

## Determination of the impact of FAME biocomponent on the fraction composition of diesel engine fuels

*The paper presents the results of studies to determine the fractional composition of biofuels, bio-component containing the FAME and diesel. Formulated biofuels 'B' containing 7%, 15%, 25%, 50% and 100% of FAME. Biofuels are produced from FAME use oil in the reactor of his own design type GW 200. The study was conducted in accordance with the requirements of BS EN ISO 3405:2012 (ASTM D 1160) using automated distillers HAD 620/1 by Herzog. Experiments have shown that both the beginning of distillation and its course depending on the amount of RME in diesel fuel. The greater the amount of FAME biodiesel that later starts the beginning of the distillation. Experiments have shown that both the beginning of distillation and its course depending on the amount of FAME in diesel fuel. The greater the amount of FAME biodiesel that later starts the beginning of the distillation. Among the studied biofuels only B7 and B15 FAME can meet the requirements for a standard diesel, which states that 95% v/v fuel must evaporate to a temperature of 360°C (633 K).*

Keywords: *Biofuel, Biodiesel FAME, fractional composition*

W referacie zaprezentowano wyniki badań dotyczących określenia składu frakcyjnego biopaliw, zawierających biokomponent FAME oraz oleju napędowego. Skomponowano biopaliw typu „B” zawierające 7%, 15%, 25%, 50% oraz 100% FAME. Biopaliw FAME zostały wyprodukowane z oleju uniwersalnego w reaktorze własnej konstrukcji typ GW 200. Badania przeprowadzono zgodnie z wymogami normy PN-EN ISO 3405:2012 (ASTMD 1160) przy użyciu zautomatyzowanej destylarki HAD 620/1 firmy Herzog. Eksperymenty pokazały, że zarówno początek destylacji jak i jej przebieg zależy od ilości FAME w oleju napędowym. Im większa ilość RME w biopaliwie tym później rozpoczyna się początek destylacji. Spośród badanych biopaliw tylko B7 oraz B15 FAME może sprostać wymogom dla standardowego oleju napędowego stanowiącym, że 95% v/v paliwa musi odparować do temperatury 360°C (633 K).

Słowa kluczowe: *Biopaliwo, Biodiesel FAME, skład frakcyjny*

### Introduction

One of the major parameters that determine the usefulness of fuel for Diesel engines is its fraction composition [5,9]. It is used to assess the ability to self-ignition, which is start-up properties of biodiesel, as well as regularity of the course of combustion and fuel consumption economics [2,8]. On its basis the tendency to incomplete combustion, that is the tendency to deposit on the tip of injectors, valves, piston rings and combustion chamber (carbon build-up), may be assessed.

Diesel oil is a liquid fuel for Diesel engines that is composed of the mixture of paraffin, naphthene and aromatic hydrocarbons. It consists of the mixture of liquid hydrocarbons obtained from crude oil distillates characterised by distillation (boiling) temperature within 443-623 K at the atmospheric pressure [2]. Additionally, according to EN-PN 590+A1:2011 for diesel oil, it may contain up to 7% (v/v) of FAME biocomponents.

In Poland, (as per the Act on biocomponents and liquid fuels passed by the Sejm on August 25, 2006), biodiesel has been lawfully produced and distributed since January 01, 2007. According to current Law,

### Wstęp

Jednym z podstawowych parametrów decydujących o przydatności paliwa do zasilania silników spalinowych jest skład frakcyjny [5,9]. Służy do oceny zdolności paliwa do samozapłonu, czyli własności rozruchowych oleju napędowego jak również regularności przebiegu spalania oraz ekonomikę zużycia paliwa [2,8]. Na jego podstawie ocenia się również skłonności paliwa do niecałkowitego spalania, czyli skłonności do pozostawiania na końcówkach wtryskiwaczy, zaworach, pierścieniach tłoków oraz w samej komorze spalania tzw. nagarów.

Olej napędowy jest paliwem ciekłym przeznaczonym do zasilania silników wysoko-prężnych (Diesla) składającym się z mieszaniny węglowodorów parafinowych, naftenowych i aromatycznych. Składa się z mieszaniny płynnych węglowodorów otrzymywanych z destylatów ropy naftowej o temperaturach destylacji (wrzenia), przy ciśnieniu atmosferycznym w zakresie 443-623 K [2]. Dodatkowo zgodnie z obowiązującą normą na olej napędowy EN-PN 590+A1:2011 może zawierać do 7% (v/v) biokomponentów FAME.

W Polsce zgodnie z Ustawą o biokomponentach i paliwach ciekłych (przyjętą przez Sejm RP w dniu

biodiesel may be produced for self-sufficiency purposes by entities that run their own fleet of vehicles and farmers. Biodiesel B100 FAME is the most frequently produced fuel.

As Biodiesel B100 FAME is a fuel with distillation properties different from those of diesel oil its addition changes the temperatures of distillation. Some researches show particularly huge differences between drip and dry points [9]. That is why the addition of biodiesel to diesel oil has an effect on the mixture distillation properties. Certainly, higher content of this additive causes more influence on the mixture fraction composition. For this reason, the researches were undertaken to determine the impact of FAME on distillation properties. The results are presented in this publication. FAME was obtained from all-purpose vegetable, a mixture of rape, soya and palm oils.

Table 1 shows quality requirements for biodiesel fraction composition as per the Minister of Economy Regulation established in 2006 [7].

25 sierpnia 2006r.) biopaliwa legalnie produkowane są i wprowadzane do obrotu od pierwszego stycznia roku 2007. Zgodnie z obowiązującą Ustawą biopaliwa mogą również produkować na własne cele jednostki posiadające flotę pojazdów oraz rolnicy. Najczęściej produkowanym biopaliwem jest Biodiesel B100 FAME.

Z uwagi iż Biodiesel B100 FAME jest paliwem, które cechuje się odmiennymi własnościami destylacyjnymi niż olej napędowy, dlatego jego dodatek wpływa na zmianę zakresu temperatur destylacji. Jak wynika z badań szczególnie duże różnice obserwuje się w temperaturach początku i końca destylacji [9]. Dlatego dodatek tego biokomponentu do oleju napędowego wpłynie również na zmianę własności destylacyjnych mieszaniny. Zapewne im większy dodatek FAME tym większy wpływ na skład frakcyjny mieszaniny. Dlatego zostały podjęte badania mające na celu określenie wpływu dodatku FAME na własności destylacyjne, a wyniki zaprezentowane w przedmiotowej publikacji. Biodiesel FAME został wytworzony z oleju roślinnego uniwersalnego, który był mieszaniną oleju rzepakowego, sojowego oraz palmowego.

W tabeli 1 zestawiono wymagania jakościowe dla składu frakcyjnego oleju napędowego zgodnie z rozporządzeniem Ministra Gospodarki z 2006r [7].

**Tab. 1.** Quality requirements for biodiesel fraction composition as per the Minister of Economy Regulation established in 2006 [7]

**Tab. 1.** Wymagania jakościowe dla składu frakcyjnego oleju napędowego zgodnie z rozporządzeniem Ministra Gospodarki z 2006r [7]

Parameter and unit	"Standard" diesel oil		Diesel oil with "improved low-temperature properties"	
	minimum	maximum	minimum	maximum
distillation (v/v) until 523 K	-	< 65	-	-
do 523 K distillation (v/v)	-	< 65	-	-
do 623 K distillation (v/v)	85	-	-	-
95 % (v/v) destyluje	-	633 K	-	-
do 523 K distillation (v/v)	-	-	-	10
do 613 K distillation (v/v)	-	-	95	-

#### The aim and the range of the research

The aim of this research was to determine the biodiesel fraction composition based on commercial diesel oil containing 7, 15, 25, 50 and 100% of v/v FAME biodiesel. Totally, tests for six fuel systems were completed. Firstly, the base diesel oil and then B7, B15, B30, B50 and B100 biodiesel fuels including FAME were tested. „B” mark indicates volume concentration of FAME in the diesel oil mixture. Biodiesel B100 FAME consists of 100% vegetable oil fat-based methyl esters. The base fuel for compounding type „B” fuels was ecodiesel produced by PKN ORLEN company. Considering the fact that diesel fuel already included 4,9 (v/v) of FAME, the volume of added biocomponent in the course of compounding fuels was decreased by above-mentioned value. Biodiesel FAME was produced in GW-200 reactor at Malopolskie Centre for Renewable Energy Sources "BioEnergia.”

#### Cel i zakres badań

Celem badań było określenie składu frakcyjnego biopaliw bazujących na handlowym oleju napędowym zawierającym 7, 15, 25, 50 oraz 100% v/v biokomponentu w postaci Biodiesla typu FAME. W sumie przeprowadzono badania dla sześciu układów paliw. Najpierw przebadano bazowy olej napędowy, a następnie skomponowane biopaliwa B7, B15, B30, B50 oraz B100 zawierające biokomponent FAME. Oznaczenie „B” wskazuje udział objętościowy biokomponentu FAME w mieszaninie z olejem napędowym. Biodiesel B100 FAME oznacza, że paliwo stanowiły 100% estry metylowe kwasów tłuszczowych oleju roślinnego. Bazowym paliwem do komponowania paliw typu „B” był przejściowy olej napędowy typu ekodiesel pochodzący z koncernu PKN ORLEN. Z uwagi, iż ON zawierał już 4,9 (v/v) FAME, dlatego przy komponowaniu biopaliw ilość dodawanego biokomponentu po-

---

### The methodology

Diesel oil and Biodiesel fraction compositions were determined, as per current PN-EN ISO 3405:2012 standard (in conformity with ASTM D 86) for fuels used in diesel engines, with application of Pensky Martin method. The fraction compositions of tested fuels were determined in the laboratory of Malopolskie Centre for Renewable Energy Sources "BioEnergia." The test station was equipped with automated distiller based on Herzog HDA 620/1 device additionally equipped with two systems for automatic check of fluid level in measuring cylinder. The distiller was co-financed under Malopolskie Regional Operational Programme for the years 2007-2013 for investment projects within B+R range, contract no.: MRPO.02.02.02-12-3-0414-69-11.

### Description of the test station

Biodiesel FAME was produced in GW-200 reactor at Malopolskie Centre for Renewable Energy Sources "BioEnergia" – fig. 1. FAME esters were derived by transesterification of triglycerides and vegetable oil with addition of potassium methoxide obtained from KOH dissolved in short-chain methyl alcohol. In order to remove glycerine deposits, soaps and other solid contaminations Biodiesel FAME was filtered. Subsequently, FAME was repelled in the course of distillation of methanol residue by heating up to 72°C and annealing for one hour. Its reaction was changed from (alkaline) pH 9-10 to (neutral) pH 7-8 by application of double-washing with 1% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> acidified water. Finally, FAME was dried with application of hygroscopic silica gel.

Figure 2 shows the test station for fuels and biofuels fraction compositions equipped with automated distiller based on Herzog HDA 620/1 device additionally equipped with two systems for automatic check of fluid level in measuring cylinder.

mnieszano o ww. wartość. Biodiesel FAME został wytworzony w reaktorze własnej konstrukcji o symbolu GW-200 w Laboratorium Biopaliw i Energii Małopolskiego Centrum Odnawialnych Źródeł Energii „BioEnergia”

### Metodyka badań

Skład frakcyjny oleju napędowego oraz Biodiesla wyznaczono zgodnie z obowiązującą normą dla paliw do silników z zapłonem samoczynnym PN-EN ISO 3405:2012 (metoda zgodna z ASTM D 86) metodą destylacji normalnej metodą Martin’a-Pensky’ego. Skład frakcyjny badanych paliw wykonano w laboratorium Małopolskiego Centrum Odnawialnych Źródeł Energii „BioEnergia” na stanowisku wyposażonym zautomatyzowaną w destylarkę bazującą na urządzeniu firmy Herzog HDA 620/1 dodatkowo wyposażonym w dwa układy do automatycznego pomiaru poziomu cieczy w cylindrze miarowym. Zakupu przedmiotowej destylarki dokonano przy współfinansowaniu ze środków ramach Małopolskiego Regionalnego Programu Operacyjnego na lata 2007-2013, projekty inwestycyjne przedsiębiorstw z zakresu B+R, nr umowy: MRPO.02.02.02-12-3-0414-69-11.

### Charakterystyka stanowiska badawczego

Biopaliw typu FAME został wytworzony w reaktorze własnej konstrukcji o symbolu GW-200 w Laboratorium Biopaliw i Energii Małopolskiego Centrum Odnawialnych Źródeł Energii „BioEnergia” - rys. 1. Estry FAME wytworzono w procesie transestryfikacji triglicerydów czym olej roślinny działając metanolanem potasu powstałym z rozpuszczenia wodorotlenku potasu KOH w krótkołańcuchowym alkoholu metylowym. Po wyprodukowaniu Biodiesel FAME został poddany filtracji w celu usunięcia pozostałości frakcji glicerynowej oraz mydeł i innych zanieczyszczeń stałych. Następnie odpędzono z FAME poprzez destylację pozostałości metanolu podgrzewając poprzez podgrzanie do temperatury 72°C i wygrzewając przez okres jednej godziny. Następnie jego odczyn został doprowadzony z zasadowego pH 9-10 do neutralnego pH 7-8 poprzez zastosowanie podwójnego przemywania zakwaszona wodą o stężeniu 1% kwasu H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Po czym FAME zostało osuszone przy użyciu silikażelu o właściwościach higroskopijnych.

Na rysunku 2 zaprezentowano stanowisko do badań składu frakcyjnego paliw i biopaliw wyposażone w zautomatyzowaną w destylarkę bazującą na urządzeniu firmy Herzog HDA 620/1 dodatkowo wyposażonym w dwa układy do automatycznego pomiaru poziomu cieczy w cylindrze miarowym.



Fig. 1. Reactor GW 200 for production of Biodiesel FAME (FAEE)

Rys. 1. Reaktor GW 200 do produkcji biopaliw typu Biodielse FAME (FAEE)



Fig. 2. Photo bench equipped with a distiller HAD 620/1 by Herzog

Rys. 2. Zdjęcie stanowiska badawczego wyposażonego w destylarkę HAD 620/1 firmy Herzog

### Test results

Table 2 specifies the test results for fraction compositions of biofuels B7, B15, B25, B50 and B100 containing FAME. They are compared to the results obtained for base diesel oil which contained 4,9 v/v FAME. Table 3 specifies significant points for fuel distillation curve.

### Wyniki badań

W tabeli 2 zestawiono wyniki badań oznaczeń składu frakcyjnego biopaliw typu B7, B15, B25, B50 i B100 zawierających biokomponent FAME. Dla porównania zestawiono wyniki uzyskane dla bazowego oleju napędowego, który już zawierał 4,9 v/v FAME. Natomiast w tabeli 3 zestawiono wartości najistotniejszych punktów krzywej destylacji badanych paliw.

Table 2. Fraction composition for FAME and diesel fuel  
Tabela 2. Skład frakcyjny badanych biopaliw FAME oraz oleju napędowego

% [v/v] distillation	ON base	B7 7% FAME w ON	B15 15% FAME w ON	B25 25% FAME w ON	B50 50% FAME w ON	B100 100% FAME
0	177	183	189	204	227	293
5	192	196	201	212	241	305
10	203	208	216	231	249	314
15	216	220	228	241	260	326
20	223	228	235	249	272	332
25	233	241	246	260	281	337
30	241	247	255	265	293	341
35	249	255	267	279	309	345
40	257	263	277	292	314	349
45	264	269	287	302	321	352
50	271	278	298	308	330	355
55	281	286	310	317	338	358
60	288	294	319	328	344	360
65	297	302	327	337	349	362
70	306	313	332	342	354	364
75	314	320	338	348	359	367
80	321	328	344	357	363	370
85	330	339	349	361	366	374
90	341	349	354	366	370	378
95	349	355	359	371	374	384
~100	362	370	377	381	386	398

ON - olej napędowy (Diesel fuel)

Table 3. Significant points for fuel distillation curve  
 Tabla 3. Najistotniejsze punktów krzywej destylacji paliw

Fuel	Drip point [°C]	Distillation until 250°C (v/v) [%]	Distillation until 350°C (v/v) [%]	95% (v/v) distils until [°C]	Dry point [°C]
Diesel fuel	177	36,0	95	349	362
B7 FAME z ON	183	32	91	355	370
B15 FAME z ON	189	27	85	359	377
B25 FAME z ON	204	21	77	371	381
B50 FAME z ON	227	10	66	374	386
B100 FAME	293	0	42	384	398

Table . Najistotniejsze punktów krzywej destylacji paliw

## Omówienie wyników badań

Jak wynika z tabeli 1 najszybciej rozpoczyna się destylować olej napędowy bazowy, którego początek destylacji przypadają na temperaturę 177°C. Natomiast temperatury początku destylacji pozostałych biopaliw zależą od ilości biokomponentu FAME w mieszaninie z olejem napędowym. Im większa ilość biopaliwa FAME, tym początek destylacji rozpoczyna się w wyższej temperaturze. Biopaliwo typu B7 rozpoczyna destylować w temperaturze 183°C, B15 w temperaturze 189°C, B25 w temperaturze 204°C, B50 w temperaturze 227°C natomiast B100 w temperaturze 293°C. Natomiast całość oleju napędowego przedestylowało do temperatury 362°C. W przypadku biopaliw najkorzystniejszymi własnościami destylacyjnymi charakteryzowało się biopaliw typu B7. Całość tego paliwa oddestylowała do temperatury 370°C. Natomiast temperatura końca destylacji biopaliw B15 wynosi 377°C, biopaliw B25 381°C, biopaliw B50 386°C, natomiast czystego FAME B100 odpowiednio 398°C.

## Podsumowanie

- przebadanych sześciu paliw: handlowego oleju napędowego oraz pięciu biopaliw typu „B” najszybciej rozpoczyna destylować (177°C) oraz najwcześniej osiąga koniec destylacji olej napędowy (362°C).
- Temperatury początku destylacji biopaliw zawierających FAME zależą od ilości biokomponentu w mieszaninie z olejem napędowym. Im większa ilość FAME w biopaliwie tym później rozpoczyna się początek destylacji. Biopaliwo B100 FAME rozpoczyna destylować dopiero w temperaturze około 293°C.
- Spośród badanych biopaliw tylko B7 oraz B15 FAME spełnia wymogi stawiane przez rozporządzenie Ministra Gospodarki z 2006r dla standardowego oleju napędowego stanowiące, że 95% V/V paliwa musi odparować do temperatury 360°C.
- Biopaliwa zawierające biokomponent FAME charakteryzują się podobnymi wartościami temperatury końca destylacji (różnica wynosiła tylko 28°C). Jest to spowodowane tym, że podczas destylacji tych paliw na początku destyluje więcej oleju napędowego,

## Review of the results

As shown in Table 1, the base diesel oil initial distillation proceeds already at 177°C. Drip point of other biofuels depends on the volume of FAME in the diesel oil mixture. Increase in the volume of FAME causes increase in the drip point. Initial distillation of biofuel B7 proceeds at 183°C, B15 at 189°C, B25 at 204°C, B50 at 227°C and B100 at 293°C, adequately. However, the entire volume of diesel oil distilled over until 362°C. In case of biofuels, B7 fuel occurred to have the most beneficial distillation properties. The entire volume of this biofuel distilled over until 370°C. Dry point for B15 biofuel was 377°C, for B25 was 381°C, for B50 was 386°C, and for pure FAME B100 398°C, appropriately.

## Summary

- From among six tested fuels (commercial diesel oil and five type “B” biofuels), diesel oil is the first to be distilled (177°C) and the first to reach the latest stage of the distillation process (362°C).
- Drip points of biofuels containing FAME depend on the volume of biocomponent in the diesel oil mixture. Higher volume of FAME in biofuel delays the commencement of distillation. Biofuel B100 FAME starts to distil already at approximately 293°C.
- From among tested biofuels, only B7 and B15 FAME meet requirements established by the Regulation of the Minister of Economy as of 2006 for standard diesel oil which sets up that 95% V/V of fuel must evaporate until 360°C.
- Biofuels containing FAME are characterised by similar dry points (temperature difference was only 28°C). It is caused by the fact that during distillation of these fuels, at the beginning, bigger volume of diesel oil is distilled over and then upon exceeding 362°C only FAME proceeds.
- Until 250°C, 36% v/v of diesel oil, 32% v/v of B7,

---

a dopiero po przekroczeniu temperatury około 362°C destyluje sam FAME.

- Do temperatury 250°C destyluje 36% v/v oleju napędowego, 32% v/v biopaliw B7, 27% v/v biopaliw B15, 21% v/v biopaliw B25, 10% v/v biopaliw B50 oraz 0% v/v B100 FAME.
- Do temperatury 350°C destyluje 95% v/v oleju napędowego, 91% v/v biopaliw B7, 85% v/v biopaliw B15, 77% v/v biopaliw B25, 66% v/v biopaliw B50 oraz 42% v/v B100 FAME. Z pośród badanych paliw biopaliw o wyższym udziale FAME niż 15% v/v nie spełniają wymogów ministra gospodarki z 2006r dla standardowego oleju napędowego stanowiące, że do temperatury 350°C musi odparować minimum 85% v/v paliwa oraz normy PN-EN ISO 3405:2012
- W przypadku zasilania silników wysokoprężnych biopaliwem B100 FAME należy zadbać o odpowiedni stan silnika (odpowiednia kompresja) oraz rozpylaczy i ciśnienia wtrysku w przeciwnym razie ze względu na wysoką temperaturę początku destylacji i oddestylowania około 10% paliwa należy się liczyć z trudnościami podczas uruchomienia silnika.

27% v/v of B15, 21% v/v of B25, 10% v/v of B50 and 0% v/v of B100 FAME are distilled.

- Until 350°C, 95% v/v of diesel oil, 91% v/v of B7, 85% v/v of B15, 77% v/v of B25, 66% v/v of B50 and 42% v/v of B100 FAME are distilled. From among tested biofuels, those with FAME volume fraction exceeding 15% v/v do not meet requirements established by PN-EN ISO 3405:2012 standard and by the Regulation issued by the Minister of Economy as of 2006 for standard diesel oil which sets up that until 350°C a minimum 85% v/v of fuel must evaporate.
- In case of Diesel engine admission with B100 FAME it is necessary to take care for engine (appropriate compression) as well as discharge jet condition and pressure. Otherwise, considering high drip point and distilling over approximately 10% of fuel, it is possible that some difficulties occur during engine start-up.

## Literatura/ Bibliography

- [1] Baczewski K. i inni: Samochodowe paliwa, oleje i smary - leksykon, Wydawnictwo Łączności i Komunikacji, Warszawa, 1983
- [2] Lotko W. Longwic Rafał.: Nieustalone stany pracy silnika zasilanego paliwem rzepakowym. Wydawnictwo ZPITE - Radom 1999.
- [3] Norma na wyznaczenie składu frakcyjnego produktów naftowych wg ASTM D 1160.
- [4] Norma EN-PN 590+A1:2011. Paliwa do pojazdów samochodowych -Oleje napędowe. Wymagania i metody badań.
- [5] Paliwa i ich spalanie. Część V Laboratorium (R. Petela - red.), Skrypt Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1984.
- [6] Polska norma PN-EN 590:2010. Paliwa do pojazdów samochodowych - Oleje napędowe -

Wymagania i metody badań.

- [7] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 9 grudnia 2008 r. w sprawie wymagań jakościowych dla paliw ciekłych. (Dz. U. Nr 169, poz. 1200 oraz z 2008 r. Nr 157, poz. 976).
- [8] Szlachta Z. 2002. Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ – Warszawa.
- [9] Wcisło G.: Określenie składu frakcyjnego biopaliw rolniczych zawierających biokomponent CSME. Inżynieria Rolnicza. Vol. 9 (118). 2009.
- [10] Ustawa o biokomponentach i paliwach ciekłych (przyjęta przez Sejm. RP w dniu 25 sierpnia 2006 r.) (Dz.U. 2006 nr 169 poz. 1199 z późn. zm.)

**Dr inż. - adiunkt na Wydziale Inżynierii Produkcji i Energetyki Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kollataja w Krakowie oraz właściciel Małopolskiego Centrum Odnawialnych Źródeł Energii „BioEnergia”**

*Mr Grzegorz Wcisło Ph.D. M.E. - Faculty of Production Engineering and Power Technologies, Agricultural University of Cracow and the owner of the Malopolskie Centre for Renewable Energy Sources "BioEnergia*

