

## WPLYW ZASILANIA SILNIKA O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM RÓŻNYMI PALIWAMI NA PORÓWNANIE KĄTA OPÓŹNIENIA SAMOZAPŁONU W ASPEKCIE OCHRONY ŚRODOWISKA

### INFLUENCE OF DIESEL ENGINE FUELLING WITH DIFERENT FUELS ON SELF-IGNATION DELAY IN ASPECT OF ECOLOGY

*W artykule przedstawiono informacje z badań dotyczące kąta opóźnienia samozapłonu silnika AD3.152 z wtryskiem bezpośrednim zasilanego węglowodorowym paliwem ONM City 50 oraz porównawczo paliwem roślinnym RosBioDiesel „RBD”, olejem rzepakowym OR 100% oraz olejem słonecznikowym OSŁ 100%. Badania wykonano na bazie charakterystyki zewnętrznej z wykorzystaniem stanowiska hamownianego wyposażonego w system pomiarowy parametrów szybkozmiennych ciśnień. Analizę wyników badań przeprowadzono w celu porównania wpływu zasilania silnika niskosiarkowym paliwem węglowodorowym oraz wybranymi paliwami roślinnymi na kąt opóźnienia samozapłonu, co ma wpływ na proces spalania i wiąże się z emisją toksycznych składników spalin do otoczenia.*

**Słowa kluczowe:** diagnostyka silnika, paliwa alternatywne, środowisko

*Some information are presented in the paper concerning examination of self-ignation delay angle of AD3.152 engine with direct injection fuelled with hydrocarbon fuel ONM City 50 and comparable vegetable fuel RosBioDiesel “RBD”, rape oil OR 100% and sunflower oil OSŁ 100%. Speed external characteristics were examined on engine test stand equipped with measuring system of quick-changing pressure. The aim of examination is to compare the influence of engine fuelling with low-sulphur hydrocarbon fuel and selected vegetable oils on angle of self-ignation delay what substantially effects combustion process and emission of exhaust gases toxic components.*

**Keywords:** engine diagnostics, alternative fuels, environment

#### 1. Wprowadzenie

Spełnianie coraz bardziej rygorystycznych norm w emisji składników toksycznych spalin zmusza współczesnego użytkownika silników spalinowych o zapłonie samoczynnym do posiadania szybkich i precyzyjnych metod oceny jego stanu technicznego, a szczególnie procesu spalania oraz stanu technicznego aparatury wtryskowej.

Wartość kąta opóźnienia samozapłonu wyznaczonego na podstawie wykresu indykatorowego powinien wskazać kierunek zmian regulacyjnych kąta dynamicznego początku tłoczenia paliwa w zależności od rodzaju i składu frakcyjnego paliw. Kąt ten traktu-

#### 1. Introduction

Necessity of fulfilling more and more strong standards, concerning emission of toxic components of exhaust gases, forces users of diesel engines to possess quick and precision methods of their technical state assessment and particularly of a combustion process and of injection equipment technical state.

A value of self ignition delay angle determined on the indicator diagram basis should show a direction of changes of angle of fuel pumping dynamic beginning in dependence on type and fractional composition of fuels. This angle is treated as diagnostic para-

jemy jako parametr diagnostyczny [2]. Parametr ten może być powodem wyższego poziomu hałasu silnika i większej emisji toksycznych składników spalin.

Okres opóźnienia samozapłonu jest to kąt od początku wtrysku (początek wzniosu iglicy wtryskiwacza) do chwili rozpoczęcia procesu spalania powodujący początek szybkiego wzrostu ciśnienia i temperatury mieszanki paliwowo-powietrznej w cylindrze [1]. Kąt opóźnienia samozapłonu ma duży wpływ na: prędkość spalania, narastanie ciśnienia i temperatury, łatwość rozruchu oraz na wskaźniki operacyjne pracy silnika. Kąt opóźnienia samozapłonu zależy jest m.in. od następujących czynników [2]:

- właściwości fizykochemicznych paliwa,
- cech konstrukcyjnych silnika,
- warunków eksploatacyjnych.

Zastosowanie paliw o różnych właściwościach fizykochemicznych do silników wysokoprężnych wymaga dużych dokładności pomiarów parametrów diagnostycznych celem poznania występujących różnic w procesach wtrysku i spalania silników zasilanych tymi paliwami [3].

## **2. Cel badań**

Niniejszy artykuł miał na celu porównanie kąta opóźnienia samozapłonu dla wybranych paliw ekologicznych: węglowodorowego niskosiarkowego ONM City 50 oraz roślinnych estru metylowego RosBioDiesel „RBD” oraz roślinnych: oleju rzepakowego OR 100% i oleju słonecznikowego OSŁ 100%. Cel ten zamierzano osiągnąć poprzez porównanie ciśnień spalania dla 100-cykli uzyskanych z pomiarów parametrów szybkościennych w stanach ustalonych silnika na hamowni.

## **3. Charakterystyka techniczna stanowiska badawczego oraz parametry fizykochemiczne badanych paliw**

Do badań wykorzystano typowe zbudowane wg BN-74/1340-12 i PN-88/S-02005 stanowisko hamowniane na bazie silnika o zapłonie samoczynnym typu AD3.152 z wtryskiem bezpośrednim, wyposażone w system pomiarowy ciśnień szybkościennych. Podstawowe dane techniczne silnika zamieszczono w tabeli 1 zaś wybrane właściwości fizykochemiczne paliwa: węglowodorowego ONM City-50 oraz roślinnych RBD, OR i OSŁ w tabeli 2. Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na rys. 1.

meter [2] which can bring about higher level of engine noise and higher emission of toxic components of exhaust gases.

Period of self-ignition delay is an angle counted from the beginning of injection (beginning of injection needle lift) to the moment of combustion process beginning. It essentially influence the beginning of quick rise of pressure and air-fuel mixture temperature in the cylinder [1]. Self-ignition delay angle influence substantially also: combustion speed, pressure and temperature escalation, startability of engine and other operative parameters of engine running. Self-ignition delay angle depends, among others, on [2]:

- physicochemical properties of fuel,
- engine design feature,
- service conditions.

Using fuels of different physicochemical properties to compression-ignition engines requires high accuracy of diagnostic parameters measurements in order to learn differences in processes of injection and combustion [3].

## **2. Examination purpose**

With the purpose of examination it was to compare of self-ignition delay angle of selected ecological fuels: hydrocarbon, low-sulphur ONM City 50 and vegetable methyl ester RosBioDiesel “RBD” as well as vegetable fuels: rape oil OR 100% and sunflower oil OSŁ 100%. Above purpose was intended to achieve by comparison of combustion pressures for 100 cycles, obtained from measurements of quick-changing pressure in steady states of engine installed on engine test stand.

## **3. Technical characteristic of engine test stand and physicochemical parameters of tested fuels**

Examination was performed using typical engine test stand, constructed acc. To the standards BN-7474/1340-12 and PN-88/S-02005 on the basis of compression-ignition engine type AD3.152 of direct injection, equipped with measuring system of quick-changing pressure. Main technical data of engine are shown in Tab. 1 and selected physicochemical properties of fuels: hydrocarbon ONM City 50 and vegetable RBD, OR, OSŁ are presented in Tab. 2. Scheme of test stand is visible in Fig. 1.

Tab. 1. Wybrane dane techniczne silnika AD3.152 [4]

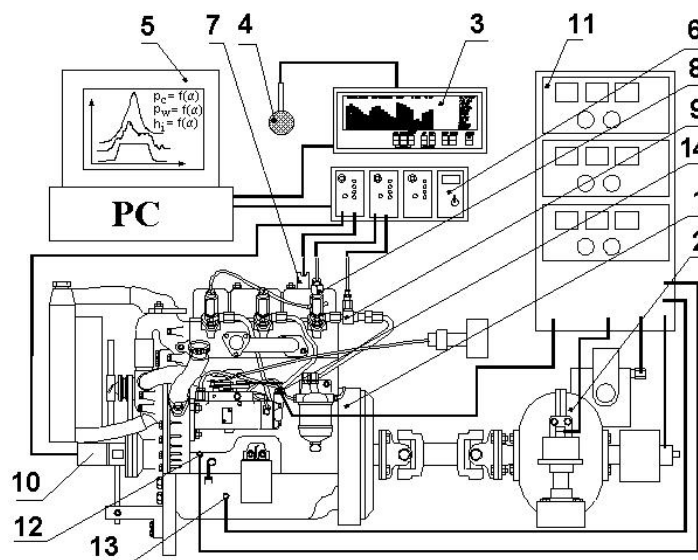
Tab. 1. Selected data of engine AD3.152 [4]

Numer of cylinder	3
Engine cubic capacity	2502 cm <sup>3</sup>
Maximum power	34,5 kW for 2000 rpm
Maximum torque	139 Nm for 1400 rpm
Compression ratio	16,5
Velocity of idle run	750 ± 25 rpm
Angle of fuel dumping dynamic beginning	15 [°OWK]

Tab. 2. Wybrane własności fizykochemiczne paliw ONM CITY 50 i RosBioDiesel „RBD”, oleju rzepakowego OR i słonecznikowego OSŁ [5, 6, 7]

Tab. 2. Selected physicochemical characteristics of fuel: ONM CITY 50 and RosBioDiesel "RBD", rape oil OR and sunflower oil OSŁ [5, 6, 7]

	ONM CITY 50	„RBD”	Rape oil OR	Sunflower oil OSŁ
Cetane number	54	52	49	50
Surface tension N/m <sup>2</sup>	3.64	----	3,38	3,22
Mass density in 20°C g/cm <sup>3</sup>	0,816	0.882	0.9140	0.9172
Kinematic viscosity in 40°C mm <sup>2</sup> /s	1,83	4.61	34.56	31.54
Ignition temperature °C	67		200÷250	200
Caloritic value MJ/kg	43,2	36.7	37.72	37



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego [2]: 1-silnik AD3.152, 2- hamulec wodny HS 75, 3- SVAN 910A, 4-sys-tem pomiarowy sygnałów WA, 5- komputer, 6- zestaw wzmacniaczy sygnału, 7- czujnik ciśnienia w komorze spalania, 8- czujnik wzniosu iglicy wtryskiwacza, 9- czujnik ciśnienia paliwa w przewodzie wtryskowym, 10- nadajnik kąta obrotu wału korbowego, 11- szafa kontrolno - pomiarowa, 12- czujnik temperatury cieczy chłodzącej silnika, 13- czujnik temperatury oleju, 14- czujnik temperatury paliwa

Fig. 1. Measuring stand scheme [2]: 1- engine AD3.152, 2- water brake HS75, 3- SVAN 910A, 4- meas-uring system of signals WA, 5- computer, 6- signal amplifiers set, 7- pressure detector in combustion chamber, 8- detector of injector needle lift, 9- detector of fuel pressure in injection pipe, 10- transducer of crankshaft rotation angle, 11- control cubicle, 12- detector of temperature of engine liquid coolant, 13- detector of oil tem-perature, 14- detector of fuel temperature.

#### 4. Opis metody badań

Badania wykonano w Instytucie Eksploatacji Pojazdów i Maszyn Politechniki Radomskiej. Przed przystąpieniem do pomiarów silnik doprowadzono do stanu równowagi cieplnej, a następnie sprawdzono ustawienie nadajnika kąta obrotu wału korbowego względem GMP, wykonano również skalowanie torów pomiarowych oraz wyregulowano ciśnienie robocze otwarcia wtryskiwaczy wg zaleceń producenta. Dokonano korekcji ustawienia nominalnego kąta dynamicznego początku tłoczenia paliwa równego  $\alpha_{dpt} = 15^\circ$  OWK zgodnie z danymi producenta.

W czasie wykonywania charakterystyki prędkośćowej-zewnętrznej w każdym punkcie pomiarowym prędkości obrotowej silnika, rejestrowano 100-kolejnych cykli pracy, a mianowicie przebieg ciśnienia spalania.

W wyniku badań hamownianych silnika AD3.152 otrzymano:

- ciśnienie w komorze spalania,
- ciśnienie paliwa w przewodzie wtryskowym,
- wznios iglic wtryskiwacza.

Na podstawie otrzymanych wyników badań dokonano analizy kąta opóźnienia samozapłonu ( $^\circ$ OWK).

#### 5. Prezentacja i analiza wyników badań

Na rys.2 przedstawiono przykładowo uśredniony ze 100 cykli wykres indykatorowy otwarty dla paliwa ONM-City-50 przy prędkości obrotowej 1800 obr/min, na rys.3 porównanie wielkości kąta opóźnienia samozapłonu dla różnych paliw i prędkości obrotowych silnika AD3.153, a na rys.4 różnicę procentową wartości kąta opóźnienia samozapłonu pomiędzy paliwem węglowodorowym ONM City 50, a paliwami roślinnymi.

Wielkości charakterystyk (rys.3) pozwalają na określenie ważnych informacji dla diagnostyki procesu spalania, a mianowicie że największy kąt opóźnienia samozapłonu w całym przedziale prędkości obrotowej od 1000 – 2000 obr/min występuje dla paliwa węglowodorowego ONM-City-50, natomiast mniejsze kąty posiadają paliwa roślinne.

Z uwagi na łatwiejszą interpretację porównania wielkości opóźnienia samozapłonu, na rys. 4 pokazano porównanie różnic procentowych pomiędzy wartościami kąta opóźnienia samozapłonu dla zadanych stałych prędkości obrotowych silnika pomiędzy paliwem węglowodorowym ONM City a paliwami roślinnymi RBD, OR i OSŁ.

Różnice procentowe są większe są na korzyść paliw roślinnych, największą posiada olej rzepakowy OR i prawie porównywalne olej słonecznikowy OSŁ, natomiast wskazania paliwa RBD znajdują się pomiędzy ONM City, a OR i OSŁ. Uśredniona różnica pomiędzy paliwem OMN City, a OR wynosi 29,5% na korzyść

#### 4. Description of examination method

The examination was made in institute of Vehicles and Machines Maintenance in Technical University of Radom. Before measurements starting the engine was brought to state of thermal equilibrium and then positioning of crankshaft rotation angle transducer was checked with regard to inner dead centre. A scaling of injectors opening according to producer's recommendation. The setting correction of nominal angle of dynamic pumping beginning  $\alpha_{dpt} = 15^\circ$  of crankshaft revolution was made according to producer's requirements. During external characteristic of velocity executing N. 100 successive working cycles were recorded in a form of indicator diagram, in each measuring point of engine rotational speed.

In a result of engine AD3.152 stand tests following characteristics were obtained:

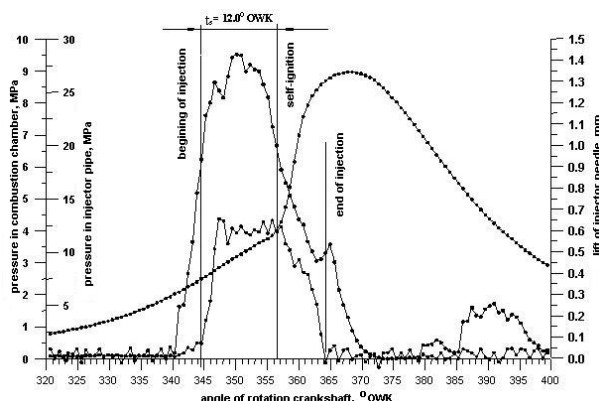
- course of pressure in combustion chamber,
- course of pressure changes in injection pipe,
- lift of injector needles.

#### 4. Presentation and analysis of examination results

A developed indicator diagram of engine fuelled with ONM City 50, at 1800 rpm, as average from N.100 cycles is presented as an example in Fig. 2. A comparison between values of self-ignition delay angle for different fuels and rotational speeds of engine AD3.152 is presented in Fig. 3, while Fig. 4 presented percentage differences of values of self-ignition delay angle for engine fuelling with hydrocarbon ONM City 50 fuel and vegetable fuels.

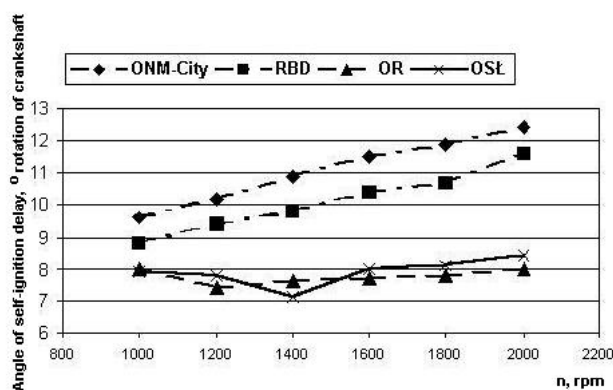
Characteristics presented in Fig. 3 allow to obtain important information's for combustion process diagnostics and namely to state that the biggest angle of self-ignition delay, in whole range of rotational speed from 1000 to 2000 rpm, appears in the case of hydrocarbon fuel ONM City 50, while lower values of angles correspond to vegetable oils. Considering easier interpretation of comparison between self-ignition delay values Fig. 4 presents comparison of percentage differences between values of self-ignition delay angle, for set constant values of engine rotational speed, for hydrocarbon fuel ONM City 50 and vegetable fuels RBD, OR and OSŁ.

Percentage differences are bigger for vegetable fuels. The biggest difference exists for rape oil OR which is comparable with sunflower oil OSŁ. These values for RBD fuel lays between ONM City and OR and OSŁ. Average difference between ONM City fuel and OR is 29,5% to the advantage of OR fuel for whole



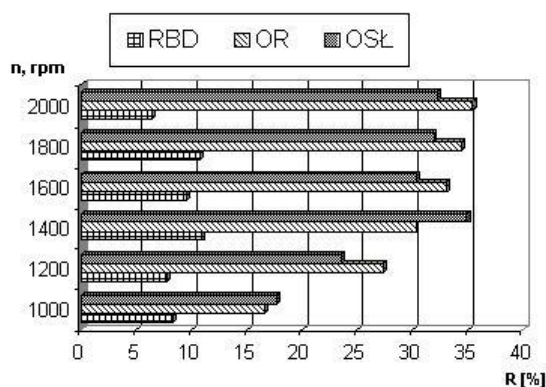
Rys. 2. Przykładowy przebieg ciśnienia w komorze spalania  $p_c = f(d)$ , ciśnienia w przewodzie wtryskowym  $p_w = f(\alpha)$  i wzniosu iglicy rozpylacza  $h_i = f(\alpha)$ , ( $\tau_s$  - kąt opóźnienia samozapłonu) dla paliwa ONM-City-50 przy prędkości obrotowej 1800 obr/min

Fig. 2. Exemplary course of pressure in combustion chamber  $p_c = f(d)$ , pressure in injection pipe  $p_w = f(\alpha)$  and lift of injector needle  $h_i = f(\alpha)$ , ( $\tau_s$  - angle of self-ignition needle) for fuel ONM-City-50 at 1800 rpm



Rys. 3. Porównanie wartości kąta opóźnienia samozapłonu dla paliw: ONM City 50 i roślinnych RBD, OR i OSŁ na bazie charakterystyki zewnętrznej

Fig. 3. Comparison between values of self ignition delay angle for engine fuelling with: ONM City 50 and vegetable fuels RBD, OR and OSŁ



Rys. 4. Porównanie różnic procentowych wartości kąta opóźnienia samozapłonu dla zadanych prędkości obrotowych silnika pomiędzy paliwem węglowodorowym ONM City 50, a paliwami roślinnymi RosBioDiesel „RBD”, OR i OSŁ

Fig. 4. Comparison between percentage different of values of self-ignition delay angle for set values of rotational speed of engine fuelled with hydrocarbon fuel ONM City 50 and vegetable fuels RBD, OR and OSŁ

paliwa OR dla całego zakresu prędkości obrotowej silnika, ONM City, a OSŁ 28,4% na korzyść OSŁ i ONM City, a RBD wynosi 8,8% na korzyść paliwa RBD.

### 5. Podsumowanie

Na podstawie porównawczych wyników badań różnych paliw tj. niskosiarkowego oleju napędowego ONM City -50 stosowanego w autobusach komunikacji miejskiej oraz roślinnych: Ester Metylowy Kwasów Oleju Rzepakowego RosBioDiesel RBD, oleju rzepakowego OR i oleju słonecznikowego OSŁ można sformułować następujące wnioski:

- zasilanie silnika paliwami roślinnymi: RosBioDiesel RBD, OR i OSŁ w porównaniu z zasilaniem olejem napędowym ONM City-50, powoduje krótszy okres opóźnienia samozapłonu,
- różnice procentowe pomiędzy wartościami kąta opóźnienia samozapłonu dla zadanych stałych prędkości obrotowych silnika są mniejsze dla paliw: RosBioDiesel RBD, OR i OSŁ w stosunku do oleju napędowego ONM City-50 i wynoszą one od 8.8 do 29.5% na korzyść paliw roślinnych,
- rodzaj paliwa ma wpływ na prędkość narastania ciśnienia w komorze spalania. Im krótszy okres opóźnienia samozapłonu to większy kąt trwania wtrysku, co wpływa na skutki ekologiczne emisji spalin do otoczenia.

### 6. Literatura

- [1] Ambrozik A.: *Wpływ kąta wyprzedzenia wtrysku na dynamikę wydzielania ciepła podczas procesu spalania*. Teka Komisji Naukowo-Problemovej Motoryzacji, ISSN 1642-1639, Zeszyt Nr 22, Kraków 2001.
- [2] Dokumentacja Techniczna.: *Stanowisko pomiarowe parametrów pomiarowych szybkozmiennych ciśnień*, IEPiM Politechnika Radomska, Radom 2001.
- [3] Lotko W.: *Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami węglowodorowymi i roślinnymi*. WNT, Warszawa 1997.
- [4] Merksiz J.: *Wpływ motoryzacji na skażenia środowiska naturalnego*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1994.
- [5] Olejarnia z Rafinerią ROSIAK.: *Właściwości fizykochemiczne estrów metylowych kwasów oleju rzepakowego paliwa RosBioDiesel RBD*, Kłodawa 2001.
- [6] Polski Koncern Naftowy ORLEN S.A, Świadectwo jakości, Płock 2001.
- [7] Materiały informacyjne PPHU D.R. Rosiak i Rosiak Sp.z.o.o.Kłodawa, 2002.

range of engine rotational speed. This difference for fuels ONM City and OSŁ is equal 28,4% to the advantage of OSŁ and for fuels ONM City and RBD is equal 8,8% to the advantage of RBD fuel.

### 5. Conclusions

On the ground of comparative test results of different fuels, that is: low-sulphur diesel fuel ONM City 50 used in city buses and vegetable oils like Methyl Ester of Rape Oil Acids RosBioDiesel RBD, rape oil OR and sunflower oil OSŁ, the following conclusion can be formulated:

- engine fuelling with vegetable fuels: RosBioDiesel RBD, OR and OSŁ causes shorter time of self-ignition delay in comparison with fuelling with diesel fuel ONM City 50,
- percentage differences between values of self-ignition delay angle for set constant engine rotational speed values are lower for fuels: RosBioDiesel RBD, OR and OSŁ in relation to diesel fuel ONM City 50 and are equal from 8,8% to 29,5% to the advantage of vegetable fuels,
- fuel type influences speed of pressure rise in combustion chamber. The shorter time of self-ignition delay the bigger angle of injection period. It also influences emission of toxic components in exhaust gases.

---

**Prof. dr hab. inż. Andrzej Ambrozik**

*Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych  
Instytut Pojazdów, Zakład Silników Spalinowych  
Politechnika Warszawska  
ul. Narbutta 84, 02-524 Warszawa*

**Mgr inż. Piotr Orliński**

*Wydział Transportu, Politechnika Warszawska  
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa*

**Mgr inż. Stanisław Orliński**

*Instytut Eksploatacji Pojazdów i Maszyn, Politechnika Radomska*

---