

Wpływ zasilania silnika rolniczego Perkins 1104c-44 paliwami estrowo-etanolowymi na wybrane parametry procesu wtrysku i spalania w aspekcie ekologicznym

*silnik spalinowy, proces wtrysku i spalania,
paliwa ekologiczne, ochrona środowiska*

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczących porównania kątów rozpylenia strugi paliwa oraz wydzielania ciepła silnika PERKINS zasilanego paliwem mineralnym EKODIESEL oraz porównawczo paliwami roślinnymi: estrem metylowym FAME i etanolem BIO-E-DIESEL. Zastosowanie paliw o różnych właściwościach fizykochemicznych do silników wysokoprężnych wymaga dużych dokładności pomiarów parametrów diagnostycznych celem poznania występujących różnic w procesach wtrysku i spalania silników zasilanych tymi paliwami.

Spełnianie coraz bardziej rygorystycznych norm w 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 eksperymentalnie wyznaczonych wykresów przebiegu ciśnienia paliwa w przewodzie wtryskowym i wzniosu iglicy wtryskiwacza umożliwia wyznaczenie 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.

INFLUENCE OF POWERING THE AGRICULTURAL EN-GINE 1104C-44 PERKINS WITH FUELS ESTER-ETHANOL TO CHOSEN PARAMETERS OF THE PROCESS OF INJECTION AND BURNING IN THE ENVIRONMENTAL ASPECT

Abstract

The paper presents results of examinations concerning stream spray and giving the warmth off while burning cylinder engine of PERKINS engine fuelled with mineral fuel EKODIESEL and comparatively with vegetable fuels like methyl ester FAME and ethyl BIO-E-DIESEL. Using fuels of different physicochemical properties to compression-ignition 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 decide to continue our experiments

1. WSTĘP

Proces wtrysku i spalania jest złożonym, okresowo powtarzającym się szybkozmiennym procesem zachodzącym wewnątrz cylindra tłokowego silnika spalinowego. Jednym z dość łatwo uzyskiwanych i wiarygodnych źródeł informacji o przebiegu procesów zachodzących wewnątrz cylindra jest wykres indykatorowy. Ekonomiczne, energetyczne i ekologiczne wskaźniki pracy silnika w bezpośredni sposób zależą od przebiegu wykresu indykatorowego, a ten z kolei zależy od procesu spalania ocenianego za pomocą charakterystyk wydzielania ciepła [1].

Procesy wtrysku i spalania są złożonymi, okresowo powtarzającymi się, szybkozmiennymi procesami zachodzącymi w przestrzeni nadłokowej silnika spalinowego. Wiarygodnym źródłem informacji o przebiegu procesów wtrysku i spalania paliwa są wykresy: ciśnienia paliwa w przewodzie wtryskowym, wzniosu iglicy wtryskiwacza oraz ciśnienia w cylindrze [2, 3].

Pod pojęciem charakterystyk wydzielania ciepła rozumiemy względną ilość i prędkość względnej ilości ciepła wydzielającego się podczas procesu spalania z uwzględnieniem ciepła traconego do ścianek komory spalania.

¹ Politechnika Radomska, Wydział Mechaniczny, Instytut Eksploatacji Pojazdów i Maszyn, e-mail: walorl@wp.pl

Ocena jakości pracy silnika zasilanego paliwami o różnych właściwościach fizykochemicznych wymaga zastosowania dokładnych pomiarów wielkości opisujących rzeczywisty przebieg procesów roboczych w cylindrze [9].

Zastosowanie zastępczych paliw alternatywnych do zasilania ciepłych silników tłokowych o zapłonie samoczynnym ma wpływ na energetyczne, ekonomiczne, a głównie ekologiczne wskaźniki ich pracy [5, 7].

Problem zastosowania paliw alternatywnych wytwarzanych na bazie roślin i ich estrów oraz mieszanin paliw węglowodorowych z metanolem lub etanolem występuje w obszarze powstawania różnic w procesie tłoczenia i rozpylania paliwa jak również procesie ich spalania w cylindrze silnika [4, 6].

2. CEL BADAŃ

Celem badań była ocena wpływu zasilania silnika PERKINS 1104C-44 paliwami: olejem napędowym ON (EKODIESEL), paliwem roślinnym estrem FAME oraz mieszaną z etanolu odwodnionego z olejem napędowym (v/v): M1- (ON 85% + Et 15% na wybrane parametry procesu wtrysku i spalania tych paliw.

W czasie badań silnik pracował według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej w zakresie prędkości obrotowej wału korbowego silnika od 1000 do 2200 obr./min z uwzględnieniem dwóch prędkości obrotowych wału korbowego silnika tj.: maksymalnego momentu obrotowego 294, Nm przy $n = 1400$, obr./min i maksymalnej mocy 60, kW przy $n = 2200$, obr./min.

3. STANOWISKO BADAWCZE ORAZ PARAMETRY FIZYKOCHEMICZNE PALIW ZASILAJĄCYCH SILNIK

3.1. Charakterystyka obiektu badań i stanowiska badawczego

Silnik Perkins 1104C-44 stosowany jest głównie jako źródło napędu ciągników rolniczych. Silnik Perkins 1104C-44 powinien spełniać normy dotyczące emisji składników toksycznych spalin EU Stage II (dla Nonroad Diesel Engines) w wersji G, która dotyczy silników o mocy efektywnej z przedziału $37 \leq P < 75$ kW [8].

Podstawowe dane techniczne silnika zamieszczono w tabeli 1, w tabeli 2 typ wtryskiwacza oraz jego parametry zaś w tabeli 3 wartość ośrodka gazowego ze względu na kąt wyprzedzenia wtrysku paliwa.

Tab.1. Wybrane dane techniczne silnika Perkins 1104C-44 (EU Stage II G) [8]

Liczba cylindrów	4
Pojemność skokowa	4400, cm ³
Maksymalna moc	60, kW przy 2200, obr./min.
Maksymalny moment obrotowy	294, Nm przy 1400, obr./min.
Stopień sprężania	19,3
Prędkość biegu jałowego	750 ± 50, obr/min
Kąt dynamicznego początku tłoczenia paliwa	16 °OWK

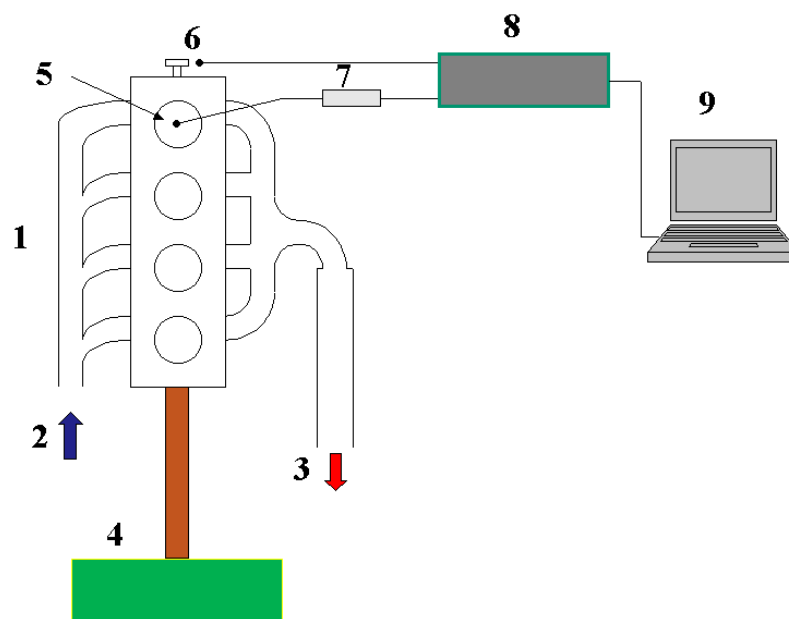
Tab. 2. Typ wtryskiwacza oraz jego parametry [8]

Wtryskiwacz: rodzaj	Firmy Delphi z rozpylaczem 5-cioma otworkami o średnicach 0,25 mm
Typ wtryskiwacza/ ciśnienie wtrysku	Delphi 2645K016/ 29±0,5 Mpa

Tab. 3. Wartość ośrodka gazowego ze względu na kąt wyprzedzenia wtrysku paliwa [8]

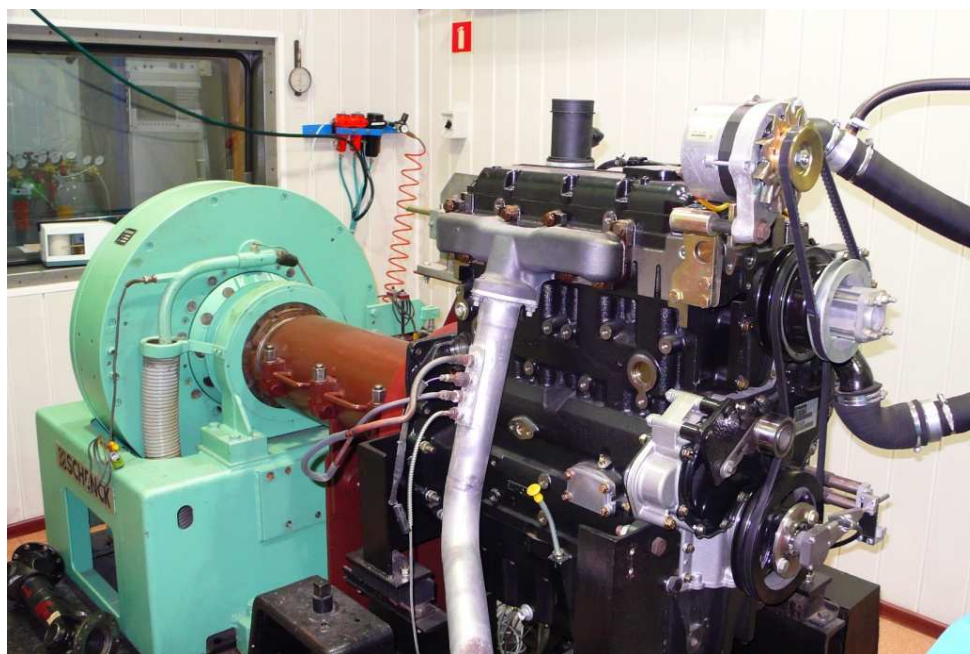
Kąt wyprzedzenia wtrysku	Wartość kąta przed GMP	TEMPERATURA K	CISNIENIE SPRĘŻANIA MAX. MPA	GĘSTOŚĆ OŚRODKA GAZOWEGO kg/m ³
12 °OWK	349 °OWK	941	4,05	9,82

Schemat blokowy stanowiska badawczego pokazano na rys.1 zaś na rys.2 widok silnika Perkins 1104C-44 zamontowanego na stanowisku badawczym.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego [8]:

1 – silnik PERKINS 1104-C44; 2 – wlot powietrza; 3 – wylot spalin; 4 – hamulec elektrowirowy SCHENCK; 5 – piezoelektryczny czujnik ciśnienia AVL GH 12; 6 – rejestrator kąta obrotu wału korbowego; 7 – wzmacniacz sygnału; 8 – system indykowania AVL IndiSmart; 9 – komputer pomiarowy wraz z oprogramowaniem IndiView AVL



Rys. 2. Widok silnika PERKINS zamontowanego na stanowisku badawczym [8]

3.2. Wybrane właściwości fizykochemiczne badanych paliw

Wyboru paliw zasilających silnik dokonano ze względu na ich dostępność na rynku oraz z uwzględnieniem właściwości fizykochemicznych tj. gęstość, lepkość i napięcie powierzchniowe [7]. W tabeli 4 przedstawiono wybrane właściwości fizykochemiczne paliw zasilających silnik podczas badań na stanowisku hamownianym.

Tab. 4. Właściwości fizykochemiczne paliw zasilających silnik [10]

PARAMETR	ON –EKODIESEL 100%	BIOE-DIESEL M1 (85%ON + 15% Etanolu)	ESTER FAME- 100%
Gęstość w 20°C [10^3 kg/m^3]	838	852	881
Lepkość kinematyczna w 40°C [$10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$]	2,85	3,37	4,72
Napięcie powierzchniowe $\sigma \cdot 10^{-2} \text{ [N/m]}$	3,84	3,25	3,56

4. OPIS METODY BADAŃ

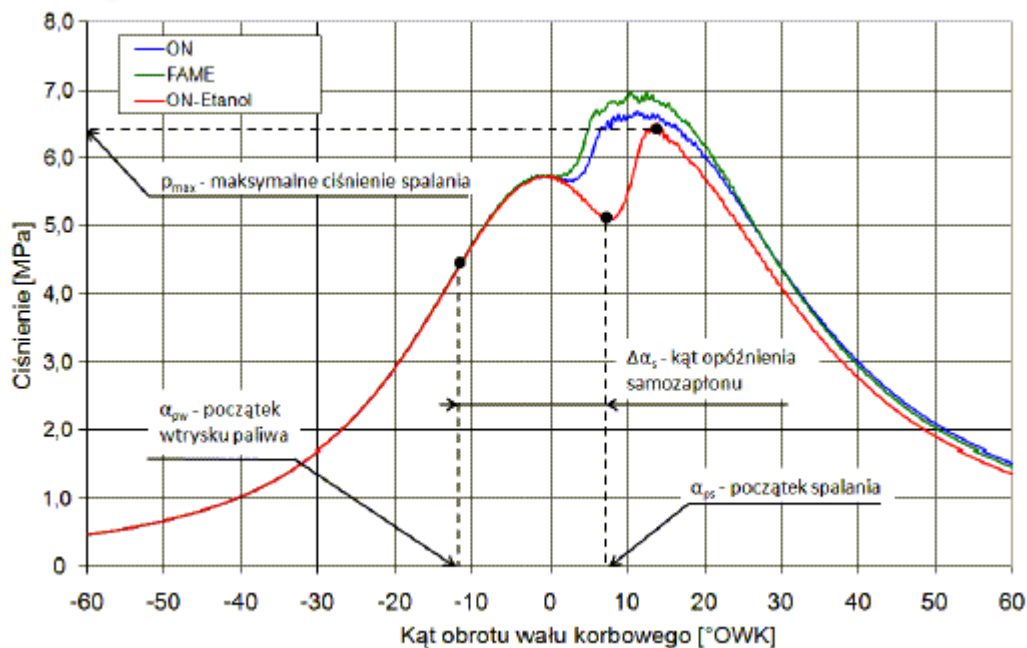
W trakcie sporządzania zewnętrznej charakterystyki prędkościowej silnika w przedziale prędkości obrotowej silnika od 1000-2200 obr/min, rejestrowano: zużycie paliwa, ciśnienie paliwa w przewodzie wtryskowym i ciśnienie w cylindrze oraz wznios iglicy wtryskiwacza. Wykresy indykatorem zdejmovano za pomocą czujnika piezokwarcowego firmy AVL cechowanego statycznie i dynamicznie w warunkach zbliżonych do warunków rzeczywistych.

W punktach pomiarowych maksymalnego momentu obrotowego $M_{o,max}$, Nm przy 1400, obr./min i maksymalnej mocy efektywnej $N_{e,max}$, kW przy 2200, obr./min, należących do zewnętrznej charakterystyki prędkościowej silnika, rejestrowano 100 kolejnych przebiegów ciśnienia w cylindrze i przewodzie wtryskowym oraz wzniosu iglicy wtryskiwacza, przy stałym ustawieniu nominalnego kąta dynamicznego początku tłoczenia paliwa, równego $\alpha_{dpt}=12^\circ \text{OWK}$.

Wykorzystując zmierzone wielkości wyznaczano:

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

Na rys.3. pokazano przebieg wzniosu iglicy wtryskiwacza oraz rozwinięty wykres indykatorem ciśnienia w cylindrze z zaznaczeniem kątów wyprzedzenia wtrysku i kąta opóźnienia samozapłonu.



Rys. 3. Metodyka wyznaczania podstawowych parametrów procesu spalania z wykresu indykatorem, $n = 2200 \text{ obr/min}$ [8]

Wyznaczanie względnej ilości wydzielonego ciepła w czasie procesu spalania przeprowadzano w oparciu o równanie I zasady termodynamiki i równanie stanu w postaci [1]:

Wyznaczanie względnej ilości wydzielonego ciepła w czasie procesu spalania przeprowadzano w oparciu o równanie I zasady termodynamiki i równanie stanu w postaci [1]:

$$\begin{cases} dQ_x = dU + p dV + dQ_{sc} + dQ_{dys} \\ pV = M \bar{R} T \end{cases} \quad (1)$$

Wzór na obliczanie względnej ilości ciepła wydzielającego się podczas spalania ma postać [1]:

$$x = \frac{1}{\xi \cdot g_{\text{obieg}} \cdot W_u} \left\{ \frac{1}{k-1} \left[k \frac{p_i + p_{i-1}}{2} (V_i - V_{i-1}) + \frac{V_i + V_{i-1}}{2} (p_i - p_{i-1}) \right] \right\} + \frac{\alpha_{sc} \cdot \left(F \cdot \frac{\alpha_i - \alpha_{i-1}}{6 \cdot n} \right) \cdot (T - T_{sc})}{\xi \cdot g_{\text{obieg}} \cdot W_u} \quad (2)$$

gdzie:

$$\alpha_{sc} = 110 \cdot D^{-0.2} \cdot \left(2,28 \cdot \frac{s \cdot n}{30} \right)^{0.8} \cdot (p_{isr})^{0.8} \cdot (T_{sr})^{-0.53}$$

T_{sr} – średnia temperatura gazów w cylindrze,

T_{sc} – temperatura ścianek cylindra,

F – powierzchnia wymieniająca ciepło.

Wartość prędkości względnej ilości wydzielającego się ciepła wyznaczano ze wzoru [1]:

$$\dot{x} = \frac{X_i - X_{i-1}}{\alpha_i - \alpha_{i-1}} \quad (3)$$

Zasięg strugi paliwa zależy od: różnicy ciśnienia w studziencie wtryskiwacza i ciśnienia w cylindrze ΔP , gęstości czynnika roboczego w cylindrze ρ_g i gęstości paliwa ρ_p oraz od średnicy otworka rozpylacza d_o . Prędkość wypływu strumienia paliwa z wtryskiwacza u_p (w przekroju wylotowym rozpylacza) obliczano z zależności [4]:

$$u_p = \mu \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_p}}, \text{ [m/s]} \quad (4)$$

gdzie:

ΔP - różnica ciśnienia cieczy przed otworkiem rozpylacza i ciśnienia ośrodka, do którego paliwo jest wtryskiwane, [MPa],

ρ_p - gęstość paliwa, [kg/m³], μ - hydrodynamiczny współczynnik wypływu zależny od konstrukcji rozpylacza.

Obliczenia średniej, krytycznej średnicy kropli d_{kr} , dla badanych paliw prowadzono według zależności zaproponowanej przez Sautera [4]:

$$d_{kr} = \frac{\sigma W e_{kr}}{\rho_g u_p^2}, \text{ [\mu m]} \quad (5)$$

gdzie:

σ - napięcie powierzchniowe, [N/m],

ρ_g - gęstość ośrodka gazowego, [kg/m³],

$W e_{kr}$ - krytyczna wartość liczby Webera, [m/s],

u_p - prędkość wypływu strumienia paliwa z wtryskiwacza, [m/s],

Czas liczony od chwili wypływu paliwa z rozpylacza do chwili rozpadu jego strugi t_r , ms, można obliczyć z zależności [4]:

$$t_r = \frac{29 \rho_g d}{(\rho_p \cdot \Delta P)^{1/2}}; \text{ [ms]} \quad (6)$$

gdzie:

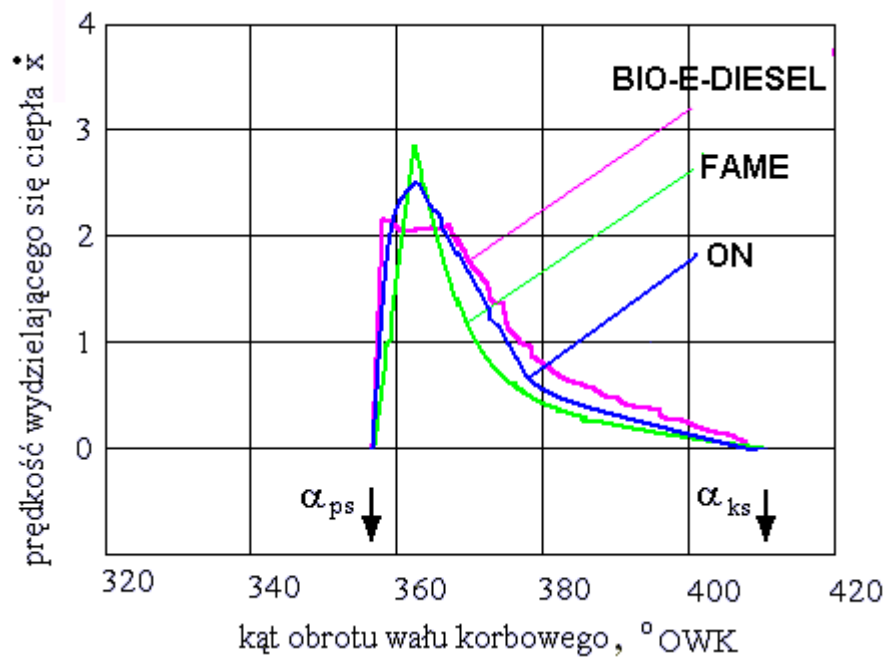
d - średnica otworka rozpylacza – 0,32 mm [8].

5. ANALIZA OTRZYMANYCH WYNIKÓW BADAŃ

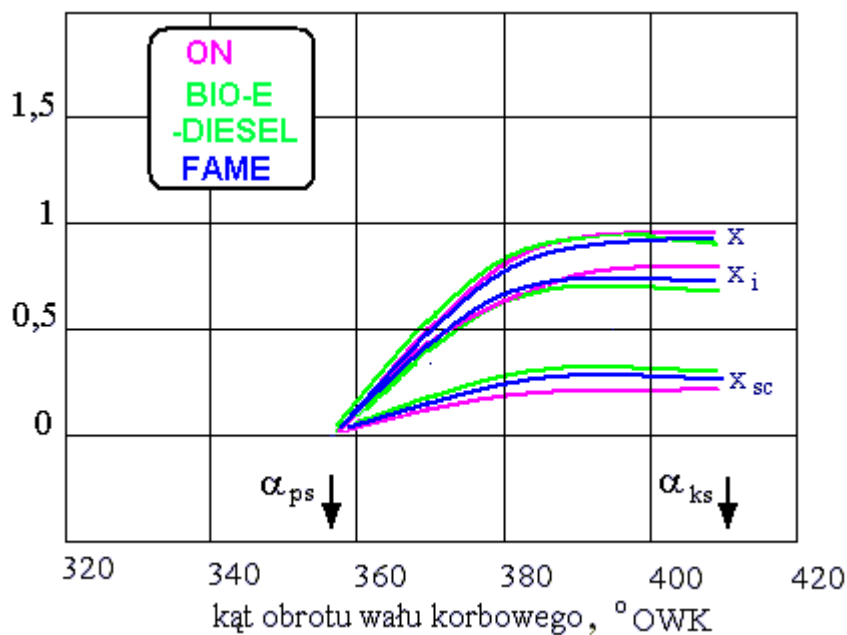
Rysunek 4 przedstawia porównanie uśrednionych ze 100 cykli prędkości względnej ilości ciepła wydzielającego się podczas procesu spalania w funkcji kąta obrotu wału korbowego silnika pracującego wg. zewnętrznych charakterystyk prędkościowych, w przedziale prędkości obrotowej, co 200 obr/min w przedziale $n=1000-2200$ obr/min zasilanego badanymi paliwami: EKODIESEL, BIO- E- DIESEL i FAME.

Rysunek 5 przedstawia przykładowy uśredniony ze 100 cykli wykres prędkości względnej ilości wydzielającego się ciepła podczas procesu spalania w funkcji kąta obrotu wału korbowego silnika PERKINS pracującego w punkcie

odpowiadającym maksymalnemu momentowi obrotowemu silnika $n=1400$ obr/min zasilanego paliwami: EKODIESEL, BIO- E- DIESEL i FAME.

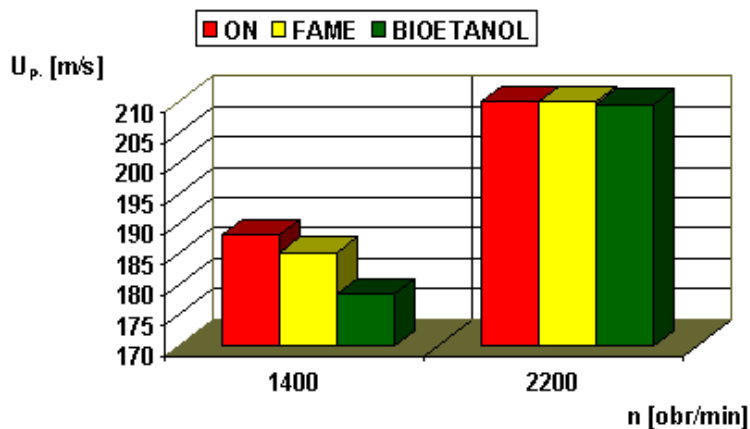


Rys. 4. Porównanie prędkości względnej ilości wydzielającego się ciepła \dot{x} podczas procesu spalania w funkcji kąta obrotu wału korbowego przy $n=1400$ obr/min zasilanego badanymi paliwami

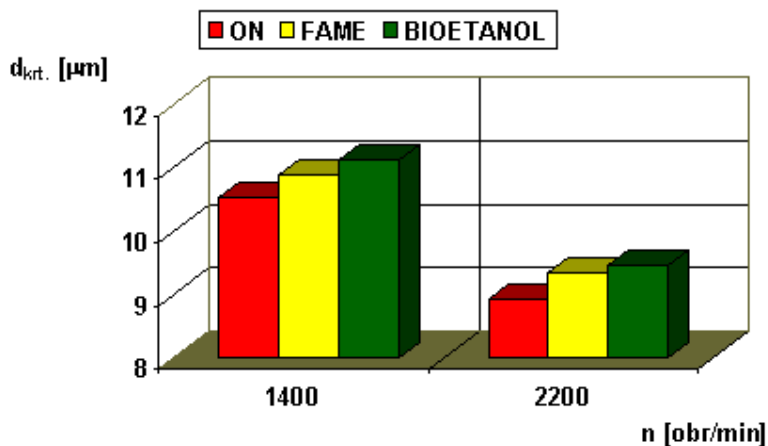


Rys. 5. Przykładowa względna ilość x wydzielającego się ciepła podczas procesu spalania, indykatorowy współczynnik wydzielania ciepła x_i oraz względna ilość ciepła przekazywanego do ścianek komory spalania x_{sc} w funkcji kąta obrotu wału korbowego silnika przy $n=1400$ obr/min)

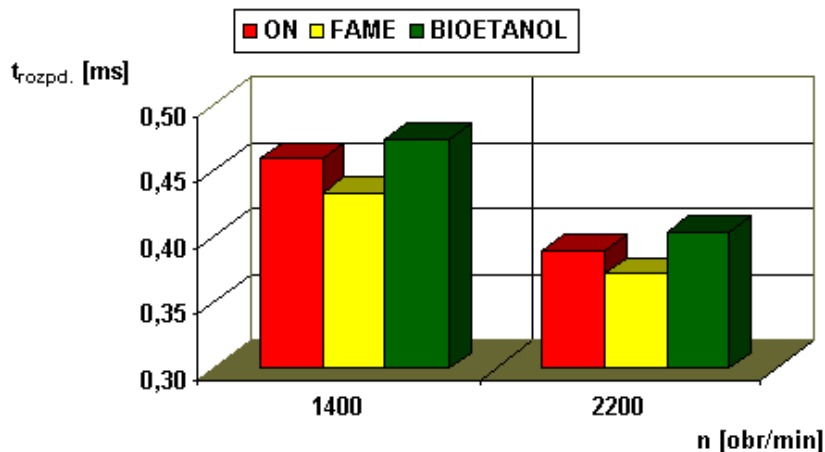
Na rys.6 przedstawiono początkowe prędkości wypływu strumienia paliwa z wtryskiwacza U_p [m/s]. rys. 7 przedstawia średnie średnice kropeł d_{kr} , [μ m] tworzące się przy wypływie paliwa z otworu rozpylacza o stałym przekroju przelotowym, wyznaczone wg. Sautera. Na rys.8 pokazano porównanie czasów rozpadu strug paliwa na krople.



Rys. 6. Porównanie początkowej prędkości wypływu paliwa z wtryskiwacza U_p [m/s] w funkcji prędkości obrotowej wału korbowego silnika dla $n=1400$ i 2200 obr/min



Rys. 7. Porównanie średnich krytycznych średnic kropeł d_{kr} , [μm] w funkcji dla prędkości obrotowej wału korbowego silnika dla $n=1400$ i 2200 obr/min



Rys. 8. Porównanie czasów rozpadu $t_{rozpadu}$ [ms] strug paliwa w funkcji prędkości obrotowej wału korbowego silnika dla $n=1400$ i 2200 obr/min

6. WNIOSKI

Na podstawie wyników badań otrzymanych przy zasilaniu silnika wybranymi paliwami ekologicznymi tj. EKODIESEL, BIO- E- DIESEL i FAME można sformułować następujące wnioski.

Wnioski dotyczące wydzielania ciepła w przestrzeni nadłokowej cylindra podczas procesu spalania:

- maksymalna prędkość wydzielającego się ciepła osiąga większą wartość dla paliwa FAME w porównaniu z paliwami ON i BIOETANOLEM w badanym zakresie warunków pracy silnika w zakresie prędkości obrotowej maksymalnego momentu obrotowego $n= 1400$ obr/min,

- ilość ciepła przekazywanego do ścianek komory spalania w cylindrze jest większa dla paliwa FAME w zestawieniu z paliwami ON i BIOETANOL, odwrotnie natomiast jest w przypadku oceny indukowanej wielkości względnej ilości wydzielającego się ciepła w zakresie prędkości obrotowej $n=1400$ obr/min dla maksymalnego momentu obrotowego silnika,
- przedstawiona metodyka badań umożliwia analizę rzeczywistych wykresów indykatorowych z uwzględnieniem wymiany ciepła pomiędzy czynnikiem roboczym, a ściankami komory spalania, zmiany składu czynnika roboczego podczas procesu spalania jak również zależność ciepła właściwych czynnika roboczego od temperatury i jego składu.

Wnioski dotyczące procesu przetwarzania i rozpylania strugi paliwa przy wyznaczonych prędkościach obrotowych wału korbowego silnika $n=1400$ obr/min i $n=2200$ obr/min:

- największe ciśnienia przetwarzanego paliwa występowały przy zasilaniu estrem FAME ze względu na małą ściśliwość tego paliwa, natomiast zasilanie silnika BIOETANOLEM powoduje nieznaczny spadek maksymalnego ciśnienia w przewodzie wtryskowym wynoszący maksymalnie 7% (im więcej etanolu jak dodatku tym spadek jest większy) we wszystkich badanych punktach pracy silnika,
- początkowe prędkości wtryskiwanego paliwa U_p [m/s] były największe dla paliwa węglowodorowego ON, paliwo roślinne FAME posiadało pośrednie wartości zaś najmniejsze występowały dla BIOETANOLU. Bezwzględna różnica procentowa pomiędzy nimi wynosi, od 4-8% co spowodowane było różną gęstością i lepkością badanych paliw, dla wyznaczonych prędkości obrotowych wału korbowego silnika,
- badania uśrednionych średnic kropeł paliwa d_{kr} , [μm] wykazały, że większe średnice zapewnia paliwo BIOETANOL zaś mniejsze występują dla paliw FAME i ON w przedziale wyznaczonych prędkości. Bezwzględna różnica procentowa pomiędzy nimi wynosi, od 5-10%. Spowodowane jest to różnym ciśnieniem paliwa we wtryskiwaczu oraz różnymi gęstościami, lepkościami i napięciami powierzchniowymi badanych paliw,
- natomiast czasy rozpadu strug badanych paliw okazały się mniejsze dla paliwa FAME i ON zaś największe dla paliwa BIOETANOL. Bezwzględna różnica procentowa pomiędzy nimi wynosi od 6-10%. Spowodowane to również różną wielkością ciśnienia paliwa we wtryskiwaczu oraz różną gęstością, lepkością i napięciem powierzchniowym,
- celowe jest dalsze prowadzenie badań paliw roślinnych i węglowodorowych z dodatkami alkoholu etylowego dotyczących procesu wtrysku, który bezpośrednio wpływa na jakość występującego po nim procesu spalania. Z kolei jego poprawa w efekcie końcowym może doprowadzić do zmniejszenia emisji składników toksycznych spalin z silnika, co jest priorytetem dla wszystkich producentów silników spalinowych.
- przy ocenie ekonomicznego aspektu stosowania mieszanin paliw węglowodorowych z etanolem jak i ciekłych paliw roślinnych celem jest zmniejszenie kosztów ich wytwarzania i dystrybucji tak, aby ceny tych paliw były porównywalne z cenami paliw pochodzenia węglowodorowego.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Ambrozik A.: Analiza cyklu pracy czterosuwowych silników spalinowych. Monografie, Studia, Rozprawy. M-16. Wydaw. Politechniki Świętokrzyskiej. PL ISSN 1897-2691. Kielce 2010.
- [2] Ambrozik A., Orliński S.: WPLYW ZASILANIA PALIWEM MIKROEMULSYJNYM NA PROCES JEGO WTRYSKU W SILNIKU O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM. VII Konferencja Naukowo-Techniczna Logistyka Systemy Transportowe, Bezpieczeństwo w Transporcie, „LOGITRANS”. Politechnika Radomska, Wydział Transportu, PAN-Komitet Transportu, Szczyrk, 14-16.04.2100, LOGISTYKA 2/2010, ISBN 978-837351-362-4.
- [3] Ambrozik A., Ambrozik T., Orliński P., Orliński S.: WPLYW Zasilania Perkins 1104c mieszaniną oleju napędowego z dodatkiem etanolu na jego wskaźniki pracy. LOGITRANS - VIII KONFERENCJA NAUKOWO-TECHNICZNA LOGISTYKA, SYSTEMY TRANSPORTOWE, BEZPIECZENSTWO W TRANSPORCIE. Logistyka – Nauka artykuły recenzowane 3/2011, s. 37-44. ISBN 978-83-7351-443-0, Szczyrk Kwiecień 12-15. 2011.
- [4] Kowalewicz A.: Wybrane zagadnienia samochodowych silników spalinowych, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2002.
- [5] Kruczyński S., Orliński P., Orliński S.: Wpływ składu paliwa mikroemulsyjnego węglowo-wodorowo – estrowo - etanolowego na wybrane parametry procesu spalania w silniku o zapłonie samoczynnym, Journal of Kones 2009, Vol 16, s. 195-202, ISSN 1231-4005.
- [6] Łuksa A., Kruczyński S. W., Orliński S., Orliński P.: Wpływ składu paliwa mikroemul-syjnego węglowodorowo – estrowo - etanolowego na wskaźniki ekonomiczne i energetyczne silnika o ZS, Logistyka 6/2009, ISSN 1231-5478 (płytko cd).
- [7] Merksiz J., Pielecha I.: Alternatywne paliwa i układy napędowe pojazdów, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Wydanie I, 2004.
- [8] Dokumentacja techniczna stanowiska badawczego. Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych. Politechnika Warszawska, Warszawa 2010
- [9] Orliński S., Orliński P., Kruczyński S.: Wpływ zasilania silnika rolniczego o ZS paliwami typu Bioe-diesel na wybrane parametry procesu wtrysku, Zeszyty naukowe Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej Wydział SiMR, Warszawa, 1(82)/2011, str.33-42. ISSN 1642-347X.
- [10] Świadectwo jakości paliw emulsji paliwowych, Zakład Produktów Naftowych, WMTiW, Politechnika Radomska, Radom 2011.