

INFLUENCE OF DIESEL ENGINE FUELLING WITH FAEE AND FAME ON STREAM SPRAY AND IGNITION DELAY ANGLES

Stanisław W. Kruczyński

*Instytut Paliw i Energii Odnawialnej, ul. Jagiellońska 55, 03-301 Warszawa,
e-mail: skruczyn@simr.pw.edu.pl*

Piotr Orliński

*Politechnika Warszawska, Wydział SiMR, Instytut Pojazdów, ul. Narbutta 84,
02-524 Warszawa, e-mail: p.orlinski@simr.pw.edu.pl*

Stanisław Orliński

*Politechnika Radomska, Wydział Mechaniczny, Instytut Eksploatacji Pojazdów i Maszyn,
ul. Chrobrego 45, 26-600 Radom, tel.: +48 48 3617661, e-mail: walorl@wp.pl.*

Abstract

The paper presents results of examinations concerning stream spray and ignition delay angles of AD3.152 engine fuelled with mineral fuel Ekodiesel Plus 50B and comparatively fuelled with vegetable fuels like methyl ester FAME and ethyl ester FAEE. Using fuels of different physicochemical properties to diesel engines requires high accuracy of diagnostic parameters measurements in order to learn differences in processes of injection and combustion. Necessity of fulfilling more and more strong standards, concerning emission of toxic components of exhaust gases, forces users of diesel engines to possess quick and precision methods of their technical state assessment and particularly of a combustion process and of injection equipment technical state. Analysis of the obtained diagrams of fuel pressure in the injection pipe enables to determine fuel pressure increase rate.

The investigations were carried out on the basis of speed external characteristic using test stand equipped with system of quick-changeable pressures measurements. Stream spray of fuel and ignition delay angles influence combustion process what is connected with emission of toxic components to environment. However, decay period time tested fuels and their limits appeared smaller for vegetable fuels. Considering the results, it is therefore decided to continue our experiments.

Keywords: *engine diagnostics, ecological fuels and environment*

WPLYW FAEE I FAME NA KĄTY ROZPYLENIA STRUGI I OPÓŹNIENIA SAMOZAPŁONU W SILNIKU O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczących porównania kątów rozpylenia strugi paliwa oraz opóźnienia samozapłonu silnika AD3.152 zasilanego olejem napędowym Ekodiesel Plus 50B oraz porównawczo paliwami roślinnymi: estrem metylowym FAME i etylowym FAEE. Zastosowanie paliw o różnych właściwościach fizykochemicznych do silników wysokoprężnych wymaga dużych dokładności pomiarów parametrów diagnostycznych celem poznania występujących różnic w procesach wtrysku i spalania w silnikach zasilanych tymi paliwami. Spełnianie coraz bardziej rygorystycznych norm emisji składników toksycznych spalin zmusza współczesnego użytkownika silników spalinowych o zapłonie samoczynnym do posiadania szybkich i precyzyjnych metod oceny jego stanu technicznego, a szczególnie procesu spalania oraz stanu technicznego aparatury wtryskowej. Analiza eksperymentalnie wyznaczonych wykresów przebiegu ciśnienia paliwa w przewodzie wtryskowym i wzniosu iglicy wtryskiwacza umożliwia wyznaczenie rzeczywistego kąta wyprzedzenia wtrysku.

Badania prowadzone były na bazie charakterystyki prędkościowej-zewnętrznej z wykorzystaniem stanowiska hamownianego wyposażonego w system pomiarowy ciśnień szybkozmiennych. Kąt rozpylenia strugi paliwa oraz opóźnienia samozapłonu ma wpływ na proces spalania, co wiąże się z emisją toksycznych składników spalin do otoczenia. Badania wykazały, celowość prowadzenia dalszych badań procesów wtrysku paliwa do cylindra przy zasilaniu silnika zarówno paliwami pochodzenia mineralnego jak i roślinnego.

Słowa kluczowe: *diagnostyka silnika, paliwa ekologiczne, środowisko*

1. Wstęp

Procesy wtrysku i spalania są najbardziej złożonymi, okresowo powtarzającymi się, szybkozmiennymi procesami zachodzącym wewnątrz cylindra tłokowego silnika spalinowego. Wiarygodnych źródeł informacji o tych procesach są wykresy: ciśnienia paliwa w przewodzie wtryskowym, wzniosu iglicy wtryskiwacza oraz ciśnienia spalania [1].

Paliwa pochodzenia roślinnego mają inne właściwości fizykochemiczne w porównaniu do paliw mineralnych, stąd występują różnice między nimi w procesie tłoczenia, rozpylania oraz spalania.

Przewagą nad zastosowaniem paliw roślinnych w silnikach o zapłonie samoczynnym w stosunku do paliw mineralnych jest ich korzystny wpływ na środowisko naturalne poprzez [2]:

Kąty rozpylenia strugi paliwa i opóźnienia samozapłonu zależne są m.in. od następujących czynników [2]:

- właściwości fizykochemicznych paliwa,
- cech konstrukcyjnych silnika,
- warunków eksploatacyjnych silnika.

Zastosowanie paliw o różnych właściwościach fizykochemicznych do silników o zapłonie samoczynnym wymaga dużych dokładności pomiarów celem poznania występujących różnic w procesach wtrysku i spalania silników zasilanych tymi paliwami.

Lepkość i gęstość paliwa wpływa na jakość procesu jego rozpylenia, a to z kolei decyduje o przebiegu procesu spalania i emisji toksycznych składników spalin. Napięcie powierzchniowe wpływa na średnicę kropeł i zasięg strugi rozpylonego paliwa. Większe wymiary kropeł i bardziej zwarty kształt strugi powodują wzrost jej zasięgu. Im większa lepkość i napięcie powierzchniowe tym większy jest zasięg strugi rozpylonego paliwa.

Wyboru badanych paliw dokonano ze względu na ich dostępność na rynku oraz na różne właściwości fizykochemiczne, które wywierają istotny wpływ na przebieg procesu wtrysku oraz spalania.

Paliwa stosowane w czasie badań to:

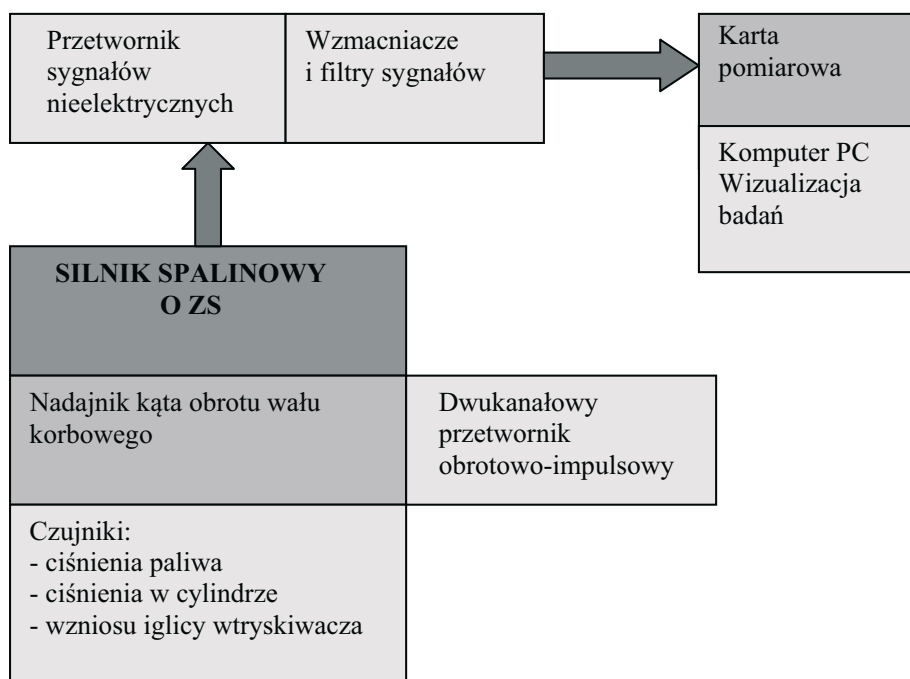
- Olej roślinny - BIODIESEL D-FAME B - 100,
- Olej roślinny - BIODIESEL D-FAEE B - 100,
- Olej napędowy - EKODIESEL PLUS 50B (odmiana B).

2. Cel badań

Niniejszy artykuł miał na celu przedstawić porównanie kątów rozpylenia strugi paliwa oraz kątów opóźnienia samozapłonu dla badanych paliw: Ekodiesel Plus 50 B oraz porównawczo estrów metylowego FAME i etylowego FAEE. Cel ten zamierzano osiągnąć poprzez porównanie ciśnień procesu wtrysku i spalania oraz wzniosu iglicy wtryskiwacza dla 100-cykli uzyskanych z pomiarów parametrów szybkozmiennych w stanach ustalonych silnika o zapłonie samoczynnym.

3. Stanowisko badawcze i właściwości fizykochemiczne badanych paliw

Badania przeprowadzono na typowym hamownianym stanowisku wyposażonym w silnik o zapłonie samoczynnym typu AD3.152 z bezpośrednim wtryskiem paliwa do komory spalania. Stanowisko wyposażone było w system pomiarowy umożliwiający pomiar parametrów i ciśnień szybkozmiennych. Schemat stanowiska badawczego pokazano na Rys. 1. W Tab. 1 przedstawiono porównanie wybranych właściwości fizykochemicznych badanych paliw.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego [4]
Fig. 1. Test stand scheme [4]

Tab. 1. Wybrane właściwości fizykochemiczne badanych paliw [5]
Tab. 1. Selected physicochemical properties of fuel [5]

Właściwości fizykochemiczne	Ester etylowy oleju rzepakowego FAEE	Ester metylowy oleju rzepakowego FAME	Olej napędowy Ekodiesel Plus-50B
Gęstość [kg/m ³]	881	878	848
Lepkość kinematyczna [mm ² /s]	4,75	4,70	3,12
Liczba cetanowa	50,5	51,0	52,5
Wartość energetyczna [MJ/kg]	38,8	38,4	43,0
Napięcie pow. 10 ⁻² [N/m]	3,55	3,52	3,47

4. Opis metody badań

W czasie wykonywania zewnętrznej charakterystyki prędkościowej silnika pracującego w zakresie prędkości obrotowej wału korbowego od 1000 - 2000 obr/min, co 200 obr/min rejestrowano 100-kolejnych przebiegów ciśnienia w przewodzie wtryskowym i cylindrze oraz wzniosów iglicy wtryskiwacza dla nominalnego kąta dynamicznego początku tłoczenia paliwa $\alpha_{dpt} = 17^\circ$ OWK,

Na podstawie zmierzonych wielkości wyznaczono [4]:

- ciśnienie w komorze spalania,
- ciśnienie w przewodzie wtryskowym,
- wznios iglicy wtryskiwacza.

Po wstępnej analizie wykresów indykatorowych określono: różnicę ciśnienia ΔP pomiędzy ciśnieniem w rozpylaczu $P_{w.max}$ i ciśnieniem w cylindrze $P_{c.max}$.

$$\Delta P = P_{w.max} - P_{c.max}, \text{ [MPa]}, \quad (1)$$

gdzie:

$P_{w.max}$ - uśrednione ciśnienie wtrysku paliwa,

$P_{c.max}$ - uśrednione ciśnienie w cylindrze,

Kąt rozpylenia strugi paliwa, wg Abramowicza [3]:

$$\text{tg} \frac{\theta}{2} = 0,13 \left[1 + \left(\frac{\rho_g}{\rho_p \cdot \Delta P} \right) \right], \quad (2)$$

gdzie:

ρ_p - gęstość paliwa [kg/m^3],

ρ_g - gęstość czynnika roboczego w cylindrze.

Ilustrację graficzną metody wyznaczania okresu opóźnienia samozapłonu przedstawiono na Rys. 2. Przecięcie charakterystyki $T(\alpha)$ wyznaczonej dla procesu sprężania, przy założeniu, że czynnikiem roboczym jest powietrze, z krzywą $T(\alpha)$ wyznaczoną dla $\alpha \leq \alpha_{GMP}$ przy założeniu, że czynnikiem roboczym są produkty zupełnego i całkowitego spalania paliwa jest punktem rozpoczęcia procesu spalania. Krzywą $T(\alpha)$ dla procesu sprężania sporządzano dla $\alpha \geq \alpha_{pw}$, zaś krzywą, $T(\alpha)$ dla procesu spalania sporządzano dla $\alpha \leq \alpha_{GMP}$ [2].

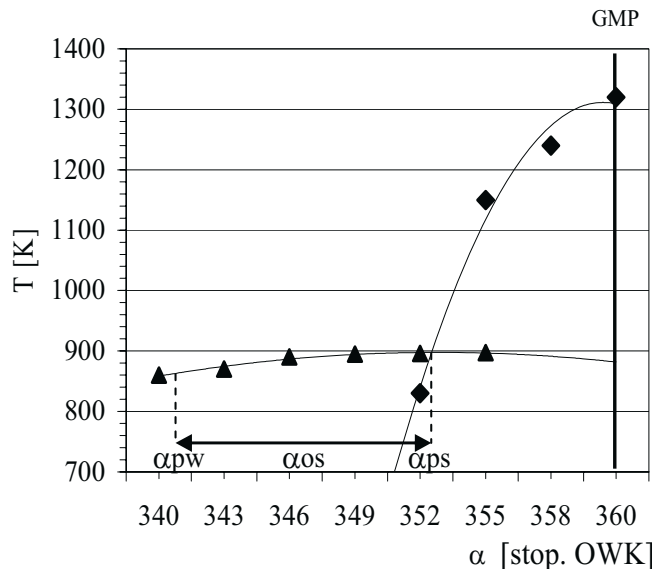
$$\alpha_{os} = \alpha_{ps} - \alpha_{pw}, \text{ [}^\circ\text{OWK]}, \quad (3)$$

gdzie:

α_{os} - kąt opóźnienia samozapłonu,

α_{ps} - kąt początku spalania,

α_{pw} - kąt początku wtrysku.

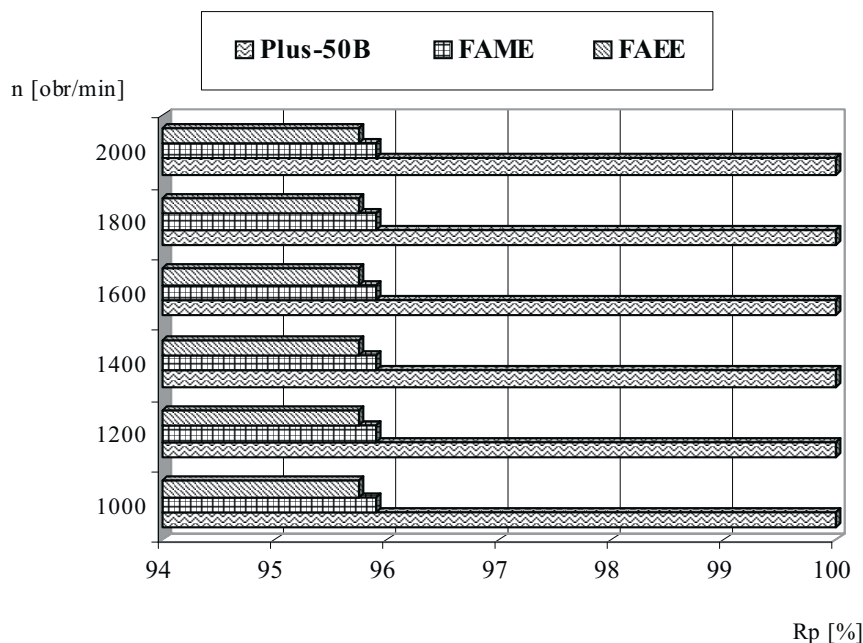


Rys. 2. Ilustracja graficzna metody wyznaczania okresu opóźnienia samozapłonu α_{os} [2]: α_{pw} - początek wtrysku paliwa, α_{ps} - początek procesu spalania

Fig. 2. Graphic illustration of self-ignition delay period calibration method α_{os} [2]: α_{pw} - beginning of fuel injection, α_{ps} - beginning of combustion process

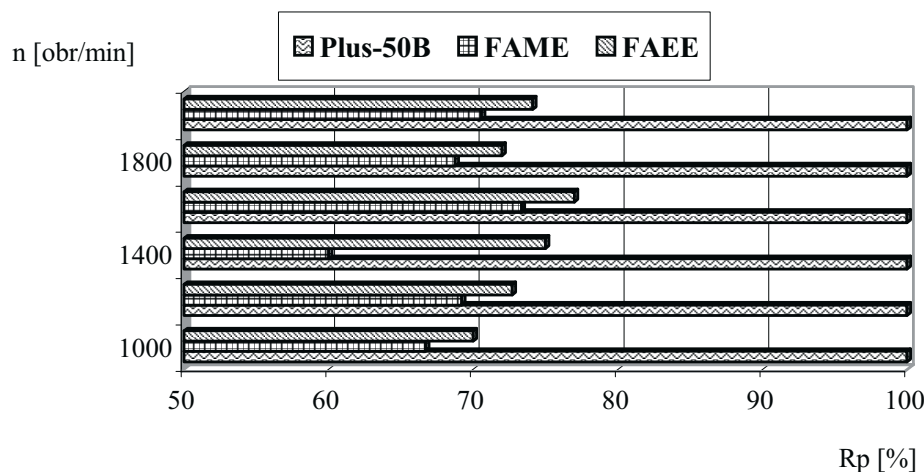
5. Analiza otrzymanych wyników badań

Na Rys. 3 pokazano porównanie bezwzględnej różnicy procentowej R_p , % wartości kątów rozpylenia strugi paliwa zaś na Rys. 4 bezwzględną różnicę procentową R_p , % wartości kątów opóźnienia samozapłonu pomiędzy badanymi paliwami: Ekodiesel Plus 50B oraz porównawczo estrem metylowym FAME i etylowym FAEE.



Rys. 3. Porównanie bezwzględnej różnicy procentowej R_p , % wartości kątów rozpylenia strugi $\tan \Theta/2$ paliwa pomiędzy badanymi paliwami

Fig. 3 Comparison of absolute percent difference R_p , % of fuel stream spray angles $\tan \Theta/2$ between investigated



Rys. 4. Porównanie bezwzględnej różnicy procentowej R_p , % wartości kątów opóźnienia samozapłonu α_{os} pomiędzy badanymi paliwami

Fig. 4 Comparison of absolute percent difference R_p , % of fuel ignition delay angles α_{os} between investigated

6. Wnioski

Na podstawie otrzymanych wyników badań dotyczących porównania kątów rozpylenia strugi paliwa oraz opóźnienia samozapłonu silnika AD3.152 zasilanego paliwem mineralnym Ekodiesel Plus 50B oraz porównawczo paliwami roślinnymi: estrem metylowym FAME i etylowym FAEE można sformułować następujące wnioski:

- zasilanie silnika paliwami roślinnymi: estrem metylovym FAME i etylovym FAEE w porównaniu z EKODIESEL PLUS 50-B, powoduje mniejsze kąty rozpylenia strugi paliwa w całym zakresie prędkości obrotowych silnika tj. od 1000-2000 obr/min,
- uśredniona bezwzględna różnica procentowa kąta rozpylenia strugi paliwa dla całego przedziału prędkości obrotowej silnika od 1000-2000 obr/min wynosi od 5-7% na korzyść paliw roślinnych,
- uśredniona bezwzględna różnica procentowa kąta rozpylenia strugi paliwa pomiędzy paliwami roślinnymi FAME i FAEE wynosi ok. 2% i jest mniejsza dla paliwa FAEE,
- bezwzględne różnice procentowe wartości kąta opóźnienia samozapłonu dla zadanych stałych prędkości obrotowych silnika od 1000 do 2000 obr/min są mniejsze dla paliw roślinnych FAME i FAEE w porównaniu do oleju napędowego EKODIESEL PLUS 50-B i wynoszą one od 25 do 30% na korzyść paliw roślinnych,
- bezwzględne różnice procentowe pomiędzy wartościami kąta opóźnienia samozapłonu w silniku zasilanego paliwami roślinnymi są mniejsze dla paliwa FAEE w stosunku do paliwa FAME i wynoszą one ok. 5% na korzyść paliwa roślinnego FAEE w przedziale prędkości obrotowych silnika od 1000 do 2000 obr/min,
- z przeprowadzonych badań wynika, że właściwości fizykochemiczne badanych paliw w istotny sposób wpływają na prędkość narastania ciśnienia paliwa w przewodzie wtryskowym oraz ciśnienia w komorze spalania,
- badania wykazały wyraźny wpływ lepkości, gęstości przede wszystkim ściśliwości paliw oraz napięcia powierzchniowego paliw roślinnych FAME i FAEE względem paliwa EKODIESEL PLUS 50-B na kąty rozpylenia strugi paliwa oraz na kąty opóźnienia samozapłonu,
- na podstawie badań można stwierdzić, że rodzaj paliwa ma istotny wpływ proces wtrysku i spalania, ponieważ im mniejszy okres opóźnienia wtrysku i samozapłonu to większy kąt trwania wtrysku, co ma wpływ na skutki ekologiczne emisji spalin w aspekcie ochrony środowiska naturalnego,
- celowym jest prowadzenie dalszych badań procesów wtrysku i spalania paliwa przy zasilaniu silnika zarówno paliwami pochodzenia mineralnego jak i roślinnego.

Literatura

- [1] Ambrozik, A., *Wpływ kąta wyprzedzenia wtrysku na dynamikę wydzielania ciepła podczas procesu spalania*, Teza Komisji Naukowo-Problemovej Motoryzacji PAN, ISSN, Zeszyt Nr 22, s. 1642-1639, Kraków 2001.
- [2] Ambrozik, A., *Wybrane zagadnienia procesów cieplnych w tłokowych silnikach spalinowych*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2004.
- [3] Abramowicz, G. N., *Theory of Turbulent Jets M.I.T*, Press Cambridge, Mas, 1963.
- [4] Dokumentacja Techniczna, *Stanowisko pomiarowe parametrów pomiarowych szybkozmiennych ciśnień*, IEPiM Politechnika Radomska, Radom 2005.
- [5] PKN ORLEN S.A. i Rafineria Trzebinia, *Świadectwa jakości paliw*, 2008.