. Wpływ FAME na wybrane parametry jakościowe paliw pozostałościowych

Fig. 2. Impact of FAME on selected quality parameters of residual fuels

Zaobserwowano również wyraźny spadek pozostałości po koksowaniu wraz ze wzrostem zawartości biokomponentów: od wartości 19,52% (*m/m*) dla paliwa pozostałościowego bazowego do około 14% (*m/m*) dla paliw zawierających 30% (*m/m*) biokomponentu.

Paliwa z badanymi biokomponentami charakteryzują się dobrą stabilnością w trakcie długotrwałego przechowywania: czystość (kompatybilność) oznaczona według ASTM D 4740 wynosi 1, tj. przyjmuje wartość typową dla paliw stabilnych, a zawartość osadów wynosi 0,01% (*m/m*) i nie ulega zmianie po okresie długotrwałego przechowywania.

Paliwa z komponentem EK w ilości 10% (*m/m*) spełniają wymagania normy ISO 8217 dla paliw żeglugowych kategorii RMG 380, natomiast paliwa o zawartości biowęglowodorów wynoszącej 20% (*m/m*) i 30% (*m/m*) – wymagania dla kategorii RMG 180. W przypadku paliw z udziałem 20% i 30% (*m/m*) biowęglowodorów stwierdzono nietypową korelację pomiędzy lepkością a zawartością wanadu.

Paliwo zawierające 10% (*m/m*) FAME w zakresie przebadanych parametrów spełnia wymagania jakościowe zawarte w tabeli 2 normy ISO 8217 dla kategorii RMG 380, a paliwa z udziałem 20% (*m/m*) i 30% (*m/m*) FAME – dla kategorii RMG 180. Paliwo zawierające 30% (*m/m*) FAME charakteryzuje się nietypowo wysoką zawartością wanadu przy stosunkowo niskiej lepkości. Pomimo że paliwa spełniają wymagania jakościowe zawarte w tabeli 2 normy ISO 8217, należy zaznaczyć, że aktualnie norma ta dopuszcza stosowanie FAME jedynie w paliwach destylatowych.

Żadne ze skomponowanych paliw nie spełnia wymagań normy PN-C-96024:2011 dla olejów opałowych w zakresie zawartości wanadu (dopuszczalna zawartość wanadu nie powinna przekraczać 150 mg/kg), co nie wynika z obecności komponentów biogennych, lecz z jakości komponentu ciężkiego.

Przeprowadzono również badania wpływu komponentów biogennych na kompatybilność paliw finalnych z elastomerami: elastomerem nitylowym NBR 28 oraz elastomerem fluorowym FPM. Badania prowadzono porównawczo dla bazowego paliwa pozostałościowego. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 4.

Przedstawione dane wskazują, że komponent o charakterze aromatycznym, tj. pochodzący z procesu ETG, ma istotny wpływ na kompatybilność paliw finalnych z elastomerem

NBR 28: zmiana objętości elastomeru jest około 2,5-krotnie większa niż dla paliwa bazowego. Stwierdzono również duży wpływ komponentu FAME na zmianę wytrzymałości elastomeru – jest ona około 2,6-krotnie większa w przypadku paliwa z udziałem 30% (*m/m*) FAME niż paliwa pozostałościowego SG niezawierającego tego komponentu.

W teście z elastomerem FPM zmiany objętości elastomeru dla paliwa z udziałem 30% (*m/m*) biowęglowodorów są znacznie mniejsze i wynoszą 3,95%. Zmiany badanych parametrów, tj. wytrzymałości, wydłużenia, twardości i objętości elastomeru, w teście prowadzonym dla paliw zawierających FAME są nieznaczne.

Tabela 4. Wpływ badanych komponentów biogennych na kompatybilność paliw z elastomerami
Table 4. Impact of biogenic components on the fuels' compatibility with elastomers

Próbka	SG	30 ES	30 FS
Warunki badania: – czas: 168 h – temperatura 80°C	elastomer nitylowy NBR 28		
Zmiana wytrzymałości [%]	-6,68	-7,34	-17,41
Zmiana wydłużenia [%]	10,41	10,77	13,89
Zmiana twardości [IRHD]	-12,1	-18,7	-10,5
Zmiana objętości [%]	14,44	36,78	20,32
Warunki badania: – czas: 168 h – temperatura 80°C	elastomer fluorowy FPM		
Zmiana wytrzymałości [%]	-7,68	-11,23	-3,20
Zmiana wydłużenia [%]	12,07	5,38	2,67
Zmiana twardości [IRHD]	-2,1	-0,1	0,4
Zmiana objętości [%]	0,96	3,95	0,29

Podsumowanie

Wykorzystanie komponentów biogennych, tj. biowęglowodorów aromatycznych z procesu ETG oraz FAME, do komponowania paliw pozostałościowych stanowi obiecującą perspektywę poprawy parametrów jakościowych i eksploatacyjnych paliw opałowych i żeglugowych. Zastosowanie komponentów biogennych spowodowało bardzo znaczące obniżenie lepkości paliw pozostałościowych z ich udziałem. Dla paliw z FAME uzyskano ponadto stosunkowo niskie temperatury płynięcia, znacznie niższe niż wartości tego parametru dla komponentów wchodzących w ich skład. Ze względu na korzystny wpływ badanych biokomponentów na właściwości reologiczne paliw pozostałościowych można spodziewać się istotnych zmian w warunkach ich przechowywania, dystrybucji i eksploatacji na mniej energochłonne.

Dodatkową zaletą komponentów biogennych jest śladowa zawartość siarki, co poprawia walory ekologiczne paliw zestawionych z ich udziałem.

Badane komponenty biogenne nie pogarszają stabilności paliw finalnych nawet w trakcie długotrwałego przechowywania, co jest bardzo istotne w aspekcie warunków eksploatacji tego typu produktów.

Badane komponenty biogenne wykazują jednak niekorzystne działanie na elastomery nitylowe, co wskazuje na konieczność wymiany uszczelnień na fluorowe w instalacjach zasilania.

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt. *Ocena możliwości zastosowania komponentów odpadowych i biogennych w paliwach pozostałościowych* – praca INiG – PIB na zlecenie MNiSW; nr zlecenia: TP/76/2018, nr archiwalny: DK-4100-76/1.

Literatura

- Bazooyar B., Ghorbani A., Shariati A., 2011. Combustion performance and emissions of petrodiesel and biodiesels based on various vegetable oils in a semi industrial boiler. *Fuel*, 90: 3078–3092. DOI: 10.1016/j.fuel.2011.05.025.
- Bohon M.D., Metzger B.A., Linak W.P., King C.J., Roberts W.L., 2011. Glycerol combustion and emissions. *Proc. Combust. Inst.*, 33(2): 2717–2724. DOI: 10.1016/j.proci.2010.06.154.
- Daho T., Vaitilingom G., Sanogo O., Ouiminga S.K., Zongo A.S., Piriou B., Koulidiati J., 2014. Combustion of vegetable oils under optimized conditions of atomization and granulometry in a modified fuel oil burner. *Fuel*, 118: 329–334. DOI: 10.1016/j.fuel.2013.11.009.
- Duda A., 2014. Prawne i jakościowe aspekty stosowania paliw żeglugowych. *Nafta-Gaz*, 12: 968–973.
- Duda A., Berdechowski K., Żak G., 2017. Wpływ pakietu dodatków na właściwości paliwa pozostałościowego w trakcie przechowywania. *Nafta-Gaz*, 2: 105–108. DOI: 10.18668/NG.2017.02.05.
- González-González J.F., Alkassir A., San José J., González J., Gómez-Landero A., 2014. Study of combustion process of biodiesel/gasoil mixture in a domestic heating boiler of 26.7 kW. *Biomass Bioenergy*, 60: 178–188. DOI: 10.1016/j.biombioe.2013.10.024.
- Jiru T.E., Kaufman B.G., Ijeleji K.E., Ess D.R., Gibson H.G., Maier D.E., 2010. Testing the performance and compatibility of degummed soybean heating oil blends for use in residential furnaces. *Fuel*, 89: 105–113. DOI: 10.1016/j.fuel.2009.07.028.
- Maksimuk Y., Buglak A.F., Kruk V.S., Antonova Z.A., 2013. Rheological properties of residual fuel oil containing fuel blends with bioadditives. Part 2. Bioadditives based on methyl esters of rapeseed oil. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 49(2): 108–114. DOI: 10.1007/s10553-013-0420-1.
- Park J.-K., Park S., Kim M., Ryu C., Baek S.H., Kim Y.J., Kim H.H., Park H.Y., 2015. CFD analysis of combustion characteristics for fuel switching to bioliqid in oil-fired power plant. *Fuel*, 159: 324–333. DOI: 10.1016/j.fuel.2015.06.079.
- Park J.-K., Park S., Ryu C., Baek S.H., Kim Y.J., Park H.Y., 2017. CFD analysis on bioliqid co-firing with heavy fuel oil in a 400 MWe power plant with a wall-firing boiler. *Applied Thermal Engineering*, 124: 1247–1256. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2017.06.104.
- Pawlak-Kruczek H., Ostrycharczyk M., Zgóra J., 2013. Co-combustion of liquid biofuels in PC boilers of 200 MW utility unit. *Proc. Combust. Inst.*, 34(2): 2769–2777. DOI: 10.1016/j.proci.2012.08.010.
- Reda A.A., Schnelle-Kreis J., Orasche J., Abbaszade G., Lintelmann J., Arteaga-Salas J.M., Stengel B., Rabe R., Harndorf H., Sippula O., Streibel T., Zimmermann R., 2015. Gas phase carbonyl compounds in ship emissions: Differences between diesel fuel and heavy fuel oil operation, *Atmospheric Environment*, 112: 370–380, DOI: 10.1016/j.atmosenv.2015.03.057.
- San José Alonso J.F., Romero-Ávila C., San José Hernández L.M., Al-Kassir Awf., 2012. Characterising biofuels and selecting the most appropriate burner for their combustion. *Fuel Process Technol.*, 103: 39–44. DOI: 10.1016/j.fuproc.2011.07.023.
- Steinmetz S.A., Herrington J.S., Winterrowd C.K., Roberts W.L., Wendt J.O.L., Linak W.P., 2013. Crude glycerol combustion: particulate, acrolein, and other volatile organic emissions. *Proc. Combust. Inst.*, 34(2): 2749–2757. DOI: 10.1016/j.proci.2012.07.050.
- Ushakov S., Valland H., Nielsen J.B., Hennie E., 2013. Effects of high sulphur content in marine fuels on particulate matter emission characteristics. *J. Mar. Eng. Technol.*, 12: 30–39.

Akty normatywne

- International Organization for Standardization, 2017. Petroleum products – Fuels (class F) – Specifications of marine fuels. ISO 8217:2017.
- Polski Komitet Normalizacyjny, 2011. Przetwory naftowe. Oleje opałowe. PN-C-96024:2011.



Mgr inż. Anna DUDA
Specjalista badawczo-techniczny w Zakładzie Paliw i Procesów Katalitycznych
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: anna.duda@inig.pl