

ANALYSIS OF NITROGEN OXIDES EMISSION IN SELF-IGNITION ENGINE FUELLED WITH DIESEL OIL PLANT FUEL AND THEIR BLENDS

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

Continuously increasing demand for energy, the depletion of unrenovable conventional fuels and the impact of political situation on their accessibility make a search for new energy sources become a necessity. Moreover, environmental concerns over harmful impact of hydrocarbon fuels combustion products in piston IC engines also contribute to the development of alternative fuels technologies. Plant fuels provide an option as regards IC engines fuelling. They have a major advantage of being renewable and easily biodegradable.

The paper presents results of investigations into nitrogen oxides NO_x emissions in AD3.152 UR self-ignition engine fuelled with rapeseed oil fatty acids methyl esters FAME, diesel oil Ekodiesel Ultra D and their blends. The investigations were conducted at the engine test house. The engine operated in the external speed characteristics regime and load characteristics regimes at the rotational speed of 1400 and 2000 rpm. Measurements of nitrogen oxides NO_x emissions were taken for various settings of fuel injection advance angle. The experimental results were presented in a graphic form to compare measured nitrogen oxides NO_x emissions for the engine operating on different fuels and for different settings of the fuel injection advance angle. The analysis of experimental results aimed at the assessment of the impact of engine fuelling with plant fuel and plant fuel/diesel oil blends on nitrogen oxides NO_x emissions. The possibilities of reduction in NO_x emissions by means of fuel injection advance angle adjustment were also accounted for.

The results obtained in the experimental investigations clearly indicate increased NO_x emissions when the AD3.152 UR engine ran on pure rapeseed oil methyl esters FAME or FAME and diesel oil blends when compared with diesel oil fuelling and the fuel injection advance angle set by the manufacturer. A decrease in injection advance angle with respect to the setting by the manufacturer resulted in the reduction in NO_x emissions while the engine operated on the above-mentioned fuels.

Keywords: *self-ignition internal combustion engines, rapeseed oil fatty acids methyl esters FAME, diesel oil, experimental investigations, nitrogen oxides NO_x*

ANALIZA EMISJI TLENKÓW AZOTU SILNIKA O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM ZASILANEGO OLEJEM NAPĘDOWYM, PALIWEM ROŚLINNYM I ICH MIESZANINAMI

Streszczenie

Ciągły wzrost zapotrzebowania na energię, wyczerpywanie się nieodnawialnych zasobów paliw konwencjonalnych oraz uzależnienie dostępu do ich pozyskiwania od sytuacji politycznej, stwarza konieczność poszukiwania nowych źródeł energii. Poza tym względy ekologiczne związane ze szkodliwym oddziaływaniem na środowisko produktów spalania paliw węglowodorowych w tłokowych silnikach spalinowych, stymulują rozwój technologii pozyskiwania paliw alternatywnych do ich zasilania. Jedną z takich możliwości jest zastosowanie do zasilania silników spalinowych paliw pochodzenia roślinnego. Zasadniczą zaletą tego rodzaju paliw jest to, że są one odnawialne i łatwo ulegają biodegradacji.

W artykule przedstawiono wyniki badań emisji tlenków azotu NO_x silnika o zapłonie samoczynnym AD3.152 UR zasilanego estrami metylowymi kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME, olejem napędowym Ekodiesel Ultra D i mieszaninami tych paliw. Badania przeprowadzono na hamowni silnikowej. Podczas badań silnik pracował według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej oraz charakterystyk obciążeniowych wykonanych dla prędkości obrotowych 1400 i 2000 obr/min. Pomiar emisji tlenków azotu NO_x przeprowadzono dla różnych regulacji kąta wyprzedzenia wtrysku paliwa. Wyniki przeprowadzonych badań przedstawiono w sposób graficzny pozwalający na porównanie zmierzonej emisji tlenków azotu NO_x przy zasilaniu silnika różnymi paliwami oraz przy różnych regulacjach kąta wyprzedzenia wtrysku paliwa. Analizę wyników badań prowadzono pod kątem oceny wpływu zasilania silnika paliwem roślinnym i mieszaninami paliwa roślinnego z olejem napędowym na emisję tlenków azotu NO_x oraz możliwości ograniczenia tej emisji poprzez regulację kąta wyprzedzenia wtrysku paliwa.

Otrzymane wyniki badań jednoznacznie wskazują na wzrost emisji tlenków azotu NO_x przy zastosowaniu do zasilania silnika AD3.152 UR czystych estrów metylowych oleju rzepakowego FAME oraz ich mieszanin z olejem napędowym, w porównaniu z zasilaniem silnika olejem napędowym i przy fabrycznym ustawieniu kąta wyprzedzenia wtrysku paliwa. Zmniejszając kąt wyprzedzenia wtrysku w stosunku do ustawienia fabrycznego uzyskano zmniejszenia emisji tlenków azotu NO_x przy zasilaniu silnika wyżej wskazanymi paliwami.

Słowa kluczowe: silniki spalinowe o zapłonie samoczynnym, estry metylowe kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME, olej napędowy, badania eksperymentalne, tlenki azotu NO_x

1. Wprowadzenie

Tlenki azotu NO_x zaliczane są do najbardziej toksycznych składników spalin silnikowych, powstających podczas procesu spalania w wysokich temperaturach. Są nieuniknionymi ubocznymi produktami spalania, trudnymi do usunięcia ze spalin zawierających duże ilości tlenu. Azot z tlenem tworzy tlenki i może wystąpić w przyrodzie w siedmiu postaciach: N_2O , NO , N_2O_3 , NO_2 , N_2O_4 , N_2O_5 i NO_3 [7]. Z punktu widzenia emisji silnikowych i ochrony środowiska największe znaczenie mają: tlenek azotu NO , dwutlenek azotu NO_2 i podtlenek azotu N_2O . W atmosferze ziemskiej ulegają one licznym reakcjom chemicznym i procesom fizycznym. Z ich oddziaływaniem wiąże się powstawanie smogu fotochemicznego oraz kwaśnych deszczy.

Tlenki azotu NO_x powstają w wysokich temperaturach panujących w komorze spalania na skutek utleniania azotu zawartego zarówno w powietrzu jak i paliwie. Warunkami sprzyjającymi powstawaniu tlenków azotu jest wysoka temperatura i nadmiar tlenu [5]. Tlenkami azotu występującymi w płomieniach jest głównie tlenek azotu NO i mniejsze ilości dwutlenku azotu NO_2 . Podtlenek azotu N_2O nie występuje w płomieniach. Bezpośrednim skutkiem utleniania azotu atmosferycznego w komorze spalania silnika jest przede wszystkim tlenek azotu NO . Dwutlenek azotu powstaje wtórnie z istniejącego już NO . Podtlenek azotu N_2O powstaje z dekompozycji tlenku azotu [6].

Tlenek azotu jest gazem bezbarwnym i bezwonny, słabo rozpuszczalnym w wodzie. Wchłonięty do organizmu człowieka reaguje z hemoglobina tworząc NO -hemoglobinę. Zatrucie tlenkiem azotu objawia się ogólnym osłabieniem, zawrotami głowy i zdrętwieniem dolnych kończyn. Objawy te przy lekkich zatruciach znikają po kilku minutach, po wyjściu na świeże powietrze. Skutkami silnych zatruc jest sinica ust, słabnące tętno, lekkie dreszcze i zmiana barwy krwi [8, 9].

Najbardziej szkodliwym dla człowieka spośród tlenków azotu jest dwutlenek azotu NO_2 oraz jego polimer – czterotlenek azotu N_2O_4 . W wielkich aglomeracjach miejskich skutki dużych stężeń dwutlenku azotu w powietrzu bywają tragiczne, ponieważ przy niekorzystnych warunkach meteorologicznych może powodować śmierć [2]. Dwutlenek azotu do organizmu człowieka dostaje się przede wszystkim poprzez drogi oddechowe. Łatwo rozpuszcza się on w wydzielinie błon śluzowych, tworząc kwas azotowy i kwas azotawy, które działają drażniąco na błony. Następuje uszkodzenie błon śluzowych dróg oddechowych, pęcherzyków i naczyń włoskowatych płuc, prowadzące do rozwoju obrzęku płuc. Bardzo duże stężenia tlenków azotu mogą powodować natychmiastowe uczucie dławienia, odruchowe zatrzymanie oddechu ze skurczem oskrzeli oraz utratę przytomności. Po ustąpieniu obrzęku płuc konsekwencją zatrucia dwutlenkiem azotu są

powikłania zakaźne prowadzące do zapalenia oskrzeli lub płuc. Ostre zatrucia dwutlenkiem azotu mogą kończyć się śmiercią w następstwie zablokowania wymiany gazowej w płucach.

Podtlenek azotu N_2O jest trwałym i silnie działającym gazem cieplarnianym. Szkodliwe działanie podtlenku azotu jest związane z jego wpływem na zmniejszanie ochronnej warstwy ozonowej oraz pogłębianiem efektu cieplarnianego [7]. Podtlenek azotu jest związkami mało reaktywnym, dzięki czemu przenika z atmosfery do stratosfery. Tam uczestniczy on w reakcjach, w wyniku których wzrasta stężenie tlenku azotu NO reagującego następnie z ozonem. Wynikiem tych reakcji jest zmniejszenie ilości ozonu w warstwie ochronnej ziemi.

2. Metodyka badań

Negatywny wpływ eksploatacji tłokowych silników spalinowych na środowisko naturalne jest związany przede wszystkim z: emisją toksycznych składników spalin, ich zadymieniem oraz hałaśliwością pracy. Niniejszy artykuł dotyczy badań emisji tlenków azotu NO_x silnika o zapłonie samoczynnym zasilanego różnymi paliwami.

Celem niniejszej pracy było określenie wpływu rodzaju stosowanego paliwa do zasilania silnika o zapłonie samoczynnym AD3.152 UR na emisję tlenków azotu NO_x . Badania silnika przeprowadzono na hamowni silnikowej. Podczas badań stosowano dwa paliwa podstawowe: olej napędowy Ekodiesel Ultra D i estry metylowe kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME oraz mieszaniny tych paliw. W czasie badań hamownianych silnik pracował według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej oraz charakterystyk obciążeniowych wykonanych dla prędkości obrotowych wału korbowego silnika równych 1400 i 2000 obr/min. Zarówno dla charakterystyki prędkościowej jak i charakterystyk obciążeniowych wykonywano pomiary emisji tlenków azotu NO_x przy różnych ustawieniach kąta wyprzedzenia wtrysku α_{ww} . Najpierw badania wykonano przy fabrycznym ustawieniu kąta wyprzedzenia wtrysku równym $\alpha_{ww} = 17^\circ OWK$. Następnie te same badania powtórzono przy opóźnionym kącie wyprzedzenia wtrysku $\alpha_{ww} = 13^\circ OWK$ i przyspieszonym kącie wyprzedzenia wtrysku $\alpha_{ww} = 21^\circ OWK$, w stosunku do ustawienia fabrycznego. Wyniki badań pozwolą uzyskać odpowiedź na pytanie, w jaki sposób kąt wyprzedzenia wtrysku paliwa wpływa na emisję tlenków azotu NO_x silnika zasilanego paliwem węglowodorowym, paliwem roślinnym i ich mieszaninami.

Do pomiaru emisji tlenków azotu NO_x zastosowano analizator EXSA-240-CL firmy HORIBA. Analizator EXSA-240-C mierzy stężenie NO_x i O_2 w gazach emitowanych z silników. Stężenie NO_x mierzone było z wykorzystaniem metody detekcji chemiluminescencyjnej (CLD) a O_2 z wykorzystaniem czujnika galwanicznego. Analizator EXSA-240-CL spełnia wymagania normy ISO 8178. Charakterystyką zastosowanego analizatora EXSA-240-CL jest [12]:

- system poboru próbki i analizy wykorzystuje grzany tor przepływu próbki o temperaturze minimum $55^\circ C$ co jest zalecane przez ISO 8178,
- linia od miejsca poboru próbki do analizatora jest grzana, nie dochodzi więc do żadnych strat NO_x , dając w wyniku wysoką dokładność pomiaru NO_x ,
- jako źródło ozonu wymaganego w metodzie CLD wykorzystywane jest osuszone powietrze otoczenia w osuszaczu z silikażelem. Nie jest potrzebne dodatkowe źródło ozonu z butli.
- Podstawowe dane techniczne analizatora EXSA-240-CL przedstawiono w tabeli 1.

Metoda detekcji chemiluminescencyjnej zapewnia bardzo wysoką czułość oraz pozwala na minimalizację wpływu na wyniki innych substancji podczas pomiaru. Gdy próbka zawierająca NO jest mieszana z O_3 w reaktorze i zachodzi reakcja (1).



gdzie: NO_2^* molekuly NO_2 w stanie pobudzenia.

Część wytworzonego w ten sposób NO_2 znajduje się w stanie pobudzenia. Kiedy molekuly NO_2 w stanie pobudzenia wracają do stanu podstawowego energia pobudzenia jest wyemitowana jako fotony światła (2).



Światło to nazywa się chemiluminescencją i jest proporcjonalne do masy molekularnej NO przed reakcją. Stężenie NO w próbce może być określone przez pomiar intensywności luminescencji [12]. Ponieważ NO_2 zawarte w próbce nie może być zmierzone metodą detekcji chemiluminescencyjnej, jest poddane konwersji na NO przez konwerter. Analizator EXSA-240-CL ma wbudowany konwerter wykorzystujący katalizator Mo-C, który daje możliwość pomiaru NO plus NO_2 , czyli NO_x .

Tab. 1. Specyfikacja techniczna analizatora EXSA-240-CL [12]

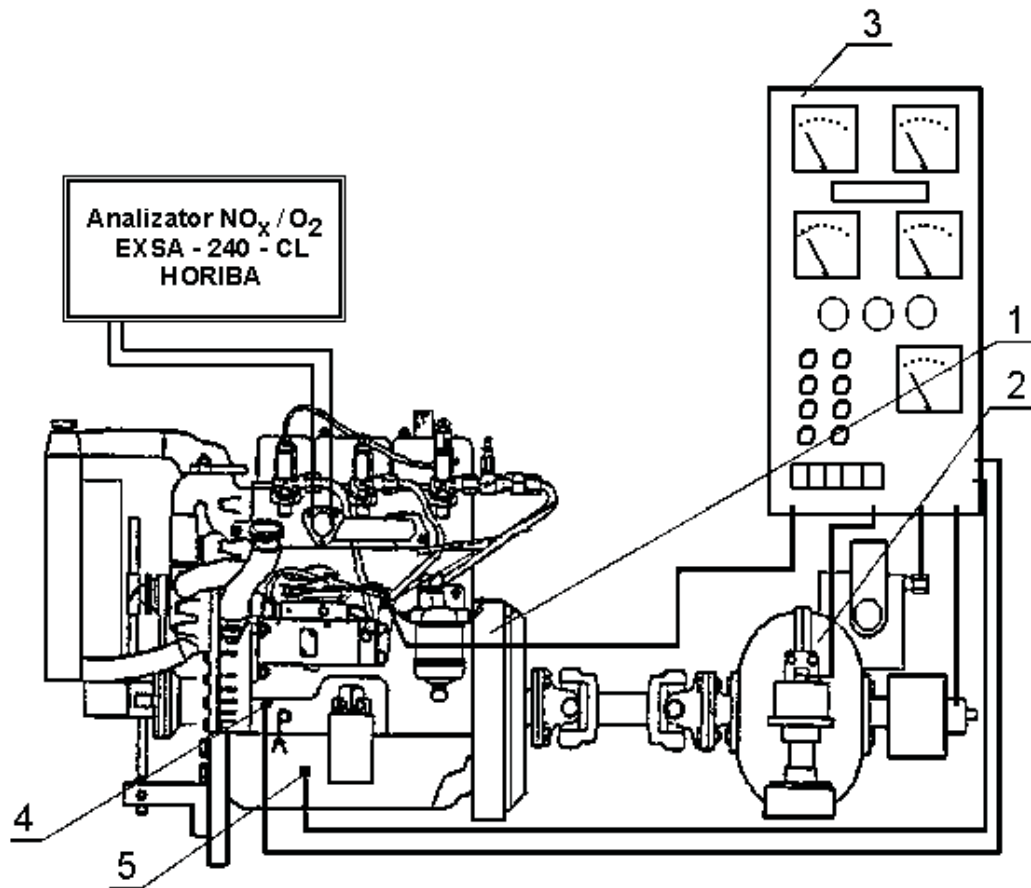
Tab. 1. EXSA-240-CL analyser technical specification [12]

Parametr	Opis
Zasada pomiaru: NO _x O ₂	metoda detekcji chemiluminescencyjnej CLD metoda czujnika elektrochemicznego
Zakresy pomiarowe: NO _x O ₂	0 - 2500 ppm 0 - 25%
Zakres temperatur roboczych:	5 ÷ 45°C
Poziom zakłóceń:	± 1% zakresu
Powtarzalność:	± 0,5% zakresu
Liniowość: NO _x O ₂	± 2% zakresu ± 2% zakresu
Gaz kalibracyjny:	NO - pojemnik zawierający 1l gazu
Czas nagrzewania:	30 min.

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

Obiektem badań w prezentowanej pracy był tłokowy silnik spalinowy o zapłonie samoczynnym AD3.152 UR. Jest to trzycylindrowy silnik z bezpośrednim wtryskiem paliwa do komory spalania usytuowanej w denku tłoka. 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 UR wyposażone są w czterootworowe rozpylacze. Silnik ten posiada górnozaworowy układ rozrządu z zaworami pionowo osadzonymi w głowicy. Zawory za pośrednictwem popychaczy i dźwigiemek zaworowych, napędzane są przez wałek rozrządu umieszczony w bloku silnika. Charakterystyczne parametry i dane techniczne badanego silnika AD3.152 przedstawiono w tabeli 2.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego 1 – badany silnik AD3.152 UR, 2 – hamulec wodny, 3 – blok kontrolno pomiarowy, 4 – czujnik temperatury cieczy chłodzącej silnik, 5 – czujnik temperatury oleju

Fig. 1. Diagram of the test stand 1 – AD3.152 UR engine, 2 – water brake, 3 – checking and measurement block, 4 – engine coolant temperature sensor, 5 – engine oil temperature sensor

Tab. 2. Podstawowe dane techniczne badanego silnika

Tab. 2. 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
Prędkość obrotowa biegu jałowego	obr/min	750±50

4. Paliwa wybrane do badań

W czasie badań eksperymentalnych badany silnik AD3.152 UR zasilano czterema paliwami, tj. dwoma paliwami podstawowymi: olejem napędowym Ekodiesel Ultra D (ON) i estrami metylowymi kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME, oraz mieszaninami tych paliw. Badania przeprowadzono dla następujących mieszanin paliwa węglowodorowego i roślinnego:

- 10% (V/V) estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME + 90% (V/V) oleju napędowego Ekodiesel Ultra D → oznaczono B10,
- 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.

Olej napędowy Ekodiesel Ultra D produkowany jest przez Polski Koncern Naftowy Orlen S.A. Jest on 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 [10, 14] opartej o najnowszą edycję normy europejskiej, określającej wymagania jakościowe olei napędowych. Wykorzystane do badań estry metylowe kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME zakupiono w Rafinerii Trzebinia. Jest to paliwo uzyskiwane w procesie transestryfikacji trójglicerydów oleju rzepakowego metanolem. W wyniku reakcji transestryfikacji uzyskuje się mieszaninę estrów metylowych kwasów tłuszczowych oraz frakcję glicerynową [1, 3]. Spełniają one wymagania normy PN-EN 14214 [11, 13], która jest zgodna z normą europejską określającą wymagania dla estrów metylowych kwasów tłuszczowych stosowanych jako biopaliwo lub jako dodatek do olei napędowych. Podstawowe własności fizykochemiczne oleju napędowego Ekodiesel Ultra D i estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME przedstawiono w tabeli 3.

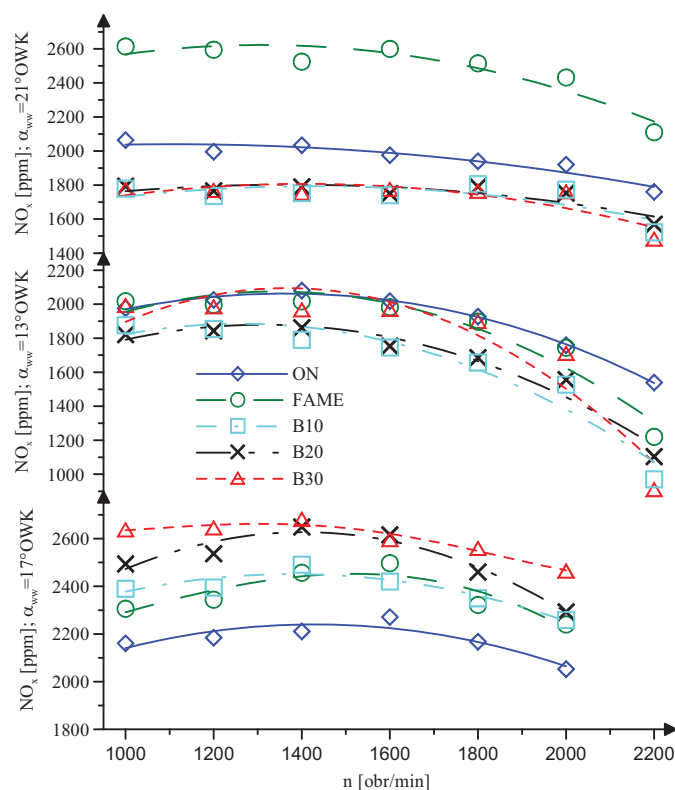
Tab. 3. Podstawowe właściwości fizykochemiczne paliw silnikowych wykorzystanych w badaniach [13, 14]
 Tab. 3. Basic physical and chemical properties of engine fuels used in investigations [13, 14]

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

5. Wyniki przeprowadzonych badań

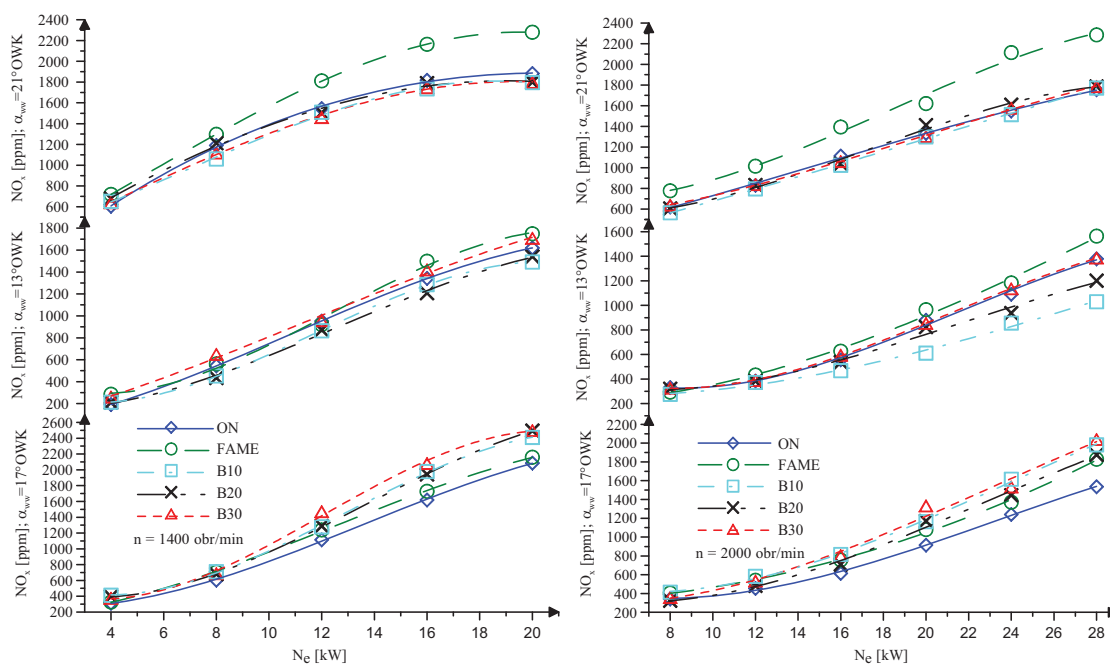
Na rysunku 2 przedstawiono wyniki pomiarów emisji tlenków azotu NO_x ze spalinami silnika AD3.152 UR pracującego według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej i zasilanego olejem napędowym Ekodiesel Ultra D (ON), estrami metylowymi kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME i mieszaninami tych paliw o zawartości estrów 10% (B10), 20% (B20) i 30% (B30). Przedstawione wyniki badań emisji tlenków azotu NO_x zostały uzyskane przy różnych ustawieniach kąta wyprzedzenia wtrysku paliwa α_{ww} : 17, 13 i 21 °OWK. Rysunek 3 prezentuje wyniki pomiarów emisji tlenków azotu NO_x zawartych w spalinach badanego silnika pracującego według charakterystyk obciążeniowych dla prędkości obrotowych 1400 i 2000 obr/min, przy ustawieniach kąta wyprzedzenia wtrysku paliwa α_{ww} : 17, 13 i 21 °OWK i zasilaniu silnika wyżej wymienionymi paliwami.

Dla zobrazowania wpływu ustawienia kąta wyprzedzenia wtrysku paliwa α_{ww} na emisję tlenków azotu NO_x wykonano wykresy, które pokazano na rysunkach 4 i 5. Na rysunku 4 przedstawiono wpływ regulacji kąta wyprzedzenia wtrysku paliwa na emisję tlenków azotu NO_x ze spalinami silnika AD3.152 UR pracującego według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej i zasilanego olejem napędowym Ekodiesel Ultra D (ON), estrami metylowymi kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME i mieszaninami tych paliw B20 i B30. Rysunek 5 przedstawia wpływ kąta wyprzedzenia wtrysku paliwa na emisję tlenków azotu NO_x zmierzoną dla badanego silnika, zasilanego paliwami: ON, FAME, B20 i B30, przy jego pracy według charakterystyk obciążeniowych wykonanych dla prędkości obrotowych 1400 i 2000 obr/min.



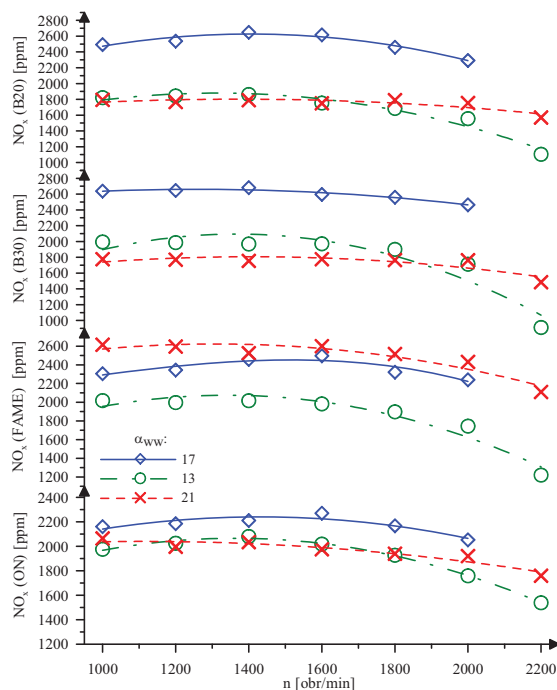
Rys. 2. Emisja tlenków azotu NO_x ze spalinami silnika AD3.152 UR pracującego według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej przy różnych ustawieniach kąta wyprzedzenia wtrysku paliwa α_{ww} i zasilaniu go olejem napędowym Ekodiesel Ultra D (ON), estrami metylowymi kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME i mieszaninami tych paliw o zawartości estrów 10% (B10), 20% (B20) i 30% (B30)

Fig. 2. Emission of nitrogen oxides NO_x in AD3.152 UR engine exhausts gases. The engine operates in the external speed characteristics regime at different settings of fuel injection advance angle α_{ww} and is fuelled with diesel oil Ekodiesel Ultra D (ON), rapeseed oil fatty acids methyl esters FAME and their blends where the esters content is 10% (B10), 20% (B20) and 30% (B30)



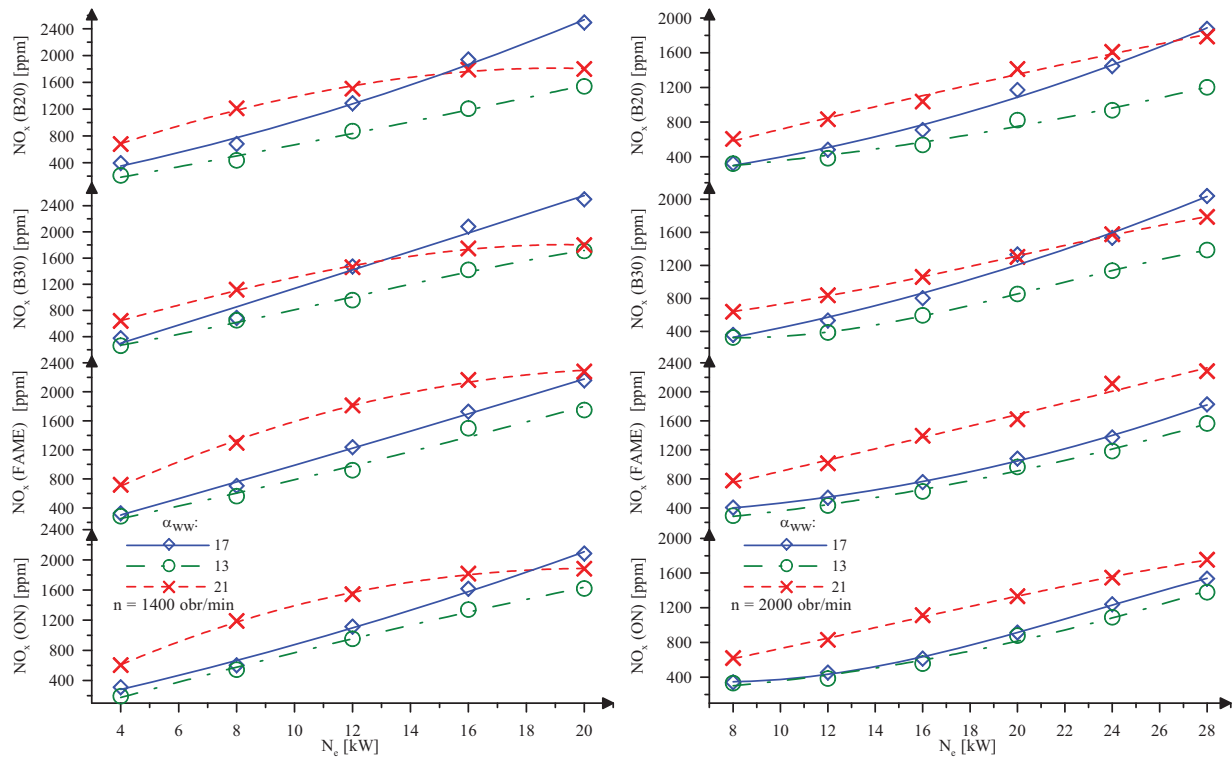
Rys. 3. Emisja tlenków azotu NO_x ze spalinami silnika AD3.152 UR pracującego według charakterystyk obciążeniowych dla prędkości obrotowych 1400 i 2000 obr/min przy różnych ustawieniach kąta wyprzedzenia wtrysku paliwa α_{wv} i zasilaniu go olejem napędowym Ekodiesel Ultra D (ON), estrami metylowymi kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME i mieszaninami tych paliw o zawartości estrów 10% (B10), 20% (B20) i 30% (B30)

Fig. 3. Emission of nitrogen oxides NO_x in AD3.152 UR engine exhausts gases. The engine operates in the load characteristics regime at the rotational speed 1400 and 2000 rpm for different settings of fuel injection advance angle α_{wv} . It is fuelled with diesel oil Ekodiesel Ultra D (ON), rapeseed oil fatty acids methyl esters FAME and their blends where the esters content is 10% (B10), 20% (B20) and 30% (B30)



Rys. 4. Wpływ ustawienia kąta wyprzedzenia wtrysku paliwa α_{wv} na emisję tlenków azotu NO_x ze spalinami silnika AD3.152 UR pracującego według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej i zasilanego olejem napędowym Ekodiesel Ultra D (ON), estrami metylowymi kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME i mieszaninami tych paliw o zawartości estrów 20% (B20) i 30% (B30)

Fig. 4. The impact of the setting of fuel injection advance angle α_{wv} on nitrogen oxides NO_x emission in AD3.152 UR engine exhaust gases. The engine operates in the external speed characteristics regime and is fuelled with diesel oil Ekodiesel Ultra D (ON), rapeseed oil fatty acids methyl esters FAME and their blends where the esters content is 10% (B10), 20% (B20) and 30% (B30)



Rys. 5. Wpływ ustawienia kąta wyprzedzenia wtrysku paliwa α_{ww} na emisję tlenków azotu NO_x ze spalinami silnika AD3.152 UR pracującego według charakterystyk obciążeniowych dla prędkości obrotowych 1400 i 2000 obr/min, zasilanego olejem napędowym Ekodiesel Ultra D (ON), estrami metylowymi kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME i mieszaninami tych paliw o zawartości estrów 20% (B20) i 30% (B30)

Fig. 5. The impact of the setting of fuel injection advance angle α_{ww} on nitrogen oxides NO_x emission in AD3.152 UR engine exhaust gases. The engine operates in the load characteristics regime at the rotational speed 1400 and 2000 rpm and is fuelled with diesel oil Ekodiesel Ultra D (ON), rapeseed oil fatty acids methyl esters FAME and their blends where the esters content is 10% (B10), 20% (B20) and 30% (B30)

6. Podsumowanie

Przeprowadzone badania miały na celu określenie wpływu zastosowania estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME oraz ich mieszanin z olejem napędowym Ekodiesel Ultra D na emisję tlenków azotu ze spalinami silnika o zapłonie samoczynnym AD3.152 UR. Zmierzone wartości emisji tlenków azotu ze spalinami silnika AD3.152 UR zasilanego estrami i ich mieszaninami z olejem napędowym porównano z emisją tlenków azotu zmierzoną przy zasilaniu silnika olejem napędowym.

Zasilając silnik estrami FAME, przy jego pracy według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej i charakterystyk obciążeniowych, przy ustawieniu kąta wyprzedzenia wtrysku paliwa 17 °OWK, uzyskano większe wartości emisji tlenków azotu NO_x w porównaniu z zasilaniem silnika olejem napędowym ON. Dla wyżej wskazanych warunków pracy silnika i zasilaniu go paliwami: B10, B20 i B30 uzyskano większe wartości emisji NO_x niż przy zasilaniu go estrami i olejem napędowym. Dla silnika pracującego z ustawieniem kąta wyprzedzenia wtrysku paliwa wynoszącym $\alpha_{ww} = 21$ °OWK emisja tlenków azotu NO_x była zdecydowanie największa przy zasilaniu go estrami metylowymi oleju rzepakowego. Przy tym samym kącie wyprzedzenia wtrysku paliwa i zasilaniu silnika paliwami B10, B20 i B30 emisja NO_x była mniejsza niż dla oleju napędowego. Dla kąta wyprzedzenia wtrysku paliwa $\alpha_{ww} = 13$ °OWK i pracy silnika według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej emisja NO_x dla estrów i paliwa B30 była porównywalna, a dla większych prędkości nieznacznie mniejsza niż dla oleju napędowego. Dla paliw B20 i B20 otrzymano w tych warunkach pracy silnika mniejszą emisję NO_x niż dla oleju napędowego. Przy pracy silnika według charakterystyk obciążeniowych i kącie

wyprzedzenia wtrysku paliwa $\alpha_{ww} = 13$ °OWK, emisja tlenków azotu NO_x dla FAME była większa niż dla ON, a dla paliw B10 i B20 mniejsza niż dla ON.

Analizując wpływ kąta wyprzedzenia wtrysku paliwa α_{ww} na poziom stężenia emisji NO_x , największe wartości tej emisji przy pracy silnika według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej i zasilaniu go olejem napędowym i mieszaninami oleju napędowego i estrów, uzyskano dla $\alpha_{ww} = 17$ °OWK. Zaś dla estrów emisja NO_x w tych warunkach pracy silnika była największa dla $\alpha_{ww} = 21$ °OWK. Przy pracy silnika według charakterystyk obciążeniowych i zasilaniu go badanymi paliwami uzyskano największe wartości emisji NO_x dla $\alpha_{ww} = 21$ °OWK, a najmniejsze dla $\alpha_{ww} = 13$ °OWK. Zasilając badany silnik paliwem FAME zdecydowanie najmniejsze wartości emisji NO_x uzyskano dla $\alpha_{ww} = 13$ °OWK.

Reasumując, zastosowanie do zasilania badanego silnika o zapłonie samoczynnym AD3.152 UR estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME i ich mieszanin z olejem napędowym, przy jego pracy dla fabrycznego kąta wyprzedzenia wtrysku paliwa, powoduje wzrost emisji tlenków azotu NO_x , w porównaniu z zasilaniem go olejem napędowym. Istotnym parametrem regulacyjnym układu zasilania, mającym wpływ na emisje tlenków azotu jest kąt wyprzedzenia wtrysku paliwa. Zmniejszając jego wartość możemy uzyskać zmniejszenie emisji NO_x dla wszystkich badanych paliw, a w największym stopniu dla estrów i ich mieszanin z olejem napędowym. Optymalizacja kąta wyprzedzenia wtrysku powinna uwzględniać rodzaj paliwa wybranego do zasilania silnika.

Literatura

- [1] Ambrozik, A., Kurczyński, D., Łagowski, P., Jakóbiec, J., *Wpływ zasilania silnika AD3.152 różnymi paliwami na parametry i wskaźniki cyklu pracy*, Journal of KONES Internal Combustion Engines, vol. 11, s. 7-16, Warszawa 2004.
- [2] Bądkowski, A., *Ditlenek azotu NO_2 (N_2O_4) bezwodnik kwasu azotawego i kwasu azotowego*, Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji, nr 57, s. 39-41, 1999.
- [3] Bocheński, C. I., *Biodiesel paliwa rolnicze*, Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 2003.
- [4] *Instrukcja obsługi analizatora NO_x/O_2 EXSA-240-CL*.
- [5] Kowalewicz A., *Szkodliwe składniki spalin: jak powstają, jak im zapobiegać*, AUTO-Technika Motoryzacyjna, nr 8, s. 10-13 i nr 9, s. 11-14. 1994.
- [6] Kowalewicz, A., *Podstawy procesów spalania*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2000.
- [7] Kurczyński, S. W., *Wybrane metody ograniczania emisji tlenków azotu w silnikach o zapłonie samoczynnym*, Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji w Radomiu, Warszawa-Radom, 2002.
- [8] Merkisz, J., *Wpływ motoryzacji na skażenie środowiska naturalnego*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 1994.
- [9] Merkisz, J., *Ekologiczne problemy silników spalinowych*, Tom I. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 1998.
- [10] PN-EN 590:2005: *Paliwa do pojazdów samochodowych. Oleje napędowe*. Wymagania i metody badań.
- [11] PN-EN 14214: *Paliwa do pojazdów samochodowych. Estry metylowe kwasów tłuszczowych (FAME) do silników o zapłonie samoczynnym (Diesla)*. Wymagania i metody badań.
- [12] *Instrukcja obsługi Analizatora NO_x/O_2 EXSA-240-CL*.
- [13] *Sprawozdanie z badań 5120402 wyrobu BIODIESELA D-FAME*, Zleceniodawca: Rafineria Trzebinia S.A.
- [14] Świadectwo Jakości Nr BM-101/209a/2005 oleju napędowego Ekodiesel Ultra D.