

ANDRZEJ AMBROZIK¹
PIOTR ORLIŃSKI²
STANISŁAW ORLIŃSKI³

WPŁYW ZASILANIA SILNIKA ROLNICZEGO Z DODATKIEM BIOBUTANOLU DO OLEJU NAPĘDOWEGO NA WYBRANE PARAMETRY PROCESU WTRYSKU PALIWA

W referacie przedstawiono wyniki badań przebiegu procesu wtrysku oraz rozpylania paliwa na krople w silniku PERKINS 1104C-44 pracującym według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej, zasilanego: mieszankami niskosiarkowego oleju napędowego z biobutanołem oraz porównawczo paliwem EKODIESEL ULTRA B. Pomiarów wykonano na stanowisku hamownianym wyposażonym w system pomiarów wielkości szybkozmiennych. Wykazano, że rodzaj paliwa o różnych właściwościach fizykochemicznych ma istotny wpływ na proces wtrysku oraz rozpylania paliwa. Analiza eksperymentalnie sporządzonych wykresów ciśnienia paliwa w przewodzie wtryskowym i wzniosów iglicy wtryskiwacza umożliwiła wyznaczenie: prędkości wypływu paliwa z rozpylacza oraz długość i rozpad strugi paliwa na krople.

INFLUENCE OF FEEDING OF THE AGRICULTURAL ENGINE WITH THE ADDITION BIOBUTANOL TO THE DIESEL FUEL TO CHOSEN PARAMETERS OF THE PROCESS OF THE FUEL INJECTION

In the paper research findings of the course of the process of injection and spraying fuel to drops in the PERKINS-1104C-44 engine working according to outside characteristics were introduced, powered: with mixtures of low-sulphuric diesel with biobutanol and comparatively fuel EKODIESEL ULTRA B. Measurements were made on the post equipped with the system of measurements of fast-changeable sizes. They demonstrated, that kind of fuel about different 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 enabled the growth of the netting needle of the injector outlining: speeds of the leakage of fuel out of the sprayer and the length and the disintegration of the stream of fuel to drops.

¹ Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Kielce.

² Politechnika Warszawska, Wydział SiMR, Instytut Pojazdów,

³ Politechnika Radomska, Wydział Mechaniczny, Instytut Eksploatacji Pojazdów i Maszyn,

1. WSTĘP

Zasilając silnik spalinowy mieszankami biopaliw z olejem napędowym należy zadawać sobie sprawę iż ich wykorzystanie do zasilania pozwala na zmniejszenie importu i zużycie ropy naftowej. Biopaliwa ciekłe powinny także spełniać kryteria użytkowe stawiane klasycznym paliwom silnikowym. Najistotniejsze wymagania stawiane paliwom alternatywnym i jednocześnie biopaliwom ciekłym to [7, 8]:

- występowanie w dostatecznie dużych ilościach,
- koszt wyprodukowania i dystrybucji porównywalny z paliwami konwencjonalnymi,
- brak konieczności wprowadzania skomplikowanych i kosztownych zmian konstrukcyjnych w silnikach,
- bezpieczeństwo użytkowania silników,
- łatwość magazynowania,
- niska toksyczność samego paliwa oraz produktów jego spalania.

Alkohol butylowy, który został uzyskany poprzez fermentację biomasy nazywany jest biobutanołem. W zależności od kształtu cząsteczki jego izomery noszą nazwy: n-butanol, izobutanol, tert-butanol. Substancja ta w stanie chemicznie czystym nie nadaje się do zasilania silników spalinowych o zapłonie samoczynnym, może jednak wchodzić w skład paliwowych mieszanek z olejem napędowym lub roślinnym, a także z jego estrami [7, 8].

Alkohol butylowy ma stosunkowo niskie ciepło parowania, dlatego też łatwiejsze jest uruchamianie silnika w niskich temperaturach.

Biopaliwa alternatywne z dodatkiem biobutanolu posiadają różne właściwości fizykochemiczne od paliw węglowodorowych, co powoduje, że hamowane badania silnikowe wymagają dużych dokładności i powtarzalności pomiarów celem uzyskania wiarygodnych informacji z wyników badań dotyczących procesów przetwarzania i rozpadu strugi paliwa na krople [1, 2].

Różne właściwości fizykochemiczne mieszanek paliw węglowodorowych z biobutanołem powodują występowanie różnic w procesie przetwarzania, rozpylania paliwa na krople oraz procesie ich spalania w cylindrze silnika [5, 6].

Paliwo przeznaczone do zasilania silników rolniczych o ZS powinno zapewniać [5, 6]:

- prawidłowe funkcjonowanie całego układu zasilania, w tym szczególnie zespołu wtryskowego (aparatury wtryskowej),
- prawidłowy - efektywny proces spalania,
- tworzenie możliwie jak najmniej szkodliwych składników toksycznych spalin.

2. CEL BADAŃ

Celem badań była ocena wpływu zasilania silnika PERKINS-1104C-44 paliwem węglowodorowym, niskosiarkowym olejem napędowym EKODIESEL ULTRA B (opisywany w artykule jako ON) oraz trzema mieszankami: MBT-1 (90% ON + 10% biobutanolu), MBT-2 (80% ON + 20% biobutanolu) i MBT-3 (70% ON + 30% biobutanolu) na wybrane 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.

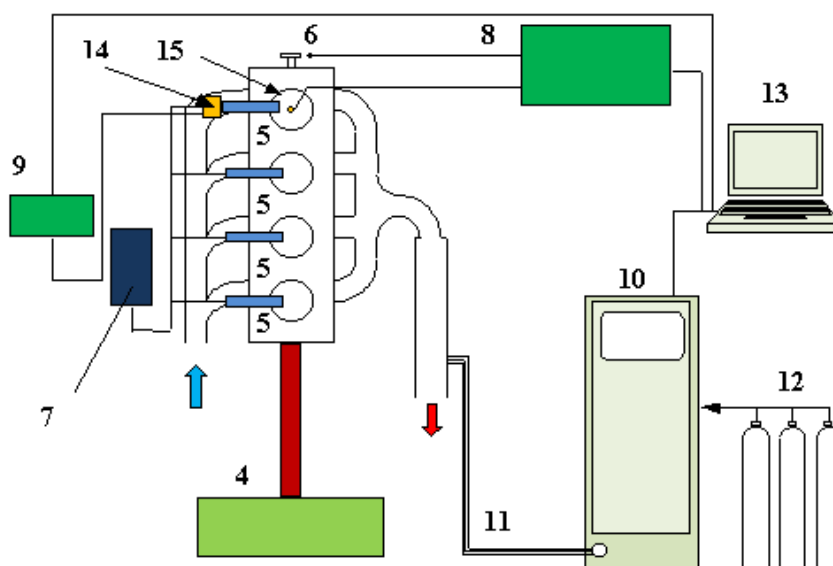
3. STANOWISKO BADAWCZE ORAZ PARAMETRY FIZYKOCHEMICZNE MIESZANEK ZASILAJĄCYCH SILNIK

Silnik Perkins 1104C-44 został wyprodukowany w 2007 roku i stosowany jest głównie jako źródło napędu ciągników rolniczych. W związku z tym spełnia on normy dotyczące emisji składników toksycznych spalin EU Stage II w wersji G, która dotyczy silników o zastosowaniach poza drogowych (Nonroad Diesel Engines) o mocy efektywnej z przedziału $37 \leq P < 75$ kW [7].

Badania mieszanek paliwowych przeprowadzono na typowym stanowisku hamownianym wyposażonym w system do pomiarów parametrów szybko i wolnozmiennych [3].

Ich wybór dokonano ze względu na ich dostępność na rynku oraz z uwzględnieniem właściwości fizykochemicznych tj. gęstość, lepkość oraz napięcia powierzchniowego [4].

Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na rys. 1. Wybrane właściwości fizykochemiczne czterech badanych mieszanek paliwowych wpływających na proces wtrysku paliwa pokazano w tabeli 1.



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. Wybrane właściwości fizykochemiczne mieszanek zasilających silnik [9]

PARAMETR	EKODIESEL ULTRA B	MBT-1 (90% ON + 10% Biobutanolu)	MBT-2 (80% ON + 20% Biobutanolu)	MBT-3 (80% ON + 30% Biobutanolu)
Gęstość w 20°C [10 ³ kg/m ³]	840	834	824	818,8
Lepkość kinematyczna w 40°C [10 ⁻⁶ m ² /s]	2,75	2,57	2,38	2,15
Napięcie powierzchniowe $\sigma \cdot 10^{-2}$ [N/m]	3,74	3,12	2,89	2,72

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, ciśnienie w cylindrze oraz wznios iglicy wtryskiwacza. Wykresy indykatorem zdejmowano za pomocą czujnika piezokwarcowego firmy AVL cechowanego statycznie i dynamicznie w warunkach zbliżonych do warunków rzeczywistych.

Wykorzystując zmierzone wielkości wyznaczano [3]:

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

Po wstępnej analizie wykresów indykatorem wyznaczono: różnicę ciśnienia Δp pomiędzy ciśnieniem w rozpylaczu $p_{w,max}$ i ciśnieniem w cylindrze $p_{c,max}$ [4]:

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

gdzie:

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

Zasięg strugi paliwa zależał 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 zależny od konstrukcji rozpylacza.

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

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

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 , można obliczyć z zależności [4]:

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

gdzie:

d - średnica otworka rozpylacza – 0,32 mm [4].

Według Hiroyasu zasięg strugi można wyrazić zależnościami:

S_1 - zasięg strugi paliwa pierwotny,

S_2 - zasięg strugi paliwa wtórny.

Dla $t \leq t_r$,

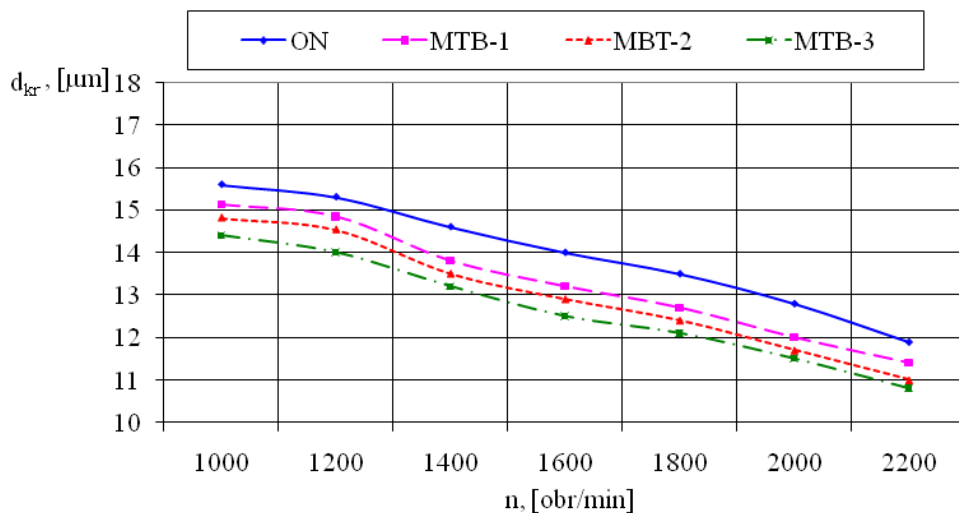
$$S_1 = 0,39 \left(\frac{2\Delta p}{\rho_p} \right)^{1/2} t; [mm] \quad (5)$$

Dla $t > t_r$,

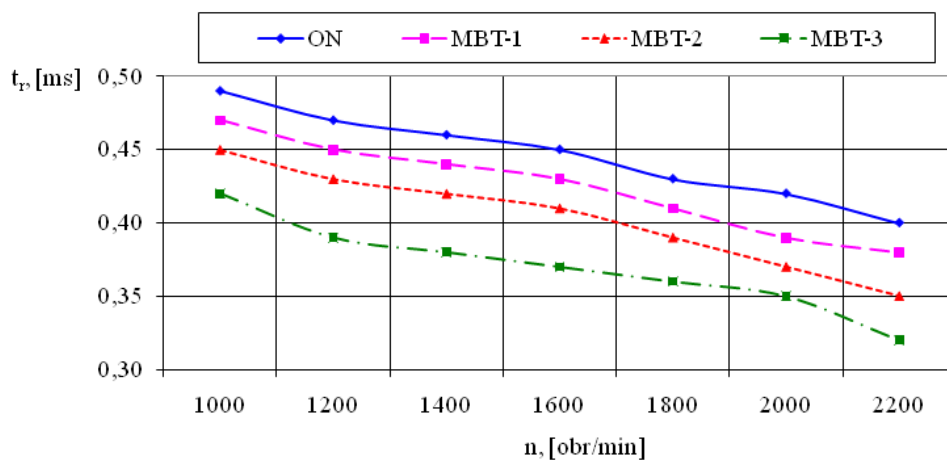
$$S_2 = 2,95 \left(\frac{\Delta p}{\rho_g} \right)^{1/4} (d \cdot t)^{1/2}; [mm]$$

5. GRAFICZNE PORÓWNANIE WYBRANYCH WYNIKÓW BADAŃ

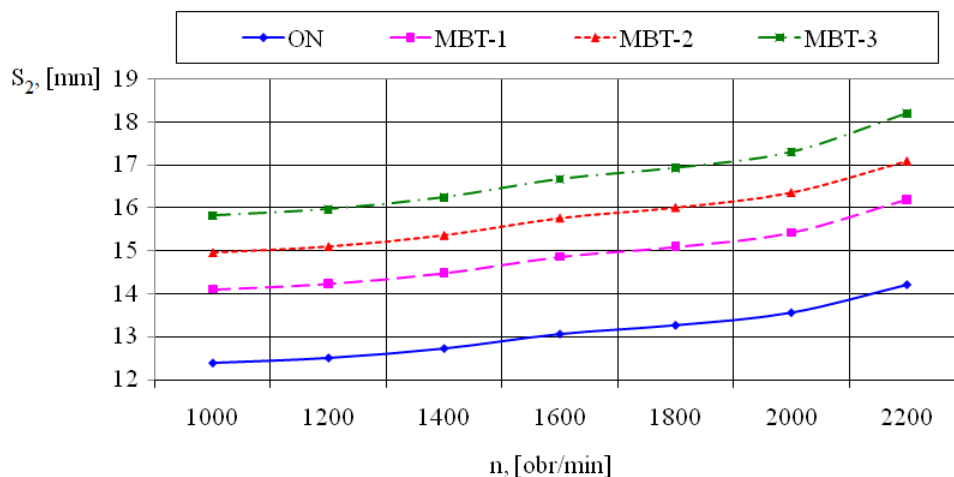
Rys. 2 przedstawia średnie średnice kropeł d_{kr} , [μm] tworzące się przy wypływie paliwa z otworu rozpylacza o stałym przekroju przelotowym, wyznaczone wg. Sautera. Na rys. 3 pokazano porównanie czasów rozpadu strug paliw natomiast na rys. 4 ukazuje porównanie zasięgu strugi wtórnej S_2 .



Rys. 2. Porównanie średnich krytycznych średnic kropeł d_{kr} [μm] w funkcji prędkości obrotowej wału korbowego silnika dla $n=1000\div 2200$ obr/min - charakterystyka zewnętrzna



Rys. 3. Porównanie czasów rozpadu t_r [ms] strug paliwa w funkcji prędkości obrotowej wału korbowego silnika dla $n=1000\div 2000$ obr/min - charakterystyka zewnętrzna



Rys. 4. Porównanie zasięgu strugi wtórnej rozpylonego paliwa S_2 [mm] w funkcji prędkości obrotowej wału korbowego silnika dla $n=1000\div 2200$ obr/min – charakterystyka zewnętrzna

6. WNIOSKI

Na podstawie wyników badań procesu wtrysku paliwa oraz ich analizy można sformułować następujące wnioski:

- na podstawie badań kilkudziesięciu mieszanek (kompozycji) paliwowych ustalono, że mieszanka oleju napędowego i biobutanolu w warunkach laboratoryjnych jest stabilna,
- 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 590 2010,
- zasilanie silnika dodatkiem biobutanolu do paliwa EKODIESEL ULTRA B powoduje nieznaczny spadek maksymalnego ciśnienia w przewodzie wtryskowym wynoszący maksymalnie 7% (im więcej biobutanolu jako dodatku tym spadek jest większy) we wszystkich badanych punktach pracy silnika,
- badania uśrednionych średnic kropeł paliwa d_{kr} , [μm] wykazały, że mniejsze średnice zapewnia emulsja MBT-3 zaś największe występują dla paliwa węglowodorowego ON w całym przedziale prędkości obrotowej silnika. Różnica procentowa pomiędzy nimi wynosi, od 7% do 9,5%. Spowodowane jest to różnicami ciśnienia paliwa we wtryskiwaczu oraz innymi gęstościami, lepkościami i napięciami powierzchniowymi,
- czasy rozpadu strug badanych paliw okazały się mniejsze dla paliwa dla emulsji MBT-3 zaś największe dla paliwa węglowodorowego ON. Różnica procentowa pomiędzy nimi wynosi od 14,5% aż do 19%. Spowodowane to jest różną gęstością, lepkością i napięciem powierzchniowym co ma wpływ na ciśnienia paliwa w układzie zasilania.
- zasięg wtórny strugi S_2 rozpylonego paliwa okazał się największy dla mieszanki MBT-3 zaś najmniejszy dla paliwa węglowodorowego ON. Różnica procentowa pomiędzy nimi wynosi od 18% do 20%. Spowodowane jest to mniejszymi średnicami kropeł

- paliwa oraz czasami ich rozpadu, na co wpływa różna gęstość, lepkość oraz napięcie powierzchniowe,
- celowe jest dalsze prowadzenie badań nad oceną wpływu zasilania silnika zarówno paliwami pochodzenia mineralnego jak i roślinnego na proces wtrysku i później spalania co ma wpływ na wskaźniki operacyjne pracy silnika,
 - przy ocenie ekonomicznego aspektu stosowania mieszanek paliw węglowodorowych z biobutanołem 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 Świętorzyskiej. PL ISSN 1897-2691. Kielce 2010.
- [3] Dokumentacja techniczna stanowiska badawczego. Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych. Politechnika Warszawska, Warszawa 2010.
- [4] Kowalewicz A.: Wybrane zagadnienia samochodowych silników spalinowych, Wydawnictwo WSI Radom, Radom 1996.
- [5] 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.
- [6] Kruczyński S.W.: Problemy eksploatacji silników spalinowych zasilanych paliwami zawierającymi komponenty pochodzenia roślinnego, Wydawnictwo ZN Politechnika Warszawska Instytut Pojazdów, Warszawa 2007.
- [7] Roszkowski A.: 2002. Liquid biofuels : actual chances and perspectives for the future. Mat. III Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Ekologia i technika rolnicza” Rosyjska Akademia Nauk Rolniczych. Saint Petersburg June, 5-6 , T. III.
- [8] Roszkowski A. Płynne paliwa z biomasy roślinnej. Materiały VIII Konferencji Naukowo-Technicznej „Ogólnopolskie Forum Odnawialnych Źródeł Energii. Warszawa 28-30.10.2002.
- [9] Zakład Produktów Naftowych, WMTiW, Politechnika Radomska. Świadczenia Jakości Paliw, Radom 2010.