

WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI MIESZANIN OLEJU RZEPAKOWEGO Z BENZYNĄ LOTNICZĄ*

Janusz Wojdalski, Marek Klimkiewicz, Bogdan Drózdź, Remigiusz Mruk, Jacek Słoma
Katedra Organizacji i Inżynierii Produkcji
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Streszczenie. Przedstawiono wyniki badań, których celem było określenie wpływu dodatku benzyny lotniczej Jet-A1 do oleju rzepakowego na wybrane właściwości mieszanin, mogących mieć zastosowanie jako paliwo silnikowe. Porównano właściwości składników oraz mieszanin składających się z oleju rzepakowego z benzyną lotniczą Jet-A1 w ilościach 10%, 20% i 30% (v/v). Zbadano przebiegi destylacji oraz gęstość i lepkość poszczególnych produktów. Zwiększenie udziału benzyny lotniczej Jet-A1 do 30% w mieszaninie z olejem rzepakowym wpłynęło na zmniejszenie lepkości kinematycznej produktu z $34,0 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ do $15,5 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ oraz gęstości z $921,0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ do $890,9 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Słowa kluczowe: olej rzepakowy, benzyna lotnicza, paliwa silnikowe

Wstęp

Oleje roślinne (OR) i olej napędowy (ON) charakteryzują się różnymi właściwościami, które wpływają na możliwość ich zastosowania jako paliw silnikowych (Demirbas, 2008; Hossain i Davies, 2010; Karaosmanoglu i in., 2000; Ullah i in. 2013, Szlachta, 2002). Oleje roślinne, a w tym olej rzepakowy, wymagają zastosowania dodatkowej obróbki w celu poprawienia ich jakości do wymagań stawianych dotychczas stosowanym paliwom (Bocheński i Bocheńska, 2005; 2008; Farkas, 2009). Może to wymagać także modyfikacji układu zasilania silników. Istotny jest także dobór odmian rzepaku i technologii wytłaczania. Powyższym zagadnieniom są poświęcone przykładowe publikacje: Dmitrieva i in. (2004); Guderjan i in. (2007); Kahel-Jakubowska (2009); Nwafor (2004); Panasiewicz i in. (2009); Piekarski i in. (2003); Ramadhas i in. (2004); Shahid i Jamal (2008); Weisło (2005, 2006); Wojdalski i Bocheński (2010). Właściwości otrzymanego oleju można modyfikować w pewnym zakresie, stosując dodatki uszlachetniające (dodatki paliwowe). Dostosowanie właściwości fizyko-chemicznych oleju rzepakowego jest możliwe w pewnym zakre-

* Artykuł został opracowany na podstawie wyników badań prac statutowych na Wydziale Inżynierii Produkcji, SGGW oraz projektu badawczego KBN N 502 007 31/0573

się. Najczęściej można uzyskać to poprzez mieszanie oleju z innymi palnymi substancjami organicznymi jako dodatkami paliwowymi (Ambrozik i Kurczyński, 2006; 2008; Czarnocka i in., 2011; Jakóbiec i in., 2011; Pilarski i Krysztofiak, 2009; Radkowski i in., 2006). Dodatek wymienionych substancji ma na celu korektę składu frakcyjnego, zmniejszenie lepkości paliwa i zmianę jego gęstości. Substancje te mają również pewien wpływ na inne cechy paliwa, jak np. liczba cetanowa, temperatura zapłonu. Uwzględniając właściwości oleju rzepakowego pozwalające na mieszanie z dotychczas stosowanymi paliwami, przeprowadzono badania mające na celu wytworzenie produktów o parametrach zbliżonych do oleju napędowego.

Celem podjętych badań było określenie wpływu stosowania dodatku benzyny lotniczej Jet-A1 do oleju rzepakowego na właściwości otrzymanych produktów w kontekście możliwości ich wykorzystania do zasilania silników spalinowych. Przyjęto założenie, że zastosowanie benzyny Jet-A1 wpłynie na zmniejszenie lepkości, zmianę składu frakcyjnego i gęstości mieszaniny, której podstawowym składnikiem jest olej rzepakowy. Wśród celów badań było określenie w jakim stopniu ulegną zmniejszeniu różnice pomiędzy właściwościami badanych mieszanin oraz oleju napędowego.

Olej rzepakowy jako paliwo

Olej rzepakowy stosowany jako paliwo do zasilania silników o zapłonie samoczynnym (ZS) ma niektóre właściwości lepsze od oleju napędowego, ale niektóre jego cechy znacznie odbiegają od tych, którymi charakteryzują się paliwa mineralne i są wymagane przez normy. Do najważniejszych różnic właściwości zalicza się: skład chemiczny (frakcyjny), lepkość, gęstość, temperaturę mętnienia, temperaturę blokady zimnego filtra, temperaturę zapłonu i liczbę cetanową. Wymienione różnice właściwości wpływają na warunki magazynowania obu paliw. Ponadto właściwości te mają istotny wpływ na zachowanie się paliw w silniku. Zastosowanie oleju rzepakowego do zasilania konwencjonalnych silników o ZS wymagałoby wprowadzenia zmian konstrukcyjnych. Przedstawione czynniki powodują, że olej rzepakowy ma ograniczone możliwości w zastosowaniu do napędu wymienionych silników. Oleje roślinne w postaci czystych składników (bez dodatków) nie znalazły szerokiego zastosowania jako paliwa do silników wysokoprężnych.

Wykorzystanie nieprzetworzonego oleju rzepakowego w jako paliwa do silników o ZS nie znalazło szerokiego zastosowania przede wszystkim ze względu na ograniczenia techniczne. Wyniki badań w tym zakresie podaje m.in. raport IHAR (2008). Paliwo rzepakowe może być stosowane do zasilania silników o odmiennej konstrukcji, np. silnika Elsbetta (Jakóbiec i in., 2011).

Metodyka badań

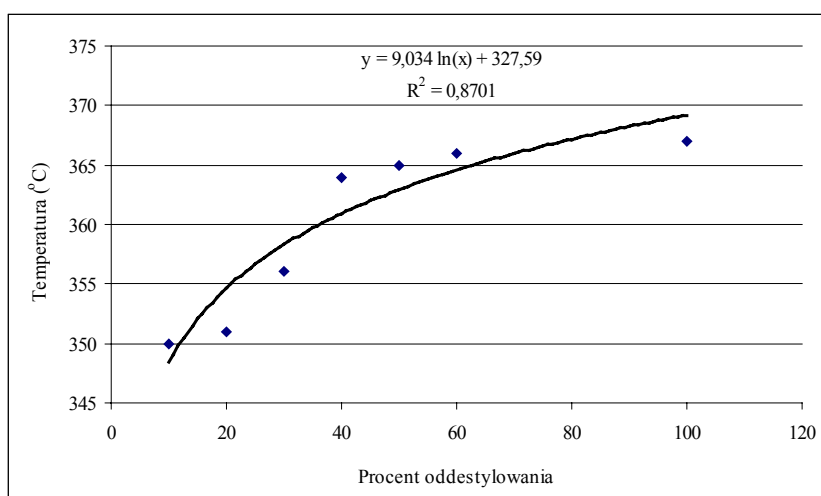
Podjęte badania miały na celu określenie właściwości produktów – mieszanin oleju rzepakowego z benzyną lotniczą Jet-A1 w ilościach 10%, 20% i 30% (v/v). Mieszaniny te w zostały zbadane zgodnie z normami w specjalistycznym laboratorium paliwowym w celu określenia właściwości istotnych dla przebiegu spalania (głównie gęstość, lepkość, skład frakcyjny). Przeprowadzono także oddzielne badania poszczególnych składników mieszanin, tj. oleju rzepakowego i benzyny lotniczej.

Badania składników mieszanin

Do badań właściwości zastosowano destylację jako metodę rozdzielania ciekłych układów wieloskładnikowych opartą na różnej lotności poszczególnych składników w danych warunkach ciśnienia i temperatury.

Olej rzepakowy

Na rysunku 1 przedstawiono przebieg destylacji oleju rzepakowego, przyjmując jako zmienną niezależną procent oddestylowania.



Rysunek 1. Przebieg destylacji oleju rzepakowego (handlowego)
Figure 1. The course of distillation of rapeseed (commercial)

Do badań zastosowano olej rzepakowy (handlowy) o właściwościach podanych w tabeli 1.

Tabela 1

Wybrane właściwości oleju rzepakowego (handlowego)

Table 1

The selected properties of rape seed oil (commercial)

Lp.	Badany parametr	Norma	Jednostki	Wartość liczbową
1	Gęstość w 15°C	PN-EN ISO 12185:2002	(kg·m ⁻³)	921,0
2	Lepkość kinematyczna w 40°C	PN-EN ISO 3104:2004	(mm ² ·s ⁻¹)	34,0

Benzyna Jet-A1 (paliwo lotnicze)

Paliwo lotnicze Jet-A1 ma korzystne właściwości, gdyż początek jego krzywej destylacji jest zbliżony do krzywej destylacji oleju napędowego. Paliwo to zawiera także małą zawartość węglowodorów aromatycznych i związków siarki. W tabeli 2 przedstawiono podstawowe właściwości benzyny Jet-A1.

Tabela 2

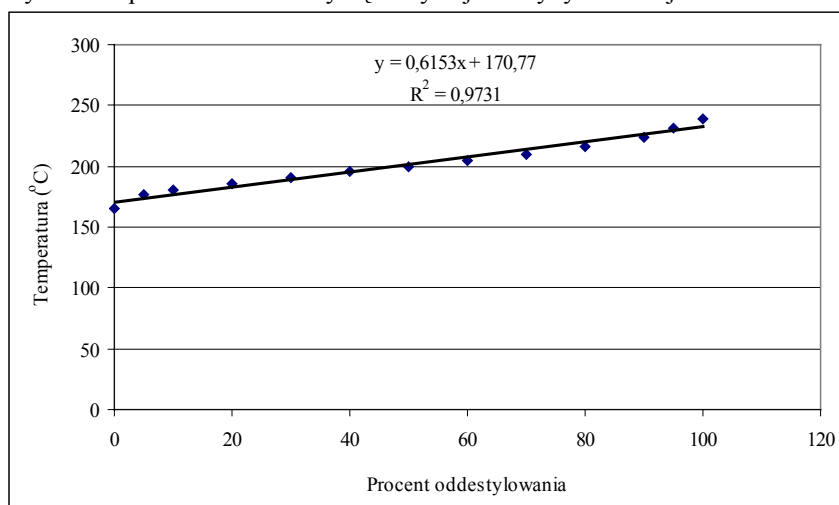
Właściwości benzyny lotniczej Jet-A1

Table 2

The properties of Jet - A1 aviation fuel

Lp.	Badane parametry/właściwość	Norma stosowana w badaniach	Jednostki	Wynik
1	Gęstość w 15°C	D-1298	(kg·m ⁻³)	828,0
2	Temperatura zapłonu	D-56	(°C)	52
3	Temperatura krystalizacji	ASTM D1655	(°C)	-47
4	Wysokość nie kopącego płomienia	D-45	(mm)	24
5	Wydajność destylacji	D-86	(% m/m)	98,5

Na rysunku 2 przedstawiono krzywą destylacji benzyny lotniczej Jet-A1.



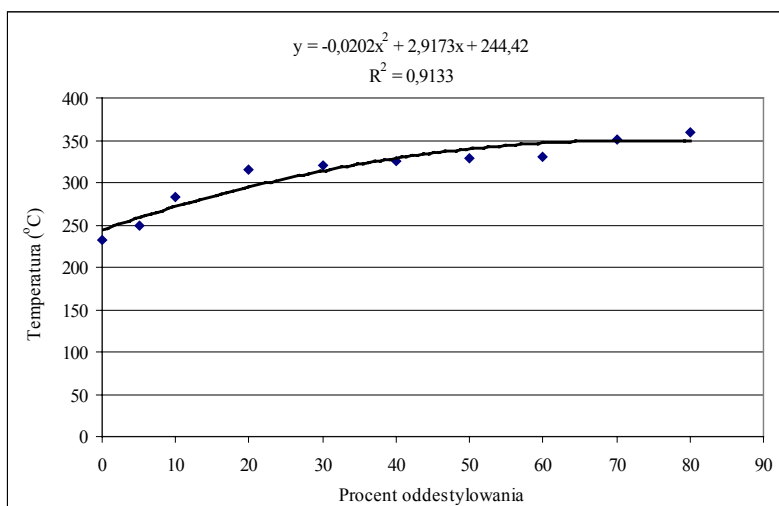
Rysunek 2. Przebieg destylacji benzyny Jet-A1

Figure 2. The course of Jet -A1 fuel distillation

Badania właściwości mieszaniny oleju rzepakowego z benzyną Jet-A1

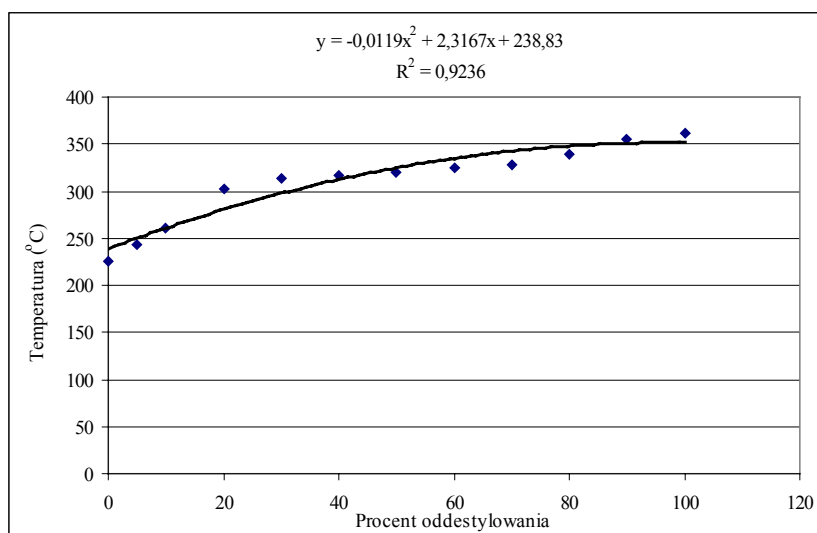
Na rysunkach 3–5 przedstawiono przebiegi destylacji poszczególnych mieszanin oleju rzepakowego z dodatkami 10%, 20% i 30% (v/v) benzyny Jet-A1, której właściwości wymieniono w tabeli 2.

Z pracy Bocheńskiego i Bocheńskiej (2008) wynika, że liczba cetanowa dla OR przyjmuje wartości w granicach 40-44, zaś dla ON – średnio 52,3. Według normy DIN V 51605 minimalna wartość liczby cetanowej dla oleju rzepakowego może wynosić 39.



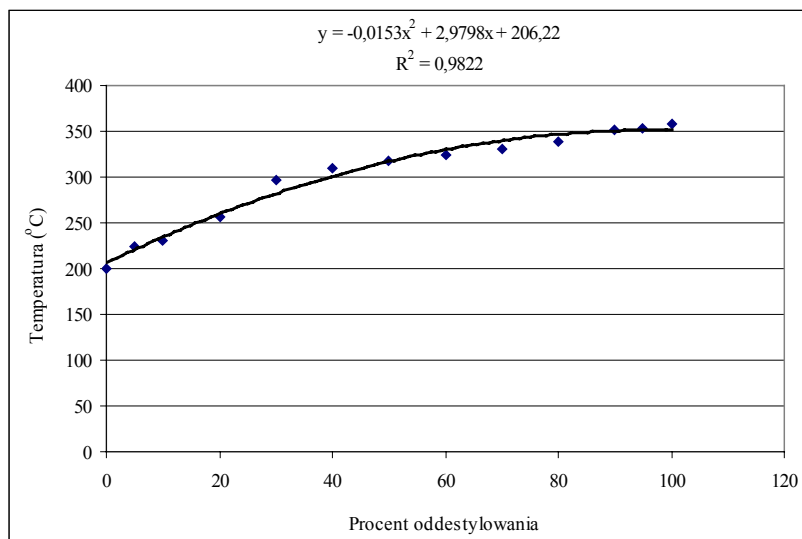
Rysunek 3. Przebieg destylacji mieszaniny 90% oleju rzepakowego z 10% udziałem benzyny Jet-A1

Figure 3. The course of distillation of the mixture of 90% rapeseed oil with 10% share of Jet-A1 fuel



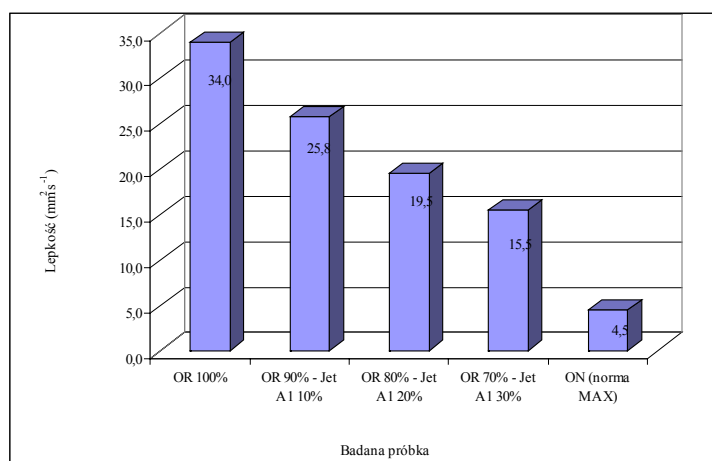
Rysunek 4. Przebieg destylacji mieszaniny 80% oleju rzepakowego i 20% benzyny Jet-A1

Figure 4. The course of distillation of the mixture of 80% rapeseed oil with 20% share of Jet-A1 fuel

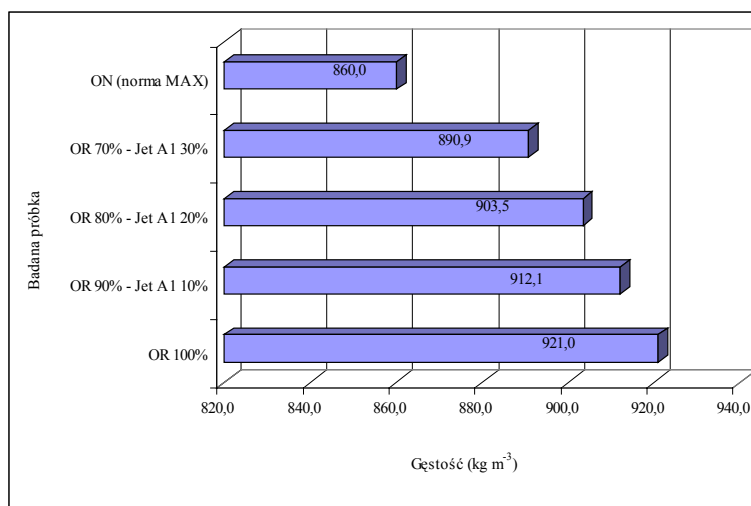


Rysunek 5. Przebieg destylacji mieszaniny 70% oleju rzepakowego i 30% benzyny Jet-A1
 Figure 5. The course of distillation of the mixture of 70% rapeseed oil with 30% share of Jet-A1 fuel.

Zmianę wybranych właściwości mieszanin oleju rzepakowego z benzyną Jet-A1 w zależności od zawartości składników przedstawiono na rysunkach 6 i 7.



Rysunek 6. Porównanie lepkości mieszanin oleju rzepakowego (OR) z różnymi udziałami benzyny Jet-A1
 Figure 6. Comparison of viscosity of the mixture of rapeseed oil with various shares of Jet-A1 fuel



Rysunek 7. Porównanie gęstości mieszanin oleju rzepakowego (OR) z różnymi udziałami benzyny Jet-A1

Figure 7. Comparison of density of the mixture of rapeseed oil with various shares of Jet-A1 fuel

Wpływ dodatków paliwowych na zmiany właściwości fizyko-chemicznych mieszanin z olejem rzepakowym

Dodatek benzyny Jet-A1 spowodował zmiany istotnych właściwości dla przebiegu procesu spalania mieszanin z olejem rzepakowym.

Skład frakcyjny

Temperatura odparowania lekkich frakcji oleju rzepakowego jest ok. 100°C wyższa od analogicznej temperatury dla oleju napędowego. Wynikają z tego trudności w rozruchu silnika i spalaniu tego paliwa. Następuje także przyspieszone tworzenie osadów i nagarów na ściankach komory i denku tłoka z powodu zawartości fosforu w postaci fosfolipidów oraz gorszego rozpylania oleju rzepakowego. Istotnym zagadnieniem może być obniżenie temperatur odparowania 10–20% tego paliwa. Zadowolający efekt można uzyskać stosując dodatki paliw zawierających w swoim składzie frakcje lekkie. Dodanie benzyny Jet-A1 w ilości 10–20% (v/v) wpłynęło na zbliżenie krzywej frakcjonowania mieszaniny do składu frakcyjnego oleju napędowego. Z punktu widzenia oceny eksploatacyjnej silnika ważne są niskotemperaturowe właściwości paliwa (określone poprzez CFPP). W tym kontekście należy zaznaczyć, że paliwa z wykorzystaniem dużego udziału oleju rzepakowego przeznaczone są do zasilania silników o ZS w okresie letnim.

Lepkość kinematyczna

Lepkość kinematyczna oleju rzepakowego jest kilkakrotnie wyższa od lepkości oleju napędowego. Wpływa to na ocenę eksploatacyjną silników o ZS zasilanych paliwem

roślinnym. W celu obniżenia lepkości oleju rzepakowego można stosować dodatki paliwowe. Udział 30% (v/v) benzyny Jet-A1 spowodował ponad dwukrotne zmniejszenie lepkości mieszaniny w porównaniu z olejem rzepakowym. W praktyce eksploatacyjnej wykorzystuje się też podgrzewanie oleju rzepakowego w układzie zasilania silnika do temperatury 60-70°C, dzięki czemu jego lepkość zmniejsza się kilkakrotnie. Wśród możliwości, jakie uwzględniono w projekcie badawczym (Wojdalski i Bocheński, 2010), wykorzystano inne dodatki paliwowe (benzyna U95, alkohol etylowy i olej napędowy) w mieszaninach z olejem rzepakowym, obniżające lepkość produktu finalnego, a tym samym poprawiające rozruch silnika. Jakóbiec i in. (2011) także przedstawili przykładowe wyniki badań lepkości mieszanin oleju rzepakowego z udziałem różnych benzyn i alkoholu etylowego.

Gęstość

Gęstość oleju rzepakowego kształtowała się na poziomie 921,0 kg·m⁻³. Dodatek benzyny Jet-A1 w ilości 20% (v/v) do oleju rzepakowego wpłynął na zmniejszenie gęstości do wartości 903,5 kg·m⁻³. Stopień zmniejszenia gęstości oleju rzepakowego przez różne dodatki paliwowe jest na podobnym poziomie. Dla porównania należy dodać że Cieślowski i in. (2006) badali gęstość biopaliwa rzepakowego (RME), która wynosiła 0,843 g·dm⁻³. Gęstości różnych biopaliw przedstawił także Knothe (2010).

Podsumowanie i wnioski

Z przeprowadzonych badań wynika, że korzystne okazało się dodanie do oleju rzepakowego benzyny Jet-A1. Dzięki temu nastąpiło znaczące dostrojenie wybranych właściwości fizyko-chemicznych otrzymanej mieszaniny w porównaniu z olejem napędowym. Zwiększenie udziału benzyny Jet-A1 do 30% (v/v) wpłynęło zarówno na zmniejszenie lepkości kinematycznej z wartości 34,0 mm²·s⁻¹ do 15,5 mm²·s⁻¹, jak również gęstości z 921,0 kg·m⁻³ do 890,9 kg·m⁻³. Przebieg krzywej destylacji był zbliżony do krzywej oleju napędowego. Otrzymane formuły empiryczne przebiegu destylacji wykazały silną korelację między temperaturą i stopniem oddestylowania. Współczynniki korelacji pomiędzy badanymi cechami zawierały się w granicach od 0,86 do 0,98. Przeprowadzone badania potwierdziły tezę, że dodatki paliwowe istotnie wpływają na poprawę wybranych właściwości oleju rzepakowego jako paliwa silnikowego.

Literatura

- Ambrozik, A.; Kurczyński, D. (2006). Ocena porównawcza charakterystyk obciążeniowych silnika o zapłonie samoczynnym zasilanego olejem napędowym, paliwem roślinnym i ich mieszaniną. *MOTROL*, 8A, 21-30.
- Ambrozik, A.; Kurczyński, D. (2008). Analiza wielkości szybkozmiennych silnika AD3.152 UR zasilanego paliwem mineralnym pochodzenia roślinnego i jego mieszaninami. *MOTROL*, 10, 11-22.
- Bocheński, C.; Bocheńska, A. (2005). Badania właściwości mieszaniny oleju napędowego z estrami etylowymi oleju rzepakowego. *MOTROL*, 7, 24-34.

- Bocheński, C.; Bocheńska, A. (2008). Olej rzepakowy paliwem do silników Diesla. *Czasopismo Techniczne. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej*, M-8, 133-142. Pozyskano z: http://suw.biblos.pk.edu.pl/resources/i1/i0/i1/i9/r1019/BochenskiC_OlejRzepakowy.pdf
- Cieślakowski, B.; Juliszewski, T.; Mazurkiewicz, J. (2006). Lepkość kinematyczna biopaliwa i fazy glicerynowej. *Inżynieria Rolnicza*, 12(87), 59-65.
- Czarnocka, J.; Malinowski, A.; Sitnik, L. (2011). Ocena właściwości fizykochemicznych trójskładnikowego biopaliwa do zasilania silników o zapłonie samoczynnym. *Archiwum Motoryzacji*, 4, 37-42. Pozyskano z: http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element/baztech-article-BGPK-3453-3044/c/httpwww_bg_utp_edu_plartarchiwum20motoryzacji2011czarnocka2.pdf
- Demirbas, A. (2008). Relationships derived from physical properties of vegetables oil and biodiesel fuels. *Fuel*, 87, 1743-1748.
- Dmitreva, T. V.; Sirovatka, L. A.; Bortnitskii, V. I. (2004). Effect of ultrasound on the properties of the rapeseed oil – monoethanolamine system. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 40, 6, 392-396.
- Farkas, F. (2009). Plant oil derivatives as fuels. *Polish Journal of Chemical Technology*, 11, 1, 4-7.
- Guderjan, M.; Elez-Martinez, P.; Knorr, D. (2007). Application of pulsed electric fields at oil yield and content of functional food ingredients at the production of rapeseed oil. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 8, 55-62.
- Hossain, A. K.; Davies, P.A. (2010). Plant oils as fuels for compression ignition engines: A technical review and life-cycle analysis. *Renewable Energy*, 35, 1-13.
- Jakóbiec, J.; Bocheńska, A.; Ambrozik, A. (2011). Modyfikacja właściwości fizykochemicznych i użytkowych paliwa rzepakowego. *Inżynieria Rolnicza*, 4(129), 85-92.
- Kachel-Jakubowska, M. (2009). Influence of acid number and peroxide number content on the quality rape seeds for consumption and biofuel industry. *TEKA Kom. Mot. Energ. Roln.*, 9, 114-120.
- Karaosmanoglu, F.; Kurt, G.; Ozaktas, T. (2000). Long term CI engine test of sunflower oil. *Renewable Energy*, 19, 219-221.
- Knothe, G., (2010). Biodiesel and renewable diesel: A comparison. *Progress in Energy and Combustion Science*, 36, 364-373.
- Nwafor, O.M.I. (2004). Emission characteristics of diesel engine running on vegetable oil with elevated fuel inlet temperature. *Biomass & Bioenergy*, 27, 507-511.
- Panasiewicz, M.; Mazur, J.; Zawisłak, K.; Sobczak, P. (2009). An influence of preliminary rapeseed processing on oil extrusion. *TEKA Kom. Mot. Energ. Roln.*, 9, 217 - 222.
- Piekarski, W.; Tys J.; Jackowska, I.; Kaczor, A.; Zajac, G.; Starobrat, P. (2003). *Technologiczne i ekonomiczne uwarunkowania produkcji biopaliw z rzepaku*. Acta Agrophysica. Rozprawy i Monografie, Lublin. Pozyskano z: http://www.old.acta-agrophysica.org/artykuly/acta_agrophysica/ActaAgr_99_2003_0_0_0.pdf
- Pilarski, K.; Krysztofiak, A., (2009). Wpływ dodatków chemicznych na właściwości fizyczne oleju rzepakowego. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 54(1), 27-30. Pozyskano z: http://www.pimr.poznan.pl/biul/2009_1_PK.pdf
- Radkowski, S.; Piętak, A.; Kruczyński, S.W.; Szewczyk, K.; Struś, M. (2006). *Wieloaspektowa analiza stosowania paliw alternatywnych w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem biopaliw*. Pozyskano <http://cms.transport.gov.pl/files/0/1791040/Wieloaspektowaanalizastosowaniapaliwalternatywnych.pdf>
- Ramadhas, A.S.; Jayaraj, S.; Muraleedharan, C. (2004). Use of vegetable oils as I.C. engine fuels – A review. *Renewable Energy*, 29, 727-742.
- Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin. (2008). *Raport z badań nad zastosowaniem czystego oleju rzepakowego jako paliwa w maszynach rolniczych (wykonany na zlecenie Urzędu Marszałkowskiego Województwa Podkarpackiego*. Ożańsk, 1-25.
- Shahid, E.M.; Jamal, Y. (2008). A revive of biodiesel as vehicular fuel. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 12, 2477-2487.

- Szlachta, Z. (2002). *Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi*. Warszawa, WKiŁ.
- Ullah, F.; Bano, A.; Ali, S. (2013). Optimization Of Protocol For Biodiesel Production of Linseed (*Linum Usitatissimum* L.) Oil. *Polish Journal of Chemical Technology*, 15, 1, 1509-8117.
- Wcisło, G. (2005). Determination of rapeseed oils combustion heat in calorimeter bomb and an assessment of the heat value. *TEKA Kom. Mot. Energ. Roln.*, 5, 233-239.
- Wcisło, G. (2006). Application of the cold stamping method for rapeseed oil extraction. *TEKA Kom. Mot. Energ. Roln.*, 6, 175-181.
- Wojdalski, J.; Bocheński, C. (2010). *Badania procesu spalania oleju rzepakowego i jego mieszanin z dodatkami w komorze badawczej przy zmiennych parametrach powietrza i doprowadzania paliwa (Common Rail)*. Raport z realizacji projektu badawczego KBN N 502 007 31/0573. Warszawa.

SELECTED PROPERTIES OF RAPESEED OIL AND AVIATION GASOLINE BLENDS

Abstract. The paper presents the results of a study aimed at determining the effect of rapeseed oil enhanced with aviation gasoline Jet-A1 on the properties of engine fuel mixtures. The properties of ingredients and mixtures composed of rapeseed oil and aviation gasoline Jet-A1 in the amount of 10%, 20% and 30% (v/v) were compared. The distillation process was analyzed, and the density and viscosity of each product were determined. The addition of 30% aviation gasoline Jet-A1 to the mixture with rapeseed oil reduced viscosity from $34.0 \text{ mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$ to $15.6 \text{ mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$ and density from $921.0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ to $890.9 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Key words: rapeseed oil, aviation gasoline, engine fuels

Adres do korespondencji

Janusz Wojdalski; e-mail: janusz_wojdalski@sggw.pl
Katedra Organizacji i Inżynierii Produkcji
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
ul Nowoursynowska 164
02-787 Warszawa