

ORLIŃSKI Stanisław, ORLIŃSKI Piotr

## OCENA EKONOMICZNYCH I ENERGETYCZNYCH WSKAŹNIKÓW PRACY DOŁADOWANEGO SILNIKA ROLNICZEGO ZASILANEGO ESTREM Z LNIANKI

### *Streszczenie*

*W referacie przedstawiono wyniki badań oraz ich analizę dotyczącą ekonomicznych i energetycznych wskaźników pracy silnika rolniczego o zapłonie samoczynnym typu PERKINS 1104C-E44T. Silnik zasilany był estrem z lnianki oraz porównawczo olejem napędowym. Pomiar ekonomicznych i energetycznych wskaźników w stanach ustalonych wykonano na stanowisku hamownianym. Badania wykazały, że paliwa o różnych właściwościach fizykochemicznych, spośród których najistotniejsze zostały przedstawione w artykule, mają istotny wpływ na proces wtrysku i spalania. Wpływ ten później przejawia się w oddziaływaniu na zużycie paliwa, wskaźniki energetyczne oraz sprawność ogólną silnika.*

### WSTĘP

Oleje roślinne jako paliwa zastępcze mogą być wykorzystywane w dwóch kierunkach [1]:

- jako surowce do produkcji tzw. biodiesla (czyli estru metylowego lub etylowego) ten kierunek oznacza dostosowanie paliwa do wymagań obecnie używanych silników o zapłonie samoczynnym,
- oraz jako samoistne paliwo do przystosowanych silników o zapłonie samoczynnym ten kierunek oznacza dostosowanie silników do zasilania tymi paliwami.

Konstruktorzy silników o ZS (zapłonie samoczynnym) dążą, do tego, aby były one coraz mniej szkodliwe dla środowiska poprzez: zmniejszenie zużycia paliwa, emisji składników toksycznych spalin. Ekonomiczne, energetyczne wskaźniki pracy silnika w bezpośredni sposób zależą od przebiegu procesu wtrysku i spalania.

Biopaliwa przeznaczone do zasilania szybkoobrotowych silników o ZS powinny zapewniać [4, 5]:

- prawidłowe funkcjonowanie całego układu zasilania, w tym szczególnie aparatury wtryskowej,
- prawidłowy i efektywny proces spalania,
- tworzenie możliwie jak najmniejszej ilości szkodliwych składników spalin.

Rodzaj i właściwości fizykochemiczne paliwa istotnie wpływają na przebieg procesu wtrysku i spalania, ponieważ: mają decydujący wpływ na okres opóźnienia wtrysku oraz zwłokę samozapłonu, od których zależy jakość i czas przebiegu między innymi procesu spalania, na który ma wpływ jakość mieszanki paliwowo-powietrznej [6].

Należy jednak pamiętać, że ciekłe paliwo roślinne oprócz wielu zalet (mniejsza emisja niespalonych węglowodorów, tlenków węgla i cząstek stałych, biodegradowalność), odznacza się także pewnymi ujemnymi cechami, którymi są [4]:

- brak odporności na niskie temperatury m.in. stosunkowo niska wartość temperatury zablokowania zimnego filtra (TZZF),
- wzrost emisji tlenków azotu ( $\text{NO}_x$ ),
- niewielki spadek mocy powodowany mniejszą wartością energetyczną.

## CEL BADAŃ

Celem badań jest ocena wpływu zasilania doładowanego silnika rolniczego PERKINS typ 1104C-E44T pracującego w ustalonych warunkach zewnętrznej charakterystyki prędkościowej (bez zmian regulacyjnych silnika) na wskaźniki ekonomiczne i energetyczne jego pracy.

Podczas realizacji procesu badawczego na hamowni silnikowej badany silnik pracował w każdym punkcie pomiarowym przy maksymalnej dawce paliwa i w całym zakresie swojej prędkości obrotowej wału korbowego silnika (od 1000 do 2200 obr/min). Zasilany był paliwem handlowym EKODIESEL ULTRA B (olej napędowy) oraz porównawczo estrem metylowym kwasów tłuszczowych pochodzących z oleju rydzowego (lnianki).

## 1. WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOCHEMICZNE BADANYCH PALIW, STANOWISKO BADAWCZE, METODYKA BADAŃ

### Charakterystyka i właściwości fizykochemiczne badanych paliw

W czasie badań hamownianych w stanach ustalonych silnika zastosowano dwa paliwa. Wyboru paliw dokonano ze względu na ich dostępność na rynku oraz ze względu na odmienne właściwości fizykochemiczne, które wpływają w istotny sposób na proces przetwarzania, rozpylania oraz spalania, a przez to na ekonomiczne oraz energetyczne wskaźniki pracy silnika.

Paliwa stosowane w badaniach to:

- Paliwo mineralno-węglowodorowe (olej napędowy):
  - ON - EKODIESEL ULTRA B (ekologiczny letni - 100%).
- Paliwo roślinne:
  - EST-LN (ester metylowy kwasów oleju rydzowego - 100%).

W tabeli 1 przedstawiono porównanie wybranych właściwości fizykochemicznych badanych paliw.

**Tab. 1.** Wybrane właściwości fizykochemicznych badanych paliw

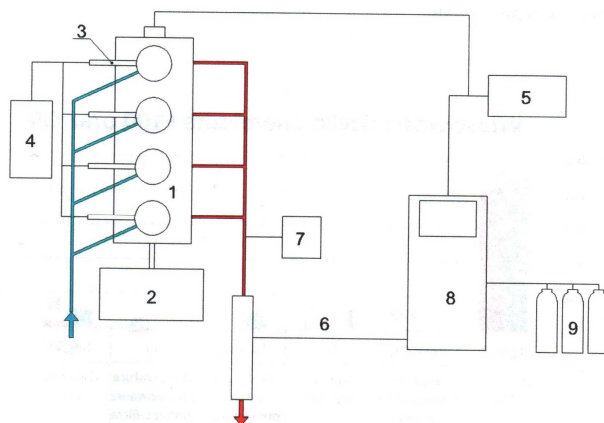
Właściwości Fizykochemiczne	Ester metylowy kwasów oleju rydzowego (lnianka) (EST-LN)	EkoDiesel ULTRA - B Ekologiczny Letni (ON)
Gęstość [ $\text{kg/m}^3$ ]	891,7	848
Lepkość kinematyczna [ $\text{mm}^2/\text{s}$ ]	4,50	3,12
Liczba cetanowa	49	51,5

Źródło: [10]

### Stanowisko badawcze

Badania hamowniane wykonano na silniku badawczym firmy Perkins typ 1104C-E44T z wtryskiem bezpośrednim, wyposażonym w aparaturę pomiarowo-sterującą firmy Schenck i AVL. Silnik Perkins 1104C-E44T jako źródło napędu miał zastosowanie pozadrogowe

głównie w ciągnikach rolniczych oraz agregatach prądotwórczych. Na rys.1 przedstawiono uproszczony schemat blokowy stanowiska badawczego.



**Rys. 1.** Uproszczony schemat blokowy stanowiska badawczego: 1 – silnik Perkins 1104C-E44T, 2 – hamulec elektrowirowy Schenck WM400, 3 – wtryskiwacze wielootworowe Delphi, 4 – pompa wtryskowa VP 29/30, 5 – sterownie (notebook, pulpit sterujący), 6 – wylot spalin, 7 – analizator udziału masowego cząstek stałych AVL 415, 8 – analizator spalin AVL Ceb II, 9 – zestaw gazów wzorcowych.

Źródło: [3]

### Opis metody badań

Badania przeprowadzono dla danych regulacyjnych silnika określonych przez producenta, a dotyczących pomiaru: ciśnienia sprężania i szczelności przestrzeni nadłokowej, dawkowania pompy wtryskowej, ciśnienia roboczego wtryskiwaczy. Przed przystąpieniem do pomiarów, silnik doprowadzono do stanu równowagi cieplnej, a następnie sprawdzono ustawienie nadajnika kąta obrotu wału korbowego względem GMP. Przeprowadzono skalowanie torów pomiarowych oraz dokonano korekcji ustawienia nominalnego kąta dynamicznego początku tłoczenia paliwa, równego  $\alpha_{dpt} = 17^\circ \text{OWK}$  [6].

Podczas sporządzania zewnętrznej charakterystyki prędkościowej silnika w przedziale od 1000-2200 obr/min, rejestrowano, co 200 obr/min: obciążenie silnika oraz zużycie paliwa. Na podstawie wyników badań hamownianych i ich rejestracji dokonano obliczeń wskaźników operacyjnych silnika dotyczących [6, 8]:

- godzinowego zużycia paliwa  $G_h$ ,
- jednostkowego zużycia paliwa  $g_e$ ,
- czasowego (sekundowego) zużycia energii  $\dot{G}_e$ ,
- jednostkowego zużycia energii  $g_{\text{energ}}$ .
- sprawności energetycznej  $\eta_{\text{energ}}$ .

Wskaźniki ekonomiczne wyznaczono następujący sposób [1]:

- godzinowe zużycie paliwa  $G_h$ , kg/h:

$$G_h = \frac{m \cdot 3,6}{\tau}; \text{ kg / h} \quad (1)$$

gdzie:

m - masa zużycia dawki paliwa 100; g,  
 $\tau$  - czas zużycia paliwa; s.

- jednostkowe zużycie paliwa  $g_e$ ; g/kWh:

$$g_e = \frac{G_h}{N_{ez}}; \text{ kg / kWh} \quad (2)$$

gdzie:

$N_{ez}$  – moc efektywna zredukowana; kW

Wskaźniki energetyczne [1]:

– czasowe zużycie energii  $\dot{G}_e$ ; kJ/h

$$\dot{G}_e = 3600 \cdot G_h \cdot W_o; \text{ kJ/s} \quad (3)$$

gdzie:

$W_o$  – wartość opałowa; kJ/kg

– jednostkowe zużycie energii  $g_{\text{energ}}$ ;

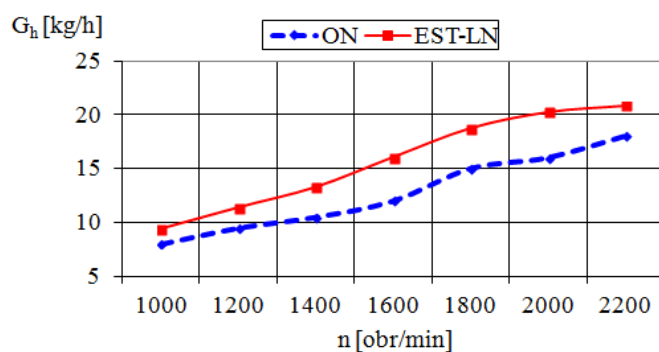
$$g_{\text{energ}} = \frac{g_e}{N_{ez}} = \frac{G_h \cdot W_o}{N_{ez}}; \text{ J/Ws} \quad (4)$$

– sprawność energetyczna  $\eta_{\text{energ}}$ ; %

$$\eta_{\text{energ}} = \frac{1}{g_{\text{energ}}} \cdot 100; \% \quad (5)$$

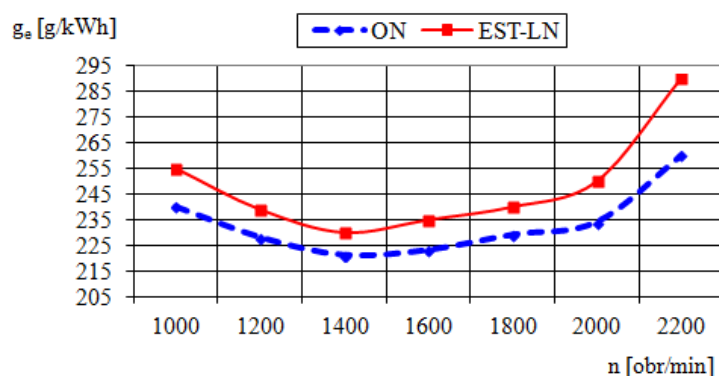
## 2. GRAFICZNE PORÓWNANIE WYNIKÓW BADAŃ

Na rysunku 2 przedstawiono porównanie godzinowego zużycia paliwa. Na rys. 3 ukazano przebieg jednostkowego zużycia paliwa, zaś rys. 4 odzwierciedla czasowe zmiany zużycia energii. Rys. 5 pokazuje jednostkowe zużycie energii, a na rys. 6 widzimy porównanie sprawności energetycznej.



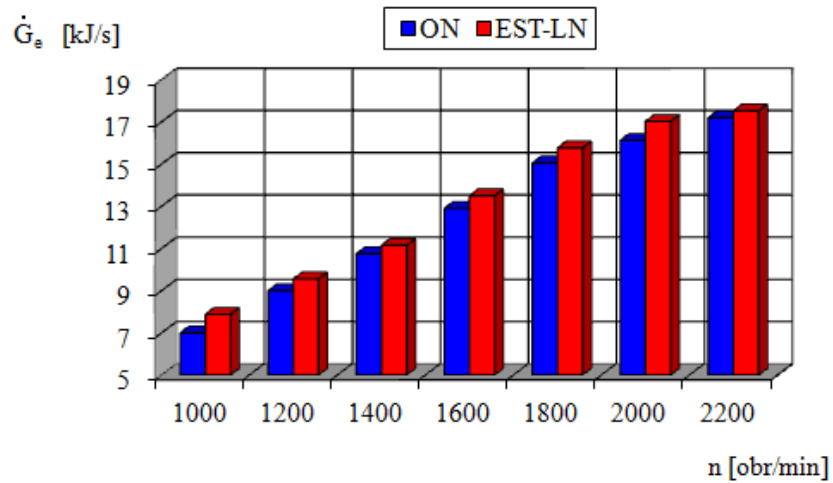
**Rys. 2.** Zbiorcze porównanie godzinowego zużycia paliwa  $G_h$  [kg/h]

Źródło: [wyk. autorów]



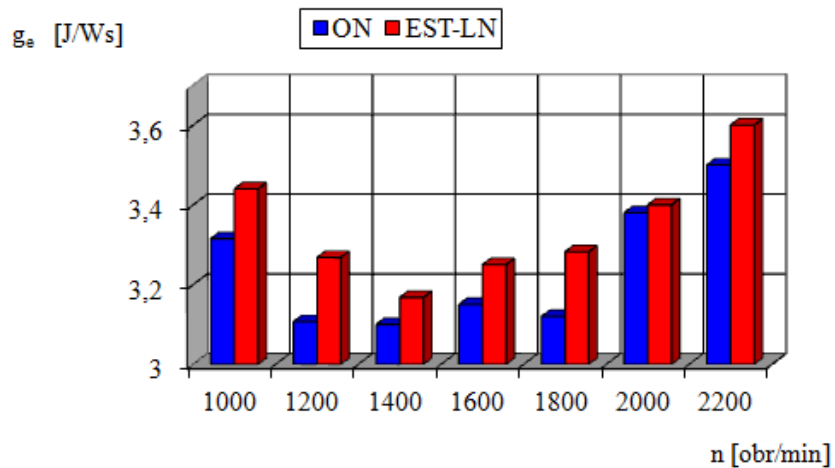
**Rys. 3.** Zbiorcze porównanie jednostkowego zużycia paliwa  $g_e$  [g/kWh]

Źródło: [wyk. autorów]



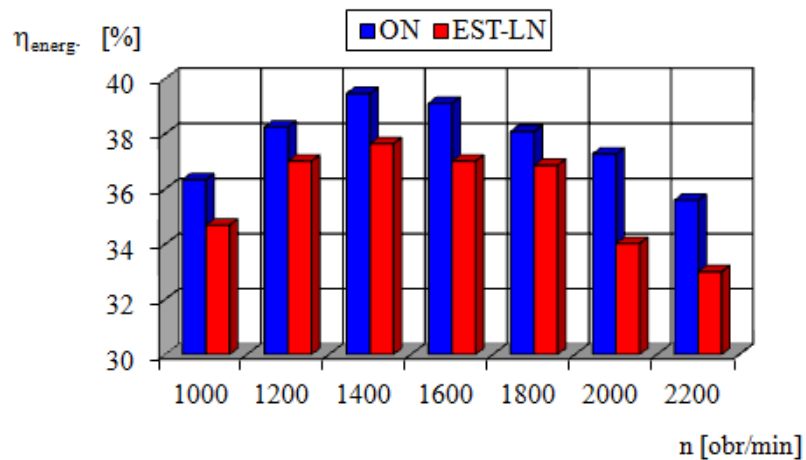
**Rys. 4.** Porównanie czasowego (sekundowego) zużycia energii  $\dot{G}_e$

Źródło: [wyk. autorów]



**Rys. 5.** Porównanie jednostkowego zużycia energii

Źródło: [wyk. autorów]



**Rys. 6.** Porównanie sprawności energetycznej badanych paliw

Źródło: [wyk. autorów]

## WNIOSKI

Na podstawie otrzymanych wyników badań hamownianych w stanach ustalonych przy sporządzaniu prędkościowej charakterystyki zewnętrznej silnika Perkins 1104C-E44T zasilanego dwoma rodzajami paliw ekologicznych o różnych właściwościach fizykochemicznych tj.: węglowodorowym, niskosiarkowym olejem napędowym EKODIESEL ULTRA B i porównawczo estrem metylowym kwasów oleju z lnianki EST-LN można stwierdzić, że:

- mniejsze godzinowe zużycie paliwa ( $G_h$ ) podczas badań w przedziale prędkości obrotowych silnika od 1000 do 2200 obr/min występowało dla paliwa EKODIESEL ULTRA B zaś większe dla biopaliwa EST-LN. Bezwzględna różnica procentowa  $R_p$  [%] pomiędzy paliwem EKODIESEL ULTRA B, a estrem EST-LN wynosi od 9% do 19,5%,
- mniejsze jednostkowe zużycie paliwa ( $g_e$ ) podczas badań w przedziale prędkości obrotowych silnika od 1000 do 2200 obr/min występowało dla paliwa EKODIESEL ULTRA B zaś większe dla biopaliwa EST-LN. Bezwzględna różnica procentowa  $R_p$  [%] pomiędzy paliwem EKODIESEL, a estrem EST-LN wynosiła od 6,3% do 15%,
- mniejsze czasowe zużycie energii ( $\dot{G}_e$ ) podczas badań w przedziale prędkości obrotowych silnika od 1000 do 2200 obr/min występowało dla paliwa EKODIESEL ULTRA B zaś większe dla biopaliwa EST-LN. Bezwzględna różnica procentowa  $R_p$  [%] pomiędzy paliwem EKODIESEL ULTRA B, a estrem EST-LN wynosi od 10,2% do 12,4%,
- mniejsze jednostkowe zużycie energii ( $g_e^*$ ) podczas badań w przedziale prędkości obrotowych silnika od 1000 do 2200 obr/min występowało dla paliwa EKODIESEL ULTRA B, zaś większe dla biopaliwa EST-LN. Bezwzględna różnica procentowa  $R_p$  [%] pomiędzy paliwem EKODIESEL ULTRA B, a estrem EST-LN wynosi od 4% do 5,5%,
- większa sprawność energetyczna ( $\eta_{\text{energ}}$ ) w przedziale prędkości obrotowych silnika od 1000 do 2200 obr/min występuje dla paliwa EKODIESEL ULTRA B, zaś mniejsza dla biopaliwa EST-LN. Bezwzględna różnica procentowa  $R_p$  [%] pomiędzy paliwem EKODIESEL ULTRA B, a estrem EST-LN wynosi od 3,2% do 5,9%,

Badania dowiodły że najistotniejsze parametry fizykochemicznych różniące te dwa paliwa (tab. 1) jak: lepkość, gęstość czy zdolność do samozapłonu wpływają istotnie na: godzinowe, jednostkowe zużycie paliwa, czasowe i jednostkowe zużycie energii oraz sprawność energetyczną, co związane jest oczywiście z różnicami w przebiegu procesu wtrysku paliwa czy jego spalania.

Ester EST-LN zastosowany w badaniach zdaniem autorów mimo nieco gorszych rezultatów uzyskanych w czasie testów mógłby stanowić alternatywę dla olejów napędowych. Jednak aby dać pełną odpowiedź dotyczącą zastosowania tego paliwa należało by jeszcze przeprowadzić kompleksowe badania wytrzymałościowe silników zasilanych tego typu paliwem co jest zamiarem autorów.

## BIBLIOGRAFIA

1. Ambrozik A., Analiza cyklu pracy czterosuwowych silników spalinowych. Monografie, Studia, Rozprawy. M-16. Wyd.. Politechniki Świętokrzyskiej. ISSN 1897-2691, Kielce 2010.
2. Ambrozik A., Ambrozik T., Orliński P., Orliński S., Wpływ zasilania silnika Perkins 1104C mieszaniną oleju napędowego z dodatkiem etanolu na jego wskaźniki pracy. Logistyka 3/2011, str. 37-44. ISSN 1231-5478.
3. Dokumentacja techniczna stanowiska badawczego. Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych. Politechnika Warszawska, Warszawa 2012.

4. Kruczyński S., Orliński P., Orliński S., Wpływ składu paliwa mikroemulsyjnego węglowodorowo – estrowo - etanolowego na wybrane parametry procesu spalania w silniku o zapłonie samoczynnym, Journal of Kones 2009, Vol 16, str. 195-202, ISSN 1231-4005.
5. Merkisz J., Pielecha I., Alternatywne paliwa i układy napędowe pojazdów, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Wyd. I, 2004.
6. Orliński P., Wybrane zagadnienia procesu spalania paliw pochodzenia roślinnego w silnikach o zapłonie samoczynnym, Instytut Naukowo Wydawniczy SPATIUM, Radom 2013.
7. Orliński S., Wpływ zasilania silnika rolniczego Perkins 1104C-44 paliwami estrowo-etanolowymi na wybrane parametry procesu wtrysku i spalania w aspekcie ekologicznym, LOGISTYKA 3/12, str. 1761-1768, ISSN 1231-5478.
8. Orliński S., Wpływ obciążenia i rodzaju paliwa zasilającego silnik rolniczy o zapłonie samoczynnym na jego wielkości szybkozmiennie. TTS, str. 401-415, ISSN 1232-3829.
9. Orliński S., Orliński P., Wojs A.: The effect of diesel fuel mixture and camelina oil ester on the process of fuel injection in traction engine. Journal of KONES. Vol. 20, Nr 1, str. 255-261, ISSN 1231-4005.
10. Świadectwo jakości paliw emulsji paliwowych, Zakład Produktów Naftowych, WMTiW, UTH, Radom 2013.

## **ASSESSMENT OF THE ECONOMIC AND ENERGY INDICATORS OF AGRICULTURAL WORK TURBOCHARGED ENGINE POWERED ESTER OF CAMELINA**

### *Abstract*

*This paper presents the results of research and analysis on economic and energy indicators of agricultural engine compression ignition type PERKINS 1104C-E44TA. Power was supplied an ester of camelina and comparatively diesel. Measuring the economic and energy indicators in the steady state performed on a test bench. Studies have shown that consumption of various physico-chemical properties, of which the most significant are presented in the article, have a significant impact on the process of injection and combustion. Later, this impact is reflected in interaction on fuel consumption, energy indicators and overall engine efficiency.*

### **Autorzy:**

**dr inż. Piotr ORLIŃSKI, Instytut Pojazdów, Wydział SIMR, Politechnika  
Warszawska.**

**dr inż. Stanisław ORLIŃSKI, Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny, Wydział  
Mechaniczny, Radom**

Artykuł został opracowany w oparciu o wyniki badań uzyskane w ramach projektu badawczego własnego N N504 701 340