

## **INFLUENCE OF FATTY ACID METHYL ESTERS' ADDITIVE TO DIESEL ENGINE ON ECOLOGY, FUEL CONSUMPTION AND VEHICLE'S PERFORMANCE**

**Zdzisław Chłopek**

*Warsaw University of Technology*  
*ul. Narbutta 84, 02-524 Warszawa, Poland*  
*tel./fax: +48 22 8490314*  
*e-mail: zchlopek@simr.pw.edu.pl*

**Marek Jarczewski**

*Automotive Industry Institute*  
*ul. Jagiellońska 55, 03-301 Warszawa, Poland*  
*tel.: +48 22 8111421, fax: +48 22 8116028*  
*e-mail: m.jarczewski@pimot.org.pl*

**Wojciech Bardziński**

*Automotive Industry Institute*  
*ul. Jagiellońska 55, 03-301 Warszawa, Poland*  
*tel.: +48 22 8111421, fax: +48 22 8116028*  
*e-mail: w.bardzinski@pimot.org.pl*

**Hubert Sar**

*Automotive Industry Institute*  
*ul. Jagiellońska 55, 03-301 Warszawa, Poland*  
*tel.: +48 22 8111421, fax: +48 22 8116028*  
*e-mail: bls@pimot.org.pl*

### **Abstract**

*The paper presents results of researching a vehicle equipped with diesel engine, fueled by diesel fuel with fatty acid methyl esters' additive. Research was conducted on chassis dynamometer in static conditions (load characteristics) and dynamic road test cycles according to 83 ECE Regulation. On the basis of results the characteristics of average pollutants' emission, fuel consumption and exhaust opacity as a function of fatty acid methyl esters' additive to diesel fuel were made. Characteristics of engine's power and torque as a function of acid methyl esters' additive were also made.*

*Research showed that together with increasing share of esters in diesel oil to 100% with reference to clean diesel oil there was taken place by the decreasing level of HC emission of 28 %, CO emission decreasing of 21%, increasing NO<sub>x</sub> emission of 8%, the smokiness decreasing of exhaust gases of 57%. Measurement of the fuel consumption with the method of the carbon balance showed increasing of the fuel consumption with the increasing of FAME share in the mixture. Growth volumetric fuel consumption clean esters with relation to the clean diesel oil carried out of 16%. There also was observed the essential decreasing of the smokiness of exhaust gases with increasing of FAME share. At to supply of the engine clean esters there was observed decreasing of the maximum power of 5. 1% with relation to supply clean diesel oil For the fuel of 10 % FAME decreasing of the engine power carries out about 0, 5 %.*

**Keywords:** car vehicles , compression-ignition engines, alternative fuels, emissions, the fuel consumption

## WPLYW DODATKU ESTRU METYLOWEGO OLEJU RZEPAKOWEGO FAME DO OLEJU NAPĘDOWEGO NA EKOLOGIE, ZUŻYCIE PALIWA ORAZ WŁASNOŚCI DYNAMICZNE SAMOCHODU

### Streszczenie

Artykuł prezentuje badania pojazdu zaopatrzonego w silnik diesla, zasilany olejem napędowym z dodatkiem estrów metylowych kwasu tłuszczowego (FAME). Badania były prowadzone na hamowni podwoziowej w warunkach statycznych (charakterystyka obciążeniowa) i dynamicznych cyklach testu drogowego stosownie do Przepisów 83 ECE. Na bazie wyników charakterystyka średnich wartości składników toksycznych, zużycie paliwa i wyglądu spalin zostały opracowane charakterystyki mocy silnika i momentu obrotowego w funkcji dodatku estrów metylowych do oleju napędowego.

Badania wykazały, że wraz ze wzrostem udziału estrów w oleju napędowym do 100% w odniesieniu do czystego oleju napędowego nastąpił spadek poziomu emisji HC o 28 %, spadek emisji CO o 21%, wzrost emisji NO<sub>x</sub> o 8%, spadek zadymienia spalin o 57%. Pomiarzy zużycia paliwa metodą bilansu węgla wykazały wzrost zużycia paliwa ze wzrostem udziałów FAME w mieszaninie. Wzrost objętościowego zużycia czystych estrów w stosunku do czystego oleju napędowego wyniósł ok. 16%. Zaobserwowano też istotne zmniejszenie zadymienia spalin ze wzrostem udziału FAME. Przy zasilaniu silnika czystymi estrami zaobserwowano spadek mocy maksymalnej o 5,1% w stosunku do zasilania czystym olejem napędowym, dla paliwa z 10 % dodatkiem FAME spadek mocy silnika wynosi około 0,5 %.

**Słowa kluczowe:** pojazdy samochodowe, silniki wysokoprężne, paliwa alternatywne, emisja, zużycie paliwa

### 1. Wstęp

Celem badań było określenie wpływu stosowania paliwa pochodzenia roślinnego - estrów metylowych oleju rzepakowego (FAME) na poziom emisji spalin, zużycia paliwa oraz osiągnięć dynamicznych samochodu osobowego z silnikiem o zapłonie samoczynnym. Badania prowadzono w warunkach laboratoryjnych na stanowisku hamowni podwoziowej.

### 2. Zakres badań

Zakres badań obejmował pomiary mocy oraz pomiary emisji i zużycia paliwa realizowane w testach jezdnych wg regulaminów homologacyjnych [3], [5]. Pomiary te były wykonane w seriach, dla różnych udziałów objętościowych biopaliwa w oleju napędowym, a mianowicie:

- 100 % oleju napędowego,
- 90 % oleju napędowego , 10 % estrów (FAME),
- 80 % oleju napędowego , 20 % estrów (FAME),
- 50 % oleju napędowego , 50 % estrów (FAME),
- 100 % estrów (FAME).

Zakres badań był rozszerzony o serie innych typów testów jezdnych: test autostradowy, test HWFET i test „Stop-and-Go”, a także o wykonanie charakterystyk obciążeniowych. Wyniki tych badań zostały przedstawione na konferencjach PTNSS [4] i KONES w roku 2005.

### 3. Obiekt badań i stosowane paliwa

Obiektem badań był samochód CITROËN Berlingo wyposażony w silnik wysokoprężny o pojemności skokowej 1868 cm<sup>3</sup> i mocy znamionowej 51 kW. Silnik ten był wyposażony w rotacyjną pompę wtryskową.

Do badań stosowano następujące paliwa i ich mieszaniny:

- olej napędowy handlowy ON, o składzie zgodnym z wymaganiami normy PN-EN 590,
- paliwo BIODIESEL F- FAME, produkcji Rafinerii Trzebinia , spełniające wymagania normy PN-EN 14214.

Wybrane właściwości obu ww. paliw zamieszczono w Tabelicy 1.

Tab. 1. Wybrane właściwości paliw stosowanych w badaniach  
 Tab. 1. Selected properties of fuels used in research

Właściwość	Olej napędowy ON	BIODIESEL F- FAME
Gęstość [kg/dm <sup>3</sup> ]	832	882
Lepkość kinetyczna [mm <sup>2</sup> /s] (20°C)	2,98	4,47
Liczba cetanowa LC	53,4	51
Zawartość siarki [%]	0,004	0,002
Temperatura zapłonu	76	> 130
Temperatura zablokowania zimnego filtra (CFPP) [°C]	-12	-25

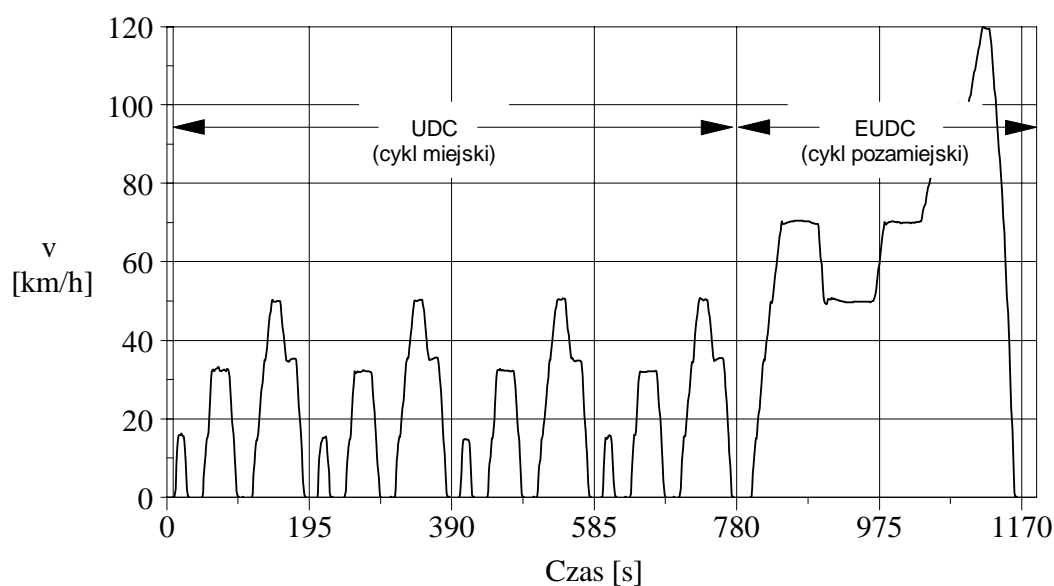
#### 4. Stanowisko pomiarowe

Badania stanowiskowe wykonano na hamowni podwoziowej typu EMDY 48 firmy Schenck-KOMEG z wykorzystaniem aparatury pomiarowej spełniającej wszelkie odpowiednie wymagania zawarte w regulaminach homologacyjnych Europejskiej Komisji Gospodarczej ONZ.

W skład aparatury pomiarowej wchodziły: zestaw analizatorów **MEXA-7200D**, układ poboru spalin **CVS-7000** i system pomiarowy **VETS-7000**, wszystkie firmy **HORIBA**. Pomiar stopnia zadymienia spalin realizowano przy użyciu dymomierza **OPACIMETER 439** firmy **AVL**.



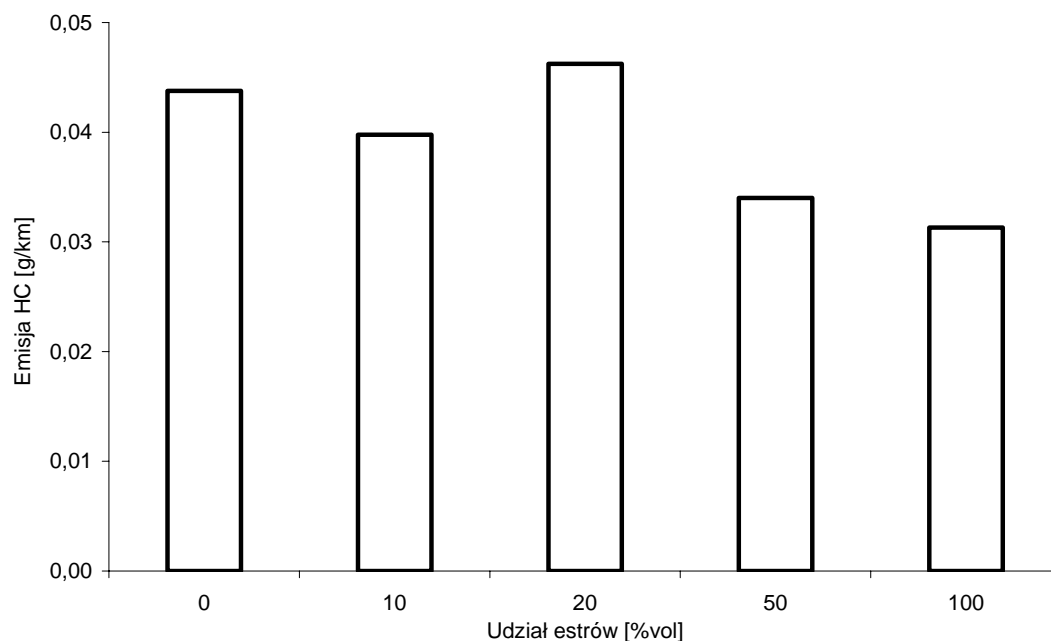
Rys. 1. Samochód Citroën Berlingo na stanowisku hamowni podwoziowej  
 Fig. 1. Research vehicle Citroën Berlingo on chassis dynamometer



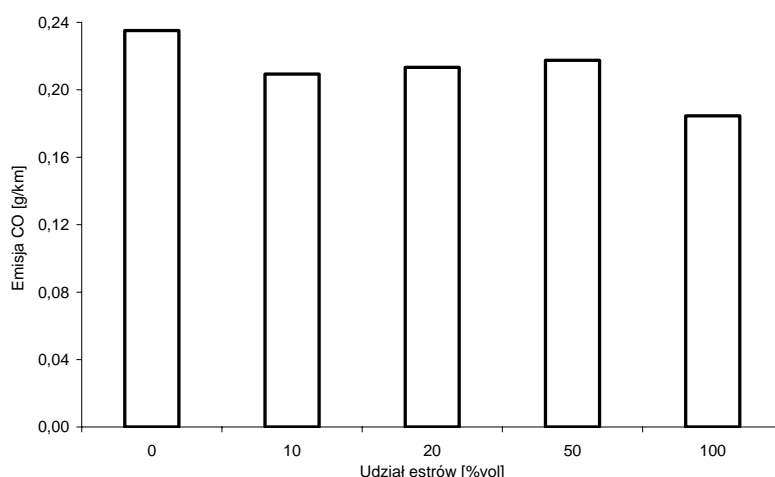
Rys. 2. Przebieg prędkości pojazdu podczas badania wg Regulaminu 83 EKG ONZ  
 Fig. 2. Vehicle's velocity in European 83 ECE Regulation test

## 5. Wyniki badań stanowiskowych

Na poniższych wykresach, w sposób syntetyczny przedstawiono rezultaty badań zmian emisji, zadymienia spalin oraz zużycia paliwa, wykazywanego przez badany samochód w testach wg Regulaminu 83 EKG ONZ.

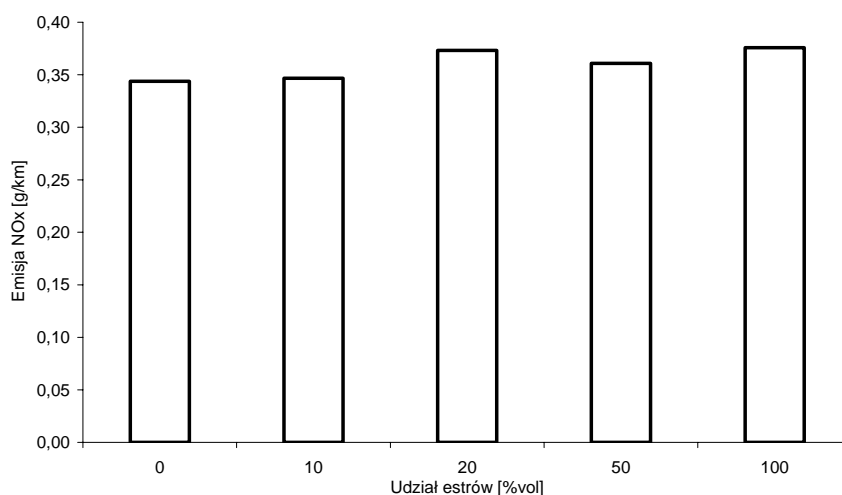


Rys. 3. Emisja HC [g/km] w teście UDC+EUDC wg Regulaminu 83 EKG ONZ w zależności od procentowego objętościowego udziału estrów w oleju napędowym  
 Fig. 3. Hydrocarbons' specific distance emission [g/km] in UDC+EUDC ECE R83 test cycle in dependence on esters' volumetric additive to diesel fuel



Rys. 4. Emisja CO [g/km] w teście UDC+EUDC wg Regulaminu 83 EKG ONZ w zależności od procentowego objętościowego udziału estrów w oleju napędowym

Fig. 4. Carbon monoxide's specific distance emission [g/km] in UDC+EUDC ECE R83 test cycle in dependence on esters' volumetric additive to diesel fuel



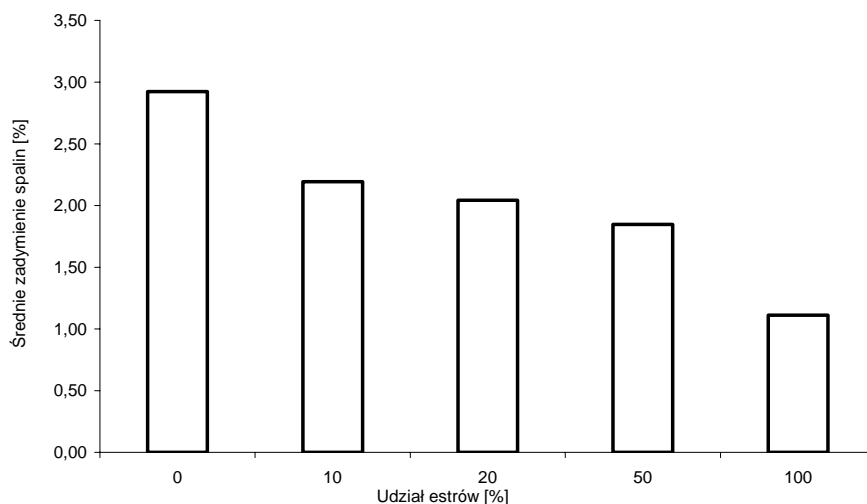
Rys. 5. Emisja NO<sub>x</sub> [g/km] w teście UDC+EUDC wg Regulaminu 83 EKG ONZ w zależności od procentowego objętościowego udziału estrów w oleju napędowym

Fig. 5. Nitrogen oxides' specific distance emission [g/km] in UDC+EUDC ECE R83 test cycle in dependence on esters' volumetric additive to diesel fuel

Do porównań zużycia paliwa wykorzystano metodę wg Regulaminu 101 EKG ONZ, polegającą na bilansie węgla w emitowanych spalinach, czyli w związkach węglowodorowych HC, w tlenku węgla CO oraz dwutlenku węgla CO<sub>2</sub>.

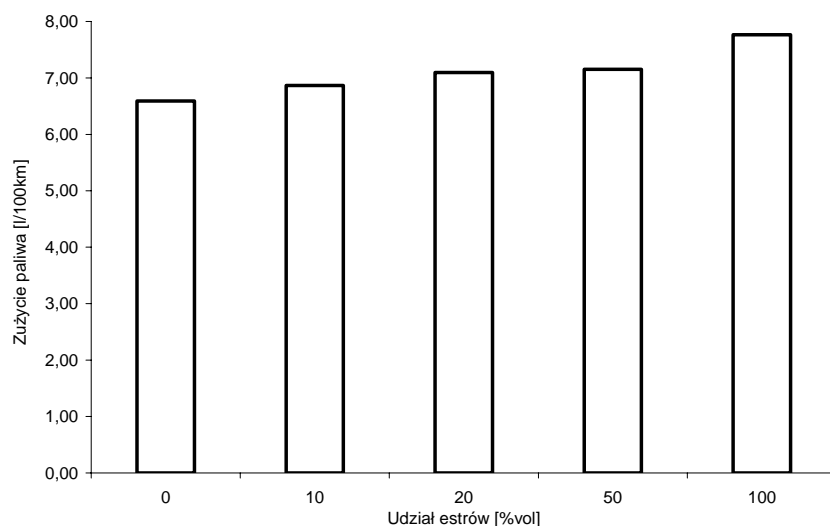
Na rys. 7 przedstawiono średnie zużycie paliwa w teście UDC+EUDC.

W trakcie badań wykonano szereg charakterystyk obciążeniowych. Charakterystyki te były realizowane jednokrotnie dla każdego ze stężeń estrów z olejem napędowym. Poprzez komputer sterujący hamownią Schenck-Komeg zadawana była stała prędkość rolki hamowni dla każdej z serii badań, co zapewniło stałą prędkość obrotową silnika. Zmiany obciążenia polegały na nadzorowanych zmianach położenia pedału przyspieszenia. Dzięki systemowi akwizycji danych HORIBA-VETS 7000 możliwe było zebranie informacji o emisji, zadymieniu spalin, prędkości obrotowej silnika, mocy oddawanej rolce hamowni przez koła osi napędowej oraz zmianie położenia pedału przyspieszenia.



Rys. 6. Średnie zadymienie spalin [%] w teście jezdnym UDC+EUDC wg Regulaminu 83 EKG ONZ w zależności od procentowego udziału objętościowego estrów w oleju napędowym

Fig. 6. Average exhaust opacity [%] in UDC+EUDC ECE R83 test cycle in dependence on esters' volumetric additive to diesel fuel



Rys. 7. Średnie zużycie paliwa [l/100km] w teście UDC+EUDC wg Regulaminu 83 EKG ONZ w zależności od procentowego udziału objętościowego estrów w oleju napędowym

Fig. 7. Average fuel consumption [l/100km] in UDC+EUDC ECE R83 test cycle in dependence on esters' volumetric additive to diesel fuel

Na rys. 8 przedstawiono w postaci wykresów wybrane wyniki pomiarów zadymienia spalin dymomierzem AVL Opacimeter 439 dla charakterystyk obciążeniowych silnika.

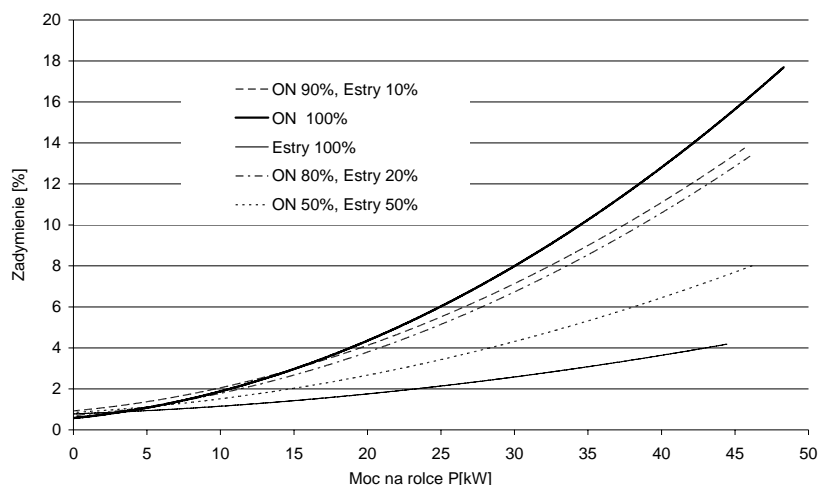
Charakterystykę zewnętrzną silnika wykonano na biegu III dla narastających prędkości pojazdu. Zmiany prędkości pojazdu, a tym samym prędkości obrotowej silnika, realizowano poprzez komputerowe sterowanie prędkością rolki hamowni.

## 6. Wnioski

1. Badania stanowiskowe samochodu Citroën Berlingo w homologacyjnych testach jezdnych wykazały, że wraz ze wzrostem udziału estrów w oleju napędowym do 100% w odniesieniu do czystego ON, obserwuje się:

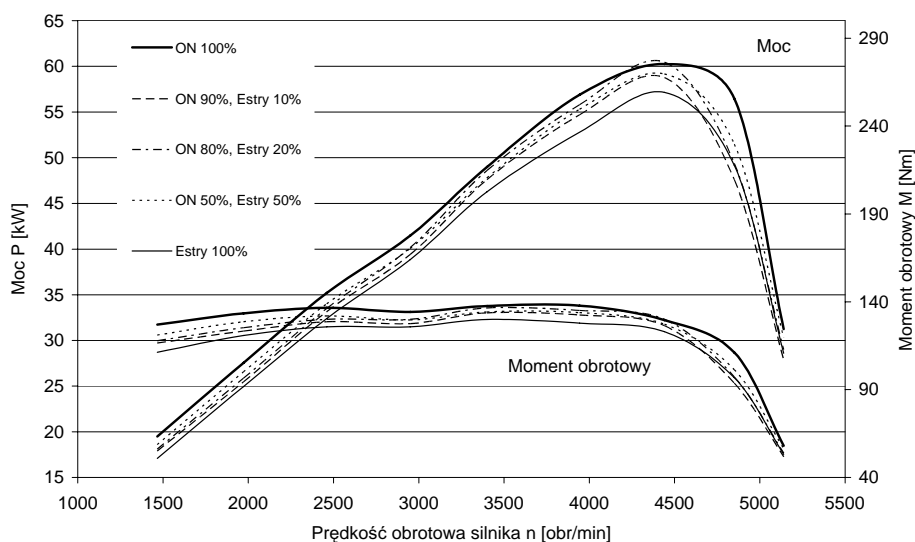
- spadek emisji drogowej HC o 28 %,

- spadek emisji drogowej CO o 21%,
- wzrost emisji drogowej NO<sub>x</sub> o 8%,
- spadek zadymienia spalin o 57%.



Rys. 8. Zadymienie spalin [%] w funkcji obciążenia (mocy na rolce hamowni) (bieg IV 4340obr/min) – zestawienie charakterystyk dla różnych udziałów estrów

Fig. 8. Exhaust opacity [%] as a function of load (power on chassis dynamometer roller) (4th gear 4340rpm) – comparison of characteristics for different esters' additive



Rys. 9. Zewnętrzna charakterystyka prędkościowa mocy i momentu obrotowego silnika dla różnych objętościowych udziałów estrów w mieszaninie

Fig. 9. Engine's power and torque characteristics for different esters' volumetric additive shares in mixture

2. Pomiary zużycia paliwa metodą bilansu węgla wykazały wzrost zużycia paliwa ze wzrostem udziałów estrów w mieszaninie. Wzrost objętościowego zużycia czystych estrów w stosunku do czystego ON wyniósł ok. 16%. Tak więc można określić, że w przypadku mieszanin obu paliw średni wzrost objętościowego zużycia paliwa wynosił ok. 0,9 % na każde 5 % dodatku estrów metylowych oleju rzepakowego do oleju napędowego (czyli na przykład dla mieszaniny 90% ON + 10% FAME wzrost zużycia paliwa wyniósł ok. 1,8 %).
3. W przypadku charakterystyk obciążeniowych w zakresie mocy maksymalnej na IV biegu (4340 obr/min) zaobserwowano wyraźne zmniejszenie zadymienia spalin wraz ze wzrostem

udziałów estrów metylowych oleju rzepakowego. Spadek ten wynosił 77% dla czystych estrów w porównaniu z zadymieniem na czystym oleju napędowym.

4. W przypadku zasilania silnika czystymi estrami zaobserwowano spadek mocy maksymalnej o 5,1% w stosunku do czystego oleju napędowego. Przyjmując założenie, że dodawanie estrów FAME do oleju napędowego w sposób liniowy wpływa na rozwijaną moc i moment obrotowy, można stwierdzić, że dla paliwa z 10 % dodatkiem estrów FAME spadek mocy silnika wynosi około 0,5 %.

### Literatura

- [1] Baczewski, K., Kałdoński, T., *Paliwa do silników o zapłonie samoczynnym*. WKŁ. Warszawa 2004.
- [2] Bocheński, C. I., Bocheńska, A. M., *Porównanie przebiegu spalania oleju napędowego i jego mieszanin z estrami metylowymi oleju rzepakowego w komorze o stałej objętości (bombie)*. Materiały konferencyjne PTNSS P05-C142. Szczyrk 2005.
- [3] Chłopek, Z., *Pojazdy samochodowe – Ochrona środowiska naturalnego*. WKŁ. Warszawa 2002.
- [4] Chłopek, Z., Jarczewski, M., Bardziński, W., Sar, H., *Wpływ dodatku estru metylowego oleju rzepakowego do paliwa na emisję zanieczyszczeń z silnika o zapłonie samoczynnym w dynamicznych testach jezdnych*. Materiały konferencyjne PTNSS P05-C027. Szczyrk 2005.
- [5] Merkisz, J., *Ekologiczne problemy silników spalinowych*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej. Poznań 1998.