

SOME PROBLEMS OF ETHANOL USING AS ALTERNATIVE FUELS FOR SPARK IGNITION ENGINES FROM POINT OF VIEW ECONOMY, ECOLOGY AND OTHER ENGINE PERFORMANCE

Hanna Kraszewska

Institute of Aeronautic

Al. Krakowska 110/114, 02-256 Warszawa

tel.: +48 22 846 00 11 w 842, fax: +48 22 846 44 32

e-mail: ilot@ilot.edu.pl

Abstract

Preliminary research results on the engine test bed are presented in this paper. Subject of research was four cylinder with spark ignition engine which was fuelled with gasoline and gasoline ethanol blends contained 8 %, 16 % and 32 % of ethanol. The research was conducted on comparative principle and the engine parameters were not optimized. If the blend of gasoline and 8 % ethanol fuelled the engine performance of engine were much the same as the engine fuelled with gasoline. Distinct differences in engine performances were revealed if the engine was fuelled with 32 % ethanol – gasoline blend. If used the 16 % ethanol – gasoline blend the specific fuel consumption increases about 5 % to 7 % but if used 32 % ethanol – gasoline blend specific fuel consumption increases about 10 % to 14 % comparing with gasoline fuelled engine. The carbon oxide in exhaust emission gases shows bigger scatters and will be subject of the further research.

Some properties of the gasoline ethanol and oxidizer additives and perspectives of their applying for engine fuelling were make known too.

Keywords: internal combustion engine, alternative fuel, bioethanol, and ecology

NIEKTÓRE PROBLEMY ZASTOSOWANIA ETANOLU JAKO PALIWA ALTERNATYWNEGO DO SILNIKÓW Z ZAPŁONEM ISKROWYM Z PUNKTU WIDZENIA EKONOMII, EKOLOGII I INNYCH CHARAKTERYSTYK SILNIKA

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań, na stanowisku hamowniczym, czterocylindrowego silnika o zapłonie iskrowym, który był zasilany benzyną lub mieszankami benzyny z etanolem, o zawartości 8 %, 16 % i 32 % etanolu. Badania miały charakter porównawczy a parametry silnika nie były optymalizowane. Stwierdzono, że przy zasilaniu silnika mieszaniną benzyny z 8 % etanolu charakterystyki silnika były podobne, jak przy zasilaniu benzyną. Wyraźne różnice stwierdzono w charakterystykach silnika przy zasilaniu silnika mieszaninami benzyny z etanolem zawierającymi 16 % i 32 %. W odniesieniu do jednostkowego zużycia paliwa, to przy zasilaniu silnika mieszaniną benzyny z 16 % etanolu stwierdzono zwiększenie zużycia paliwa o 5 % do 7 % a przy zasilaniu silnika mieszaniną benzyny i 32 % etanolu wystąpiło zwiększenie zużycia paliwa o 10 % do 14 %. W badaniach toksyczności spalin stwierdzono zmniejszenie zawartości tlenu węgla i węglowodorów w spalinach silnika zasilanego mieszaninami benzyny z etanolem w porównaniu z silnikiem zasilanym czystą benzyną. Jeżeli chodzi o emisję tlenków azotu to wystąpiły dość duże rozrzuty wyników, co będzie przedmiotem dalszych badań.

Ponadto w artykule przeanalizowano niektóre właściwości benzyny, etanolu i dodatków tlenowych oraz perspektywy ich zastosowania do zasilania silników spalinowych.

Słowa kluczowe: silniki spalinowe, paliwa alternatywne, bioetanol, ekologia

1. Wstęp

Istnieje coraz większy nacisk na zastępowanie kopalnych paliw węglowodorowych

paliwami pochodzącymi ze źródeł odnawialnych. W Polsce istotne byłoby zastąpienie paliw węglowodorowych paliwami pochodzenia roślinnego ze względu na ich unikalne właściwości techniczne oraz dla rozszerzenia zastosowań produktów rolniczych. Z paliw pochodzenia rolniczego największe szanse na szerokie stosowanie do zasilania pojazdów i silników spalinowych ma etanol i produkty z niego pochodne takie, jak ETBE. Zastosowanie etanolu wymaga opracowania specjalnych układów zasilania, natomiast możliwe jest stosowanie mieszanin benzyny z etanolem i innymi związkami tlenowymi przy niewielkich zmianach regulacyjnych standardowych silników spalinowych.

Opracowanie nowoczesnych metod zasilania pojazdów samochodowych paliwami z wykorzystaniem dodatków tlenowych jest jednym z podstawowych problemów do rozwiązania, pozwalającym na poprawę parametrów eksploatacyjnych. Pojazdy samochodowe powinny mieć poprawne charakterystyki funkcjonalne, użytkowe, niezawodnościowe i trwałościowe. Zastosowanie dodatków tlenowych pozwala na uzyskanie korzystnych efektów ekologicznych, polegających na zmniejszeniu poziomu emisji składników toksycznych spalin oraz dwutlenku węgla (efekt cieplarniany), bez konieczności zmian w rozwiązaniach konstrukcyjnych pojazdów samochodowych, bez istotnego zwiększenia poziomu zużycia paliwa. Zastosowanie nowych paliw z dodatkami tlenowymi wymaga przeprowadzenia wszechstronnej analizy zachowania się pojazdów w eksploatacji a w szczególności filtracji paliwa, gromadzenia się osadów na elementach silnikowych pracujących w wysokich temperaturach oraz na elementach aparatury paliwowej, wpływu na właściwości oleju smarującego, właściwości rozruchowych na zimnym i rozgrzanym silniku, temperatury spalin, procesu rozpylenia paliwa i parowania paliwa, zmiany parametrów paliwa w trakcie przechowywania itp. Zasadnicze dodatki tlenowe do paliw pozwalające na uzyskanie efektów ekologicznych, to etanol oraz eter etylo-tert-butyłowy (ETBE), metanol oraz eter metylo-tert-butyłowy (MTBE), alkohol tert-butyłowy (TBA) oraz eter tert-amylometyłowy (TAME). Dodatki tlenowe charakteryzują się wysokimi wartościami liczb oktanowych, niskimi prężnościami par oraz wysokimi wartościami ciepła parowania. Najlepsze właściwości przyjazne dla organizmów żywych ma etanol, który może wchodzić w skład produktów spożywczych, a wprowadzenie do benzyny zmniejsza proporcjonalnie do jego udziału właściwości trujące benzyn. Ponadto możliwe jest także zmniejszenie zawartości innych trujących, a zwłaszcza rakotwórczych składników w benzynie, jak np. benzenu z powodu wprowadzenia etanolu, charakteryzującego się wysoką liczbą oktanową. W obowiązującej obecnie normie PN-EN 228 maksymalna zawartość benzenu wynosi 5%, natomiast Światowa Karta Paliw przewiduje dla EURO 3 maksymalną zawartość benzenu 1%. Należy zaznaczyć, że duża zawartość benzenu w benzynie była podyktowana także koniecznością zapewnienia wysokiej liczby oktanowej paliwa. Obecnie najbardziej popularnym dodatkiem tlenowym do benzyny jest MTBE ($C_5H_{12}O$), który charakteryzuje się wysoką wartością liczby oktanowej, niską prężnością par oraz stosunkowo niską temperaturą wrzenia ($54^{\circ}C$). Otrzymywany jest w procesie katalitycznej syntezy izobutyleny z metanolem. MTBE pełni rolę stabilizatora w benzynach zawierających alkohole, ponieważ ogranicza zjawisko rozwarstwiania kompozycji paliwowych w wyniku zdyspergowania wody w całej objętości paliwa. Ma jednak niekorzystne właściwości odurzające i narkotyczne. ETBE ($C_6H_{14}O$) uzyskuje się w procesie syntezy katalitycznej izobutyleny z etanolem. Wykazuje korzystniejsze właściwości fizyko-chemiczne niż MTBE. Ma niższą prężność par, mniejszą rozpuszczalność w wodzie, mniejszą zawartość tlenu w cząsteczce. Benzyny z ETBE charakteryzują się bardzo dobrą stabilnością. Jego zastosowanie jest ograniczone przede wszystkim względami ekonomicznymi, ponieważ koszt produkcji jest wyższy niż MTBE, jednak korzystną cechą jest to, że zawiera ok. 42% etanolu. Należy dodać, że z powodów zdrowotnych Amerykański Akt Czystego powietrza wymaga obowiązkowego stosowania paliw zawierających dodatki tlenowe w okresie zimowym w dużych aglomeracjach. Zarówno

ETBE jak etanol dodawane do benzyn w odpowiednich ilościach, jednak przy zachowaniu właściwości jezdnych pojazdów mechanicznych, pozwalają na uzyskanie korzystnych efektów ekologicznych.

2. Etanol jako paliwo alternatywne

Wśród najpoważniejszych kandydatów na paliwa alternatywne pochodzenia roślinnego można wymienić przede wszystkim alkohole, przewidziane głównie jako paliwa lub dodatki do paliw silników o zapłonie iskrowym. Stopniowe zwiększenie ilości dodatków w postaci biopaliw do ciekłych paliw węglowodorowych, mogłoby zmniejszyć import paliw, ponieważ obecnie tylko bardzo mała ilość paliw stosowanych do zasilania silników spalinowych w Polsce pochodzi ze źródeł krajowych. Istotną sprawą jest również to, że alkohole mogą być otrzymywane z surowców odpadowych, ze wszystkich nadwyżek rolniczych. Wydaje się, że będzie możliwe stopniowe zwiększanie udziału paliw ze źródeł odnawialnych pochodzenia roślinnego, w ogólnej ilości zużywanych paliw, co jednak będzie wymagało poznania różnic w parametrach pracy silnika i konieczności wprowadzenia zmian w parametrach regulacyjnych i konstrukcyjnych silników w odniesieniu do zasilania konwencjonalnymi paliwami węglowodorowymi oraz paliwami z dodatkami biokomponentów. Biopaliwa mają bowiem inne właściwości fizyczne i chemiczne niż paliwa ropopochodne, co w istotny sposób wpływa na właściwości funkcjonalne i użytkowe silników.

Zaletą etanolu jest wysoka liczba oktanowa, (liczba oktanowa badawcza etanolu wynosi 109 a motorowa 90), która pozwala na pracę silnika przy wysokich stopniach sprężania, a więc pozwala na uzyskanie większej sprawności termicznej, przezroczystość płomienia, a więc brak cząstek stałych (PM), ponieważ paliwo zawiera małą liczbę atomów węgla, zmniejszenie emisji tlenu węgla i węglowodorów, a także niższa zawartość tlenków azotu. Porównawcze parametry benzyny i benzyny z dodatkiem etanolu przedstawione są w tabeli 1 i tabeli 2

Tab. 1. Fizyko-chemiczne właściwości benzyny i mieszaniny benzyna- etanol
Tab. 1. Physical and chemical properties of gasoline and gasoline-ethanol blend

Parametry	Benzyna RFG	E50
Liczba oktanowa badawcza	96,9	104,5
Liczba oktanowa motorowa	87,9	91,5
(R+M)/2	92,4	98,0
Gęstość (15,6/15,6 °C)	0,741	0,767
MTBE ^c (vol %)	11	5,5
Udział cząstek węgla (wt %)	13,6	13,4
Udział cząstek wodoru (wt %)	84,4	67,7
Udział cząstek tlenu (wt %)	2,0	18,9
Udział cząstek siarki (ppm) ^d	36	17
Wartość opałowa (MJ ^e /kg)	42,21	34,28
Prężność par wg Reida	47,2	51,4
10%	57	62
50%	97	75
90%	146	79
Aromatycznych	24,9	nie określono
Olefinowych	4	nie określono
Nasyconych	67,6	nie określono

RFG – benzyna reformowana, E50 – benzyna z dodatkiem 50% etanolu

Tab. 2. Niektóre właściwości mieszanek benzyny z etanolem o różnej zawartości tlenu
 Tab. 2. Some properties of gasoline ethanol blends with different oxygen contents

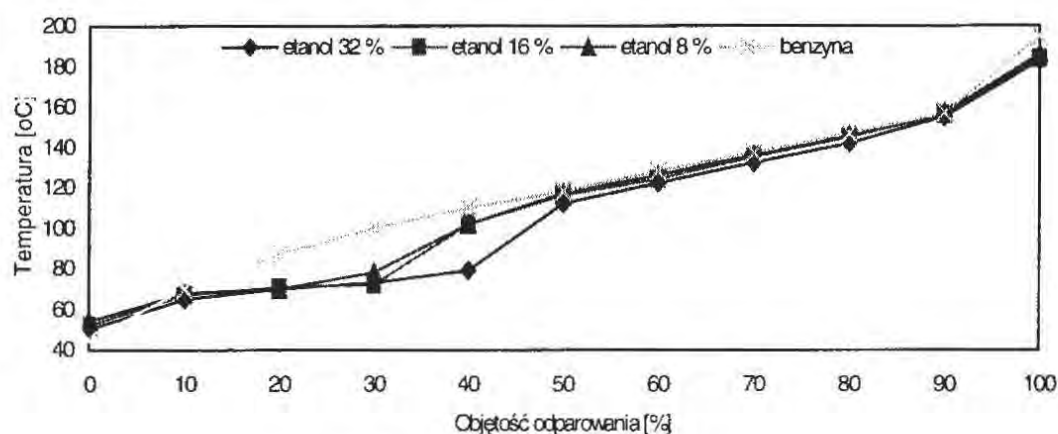
	% tlenu w masie	% alkoholu w masie	% alkoholu w objętości	Stechiometr. A/F	Gęstość (kg/m ³)	Wartość opałowa [MJ/kg]
Mieszanka benzyny z etanolem	5	14,3	13,7	13,1	0,755	39,9
	3,75	10,7	10,3	13,3	0,754	40,4
	2,5	7,1	6,9	13,4	0,752	40,9
	1,25	3,6	3,4	13,6	0,751	41,5

Wadą paliw alkoholowych w porównaniu z benzyną jest: mniejsza wartość opałowa, co powoduje, że z jednostki objętości etanolu można uzyskać mniej energii niż z benzyny; wyższe ciepło parowania, co z jednej strony wymaga dostarczania większych ilości ciepła do odparowania paliwa, a z drugiej strony wpływa na poprawę współczynnika napęlenia silnika: trudny rozruch, głównie z powodu wyższej temperatury zapłonu, niższej prężności par, występowania w odniesieniu do alkoholi jednej temperatury wrzenia oraz dużego ciepła parowania. Etanol z powodu wchłaniania wody ma także silniejsze właściwości korozyjne niż benzyna. Wadą stosowania etanolu jako dodatku do benzyny jest również znaczący wzrost poziomu emisji szkodliwych aldehydów zwłaszcza formaldehydu (CH₂O) oraz acetaldehydu (C₂H₄O), których źródłem jest niespalony alkohol w komorze spalania.

Z alkoholi jako paliwo najbardziej korzystne właściwości wykazuje etanol. Jego szersze zastosowanie wymaga jednak rozwiązania wielu problemów zarówno w odniesieniu do zapewnienia odpowiednich właściwości funkcjonalnych, jak i trwałościowych wynikających z różnych składów chemicznych oraz właściwości fizycznych.

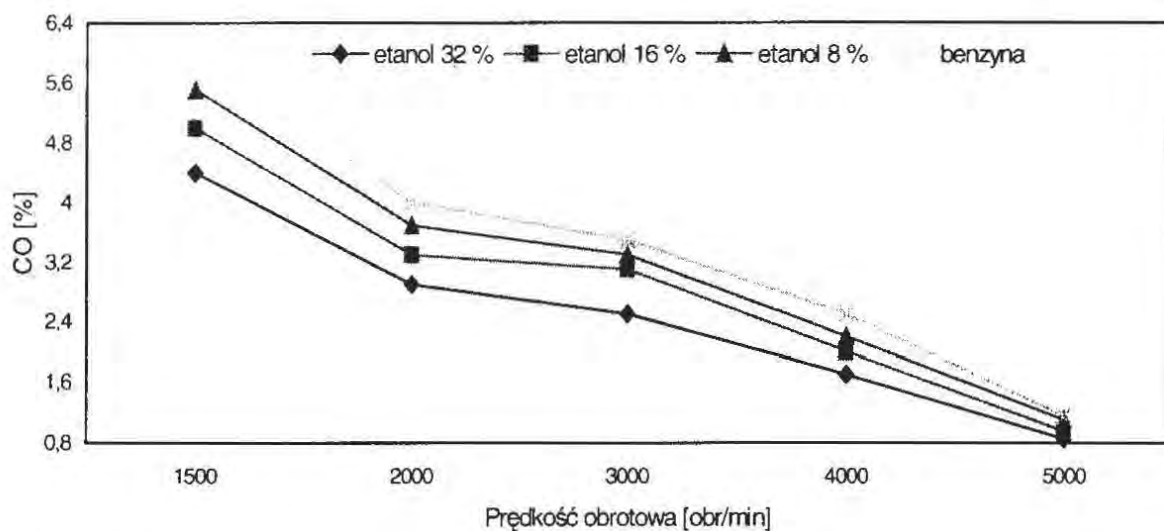
3. Wstępne badania silnikowe

W badaniach na stanowisku hamownianym, czterocylindrowego silnika o zapłonie iskrowym zastosowano benzynę o ściśle określonym składzie chemicznym, którą traktowano jako paliwo wzorcowe oraz mieszaninę tej benzyny z dodatkiem 8, 16, 32% objętościowo etanolu. Krzywe destylacji badanych benzyn oraz mieszanin benzyny z etanolem zostały przedstawione na rysunku 1.

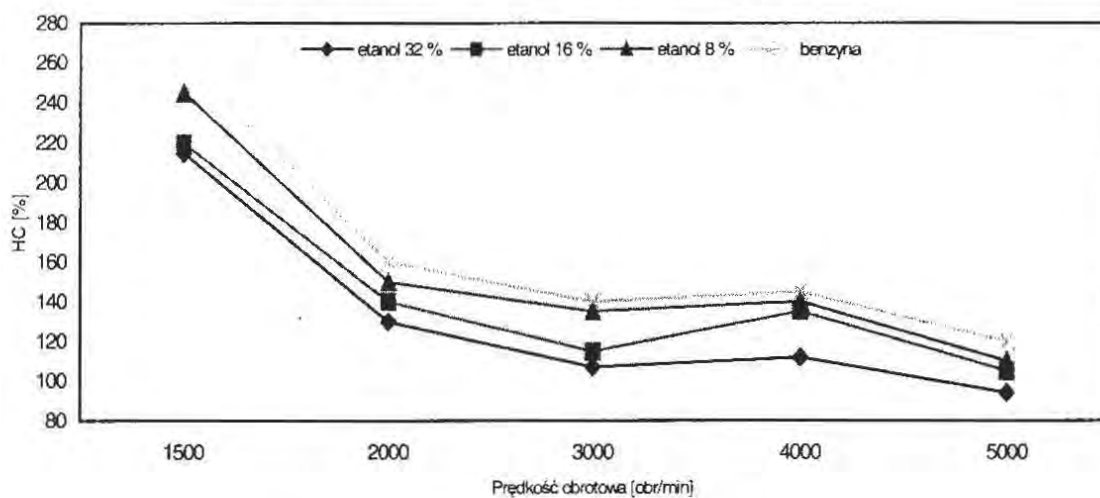


Rys. 1. Krzywe destylacji badanych benzyn
 Fig. 1. Distillation curves for the testing blends

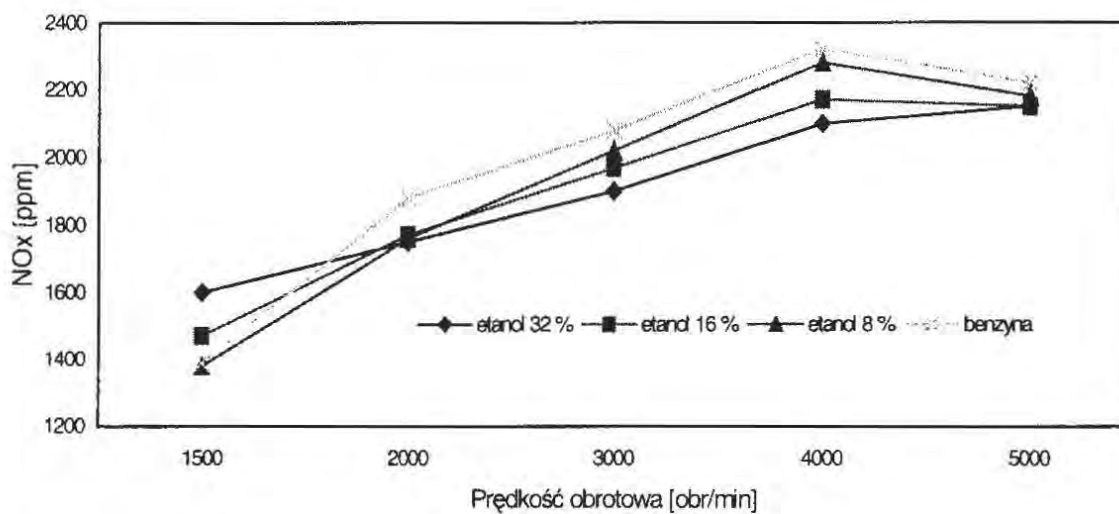
Badania miały charakter porównawczy a parametry silnika nie były optymalizowane. Przeprowadzone badania wpływu zawartości alkoholu etylowego na emisję spalin; zawartość CO, HC i NO_x w funkcji prędkości obrotowej zostały przedstawione na rys. 2 - 4 a moc i zużycie paliwa odpowiednio na rys. 5 i 6.



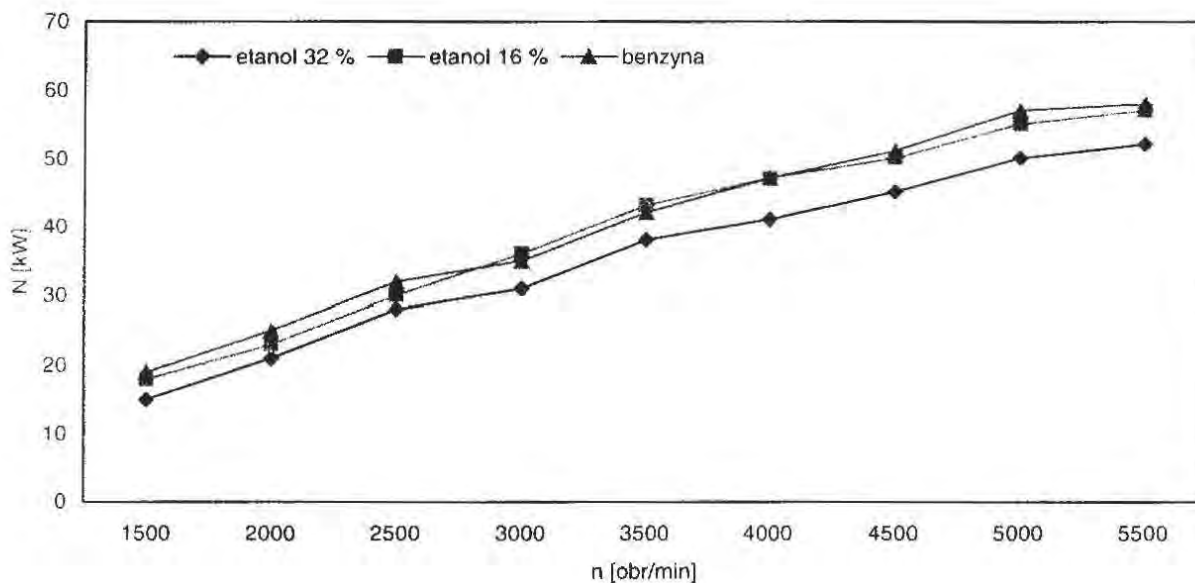
Rys. 2. Poziomy emisji tlenków węgla (CO) w spalinach w warunkach charakterystyki zewnętrznej
 Fig. 2. CO emissions versus engine speed at full load



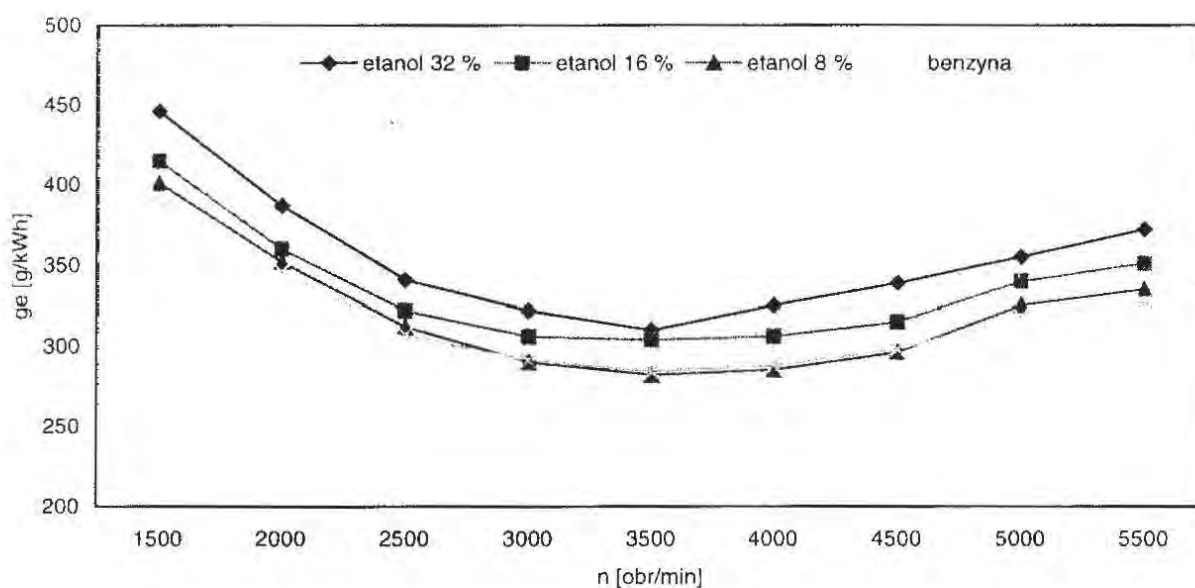
Rys. 3. Poziomy emisji węglowodorów (HC) w spalinach w warunkach charakterystyki zewnętrznej
 Fig. 3. HC emissions versus engine speed at full load



Rys. 4. Poziomy emisji tlenków azotu (NO_x) w spalinach w warunkach charakterystyki zewnętrznej
 Fig. 4. NO_x emissions versus engine speed at full load



Rys. 5. Moc silnika w warunkach charakterystyki zewnętrznej
 Fig. 5. Power curves versus engine speed at full load



Rys. 7. Zużycie paliwa w warunkach charakterystyki zewnętrznej
 Fig. 7. Specific fuel consumption versus engine speed at full load

Stwierdzono, że przy zasilaniu silnika mieszaniną benzyny z 8 % etanolu charakterystyki silnika były podobne, jak przy zasilaniu benzyną. Wyraźne różnice stwierdzono w charakterystykach silnika przy zasilaniu silnika mieszaninami benzyny z etanolem zawierającymi 16 % i 32 %. W odniesieniu do jednostkowego zużycia paliwa, to przy zasilaniu silnika mieszaniną benzyny z 16 % etanolu stwierdzono zwiększenie zużycia paliwa o 5 % do 7 % a przy zasilaniu silnika mieszaniną benzyny i 32 % etanolu wystąpiło zwiększenie zużycia paliwa o 10 % do 14 %. W badaniach toksyczności spalin stwierdzono zmniejszenie zawartości tlenku węgla i węglowodorów w spalinach silnika zasilanego

mieszaninami benzyny z etanolem w porównaniu z silnikiem zasilanym czystą benzyną. Jeżeli chodzi o emisję tlenków azotu to wystąpiły dość duże rozrzuty wyników, co będzie przedmiotem dalszych badań.

4. Wnioski

Ze wstępnych badań wynika, że oprócz ubogich mieszanek, generalnie następuje widoczna redukcja CO w całym zakresie pracy silnika. Jest to szczególnie ważne w transporcie miejskim w dużych miastach. Użycie tlenowego paliwa do redukcji tlenków węgla daje efekt natychmiastowy. Dodatkowo tlenowe paliwo redukuje stosunek stechiometryczny powietrze/paliwo co znaczy, że redukuje zapotrzebowanie na powietrze. Sonda lambda przy zmodyfikowanym paliwie bez żadnych zmian w ustawieniach regulacyjnych (ten sam stosunek powietrze/paliwo) w całym zakresie pracy silnika wzmacnia redukcję poziomu CO. Efekt obniżenia poziomu emisji CO poprzez stosowanie paliwa z dodatkiem etanolu będzie bardziej widoczny w samochodach wyposażonych w starszy system sterowania pracą silnika.

Poziomu emisji HC również zmniejszał się wraz ze wzrostem procentowym etanolu w mieszance.

Poziom emisji NO_x przy stosowaniu mieszanki benzyna-etanol w stosunku do paliwa bazowego zmieniał się w zależności od wielkości dodatku etanolu w paliwie. Tylko dla 8% zawartości etanolu w paliwie następowało zmniejszenie poziomu emisji NO_x. Dla pozostałych poziomów domieszek etanolu poziom NO_x zwiększał się lub zmniejszał w zależności od warunków pracy silnika.

Moc silnika przy stosowaniu benzyny z dodatkiem etanolu nieznacznie maleje natomiast zużycie paliwa rośnie.

Stosowanie etanolu do paliw wymaga rozwiązania wielu zagadnień. Jednym z nich jest uzyskiwanie jednorodnej mieszaniny benzyny z etanolem i innymi utleniaczami. Ważne jest również, dla różnych zawartości etanolu w paliwie, określenie stosunku paliwo/powietrze, ciśnienia wtrysku, momentu wtrysku, oraz optymalnego stosunku stechiometrycznego powietrze/paliwo. Należy również uwzględnić rozrzut właściwości paliwa w wyniku zastosowania etanolu o różnej charakterystyce parowania dawki w funkcji temperatury spowodowanych różnicami odparowania etanolu w funkcji temperatur oraz określenie różnic w reakcjach chemicznych spalania paliw o różnej zawartości etanolu i związków tlenowych biorąc pod uwagę obecność składników reaktywnych i toksycznych w gazach spalinowych

Literatura

- [1] Rajan S.: *Water-ethanol-gasoline blends physical properties, power, and pollution characteristics*. Journal of Engineering for gas Turbines and Power, Vol. 106, pp. 841-848, October 1984.
- [2] *Storing and Handling Ethanol and Gasoline-Ethanol Blends at Distribution Terminals and Service Stations*. API Recommended Practice 1626, First Edition, April 1985.
- [3] *Alcohols and Ethers: A Technical Assessment of Their Application as Fuels and Fuel Components*. API Publication 4261, July 1988.
- [4] Douthit W. H., Davis B. C., Steinke E. D., Doherty H. M.: *Performance Features of 15% MTBE/Gasoline Blends*. SAE Technical Paper Series 881667, October 1988.
- [5] Heywood J. B.: *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw-Hill, 1988.
- [6] Rice R. W., Sanyal A. K., Elrod A. C., Bata R. M.: *Exhaust gas emissions of butanol, ethanol, and methanol-gasoline blends*. Journal of Engineering for gas turbines and Power, Vol. 113, July 1991.

- [7] *Fuel Ethanol*. Technical Bulletin, Archer Daniels Midland Company, September 1993.
- [8] Baudino J. H., Voelz F. L, Marek N. J.: *Emissions Testing of Three Illinois E85 Demonstration Fleet Vehicles*. Tenth International Symposium on Alcohol Fuels (Proceedings Volume I, p 3), Colorado Springs, CO, November 7-10, 1993.
- [9] *Acetaldehyde as a Toxic Air Contaminant*. Executive Summary, California Air Resources Board, 1993.
- [10] Marshall W. F.: *Influences of Fuel, Driving Cycle, and Ambient Temperature on the Performance of Vehicles Designed for Ethanol Fuels*. Final Report No. NIPER/BDM-0114, National Institute of Petroleum and Energy Research, Bartlesville, OK, January, 1995.
- [11] Benson J. D.: *Emissions of E85 Ethanol Fuel and Gasoline in Flexible/Variable Fuel Vehicles - The Auto/Oil Air Quality Improvement Program*. SAE Special Publication 1117 (SAE 952508). Warrendale, PA: Society for Automotive Engineers, 1995.
- [12] Stump F. D., Knapp K. T., Ray W. D.: *Influence of ethanol-blended fuels on the emissions from three pre-1985 light-duty passenger vehicles*. J. of Air & Waste Manage. Assoc., 46: 1149-1161, December 1996.
- [13] Moran D. P., Taylor A. B.: *The anti-knock performance of primary and secondary alcohols as alternative and supplementary spark-ignition fuels*. Proceedings of the Eleventh International Symposium on Alcohol Fuels (ISAF), South Africa, Vol. 1, pp. 12-23, 1996.
- [14] Dodge L. G., Shouse K., Grogan J., Leone D. M., Whitney K. A., Merritt P. M.: *Development of an Ethanol-Fueled Ultra-Low Emissions Vehicle*. SAE 981358, 1998.
- [15] Acedo E., Acosta, Holloway, et. al.: *Development of the UTEP E85-Fueled Vehicle*. SAE publication SP-1453, 1998 Ethanol Vehicle Challenge, Society of Automotive Engineers, 1998.
- [16] Lutz B., Reinhart Ku., et. al.: *Conversion of a 1997 Malibu to Dedicated E85 with Emphasis on Cold Start and Cold Drivability*. SAE publication SP-1453, 1998 Ethanol Vehicle Challenge. Society of Automotive Engineers, 1998
- [17] *1999 Ethanol Vehicle Challenge Calibration Guide*. Revision A, General Motors Corporation, January 1999.
- [18] Amaral R. A., Sodre J. R.: *Influence of Engine Operational Parameters on Aldehyde Emissions from an Ethanol Fueled Vehicle*. Proceedings of the Brazilian Congress on Thermal Sciences, Porto Alegre, RS, Brazil, 3-6 October 2000, Portuguese