

BADANIA WŁAŚCIWOŚCI SAMOZAPŁONOWYCH MIESZANIN OLEJU RZEPAKOWEGO I NAPĘDOWEGO

Hubert KUSZEWSKI, Artur JAWORSKI, Adam USTRZYCKI¹

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań określające wpływ wybranych udziałów objętościowych oleju rzepakowego w oleju napędowym na właściwości samozapłonowe tak przygotowanego paliwa. Jako miara skłonności paliwa do samozapłonu wykorzystana została pochodna liczba cetanowa. Pomiaru pochodnej liczby cetanowej (DCN), a także okresu opóźnienia samozapłonu, dokonano przy użyciu aparatu umożliwiającego spalanie w komorze o stałej objętości. Wyniki oznaczeń porównano z wymaganiami legislacyjnymi i normatywnymi, jakim podlega olej napędowy.

1. WSTĘP

Zapotrzebowanie na paliwa będące wynikiem przeróbki ropy naftowej, przy obserwowanym kurczeniu się takich zasobów energii, decyduje o poszukiwaniu coraz to nowych ich źródeł. Możliwość zastosowania paliw zastępczych, tj. pochodzących ze źródeł innych niż przeróbka ropy naftowej, determinowana jest ich parametrami fizykochemicznymi. Jednym z paliw branych pod uwagę do zasilania silników o zapłonie samoczynnym jest olej roślinny.

Oleje roślinne są estrami gliceryny i kwasów tłuszczowych, które zawierają w cząsteczce od 14 do 22 atomów węgla. Kwasy tłuszczowe składające się na oleje roślinne charakteryzują się łańcuchami węglowymi o różnej liczbie podwójnych wiązań między atomami węgla, co determinuje stopień nasycenia kwasu tłuszczowego. Większość olejów roślinnych zawiera estry kwasów nienasyconych o jednym do 3 wiązań podwójnych. Do głównych składników olejów roślinnych zalicza się następujące kwasy tłuszczowe: mirystynowy, palmitynowy, stearynowy, oleinowy, linolowy, linolenowy, erukowy [1,12].

Niektóre parametry olejów roślinnych są zbliżone do parametrów olejów napędowych. Ponieważ w Polsce występują dobre warunki do uprawy rzepaku, dlatego olej rzepakowy (OR) jest najczęściej brany pod uwagę przy analizie możliwości zastosowania olejów roślinnych do zasilania silników o zapłonie samoczynnym [1,2,3,5]. W szczególności, OR w porównaniu z typowym olejem napędowym (ON), charakteryzuje się [1,12]:

- większym o ok. 20% napięciem powierzchniowym,
- mniejszą o ok. 12% wartością opałową – z uwagi na większą zawartość tlenu i mniejszą zawartość węgla i wodoru,
- większą o ok. 10% gęstością,
- większą ok. 10 razy lepkością w stosunku do maksymalnej dopuszczalnej lepkości dla ON,
- znacznie mniejszą zawartością siarki (ok. 1 ppm),
- odmienną krzywą destylacji – już w temperaturze ok. 250 °C następuje kraking termiczny,
- wysoką (zwykle powyżej +5 °C) temperaturą zablokowania zimnego filtra,
- dobrą biodegradowalnością – całkowity rozkład następuje po ok. 20 dniach,
- lepszymi parametrami tribologicznymi – z uwagi na znacznie większą lepkość i obecność cząsteczek polarnych.

Główne przeszkody w zastosowaniu OR, jako samoistnego paliwa do zasilania silnika o ZS, to przede wszystkim jego duża lepkość, gorsza lotność oraz niska temperatura rozkładu termicznego. Niższa wartość opałowa OR może być częściowo zrekomensowana jego większą gęstością – co ma szczególne znaczenie przy objętościowym odmierzaniu dawki wtryskiwanego paliwa.

Ogólnie, gorsza lotność i inna budowa chemiczna OR w stosunku do ON sprawia, że w przypadku OR inaczej zachodzi proces odparowania, utleniania i co się z tym wiąże, proces samozapłonu. Okres opóźnienia samozapłonu OR silnie determinowany jest temperaturą powietrza,

¹ Dr inż. Hubert Kuszewski, dr inż. Artur Jaworski, dr inż. Adam Ustrzycki; Politechnika Rzeszowska, Katedra Silników Spalinowych i Transportu

do którego jest wtryskiwany oraz temperaturą samego paliwa. Jak wskazują przeprowadzone badania [12], przy niższych temperaturach w cylindrze, właściwości samozapłonowe OR są gorsze niż ON, ale w warunkach większego obciążenia silnika, a więc i wyższej temperatury, właściwości samozapłonowe są porównywalne jak dla ON. Z tych powodów określanie liczby cetanowej (LC) na silniku testowym nie daje pełnej informacji odnośnie skłonności OR do samozapłonu [12].

Mając powyższe na uwadze, jednym ze sposobów zwiększenia udziału wykorzystania OR do zasilania silników o ZS może być stosowanie mieszanin OR i ON. Należy jednak wyraźnie przy tym zaznaczyć, że wynikowe parametry fizykochemiczne mieszaniny OR i ON silnie zależne są od wzajemnej proporcji tych paliw. Większe udziały objętościowe OR w mieszaninie z ON skutkują brakiem możliwości spełnienia wymagań normatywnych i legislacyjnych dla ON. Zatem paliwa stanowiące mieszaniny OR i ON mają *de facto* ograniczone zastosowanie i nie mogą być oferowane na rynku.

Celem badań zamieszczonych w niniejszym artykule jest określenie wpływu określonych udziałów objętościowych rafinowanego OR w oleju napędowym na właściwości samozapłonowe tak przygotowanego paliwa. Ponadto określono także właściwości samozapłonowe OR i ON, które zostały wykorzystane w mieszaninach. 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. Wyniki oznaczeń porównano z wymaganiami legislacyjnymi i normatywnymi, jakim podlega olej napędowy.

2. STANOWISKO BADAWCZE I METODYKA BADAŃ

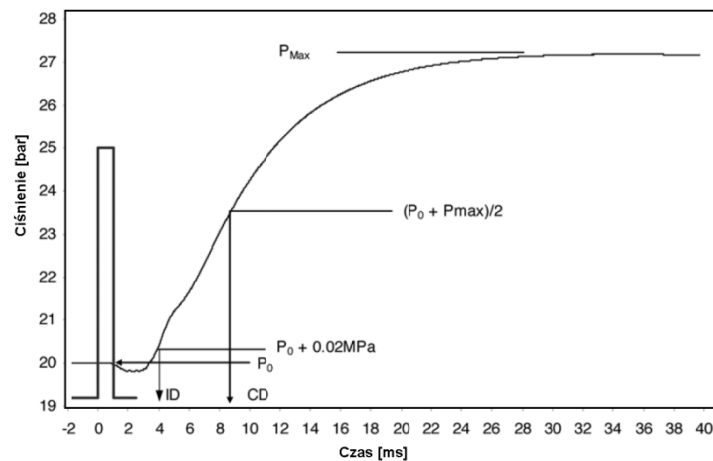
Przy określaniu zdolności paliwa do samozapłonu, kluczowe znaczenie ma oznaczanie liczby cetanowej paliwa. Na szczególną uwagę zasługuje normatywna metoda oznaczania pochodnej liczby cetanowej (DCN – Derived Cetane Number), która determinowana jest przebiegiem spalania w komorze o stałej objętości [6,7].

Oznaczenie okresu opóźnienia samozapłonu oraz pochodnej liczby cetanowej dla analizowanych mieszanin oleju rzepakowego i oleju napędowego 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”. 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.

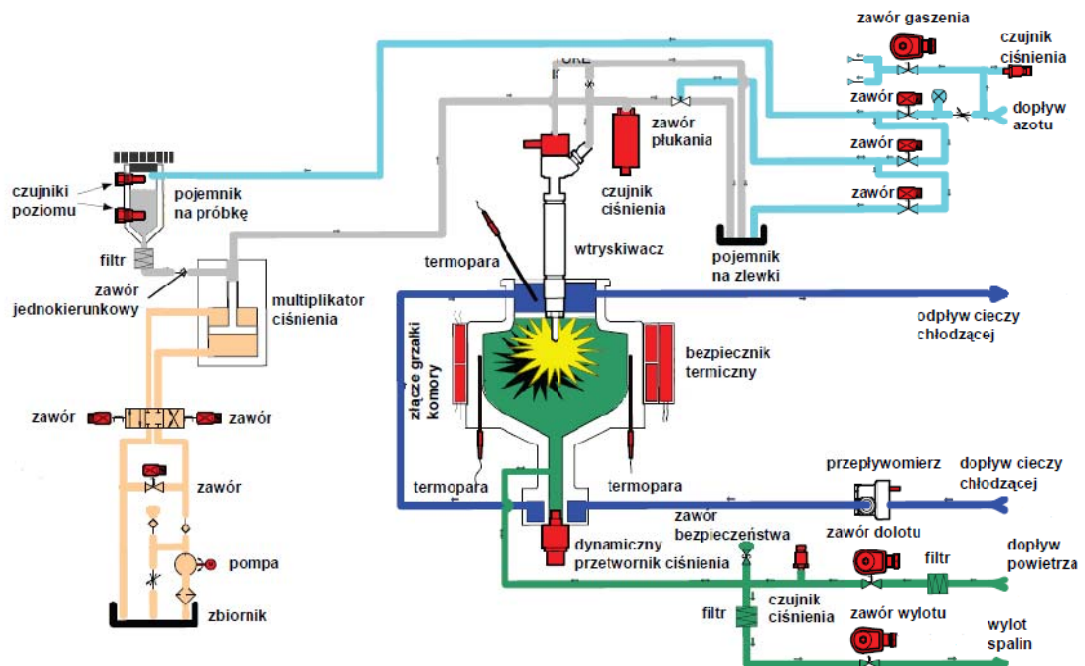
Do badań wykorzystano aparat CID 510 firmy Walter Herzog (rys. 1), który umożliwia oznaczenie pochodnej liczby cetanowej według normy ASTM D7668 – 12. W urządzeniu zastosowano system wtryskowy typu Common Rail. Elektronicznie sterowany wtryskiwacz CR z rozpylaczem wielootworkowym może wtryskiwać do komory spalania paliwo pod ciśnieniem do 1500 bar [13,14]. Na rys. 3, przedstawiono uproszczony schemat układu, hydraulicznego aparatu CID 510.



Rys. 1. Aparat do oznaczania pochodnej liczby cetanowej CID 510 firmy Walter Herzog [13]



Rys. 2. Parametry służące określeniu pochodnej liczby cetanowej DCN [5,8]: ID – czas jaki upłynął od pojawienia się sygnału sterującego wtryskiwaczem (zobcze 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 (zobcze opadające impulsu) do momentu, gdy ciśnienie w komorze uzyskało wartość równą połowie sumy ciśnienia początkowego p_0 i ciśnienia maksymalnego p_{max} w komorze



Rys. 3. Uproszczony schemat hydrauliczny aparatu CID 510 [4,11]

Tabela 1. Paliwa wykorzystane podczas badań właściwości samozapłonowych

Oznaczenie paliwa	Udział [% obj.]	
	Olej napędowy	Rafinowany olej rzepakowy
ON	100	0
ON-OR-20	80	20
ON-OR-40	60	40
ON-OR-60	40	60
ON-OR-80	20	80
OR	0	100

Oznaczenia pochodnej liczby cetanowej DCN przeprowadzono dla sześciu próbek paliwa. Jedną z nich to olej napędowy bez dodatku oleju rzepakowego, pozostałe próbki paliwa to mieszaniny ON i OR oraz rafinowany OR. Charakterystyka tych próbek oraz oznaczenia zostały zawarte w tabeli 1. W badaniach wykorzystano olej napędowy o polepszonych właściwościach niskotemperaturowych, zakupiony w okresie zimowym. Olej rzepakowy to olej rafinowany wykorzystywany do celów spożywczych.

3. WYNIKI BADAŃ

W tabeli 2 przedstawiono wyniki pomiarów pochodnej liczby cetanowej DCN oraz okresu opóźnienia samozapłonu ID (por. rys. 2) dla poszczególnych paliw. Ponadto w tabeli zawarte są także pozostałe charakterystyczne parametry pracy związane z funkcjonowaniem aparatu. Są to: parametr CD (por. rys. 2), czas trwania impulsu sterującego wtryskiwaczem t_{wtr} , początkowe ciśnienie w komorze spalania p_0 , przyrost ciśnienia spalania Δp_k , temperatura powietrza w komorze spalania t_k , ciśnienie wtrysku paliwa p_{wtr} (mierzone w akumulatorze ciśnienia) oraz temperatura cieczy chłodzącej wtryskiwacz t_{ch} . Wszystkie przedstawione parametry zawarte w tabeli stanowią wartości średnie z 15 cykli, które składają się na pojedynczy test. Dodatkowo, na rys. 4 przedstawiono wartość pochodnej liczby cetanowej DCN dla poszczególnych paliw.

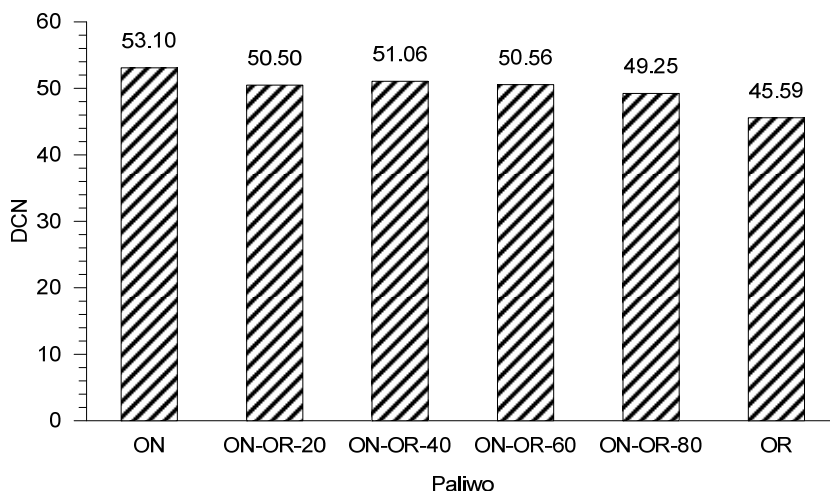
Tabela 2. Wyniki pomiarów pochodnej liczby cetanowej DCN, okresu opóźnienia zapłonu ID oraz odpowiadające im wartości charakterystycznych parametrów pracy aparatu CID 510

Paliwo	DCN	ID [ms]	CD [ms]	p_0 [bar]	t_k [°C]	Δp_k [bar]	t_{ch} [°C]	t_{wtr} [ms]	p_{wtr} [bar]
ON	53,10	3,03	4,54	20,23	586,8	21,00	51,0	2,5	1001,0
ON-OR-20	50,50	3,29	4,78	19,97	586,7	20,23	50,5	2,5	996,8
ON-OR-40	51,06	3,18	4,70	19,98	586,7	19,28	51,0	2,5	994,8
ON-OR-60	50,56	3,24	4,76	19,91	586,7	17,87	51,1	2,5	1006,2
ON-OR-80	49,25	3,34	4,93	19,96	586,7	16,32	50,4	2,5	1000,4
OR	45,59	3,75	5,53	19,94	586,7	14,41	50,6	2,5	999,1

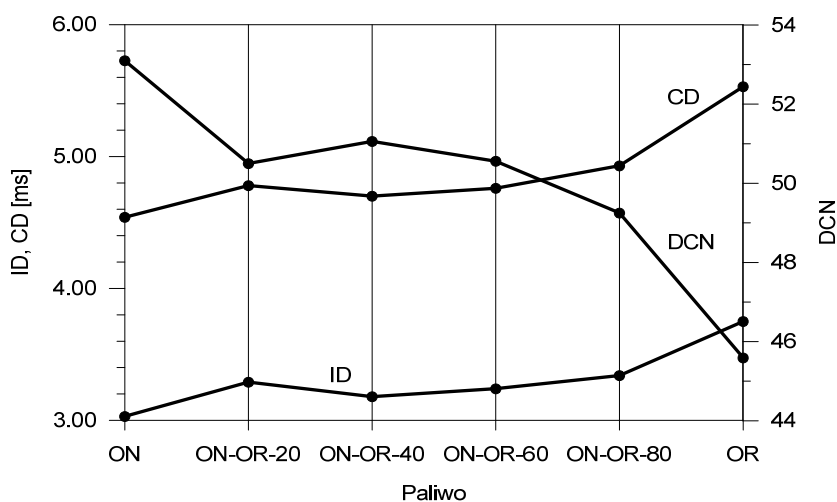
Jak wynika z zaprezentowanych wyników, dodatek oleju rzepakowego do oleju napędowego skutkowało wydłużeniem okresu opóźnienia samozapłonu w stosunku do oleju napędowego, ale ogólnie niezależnie od udziału objętościowego OR uzyskane wartości DCN były zbliżone. Dla 20% udziału OR odnotowano blisko 5%-owe zmniejszenie wartości DCN w stosunku do ON, natomiast największy udział OR w ON spowodował spadek tej wartości o nieco powyżej 7%. Dla OR odnotowano najmniejszą wartość DCN – była ona niższa od DCN dla ON o około 14%.

Analizując wartości DCN oraz parametrów ID i CD, widać korelację pomiędzy okresem opóźnienia samozapłonu ID i uzyskaną wartością DCN. Dla analizowanych paliw, skrócenie okresu opóźnienia samozapłonu ID skutkowało wzrostem wartości DCN. Co do wartości bezwzględnej, największą zmianę (wydłużenie) okresu opóźnienia samozapłonu, odnotowano w stosunku do paliwa ON i OR (rys. 5). Tendencja zmian wartości parametru CD jest taka sama jak w przypadku parametru ID. Charakterystyczne jest, że dla mieszaniny zawierającej 40% OR odnotowano krótszy okres opóźnienia samozapłonu i w związku z tym większą wartość DCN, niż dla paliwa

zawierającego 20% OR.



Rys. 4. Uzyskane dla poszczególnych paliw wartości pochodnej liczby cetanowej DCN



Rys. 5. Uzyskane dla poszczególnych paliw wartości pochodnej liczby cetanowej DCN, parametru ID i CD

Odnosząc uzyskane wyniki do wymagań normy PN-EN 590+A1:2011 „Paliwa do pojazdów samochodowych – Oleje napędowe – Wymagania i metody badań” oraz Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 2 lutego 2012 r. zmieniającego rozporządzenie w sprawie wymagań jakościowych dla paliw ciekłych, stwierdzono, że jedynie paliwo ON oraz paliwo ON-OR-40 spełniło wymagania w zakresie liczby cetanowej, która nie powinna być mniejsza niż 51 [9,10].

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przeprowadzone pomiary wskazują, że dodatek rafinowanego oleju rzepakowego do oleju napędowego powoduje pogorszenie właściwości samozapłonowych tak przygotowanej mieszanki w stosunku do oleju napędowego. Dla przygotowanych mieszanin zawierających od 20 do 80% zaobserwowano średnio ponad 5%-owy wzrost wartości DCN, ponad 7,5%-owy wzrost wartości parametru ID oraz ponad 5%-owy wzrost wartości parametru CD.

Rafinowany olej rzepakowy, w warunkach badań i przy założonej metodyce pomiarowej, wykazał najgorsze właściwości samozapłonowe. W stosunku do oleju napędowego stwierdzono o ponad 14% mniejszą wartość DCN, prawie 24%-owe wydłużenie okresu opóźnienia samozapłonu ID oraz prawie 22%-owy wzrost wartości parametru CD. Charakterystyczne jest, że dla mieszanki zawierającej 40% OR odnotowano krótszy okres opóźnienia samozapłonu i w związku z tym większą wartość DCN niż dla paliwa zawierającego 20% OR.

Jedynie paliwo ON oraz paliwo ON-OR-40 spełniło normatywne i legislacyjne wymagania w zakresie liczby cetanowej.

LITERATURA

- [1] Baczewski K., Kałdoński T.: Paliwa do silników o zapłonie samoczynnym. WKiŁ, Warszawa 2004.
- [2] Bocheński C.I.: Biodiesel. Paliwo rolnicze. Wydawnictwo SGWW, Warszawa 2003.
- [3] Bocheński C.I., Bocheńska A.: Olej rzepakowy paliwem do silników Diesla. Czasopismo Techniczne, z.8-M, Kraków 2008.
- [4] Cetane ID 510 Automatyczny aparat do oznaczania pochodnej liczby cetanowej. Materiały firmowe In-kom Instruments.
- [5] Jakóbiec J., Bocheńska A., Ambrozik A.: Modyfikacja właściwości fizyko-chemicznych i użytkowych paliwa rzepakowego. Inżynieria Rolnicza 4(129)/2011.
- [6] 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.
- [7] 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 „Логос”, Львів 2011.
- [8] 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”.
- [9] Norma PN-EN 590+A1:2011. Paliwa do pojazdów samochodowych. Oleje napędowe. Wymagania i metody badań.
- [10] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 2 lutego 2012 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie wymagań jakościowych dla paliw ciekłych (Dz.U.2012.136).
- [11] Service Manual – Cetane Number Analyzer CID510. Materiały firmowe firmy PAC (Petroleum Analyzer Company).
- [12] Szlachta Z.: Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi. WKiŁ, Warszawa 2002.
- [13] <http://www.paclp.com>
- [14] <http://www.inkom.com.pl>

STUDY OF SELF-IGNITION PROPERTIES OF DIESEL FUEL AND RAPESEED OIL MIXTURES

The aim of the researches presented in this paper was to determine the effect of some volume fractions of rapeseed oil in the diesel fuel on the self-ignition properties for such prepared fuel. As a measure of the susceptibility of fuel to self-ignition derived cetane number was used. The measurement of derived cetane number (DCN) and self-ignition delay period was made with a device enabling combustion in constant volume chamber. The results were compared with the legislative and standard requirements for diesel fuel.