

Andrzej AMBROZIK¹
Tomasz AMBROZIK²
Piotr ORLIŃSKI³
Stanisław ORLIŃSKI⁴

**WPŁYW ZASILANIA SILNIKA PERKINS 1104C BIOETANOLEM NA
PRZEBIEG PROCESU WTRYSKU I PODSTAWOWE PARAMETRY
ROZPYLANIA**

W referacie przedstawiono wyniki badań przebiegu procesu wtrysku i rozpylania paliwa na krople w silniku PERKINS-1104C pracującym wg zewnętrznej charakterystyki prędkościowej, zasilanego: bioetanołem oraz paliwem węglowodorowym, niskosiarkowym olejem napędowym EKODIESEL PLUS 50B. Pomiary wykonano na stanowisku hamownianym wyposażonym w system pomiarów wielkości szybkozmiennych. Wykazano, że rodzaj paliwa o różnych właściwościach fizykochemicznych ma istotny wpływ na proces wtrysku i rozpylania paliwa. Analiza eksperymentalnie sporządzonych wykresów ciśnienia paliwa w przewodzie wtryskowym i wzniosów iglicy wtryskiwacza umożliwia wyznaczenie: prędkości wypływu paliwa z rozpylacza oraz rozpad strugi paliwa na krople.

**INFLUENCE OF POWERING THE ENGINE 1104C BIOETANOLEM PERKINS
TO THE COURSE OF THE PROCESS OF INJECTION AND BASIC
PARAMETERS OF SPRAYING**

In the paper research findings were introduced course of the process of injection and spraying fuel to drops working at the PERKINS-1104C engine according to. of outside characteristics speed, powered: with bioethanol and comparatively with hydrocarbon, low-sulphuric EKODIESEL PLUS 50B diesel Measurements were made on the post test bench with measurement system of high-speed equipped with the system of measurements of fast-changeable sizes. They demonstrated, as kind of fuel about all sorts properties physicochemical an essential influence on the process of injection and spraying fuel has. Analysis of graphs experimentally made out of the pressure of fuel in the injection wire and injection is enabling the netting needle of the injector to outline: velocities of the leakage of fuel out of the sprayer and the disintegration of the stream of fuel to drops.

¹ Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Zakład Silników Ciepłych, Kielce.

² Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Zakład Tribologii i Materiałów Eksploatacyjnych, Kielce.

³ Politechnika Warszawska, Wydział SiMR, Instytut Pojazdów

⁴ Politechnika Radomska, Wydział Mechaniczny, Instytut Eksploatacji Pojazdów i Maszyn, e-mail: walorl@wp.pl

1. WSTĘP

Zastosowanie zastępczych paliw alternatywnych do zasilania ciepłych silników tłokowych o zapłonie samoczynnym ma wpływ na energetyczne, ekonomiczne, a głównie ekologiczne wskaźniki ich pracy [1].

Biotanole paliwa alternatywne posiadają różne właściwości fizykochemiczne od paliw węglowodorowych, co powoduje, że badania silnikowe wymagają dużych dokładności pomiarów celem uzyskania wiarygodnych wyników badań dotyczących procesów przetwarzania, rozpadu strugi paliwa na krople oraz ich procesu spalania [2].

Procesy wtrysku i spalania są złożonymi, okresowo powtarzającymi się, szybkozmiennymi procesami zachodzącymi w przestrzeni nadtłokowej 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 [4].

Problem zastosowania paliw zastępczych wytwarzanych na bazie roślin oleistych i ich estrów oraz ich mieszanin z metanolem lub etanolem występuje w obszarze występowania różnic w procesie tłoczenia i rozpylania paliwa jak również procesu ich spalania w cylindrze silnika [2].

2. CEL BADAŃ

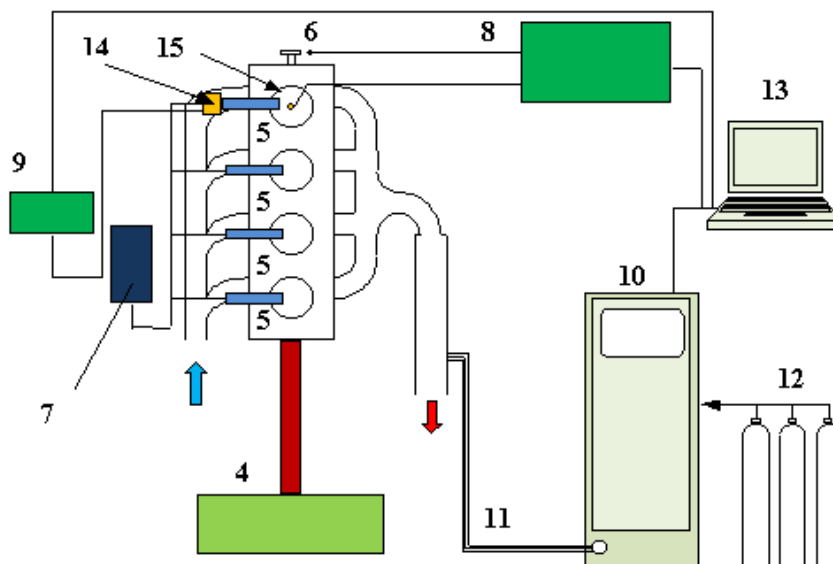
Celem badań była ocena wpływu zasilania silnika PERKINS typ 1100 paliwem węglowodorowym, niskosiarkowym olejem napędowym EKODIESEL PLUS 50B oraz mieszaniną: M1 – 80% ON + 20% Etanolu i M2 – 70% ON + 30% Etanolu na podstawowe parametry procesu wtrysku paliwa i parametry jego rozpylonej strugi. W czasie badań silnik pracował według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej w zakresie prędkości obrotowej wału korbowego od 1000 do 2200 obr/min.

3. STANOWISKO BADAWCZE ORAZ PARAMETRY FIZYKOCHEMICZNE PALIW ZASILAJĄCYCH SILNIK

Silnik Perkins 1104C-44 stosowany jest głównie jako źródło napędu ciągników rolniczych. Poza Unią Europejską i USA stosowany jest również w pojazdach samochodowych. W związku z tym powinien on 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 [7]. Badania przeprowadzono na typowym stanowisku hamownianym [3].

Wyboru paliw zasilających silnik dokonano ze względu na ich dostępność na rynku oraz z uwzględnieniem właściwości fizykochemicznych tj. gęstość, lepkość i napięcie powierzchniowe [4]. Zastosowana do zasilania silnika emulsja M1: była to mieszaniną o składzie objętościowym, 80% oleju napędowego ON + 20% etanolu oraz M2: 70% ON + 30% etanolu.

Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na rys.1. Wybrane właściwości fizykochemiczne zastosowanych paliw zasilających przedstawiono w tabeli 1 zaś w tabeli 2 wartości ośrodka gazowego ze względu na kąt wyprzedzenia wtrysku paliwa.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego [3]

1 – silnik PERKINS 1104-C44; 2 – wlot powietrza; 3 – wylot spalin; 4 – hamulec SCHENCK W450; 5 – wtryskiwacze paliwa Delphi; 6 – rejestrator kąta obrotu wału korbowego; 7 – rozdzielaczowa pompa paliwa z regulatorem mechanicznym BOSCH R927; 8 – kompleksowy system indykowania AVL IndiSmart; 9 - wzmacniacz sygnałów czujników piezokwarcowych; 10 – analizator spalin AVL CEB II; 11 – droga grzana; 12 – zestaw gazów wzorcowych; 13 – komputer pomiarowy wraz z kartą pomiarową, 14 – czujnik ciśnienia w przewodzie wtryskowym, 15 – piezoelektryczny czujnik ciśnienia AVL GH 13P

Tabela 1. Właściwości fizykochemiczne paliw zasilających silnik [7]

PARAMETR	EKODIESEL PLUS 50 B	M1 (80% ON PLUS-50B + 20% Etanolu)	M2 (70% ON PLUS-50B + 30% Etanolu)
Gęstość w 20°C [10^3 kg/m^3]	848	828	823,8
Lepkość kinematyczna w 40°C [$10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$]	2,75	2,27	2,08
Temperatura zapłonu °C (tygiel otwarty)	≥ 120	32	24
Napięcie powierzchniowe $\sigma \cdot 10^{-2} \text{ [N/m]}$	3,74	2,86	2,74

Tabela 2. Wartość ośrodka gazowego ze względu na kąt wyprzedzenia wtrysku paliwa [3]

Kąt wyprzedzenia wtrysku	Wartość kąta przed GMP	Temperatura K	Ciśnienie sprężania max. MPa	Gęstość ośrodka gazowego kg/m ³
12 °OWK	348 °OWK	941	4,05	9,82

4. OPIS METODY BADAŃ

W trakcie sporządzania zewnętrznej charakterystyki prędkościowej silnika w przedziale prędkości obrotowej silnika od 1000-2200 obr/min, rejestrowano [6]: zużycie paliwa, ciśnienie paliwa w przewodzie wtryskowym i ciśnienie w cylindrze oraz wznios iglicy wtryskiwacza. Wykresy indykatorowe zdejmowano za pomocą czujnika piezokwarcowego firmy AVL cechowanego statycznie i dynamicznie w warunkach zbliżonych do warunków rzeczywistych.

Wykorzystując zmierzone wielkości wyznaczano [5]:

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

Po wstępnej analizie wykresów indykatorowych wyznaczono: różnicę ciśnienia ΔP pomiędzy ciśnieniem w rozpylaczu $P_{w,max}$ i ciśnieniem w cylindrze $P_{c,max}$ [2]:

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

gdzie:

$P_{w,max}$ – uśrednione maksymalne ciśnienie wtrysku paliwa [MPa], $P_{c,max}$ – uśrednione maksymalne ciśnienie w cylindrze [MPa],

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 [1]:

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

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 paliwa zależny od konstrukcji rozpylacza.

Obliczenia średniej, krytycznej średnicy kropli d_{kr} , dla badanych paliw prowadzono według zależności zaproponowanej przez Sautera [2]:

$$d_{kr} = \frac{\sigma We_{kr}}{\rho_g u_p^2}, [\mu m] \quad (3)$$

gdzie:

σ - napięcie powierzchniowe, [N/m],

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

We_{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 [2]:

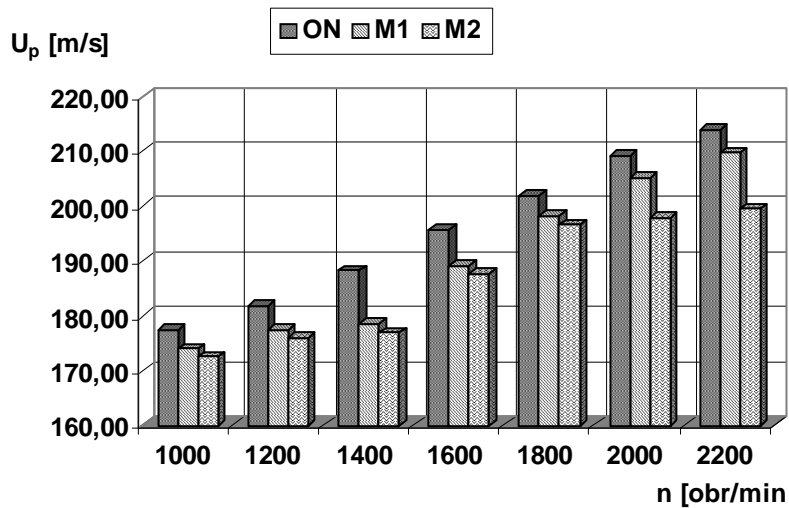
$$t_r = \frac{29 \rho_g d}{(\rho_p \cdot \Delta P)^{1/2}}; [ms] \quad (4)$$

gdzie:

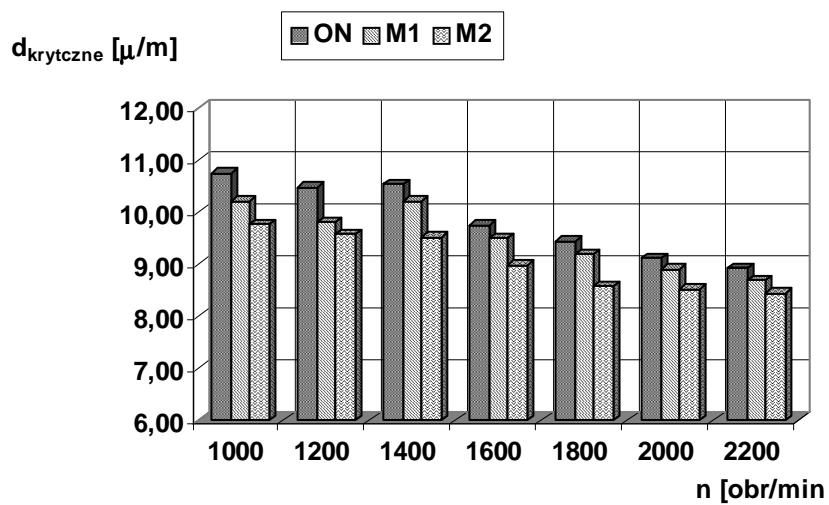
d - średnica otworka rozpylacza – 0,32 mm [3].

5. ANALIZA OTRZYMANYCH WYNIKÓW BADAŃ

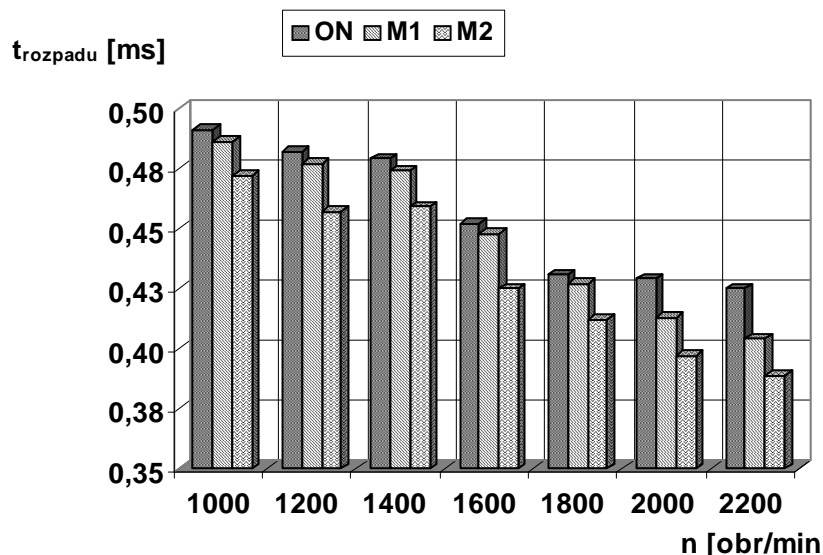
Na rys.2 przedstawiono początkowe prędkości wypływu strumienia paliwa z wtryskiwacza U_p [m/s]. Rys. 3 przedstawia średnie średnice kropeł d_{kr} , [μm] tworzące się przy wypływie paliwa z otworu rozpylacza o stałym przekroju przelotowym, wyznaczone wg. Sautera. Na rys.4 pokazano porównanie czasów rozpadu strug paliw.



Rys. 2. Porównanie początkowej prędkości wypływu paliwa z wtryskiwacza U_p [m/s] w funkcji prędkości obrotowej wału korbowego silnika dla $n=1000\div 2000$ obr/min



Rys. 3. Porównanie średnich krytycznych średnic kropeł d_{kr} [μm] w funkcji prędkości obrotowej wału korbowego silnika dla $n=1000\div 2000$ obr/min



Rys. 4. Porównanie czasów rozpadu $t_{rozpadu}$ [ms] strug paliwa w funkcji prędkości obrotowej wału korbowego silnika dla $n=1000\div 2000$ obr/min

6. WNIOSKI

Na podstawie wyników otrzymanych z przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

- na podstawie badań kilkudziesięciu mieszanek (kompozycji) paliwowych ustalono, że mieszanka oleju napędowego i alkoholu etylowego w warunkach laboratoryjnych (20°C) nie jest stabilna. Bez dodatków uszlachetniających wybrane kompozycje tj. M1, M2, się uzyskać odpowiednio dla składu w temperaturach: +25; +30 i +35°C,
- wszystkie kompozycje mają za niskie temperatury zapłonu odnosząc do wymogów norm: PN-EN 590 (Paliwa do pojazdów samochodowych – Oleje napędowe; temp. zapłonu min. 55°C w tyglu zamkniętym); PN-EN 14214,
- zasilanie silnika dodatkiem etanolu do paliwa Ekodiesel 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, zaś najmniejsze dla emulsji M2. Różnica procentowa pomiędzy nimi wynosi, od 3-6 % co spowodowane było różną gęstością i lepkością badanych paliw,
- badania uśrednionych średnic kropeł paliwa d_{kr} , [μm] wykazały, że mniejsze średnice zapewnia emulsja M2 zaś największe występują dla paliwa węglowodorowego ON całym przedziale prędkości obrotowej silnika. Różnica procentowa pomiędzy nimi

- wynosi, od 5-10 %. Spowodowane jest to różnym ciśnieniem paliwa we wtryskiwaczu oraz różnymi gęstościami, lepkościami i napięciami powierzchniowymi,
- natomiast czasy rozpadu strug badanych paliw okazały się mniejsze dla paliwa dla emulsji M2 zaś największe dla paliwa węglowodorowego ON. Różnica procentowa pomiędzy nimi wynosi od 4-6 %. Spowodowane to również różną wielkością ciśnienia paliwa we wtryskiwaczu oraz różną gęstością, lepkością i napięciem powierzchniowym,
 - celowe jest dalsze prowadzenie badań nad oceną wpływu zasilania silnika zarówno paliwami pochodzenia mineralnego jak i roślinnego na ekonomiczne, energetyczne i ekologiczne wskaźniki pracy silnika,
 - przy ocenie ekonomicznego aspektu stosowania mieszanin paliw węglowodorowych z etanolem celowym jest zmniejszenie kosztów ich wytwarzania i dystrybucji tak, aby ceny tych paliw były porównywalne z cenami paliw pochodzenia węglowodorowego.

7. LITERATURA

- [1] Ambrozik A., Orliński S.: WPŁYW 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.
- [2] Ambrozik A.: Analiza cyklu pracy czterosurowych silników spalinowych. Monografie, Studia, Rozprawy. M-16. Wydaw. Politechniki Świętokrzyskiej. PL ISSN 1897-2691. Kielce 2010.
- [3] Dokumentacja techniczna stanowiska badawczego. Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych. Politechnika Warszawska, Warszawa 2010.
- [4] Kruczyński S., Orliński P., Orliński P.: WPŁYW ZASTOSOWANIA MIESZANIN OLEJU NAPĘDOWEGO, ESTRU FAME Z ETANOLEM NA EKONOMICZNE I EKOLOGICZNE WSKAŹNIKI PRACY SILNIKA PERKINS-1104C-44, Zeszyty naukowe Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej Wydział SiMR, Warszawa, 2 (78)/2010, str.87-102. ISSN 1642-347X.
- [5] Kruczyński S., Orliński P., Orliński P.: WPŁYW MIESZANIN ETANOLU Z OLEJEM NAPĘDOWYM NA EMISJĘ CZĄSTEK STAŁYCH. 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, ISSN 1231-54-78.
- [6] Kruczyński S., Orliński P., Orliński S.: Wpływ zasilania silnika rolniczego o zapłonie samoczynnym paliwami Bio-E-Diesel na wybrane parametry procesu wtrysku, TRANSCOMP – XIV INTERNATIONAL CONFERENCE COMPUTER SYSTEMS AIDED SCIENCE, INDUSTRY AND TRANSPORT, LOGISTYKA 6/2010, ISSN 1231-54-78. Zakopane –grudzień 2010.
- [7] Zakład Produktów Naftowych, WMTiW, Politechnika Radomska. Świadectwa Jakości Paliw, Radom 2010.