

THE EFFICIENCY OF USE OF BIODIESEL AND BIOCOMPONENTS FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Mieczysław Struś

*Kompania Spirytusowa „Wratislavia” Polmos Wrocław SA
ul. Monopolowa 4, 51- 501 Wrocław
tel.: +48 71 3474160
email: m.strus@polmos.wroc.pl*

Abstract

Biodiesel has attracted considerable attention during the past decade as a renewable, biodegradable, and less toxic fuel than traditional Diesel fuel. This paper presents the results of the effective parameters of UTD – 20 engine supplied by Diesel, Biodiesel (70% -Diesel, 30% - RME and ethanol with additives) and RME (rapeseed methyl esters). The phase portrait of engine torque was presented and durability of injection system was examined and discussed. Additional, the cold filter plugging point (CFPP) of investigated fuels was determined. Lubricant parameters of Diesel, Biodiesel and RME based of HFRR and SL BOCLE method have been shown in the paper. Moreover CO, HC, NOx concentrations in exhaust gases have been presented in graphical form in the paper. It has been concluded that the 5...10% vol. ethanol addition to pure fuel does not influence considerably on effective parameters of engine, especially in nonstationary states. In efficiency aspect the fatty acid esters could be self-contained fuel for diesel engines. Biodiesel does influence advantageously on durability of engine and injection system causing obtain more favorable cold temperatures parameters in comparison to rapeseed methyl esters and diesel oil.

EFEKTYWNOŚĆ ZASTOSOWANIA BIOPALIW I BIOKOMPONENTÓW DO SILNIKÓW SPALINOWYCH

Streszczenie

Biodiesel w ciągu ostatniej dekady wzbudził zainteresowanie jako odnawialne, biodegradowalne oraz mniej toksyczne paliwo niż tradycyjny olej napędowy. Referat przedstawia rezultaty badań parametrów efektywnych silnika UTD-20 zasilanego olejem napędowym, paliwem typu biodiesel (70% ON oraz 30 % biokomponentów złożonych z RME, etanolu z dodatkami uszlachetniającymi) i RME (ester metylowy wyższych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego). W artykule zaprezentowano portret fazowy momentu obrotowego badanego silnika oraz określono trwałość aparatury wtryskowej. Dodatkowo zaprezentowano temperatury blokady zimnego filtra badanych paliw, a także smarność oleju napędowego, biodiesela oraz RME określone metodami HFRR i SL BOCLE. Ponadto, w formie graficznej, przedstawiono zawartość CO, HC oraz NOx w wylotowych gazach spalinowych. Wyniki badań pozwoliły na wyciągnięcie wniosków: 5...10% dodatek etanolu do benzyn nie wpływa znacząco na parametry efektywne silnika, zwłaszcza w stanach nieustalonych. W aspekcie efektywności estry wyższych kwasów tłuszczowych mogą być samoistnym paliwem do silników o zapłonie samoczynnym, a ponadto Biodiesel korzystnie wpływa na żywotność silnika oraz aparatury wtryskowej, umożliwiając uzyskanie znacznie korzystniejszych własności niskotemperaturowych niż dla estrów oleju rzepakowego i oleju napędowego.

1. Wstęp

Ustawodawstwo Unii Europejskiej, a także zapisy Ustawy o biokomponentach stosowanych w paliwach ciekłych i biopaliwach ciekłych dotyczące stosowania składników roślinnych zarówno do paliw silników o zapłonie iskrowym jak również do silników o zapłonie samoczynnym przewidują zastosowanie węglowodorów roślinnych w ilości 5 ... 10 % ogólnej masy paliw do silników spalinowych w najbliższych latach.

We wprowadzaniu biopaliw do gospodarki narodowej obecnie na czoło wysuwają się USA, gdzie problem niezależności paliwowej jest podkreślany ze względów strategicznych. Już w 2002 r. Senat USA zaprobował tzw. Senat Energy Bill zawierający szereg inicjatyw ustawodawczych dotyczących upowszechniania biopaliw wraz z ustanowioną przez ASTM

normą dla biopaliwa tzw. Biodiesel Fuel (B100) do silników Diesla. Stanowi ona krok milowy dla przemysłu biopaliwowego umożliwiając szerokie upowszechnianie biopaliw w postaci czystej i mieszanek. Wprowadzając tą normę USA u siebie uporządkowały rynek biopaliw znacznie w tym względzie wyprzedzając ustawodawstwo europejskie.

2. Biokomponenty i biopaliwa do silników o zapłonie iskrowym

Gwałtownie wzrasta rynek paliw etanolowych w USA, Brazylii i Kanadzie. Etanol jest używany jako wysokooktanowy komponent benzyn w postaci czystej w mieszankach o zawartości od 5 do 85% (E5...E85) lub w postaci eterów MTBE i ETBE. Rachunek ekonomiczny nie wykazuje wyższości ETBE jako korzystniejszego z przyczyn technicznych, np. we Francji. Zwiększa się więc ilość czystego etanolu w benzynach uszlachetnianych także odpowiednimi dodatkami. W Polsce zawartość etanolu w paliwach silnikowych od lat reguluje norma dopuszczająca 5 % zawartość etanolu w benzynach, a jego jakość reguluje norma zakładowa opracowana przez Instytut Technologii Nafty już w 1991 r. stanowiąca wierne odzwierciedlenie normy USA ASTM 4608. W latach 90-tych badania eksploatacyjne silników o zapłonie iskrowym zasilane benzyną z 8% udziałem etanolu prowadzone były z pomyślnym wynikiem przez CPN Oddział Wrocław.

Tab. 1. The part of petrol open to the public sale containing min 4,5 % bioethanol in Poland between 1993 and 2002

Tab. 1. Udział benzyn zawierających w swoim składzie co najmniej 4,5 % bioetanolu, w ogólnej puli benzyn sprzedawanych w Polsce w latach 1993 - 2002

Rok	Produkcja krajowa bioetanolu		Udział etanolu w benzynach w Polsce	Zużycie krajowe benzyn silnikowych	Rynek benzyn zawierających 4,5 % dodatek bioetanolu
Year	Domestic production of bioethanol		The part of ethanol in engine petrol used in Poland	Domestic consumption of engine petrols	The part of petrols on the market containing 4,5% of bioethanol
	m ³	t	%	tys. t	%
1993	11000	8679	0,17%	4969	3,88
1994	27000	21303	0,38%	5567	8,50
1995	63000	49707	0,91%	5464	20,22
1996	100900	79610	1,70%	4692	37,70
1997	110000	86790	1,72%	5058	38,13
1998	99800	78742	1,55%	5071	34,51
1999	83226	65665	1,11%	5905	24,71
2000	51449	40593	0,78%	5 174	17,43
2001	71899	56728	1,13%	5000*	x
2002**	47616	37569	1,50%	2500*	x

** - w 2002 ocena na podstawie danych za I półrocze.

x - dane dot. lat 2001 - 2002 wymagają specjalnego przeliczenia - PKN Orlen rozpoczął dodawanie bioetanolu w postaci EETB.

Piątego grudnia 2002 r. ponad 40 producentów samochodów z całego świata określiło nowe własności paliw w Światowej Karcie Paliw – The World Wide Fuel Charter, WWFC

2002. Dopuszcza ona dodawanie do 10% etanolu do benzyn. Stanowczo zabrania stosowania metanolu jako czynnika destabilizującego system paliwowy. Odbyta w 2003 r. podróż autora do USA wykazała popularność stosowania benzyn zawartością 10 % bioetanolu m.in. przez koncern BP. Rozważania dotyczące wpływu zawartości etanolu w ilości 5...10 % w benzynach wykazały zmniejszenie mocy silnika o ok. 0,6 do 1,2 % co wynika z mniejszej wartości cieplnej etanolu jednakże zawartość tlenu w etanolu poprawiając jakość spalania zmniejsza tę dysproporcję w stosunku do stosowania czystej benzyny. Jednakże znacznie wyższa wartość liczby oktanowej etanolu - 111,4 wobec 95...98 w benzynach, umożliwia sprawniejszy proces spalania (o mniejszym zakresie spalania detonacyjnego) w stanach nieustalonych pracy silnika.

3. Badania silników o zapłonie samoczynnym zasilanych biopaliwami

Wyniki badań prowadzonych w ciągu 10 lat oraz wielokryterialna optymalizacja eksploatacyjna silników dowodzi, że w polskiej strefie klimatycznej optymalnym paliwem do silników o zapłonie samoczynnym jest mieszanina zawierająca obok oleju napędowego 30% udział biokomponentów złożonych z estrów metylowych/etylowych oleju rzepakowego - [RME/REE] i odwodnionego etanolu, którą nazwano BIOXDIESEL.

4. Parametry efektywne silnika

Celem badań było określenie wartości i charakteru zmian podstawowych parametrów efektywnych pracy silnika o ZS zasilanego paliwem typu BIOXDIESEL (M1, M2 , M3, M4), a także porównanie uzyskanych rezultatów przy zasilaniu olejem napędowym. Efektywność pracy silnika określono na podstawie pomiarów jego charakterystyk dynamicznych, które przedstawiają przebieg momentu obrotowego wytwarzanego przez silnik przy zmianie prędkości obrotowej wału korbowego, spowodowanej szybkim dostarczeniem do wnętrza cylindrów paliwa prawie w całości przeznaczonego na pokonanie oporów bezwładności silnika (odbiornik energii odłączony).Zmianę momentu obrotowego wytwarzanego opisuje równanie (1):

$$M_o = J \cdot \frac{d\omega}{dt} = J \cdot \varepsilon , \quad (1)$$

gdzie: ε - chwilowe przyśpieszenie wału korbowego silnika ,

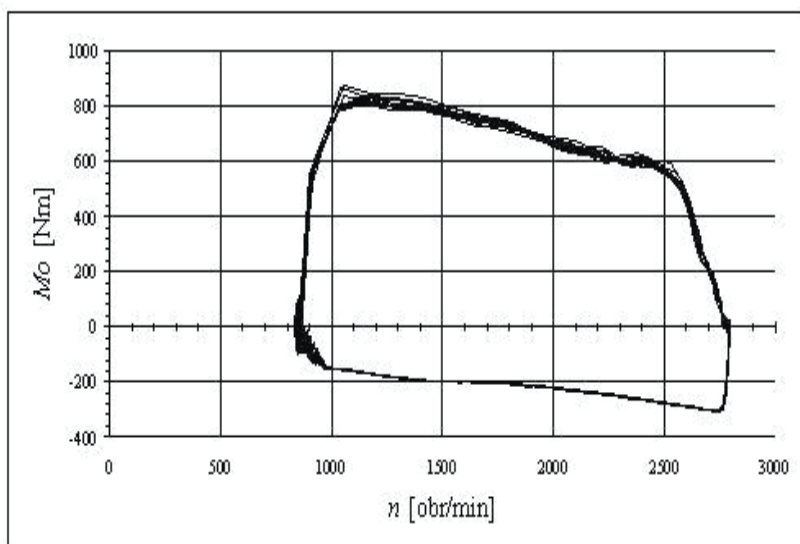
J – biegunowy moment bezwładności obrotowych mas silnika sprowadzony do osi wału korbowego.

Badaniom poddano silnik napędowy UTD-20 zasilany kolejno ON i paliwem BIOXDIESEL z wykorzystaniem Komputerowego Zestawu Diagnostycznego Silników o ZS, którego portret fazowy (dynamiczną charakterystykę prędkościową) przedstawiono na rys. 1

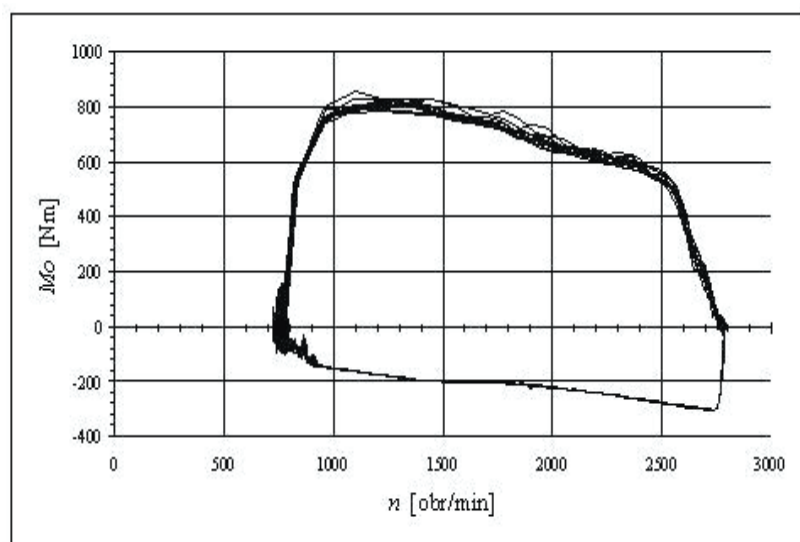
Obliczone wartości parametrów statystycznych cyklodynów stanowiących dodatnią część portretu fazowego dla poszczególnych paliw przy dbałości o quasi stały stan cieplny silnika i parametry otoczenia przedstawia tabela 2. Natomiast graficzne zobrazowanie usytuowania środków ciężkości przedstawiono na rys. 2.

Analiza charakteru przebiegu krzywych charakterystyk dynamicznych przy zasilaniu olejem napędowym i paliwem BIOXDIESEL pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

- charakter krzywych dla wszystkich paliw jest zgodny z charakterystyką jak dla ON,
- różnice wartości mocy maksymalnych uzyskanych przez silnik UTD-20 zasilany paliwem BIOXDIESEL i ON zawierają się w granicach od 2,1% do 7,2% zależnie od proporcji bioetanolu i RME w 30 % udziale biokomponentów.



(a)

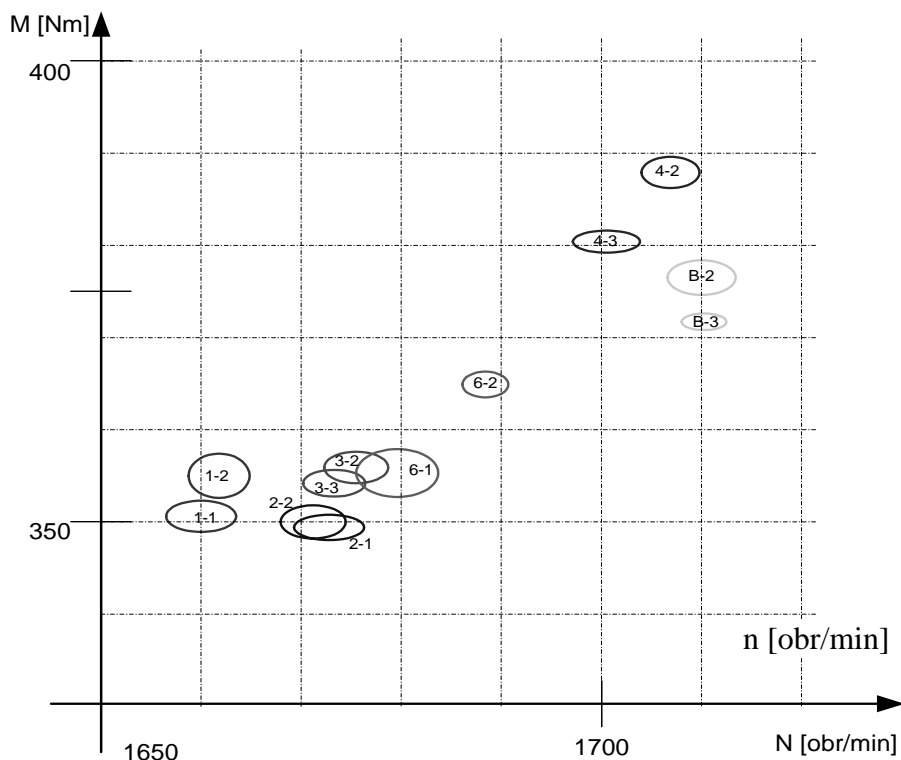


(b)

Rys. 1. Portret fazowy silnika UTD-20 przy zasilaniu ON (a) i paliwem BIOXDIESEL (b)
 Fig. 1. The phase portrait of UTD-20 engine supplied by Diesel (a) and Bioxdiesel (b)

Tab. 2. The statistical decomposition parameters of investigated fuels
 Tab. 2. Parametry rozkładów statystycznych dla badanych paliw

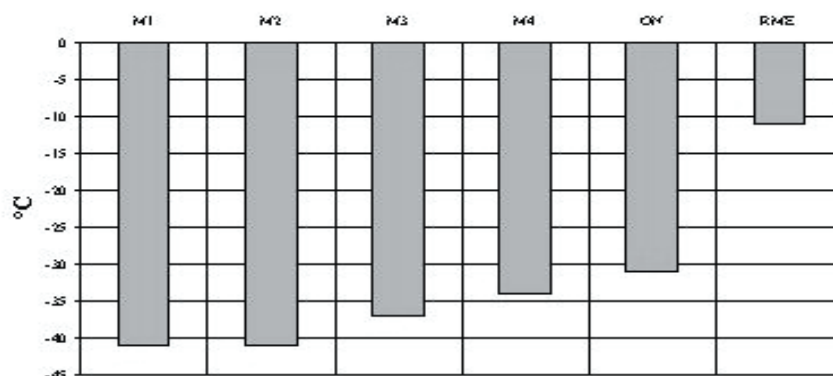
Oznaczenie serii pomiarowej	Paliwo	n0	M0	δn	δm
<i>Denotation of measurement series</i>	<i>Fuel</i>				
B2	Olej napędowy	1710,1	376,5	6,8	3,7
B3	Diesel oil	1710,2	371,6	4,4	1,7
1-1	BIOXDIESEL	1669,8	350,6	7,0	3,3
1-2		1671,8	355,0	6,1	4,8
2-1		1682,2	34934	7,1	2,7
2-2		1681,2	350,0	6,5	3,6
3-2		1685,5	355,9	6,4	3,4
3-3		1683,3	354,2	6,2	2,9
4-2	DIESEL + RME	1716,9	387,9	5,8	3,4
4-3		1710,5	380,4	6,7	2,3
6-1	RME	1689,6	355,3	8,1	5,2
6-2		1698,4	364,9	4,6	2,8



Rys. 2. Zbiór środków ciężkości cyklodynów dla silnika zasilanego różnymi paliwami
 Fig. 2. The collection of center gravities of cyclodines for engine supplied by different fuels

5. Własności niskotemperaturowe paliwa

Badaniom poddano cztery mieszaniny złożone w różnych proporcjach z RME, odwodnionego etanolu i oleju napędowego – (M1, M2, M3, M4) oraz do celów porównawczych czysty ON, a także czysty RME.

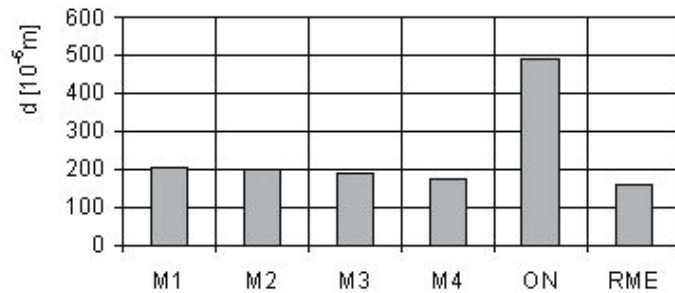


Rys. 3. Temperatura zablokowania zimnego filtra
 Fig. 3. Cold-filter plugging point

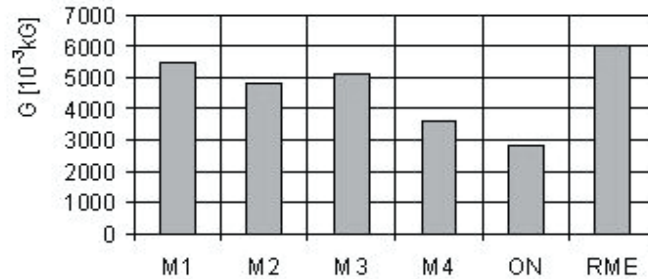
Najlepsze właściwości niskotemperaturowe przejawia mieszanina M1 ze względu na największą zawartość procentową etanolu.

6. Własności smarne paliwa

Badania własności smarnych wykonano wg dwóch metod badawczych: CEC F-06-A-96 (HFRR) i ASTM D 6078-97 (SL BOCLE).



Rys. 4. Smarność paliw określona metodą HFRR
 Fig. 4. Fuel lubricity determined using HFRR method



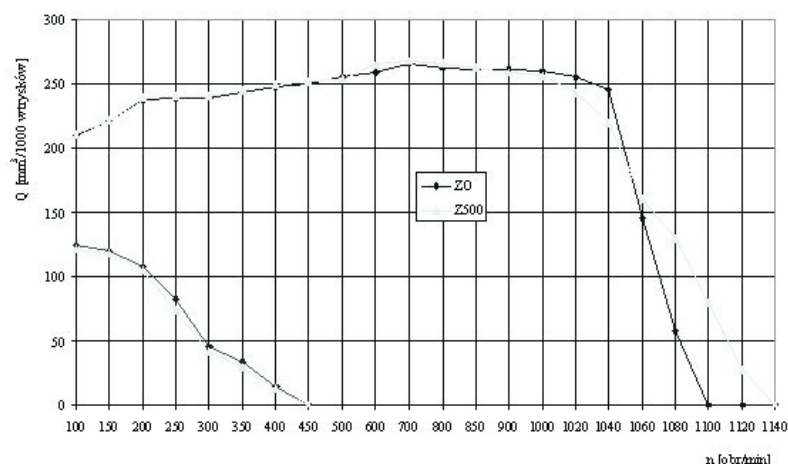
Rys. 5. Smarność paliw określona metodą SLBOCLE
 Fig. 5. Fuel lubricity determined using SLBOCLE method

Wyniki badań pozwalają sformułować następujący wniosek:

- paliwo typu BIOXDIESEL cechuje się lepszymi właściwościami smarnymi niż ON, mierzonymi zarówno metodą HFRR i SLBOCLE spełniając normy smarnościowe określone w zaleceniach amerykańskich oraz europejskich.

7. Określenie trwałości aparatury wtryskowej zasilanej paliwem BIOXDIESEL

Celem przeprowadzonych badań było określenie wielkości zużycia podstawowych elementów 12 sekcyjnej, rzędowej pompy wtryskowej, ze szczególnym uwzględnieniem par precyzyjnych zasilanej paliwem BIOXDIESEL. Pompa współpracowała z kompletem wtryskiwaczy z 8 otworkowymi rozpylaczami, o średnicy otworków 0,3 mm. Długotrwałą próbę funkcjonalną aparatury wtryskowej przeprowadzono na specjalnie zaprojektowanym i wykonanym stanowisku badawczym.

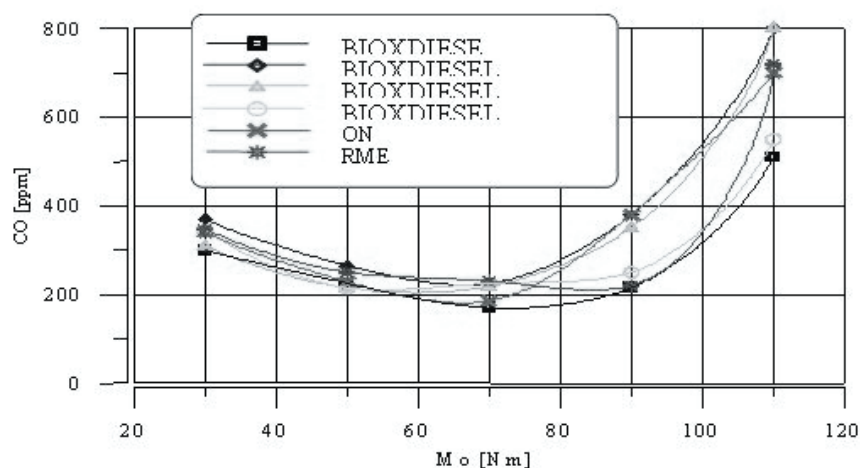


Rys. 6. Charakterystyka dawki pompy wtryskowej NK-12M; (ZO – bazowa, Z500 – po 500 godzinnej pracy na stanowisku badawczym przy zasilaniu paliwem BIOXDIESEL)
 Fig. 6. The Characteristics of dosage of injection pump NK-12M (ZO-basis curve), Z500 – after 500 hours of working on test bed supplied by Biodiesel

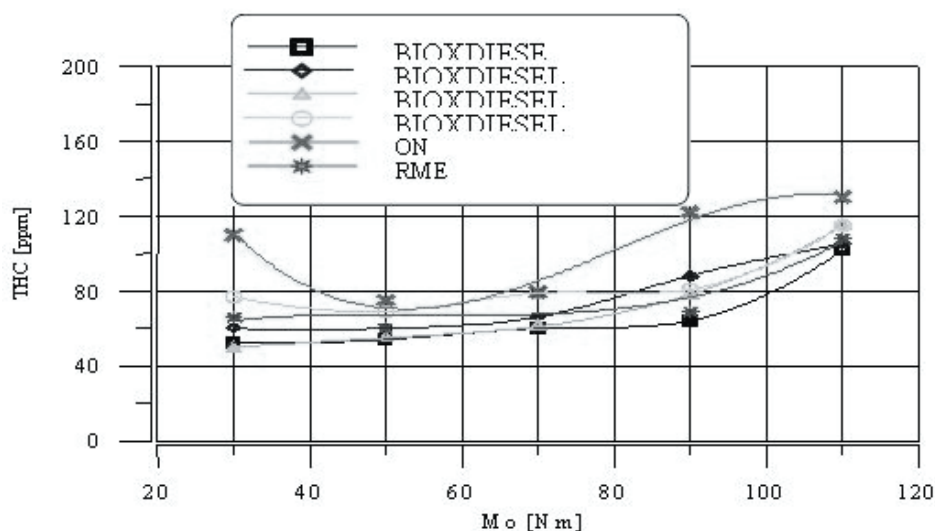
Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów można wyciągnąć następujące wnioski: pompa wtryskowa, zasilana paliwem BIOXDIESEL po teście trwałościowym spełnia parametry regulacyjne w zakresie charakterystyk zewnętrznych dawkowania, a wielkości zużycia poszczególnych elementów funkcjonalnych pompy wtryskowej mieszczą się w granicach przyjętych przez producenta i są zbliżone do wartości uzyskiwanych przy zasilaniu olejem napędowym.

8. Określenie emisji składników gazów spalinowych

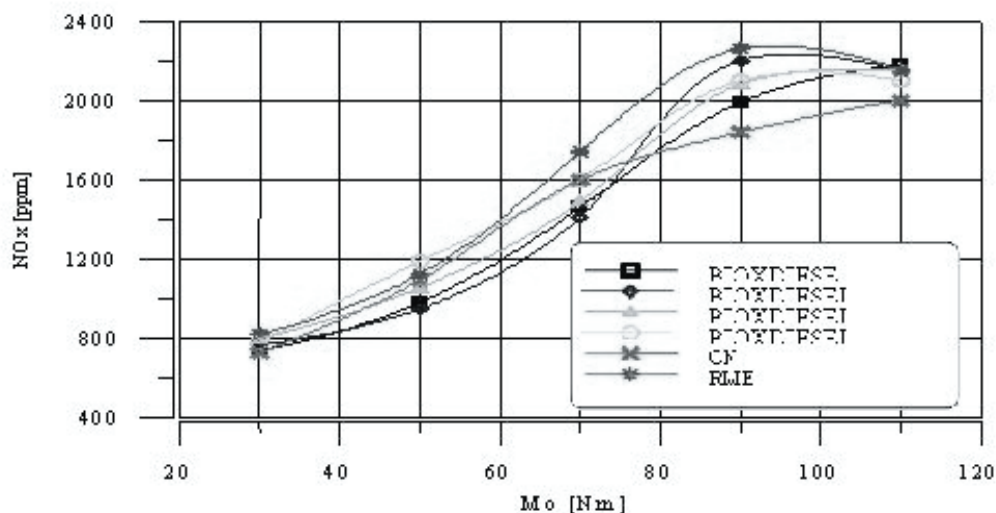
Celem badań była analiza składu gazów spalinowych silnika zasilanego paliwem typu BIOXDIESEL, ON oraz RME. Do badań zastosowano silnik badawczy SB 3.1. Dla każdego punktu charakterystyk obciążeniowych przeprowadzono analizę toksycznych składników i zadymienia spalin. Obejmowała ona pomiary stężenia w spalinach tlenku węgla CO, tlenków azotu NOx i sumy niespalonych węglowodorów THC. Ponadto mierzono zadymienie spalin.



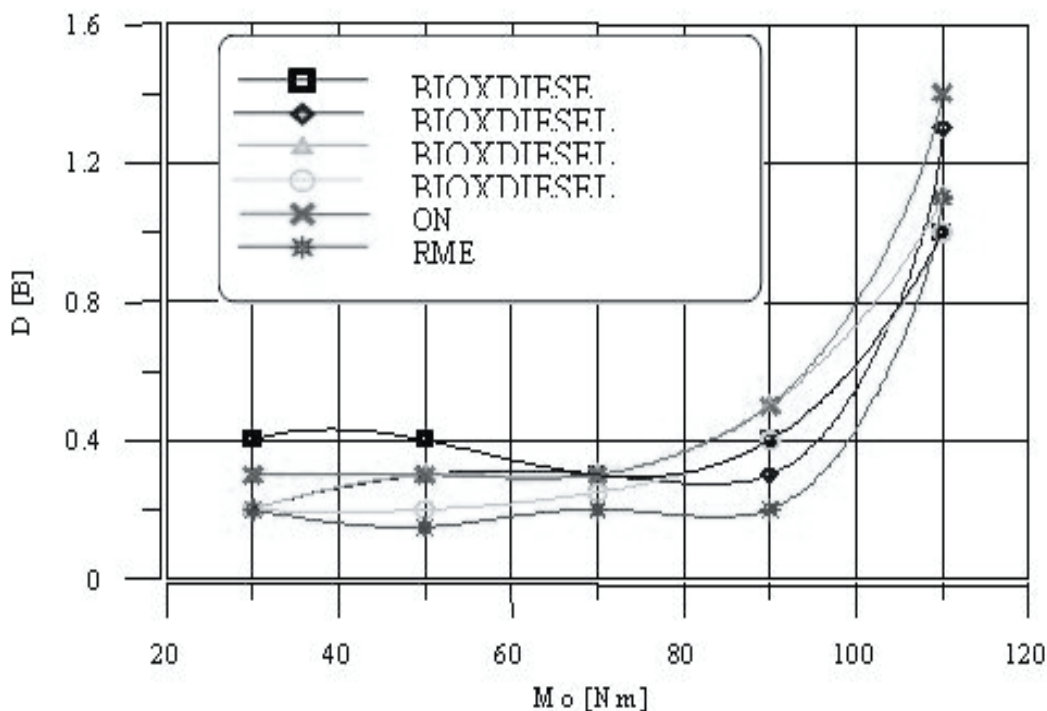
Rys. 7. Stężenie tlenku węgla CO w spalinach w funkcji obciążenia silnika ($n=1600$ obr/min)
 Fig. 7. CO concentration in exhaust gases vs. engine loading ($n=1600$ r/min)



Rys. 8. Stężenie niespalonych węglowodorów w funkcji obciążenia silnika ($n=1600$ obr/min)
 Fig. 8. THC concentration vs. engine loading ($n=1600$ r/min)



Rys. 9. Stężenie tlenków azotu w spalinach w funkcji obciążenia silnika
 Fig. 9. NOx concentration in exhaust gases vs. engine loading



Rys. 10. Zadymienie spalin w funkcji obciążenia silnika ($n=1600$ obr/min)
 Fig. 10. Smokiness of exhaust gases vs. engine loading ($n=1600$ r/min)

9. Wnioski końcowe

Dotychczasowe badania umożliwiają sformułowanie następujących wniosków:

- Zawartość bioetanolu w benzynach w ilości 5...10 % objętości nie ma praktycznego wpływu na zmianę parametrów efektywnych silnika zwłaszcza w stanach nieustalonych.
- W aspekcie efektywności (zwłaszcza w stanach nieustalonych pracy silnika) estry wyższych kwasów tłuszczowych mogą stanowić samoistne paliwo do silników o ZS.
- Mieszanina estrów wyższych kwasów tłuszczowych i etanolu stanowiąca 30 procentowy udział biokomponentów w oleju napędowym umożliwia uzyskanie parametrów

energetycznie analogicznych jak dla ON, przy znacznym zmniejszeniu składników toksycznych w gazach spalinowych.

- Mieszanina ta (BIOXDIESEL) korzystnie wpływa na trwałość aparatury wtryskowej i silnika umożliwiając uzyskanie znacznie korzystniejszych własności niskotemperaturowych niż dla estrów oleju rzepakowego i oleju napędowego.

Literatura

- [1] Lotko W., Longwic R., Nieustalone stany pracy silnika zasilanego paliwem rzepakowym. Politechnika Radomska. Radom 1999.
- [2] Olchowik W., Struś M., Metrologiczne aspekty badań silnika spalinowego o ZS zasilanego paliwami alternatywnymi w stanach nieustalonych. 5th International Scientific Conference on Combustion Engines . KONSSPAL'2002. WSO im. T. Kościuszki. Wrocław 2002.
- [3] Pięta A., Diagnozowanie silników o ZS na podstawie przebiegu procesu przejściowego. Politechnika Poznańska 1998.
- [4] Struś M., Diesel motors of combat vehicles in the aspect of their alternative feeding by vegetable fuels. European Automotive Congress - Bratislava,2001.
- [5] Struś M., Feeding of multicapacity diesel engines by plant origin fuels. II International Scientifically-Technical Conference Explo-Diesel & Gas Turbine 2001, Gdańsk-Międzyzdroje-Kopenhaga, 2001.
- [6] Struś M., Charakterystyki silnika spalinowego o ZS zasilanego paliwami alternatywnymi w procesach przejściowych.. KONSSPAL'2002. WSO im. T. Kościuszki. Wrocław 2002.
- [7] Struś M., Galant K., Kowalski K., Ornatowski D., Mieszanina węglowodorów pochodzenia mineralnego i roślinnego (BIOXDIESEL) optymalnym paliwem do silników o ZS. 5th International Scientific Conference on Combustion Engines. KONSSPAL'2002. WSO im. T. Kościuszki. Wrocław 2002.
- [8] Struś M., Bioetanol jako składnik optymalizacyjny jakości paliw do tłokowych silników spalinowych, Akademia Rolnicza Wrocław 2004.
- [9] Szlachta Z., Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi. WKiŁ, Warszawa 2002.

