

УДК 621.43  
UDC 621.43

WPLYW WŁAŚCIWOŚCI SAMOZAPŁONOWYCH PALIW MOŻLIWYCH  
DO ZASTOSOWANIA W AUTOBUSACH MIEJSKICH  
NA TOKSYCZNOŚĆ SPALIN

KUSZEWSKI Hubert, Dr inż., Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska  
LEJDA Kazimierz, Prof. dr hab. inż., Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska  
LEW Krzysztof, Mgr inż., Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska

ВПЛИВ ВЛАСТИВОСТЕЙ САМОЗАЙМИСТИХ ПАЛИВ, ПРИДАТНИХ  
ДО ЗАСТОСУВАННЯ В МІСЬКИХ АВТОБУСАХ,  
НА ТОКСИЧНІСТЬ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ

КУШЕВСКИ Губерт, Доктор інженер, Жешовська Політехніка, Жешув, Польща  
ЛЕЙДА Казімеж, Професор, Доктор габілітований, Жешовська Політехніка, Жешув,  
Польща  
ЛЕВ Кшиштоф, Магістр інженер, Жешовська Політехніка, Жешув, Польща

THE EFFECT OF SELF-IGNITION PROPERTIES OF FUEL ACCETABLE  
FOR APPLICATIONS TO URBAN BUSES ON EXHAUST GAS TOXICITY

KUSZEWSKI Hubert, PhD., Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland  
LEJDA Kazimierz, Prof. DSc, Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland  
LEW Krzysztof, Master engineer, Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland

**Wprowadzenie.** Aktualnie, podstawowym środkiem transportu zbiorowego są autobusy miejskie, w których źródłem napędu jest głównie olej napędowy, a jak wiadomo, jest to paliwo będące produktem przeróbki ropy naftowej, która z kolei jest surowcem nieodnawialnym. Coraz większe zapotrzebowanie na tego typu paliwo sprawia, że jego zasoby w dość szybkim tempie są wyczerpywane. W związku z tym podejmowane są różnego typu działania, które koncentrują się m.in. na zmianach konstrukcyjnych silników o ZS i aparatury wtryskowej w celu zmniejszenia zużycia paliwa, jak również na poszukiwaniu innych paliw pochodzących ze źródeł odnawialnych, które zastąpiłyby częściowo lub całkowicie tradycyjne paliwa pochodzące z przeróbki ropy naftowej. Paliwa te powinny zapewniać niewielkie zagrożenie dla środowiska naturalnego, gdyż jak powszechnie wiadomo, miasta należą do obszarów najbardziej narażonych na kumulację zanieczyszczeń. Coraz powszechniejsze staje się w miastach zjawisko smogu fotochemicznego, ściśle związanego ze spalaniem paliw ciekłych przez spalinowe środki transportu [1,3,8].

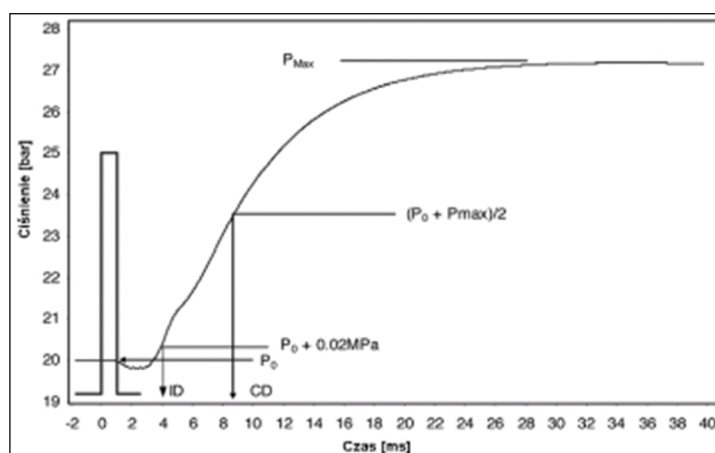
Do zasilania taboru komunikacji miejskiej paliwami alternatywnymi najczęściej są stosowane produkty ciekłe pochodzenia roślinnego, zwane biopaliwami lub biodieslem, jak również paliwa z innych źródeł, np. powstałe w wyniku przetworzenia różnego typu odpadów, a także paliwa gazowe. W prowadzonych badaniach i analizach, właściwości każdego paliwa zastępczego, jego zastosowanie i porównanie odnoszą się zawsze do oleju napędowego.

Jednym z założeń zastosowania paliw zastępczych w komunikacji miejskiej jest wykorzystanie istniejącej konstrukcji jednostki napędowej i dokonanie jedynie ewentualnych zmian jej parametrów regulacyjnych [8,9]. W tym celu ważnym aspektem jest znajomość właściwości fizykochemicznych rozpatrywanych paliw, następnie porównanie ich z właściwościami klasycznego paliwa i na tej podstawie opracowanie modyfikacji algorytmu sterowania pracą układu wtryskowego.

**Stanowisko badawcze i metodyka badań.** Przy określaniu zdolności paliwa do samozapłonu, kluczowe znaczenie ma oznaczanie liczby cetanowej paliwa. Na szczególną uwagę zasługuje normatywna metoda oznaczania pochodnej liczby cetanowej (DCN – Derived Cetane Number), która determinowana jest przebiegiem spalania w komorze o stałej objętości [5,6,7].



Rys. 1. Aparat do oznaczania pochodnej liczby cetanowej CID 510 firmy Walter Herzog [11]

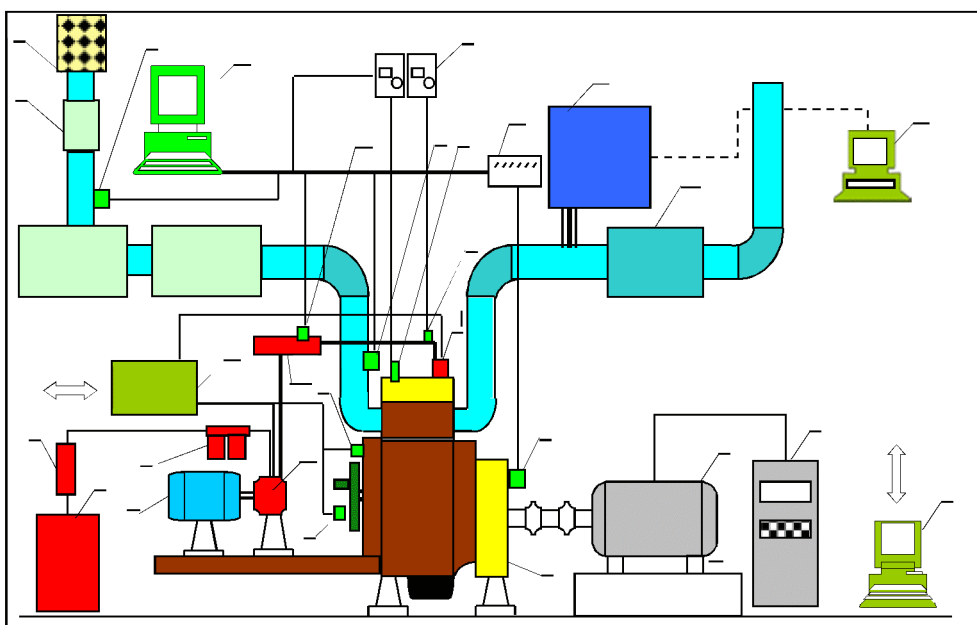


Rys. 2. Parametry służące określeniu pochodnej liczby cetanowej DCN [4,10]: ID – czas jaki upłynął od pojawienia się sygnału sterującego wtryskiwaczem (zbrocze opadające impulsu) do momentu, gdy ciśnienie w komorze wzrosło o 0,02 MPa powyżej ciśnienia początkowego  $p_0$ , CD – czas jaki upłynął od pojawienia się sygnału sterującego wtryskiwaczem (zbrocze opadające impulsu) do momentu, gdy ciśnienie w komorze uzyskało wartość równą połowie sumy ciśnienia początkowego  $p_0$  i ciśnienia maksymalnego  $p_{max}$  w komorze

Oznaczenie okresu opóźnienia samozapłonu oraz pochodnej liczby cetanowej dla analizowanych paliw zostało zrealizowane według procedury zawartej w amerykańskiej normie ASTM D7668 – 12 „Standard Test Method for Determination of Derived Cetane Number (DCN) of Diesel Fuel Oils – Ignition Delay and Combustion Delay Using a Constant Volume Combustion Chamber Method”, wykorzystując aparat CID 510 firmy Walter Herzog (rys. 1). W urządzeniu tym zastosowano system wtryskowy typu Common Rail. Elektrycznie sterowany wtryskiwacz CR z rozpylaczem wielootworkowym może wtryskiwać do komory spalania paliwo pod ciśnieniem do 150 MPa. Metoda bazuje na spalaniu paliwa w komorze o stałej objętości z bezpośrednim wtryskiem paliwa do sprężonego, podgrzewanego powietrza syntetycznego. Sekwencja testowa składa się z pięciu wstępnych cykli spalania. Ich celem jest m.in. oczyszczenie układu z paliwa wcześniej badanego. Następnie kolejno realizowanych jest 15 cykli testowych w celu określenia okresu opóźnienia zapłonu. Określona na podstawie 15 cykli średnia wartość opóźnienia zapłonu ID (Ignition Delay) oraz czas przyrostu ciśnienia do wartości równej połowie przyrostu ciśnienia do wartości maksymalnej CD (Combustion Delay) (rys. 2) w komorze, stanowią podstawę obliczenia pochodnej liczby cetanowej DCN.



Rys. 3. Obiekt badań – jednocylindrowy silnik badawczy SB-3.1 wyposażony w układ zasilania typu CR [9]



Rys. 4. Schemat stanowiska pomiarowego: 1 – silnik badawczy SB3.1/CR5, 2 – hamulec hydrauliczny, 3 – pulpit sterowniczy hamulca hydraulicznego, 4 – układ poboru próbek spalin systemu pomiaru AVL Micro Soot Sensor, 5 – komputer sterujący systemem pomiaru spalin AVL Micro Soot Sensor, 6 – filtr powietrza, 7 – przepływomierz powietrza ze zbiornikami kompensacyjnymi, 8 – system pomiaru zużycia paliwa, 9 – pompa zasilająca, 10 – zespół filtrów, 11 – pompa wysokiego ciśnienia CR, 12 – zasobnik ciśnienia CR, 13 – wtryskiwacz CR, 14 – silnik elektryczny napędzający pompę wysokiego ciśnienia, 15 – tłumik wydechu, 16 – czujnik indukcyjny pomiaru GMP, 17 – czujnik indukcyjny pomiaru położenia wału rozrządu, 18 – czujnik indukcyjny pomiaru prędkości obrotowej silnika, 19, 20 – czujniki ciśnienia bezwzględnego 21 – czujnik ciśnienia w zasobniku CR, 22 – czujnik piezokrystaliczny ciśnienia w cylindrze, 23 – czujnik ciśnienia w przewodzie paliwowym łączącym zasobnik ciśnienia z wtryskiwaczem, 24 – wzmacniacze ładunku elektrycznego, 25 – kondycjoner sygnału, 26 – komputer rejestrujący szybkozmienne sygnały elektryczne, 27 – elektroniczny sterownik układu CR, 28 – komputer sterujący parametrami układu CR

Do przeprowadzenia badań doświadczalnych pozwalających na określenie, w jakim stopniu analizowane paliwa wpływają na toksyczność spalin (stężenie węglowodorów, tlenków azotu oraz sadzy), zostało wykorzystane stanowisko doświadczalne widoczne na rys. 3. Schemat stanowiska pomiarowego został przedstawiony na rys. 4 [2,8].

Badania realizowano dla trzech wartości ciśnienia wtryskiwanego paliwa (60, 80 i 100 MPa) oraz czasu wtrysku wynoszącego 2600  $\mu$ s.

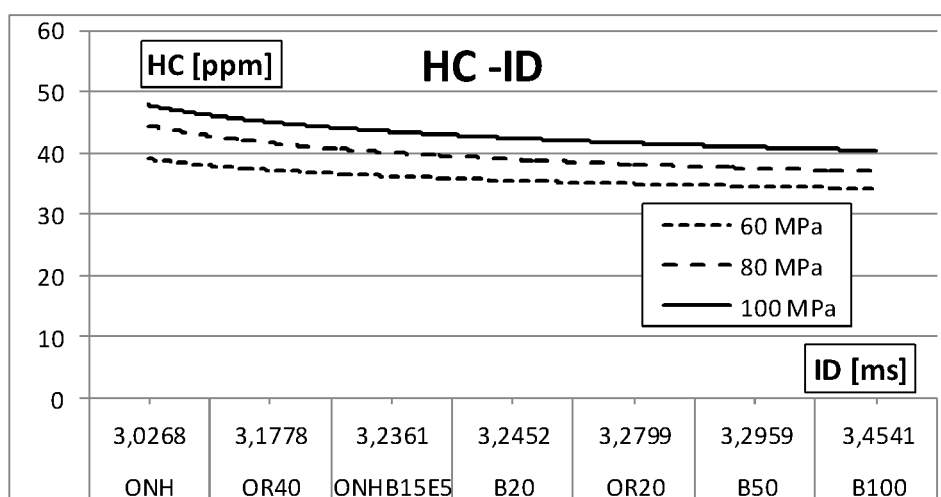
Testom poddano siedem paliw, których charakterystykę przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wykaz paliw przyjętych do analizy

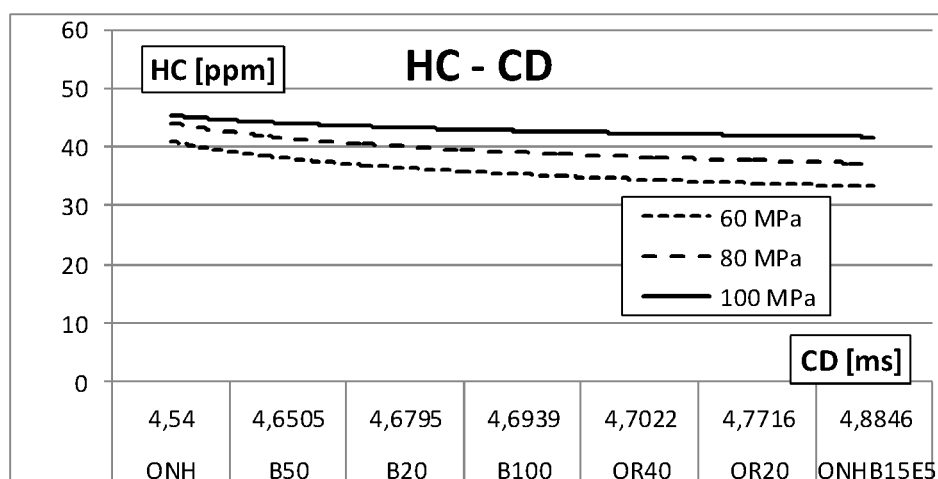
Lp.	NAZWA	Udziały [% obj.]			
		ON handlowy gat.F	Biodiesel (FAME)	Olej rzepakowy rafinowany	Etanol
1.	ONH	100	0	0	0
2.	ONHB15E5	80	15	0	5
3.	B100	0	100	0	0
4.	B20	80	20	0	0
5.	B50	50	50	0	0
6.	OR20	80	0	20	0
7.	OR40	60	0	40	0

**Wyniki badań.** Na rys. 5÷13 zostały zaprezentowane zależności wpływu okresu opóźnienia samozapłonu (ID), okresu opóźnienia spalania (CD) oraz wartości pochodnej liczby cetanowej (DCN) na stężenie węglowodorów, tlenków azotu oraz sadzy. W trakcie wyznaczania pochodnej liczby cetanowej zarejestrowany został czas, jaki upłynął od pojawienia się sygnału sterującego wtryskiwaczem do momentu, gdy ciśnienie w komorze wzrosło o 0,02 MPa powyżej ciśnienia początkowego  $p_0$ , który przyjęto jako okres opóźnienia samozapłonu (ID). Ponadto, zarejestrowano również czas, jaki upłynął od pojawienia się sygnału sterującego wtryskiwaczem do momentu, gdy ciśnienie w komorze uzyskało wartość równą połowie sumy ciśnienia początkowego  $p_0$  w komorze i ciśnienia maksymalnego  $p_{max}$  w cyklu, który przyjęto jako okres opóźnienia spalania (CD) (rys.2).

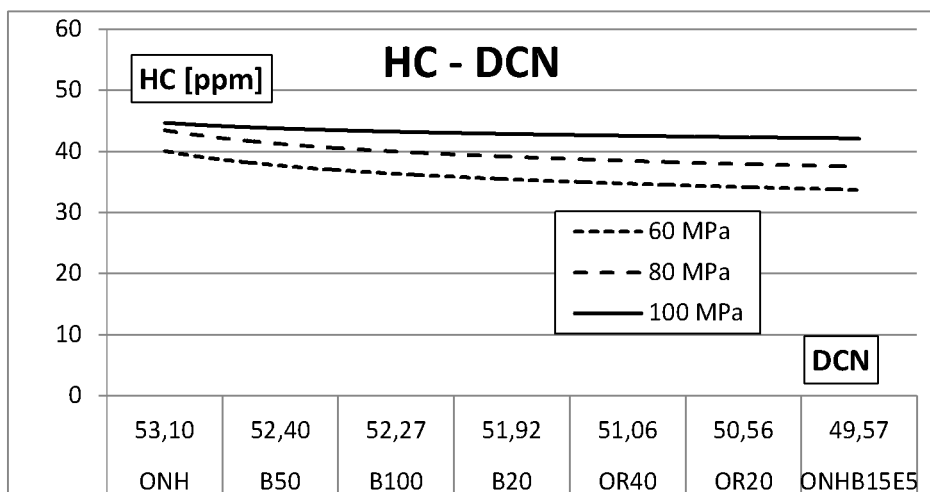
Zakres przyjętych na wykresach czasów opóźnień samozapłonu oraz spalania wynika z czasów, jakie zarejestrowano w trakcie wyznaczania pochodnej liczby cetanowej (DCN) dla wytypowanych paliw.



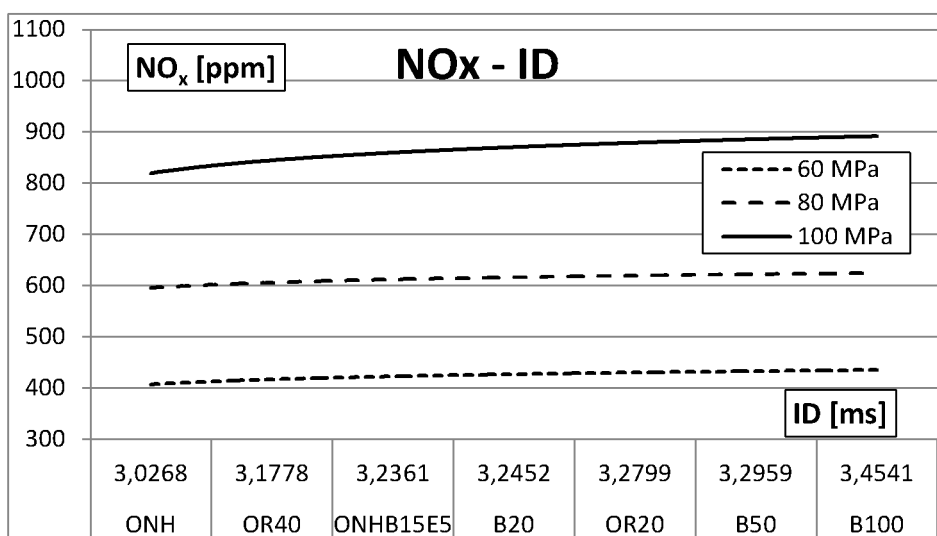
Rys. 5. Zależność stężenia węglowodorów HC od okresu opóźnienia samozapłonu ID



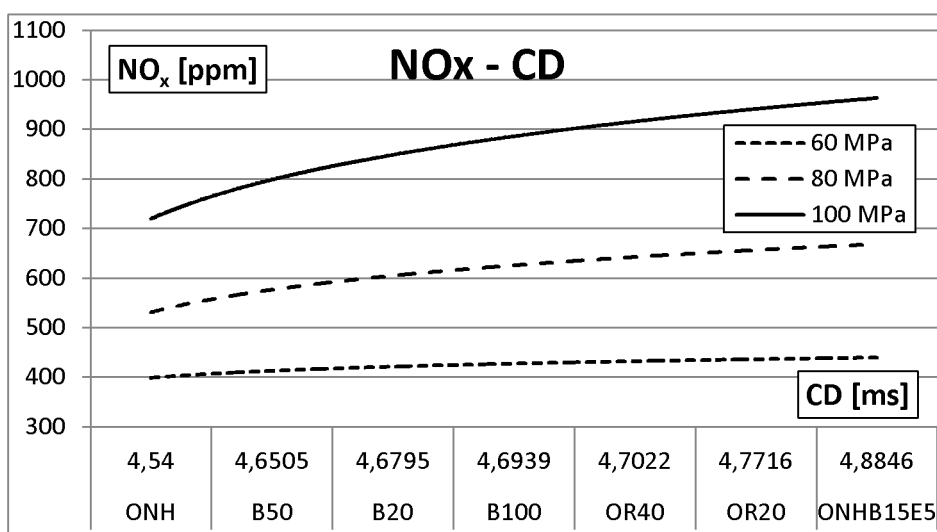
Rys. 6. Zależność stężenia węglowodorów HC od okresu opóźnienia spalania CD



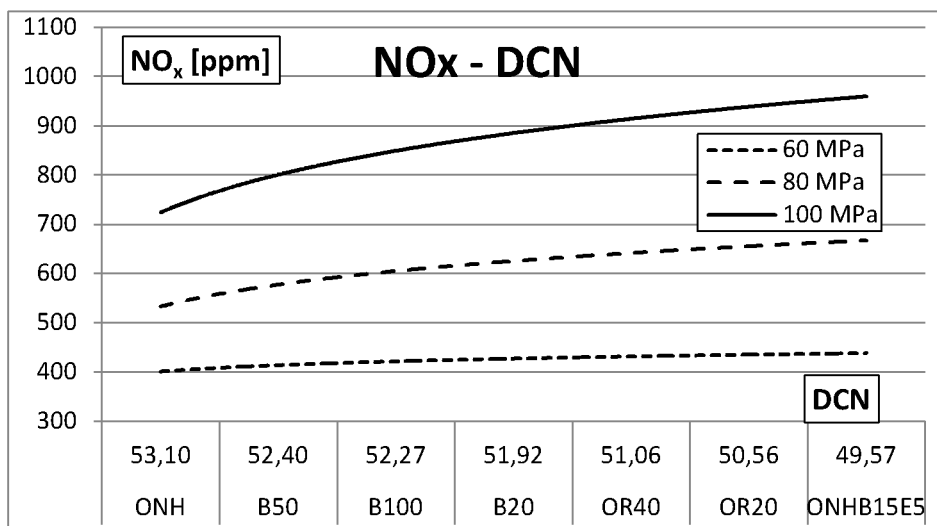
Rys. 7. Zależność stężenia węglowodorów HC od pochodnej liczby cetanowej DCN



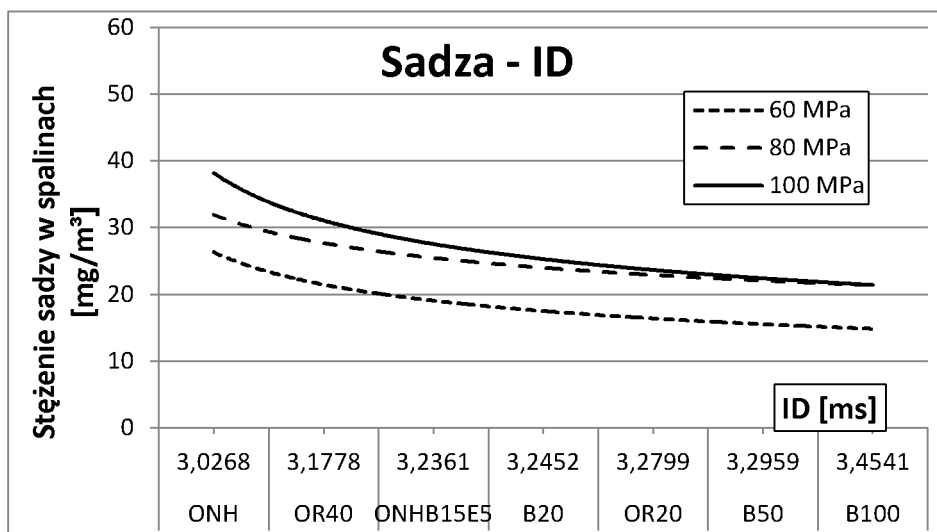
Rys. 8. Zależność stężenia tlenków azotu NOx od okresu opóźnienia samozapłonu ID



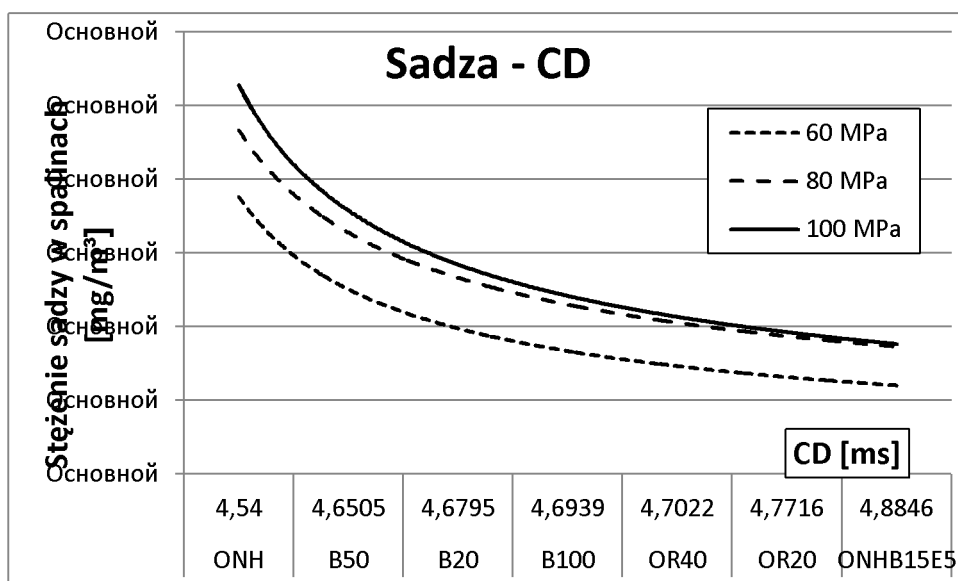
Rys. 9. Zależność stężenia tlenków azotu NOx od okresu opóźnienia spalania CD



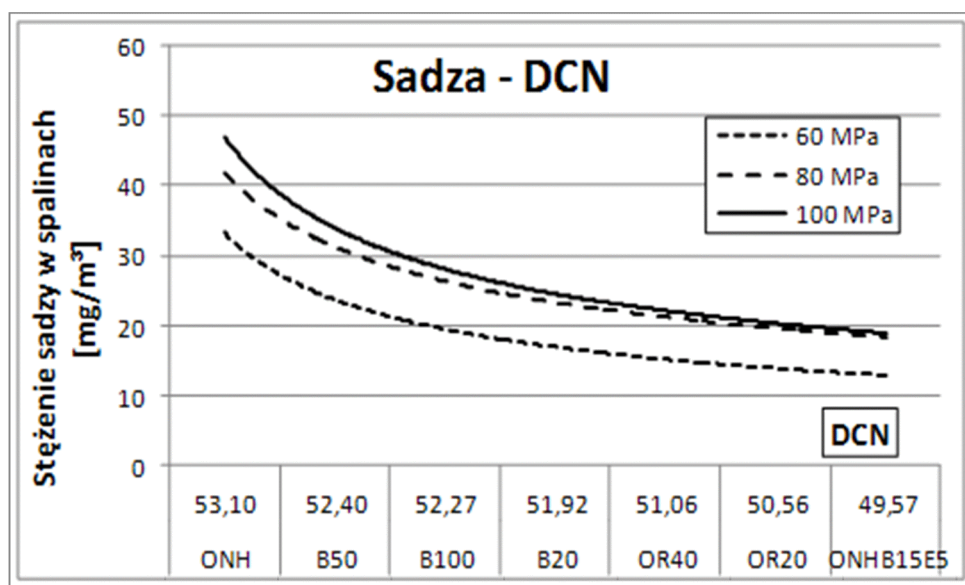
Rys. 10. Zależność stężenia tlenków azotu NOx od pochodnej liczby cetanowej DCN



Rys. 11. Zależność stężenia sadzy od okresu opóźnienia samozapłonu ID



Rys. 12. Zależność stężenia sadzy od okresu opóźnienia spalania CD



Rys. 13. Zależność stężenia sadzy od pochodnej liczby cetanowej DCN

**Podsumowanie i Wnioski.** Celem badań zamieszczonych w niniejszym artykule było określenie wpływu właściwości samozapłonowych wybranych paliw możliwych do zastosowania w autobusach miejskich na toksyczność spalin. Jako miara skłonności paliwa do samozapłonu wykorzystana została pochodna liczba cetanowa. Pomiaru pochodnej liczby cetanowej, a także okresu opóźnienia samozapłonu, dokonano przy użyciu aparatu umożliwiającego spalanie w komorze o stałej objętości. W celu określenia toksyczności spalin, paliwa, dla których określono pochodną liczbę cetanową, przetestowano na stanowisku silnikowym.

Przedstawione na rys. 5÷13 wyniki wskazują, że wzrost okresu opóźnienia samozapłonu i spalania oraz zmniejszanie w niewielkim zakresie pochodnej liczby cetanowej, powodują obniżenie stężenia węglowodorów oraz sadzy w spalinach. W przypadku stężenia tlenków azotu zwiększanie okresu opóźnienia samozapłonu powoduje nieznaczny jego przyrost. Większy wpływ na przyrost stężenia tlenków azotu ma wzrost okresu opóźnienia spalania oraz obniżanie wartości pochodnej liczby cetanowej.

#### LITERATURA

- [1] Baczewski K., Kaldowski T.: Paliwa do silników o zapłonie samoczynnym. WKiŁ, Warszawa 2004.
- [2] Balawender K.: Wpływ wybranych parametrów regulacyjnych procesu wtrysku na emisję cząstek stałych w silniku wysokoprężnym typu DI. Rozprawa doktorska. Rzeszów 2007.
- [3] Bocheński C. I.: Biodiesel. Paliwo rolnicze. Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2003.
- [4] Jakóbiec J., Bocheńska A., Ambrozik A.: Modyfikacja właściwości fizyko-chemicznych i użytkowych paliwa rzepakowego. Inżynieria Rolnicza 4(129)/2011.
- [5] Jaworski A., Kuszewski H., Lejda K., Ustrzycki A., Woś P.: Oznaczanie liczby cetanowej wybranych paliw na podstawie spalania w komorze o stałej objętości w aspekcie ich zastosowania w silniku o zmiennym stopniu sprężania VCR. Czasopismo Techniczne, zeszyt 8, rok 109 (2012), (Mechanika: 3-M/2012). Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2012.
- [6] Kuszewski H.: Metody oznaczania właściwości samozapłonowych paliw w aspekcie obowiązujących uregulowań normatywnych. Щорічний науково-виробничий журнал No 19 „Проектування, виробництво, та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів”, Видавництво „Лорос”, Львів 2011.
- [7] Kuszewski H., Jaworski A., Ustrzycki A.: Badania właściwości samozapłonowych mieszanin oleju rzepakowego i napędowego. Науково-технічний збірник No 27 `2013, Вісник / Національного транспортного університету, Київ 2013.
- [8] Lew K.: Opracowanie kryteriów doboru paliw do specyfiki napędów wykorzystywanych w komunikacji miejskiej. Rozprawa doktorska. Poznań 2014.
- [9] Lotko W.: Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami węglowodorowymi i roślinnymi. Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa 1997.



[10] Norma ASTM D7668 – 12 „Standard Test Method for Determination of Derived Cetane Number (DCN) of Diesel Fuel Oils - Ignition Delay and Combustion Delay Using a Constant Volume Combustion Chamber Method”.

[11] <http://www.paclp.com>

#### STRESZCZENIE

KUSZEWSKI Hubert. Wpływ właściwości samozapłonowych paliw możliwych do zastosowania w autobusach miejskich na toksyczność spalin / KUSZEWSKI Hubert, LEJDA Kazimierz, LEW Krzysztof // Wisnyk Narodowego Uniwersytetu Transportu. – K. : NUT, 2014. - № 30.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań określające wpływ właściwości samozapłonowych paliw możliwych do zastosowania w autobusach miejskich na toksyczność spalin. Jako miara skłonności paliwa do samozapłonu wykorzystana została pochodna liczba cetanowa. Pomiaru pochodnej liczby cetanowej, a także okresu opóźnienia samozapłonu, dokonano przy użyciu aparatu umożliwiającego spalanie w komorze o stałej objętości. W celu określenia toksyczności spalin, paliwa, dla których określono pochodną liczbę cetanową, przetestowano na stanowisku silnikowym.

#### РЕФЕРАТ

КУШЕВСКИ Губерт. Вплив властивостей самозаймистих палив, придатних до застосування в міських автобусах на токсичність відпрацьованих газів / КУШЕВСКИ Губерт, ЛЕЙДА Казімеж, ЛЕВ Кшиштоф // Вісник Національного транспортного університету. – К. : НТУ, 2014. - Вип. 30.

У статті представлено результати досліджень щодо визначення впливу властивостей самозаймистих палив, придатних до застосування в міських автобусах, на токсичність відпрацьованих газів. Як міра здатності палива до самозаймання було використане отримане цетанове число. Вимірювання цетанового числа, а також визначення затримки самозаймання виконано з використанням пристрою, що уможливорює згорання в камері постійного об'єму. З метою визначення токсичності відпрацьованих газів і палива, для яких визначено цетанове число було проведено стендові випробування.

#### SUMMARY

KUSZEWSKI Hubert. The effect of self-ignition properties of fuel acceptable for applications to urban buses on exhaust gas toxicity / KUSZEWSKI Hubert, LEJDA Kazimierz, LEW Krzysztof // Visnyk of the National Transport University. - K.: NTU, 2014. - № 30.

This article presents the results of determining the effect of self-ignition properties of the fuel, which can be used in urban buses on exhaust toxicity. As a measure of the propensity for self-ignition of fuel derived cetane number was used. The measurement of derived cetane number and the self-ignition delay period, were made using a device with the combustion chamber of constant volume. The fuels with determining of derived cetane number on a bench motor were tested.

#### AUTORZY:

KUSZEWSKI Hubert, Dr inż., Politechnika Rzeszowska, Katedra Silników Spalinowych i Transportu, Al. Powstańców Warszawy 12, tel.: +48 17 865 1100,35-959,Rzeszów, Polska

LEJDA Kazimierz, Prof. dr hab. inż., Politechnika Rzeszowska, Katedra Silników Spalinowych i Transportu, Al. Powstańców Warszawy 12, tel.: +48 17 865 1100,35-959,Rzeszów, Polska

LEW Krzysztof, Mgr inż., Politechnika Rzeszowska, Katedra Silników Spalinowych i Transportu, Al. Powstańców Warszawy 12, tel.: +48 17 865 1100,35-959,Rzeszów, Polska

#### АВТОРИ:

КУШЕВСКИ Губерт, Доктор інженер, Жешовська Політехніка, Кафедра двигунів внутрішнього згорання і транспорту, Бульвар Повстанців Варшави 12, tel.: +48 17 865 1100,35-959, Жешув, Польща

ЛЕЙДА Казімеж, Професор, Доктор габілітований, Жешовська Політехніка, Кафедра двигунів внутрішнього згорання і транспорту, Бульвар Повстанців Варшави 12, tel.: +48 17 865 1100,35-959, Жешув, Польща

ЛЕВ Кшиштоф, Магістр інженер, Жешовська Політехніка, Кафедра двигунів внутрішнього згорання і транспорту, Бульвар Повстанців Варшави 12, tel.: +48 17 865 1100,35-959, Жешув, Польща



**AUTHORS:**

KUSZEWSKI Hubert, PhD., Rzeszow University of Technology, Department of Internal Combustion Engines and Transport, Warsaw Insurgents Boulevard 12, tel.: +48 17 865 1100,35-959, Rzeszow, Poland

LEJDA Kazimierz, Prof. DSc, Rzeszow University of Technology, Department of Internal Combustion Engines and Transport, Warsaw Insurgents Boulevard 12, tel.: +48 17 865 1100,35-959, Rzeszow, Poland

LEW Krzysztof, Master engineer, Rzeszow University of Technology, Department of Internal Combustion Engines and Transport, Warsaw Insurgents Boulevard 12, tel.: +48 17 865 1100,35-959, Rzeszow, Poland

**РЕЦЕНЗЕНТИ:**

Гутаревич Ю.Ф, доктор технічних наук, професор, Національний Транспортний Університет, завідувач кафедри двигунів і теплотехніки, Київ, Україна.

Корпач А.О., кандидат технічних наук, Національний Транспортний Університет, професор кафедри двигунів і теплотехніки, Київ, Україна.

**REVIEWERS:**

Gutarevych Y.F, Doctor of Sciences, Professor, National Transport University, Head of Department of Engines and Heating Engineering, Kyiv, Ukraine.

Korpach A.O, Candidate of Sciences, National Transport University, Professor of Department of Engines and Heating Engineering, Kyiv, Ukraine.