

## **OCENA ZUŻYCIA PALIWA PRZEZ SILNIK O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM PRZY ZASILANIU WYBRANYMI PALIWAMI**

Grzegorz Zając, Wiesław Piekarski, Paweł Krzaczek

*Katedra Energetyki i Pojazdów, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie*

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki badań godzinowego i jednostkowego zużycia paliwa w funkcji mocy efektywnej silnika 2CA90 zasilanego różnymi paliwami. Wybrane paliwa to estry metylowe oleju rzepakowego, mieszanina B5 zawierająca 95% ON i 5% FAME i porównawczo olej napędowy. Badania przeprowadzono na stanowisku dynamometrycznym hamowni silnikowej przy prędkościach obrotowych silnika odpowiadających maksymalnemu momentowi obrotowemu i mocy znamionowej, w pełnym zakresie obciążenia. Dokonano również analizy paliw pod kątem jej zgodności z normą PN 590:2006. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że zastosowanie do zasilania paliw zawierających estry etylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego powoduje zmianę parametrów energetycznych pracy silnika wysokoprężnego.

**Słowa kluczowe:** paliwa silnikowe, biopaliwa, estry metylowe

### **Wstęp**

W ostatnim czasie na świecie dają się zauważyć istotne zmiany w zakresie struktury użytkowania silników spalinowych, przejawiające się w zwiększonym udziale stosowania silników o ZS. Tendencja ta jest widoczna nie tylko w dotychczasowym zakresie zastosowania tych silników czyli w maszynach rolniczych, maszynach samobieżnych, transporcie ciężkim, pojazdach szynowych, ale także w samochodach osobowych. Powoduje to zasadnicze zmiany w strukturze zużycia paliw, z tendencją wzrostu zużycia oleju napędowego przy zmniejszonym zużyciu benzyn.

Od dawna poszukuje się rozwiązania mającego na celu zaspokojenie potrzeb na olej napędowy. Jednym ze sposobów zastąpienia paliw ropopochodnych, jest możliwość wykorzystania paliw pochodzenia roślinnego. Jest to niewątpliwie atrakcyjna alternatywa, pozwalająca na zmniejszenie szkodliwego wpływu na środowisko [Graboski, McCormick 1998]. Należy jednak zaznaczyć, że wykorzystanie biopaliw stanowi tylko częściowe rozwiązanie problemu, gdyż zasoby naturalne są zbyt małe, żeby pokryć rosnące zapotrzebowanie zurbanizowanych społeczeństw na paliwo.

Paliwa estrowe wyższych kwasów tłuszczowych, różnią się od oleju mineralnego właściwościami fizykochemicznymi, dlatego w przypadku ich mieszania będą zmieniały się parametry tych paliw. Zmiana właściwości fizykochemicznych paliwa wiąże się również ze zmianą parametrów pracy silnika. Badania przeprowadzone na silnikach różniących się

systemami spalania, mocą i prędkością obrotową wykazały, że dodatek biokomponentu do oleju napędowego wywiera wpływ na moc efektywną silnika, powodując redukcję wskaźników pracy w całym zakresie prędkości o ok. 5-15% i znaczący wzrost zużycia paliwa ok. 15% [Piekarski, Zając 2003; Szlachta 2002].

Większość producentów silników jak i światowa Karta Paliw dopuszcza stosowanie oleju napędowego z dodatkiem FAME w ilości do 5% objętościowo. Taka zawartość nie powinna powodować negatywnego oddziaływania paliwa na układy silnika, jak i zmieniać parametrów eksploatacyjne paliwa [Baczewski, Kałdoński 2004].

Celem prezentowanych badań, jest ocena wpływu zastosowania wybranych rodzajów różnych paliwa na godzinowe i jednostkowe zużycie paliwa.

## Metodyka badań

Obiektem badań eksperymentalnych był silnik typu 2CA90 wytwórni silników wysokoprężnych „Andoria” w Andrychowie. Jest to silnik czterosuwowy wysokoprężny z wtryskiem bezpośrednim, dwucylindrowy, chłodzony powietrzem z wentylatorem odśrodkowym zamocowanym na kole zamachowym. Silnik zasilany był wybranymi paliwami w celu określenia godzinowego i jednostkowego zużycia paliwa.

Badania parametrów energetycznych silnika zrealizowano na stanowisku badawczym w laboratorium Katedry Energetyki i Pojazdów UP w Lublinie. Stanowisko badawcze składało się z następujących urządzeń:

- silnika spalinowego o ZS typu 2CA90;
- hamulca elektrowirowego AMX 210;
- układu kontrolno-pomiarowego AMX 201, AMX 211;
- zestawu pomiarowego zużycia paliwa;
- układu pomiarowego stanu silnika: temperatury spalin -  $t_{sp}$ , temperatury oleju silnikowego -  $t_{oi}$ , ciśnienia oleju -  $p_{oi}$ ;
- układu pomiarowego stanu otoczenia: temperatury otoczenia -  $t_{ot}$ , ciśnienia atmosferycznego -  $p_a$  i wilgotności powietrza -  $\varphi$ .

Schemat stanowiska badawczego zawierającego poszczególne urządzenia, przedstawiono na rys. 1.

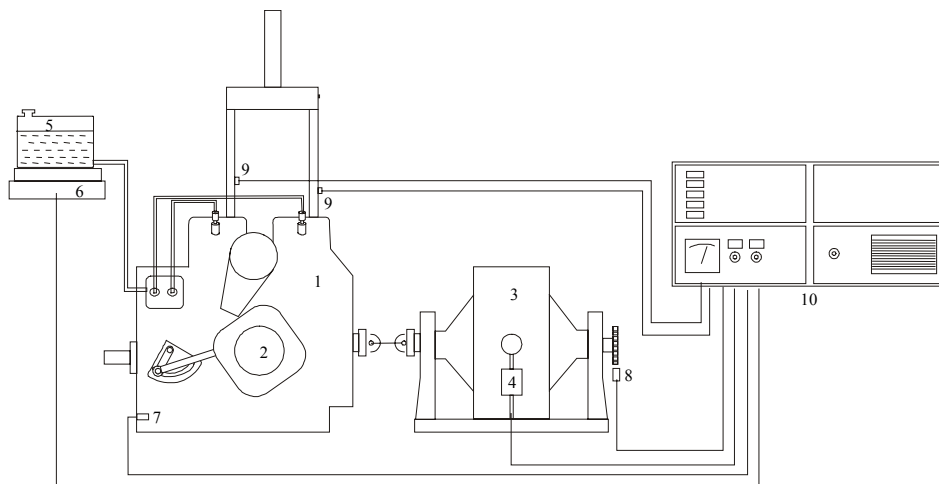
Do zasilania silnika zostały wykorzystane następujące paliwa:

- olej napędowy Ekodiesel Ultra F. Paliwo to odpowiada wymaganiom normy PN-EN 590 („Paliwa do pojazdów samochodowych. Oleje napędowe. Wymagania i metody badań.”).
- estry metylowe wyższych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME, pochodzące z instalacji przemysłowej. Paliwo spełnia wymagania normy PN-EN 14214 „Paliwa do pojazdów samochodowych. Estry metylowe kwasów tłuszczowych (FAME) do silników o zapłonie samoczynnym (Diesla). Wymagania i metody badań.”
- mieszanina zawierająca 5% FAME i 95% ON.

Dla każdego z badanych paliw wykonano pomiary zgodnie z PN, które pozwalały na opracowanie danych niezbędnych do wykreślenia charakterystyk obciążeniowych przy prędkościach obrotowych silnika:  $n_{M_{omax}} = 2250 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$  i  $n_{N_{emax}} = 3000 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ . W badaniach pomiarami objęto parametry kinematyczne i dynamiczne silnika: moment

## Ocena zużycia paliwa..

obrotowy –  $M_o$ , prędkość obrotowa –  $n$ , czas zużycia dawki pomiarowej paliwa –  $\tau$ . Dawka pomiarowa zużycia paliwa, przy sporządzaniu charakterystyki wynosiła 50 g. Metodę pomiarów i sposób redukcji parametrów mocy i momentu obrotowego, dostosowano do norm: PN-78/S-02005, PN-88/S-02005, BN-79/1374-03 i BN-74/1340-12.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego: 1 – silnik 2CA90, 2 – serwomechanizm położenia organu sterowania silnikiem, 3 – hamulec elektrowirowy AMX 210, 4 – tensometr, 5 – zbiornik paliwa, 6 – waga do pomiaru zużycia paliwa, 7 – czujnik temperatury oleju silnikowego, 8 – czujnik prędkości obrotowej, 9 – czujnik temperatury spalin, 10 – pulpit kontrolno-pomiarowy

Fig. 1. Test bench diagram: 1 – 2CA90 engine, 2 – engine control, 3 – AMX 210 electro whirl brake, 4 – tensometer, 5 – fuel tank, 6 – scales for measuring fuel consumption, 7 – oil temperature sensor, 8 – engine speed sensor, 9 – exhaust emission temperature sensor, 10 – control measurement panel

Godzinowe zużycie paliwa określono metodą wagową, przy wykorzystaniu wagi elektronicznej z układem pomiarowym mierzącym czas zużycia zadanej dawki paliwa. Jednostkowe zużycie paliwa obliczano na podstawie pomiarów godzinowego zużycia paliwa, momentu obrotowego i prędkości obrotowej silnika wg powszechnie znanej zależności.

Badaniu poddane zostały próbki mieszanin estrów metylowych oleju rzepakowego z olejem napędowym. Próbki paliw zostały pobrane zgodnie z normą EN ISO 3171. Próbki zostały poddane badaniom zgodnie z metodami podanymi w normie PN-EN590:2002 w tabelicy 1 „Ogólne stosowane wymagania i metody badań”. Badane parametry i metody badań zastosowane dla próbek paliw zostały zestawione w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry i metody badań próbek paliw  
 Table 1. Parameters and methodology of fuel samples analyses

Badany parametr	Metoda badań
Gęstość w 15°C	PN EN ISO 12185
Lepkość w 40°C	PN EN ISO 3104
Temperatura zablokowania zimnego filtra	PN EN 116
Smarność w temperaturze 60°C	PN ISO 12156-1

*Źródło: opracowanie własne autora*

## Wyniki badań i ich dyskusja

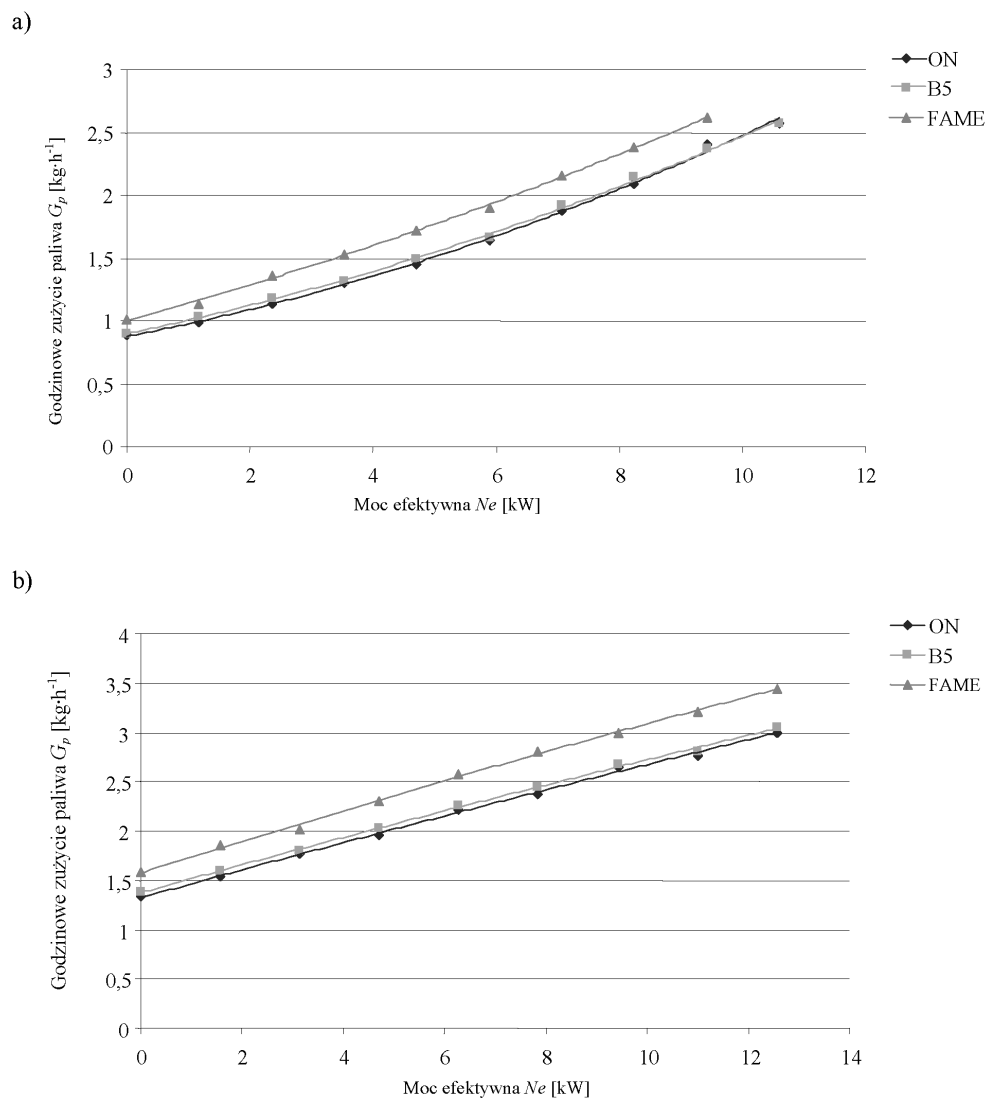
Wpływ rodzaju paliwa na jednostkowe i godzinowe zużycie paliwa oceniano na podstawie wykonanych charakterystyk obciążeniowych przy zasilaniu silnika wybranymi paliwami. Zmiany godzinowego zużycia paliwa ( $G_p$ ) w funkcji mocy efektywnej ( $N_e$ ) silnika 2CA90 dla prędkości obrotowej 2250 i 3000 obr·min<sup>-1</sup> przedstawiono na rys. 2, zaś zmiany jednostkowego zużycia paliwa ( $g_e$ ) na rys. 3.

Analizując zmiany godzinowego zużycia paliwa  $G_e$ , można stwierdzić wzrost zużycia w całym zakresie obciążeń i przy obu prędkościach obrotowych silnika zasilanego paliwem FAME jak i paliwem B5, w porównaniu do zasilania olejem napędowym. Dla FAME wzrost wyniósł średnio 15,5% przy prędkości obrotowej 2250 obr·min<sup>-1</sup> i o 16,7% przy 3000 obr·min<sup>-1</sup>, zaś przy zasilaniu średnio paliwem B5 o 1,8% przy prędkości obrotowej 2250 obr·min<sup>-1</sup> i o 2,5% przy 3000 obr·min<sup>-1</sup>. Ponadto zaobserwowano wzrost jednostkowego zużycia paliwa  $g_e$  silnika zasilanego FAME w całym zakresie obciążeń i przy obu badanych prędkościach obrotowych silnika, średnio o 13,9% przy 2250 obr·min<sup>-1</sup> i o 16,5% przy 3000 obr·min<sup>-1</sup>, w stosunku do silnika zasilanego olejem napędowym. Przy zasilaniu paliwem B5 wzrost jednostkowego zużycia paliwa wyniósł średnio o 1,8% przy 2250 obr·min<sup>-1</sup> i o 2,3% przy 3000 obr·min<sup>-1</sup>. Zaobserwowano spadek mocy użytecznej  $N_e$  widoczny przy pełnym obciążeniu silnika, o 11,1% przy prędkości obrotowej 2250 obr·min<sup>-1</sup> dla silnika zasilanego FAME, przy prędkości 3000 obr·min<sup>-1</sup> nie stwierdzono spadku mocy.

Wyniki badań właściwości fizyko-chemicznych próbek paliwa B5 zostały przedstawione w tabeli 2. Uzyskane wyniki zostały odniesione do wymagań olejów napędowych wg normy PN EN 590:2002.

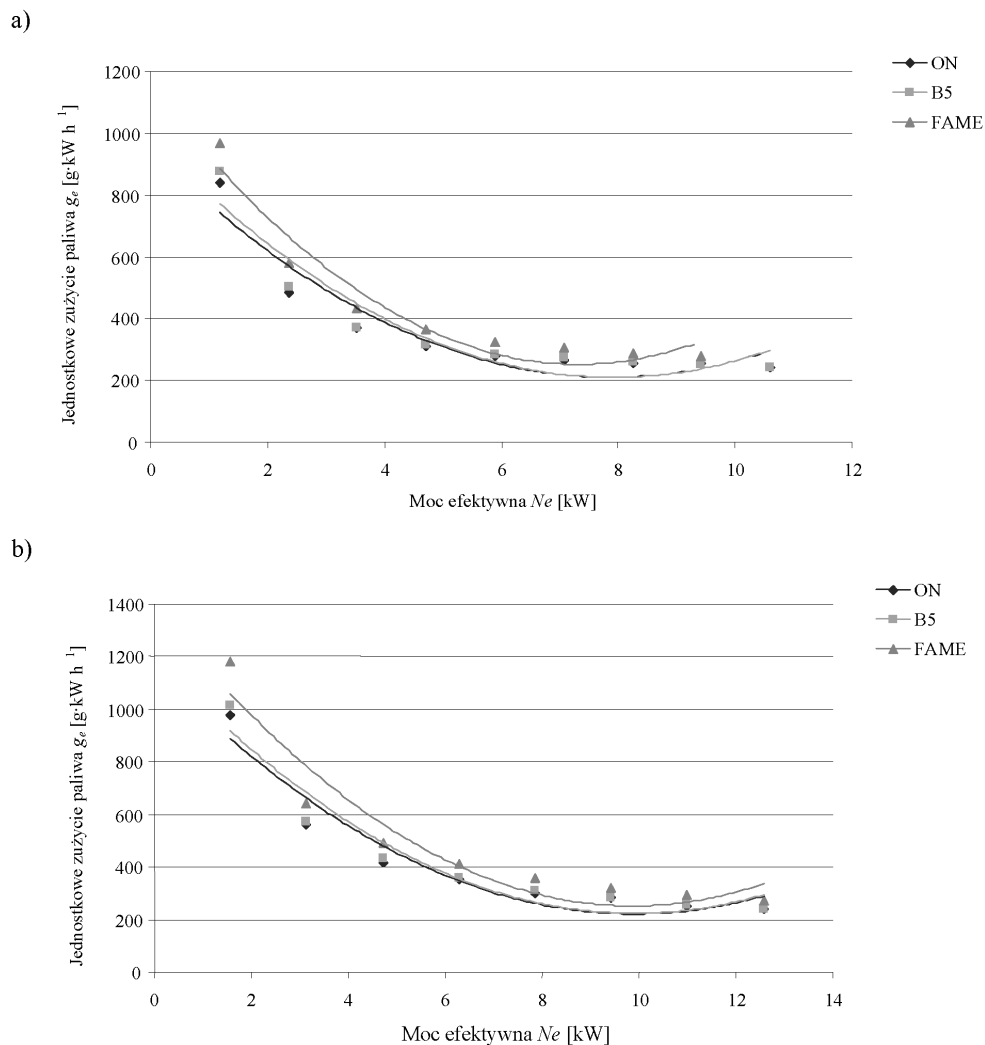
Analiza wyników przeprowadzonych badań pozwala stwierdzić, że żadnym z badanych parametrów paliwa B5, nie stwierdzono przekroczenia wartości dopuszczalnych, określonych normą na oleje napędowe. Można natomiast zauważyć znaczną poprawę właściwości smarnych paliwa B5 wyrażone zmniejszeniem średnicy zatarcia z 351 do 191 μm.

## Ocena zużycia paliwa..



Rys. 2. Przebieg zmian godzinowego zużycia paliwa  $G_p$  w funkcji mocy efektywnej  $N_e$  silnika 2CA90 zasilanego paliwami: ON, B5 i FAME: a) 2250 obr·min<sup>-1</sup>, b) 3000 obr·min<sup>-1</sup>

Fig. 2. Curves of hourly fuel consumption  $G_p$  in a function of effective power  $N_e$  of 2CA90 engine powered with DF, B5 and FAME: a) 2250 r·min<sup>-1</sup>, b) 3000 r·min<sup>-1</sup>



Rys. 3. Przebieg zmian jednostkowego zużycia paliwa  $g_e$  w funkcji mocy efektywnej  $N_e$  silnika 2CA90 zasilanego paliwami: ON, B5 i FAME: a) 2250 obr·min<sup>-1</sup>, b) 3000 obr·min<sup>-1</sup>  
 Fig. 3. Curves of unitary fuel consumption  $g_e$  in a function of effective power  $N_e$  of 2CA90 engine powered with DF, B5 and FAME: a) 2250 r·min<sup>-1</sup>, b) 3000 r·min<sup>-1</sup>

## Ocena zużycia paliwa..

Tabela 2. Wyniki badań próbek paliw

Table 2. Results of fuel samples analyses

Badany parametr	Jednostka	Wymagania wg PN-EN590:2006		Próbki paliw		
		min	max	ON	B5	FAME
Gęstość w temp. 15°C	kg · m <sup>-3</sup>	820,0	845,0	835,9	838,2	881
Temperatura zablokowania zimnego filtra CFPP	°C	-	-	-33	-30	-
Lepkość kinematyczna w temp. 40°C	mm <sup>2</sup> · s <sup>-1</sup>	2,000	4,500	2,559	2,681	4,42
Smarność (średnica śladu zużycia)	µm	-	460	351	191	-

*Źródło: obliczenia własne autora*

## Podsumowanie

Badania wykazały, że zastosowanie estrów metylowych oleju rzepakowego (FAME) do napędu silnika 2CA90 wpłynęło na wzrost zużycia paliwa. Na podstawie analizy wyników badań można stwierdzić, że godzinowe zużycie paliwa przez silnik zasilany FAME zwiększyło się średnio o 16,1%, a jednostkowe zużycie paliwa średnio o 15,2% w całym zakresie obciążeń i dla obu charakterystycznych prędkości obrotowych silnika, w porównaniu do silnika zasilanego olejem napędowym. Jednocześnie dla silnika zasilanego FAME zanotowano spadek mocy silnika, o 11,1%. Zmniejszenie mocy i ekonomiczności pracy silnika przy zastosowaniu paliwa FAME w odniesieniu do paliwa konwencjonalnego można tłumaczyć jego mniejszą wartością opałową. Przy zasilaniu silnika 2C90 paliwem B5 wzrost, w porównaniu do silnika zasilanego olejem napędowym, godzinowego zużycia paliwa wyniósł średnio 2,2%, a jednostkowe zużycie paliwa średnio o 2,1% i dla obu prędkości obrotowych silnika w całym zakresie obciążeń. Uzyskane wielkości zmian tych parametrów są niewielkie i trudne do zaobserwowania przez użytkowników.

Mieszanka estrów metylowych oleju rzepakowego FAME z olejem napędowym w stosunku 5% objętościowo jest pełnowartościowym paliwem do napędu silników o ZS, spełniającym wszystkie wymagania normatywne dotyczące paliw do silników o ZS.

Uzyskane wyniki uzasadniają konieczność przeprowadzenia dalszych badań pozwalających na ocenę parametrów ekologicznych silnika zasilanego tymi paliwami.

## Bibliografia

- Baczewski K., Kałdoński T.** 2004. Paliwa do silników o zapłonie samoczynnym. WKŁ, Warszawa. ISBN 83-206-1510-0.
- Graboski M. S., McCormick R. L.** 1998. Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines. Prog. Energy Combust. Sci. Vol. 24 s. 125-164.
- Piekarski W., Zając G.** 2003. Analiza doboru mieszanek paliwowych biopaliwa i oleju napędowego w aspekcie emisji spalin. Eksploatacja i Niezawodność 3. s 6-11.
- Szlachta Z.** 2002. Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi. WKŁ, Warszawa. ISBN 83-206-1459-7

## EVALUATION OF FUEL CONSUMPTION OF DIESEL ENGINE POWERED WITH CHOSEN FUELS

**Abstract.** Results of research of hourly and unitary fuel consumption in a function of effective power of, powered with various fuels, 2CA90 engine were presented in this paper. Following fuels: methyl esters of rape oil, B5 blend containing 95% of diesel fuel (DF) and 5% FAME, were chosen and compared with DF. Research was carried out on a dynamometric engine stand with full range of loads and engine's rotation speed for which maximum torque and rated power were obtained. Analyses of investigated types of fuel and their conformity with PN 590:2006 norm were also conducted. Relying on research results, it was stated that utilization of fuel containing fatty acids methyl esters of rape oil caused change of diesel engine energetic work parameters.

**Key words:** engine fuels, biofuel, rape oil, ethyl esters

**Adres do korespondencji:**

Grzegorz Zając; grzegorz.zajac@up.lublin.pl  
Katedra Energetyki i Pojazdów  
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie  
ul. Głęboka 28  
20-612 Lublin