

EFFECT OF LOAD AND FUEL TYPE ON FAST-CHANGING QUANTITIES IN SELF-IGNITION ENGINE

Andrzej Ambrozik, Dariusz Kurczyński

Technical University of Kielce
Aleja Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, Poland
tel.: +41 3424344, fax: +41 3424517
e-mail: silspal@tu.kielce.pl

Abstract

Increasingly strict standards for exhaust emissions in piston combustion engines force manufacturers and users to seek and apply different means to meet those standards.

The effect of the type of fuel on the pattern of engine fast-changing quantities such as the pressure of the working medium in the cylinder, fuel pressure in the injection pipe and the injector needle lift is discussed in the paper. In test bench investigations, the self-ignition engine of AD3.152 UR type operated in the load characteristics regime for the crankshaft rotational speeds 1400 and 2000 rpm and was fuelled by Ekodiesel Ultra D diesel oil (DO), rapeseed oil fatty acid methyl esters FAME and blends of the two fuels which had 20% and 30% ester content, i.e. B20 and B30. On the basis of fast-changing quantities diagrams obtained, selected parameters of fuel injection and combustion processes in the engine under consideration were computed.

It is shown in the paper that fuel injection and combustion start in the engine fuelled by rapeseed oil fatty acid methyl esters FAME or blends B20 and B30 occur a little earlier than when it is fuelled by diesel oil. When the engine operating in the load characteristics regime is fuelled by FAME or blends with diesel oil, slightly higher values of the maximum pressure in the cylinder and fuel pressure in the injection pipe are obtained. It is demonstrated that in the engine fuelled by FAME or B20 and B30, the injection advance angle should be slightly delayed in comparison with the manufacturer's setting for the engine fuelled by diesel oil.

Keywords: piston combustion engine, fast-changing quantities, indicator diagram, engine fuels, engine control parameters

WPŁYW OBCIĄŻENIA I RODZAJU PALIWA ZASILAJĄCEGO SILNIK O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM NA JEGO WIELKOŚCI SZYBKOSMIENNE

Streszczenie

Wprowadzanie dla tłokowych silników spalinowych coraz bardziej rygorystycznych norm emisji spalin, wymusza na ich producentach i użytkownikach poszukiwanie i stosowanie różnych środków zapewniających spełnienie tych norm.

W artykule przedstawiono wpływ rodzaju paliwa na przebiegi wielkości szybkozmiennych silnika takich jak: ciśnienia czynnika roboczego w cylindrze, ciśnienia paliwa w przewodzie wtryskowym i wzniosu iglicy wtryskiwacza. Podczas badań hamownianych silnik o zapłonie samoczynnym typu AD3.152 UR pracował według charakterystyk obciążeniowych przy prędkościach obrotowych wału korbowego 1400 i 2000 obr/min i zasilany był olejem napędowym Ekodiesel Ultra D (ON), estrami metylowymi kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME i mieszaninami tych paliw o zawartości estrów 20% i 30%, tj. B20 i B30. Na podstawie wyznaczonych przebiegów wielkości szybkozmiennych obliczono wybrane parametry procesu wtrysku paliwa i procesu spalania w badanym silniku.

W pracy wykazano, że wtrysk paliwa i początek spalania, w przypadku zasilania silnika estrami metylowymi oleju rzepakowego FAME i paliwami B20 oraz B30, następował nieznacznie wcześniej niż w przypadku zasilania go olejem napędowym. Zasilając silnik pracujący według charakterystyk obciążeniowych, estrami FAME oraz ich mieszaninami z olejem napędowym, uzyskiwano nieznacznie większe maksymalne wartości ciśnienia w cylindrze oraz ciśnienia paliwa w przewodzie wtryskowym. Wykazano, że przy zasilaniu silnika paliwem FAME oraz paliwami B20 i B30, należy nieznacznie opóźnić kąt wyprzedzenia wtrysku paliwa w stosunku do ustawienia fabrycznego, określonego przy zasilaniu silnika olejem napędowym.

Słowa kluczowe: tłokowy silnik spalinowy, wielkości szybkozmiennne, wykres indykatorowy, paliwa silnikowe, parametry regulacyjne silnika

1. Wprowadzenie

Jednym z paliw alternatywnych, które można stosować do zasilania tłokowych silników spalinowych są paliwa roślinne. Ze względu na ograniczone możliwości produkcyjne nie będą one mogły całkowicie zastąpić obecnie stosowanych paliw. Mogą jednak stać się uzupełnieniem zwiększającego się zapotrzebowania na paliwa silnikowe.

Do zasilania silników o zapłonie samoczynnym stosować można paliwa roślinne w postaci: czystych olejów roślinnych, ich mieszanin z olejem napędowym, w postaci estrów kwasów tłuszczowych olei roślinnych lub ich mieszanin z olejem napędowym. Oleje roślinne są mieszaninami estrów gliceryny i kwasów tłuszczowych zawierających w cząsteczkach od 14 do 24 atomów węgla [13]. W różnych państwach na Świecie, w zależności od warunków klimatycznych w nich panujących, podejmowane są próby zastosowania różnego rodzaju olejów roślinnych do otrzymywania paliw silnikowych [4-8, 11-12]: oleju rzepakowego, oleju sojowego, oleju słonecznikowego, oleju palmowego, oleju lnianego, oleju arachidowego, oleju bawełnianego.

W Polsce, ze względu na warunki klimatyczne możliwe jest wykorzystanie jako paliwa oleju rzepakowego. Współczesne silniki spalinowe nie mogą być bez przeszkód zasilane olejami roślinnymi w postaci czystej. Przyczyną tego są znacznie różne własności fizykochemiczne oleju napędowego i oleju roślinnego. Oleje roślinne można zastosować do zasilania silników o zapłonie samoczynnym tylko po ich przystosowaniu, tj. po wprowadzeniu odpowiednich zmian konstrukcyjnych i modyfikacjach układu zasilania. Olej rzepakowy składa się z dużych i ciężkich cząsteczek. W wyniku procesu transestryfikacji triglicerydów oleju rzepakowego metanolem uzyskuje się mieszaninę estrów metylowych oleju rzepakowego o mniejszych cząsteczkach, znacznie mniejszej lepkości i lepszej lotności [9]. Wpływa to na poprawę tworzenia mieszanki paliwowo-powietrznej i przebiegu procesu spalania w silniku. Estry w porównaniu z surowym olejem charakteryzują się niższą temperaturą mętnienia i krzepnięcia i zawierają znacznie mniej związków powodujących tworzenie osadów w komorze spalania.

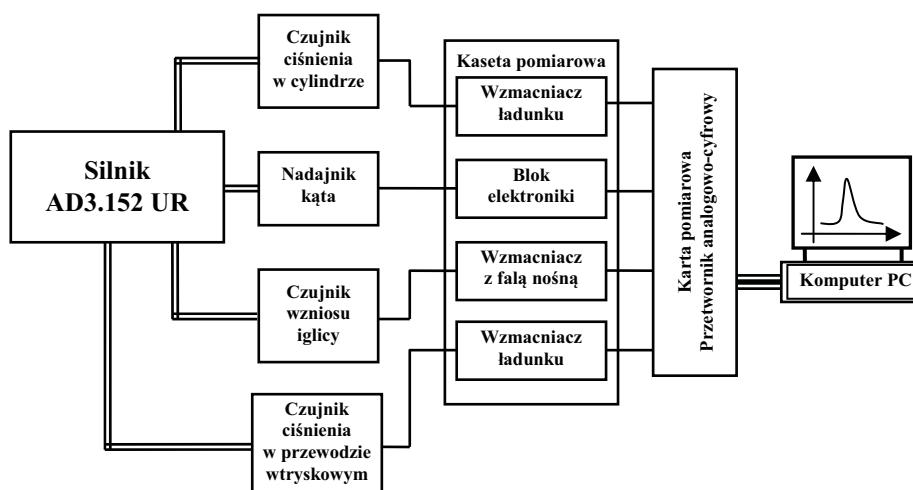
2. Cel, zakres i metodyka badań

Badania eksperymentalne, których wyniki przedstawiono w niniejszej pracy wykonano na hamowni silnikowej. Podczas badań silnik o zapłonie samoczynnym AD3.152 UR pracował według charakterystyk obciążeniowych przy prędkościach obrotowych wału korbowego wynoszących 1400 i 2000 obr/min i zasilany był różnymi paliwami. Celem badań było określenie wpływu zastosowania estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME i ich mieszanin z olejem napędowym, na przebiegi wielkości szybkozmiennych badanego silnika: ciśnienia czynnika roboczego w cylindrze, ciśnienia paliwa w przewodzie wtryskowym i wznios iglicy wtryskiwacza oraz na wybrane parametry procesu wtrysku paliwa i procesu spalania. W każdym punkcie pomiarowym, w ustalonych warunkach pracy silnika rejestrowano przebiegi ciśnienia w cylindrze silnika, ciśnienia paliwa w przewodzie wtryskowym i wznios iglicy wtryskiwacza dla kolejnych pięćdziesięciu cykli jego pracy w funkcji kąta obrotu wału korbowego. Do wyznaczenia wybranych parametrów procesu wtrysku i procesu spalania wykorzystano wyżej wymienione przebiegi, uśrednione z pięćdziesięciu kolejnych cykli pracy silnika. Badania hamowniane silnika AD3.152 UR przeprowadzono dla fabrycznego ustawienia statycznego kąta wyprzedzenia wtrysku paliwa wynoszącego 17°OWK.

3. Obiekt badań i stanowisko badawcze

Badania przeprowadzono na stanowisku hamownianym, w skład którego wchodził badany silnik AD3.152 UR, hamulec wodny i szafa kontrolno-pomiarowa, służąca do sterowania stanowiskiem i pozwalająca na odczyt wskaźników pracy silnika i hamulca [1, 2]. Silnik AD3.152 UR jest trzycylindrowym silnikiem o zapłonie samoczynnym, w którym paliwo

bezpośrednio wtryskiwane jest czterootworkowym rozpylaczem do komory spalania usytuowanej w denku tłoka. Badany silnik wyposażony był w układ zasilania z rozdzielaczową pompą wtryskową typu DPA. Stanowisko wyposażone było w system do pomiaru wielkości szybkozmiennych: ciśnienia czynnika robczego w cylindrze silnika, ciśnienia paliwa w przewodzie wtryskowym i wzniosu iglicy wtryskiwacza. Schemat tego systemu przedstawiono na Rys. 1.



Rys. 1. Schemat blokowy systemu pomiarowego parametrów szybkozmiennych tłokowego silnika spalinowego o zapłonie samoczynnym wykorzystany do przeprowadzenia badań [3]

Fig. 1. Block diagram of the measurement system for fast-changing parameters in the self-ignition piston internal combustion engine used for tests [3]

Zastosowany podczas badań system pomiarowy składał się z czterech torów pomiarowych: toru pomiarowego ciśnienia w komorze spalania, toru pomiarowego ciśnienia w przewodzie wtryskowym, toru pomiarowego wzniosu iglicy wtryskiwacza, toru dekodera kąta obrotu wału korbowego [10]. Tor pomiarowy ciśnienia w komorze spalania składał się z czujnika piezokwarcowego QC34D firmy AVL Austria chłodzonego cieczą, przewodów łączących i wzmacniacza ładunku typu CL 111 firmy ZEPWN Marki. Elementami toru pomiarowego ciśnienia paliwa w przewodzie wtryskowym były: czujnik piezokwarcowy typu CL 31 firmy ZEPWN Marki, przewody łączące i wzmacniacz ładunku typu CL 111. Zastosowane w tych torach pomiarowych czujniki piezokwarcowe przetwarzają sygnał ciśnienia na ładunek elektryczny. W skład toru pomiarowego wzniosu iglicy wtryskiwacza wchodził indukcyjny czujnik przemieszczeń typu CL 80 firmy ZEPWN Marki, przewody łączące i wzmacniacz z falą nośną typu CL 104F firmy ZEPWN Marki. Wielkości mierzone przez wyżej wymienione czujniki rejestrowano w funkcji kąta obrotu wału korbowego. W systemie pomiarowym umożliwia to tor pomiarowy kąta obrotu wału korbowego, w skład którego wchodzi przetwornik obrotowo-impulsowy PFI60 firmy INTROL Poznań oraz układ znakowania i synchronizacji położenia wału korbowego firmy ZEPWN Marki, który inicjuje pojedynczy impuls rozpoczynający pomiary i generujący co pewien, określony kąt $\Delta\alpha$, ciąg impulsów wyzwalających pojedyncze pomiary.

4. Paliwa zasilające silnik podczas badań

W badaniach eksperymentalnych zastosowano do zasilania silnika dwa podstawowe różnego pochodzenia paliwa: paliwo węglowodorowe - olej napędowy Ekodiesel Ultra D i paliwo roślinne - estry metylowe kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME. Podstawowe własności fizykochemiczne wymienionych paliw przedstawiono w Tab. 2. Olej napędowy Ekodiesel Ultra D

prokowany przez Polski Koncern Naftowy Orlen S.A. jest paliwem węglowodorowym przeznaczonym do zasilania szybkoobrotowych silników o zapłonie samoczynnym, spełniającym wymagania normy PN-EN 590:2005 [14, 17]. Wykorzystane do badań estry metylowe kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego, produkowane są w Rafinerii Trzebinia S.A.. Jest to paliwo otrzymywane w procesie transestryfikacji oleju rzepakowego metanolem, spełniające wymagania normy PN-EN 14214 [15, 16], określającej wymagania dla estrów metylowych kwasów tłuszczowych stosowanych jako biopaliwo lub jako dodatek do olei napędowych. Badania prowadzono również przy zasilaniu silnika następującymi mieszaninami paliwa węglowodorowego i roślinnego:

- 20% (V/V) estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME + 80% (V/V) oleju napędowego Ekodiesel Ultra D → oznaczono B20,
- 30% (V/V) estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME + 70% (V/V) oleju napędowego Ekodiesel Ultra D → oznaczono B30.

Tab. 1. Podstawowe właściwości fizykochemiczne paliw silnikowych wykorzystanych w badaniach [16, 17]
Tab. 1. Basic physical and chemical properties of engine fuels used in investigations [16, 17]

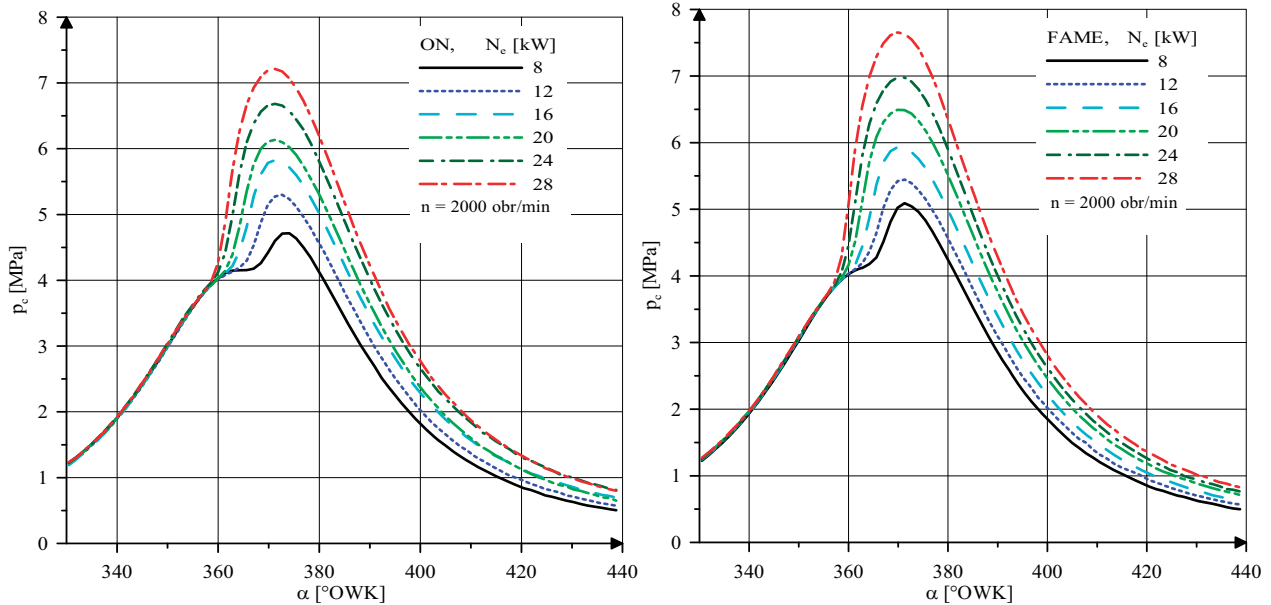
Parametr	Olej napędowy Ekodiesel Ultra D	Paliwo roślinne FAME
Liczba cetanowa	51,4	51
Wartość opałowa, MJ/kg	43,2	36,7
Gęstość w temperaturze 15°C, g/cm ³	0,8354	0,883
Lepkość kinematyczna, mm ² /s (~40°C)	2,64	4,47
Temperatura zapłonu, °C	63	pow. 130
Temperatura mętnienia, °C	-17	-2
Temperatura zablokowania zimnego filtra, °C	-23	-14
Przeciętny skład elementarny, %:		
C	87,2	76,8
H	12,7	12,1
O	0	11
Zawartość siarki S, mg/kg	9	8,1
Zawartość wody, mg/kg	43,8	113
Zawartość zanieczyszczeń stałych, mg/kg	5	18

5. Wyniki badań

W czasie badań silnika AD3.152 UR, pracującego w różnych warunkach prędkościowo-obciążeniowych i przy zasilaniu go olejem napędowym, estrami metylowymi oleju rzepakowego i mieszaninami tych paliw, dokonywano pomiarów ciśnienia w cylindrze silnika w funkcji kąta obrotu wału korbowego. Na Rys. 2 pokazano wykresy ciśnienia w cylindrze p_c silnika AD3.152 UR pracującego według charakterystyki obciążeniowej wykonanej dla prędkości obrotowej 2000 obr/min i przy zasilaniu go olejem napędowym Ekodiesel Ultra D oraz estrami metylowymi kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME. Z przedstawionych wykresów wynika, że przy zasilaniu silnika estrami uzyskiwano wyższe maksymalne wartości ciśnienia procesu spalania niż przy zasilaniu go olejem napędowym.

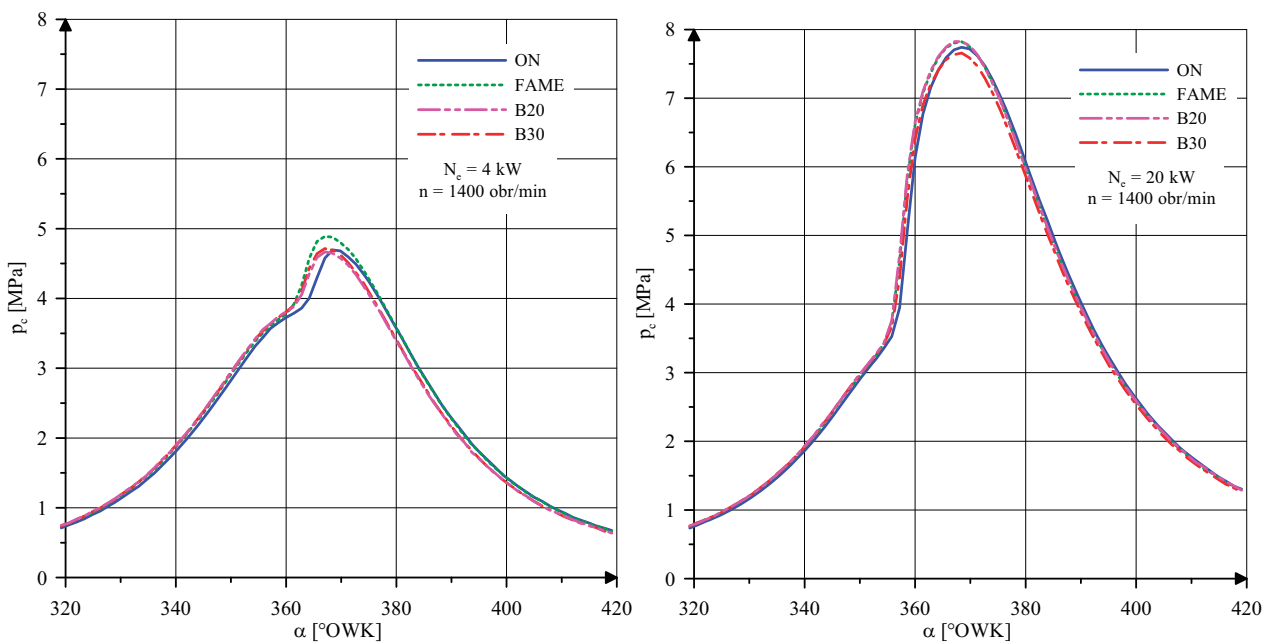
Na Rys. 3-4 przedstawiono porównanie przebiegów ciśnienia czynnika roboczego w cylindrze silnika AD3.152 UR pracującego według charakterystyk obciążeniowych, wyznaczonych dla prędkości obrotowych 1400 i 2000 obr/min, przy zasilaniu go olejem napędowym Ekodiesel Ultra D, estrami metylowymi kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME i paliwami B20

i B30. Krzywe obrazujące przebieg ciśnienia w cylindrze silnika podczas procesu sprężania i rozprężania przy zasilaniu silnika estrami i paliwami B20, B30 są przesunięta w lewo w stosunku do odpowiednich krzywych przedstawiających zmianę ciśnienia przy zasilaniu silnika olejem napędowym. Świadczy to o tym, że przy zasilaniu silnika estrami oraz paliwami B20 i B30, przy tym samym ustawieniu kąta wyprzedzenia wtrysku paliwa, nieco wcześniej następuje samozapłon mieszanki paliwowo-powietrznej niż przy zasilaniu silnika olejem napędowym.



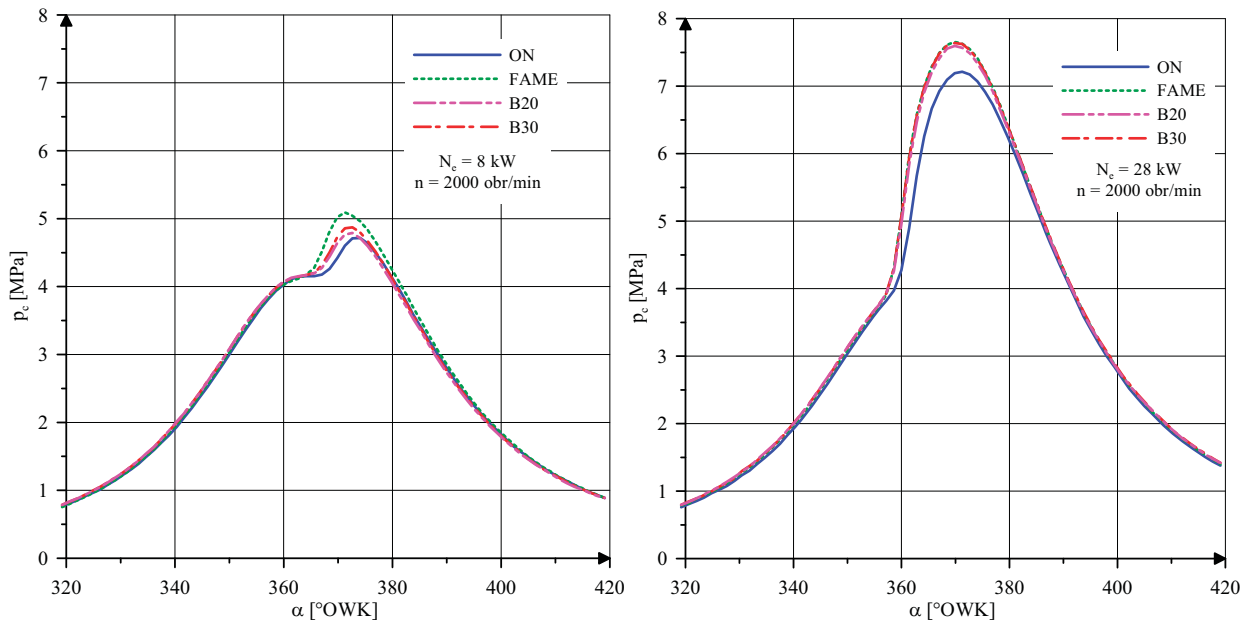
Rys. 2. Przebiegi ciśnienia w cylindrze p_c silnika AD3.152 UR pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej 2000 obr/min, przy zasilaniu go olejem napędowym Ekodiesel Ultra D i estrami metylowymi kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME

Fig. 2. Pressure patterns in the p_c cylinder of AD3.152 UR engine operating in the load characteristics regime at the rotational speed 2000 rpm and fuelled by Ekodiesel Ultra D diesel oil and Rapeseed Oil Fatty Acid Methyl Esters FAME



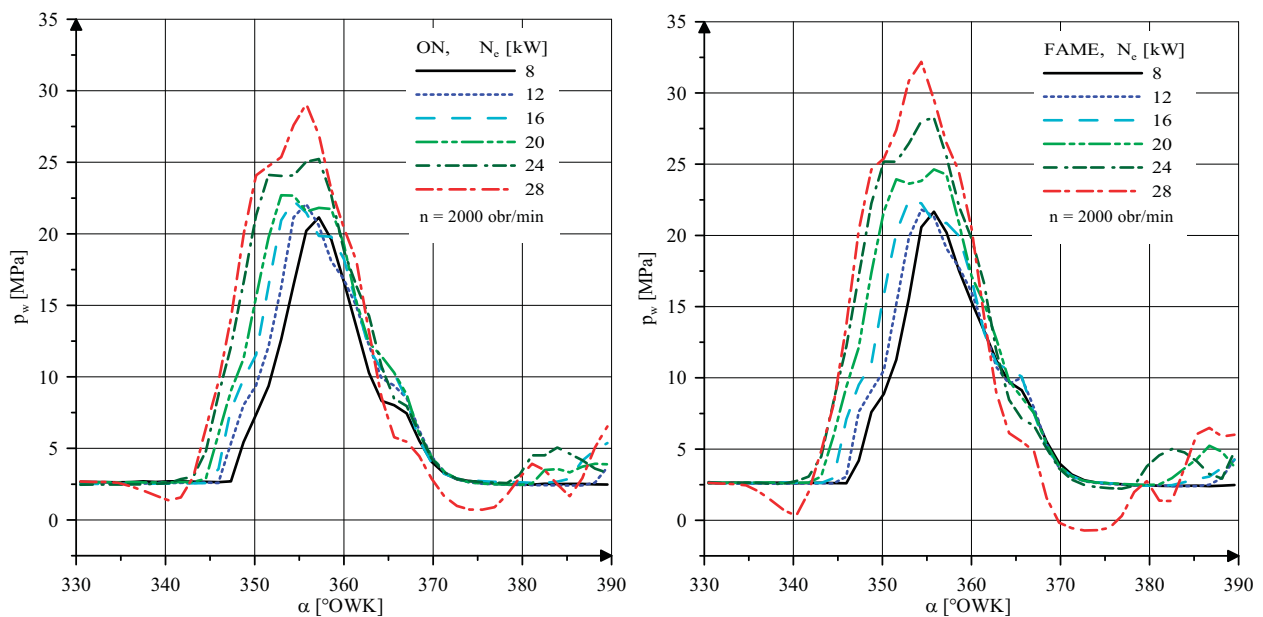
Rys. 3. Porównanie przebiegów ciśnienia w cylindrze p_c silnika AD3.152 UR pracującego według charakterystyki obciążeniowej przy prędkości obrotowej 1400 obr/min i zasilaniu go paliwami: ON, FAME, B20 i B30

Fig. 3. Comparison of pressure patterns in the p_c cylinder of AD3.152 UR engine operating in the load characteristics regime at the rotational speed 1400 rpm, fuelled by DO, FAME, B20 and B30



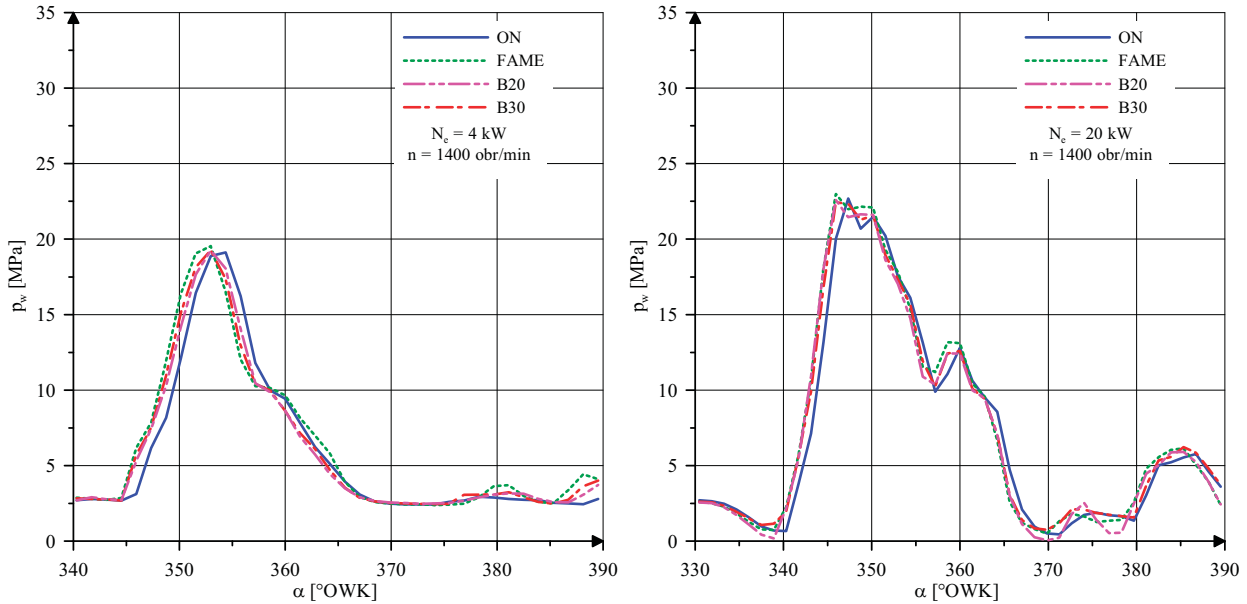
Rys. 4. Porównanie przebiegów ciśnienia w cylindrze p_c silnika AD3.152 UR pracującego według charakterystyki obciążeniowej przy prędkości obrotowej 2000 obr/min i zasilaniu go paliwami: ON, FAME, B20 i B30
 Fig. 4. Comparison of pressure patterns in the p_c cylinder of AD3.152 UR engine operating in the load characteristics regime at the rotational speed 2000 rpm, fuelled by DO, FAME, B20 and B30

Na Rys. 5 pokazano przebiegi ciśnienia paliwa w przewodzie wtryskowym p_w silnika AD3.152 UR pracującego według charakterystyki obciążeniowej wykonanej dla prędkości obrotowej 2000 obr/min, przy zasilaniu go olejem napędowym Ekodiesel Ultra D i estrami metylowymi kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME. Ze wzrostem obciążenia silnika rosną maksymalne ciśnienia paliwa w przewodzie wtryskowym. Z przedstawionych wykresów można zauważyć, że przy zasilaniu badanego silnika estrami metylowymi oleju rzepakowego FAME, uzyskiwano wyższe maksymalne wartości ciśnienia w przewodzie wtryskowym niż przy jego zasilaniu olejem napędowym.



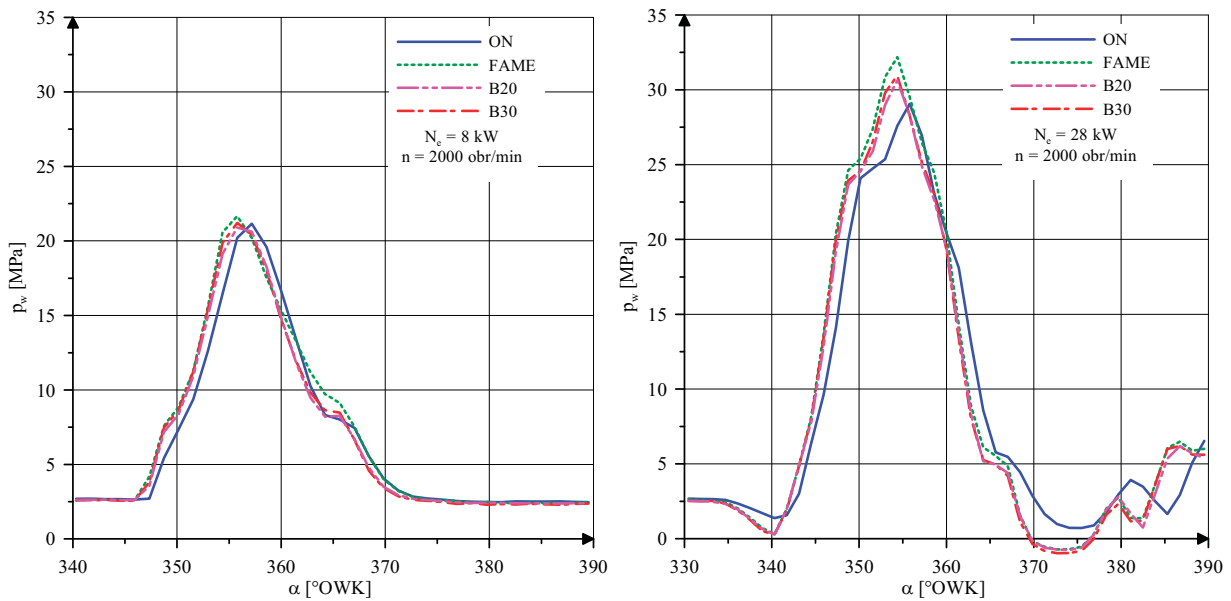
Rys. 5. Przebiegi ciśnienia paliwa w przewodzie wtryskowym p_w silnika AD3.152 UR pracującego według charakterystyki obciążeniowej przy prędkości obrotowej 2000 obr/min i zasilaniu go paliwami: ON i FAME
 Fig. 5. Fuel pressure patterns in the p_w injection pipe of AD3.152 UR engine operating in the load characteristics regime at the rotational speed 2000 rpm and fuelled by DO and FAME

Rys. 6-7 przedstawiają porównanie przebiegów ciśnienia paliwa w przewodzie wtryskowym p_w silnika AD3.152 UR pracującego według charakterystyk obciążeniowych wykonanych dla prędkości obrotowych 1400 i 2000 obr/min, przy zasilaniu go olejem napędowym Ekodiesel Ultra D, estrami metylowymi kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME i mieszaninami B20 i B30. W przypadku zasilania silnika paliwami: FAME, B20 i B30 przyrost ciśnienia paliwa w przewodzie wtryskowym ma miejsce wcześniej niż przy jego zasilaniu olejem napędowym. Maksymalne wartości ciśnienia w przewodzie wtryskowym przy zasilaniu silnika estrami są większe niż przy zasilaniu go olejem napędowym.



Rys. 6. Porównanie przebiegów ciśnienia paliwa w przewodzie wtryskowym p_w silnika AD3.152 UR pracującego według charakterystyki obciążeniowej przy prędkości obrotowej 1400 obr/min i zasilaniu go paliwami: ON, FAME, B20 i B30

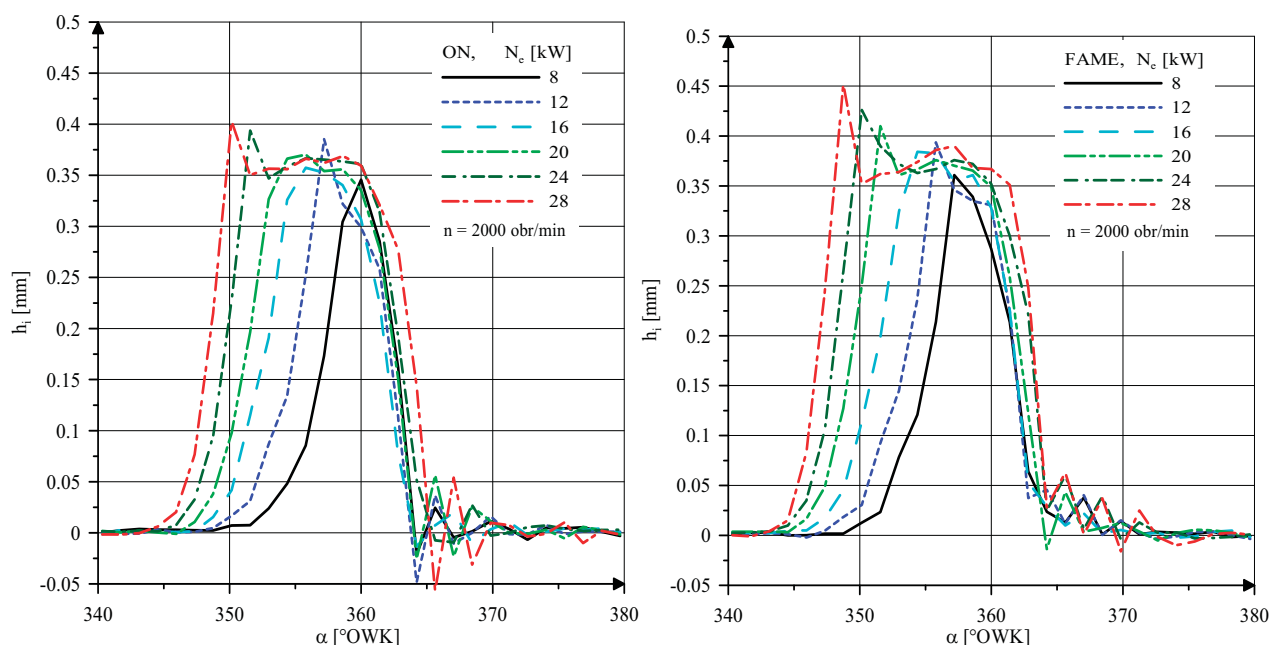
Fig. 6. Comparison of fuel pressure patterns in the p_w injection pipe of AD3.152 UR engine operating in the load characteristics regime at the rotational speed 1400 rpm, fuelled by DO, FAME, B20 and B30



Rys. 7. Porównanie przebiegów ciśnienia paliwa w przewodzie wtryskowym p_w silnika AD3.152 UR pracującego według charakterystyki obciążeniowej przy prędkości obrotowej 2000 obr/min i zasilaniu go paliwami: ON, FAME, B20 i B30

Fig. 7. Comparison of fuel pressure patterns in the p_w injection pipe of AD3.152 UR engine operating in the load characteristics regime at the rotational speed 2000 rpm, fuelled by DO, FAME, B20 and B30

Podczas badań hamownianych silnika AD3.152 UR dokonywano pomiarów przebiegu wzniosu iglicy wtryskiwacza h_i w funkcji kąta obrotu wału korbowego silnika. Na Rys. 8 pokazano przebiegi wzniosu iglicy wtryskiwacza h_i silnika AD3.152 UR pracującego według charakterystyki obciążeniowej wykonanej dla prędkości obrotowej 2000 obr/min, przy zasilaniu go olejem napędowym Ekodiesel Ultra D i estrami metylowymi kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME. Ze wzrostem obciążenia silnika zwiększa się kąt początku wzniosu iglicy wtryskiwacza, określany względem górnego zwrotnego położenia tłoka w końcu suwu sprężania. Na Rys. 9-10 przedstawiono porównanie przebiegów wzniosu iglicy wtryskiwacza silnika AD3.152 UR pracującego według charakterystyk obciążeniowych wykonanych dla prędkości obrotowych 1400 i 2000 obr/min, przy zasilaniu go olejem napędowym Ekodiesel Ultra D, estrami metylowymi kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME oraz mieszaninami tych paliw: B20 i B30. Zasilając silnik paliwami: FAME, B20 i B30 iglica wtryskiwacza unosi się wcześniej niż w przypadku zasilania silnika olejem napędowym. Świadczy to o tym, że w analizowanych warunkach pracy silnika wtrysk paliw FAME, B20 i B30 następuje wcześniej niż wtrysk oleju napędowego. Wynika to z różnych własności fizyko-chemicznych badanych paliw, głównie z większej gęstości i lepkości estrów metylowych oleju rzepakowego FAME.

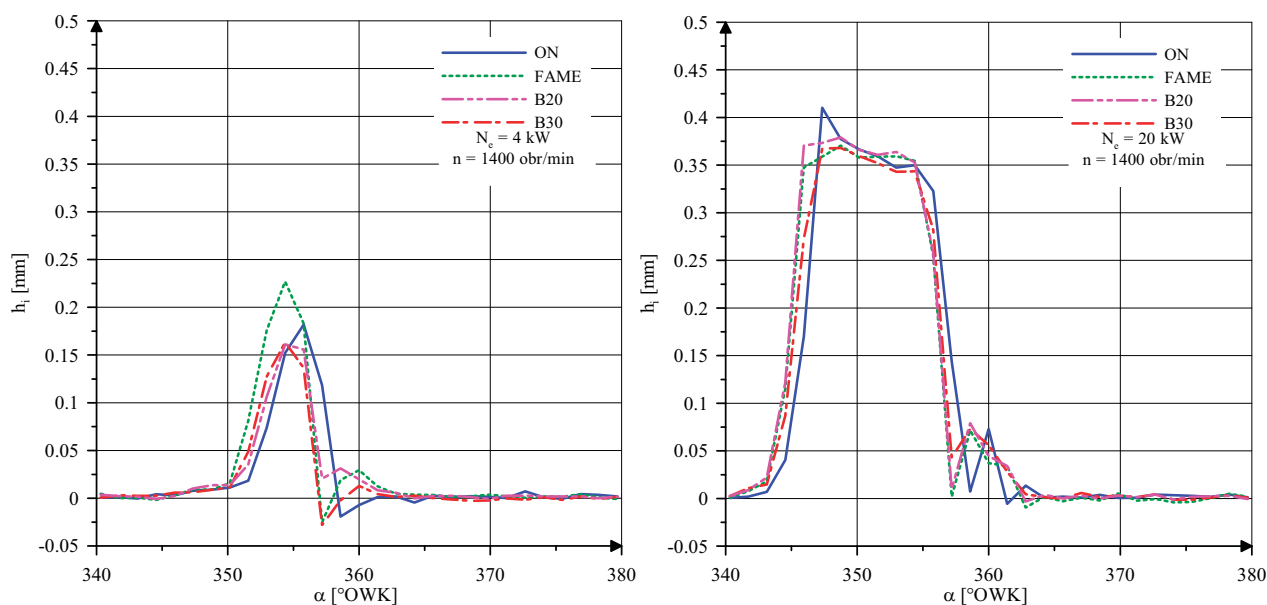


Rys. 8. Przebiegi wzniosu iglicy wtryskiwacza h_i silnika AD3.152 UR pracującego według charakterystyki obciążeniowej przy prędkości obrotowej 2000 obr/min i zasilaniu go olejem napędowym ON i estrami FAME

Fig. 8. Patterns of the h_i injector needle lift in AD3.152 UR engine operating in the load characteristics regime at the rotational speed 2000 rpm and fuelled by diesel oil DO and Rapeseed Oil Fatty Acid Methyl Esters FAME

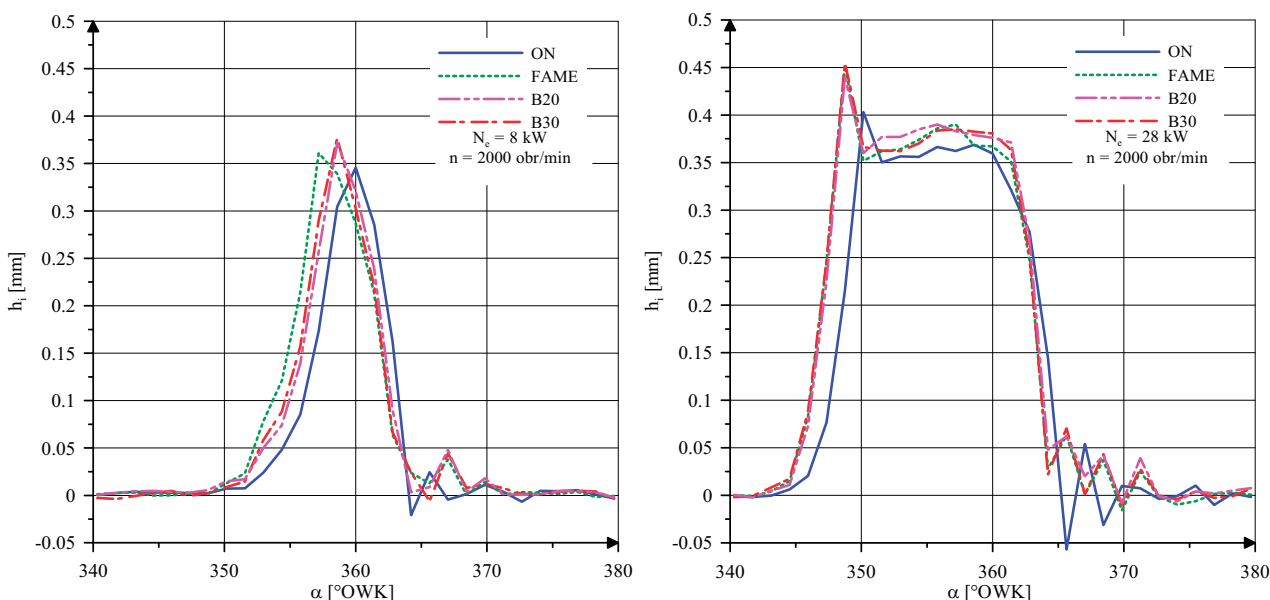
Na podstawie uśrednionych wykresów ciśnienia paliwa w przewodzie wtryskowym, przebiegów wzniosu iglicy wtryskiwacza oraz przebiegów ciśnienia czynnika roboczego w cylindrze silnika AD3.152 UR wyznaczono wybrane wskaźniki procesu wtrysku paliwa i procesu spalania: kąt początku wtrysku paliwa α_{pw} , kąt końca wtrysku paliwa α_{kw} , kąt trwania wtrysku paliwa α_w , maksymalne ciśnienie paliwa w przewodzie wtryskowym p_{wmax} , maksymalny wznios iglicy wtryskiwacza h_{max} , kąt początku spalania α_{ps} , kąt opóźnienia samozapłonu α_{os} , maksymalne ciśnienie procesu spalania p_z , maksymalną temperaturę procesu spalania i maksymalną prędkość narastania ciśnienia $(dp/d\alpha)_{max}$ w cylindrze silnika. W Tab. 2 przedstawiono wartości wyżej wymienionych wskaźników procesu wtrysku paliwa i spalania w cylindrze silnika AD3.152 UR pracującego według charakterystyki obciążeniowej przy prędkości obrotowej 1400 obr/min i zasilaniu go paliwami: olejem napędowym Ekodiesel Ultra D

(ON), estrami metylowymi kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME oraz mieszaninami tych paliw o zawartości estrów 20% (B20) i 30% (B30). Te same wskaźniki dla silnika pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej 2000 obr/min przedstawiono w Tab. 3.



Rys. 9. Porównanie przebiegów wzniosu iglicy wtryskiwacza h_i silnika AD3.152 UR pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej 1400 obr/min i zasilaniu go paliwami: ON, FAME, B20 i B30

Fig. 9. Comparison of patterns of the h_i injector needle lift in AD3.152 UR engine operating in the load characteristics regime at the rotational speed 1400 rpm, fuelled by DO, FAME, B20 and B30



Rys. 10. Porównanie przebiegów wzniosu iglicy wtryskiwacza h_i silnika AD3.152 UR pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej 2000 obr/min i zasilaniu go paliwami: ON, FAME, B20 i B30

Fig. 10. Comparison of patterns of the h_i injector needle lift in AD3.152 UR engine operating in the load characteristics regime at the rotational speed 2000 rpm, fuelled by DO, FAME, B20 and B30

Kąt początku wtrysku paliwa określany był w oparciu o przebieg wzniosu iglicy wtryskiwacza rejestrowany w czasie pomiaru ciśnienia w cylindrze silnika. Zgodnie z uzyskanymi wynikami,

wtrysk paliwa przy zasilaniu silnika estrami i paliwami B20 i B30 rozpoczął się nieznacznie wcześniej niż w przypadku zasilania silnika olejem napędowym. Dysponując wartościami kątów: początku i końca wtrysku paliwa określono kąty trwania wtrysku przy zasilaniu silnika badanymi paliwami. Przy zasilaniu silnika estrami i paliwami B20 i B30 uzyskano nieznacznie większe kąty trwania wtrysku w porównaniu z olejem napędowym. W większości punktów pomiarowych, zasilając silnik estrami i paliwami B20 B30 otrzymano większe maksymalne ciśnienia wtrysku paliwa. Jest to widoczne zwłaszcza przy większych prędkościach obrotowych silnika i większych jego obciążeniach. Dla silnika pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej 2000 obr/min i zasilaniu go estrami i paliwami: B20 i B30 otrzymano większe maksymalne wzniosy iglicy wtryskiwacza, niż przy zasilaniu go olejem napędowym. Kąty opóźnienia samozapłonu były nieznacznie mniejsze dla estrów i paliw: B20 i B30, w porównaniu z olejem napędowym. Maksymalne wartości ciśnień podczas procesu spalania, przy zasilaniu silnika estrami FAME były większe niż przy jego zasilaniu olejem napędowym. W większości punktów pomiarowych maksymalne prędkości narastania ciśnienia były większe przy zasilaniu silnika paliwem FAME w porównaniu z zasilaniem tego silnika olejem napędowym i paliwami: B20 i B30.

Tab. 2. Wybrane wskaźniki procesu wtrysku paliwa i procesu spalania w cylindrze silnika AD3.152 UR pracującego według charakterystyki obciążeniowej przy prędkości obrotowej 1400 obr/min i zasilaniu go paliwami: ON, FAME, B20, B30

Tab. 2. Selected parameters of fuel injection and combustion processes in AD3.152 UR engine operating in the load characteristics regime at the rotational speed 1400 rpm and fuelled by DO, FAME, B20 and B30

N_e		α_{pw}	α_{kw}	α_w	p_{wmax}	h_{max}	α_{ps}	α_{os}	p_{max}	T_{max}	$(dp/d\alpha)_{max}$
kW	paliwo	°OWK	°OWK	°OWK	MPa	mm	°OWK	°OWK	MPa	K	MPa/°OWK
4	ON	352,2	358,3	6,1	19,116	0,1819	360,6	8,4	4,696	1195	0,208
	FAME	350,8	356,9	6,1	19,533	0,2269	358,4	7,6	4,890	1230	0,275
	B20	351,7	357,5	5,8	19,244	0,1611	359,4	7,7	4,667	1161	0,212
	B30	351,3	356,9	5,6	19,263	0,1633	358,8	7,5	4,715	1165	0,229
8	ON	349,6	356,9	7,3	22,082	0,3649	357,4	7,8	5,627	1475	0,437
	FAME	348,8	357,4	8,6	21,521	0,3474	356,8	8,0	5,654	1452	0,452
	B20	349,3	358,6	9,3	21,458	0,3638	356,4	6,9	5,487	1410	0,409
	B30	349,0	358,6	9,6	21,634	0,3541	356,8	7,8	5,509	1412	0,411
12	ON	348,1	357,3	9,2	21,814	0,3695	357,2	9,1	6,103	1624	0,562
	FAME	346,2	356,1	9,9	21,752	0,3650	353,2	7,0	6,440	1616	0,591
	B20	346,4	356,0	9,6	21,352	0,3750	354,8	8,4	6,482	1640	0,639
	B30	346,3	355,7	9,4	21,374	0,3587	354,2	7,9	6,386	1597	0,633
16	ON	345,7	359,1	13,4	21,860	0,3672	355,2	9,5	7,104	1851	0,747
	FAME	345,1	362,5	17,4	22,080	0,4039	354,0	8,9	6,939	1775	0,735
	B20	345,0	357,5	12,5	22,008	0,3780	353,4	8,4	7,149	1824	0,754
	B30	345,1	359,9	14,8	22,337	0,3768	354,0	8,9	7,091	1785	0,761
20	ON	344,5	361,2	14,2	22,688	0,4102	353,8	9,3	7,741	2007	0,809
	FAME	343,6	362,4	13,6	22,987	0,3706	351,2	7,6	7,822	1979	0,870
	B20	343,5	357,4	13,9	22,586	0,3791	352,4	8,9	7,827	1993	0,850
	B30	343,8	362,8	13,7	22,433	0,3681	352,4	8,6	7,657	1985	0,850

Tab. 3. Wybrane wskaźniki procesu wtrysku paliwa i procesu spalania w cylindrze silnika AD3.152 UR pracującego według charakterystyki obciążeniowej przy prędkości obrotowej 2000 obr/min i zasilaniu go paliwami: ON, FAME, B20, B30

Tab. 3. Selected parameters of fuel injection and combustion processes in AD3.152 UR engine operating in the load characteristics regime at the rotational speed 2000 rpm and fuelled by DO, FAME, B20 and B30

N_e	paliwo	α_{pw}	α_{kw}	α_w	p_{wmax}	h_{max}	α_{ps}	α_{os}	p_{max}	T_{max}	$(dp/d\alpha)_{max}$
kW		°OWK	°OWK	°OWK	MPa	mm	°OWK	°OWK	MPa	K	MPa/°OWK
8	ON	353,9	363,9	10,0	21,150	0,3457	364,0	10,1	4,716	1434	0,129
	FAME	352,0	365,2	13,2	21,660	0,3609	361,6	9,6	5,098	1459	0,209
	B20	352,5	364,2	11,7	20,902	0,3720	363,0	10,5	4,790	1395	0,140
	B30	352,4	365,1	12,7	21,212	0,3771	363,8	11,4	4,872	1409	0,158
12	ON	351,8	363,6	11,8	22,089	0,3854	361,8	10,0	5,300	1575	0,244
	FAME	350,5	363,2	12,7	21,816	0,3936	360,2	9,7	5,444	1578	0,266
	B20	350,5	363,0	12,5	21,742	0,3600	361,2	10,7	5,372	1541	0,247
	B30	350,4	363,1	12,7	21,828	0,3926	361,0	10,6	5,390	1556	0,260
16	ON	350,1	363,9	13,8	22,285	0,3574	360,2	10,1	5,828	1735	0,331
	FAME	348,9	365,6	16,7	22,478	0,3843	358,6	9,7	5,933	1707	0,351
	B20	348,9	362,8	13,9	22,137	0,4000	357,8	8,9	5,790	1669	0,328
	B30	348,6	362,7	14,1	22,063	0,4109	358,6	10,0	5,809	1666	0,323
20	ON	348,8	363,9	15,1	22,702	0,3704	359,2	10,4	6,137	1819	0,383
	FAME	347,1	363,9	16,8	24,639	0,4100	357,0	9,9	6,493	1862	0,429
	B20	347,6	364,6	17,0	23,052	0,4040	357,6	10,0	6,217	1791	0,407
	B30	347,3	364,0	16,7	23,506	0,3870	357,2	9,9	6,400	1847	0,432
24	ON	347,6	365,3	17,7	25,230	0,3938	357,2	9,6	6,682	1987	0,459
	FAME	346,6	364,5	17,9	28,255	0,4260	355,8	9,2	6,978	1973	0,486
	B20	346,5	364,3	17,8	25,680	0,4010	355,6	9,1	6,724	1931	0,495
	B30	346,1	363,9	17,8	26,233	0,3968	355,2	9,1	6,739	1937	0,495
28	ON	346,6	365,1	18,5	29,070	0,4032	356,4	9,8	7,214	2085	0,559
	FAME	345,2	364,5	19,3	32,186	0,4520	354,2	9	7,655	2124	0,622
	B20	345,4	364,6	19,2	30,630	0,4400	354,4	9,0	7,598	2116	0,615
	B30	345,1	364,4	19,3	30,956	0,4554	354,4	9,3	7,639	2137	0,606

6. Podsumowanie

W pracy przedstawiono wybrane wyniki badań wpływu zastosowania estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME oraz ich mieszanin z olejem napędowym: B20 i B30, na przebiegi wielkości szybkozmiennych oraz na wybrane parametry procesu wtrysku paliwa i procesu spalania. Otrzymane wyniki badań dla wyżej wymienionych paliw porównywano z wynikami uzyskanymi przy zasilaniu silnika olejem napędowym Ekodiesel Ultra D.

Przeprowadzone badania i analizy wykazały wpływ zastosowania estrów metylowych oleju rzepakowego i ich mieszanin z olejem napędowym na przebieg ciśnienia czynnika roboczego w cylindrze, ciśnienia paliwa w przewodzie wtryskowym i wznios iglicy wtryskiwacza w porównaniu z zasilaniem silnika olejem napędowym. Wyznaczone parametry procesu wtrysku

i procesu spalania dla badanego silnika zasilanego estrami metylowymi oleju rzepakowego FAME i mieszaninami estrów z olejem napędowym, nie różnią się w znaczący sposób od parametrów wyznaczonych przy zasilaniu silnika olejem napędowym. W pracy wykazano, że początek spalania przy zasilaniu silnika estrami oraz mieszaninami estrów i oleju napędowego następuje wcześniej niż przy zasilaniu silnika olejem napędowym. Różnice wartości tych kątów dla badanych paliw wynoszą od około 0,5 do około 2,5°OWK. Wcześniejszy początek spalania estrów wynika z wcześniej zapoczątkowanego wtrysku paliwa oraz nieznacznie mniejszych kątów opóźnienia samozapłonu. Wcześniejszy początek wtrysku paliwa dla estrów FAME jest skutkiem innych własności, zwłaszcza większej gęstości i lepkości estrów w porównaniu z olejem napędowym. Mniejsza ściśliwość oraz mniejsze przecieki w układzie wtryskowym przy zasilaniu silnika estrami oraz ich mieszaninami z olejem napędowym powodują, że w przypadku zasilania silnika tymi paliwami następuje wcześniej przyrost ciśnienia w przewodzie wtryskowym i wcześniejsze uniesienie się iglicy wtryskiwacza, w porównaniu z olejem napędowym. Z tego wynika, że inne powinno być ustawienie kąta wyprzedzenia wtrysku paliwa dla oleju napędowego a inne dla estrów metylowych oleju rzepakowego FAME i ich mieszanin z olejem napędowym. Zasilając silnik estrami metylowymi oleju rzepakowego FAME należałoby zmniejszyć kąt wyprzedzenia wtrysku paliwa.

Literatura

- [1] Ambrozik, A., Kurczyński, D., *Ocena porównawcza charakterystyk obciążeniowych silnika o zapłonie samoczynnym zasilanego olejem napędowym, paliwem roślinnym i ich mieszaniną*, MOTROL Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa, T. 8A, s. 20-30, Lublin 2006.
- [2] Ambrozik, A., Kurczyński, D., *Analiza emisji tlenków azotu silnika o zapłonie samoczynnym zasilanego olejem napędowym, paliwem roślinnym i ich mieszaninami*, Journal of KONES'2007 Powertrain and transport, Vol. 14, No. 3, s. 19-28, Warsaw 2007.
- [3] Ambrozik, A., Kurczyński, D., *Wpływ paliw mineralnych, roślinnych i ich mieszanin na wskaźniki pracy silnika o zapłonie samoczynnym*, Second International Congress on Combustion Engines, PTNSS KONGRES - 2007 The Development of Combustion Engines, Publikacja: Silniki Spalinowe 2007-SC2, s. 25-34, Kraków 2007.
- [4] Aßmann, D., Sieber, N., *Transport in developing Countries: renewable energy versus energy reduction?* Transport Reviews, Vol. 25, No. 6, s. 719-738, November 2005.
- [5] Baczewski, K., Kałdoński, T., *Paliwa do silników o zapłonie samoczynnym*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2004.
- [6] Demirbas, A., *Biodiesel impacts on compression ignition engine (CIE): analysis of air pollution issues relating to exhaust emissions*, Energy Sources, Vol. 27, No. 6, s. 549-558, April 2005.
- [7] Kaplan, C., Arslan, R., Sürmen, A., *Performance characteristics of sunflower methyl esters as biodiesel*, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, Vol. 28, No. 8, s. 751-755, June 2006.
- [8] Karaosmanoglu, F., Tuter, M., Gollu, E., Yanmaz, S., Altintig, E., *Fuel properties of cottonseed oil*, Energy Sources, Vol. 21, No. 9, s. 821-828, 1999.
- [9] Kotowski, W., *Olej napędowy na drodze fotosyntezy*, Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji, Nr 77, s. 4-7, 2000.
- [10] Kurczyński, D., *Wpływ paliw roślinnych i ich mieszanin z olejem napędowym na wskaźniki pracy silnika o zapłonie samoczynnym*, Praca doktorska, Kielce 2007.
- [11] Megahed, O. A., Abdallah, R. I., Nabil, D., *Rapeseed oil esters as diesel engine fuel*, Energy Sources, Vol. 26, No. 2, s. 119-126, January 2004.
- [12] Mushrush, G. W., Wynne, J. H., Willauer, H. D., Lloyd, Ch. L., *Soybean-derived biofuels and home heating fuels*, Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering, Vol. 41, No. 11, s. 249-2502, November 2006.

- [13] Szlachta, Z., Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2002.
- [14] PN-EN 590:2005 Paliwa do pojazdów samochodowych, Oleje napędowe, Wymagania i metody badań.
- [15] PN-EN 14214 Paliwa do pojazdów samochodowych, Estry metylowe kwasów tłuszczowych (FAME) do silników o zapłonie samoczynnym (Diesla), Wymagania i metody badań.
- [16] Sprawozdanie z badań 5120402 wyrobu BIODIESELA D-FAME, Zleceniodawca, Rafineria Trzebinia S.A.
- [17] Świadectwo Jakości Nr BM-101/209a/2005 oleju napędowego Ekodiesel Ultra D.

