

## **MODYFIKACJA WŁAŚCIWOŚCI FIZYKO-CHEMICZNYCH I UŻYTKOWYCH PALIWA RZEPAKOWEGO**

Janusz Jakóbiec

*Katedra Technologii Paliw, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie*

Anna Bocheńska

*Instytut Transportu Samochodowego w Warszawie*

Andrzej Ambroziak

*Katedra Maszyn Ciepłych, Politechnika Świętokrzyska w Kielcach*

**Streszczenie.** Przeprowadzono analizę wymagań normatywnych dla oleju rzepakowego i jego mieszanin w oparciu o opracowanie Ministerstwa Rolnictwa Bawarii – Niemcy. Zwrócono uwagę, że część składników nie została w pełni określona i mogą ulegać ciągłej zmianie zarówno w zakresie wartości liczbowej jak i metodyki badań. Badania laboratoryjne własne dotyczą oceny jakości wybranych właściwości fizykochemicznych oleju rzepakowego w oparciu o wprowadzenie dodatków w postaci paliw węglowodorowych takich jak: olej napędowy, benzyna U95 i etanol (bioetanol).

**Słowa kluczowe:** biopaliwo, dodatki, właściwości fizykochemiczne

### **Wstęp**

Podstawowym paliwem przeznaczonym do zasilania silników w parku maszyn sektora rolniczego są mieszaniny bioetanolu i biodiesla (RME) z paliwami ropopochodnymi – bioetanolu z benzyną i biodiesla z olejem napędowym. Rozważa się również wykorzystanie oleju rzepakowego w mieszaninie z olejem napędowym w różnych proporcjach. Prace badawcze prowadzone są w tym zakresie w Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie oraz zakładach produkcji ciągników i maszyn rolniczych PRONAR i ZETOR [Dronio 2010].

Współczesne silniki o zapłonie samoczynnym, przystosowane do spalania paliw ropopochodnych nie mogą być zasilane naturalnym olejem rzepakowym, gdyż występują wówczas problemy z uruchomieniem elementów tłoczących i rozpylaczy, powstawaniem nagarów w komorze spalania i pogorszeniem właściwości smarnych oleju silnikowego [Szlachta 2002].

Naturalny olej rzepakowy w czystej postaci może być stosowany w tylko do tego specjalne do tego skonstruowanych silnikach (silnik Elsbetta) [Elsbet 1981], który pracuje efektywnie na różnych olejach roślinnych.

### Wymagania normatywne w odniesieniu do oleju rzepakowego i jego mieszanin z olejem napędowym

Wdrożenie naturalnego oleju rzepakowego lub jego mieszanin z olejem napędowym jako paliwa do silników przeznaczonych do spalania oleju napędowego, a także silników adaptowanych czy też specjalnie konstruowanych, wymaga ustanowienia normy dla wartości parametrów definiujących właściwości paliwowe oleju rzepakowego. Jest to szczególnie istotne w przypadku wytwarzania oleju rzepakowego i jego mieszanin z olejem napędowym w lokalnych, zdecentralizowanych wytwórniach, z przeznaczeniem do zasilania silników w ciągnikach i maszynach rolniczych [Jakóbiec 2006].

Zwykle nie jest to możliwe, gdyż próbki oleju rzepakowego pochodzącego z różnych tłoczni w wyniku różnych technologii cechują się niepowtarzalnością parametrów istotnych ze względu np. na przepływ paliwa przez filtry i w aparaturze wtryskowej, czy też ze względu na procesy rozpylenia [Szlachta 2002].

Mając na względzie, że w Europie Środkowej paliwem może być olej rzepakowy, zaproponowano standardy jakościowe dla takiego oleju zamieszczone w tabeli 1.

Tabela 1. Wstępne standardy jakościowe dla oleju rzepakowego jako paliwa w adaptowanych silnikach o zapłonie samoczynnym [Kern i inn. 1998]

Table 1. Preliminary quality standards for rapeseed oil as a fuel in adapted compression-ignition engines

Parametr	Jednostka	Granice wartości		Metody badań
		Min.	Max.	
Gęstość w temp. 15°C	[g·ml <sup>-1</sup> ]	0,90	0,93	ISO 3675
Lepkość kinematyczna w 40°C	[mm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	-	38	ISO 3104
Temperatura zapłonu	[°C]	300	-	ISO 2719
Liczba cetanowa	-	38	-	ISO 5165
Wartość opałowa	[kJ·g <sup>-1</sup> ]	35	-	DIN 51900 T3
Węgiel pozostałościowy	[%(m/m)]	-	0,03	ISO 10370
Parametry w niskich temperaturach	[°C]	Do określenia		DIN V51608
Zawartość cząstek stałych	[mg·kg <sup>-1</sup> ]	-	25	DIN 51419
Zawartość popiołu	[%(m/m)]	-	0,02	ISO 6245
Zawartość siarki	[%(m/m)]	-	0,03	ASTM D5453
Zawartość wody	[mg·kg <sup>-1</sup> ]	-	1000	ASTM D1744
Zawartość fosforu	[mg·kg <sup>-1</sup> ]	-	25	DIN 51 363T1
Liczba kwasowa	[mg KOH·g <sup>-1</sup> ]	-	1,5	DIN 51 558T1
Liczba jodowa	[g·100g <sup>-1</sup> ]	-	120	DIN 53 241

Próbę określenia wymaganego składu i właściwości oleju rzepakowego dla adaptowanych silników o zapłonie samoczynnym podjęto kilkanaście lat temu (w 1996 roku) w Niemczech. W pracach nad ustaleniem standardów brało udział ok. 60 przedstawicieli producentów silników i oleju silnikowego, biur konstrukcyjnych, instytutów badawczych i ministerstwa rolnictwa Bawarii [Kern i in. 1998].

Zwrócono uwagę, że część standardów nie została w pełni określona, a ponadto mogą one ulegać zmianie zarówno w zakresie wartości liczbowej, jak i metodyki badań. Na przykład wartość liczby cetanowej może zmieniać się w wyniku zachodzących procesów chemicznych w czasie przechowywania oleju.

Olej rzepakowy jako paliwo silnikowe powinien posiadać właściwości fizykochemiczne zbliżone do normatywnych parametrów oleju napędowego jako paliwa do silników o zapłonie samoczynnym. Do najważniejszych właściwości mających wpływ na proces spalania w silniku tłokowym zaliczamy: gęstość, lepkość kinematyczną, liczbę cetanową, skład frakcyjny i wartość opałową. Szereg wymienionych właściwości ma istotny wpływ na cechy użytkowe paliwa jak: temperatura blokowania zimnego filtra, zawartość siarki, temperatura zapłonu itp. Badania tych cech paliwa pominięto ze względu na zakres pracy.

Lepkość oleju rzepakowego decyduje o oporach przepływu przez przewody, filtry i otwory rozpylacza a także o przebiegu wtrysku i rozpylenia paliwa oraz smarowania pomp wtryskowych. Niekiedy prezentowana jest opinia, że mała lepkość i wynikające z niej dobre własności przepływowe są ważniejsze od rozruchu silnika niż liczba cetanowa [Juva 1982].

Krzywa destylacji olejów roślinnych różni się znacznie od oleju napędowego i przebiega w zakresie temperatur o 50-150°C wyższych (w zależności od rodzaju oleju roślinnego) niż dla oleju napędowego. Podkreśla się, że wrzenie olejów roślinnych zaczyna się przy temperaturach nieco niższych niż dla oleju napędowego, ale następnie temperatury wrzenia szybko rosną ponad temperaturę wrzenia oleju napędowego [Goering i in. 1982].

Niższa niż dla oleju napędowego temperatura początku wrzenia oleju roślinnego może wskazywać na wcześniejsze odrywanie się cząsteczek o zwiększonej energii poza objętość cieczy i możliwość wcześniejszego powstawania par paliwa wewnątrz objętości ogrzewanej cieczy. Wcześniejsze wytworzenie par mogłoby sprzyjać skróceniu okresu opóźnienia samozapłonu oleju rzepakowego.

### **Badania laboratoryjne oleju rzepakowego jako paliwa silnikowego w zakresie poprawy właściwości fizykochemicznych**

Jednym ze sposobów ograniczenia niekorzystnych efektów zasilania silników o zapłonie samoczynnym olejem rzepakowym jest stosowanie mieszaniny tego produktu z olejem napędowym, benzyna i etanolem. Ze względu na poprawną pracę silnika o ZS zasilanego olejem rzepakowym, niektóre jego właściwości fizykochemiczne muszą ulec poprawie, zbliżyć się do wartości normowanych dla oleju napędowego, zwłaszcza takie jak: lepkość, zawartość wody, popiołu oraz poziom kwasów tłuszczowych. Część z nich można poprawić już w procesie rafinowania oleju rzepakowego [Krzymański 2002].

Przedmiotem badań laboratoryjnych była ocena wybranych właściwości fizykochemicznych oleju rzepakowego (skład frakcyjny, lepkość i gęstość) w oparciu o dodatki paliw węglowodorowych takich jak: olej napędowy, benzyna węglowodorowa U95 i etanol.

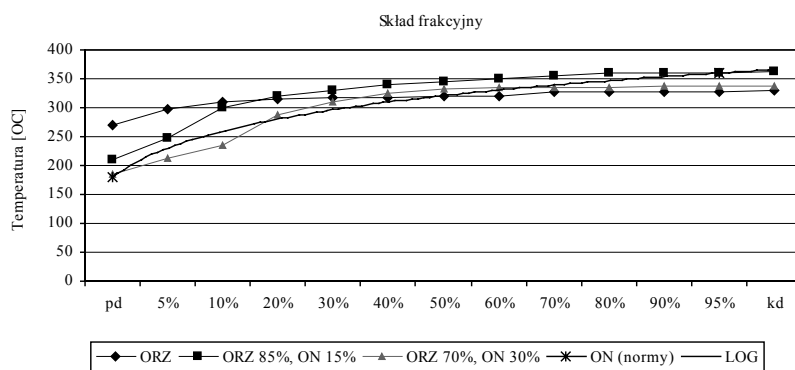
Do analiz użyto olej rzepakowy handlowy, którego podstawowe wybrane właściwości fizykochemiczne zamieszczono w tabeli 2.

Tabela 2. Podstawowe wybrane właściwości fizykochemiczne oleju rzepakowego jako przedmiotu badań

Table 2. Selected basic physical and chemical properties of rapeseed oil as the object of study

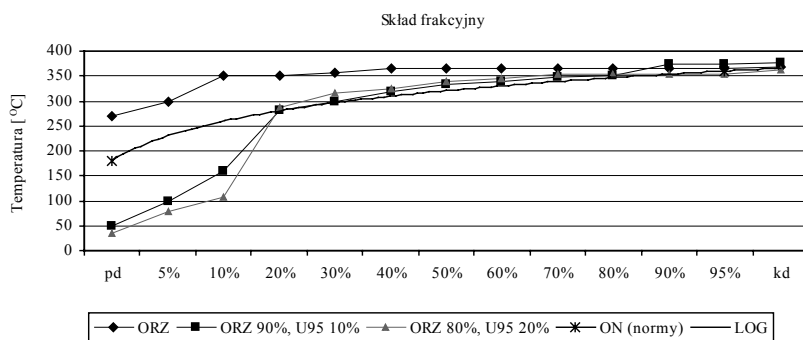
Badany parametr	Jednostka	Wynik badań	Metody badań
Gęstość w temp. 15°C	[kg·m <sup>-3</sup> ]	921,4	PN EN ISO 12185:2002
Lepkość kinematyczna w 40°C	[mm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	34,00	PN EN ISO 3104:2004
Liczba cetanowa	-	-	ASTM D5453:2003
Skład frakcyjny			PN EN ISO 3405:2004
- początek destylacji	[°C]	170	
- 5% destyluje do temperatury	[°C]	300	
- 10% destyluje do temperatury	[°C]	350	
- 20% destyluje do temperatury	[°C]	351	
- 30% destyluje do temperatury	[°C]	356	
- 40% destyluje do temperatury	[°C]	364	
- 50% destyluje do temperatury	[°C]	365	
- 60% destyluje do temperatury	[°C]	366	
- 70% destyluje do temperatury	[°C]	-	
- 80% destyluje do temperatury	[°C]	-	
- 90% destyluje do temperatury	[°C]	-	
- 95% destyluje do temperatury	[°C]	-	
- koniec destylacji	[°C]	367	
- wydajność	[%(m/m)]	60,1	

Wyniki badań laboratoryjnych mieszaniny oleju rzepakowego z olejem napędowym, benzyną U95 i etanolem w zakresie poprawy składu frakcyjnego, lepkości oraz gęstości oleju rzepakowego przedstawiono graficznie na rys. 1-7.

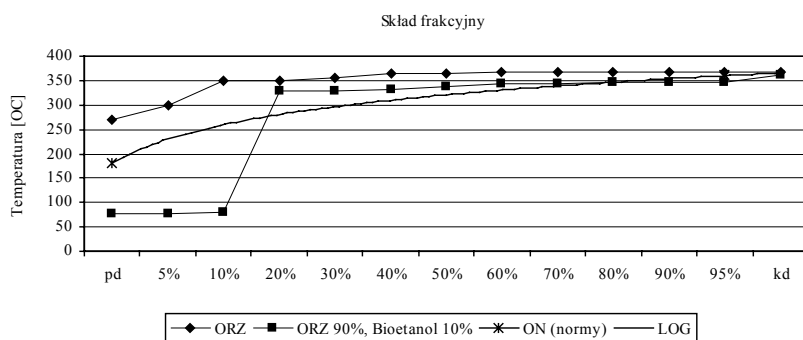


Rys. 1. Skład frakcyjny mieszaniny oleju rzepakowego i napędowego Ekodiesel Plus  
 Fig. 1. Fractional composition of rapeseed oil and Ekodiesel Plus diesel oil mixture

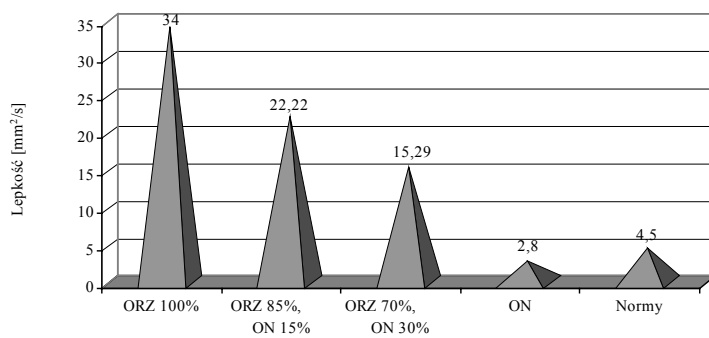
Modyfikacja właściwości...



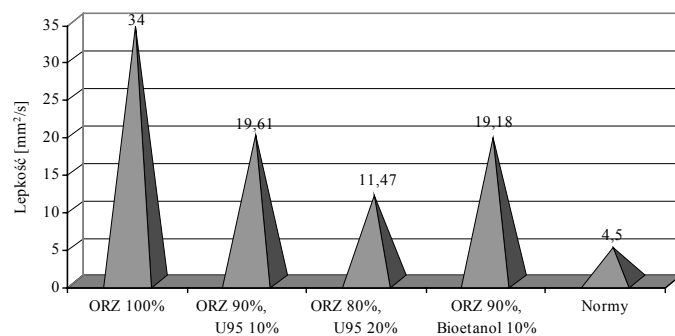
Rys. 2. Zmiana składu frakcyjnego oleju rzepakowego przy dodatku benzyny U95  
Fig. 2. Change in the fractional composition of rapeseed oil with U95 petrol added



Rys. 3. Skład frakcyjny oleju rzepakowego z etanolem (bioetanolem)  
Fig. 3. Fractional composition of rapeseed oil with ethanol (bioethanol)

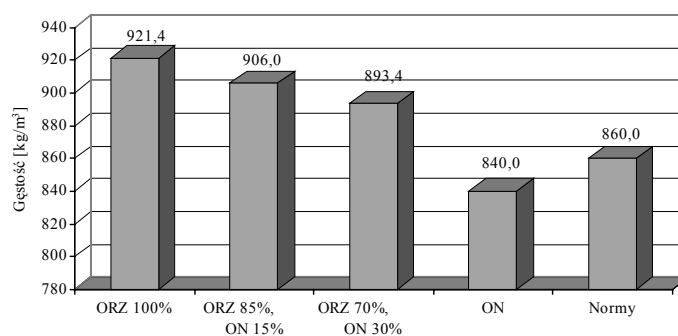


Rys. 4. Zmiana lepkości mieszanki oleju rzepakowego z olejem napędowym Ekodiesel Plus  
Fig. 4. Change in viscosity of rapeseed oil and Ekodiesel Plus diesel oil mixture



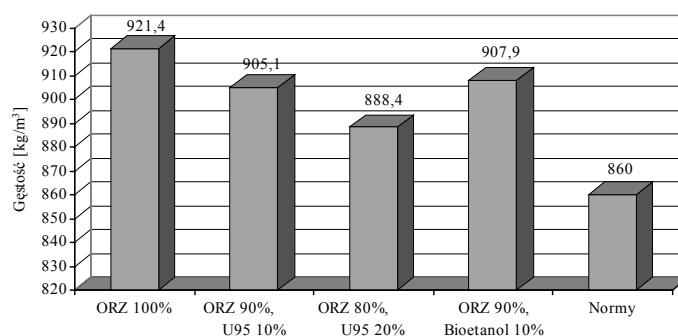
Rys. 5. Zmiana lepkości oleju rzepakowego po wprowadzeniu benzyny węglowodorowej U95 oraz bioetanolu

Fig. 5. Change in rapeseed oil viscosity after adding hydrocarbon petrol (U95) and bioethanol



Rys. 6. Zmiana gęstości mieszaniny oleju rzepakowego z olejem napędowym Ekodiesel Plus

Fig. 6. Change in the density of rapeseed oil and Ekodiesel Plus diesel oil mixture



Rys. 7. Zmiana gęstości oleju rzepakowego przy dodatku benzyny węglowodorowej U95

Fig. 7. Change in the density of rapeseed oil after adding hydrocarbon petrol (U95)

## Omówienie wyników badań laboratoryjnych

Uzyskane wyniki badań laboratoryjnych oleju rzepakowego upoważniają do stwierdzenia:

- dodatek oleju napędowego, benzyny węglowodorowej U95 i etanolu generalnie wpłynęły na poprawę wybranych właściwości fizykochemicznych rzutujących na rozruch silnika o ZS i przebieg procesu spalania;
- temperatura oddestylowania lekkich frakcji oleju rzepakowego jest wyższa o ok. 100°C w stosunku do oleju napędowego;
- temperatura oddestylowania 10-20%(V/V) paliwa ma wpływ na charakterystykę rozruchową silnika, natomiast temperatura oddestylowania 50%(V/V) kształtuje lepkość i gęstość, co z kolei wpływa na proces spalania oraz ilość osadów w komorze spalania;
- obniżenie lepkości oleju rzepakowego do wartości zbliżonych dla oleju napędowego uzyskano poprzez wprowadzenie dodatków paliwowych takich jak: olej napędowy, benzyna węglowodorowa U95 i etanol (bioetanol);
- dodatek oleju napędowego i benzyny U95 do oleju rzepakowego powoduje obniżenie gęstości mieszaniny tych paliw;
- wprowadzenie benzyny U95 i etanolu do oleju rzepakowego powoduje obniżenie liczby cetanowej, a tym samym zdolność paliwa do samozapłonu oraz spadek temperatury oddestylowania 10-25%(V/V) paliwa poprawiając rozruch silnika (dzięki lekkim frakcjom benzyny).

Referat został opracowany w oparciu o wyniki badań prac statutowych w Wydziale Energetyki i Paliw Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

## Wnioski

1. Dla zapewnienia poprawnej pracy silników o ZS zasilanych olejem rzepakowym i ich trwałości produkt ten musi spełnić co najmniej wstępne standardy jakościowe opracowane przez Ministerstwo Rolnictwa Bawarii w Niemczech.
2. Przeprowadzone badania potwierdziły, że przez dodatki paliw do oleju rzepakowego w znacznym stopniu poprawiły jego właściwości fizykochemiczne jako paliwa do silników o zapłonie samoczynnym.
3. Przy odpowiednio dobranej zawartości %(V/V) oleju napędowego w mieszaninie oleju rzepakowego można zbliżyć się do właściwości fizykochemicznych oleju napędowego.
4. Najefektywniejszym dodatkiem paliwowym dla oleju rzepakowego okazał się olej napędowy w ilości ok. 30%(V/V), zwiększając liczbę cetanową, obniżając lepkość oraz obniżając odparowanie paliwa rzepakowego o 10-20%.

## Bibliografia

- Dronio A.** 2010. Analiza energetyczno-techniczna technologii produkcji biopaliwa w małym gospodarstwie rolnym. Rozprawa doktorska. SGGW Warszawa. Maszynopis.
- Szlachta Z.** 2002. Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi. Wydawnictwo Komunikacji i Łączność. Warszawa. ISBN 83-206-1459-7.
- Elsbett L.** 1981. Entwicklung eines Dieselmotors mit warmedichterem Verbrennungsraum. Motortechnische Zeitschrift. Nr 3. s. 14.
- Kern Ch., Widmann B., Wilharm T.** 1998. Standardisation of Rape Seed Oil as a Fuel in Adapted Diesel Engines. W. Proceedings of the International Conference "Biomass for Energy and Industry". Würzburg. s. 62.
- Jakóbiec J.** 2006. Ocena produktów z oleju rzepakowego przeznaczonych na paliwa silnikowe. Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk. Kraków. ISBN 83-89-174-944.
- Juva A., Zelewka P., Tritthart P.** 1982. Influences of Diesel Fuel Properties and Ambient Temperature on Engine Operation and Exhaust Emissions. SAE Transactions. Nr 89 0012. s. 22-31.
- Goering C. E., Schwab A., Daughterty M., Pryde E., Heakin A.** 1982. Fuel Properties of Eleven Vegetable Oils. Transactions of the Society Agricultural Engineers. s. 33.
- Krzymański J.** 2002. Wymagania jakościowe rzepaku dla przemysłu olejarskiego i paszowego. Wieś Jutra 2(43). s.12-26.

## MODIFICATION OF PHYSICAL, CHEMICAL AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF RAPESEED FUEL

**Abstract.** The research involved an analysis of normative requirements for rapeseed oil and its mixtures on the basis of a study completed by Bavarian Ministry of Agriculture – Germany. It has been observed that some of the ingredients have not been fully defined, and thus they may be subject to continuous changes in regard to both numerical value and research methodology. Own laboratory tests concern quality assessment of selected physical and chemical rapeseed oil properties, based on introducing additives in form of hydrocarbon fuels including: diesel oil, U95 petrol and ethanol (bioethanol).

**Key words:** biofuel, additives, physical and chemical properties

### Adres do korespondencji:

Janusz Jakóbiec; email: [jjakobie@agh.edu.pl](mailto:jjakobie@agh.edu.pl)  
Katedra Technologii Paliw  
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie  
Al. A.Mickiewicza 30  
30-059 Kraków