

EMISSION OF POLLUTION FROM ENGINE POWERED BY THE FUEL WITH ADDITIVE OF METHYL ESTER OF RAPE OIL IN DYNAMIC TESTS

Zdzisław Chłopek

Politechnika Warszawska

02-524 Warszawa, ul. Narbutta 84

tel./fax: +48 22 8490314, e-mail: zchlopek@simr.pw.edu.pl

Wojciech Bardziński

Marek Jarczewski

Hubert Sar

Przemysłowy Instytut Motoryzacji

03-301 Warszawa, ul. Jagiellońska 55

tel.: +48 22 8112897, e-mail: bls@pimot.org.pl

Abstract

In the article the results of car's research with the self ignition, powered by the diesel oil with additive of methyl ester of rape oil are conducted in roadway test on the engine test bed. The research was conducted in official certificated tests as well as in the special tests characterized as a vehicle motion in road and highway traffic. The pollution emission characteristics were determined in dynamic conditions, that equal to research tests as well as the effect of methyl ester additive of rape oil on the pollution emission.

EMISJA ZANIECZYSZCZEŃ Z SILNIKA ZASILANEGO PALIWEM Z DODATKIEM ESTRU METYLOWEGO OLEJU RZEPAKOWEGO W TESTACH DYNAMICZNYCH

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań samochodu z silnikiem o zapłonie samoczynnym, zasilanym olejem napędowym z dodatkiem estru metylowego oleju rzepakowego, przeprowadzone w testach jezdnych na hamowni podwozowej. Badania przeprowadzono w homologacyjnych testach oraz w testach specjalnych, charakteryzujących ruch pojazdów w korkach ulicznych i na autostradach. Wyznaczono charakterystyki emisji zanieczyszczeń w warunkach dynamicznych, odpowiadających testom badawczym, oraz wpływ dodatku estru metylowego oleju rzepakowego na emisję zanieczyszczeń.

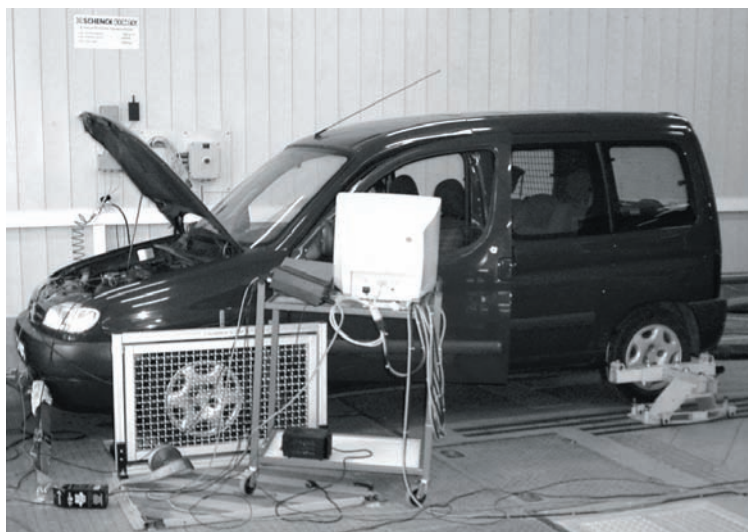
1. Wstęp

Poszukiwania nowych źródeł energii w zastosowaniu do klasycznych silników spalinowych prowadzą do coraz większego zainteresowania paliwami pochodzenia roślinnego [1, 2, 11 – 25]. Jedną z możliwości jest zastosowanie do silników o zapłonie samoczynnym estrów olejów roślinnych [1, 2, 11 – 25]. Wyniki badań silników zasilanych mieszaninami oleju napędowego i estrów olejów roślinnych dotyczą zazwyczaj statycznych stanów pracy silników albo dynamicznych, określonych warunkami testów homologacyjnych [2, 12, 15, 16 – 25]. W rzeczywistości różnorodność warunków pracy silników spalinowych jest znacznie większa niż w wypadku jedynie testów homologacyjnych [4, 8, 10, 11]. Z tego powodu w pracy postanowiono rozszerzyć różnorodność możliwych warunków pracy silnika o inne występujące w – co prawda – ekstremalnych, ale jednak typowych dla eksploatacji możliwościach: przy znacznych utrudnieniach ruchu oraz przy bardzo dużym obciążeniu silnika.

Znaczna nieokreśloność właściwości silnika w warunkach dynamicznych, uzasadniająca celowość traktowania badanych procesów jako przypadkowych, wymaga statystycznego opracowywania wyników pomiarów [3, 5 – 9]. Z tego powodu, w badaniach dokonywano rejestracji przebiegów poszczególnych wielkości i traktowano je jako realizacje procesów przypadkowych.

2. Badania emisji zanieczyszczeń z silnika zasilanego paliwem z dodatkiem estru metylowego oleju rzepakowego w testach dynamicznych

Badania samochodu z silnikiem o zapłonie samoczynnym zasilanym olejem napędowym z dodatkiem estru metylowego oleju rzepakowego przeprowadzono w testach jezdnych: homologacyjnych i specjalnych. Badania zostały wykonane na hamowni podwoziowej w Laboratorium Badań Silników Przemysłowego Instytutu Motoryzacji w Warszawie. Laboratorium jest wyposażone w hamownię podwoziową typu EMDY 48 firmy Schenck–Komeg z jedną rolką o średnicy 48". Do badań wykorzystano jako obiekt samochód osobowy Citroën Berlingo z silnikiem o zapłonie samoczynnym typu DW10 o objętości skokowej zasilania 1868 cm³ i znamionowej mocy użytecznej 51 kW (rysunek 1). W układzie zasilania silnika jest zainstalowana rozdzielaczowa pompa wtryskowa.



*Rys. 1. Stanowisko badawcze z obiektem badań
Fig. 1. Test facility with the research object*

Do poboru spalin do analizy zastosowano układ CVS – 7300 firmy Horiba (o stałym natężeniu przepływu). Do pomiaru stężeń rozcieńczonych powietrzem składników spalin został wykorzystany zestaw analizatorów MEXA 7200 firmy Horiba. Pomiar współczynnika zadymienia spalin był wykonywany dymomierzem AVL Opacimeter 439. Program badań oraz akwizycja danych były realizowane pod nadzorem układu VETS–7000 firmy Horiba. Stężenia cząstek stałych wyznaczano na podstawie korelacyjnej zależności od współczynnika zadymienia spalin.

Badania przeprowadzono w warunkach testów homologacyjnych [11]:

- testu europejskiego do oceny emisji zanieczyszczeń i zużycia paliwa zgodnego z regulaminem ECE 83; test ten składa się z testu jazdy w miastach UDC (urban drive test) oraz testu jazdy poza miastami EUDC (extra urban drive test),
- testu federalnego Stanów Zjednoczonych do oceny zużycia paliwa HWFET (highway federal extra test),

oraz testów specjalnych [11],

- Stop and Go – do oceny emisji zanieczyszczeń i zużycia paliwa samochodów w warunkach znacznego utrudnienia ruchu, tzw. kongesji,
- testu Autobahn – do oceny emisji zanieczyszczeń i zużycia paliwa samochodów w warunkach jazdy na autostradach i trasach szybkiego ruchu.

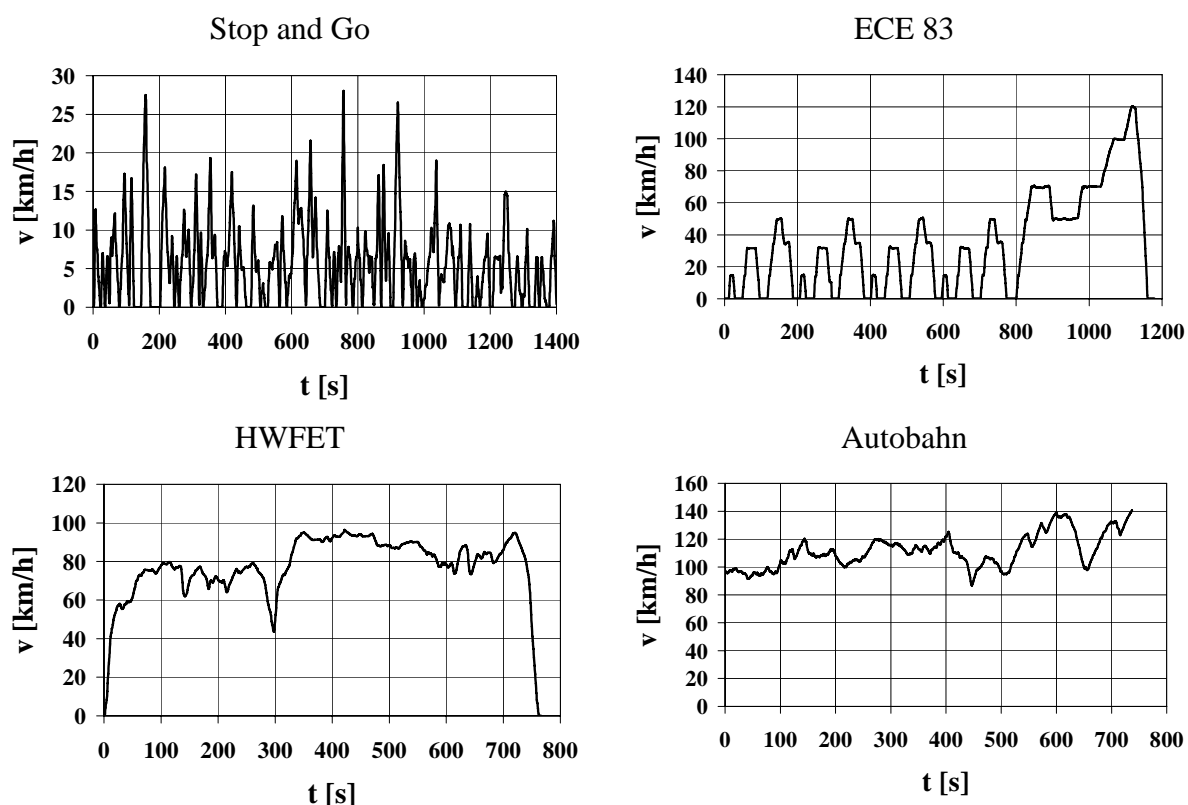
Testy Autobahn i Stop and Go zostały wykonane w Polsce po raz pierwszy.

Badania wykonywano wielokrotnie dla rozruchu zimnego i nagrzanego silnika. Do badań zastosowano następujące paliwa i ich mieszaniny:

- olej napędowy handlowy o składzie zgodnym wymaganiami norm PN EN 590,
- ester metylowy oleju rzepakowego – paliwo BIODIESEL F-FAME, produkcji Rafinerii Trzebinia, spełniające wymagania normy PN-EN 14214.

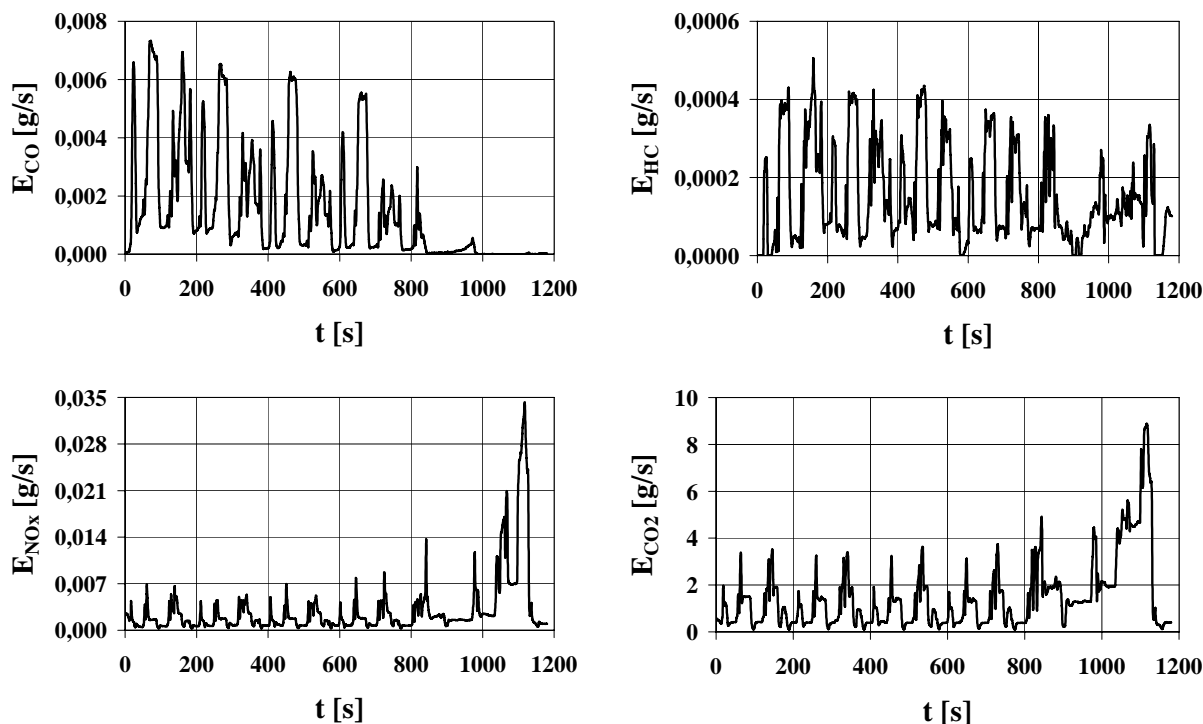
Badania przeprowadzono dla składów mieszaniny paliw, zdefiniowanych jako masowy udział estru metylowego oleju rzepakowego w mieszaninie z olejem napędowym: $u = 0; 0,1; 0,2; 0,5$ oraz 1. W wypadkach zasilania silnika mieszaniną o składzie $u = 0,5$ i $u = 1$ testy wykonano jedynie jednokrotnie ze względu na znaczną różnicę właściwości stosowanej mieszaniny paliw w stosunku do paliwa przewidzianego do zasilania silnika.

Na rysunku 2 przedstawiono przykładowe realizacje prędkości w testach jezdnych.



Rys. 2. Przykładowe realizacje prędkości w testach jezdnych
Fig. 2. Instances of speed in the roadway tests

Na rysunku 3 przedstawiono przykładowe realizacje przebiegów natężenia emisji zanieczyszczeń dla zasilania silnika czystym olejem napędowym w teście ECE R83.

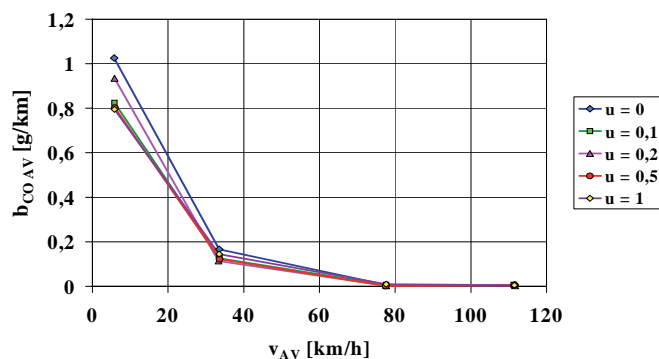


Rys. 3. Przykładowe przebiegi natężenia emisji zanieczyszczeń dla zasilania silnika czystym olejem napędowym w teście ECE R83

Fig. 3. Instances of pollution emission intensity for the engine supplied by the pure diesel oil in ECE R83 test

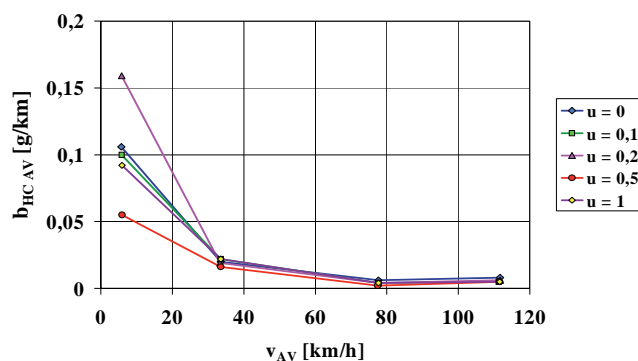
Zarejestrowane przebiegi zostały poddane przetwarzaniu cyfrowemu, polegającemu m.in. na eliminacji tzw. błędów grubych oraz na odfiltrowaniu szumów o wysokich częstotliwościach. Parametry filtrów dolnoprzepustowych były dobierane w zależności od charakterystyk częstotliwościowych poszczególnych procesów [5, 8].

Spośród wielu analiz, jakie zostały wykonane na podstawie przeprowadzonych badań, w niniejszej pracy są przedstawiane charakterystyki emisji drogowej zanieczyszczeń w zależności od średniej prędkości jazdy w teście oraz składu mieszaniny paliw w warunkach silnika nagrzanego to stanu stabilizacji cieplnej (rysunki 4 – 9).

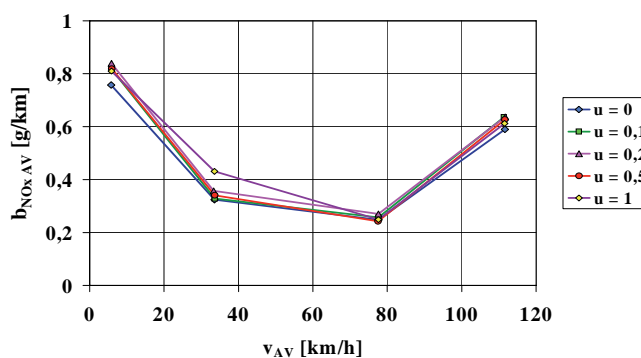


Rys. 4. Zależność emisji drogowej tlenku węgla od prędkości średniej pojazdu dla zasilania silnika paliwem o różnej zawartości estru metylowego oleju rzepakowego

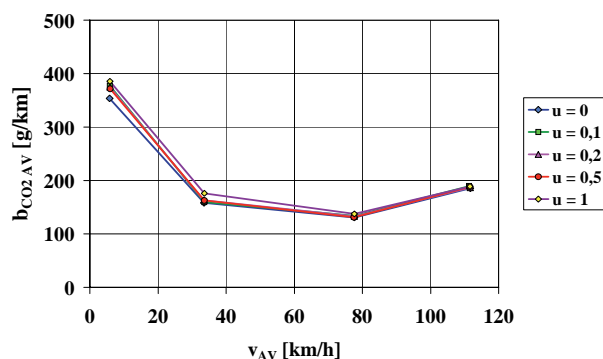
Fig. 4. Relationship between the road emission of carbon monoxide and the average vehicle speed for the engine supplied by the fuel with different amount of methyl ester additive of rape oil



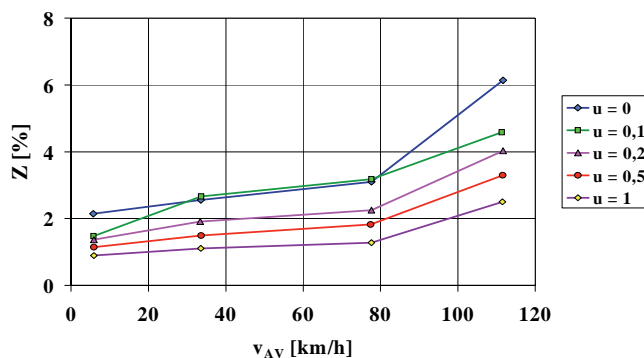
Rys. 5. Zależność emisji drogowej węglowodorów od prędkości średniej pojazdu dla zasilania silnika paliwem o różnej zawartości estru metylowego oleju rzepakowego
 Fig. 5. Relationship between the road emission of hydrocarbon and the average vehicle speed for the engine supplied by the fuel with different amount of methyl ester additive of rape oil



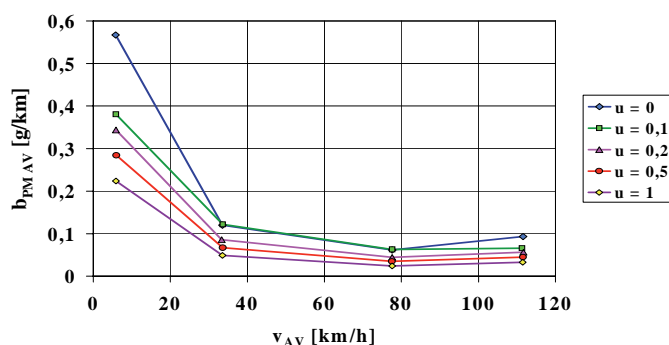
Rys. 6. Zależność emisji drogowej tlenków azotu od prędkości średniej pojazdu dla zasilania silnika paliwem o różnej zawartości estru metylowego oleju rzepakowego
 Fig. 6. Relationship between the road emission of nitric oxide and the average vehicle speed for the engine supplied by the fuel with different amount of methyl ester additive of rape oil



Rys. 7. Zależność emisji drogowej dwutlenku węgla od prędkości średniej pojazdu dla zasilania silnika paliwem o różnej zawartości estru metylowego oleju rzepakowego
 Fig. 7. Relationship between the road emission of carbon dioxide and the average vehicle speed for the engine supplied by the fuel with different amount of methyl ester additive of rape oil



Rys. 8. Zależność współczynnika zadymienia spalin od prędkości średniej pojazdu dla zasilania silnika paliwem o różnej zawartości estru metylowego oleju rzepakowego
 Fig. 8. Relationship between the exhaust smokiness coefficient and the average vehicle speed for the engine supplied by the fuel with different amount of methyl ester additive of rape oil



Rys. 9. Zależność emisji drogowej cząstek stałych od prędkości średniej pojazdu dla zasilania silnika paliwem o różnej zawartości estru metylowego oleju rzepakowego
 Fig. 9. Relationship between the road emission of the particulates and the average vehicle speed for the engine supplied by the fuel with different amount of methyl ester additive of rape oil

Wyraźnie widoczna jest duża wrażliwość ekologicznych właściwości silników na warunki ruchu pojazdu. Dla nie ustabilizowanych warunków ruchu (Stop and Go oraz ECE R83) stwierdzono największe wartości emisji: tlenku węgla, węglowodorów, tlenków azotu, dwutlenku węgla i cząstek stałych. Dla ustabilizowanych warunków ruchu (HWFET; Autobahn) widoczne jest zwiększanie się emisji: tlenków azotu, dwutlenku węgla oraz nieznaczny wzrost emisji cząstek stałych. Współczynnik zadymienia spalin jednoznacznie wzrasta wraz ze wzrostem prędkości jazdy pojazdu.

Największa wrażliwość na skład mieszaniny paliw jest dla współczynnika zadymienia spalin oraz emisji cząstek stałych. Tendencje są w tym wypadku jednoznaczne – wzrost udziału w mieszaninie estru metylowego oleju rzepakowego wpływa wyraźnie na zmniejszenie emisji cząstek stałych. W wypadku innych zanieczyszczeń zależności emisji od składu mieszaniny paliw nie są tak wyraźne i jednoznaczne.

3. Podsumowanie

Na podstawie analizy wyników badań w warunkach dynamicznych w testach jezdnych wykonywanych z rozruchem nagrzanego silnika, stwierdzono następujący wpływ dodatku estru metylowego oleju rzepakowego do oleju napędowego:

- wyraźne zmniejszenie emisji cząstek stałych dla każdego z przeprowadzonych testów,
- niejednoznaczne zmniejszenie się emisji tlenku węgla i węglowodorów we wszystkich testach,
- niejednoznaczne zwiększenie się emisji drogowych tlenków azotu we wszystkich testach,
- znaczące zwiększenie się emisji drogowych dwutlenku węgla w teście Stop and Go oraz nieznaczne w pozostałych testach,
- dużą wrażliwość emisji zanieczyszczeń na nie ustabilizowane warunki ruchu, szczególnie w teście Stop and Go.

Na podstawie wyników dotychczasowych badań można stwierdzić znaczną wrażliwość ekologicznych właściwości silnika na zakłócenia przypadkowe, przede wszystkim emisji drogowej węglowodorów i tlenku węgla. Mniejsza wrażliwość zauważalna jest dla emisji drogowej tlenków azotu, dwutlenku węgla oraz eksploatacyjnego zużycia paliwa.

Na wyniki badań emisji zanieczyszczeń w zależności od składu mieszaniny paliw miał wpływ fakt braku uśredniania wyników badań dla zasilania silnika paliwami o dużym udziale estru metylowego oleju rzepakowego ($u = 0,5$ i $u = 1$). Rozrzut średnich wartości analizowanych parametrów zmniejszyłby się dla większej liczby przeprowadzonych badań. Jednak ze względu na wysokie koszty badań emisji zanieczyszczeń w warunkach symulujących rzeczywiste użytkowanie silników, liczbę badań w zależności od testu i składu paliwa ($u = 0; 0,1; 0,2$) ograniczono do 4 - 7. W wypadku zasilania silnika mieszanką o składzie $u = 0,5$; 1 testy wykonano jednokrotnie. Mogło to się przyczynić do wprowadzenia zakłóceń przy ocenie trendów badanych zależności.

Uzyskane wyniki potwierdzają celowość prowadzenia badań emisji zanieczyszczeń w warunkach symulujących rzeczywiste użytkowanie silników. W wypadku silników trakcyjnych warunki takie są symulowane w specjalnych testach jezdnych znacznie rozszerzających różnorodność stanów pracy silników ponad te, które występują w testach homologacyjnych. Formułowanie uogólnionych wniosków na temat ekologicznych właściwości silników na podstawie wyników badań jedynie w testach homologacyjnych jest w niektórych wypadkach niecałkowicie uprawnione. Istnieje w związku z tym potrzeba opracowywania testów badawczych symulujących rzeczywiste warunki użytkowania silników [4, 10] oraz – w związku z dużą nieokreślonością wyników badań – statystycznego ich opracowywania [3, 5 –9].

4. Literatura

- [1] Baczewski K., Kałdoński T., Paliwa do silników o zapłonie samoczynnym. WKŁ. Warszawa 2004.
- [2] Bocheński C., Biodiesel. Wydawnictwo SGGW. Warszawa 2004.
- [3] Chłopek Z., Pawlicki M., Sypowicz R., Analiza statystyczna natężeń emisji zanieczyszczeń z silnika spalinowego w warunkach symulujących użytkowanie dynamiczne. Archiwum Motoryzacji 1/2005.
- [4] Chłopek Z., Rostkowski J., Testy dynamiczne do badań emisji zanieczyszczeń z silników spalinowych. The Sixth International Symposium „Combustion Engines in Military Applications”. Jurata 2003.
- [5] Chłopek Z., Stasiak P., Analiza niepowtarzalności sygnału ciśnienia indykowanego silnika spalinowego. Silniki Spalinowe Nr 1/2005 (120).
- [6] Chłopek Z., Analiza emisji zanieczyszczeń z trakcyjnego silnika spalinowego. Mechanics and Mechanical Engineering – International Journal 1/2005. Technical University of Lodz.

- [7] Chłopek Z., Badania niepowtarzalności emisji zanieczyszczeń z silników samochodów. *Silniki Spalinowe* Nr 1/2004 (118).
- [8] Chłopek Z., Metody badań właściwości silników spalinowych w warunkach przypadkowych modelujących użytkowanie. *Archiwum Motoryzacji* 1/2002.
- [9] Chłopek Z., Niepowtarzalność emisji zanieczyszczeń z silnika spalinowego o zapłonie iskrowym. *Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej* 3/2004.
- [10] Chłopek Z., O kryteriach równoważności warunków eksploatacji i warunków badań silników spalinowych. *Fourth International Symposium on Combustion Engines in Military Applications*. Jurata 1999.
- [11] Chłopek Z., *Pojazdy samochodowe. Ochrona środowiska naturalnego*. Warszawa. WKŁ. Warszawa 2002.
- [12] Dunlap L. et al., Chassis dynamometer emissions testing results for diesel and alternative-fueled transit buses. *SAE Technical Paper Series* 93 1783.
- [13] Eckl P., Vergleich der Mutagenität von Diesel- und Rapsmethylester-Abgas. *Proceedings: Emissionen von Pflanzenolkräftstoffen und ihre Umweltwirkungen*. C.A.R.M.E.N.-Verlag, pp. 109–119. Würzburg 1994.
- [14] Irmscher I., Jaskulla N., Aspekte des motorischen Verhaltens von Kraftstoffen aus pflanzlichen Ölen – Stand der internationalen Forschung. *Final Report: Verein fuer Innovative Verkehrstechnik*. Berlin 1994.
- [15] Juva A., Zelenka P., Tritthart P., Influences of diesel fuel properties and ambient temperature on engine operation and exhaust emissions. *SAE Transactions*, 1989, nr 89 0012.
- [16] Krahl J., Vellguth G., Munack A., Uebersicht von Arbeiten zum Einsatz von Rapsoel und Rapsoelmethylester als Kraftstoffe unter Beruecksichtigung umweltrelevanter Auswirkungen. *Final Report: Institute of Biosystems Engineering*. FAL. Braunschweig 1994.
- [17] May H., Hattingen U., Birkner C., Adt U., Dietrich W., Entwicklung eines Nutzfahrzeug-Vorkammer-Dieselmotors für rohe Pflanzenöle als Kraftstoff. *14. Wiener Motoren-Symposium* 1993.
- [18] Prankl H., Woergelter M., Standardisation of biodiesel. sectorial report “biodiesel” of ntb-nett phase ii. *federal institute of agricultural engineering*. Wieselburg 1997.
- [19] Salvatone A., Auriemman M., Police G. and Vittoria M., The effect of methyl-ester of rapeseed oil on combustion and emissions of DI diesel engines. *SAE Technical Paper Series* 932801.
- [20] Sams T., Use of biofuels under real world engine operation. *W: Proceedings of 2nd European Motor Biofuels Forum*. Graz 1996.
- [21] Sheehan J. et al., An overview of biodiesel and petroleum diesel life cycles. *U.S. Department of Agriculture and U.S. Department of Energy*. Final Report. 1998.
- [22] Sheehan J. et al., Life cycle inventory of biodiesel and petroleum diesel for use in an urban bus. *U.S. Department of Agriculture and U.S. Department of Energy*. Final Report. 1998.
- [23] Szlachta Z., Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi. *Wydawnictwo Naukowo – Techniczne*, Warszawa 2002.
- [24] Vellguth G., Performance of vegetable oils and their monoesters as fuels for diesel engines. *SAE Transactions*, 1983, nr 83 1358.
- [25] Ziejewski M., Goettler H. J., Reduced injection needle mobility caused by lacquer deposits from sunflower oil. *SAE Technical Paper*, 1988, nr 88 0493.