

ANNA MATUSZEWSKA

Przemysłowy Instytut Motoryzacji, Warszawa
Instytut Ekologii i Bioetyki, UKSW, Warszawa

MAŁGORZATA ODZIEMKOWSKA

Przemysłowy Instytut Motoryzacji, Warszawa

JOANNA CZARNOCKA

Przemysłowy Instytut Motoryzacji, Warszawa

Emisja zanieczyszczeń przy zasilaniu silnika ZS olejem napędowym z domieszką bioetanolu

Słowa kluczowe: bioetanol, biopaliwo, silnik z zapłonem samoczynnym, emisja zanieczyszczeń

Keywords: bioethanol, biofuel, compression-ignition engine, pollutant emission

SUMMARY

Pollutant emissions of diesel engines powered by diesel fuel mixed with ethanol

Bioethanol is an oxygen compound added to gasoline. Research into the possibility of applying it to diesel oil are conducted. It is assumed that such fuel could help reduce the emission of gaseous and particulate matter in comparison with conventional fuels. This paper presents the results of the authors' chassis dynamometer test for biofuel containing 15% bioethanol. Emissions of carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NO_x), hydrocarbons (THC), and particulate matters (PM) were related to diesel oil emissions.

Wprowadzenie

Pojazdy wyposażone w silniki o zapłonie samoczynnym cieszą się dużą popularnością. Wynika to po części z uwarunkowań „historycznych”. Jeszcze kilkanaście lat temu istotna przewaga samochodów wyposażonych w silnik wysokoprężny nad samochodami z silnikiem z zapłonem iskrowym wynikała z dwóch przyczyn. Po pierwsze, litr oleju napędowego był znacząco tańszy niż litr benzyny, po drugie, samochody z silnikami o zapłonie samoczynnym w porównaniu z autami z silnikami benzynowymi były tańsze. Dzisiaj sytuacja nieco się zmieniła. Wzrost cen paliw oraz wymagania co do emisji zanieczyszczeń i substancji szkodliwych zmusiły producentów pojazdów do poszukiwania nowych rozwiązań. W przypadku silników wysokoprężnych dokonał się technologiczny skok, zarówno pod kątem ich osiągnięć, jak i zmniejszonej uciążliwości dla środowiska. Nowoczesne rozwiązania spowodowały, że ceny samochodów z silnikiem ZS przewyższają te z silnikiem benzynowym. Rekompensują to wciąż niższą ceną paliwa i znacząco niższym jego zużyciem. Niestety spaliny z silników wysokoprężnych niekorzystnie oddziałują na środowisko. W porównaniu do silników z zapłonem iskrowym (Web-01), emitują one więcej cząstek stałych i tlenków azotu (Satgé de Caro, Mouloungui, Vaitilingom, Berge 2001). Jednym ze sposobów ograniczenia emisji może być zmiana formulacji paliwa zasilającego, np. poprzez wprowadzenie bioetanolu do oleju napędowego.

Bioetanol jest jednym z najczęściej badanych i dodawanych do paliw, głównie benzyny, związków tlenowych. Alkohol ten otrzymuje się na drodze fermentacji alkoholowej cukrów prostych z różnych surowców organicznych pochodzenia roślinnego oraz materiałów odpadowych z biomasy, szczególnie z przemysłu spożywczego (Sarkar 2012) Wyróżnia się dwie zasadnicze grupy surowców. Do pierwszej grupy zalicza się surowce zawierające cukry proste bezpośrednio fermentujące, głównie sacharozę, glukozę, fruktozę (trzcina cukrowa, buraki cukrowe, owoce, warzywa i odpady przemysłu spożywczego). Drugą grupę stanowią

surowce zawierające cukry złożone (polisacharydy, np. skrobia, celuloza), które najpierw muszą być poddane hydrolizie do cukrów prostych (ziarna zbóż, maniok, ziemniaki, cykoria, oraz surowce i odpady lignino-celulozowe) (Web-04).

O możliwości zastosowania bioetanolu, poza regulacjami prawnymi, decyduje także jego cena. W kosztach jego wytwarzania znaczący udział mają koszty surowca, który to decyduje m.in. o ilości uzyskiwanego produktu. Przykładowo koszty surowca skrobiowego stanowią od 60% do 75% kosztów wytwarzania etanolu (Web-04). Na cenę alkoholu etylowego wpływa także wprowadzanie innowacji w technologii produkcji, których to celem jest poprawa ekonomiki wytwarzania tego produktu (Marczak 2010).

Etanol może być wykorzystywany jako samoistne paliwo płynne do zasilania silników z zapłonem iskrowym, jako dodatek do benzyny, ale także jako surowiec do wytwarzania związków tlenowych przeznaczonych do paliw (Web-03), oraz jako nośnik wodoru do ogniw paliwowych (Heysiattalab 2011). Podejmowane są próby stosowania bioetanolu jako składnika w mieszankach z olejem napędowym (w ilości do 20% v/v) (Kwanchareon, Luengnaruemitchai, Jai-In 2007; Li D. et al 2005) lub jako paliwa do zasilania silników z zapłonem samoczynnym (Web-02).

Dodatek bioetanolu do oleju napędowego może wpływać na właściwości paliwa mające znaczenie dla prawidłowej pracy silnika, w szczególności na stabilność fizyczną, gęstość, lepkość, smarność, wartość opałową, temperaturę zapłonu i liczbę cetanową. Kompatybilność z materiałami konstrukcyjnymi układu paliwowego, oddziaływanie korozyjne, to także ważne elementy decydujące o przydatności tego rodzaju biopaliwa.

W niniejszym artykule zaprezentowano wyniki badań emisji drogowych biopaliwa zawierającego bioetanol, opracowanego przez autorów. Emisje w zakresie tlenku węgla (CO), tlenków azotu (NOx), węglowodorów (THC), cząstek stałych (PM) odniesiono do emisji dla oleju napędowego.

Obiekty i metodyka badań

W warunkach laboratoryjnych przygotowano mieszankę paliwową zawierającą 80% v/v handlowego oleju napędowego (nie zawierającego estrów metylowych oleju rzepakowego) i 15% v/v bezwodnego bioetanolu. Ze względu na ograniczoną mieszalność obu składników konieczne było zastosowanie współrozpuszczalnika w ilości 5% v/v. Bioetanol obniżył liczbę cetanową mieszanki, dlatego w celu poprawy tego parametru dodano alkilowany azotan w ilości zalecanej przez producenta.

Badania emisji przygotowanej mieszanki, w odniesieniu do oleju napędowego jako paliwa wzorcowego, przeprowadzono według europejskiego testu homologacyjnego na stanowisku hamowni podwoziowej Schenk Komeg EMDY 48. Test ten symuluje opory ruchu samochodu takie jak, opór toczenia, opór powietrza, bezwładność samochodu. Skład spalin analizowano za pomocą systemu Horiba Mexa 7200 wyposażonego w opacimetr i analizatory HORIBA do pomiaru stężenia CO, NO_x, THC. Testy wykonano z wykorzystaniem samochodu osobowego Ford Escort 1.8 TD z manualną skrzynią biegów, wyposażonego w czterocylindrowy silnik o zapłonie samoczynnym.

Europejski test homologacyjny składa się z dwóch faz: cyklu miejskiego ECE 15 i cyklu pozamiejskiego EUDC, przy czym cykl ECE 15 powtarzany jest czterokrotnie bez przerwy. Cykl ECE 15, zwany również cyklem UDC (*Urban Driving Cycle*), symuluje warunki jazdy miejskiej. Charakteryzuje się on niską prędkością przejazdu, niskim obciążeniem silnika oraz niską temperaturą spalin. Łączny czas trwania czterech faz testu ECE 15 wynosi 780 sekund, w których to pojazd przejeżdża 4052 metry. Niezwłocznie po zakończeniu czwartej fazy cyklu ECE 15 przeprowadza się fazę testu zwaną EUDC (*Extra Urban Driving Cycle*). Test EUDC uwzględnia warunki jazdy pozamiejskiej, podczas której silnik pracuje pod większym obciążeniem. Maksymalna prędkość pojazdu wynosi 120 km/h. Faza testu EUDC trwa 400 sekund, a pojazd przejeżdża 6955 metry. Kompletny cykl jezdny określany jest mianem New European Driving Cycle (NEDC). Pobór próbek przez system analiza-

torów rozpoczyna się w chwili zainicjowania testu. W Tabeli 1 przedstawiono główne parametry testu NEDC.

		ECE 15	EUDC	NEDC
Dystans	km	4x1,013 = 4,052	6,955	11,07
Długość trwania fazy	s	4x195 = 780	400	1180
Prędkość średnia	km/h	18,7	62,6	33,7
Prędkość maksymalna	km/h	50	120	120

Tabela 1. Parametry testu NEDC

Wyniki badań

Pomiary wykonano trzykrotnie dla każdego cyklu, a uśrednione wyniki badań przedstawiono w Tabelach 2 i 3.

test	b_{THC} [g/km]	b_{CO} [g/km]	b_{NOx} [g/km]	b_{PM} [g/km]	Q_{pal} [dm ³ /100km]
UDC	0,04	0,53	0,48	0,0045	6,71
EUDC	0,01	0,06	0,33	0,0038	4,15
NEDC	0,02	0,24	0,38	0,0041	5,10

Tabela 2. Emisja drogowa substancji szkodliwych dla paliwa wzorcowego

test	b_{THC} [g/km]	b_{CO} [g/km]	b_{NOx} [g/km]	b_{PM} [g/km]	Q_{pal} [dm ³ /100km]
UDC	0,04	0,52	0,54	0,0035	6,69
EUDC	0,01	0,06	0,35	0,0028	4,19
NEDC	0,02	0,23	0,42	0,0031	5,11

Tabela 3. Emisja drogowa substancji szkodliwych dla biopaliwa

W Tabeli 4 zestawiono zmiany procentowe mierzonych emisji substancji badanego biopaliwa w odniesieniu do paliwa wzorcowego (W).

Test	b_{THC} zmiana [%]	b_{CO} zmiana [%]	b_{NOX} zmiana [%]	b_{PM} zmiana [%]	Q_{pal} zmiana [%]
UDC	0,0	4,0	12,5	-22,2	-0,3
EUDC	0,0	0,0	6,1	-26,3	1,0
NEDC	0,0	-4,2	10,5	-24,4	0,2

Tabela 4. Zmiany procentowe emisji drogowych substancji szkodliwych i zużycia paliwa w odniesieniu do paliwa wzorcowego

Uzyskane wyniki wskazują, że w przypadku węglowodorów (THC) wartości emisji drogowej są jednakowe dla obu badanych paliw, niezależnie od cyklu jazdy.

Emisja tlenu węgla (CO) w jeździe miejskiej przy zasilaniu biopaliwem jest większa o 4% w porównaniu do emisji tego gazu dla paliwa wzorcowego. W jeździe pozamiejskiej wielkości emisji tlenu węgla dla obu paliw są takie same, natomiast w cyklu mieszanym, emisja dla biopaliwa jest mniejsza o 4,2%.

W teście UDC biopaliwo charakteryzuje się większą o 12,5% emisją drogową tlenków azotu w porównaniu z paliwem wzorcowym, w teście jazdy pozamiejskiej (EUDC) o 6,1%, a w cyklu mieszanym o 10,5%.

W porównaniu do oleju napędowego, biopaliwo wykazuje redukcję emisji cząstek stałych (PM) o 22,2% w cyklu miejskim, o 26,3% w cyklu pozamiejskim i o 24,4% w cyklu mieszanym w stosunku do paliwa wzorcowego.

Zasilanie biopaliwem w jeździe miejskiej powoduje redukcję zużycia paliwa (Q_{pal}) o 0,3%, w odniesieniu do oleju napędowego, natomiast w jeździe pozamiejskiej i mieszanej jego wzrost odpowiednio o 1% i 0,2%.

Wnioski

Badania silnikowe przeprowadzone na hamowni podwoziowej potwierdziły przypuszczenia, że dodatek bioetanolu do oleju napędowego korzystnie wpływa na zmniejszenie zanieczyszczeń, ale tylko w za-

kresie emisji cząstek stałych. Biopaliwo zawierające 15% v/v alkoholu etylowego, w porównaniu do paliwa wzorcowego, charakteryzuje się nieznacznie większą emisją CO w jeździe miejskiej, ale niższą w cyklu mieszanym. Powoduje także wzrost emisji NO_x, zarówno w cyklu miejskim, jak i pozamiejskim, przy czym większy w cyklu miejskim. Dodatek alkoholu nie wpływa na emisję niespalonych węglowodorów oraz nie powoduje zmian zużycia paliwa.

Można zatem przyjąć, że w zakresie emisji drogowej zanieczyszczeń, takich jak: węglowodory i tlenki węgla oraz zużycia paliwa, testowane biopaliwo nie wykazuje znaczących różnic w stosunku do paliwa handlowego. Zasilanie biopaliwem powoduje wzrost emisji tlenków azotu, ale przyczynia się do ponad dwudziestoprocentowej redukcji emisji cząstek stałych.

Bibliografia

Literatura:

- Heysiattalab S. et al., 2011, *Investigation of key parameters influence on performance of direct ethanol fuel cell (DEFC)*, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 17, 727–729.
- Kwanchareon P., Luengnaruemitchai A., Jai-In S., 2007, *Solubility of a diesel–biodiesel–ethanol blend, its fuel properties, and its emission characteristics from diesel engine*. Fuel 86, 1053-1061.
- Li D. et al., 2005, *Physico-chemical properties of ethanol-diesel blend fuel and its effect on performance and emissions of diesel engines*, Renewable Energy 30, 967-976.
- Marczak H., 2012, *Znaczenie bioetanolu w wypełnianiu obowiązku stosowania paliw odnawialnych w transporcie*, Inżynieria Ekologiczna 28, 102-110.
- Sarkar N. et al., 2012, *Bioethanol production from agricultural wastes: An overview*, Renewable Energy 37, 19-27.
- Satgé de Caro P., Mouloungui Z., Vaitilingom G., Berge J.Ch., 2001, *Interest of combining an additive with diesel- ethanol blends for use in diesel engines*, Fuel 80, 565-574.

Witryny internetowe:

- (Web-01) <http://www.wojdas.24x7.pl/diesel.html>, dostęp: maj 2013.
- (Web-02) Nord K. *Particles and Unregulated Emissions from CI Engines Subjected to Emission Control* (Doctoral Thesis). 2005; Lulea University of Technology, Depart-

ment of Chemical Engineering and Geosciences, Division of Chemistry, <http://epubl.ltu.se/1402-1544/2005/09/LTU-DT-0509-SE.pdf>, dostęp: maj 2013.

- (Web-03) *Alcohols/ethers as oxygenates in diesel fuel: Properties of blended fuels and evaluation of practical experiences*, IEA Advanced Motor Fuels, Annex XXVI Final Report, TEC TransEnergy Consulting Ltd, Befri Consult, Report TEC 3/2005, Available at: http://www.iea-amf.vtt.fi/pdf/annex26report_final.pdf, dostęp: 20.05.2013.
- (Web-04) Szewczyk K.W., *Zarys możliwości wykorzystania etanolu jako odnawialnego źródła energii*, <http://www.transport.gov.pl>, dostęp: maj 2013.