

LOAD CHARACTERISTICS IN AD3.152 UR ENGINE FUELLED WITH MINERAL AND BIOGENOUS BLENDS

Andrzej Ambrozik, Dariusz Kurczyński,

Technical University of Kielce

Aleja Tysiąclecia Państwa Polskiego 7,25-314 Kielce, Poland

Phone: +41 3424344 fax:+41 3424340, e-mail: silspal@eden.tu.kielce.pl

Abstract

The paper presents the results of investigations into self-ignition AD3.152 UR engine fuelled by diesel oil, rape oil methyl esters RME and their blends with 20% and 30% ester content. The tests were conducted at the test house while the engine operated under load characteristics at the crankshaft rotational speeds: 1400, 1600 and 2000 RPM. In the investigations, the engine operational parameters were recorded, measurements of the basic components of exhaust fumes and also indicator diagrams were taken. The indicated mechanical and effective efficiency of the engine was determined on the basis of the results. The results analysis was meant to evaluate the possibility of fuelling combustion self-ignition engines by rape oil methyl esters RME and their blends with diesel oil. On the basis of analyses of received test results it is possible to state that at feed of the AD3.152 UR engine with fuels E20 and E30, that is to say with mixtures of the diesel oil and methyl esters of the rapeseed oil FAME containing respectively 20% and 30% esters, one received high indicators of the engine work.

Keywords: *combustion engine, fuels, engines characteristics, toxicity of exhaust fumes*

CHARAKTERYSTYKI OBCIĄŻENIOWE SILNIKA AD3.152 UR ZASILANEGO MIESZANINAMI PALIW MINERALNYCH I ROŚLINNYCH

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań silnika o zapłonie samoczynnym AD3.152 UR zasilanego olejem napędowym ON, estrami metylowymi kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME i ich mieszaninami o zawartości 20% i 30% estrów. Badania przeprowadzono na hamowni silnikowej przy pracy silnika według charakterystyk obciążeniowych dla prędkości obrotowych wału korbowego: 1400, 1600 i 2000 obr/min. Podczas badań rejestrowano parametry pracy silnika, dokonano pomiarów emisji podstawowych składników spalin jak również zdejmowano wykresy indykatorowe. W oparciu o otrzymane wyniki wyznaczono sprawność indykowaną, mechaniczną i efektywną silnika. Analizę otrzymanych wyników przeprowadzono w aspekcie oceny możliwości zastosowania estrów oleju rzepakowego FAME i ich mieszanin z olejem napędowym do zasilania silników spalinowych o zapłonie samoczynnym. Na podstawie analizy otrzymanych wyników badań można stwierdzić, że przy zasilaniu silnika AD3.152 UR paliwami E20 i E30, czyli mieszaninami oleju napędowego i estrów metylowych oleju rzepakowego FAME zawierających odpowiednio 20% i 30% estrów, otrzymano korzystne wskaźniki pracy silnika.

Słowa kluczowe: *silniki spalinowe, paliwa, charakterystyki silników, toksyczność spalin*

1. Wprowadzenie

Paliwami konwencjonalnymi stosowanymi do zasilania tłokowych silników spalinowych o zapłonie samoczynnym są oleje napędowe. Źródłem ich otrzymywania jest ropa naftowa, którą po wydobywaniu należy poddać odpowiednim procesom przetwórczym w wyniku których uzyskujemy paliwa do zasilania silników. Zasoby ropy naftowej są ograniczone i ulegają stopniowemu wyczerpywaniu się. Przy obecnym poziomie rozwoju gospodarczego, a tym samym wzroście

zapotrzebowania na energię oraz uzależnienia dostępu do pozyskania ropy od zmieniającej się sytuacji politycznej, koniecznymi stały się poszukiwania nowych źródeł energii. Jedną z możliwości wykorzystania paliw alternatywnych do zasilania tłokowych silników spalinowych są paliwa pochodzenia roślinnego. Oczywistym jest, że paliwa roślinne nie zastąpią w całości obecnie stosowanych paliw, ale mogą być częściowym uzupełnieniem zapotrzebowania poszczególnych państw na paliwa silnikowe, a w szczególności tych państw, które nie mają własnych dużych zasobów ropy naftowej. Innym aspektem stosowania paliw roślinnych są korzystne ich własności ekologiczne, wyrażające się przede wszystkim tym, że są to paliwa odnawialne, łatwiej ulegają biodegradacji i ograniczają całkowitą emisję dwutlenku węgla do atmosfery.

Oleje napędowe stanowią mieszaninę węglowodorów o zróżnicowanych właściwościach i budowie cząsteczek zawierających od 14 do 20 atomów węgla, wrzących w temperaturze od 150°C do 380°C [2]. W skład olei napędowych wchodzi węglowodory parafinowe o łańcuchach prostych, izoparafinowe węglowodory o łańcuchach rozgałęzionych oraz węglowodory naftenowe i aromatyczne o budowie pierścieniowej. Ilość poszczególnych grup węglowodorowych w oleju napędowym, decyduje o jego właściwościach fizykochemicznych wpływających na efektywność pracy silnika i toksyczność spalin.

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 gliceryny i kwasów tłuszczowych zawierających w cząsteczkach od 14 do 22 atomów węgla [4]. W Polsce ze względu na warunki klimatyczne możliwe jest wykorzystanie do tych celów oleju rzepakowego i jego pochodnych. Współczesne silniki spalinowe nie mogą być zasilane olejami rzepakowymi w czystej postaci. Przyczyną tego są znacznie różne własności fizykochemiczne oleju napędowego i oleju roślinnego. Olej rzepakowy można zastosować do zasilania silników o zapłonie samoczynnym tylko po ich przystosowaniu, tj. po wprowadzeniu odpowiednich zmian konstrukcyjnych i modyfikacjach układu zasilania. Zastosowanie olejów roślinnych do zasilania tłokowych silników spalinowych jest możliwe po udoskonaleniu ich własności poprzez ich modyfikacje chemiczną. Poddając oleje roślinne procesowi transestryfikacji, który polega na reakcji alkoholu metylowego lub etylowego z trójglicerydami wyższych kwasów tłuszczowych w obecności katalizatora, otrzymuje się estry olejów roślinnych. W czasie reakcji chemicznych trójwartościowe cząsteczki gliceryny przekształcają się w jednowartościowe cząsteczki alkoholi, które z resztami kwasu tłuszczowego tworzą monoestry [12]. Obecnie ze względu na koszt, najczęściej do przeprowadzenia reakcji transestryfikacji stosuje się alkohol metylowy.

Estry metylowe kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME mogą być stosowane do zasilania silników o zapłonie samoczynnym w czystej postaci lub w mieszaninach z olejem napędowym. Ich własności fizykochemiczne różnią się od własności olei napędowych, ale są o wiele bardziej korzystne niż własności oleju rzepakowego. Estry w porównaniu z olejem napędowym mają większą gęstość i ponad dwa razy większą lepkość. Większa lepkość estrów zapewnia lepsze ich własności smarne. Dodatek estrów do niskosiarkowego oleju napędowego poprawia więc jego własności smarne. Estry mają mniejszą wartość opałową niż oleje napędowe. Wynika to z różnicy składów elementarnych obu paliw. Estry zawierają około 12% tlenu [12]. Korzystnym efektem większej zawartości tlenu w biopaliwie jest jego większa skłonność do zapłonu oraz bardziej intensywne i pełne spalanie. Wadą estrów jest ich większa skłonność do rozpuszczania wody oraz obecność nienasyconych wiązań w cząsteczkach. Obecność wody i tlenu w estrach sprzyja rozwojowi mikroorganizmów, co również niekorzystnie wpływa na jakość i stabilność paliwa [3]. Ponadto estry odznaczają się gorszymi własnościami niskotemperaturowymi. W warunkach zimowych mogą być stosowane jedynie przy zastosowaniu specjalnych dodatków obniżających temperaturę krystalizacji. Estry metylowe

kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego zawierają w swym składzie podobnie jak oleje napędowe długie łańcuchy węglowodorowe. Własność ta sprawia, że paliwa te są wzajemnie w sobie rozpuszczalne i dlatego mogą być mieszane ze sobą w dowolnych proporcjach [5]. Uzyskiwane mieszaniny mają właściwości zbliżone do właściwości wymaganych dla olei napędowych [1].

Wiele różnych ośrodków naukowych i badawczych prowadziło i prowadzi badania nad rozwojem technologii produkcji paliw roślinnych i ich zastosowania do zasilania współczesnych tłokowych silników spalinowych [2, 6, 7, 10, 12, 14]. Obecnie prowadzone są dyskusje nad określeniem wymagań, co do ilości estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego, które miałyby być obowiązkowo dodawane do produkowanych olei napędowych. Świadczy to o konieczności prowadzenia dalszych badań eksploatacyjnych w tym zakresie.

2. Cel i zakres pracy

W ramach pracy wykonano badania hamowniane, w czasie których badany silnik pracował wg charakterystyk obciążeniowych przy różnych prędkościach obrotowych i był zasilany różnymi paliwami. Celem badań było określenie wpływu rodzaju stosowanego paliwa zasilającego silnik o zapłonie samoczynnym AD3.152 UR, na wartości rozwijanych przez niego wskaźników pracy.

W czasie badań silnika, przy jego pracy według charakterystyk obciążeniowych dla prędkości obrotowych 1400, 1600 i 2000 obr/min i zasilaniu go różnymi paliwami, rejestrowano przebiegi zmian ciśnienia w cylindrze silnika w funkcji kąta obrotu wału korbowego. W każdym punkcie pracy silnika rejestrowano przebiegi ciśnienia w cylindrze silnika dla kolejnych pięćdziesięciu cykli jego pracy. Do obliczeń wykorzystano uśrednione z pięćdziesięciu kolejnych cykli wykresy indykatorowe zarejestrowane w ustalonych warunkach pracy silnika.

Hamowniane badania silnika AD3.152 UR pozwoliły na wyznaczenie takich jego wskaźników jak: godzinowego zużycia paliwa, jednostkowego zużycia paliwa, mocy efektywnej, efektywnego momentu obrotowego i średniego ciśnienia efektywnego. Na podstawie wyznaczonych uśrednionych wykresów indykatorowych obliczono: pracę indykowaną, średnie ciśnienie indykowane, moc indykowaną, indykowany moment obrotowy i jednostkowe indykowane zużycie paliwa. Efektywne i indykowane wskaźniki badanego silnika pozwoliły na obliczenie sprawności: efektywnej, mechanicznej i indykowanej silnika AD3.152 UR przy zasilaniu go różnymi paliwami i pracującego według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej.

Sprawność indykowaną obliczono jako iloraz ciepła zamienionego na pracę indykowaną L_i wykonaną w czasie jednego cyklu pracy przez całkowitą ilość ciepła Q doprowadzonego do silnika w czasie jednego cyklu pracy:

$$\eta_i = \frac{L_i}{Q}. \quad (1)$$

Sprawność mechaniczną wyznaczono jako iloraz mocy efektywnej N_e i mocy indykowanej N_i :

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i}. \quad (2)$$

Sprawność efektywną zdefiniowano jako iloraz ciepła zamienionego na pracę efektywną L_e uzyskaną z jednego cyklu pracy silnika przez ilość energii cieplnej zawartej w paliwie doprowadzonym do silnika Q w czasie trwania jednego cyklu pracy:

$$\eta_e = \frac{L_e}{Q}. \quad (3)$$

Podczas badań silnika, dla poszczególnych warunków jego pracy, dokonywano pomiarów wybranych składników spalin. Emisję tlenków azotu NO_x mierzono za pomocą analizatora EXSA-240-CL firmy Horiba działającego na zasadzie detekcji chemiluminescencyjnej. Zawartość tlenu

węgla CO, dwutlenku węgla CO₂, węglowodorów HC i tlenu O₂ określano za pomocą wielogazowego analizatora spalin DiGas 465 firmy AVL.

3. Obiekt badań i stanowisko badawcze

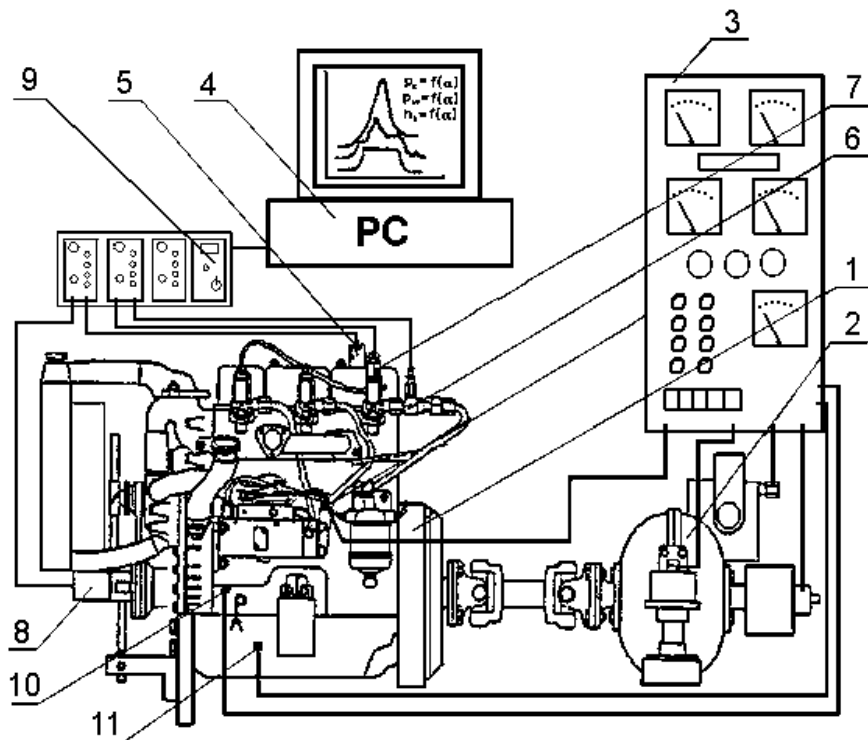
Badania w prezentowanej pracy wykonano na silniku AD3.152 UR. Jest to trzycylindrowy silnik o zapłonie samoczynnym z bezpośrednim wtryskiem paliwa do komory spalania usytuowanej w denku tłoka. Blok silnika wraz ze skrzynią korbową tworzy jeden odlew i wykonany jest z żeliwa wyższej jakości. Silnik ma suche tuleje cylindrowe osadzone w bloku. Głowica silnika jest odlewem jednolitym. Na każdy cylinder przypadają dwa zawory osadzone w prowadnicach żeliwnych. Wałek rozrządu wykonany jest z specjalnego żeliwa stopowego, umieszczony w kadłubie silnika w trzech łożyskach. Wał korbowy wykonany ze stali chromowo-molibdenowej osadzony jest na czterech łożyskach głównych. Tłoki silnika są wykonane z wysokokrzemowego stopu aluminium i mają po trzy pierścienie uszczelniające i jeden pierścień zgarniający. Badany silnik wyposażony był w układ zasilania z rozdzielaczową pompą wtryskową typu DPA napędzaną przez przekładnię zębatą od wału korbowego. Wtryskiwacze paliwa silnika AD3.152 posiadają rozpylacze czterootworowe. Charakterystyczne parametry i dane techniczne badanego silnika AD3.152 przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Podstawowe dane techniczne badanego silnika
Tab. 1. Basic technical data of the engine

Silnik o zapłonie samoczynnym AD3.152 UR		
Parametr	Jednostka	Wartość
Układ cylindrów	-	rzędowy
Liczba cylindrów	-	3
Rodzaj wtrysku	-	bezpośredni
Kolejność pracy cylindrów	-	1 – 2 – 3
Stopień sprężania	-	16,5
Średnica cylindra	mm	91,44
Skok tłoka	mm	127
Pojemność skokowa silnika	dm ³	2,502
Długość korbowodu	mm	223,80÷223,85
Maksymalna moc silnika	kW	34,6
Prędkość obrotowa mocy maksymalnej	obr/min	2250
Maksymalny moment obrotowy silnika	Nm	168,7
Prędkość obrotowa maksymalnego momentu	obr/min	1350
Statyczny kąt wyprzedzenia wtrysku	°OWK	17
Kąt otwarcia zaworu dolotowego	°OWK	13
Kąt zamknięcia zaworu dolotowego	°OWK	43
Kąt otwarcia zaworu wylotowego	°OWK	46
Kąt zamknięcia zaworu wylotowego	°OWK	10
Prędkość obrotowa biegu jałowego	obr/min	750±50

Badania przeprowadzono na stanowisku hamownianym w skład którego wchodził: badany silnik AD3.152 UR, hamulec wodny i szafa kontrolno-pomiarowa służąca do sterowania silnikiem

i stanowiskiem i pozwalająca na odczyt parametrów pracy silnika i hamulca. Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego 1 – badany silnik AD3.152 UR, 2 – hamulec wodny, 3 – blok kontrolno pomiarowy, 4 – komputer PC, 5 – piezokwarcowy czujnik ciśnienia w komorze spalania, 6 – piezokwarcowy czujnik ciśnienia paliwa w przewodzie wtryskowym, 7 – transformatorowy czujnik przemieszczeń, 8 – nadajnik kąta obrotu wału korbowego, 9 – zestaw wzmacniaczy sygnałów przekazywanych z czujników, 10 – czujnik temperatury cieczy chłodzącej silnik, 11 – czujnik temperatury oleju

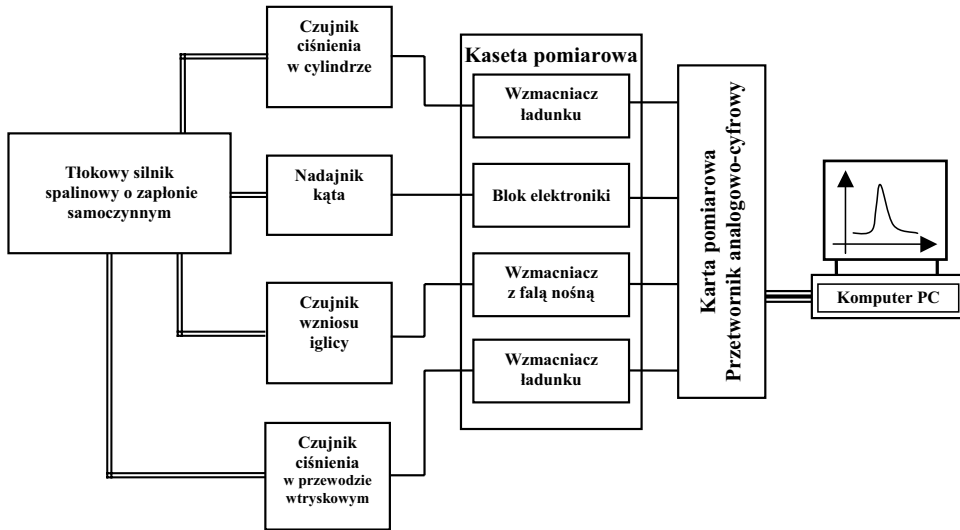
Fig. 1. Diagram of the test stand 1 – AD3.152 UR engine, 2 – water brake, 3 – checking and measurement block, 4 – PC computer, 5 – quartz pressure sensor in the combustion chamber, 6 – quartz pressure sensor in the injection pipe, 7 – transformer displacement sensor, 8 – crankshaft rotation angle transmitter, 9 – set of sensor signal amplifiers, 10 – engine coolant temperature sensor, 11 – engine oil temperature sensor

Na rysunku 2 przedstawiono schemat blokowy systemu pomiarowego parametrów szybkozmiennych tłokowego silnika spalinowego. System pomiarowy składa 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.

Tory pomiarowe ciśnienia w komorze spalania i w przewodzie wtryskowym składają się z: czujników piezokwarcowych, przewodów łączących i wzmacniaczy ładunku. W skład toru pomiarowego wzniosu iglicy wtryskiwacza wchodzi transformatorowy czujnik przemieszczeń, przewody łączące i wzmacniacz z falą nośną. Wielkości mierzone przez wyżej wymienione czujniki wyrażone są w funkcji kąta obrotu wału korbowego. Zadanie to w systemie pomiarowym spełnia tor pomiarowy dekodera kąta obrotu wału korbowego, w skład którego wchodzi nadajnik kąta oraz blok elektroniki, który inicjuje pojedynczy impuls rozpoczynający pomiary i generujący

ciąg impulsów zapewniających pomiary tych wielkości z określoną rozdzielczością co pewien kąt $\Delta\alpha_0$. Zadaniem wzmacniaczy w torach pomiarowych jest wzmocnienie i przetworzenie sygnałów wygenerowanych przez czujniki na sygnały napięciowe. Sygnały napięciowe przetwarzane są przez przetwornik analogowo-cyfrowy na wielkości cyfrowe i zapisywane w pamięci komputera.



Rys. 2. Schemat blokowy systemu pomiarowego parametrów szybkozmiennych tłokowego silnika spalinowego o zapłonie samoczynnym wykorzystany do przeprowadzenia badań

Fig. 2. Block diagram of the measurement system for fast-changing parameters of the self-ignition piston internal combustion engine used for tests

4. Charakterystyka paliw zastosowanych podczas badań

W czasie badań eksperymentalnych silnik zasilano dwoma paliwami: olejem napędowym Ekodiesel Ultra D i paliwem roślinnym FAME. Olej napędowy Ekodiesel Ultra produkowany przez Polski Koncern Naftowy Orlen S.A. jest paliwem węglowodorowym, nowej generacji, o podwyższonych parametrach użytkowych i ekologicznych, przeznaczonym do zasilania szybkoobrotowych silników o zapłonie samoczynnym. Spełnia on wymagania normy PN-EN 590:2005 [8, 13] zgodnej z najnowszą edycją normy europejskiej EN 590:2004, określającej wymagania jakościowe olei napędowych. Zawartość siarki w tym paliwie jest mniejsza niż wymagania mające obowiązywać w Unii Europejskiej od 2009 roku. Ponadto charakteryzuje się on obniżoną temperaturą końca procesu destylacji, obniżoną zawartością węglowodorów aromatycznych, małą zawartością zanieczyszczeń stałych, podwyższoną liczbą cetanową. Drugim paliwem stosowanym w badaniach było paliwo roślinne FAME, będące mieszaniną estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego, produkowane w Rafinerii Trzebinia S.A.. Jest to paliwo uzyskiwane w procesie transestryfikacji triglicerydów oleju rzepakowego metanolem. Spełnia ono wymagania normy PN-EN 14214 [9, 11], która jest zgodna z normą europejską określającą wymagania dla estrów metylowych kwasów tłuszczowych stosowanych jako biopaliwo lub jako dodatek do olei napędowych. Wykorzystane do badań paliwo roślinne ma podobną do oleju napędowego Ekodiesel Ultra D liczbę cetanową, większą gęstość, mniejszą wartość opałową, większą temperaturę mętnienia i zablokowania zimnego filtra. Jego stosowanie w warunkach zimowych jest możliwe po zastosowaniu odpowiednich dodatków. Paliwo FAME zawiera więcej tlenu. Ponadto charakteryzuje się ono dobrymi własnościami smarnymi korzystnie

wpływającymi na pracę i trwałość elementów układu zasilania silnika. FAME nie zawiera związków lotnych, co wpływa na jego niskie ciśnienie par i wysoką temperaturę zapłonu. Wysoka temperatura zapłonu estrów zapobiega możliwości wybuchu par i tym samym zapewnia bezpieczeństwo podczas stosowania tego paliwa. Podstawowe własności fizykochemiczne badanych paliw przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Podstawowe właściwości fizykochemiczne paliw silnikowych wykorzystanych w badaniach [11, 13]
 Tab. 2. Basic physical and chemical properties of engine fuels used in investigations [11, 13]

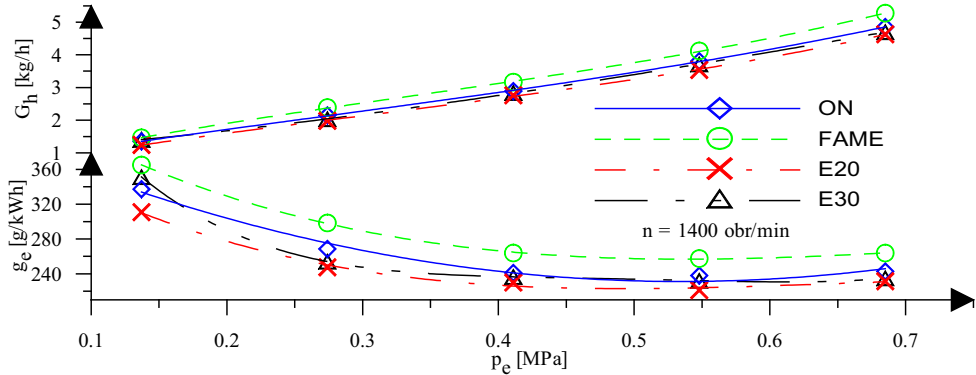
Parametr	Olej napędowy Ekodiesel Ultra D	Paliwo roślinne FAME
Liczba cetanowa	51,4	51
Wartość opałowa [MJ/kg]	43,2	36,7
Gęstość w temperaturze 15°C [g/cm ³],	0,8354	0,883
Lepkość kinematyczna [mm ² /s] (~40°C)	2,64	4,47
Napięcie powierzchniowe [N/m] (20°C)	3,64·10 ⁻²	3,58·10 ⁻²
Temperatura zapłonu [°C]	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
Pozostałość po koksowaniu w 10%-owej pozostałości destylacyjnej [(m/m)]	0,01	0,28
Badania działania korodującego na płytkach miedzi [klasa]	1	1

Oprócz wyżej opisanych dwóch paliw, do badań zastosowano również dwie mieszaniny tych paliw o następującym składzie:

- 20% (V/V) estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME + 80% (V/V) oleju napędowego Ekodiesel Ultra D → oznaczono E20,
- 30% (V/V) estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME + 70% (V/V) oleju napędowego Ekodiesel Ultra D → oznaczono E30.

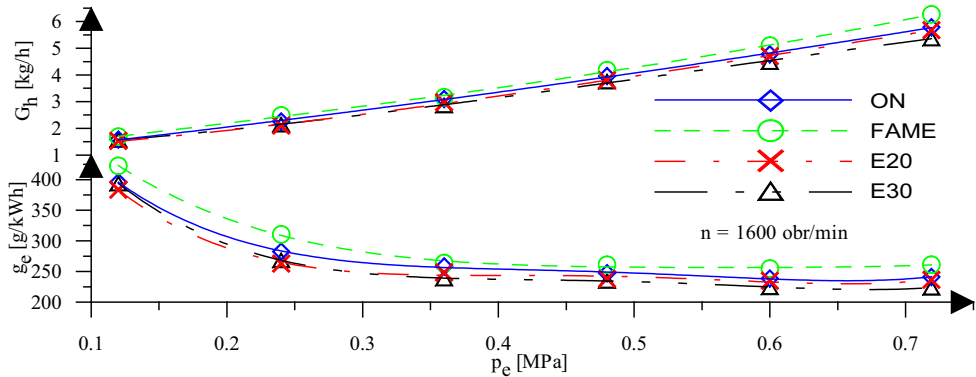
5. Wyniki przeprowadzonych badań

Wyniki badań silnika AD3.152 UR w sposób graficzny przedstawiono na rysunkach od 3 do 11. Na rysunkach 3, 4 i 5 przedstawiono przebieg zmian godzinowego i jednostkowego zużycia paliwa przez silnik pracujący według charakterystyk obciążeniowych przy prędkościach obrotowych wału korbowego 1400, 1600 i 2000 obr/min. Na rysunkach 6, 7 i 8 przedstawiono wyniki obliczeń sprawności indykowanej, mechanicznej i efektywnej silnika pracującego wg w/w charakterystyk. Rysunki 9, 10 i 11 obrazują wyniki pomiarów emisji tlenków azotu NO_x, węglowodorów HC i dwutlenku węgla CO₂ przy pracy silnika w wyżej wskazanych warunkach.



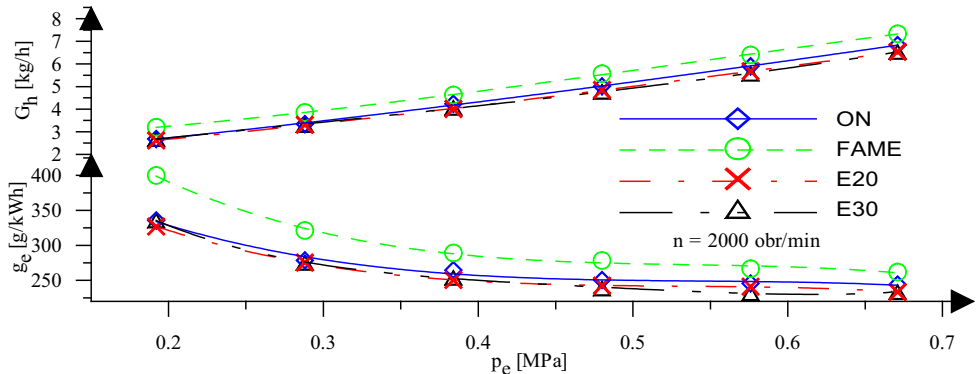
Rys. 3. Charakterystyki obciążeniowe przedstawiające godzinowe i jednostkowe zużycie paliwa silnika AD3.152 UR, sporządzone dla prędkości obrotowej 1400, przy zasilaniu go różnymi paliwami

Fig. 3. Load characteristics showing hour and unit fuel consumption in AD3.152 UR engine fuelled with different oils, determined for the rotational speed 1400 RPM



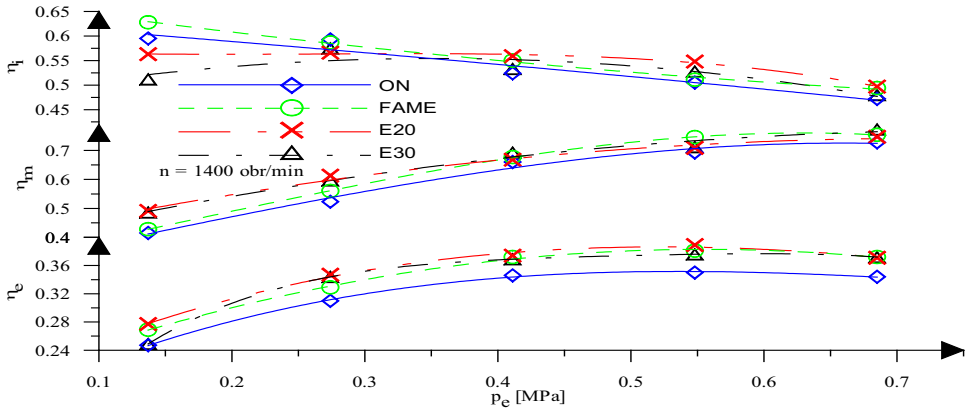
Rys. 4. Charakterystyki obciążeniowe przedstawiające godzinowe i jednostkowe zużycie paliwa silnika AD3.152 UR, sporządzone dla prędkości obrotowej 1600, przy zasilaniu go różnymi paliwami

Fig. 4. Load characteristics showing hour and unit fuel consumption in AD3.152 UR engine fuelled with different oils, determined for the rotational speed 1600 RPM



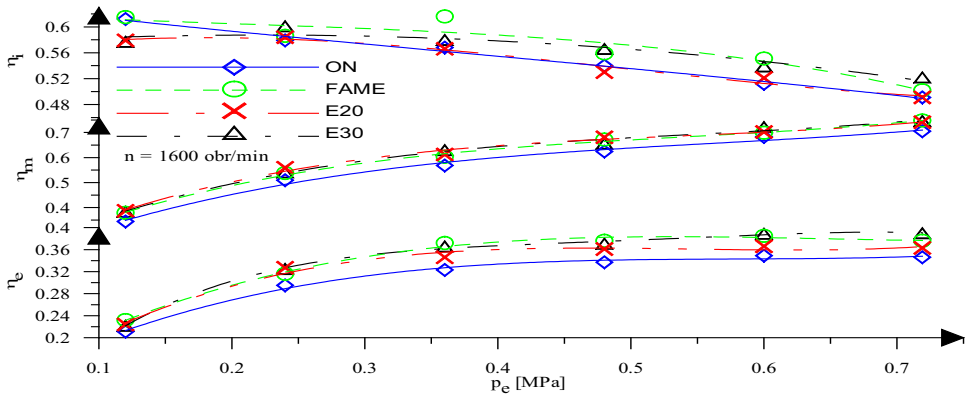
Rys. 5. Charakterystyki obciążeniowe przedstawiające godzinowe i jednostkowe zużycie paliwa silnika AD3.152 UR, sporządzone dla prędkości obrotowej 2000, przy zasilaniu go różnymi paliwami

Fig. 5. Load characteristics showing hour and unit fuel consumption in AD3.152 UR engine fuelled with different oils, determined for the rotational speed 2000 RPM



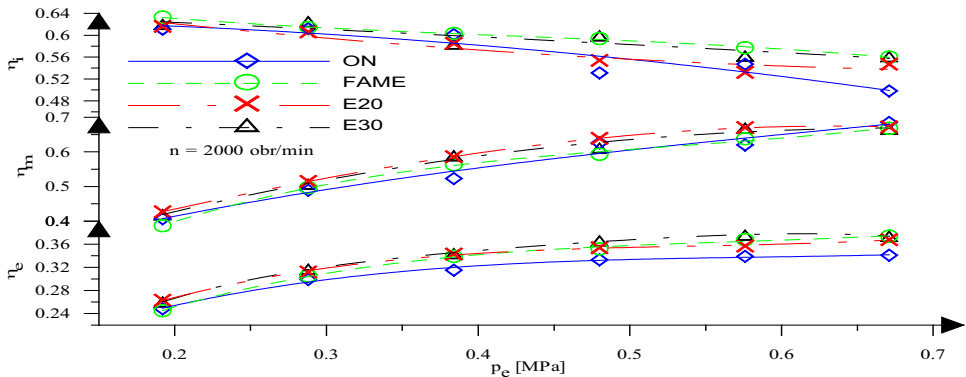
Rys. 6. Sprawność indykowana, mechaniczna i efektywna silnika AD3.152 UR przy jego pracy według charakterystyki obciążeniowej przy prędkości obrotowej 1400 obr/min i zasilaniu go różnymi paliwami

Fig. 6. Indicated, mechanical and effective efficiency of AD3.152 UR engine fuelled with different oils, operating under load characteristics at the rotational speed 1400 RPM



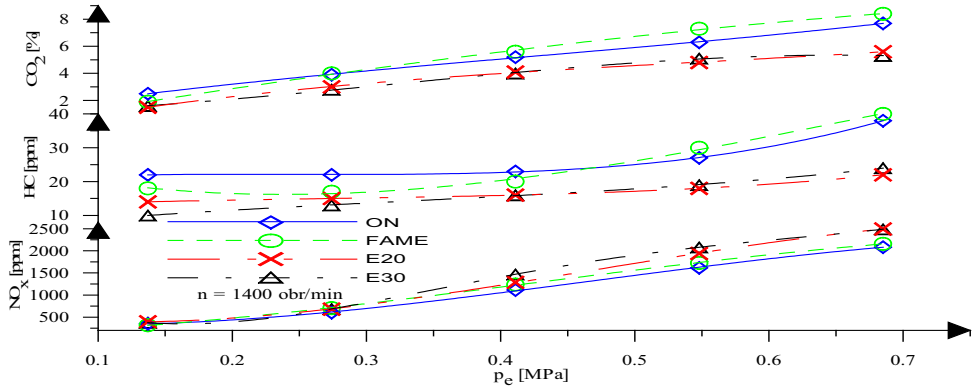
Rys. 7. Sprawność indykowana, mechaniczna i efektywna silnika AD3.152 UR przy jego pracy według charakterystyki obciążeniowej przy prędkości obrotowej 1600 obr/min i zasilaniu go różnymi paliwami

Fig. 7. Indicated, mechanical and effective efficiency of AD3.152 UR engine fuelled with different oils, operating under load characteristics at the rotational speed 1600 RPM



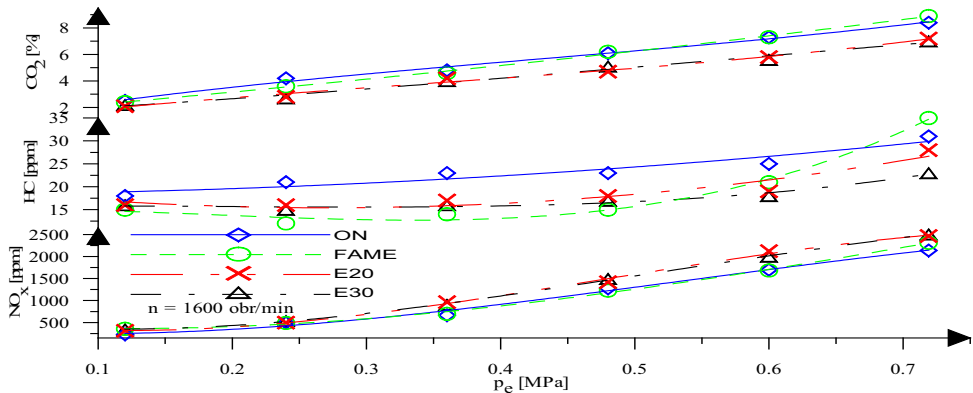
Rys. 8. Sprawność indykowana, mechaniczna i efektywna silnika AD3.152 UR przy jego pracy według charakterystyki obciążeniowej przy prędkości obrotowej 2000 obr/min i zasilaniu go różnymi paliwami

Fig. 8. Indicated, mechanical and effective efficiency of AD3.152 UR engine fuelled with different oils, operating under load characteristics at the rotational speed 2000 RPM



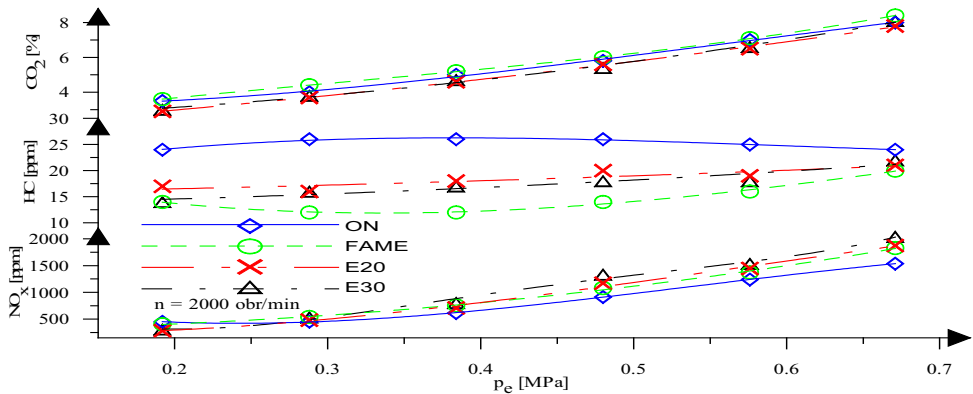
Rys. 9. Emisja NO_x , HC i CO_2 ze spalinami silnika AD3.152 UR przy jego pracy wg charakterystyki obciążeniowej przy prędkości obrotowej 1400 obr/min i zasilaniu go różnymi paliwami

Fig. 9. NO_x , HC and CO_2 emission in exhaust fumes of AD3.152 UR engine fuelled with different oils, operating under load characteristics at the rotational speed 1400 RPM



Rys. 10. Emisja NO_x , HC i CO_2 ze spalinami silnika AD3.152 UR przy jego pracy wg charakterystyki obciążeniowej przy prędkości obrotowej 1600 obr/min i zasilaniu go różnymi paliwami

Fig. 10. NO_x , HC and CO_2 emission in exhaust fumes of AD3.152 UR engine fuelled with different oils, operating under load characteristics at the rotational speed 1600 RPM



Rys. 11. Emisja NO_x , HC i CO_2 ze spalinami silnika AD3.152 UR przy jego pracy wg charakterystyki obciążeniowej przy prędkości obrotowej 2000 obr/min i zasilaniu go różnymi paliwami

Fig. 11. NO_x , HC and CO_2 emission in exhaust fumes of AD3.152 UR engine fuelled with different oils, operating under load characteristics at the rotational speed 2000 RPM

6. Podsumowanie

Analiza wyników otrzymanych z przeprowadzonych badań hamownianych, sporządzonych wykresów indykatorowych i wykonanych pomiarów wybranych składników spalin przy zasilaniu silnika o zapłonie samoczynnym AD3.152 UR różnymi paliwami i jego pracy wg charakterystyk obciążeniowych dla prędkości obrotowych 1400, 1600 i 2000 obr/min, pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

1. Godzinowe i jednostkowe zużycia paliwa przybierały większe wartości przy zasilaniu badanego silnika estrami metylowymi kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME, niż przy zasilaniu go olejem napędowym. Zasilając silnik paliwami E20 i E30 uzyskano najmniejsze wartości godzinowego i jednostkowego zużycia paliwa.
2. Sprawność indykowana silnika uzyskiwała większe wartości przy zasilaniu go estrami oleju rzepakowego w porównaniu z zasilaniem go olejem napędowym. Wartości tej sprawności przy zasilaniu silnika paliwami E20 i E30 najczęściej mieściły się pomiędzy wartościami uzyskanymi dla FAME i ON.
3. Obliczone wartości sprawności mechanicznej badanego silnika są w większości punktów pomiarowych najmniejsze przy zasilaniu go olejem napędowym. Większe wartości otrzymywano dla pozostałych paliw: FAME, E20 i E30.
4. Sprawność efektywna silnika AD3.152 UR przyjmowała najmniejsze wartości dla oleju napędowego. Dla pozostałych paliw, którymi zasilano silnik uzyskano większe wartości tej sprawności.
5. Emisja tlenków azotu NO_x osiągnęła największe wartości przy zasilaniu silnika paliwem E30 i porównywalne wartości dla paliwa E20. Mniejszy poziom emisji tlenków azotu w porównaniu z wymienionymi wyżej paliwami uzyskano przy zasilaniu silnika estrami oleju rzepakowego, a najmniejszy przy jego zasilaniu olejem napędowym.
6. Emisja węglowodorów w większości punktów pomiarowych uzyskała większe wartości przy zasilaniu badanego silnika olejem napędowym niż przy jego zasilaniu pozostałymi paliwami. Różnica ta jest najbardziej widoczna na charakterystyce obciążeniowej sporządzonej dla prędkości 2000 obr/min. Przy zasilaniu silnika paliwem FAME i jego pracy wg charakterystyk obciążeniowych przy prędkościach obrotowych 1400 i 1600 obr/min, w zakresie większych obciążeń, uzyskano większą emisję HC niż dla oleju napędowego.
7. Emisja dwutlenku węgla w poszczególnych punktach pomiarowych była zazwyczaj największa przy zasilaniu silnika estrami. Najmniejsze wartości emisji CO_2 uzyskano przy zasilaniu silnika paliwami E20 i E30.

Na podstawie analizy otrzymanych wyników badań można stwierdzić, że przy zasilaniu silnika AD3.152 UR paliwami E20 i E30, czyli mieszaninami oleju napędowego i estrów metylowych oleju rzepakowego FAME zawierających odpowiednio 20% i 30% estrów, otrzymano korzystne wskaźniki pracy silnika. Efektem niekorzystnym dla tych paliw jest wzrost emisji tlenków azotu powyżej emisji uzyskanych przy zasilaniu silnika estrami oleju rzepakowego FAME i olejem napędowym.

Literatura

- [1] Baczewski, K., Kałdoński, T., *Paliwa do silników o zapłonie samoczynnym*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2004.
- [2] Bocheński, C. I., *Biodiesel paliwa rolnicze*, Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2003.
- [3] Duda, A., Łukasik, Z., Skręt, I., Kossowicz, L., *Estry metylowe wyższych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego jako paliwo lub komponent olejów napędowych* (cz.1, cz. 2), Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji, nr 104/2002, s. 23–24; nr 105/2003, 15–19.

- [4] Górski, W., Ostaszewski, W., Wiślicki B., *Krajowe oleje roślinne – surowcem dla paliwa silnikowych i olejów smarowych*, Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji, nr 90/2001, s. 5÷11.
- [5] Jackowska, I., Krasucki, W., Piekarski, W., Tys, J., Zając, G., *Rzepak z pola do baku*, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa 2004.
- [6] Labeckas, G., Slavinskas, S., *The effect of diesel fuel blending with rapeseed oil and RME on engine performance and exhaust emissions*, Journal of KONES Internal Combustion Engines vol. 12 1-2, s. 187-194, Warszawa 2005.
- [7] Lotko, W., *Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami węglowodorowymi i roślinnymi*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1997.
- [8] PN-EN 590:2005 Paliwa do pojazdów samochodowych. Oleje napędowe. Wymagania i metody badań.
- [9] PN-EN 14214 Paliwa do pojazdów samochodowych. Estry metylowe kwasów tłuszczowych (FAME) do silników o zapłonie samoczynnym (Diesla). Wymagania i metody badań.
- [10] Sams, T., *Use of Biofuels under Real World Engine Operation*. Proceedings of 2nd European Motor Biofuels Forum. Graz 1996.
- [11] Sprawozdanie z badań 5120402 wyrobu BIODIESELA D-FAME, Zleceniodawca: Rafineria Trzebinia S.A.
- [12] Szlachta, Z., *Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2002.
- [13] Świadectwo Jakości Nr BM-101/209a/2005 oleju napędowego Ekodiesel Ultra D.
- [14] Tinaut, F. V., Melgar, A., Briceño, Y., Horrillo, A., *Performance of vegetable derived fuels in diesel engine vehicles*, First International Congress on Combustion Engines, PTNSS KONGRES – 2005, The Development of Combustion Engines, Bielsko-Biała/Szczyrk 2005.