

## ESTIMATION OF POLLUTANTS ABATEMENT BY APPLYING FUEL CATALYTIC ADDITIVES

**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

**Andrzej Darkowski**

Warsaw University of Technology  
ul. Noakowskiego 3, 00-664 Warszawa, Poland  
tel.: +48 22 6607372, 6607973, fax: +48 22 6282741  
e-mail: dark@ch.pw.edu.pl

**Leszek Piaseczny**

Polish Naval Academy  
ul. J.Śmidowicza 69, 81-103 Gdynia, Poland  
tel.: +48 58 6262635, 6262648, fax: +48 58 6262963  
e-mail: lpias@amw.gdynia.pl

### Abstract

Results of Sulzer 6AL 20/24 engine fueled diesel oil with magnesium organic salt additive were studied. Influence of catalytic additive on pollutants emission is presented. Catalytic additive decreased particulate matter emission. Other pollutants emission and engine efficiency are not sensitive on additive concentration.

Authors have put into words following main notices, that influence supply for fuel examined compound was sensibility only on concentration particulate matter, and was a small on concentration of the carbon monoxide and nonessential on the concentration of hydrocarbons and nitrous oxides and on engine efficiency. Effectiveness decreasing of the concentration particulate matter thanks to the use catalytic addition is dependent from the content of this addition in the fuel and from working range of the engine in statical conditions. Boundary content of the addition in the fuel for which follows decreasing of the particulate matter concentration increases in increasing of the engine rotational speed and the engine load.

Accomplished notices on the ground conducted research are right for realized conditions of statical research, in dynamic conditions examined dependences can have markedly different character.

**Keywords:** combustion engine, fuels, fuel supplements, emission, efficiency

## OCENA SKUTECZNOŚCI OGRANICZANIA EMISJI ZANIECZYSZCZEŃ PRZEZ ZASTOSOWANIE DODATKÓW KATALITYCZNYCH DO PALIW

### Streszczenie

Wyniki silnika Sulzer 6AL 20/24 zasilanego olejem napędowym z dodatkami organicznych soli magnezu były analizowane. Wpływ katalitycznego dodatku zmniejszył emisję składników toksycznych spalin. Katalityczny dodatek zmniejszył emisję cząstek stałych. Inne składniki szkodliwe i sprawność silnika nie są wrażliwe na dodatki katalityczne.

Autorzy formułują następujące główne spostrzeżenia, że wpływ doprowadzania do paliwa badanego związku był znaczny jedynie na stężenie cząstek stałych, niewielki na stężenie tlenku węgla a nieistotny na stężenie węglowodorów i tlenków azotu oraz na sprawność ogólną silnika, skuteczność zmniejszania się stężenia cząstek stałych dzięki zastosowaniu dodatku katalitycznego jest zależna od zawartości tego dodatku w paliwie oraz od

obszaru pracy silnika w warunkach statycznych. Graniczna zawartość dodatku w paliwie, do której następuje zmniejszanie się stężenia cząstek stałych zwiększa się w miarę wzrostu prędkości obrotowej i obciążenia silnika.

Spostrzeżenia dokonane na podstawie przeprowadzonych badań są słuszne dla realizowanych warunków badań statycznych, w warunkach dynamicznych badane zależności mogą mieć znacznie odmienny charakter.

**Słowa kluczowe:** silnik spalinowy, paliwa, dodatki do paliw, emisja, sprawność

## 1. Wstęp

Prace nad stosowaniem dodatków katalitycznych do paliw w celu sterowania procesów spalania oraz powstawania składników spalin są prowadzone od wielu lat [1 – 9]. W wypadku silników o zapłonie samoczynnym działania te są ukierunkowane przede wszystkim na zmniejszenie emisji tlenków azotu i cząstek stałych dzięki zmniejszaniu intensywności tworzenia się tych substancji oraz oddziaływaniu na zwiększanie skuteczności oczyszczania spalin w reaktorach katalitycznych.

Znany jest wpływ różnych pierwiastków i związków chemicznych na procesy zachodzące w cylindrach silnika i w układzie wylotowym, m.in. w celu zmniejszenia intensywności tworzenia się cząstek stałych oraz obniżenia temperatury utleniania sadzy w reaktorach katalitycznych stosuje się organiczne związki metali: ceru, manganu, magnezu, kobaltu, miedzi, żelaza i innych. Praktyczne zastosowania doprowadzania dodatków katalitycznych do czynnika roboczego w silniku są ukierunkowane głównie na poprawę skuteczności oczyszczania filtrów cząstek stałych, np. doprowadzanie do paliwa organicznego związku żelaza w układach CRT (continuous regeneration trap) i SCTR (CRT oraz SCR – selective catalytic reduction) firmy Eminox [9]. Mniej skuteczne są dotychczas działania mające na celu zmniejszenie intensywności powstawania cząstek stałych dzięki doprowadzaniu do paliwa dodatków katalitycznych.

W niniejszej pracy autorzy badali wpływ organicznego dodatku magnezu na emisję zanieczyszczeń i sprawność ogólną silnika o zapłonie samoczynnym w warunkach statycznych. W celu umożliwienia pełniejszej analizy wyników badań postanowiono zbudować model matematyczny silnika ze względu na emisję zanieczyszczeń oraz sprawność ogólną. Do identyfikacji modelu matematycznego silnika wykorzystano wyniki badań przeprowadzonych zgodnie z planem Boxa–Behnkena [10].

## 2. Model matematyczny silnika ze względu na emisję zanieczyszczeń oraz sprawność ogólną z zastosowaniem dodatku magnezowego do paliwa

Model matematyczny silnika Sulzer 6AL 20/24 ze względu na emisję zanieczyszczeń oraz sprawność ogólną z zastosowaniem dodatku magnezowego do paliwa przyjęto w postaci układu równań:

$$c = f(n, M_e, g), \quad (1)$$

gdzie:

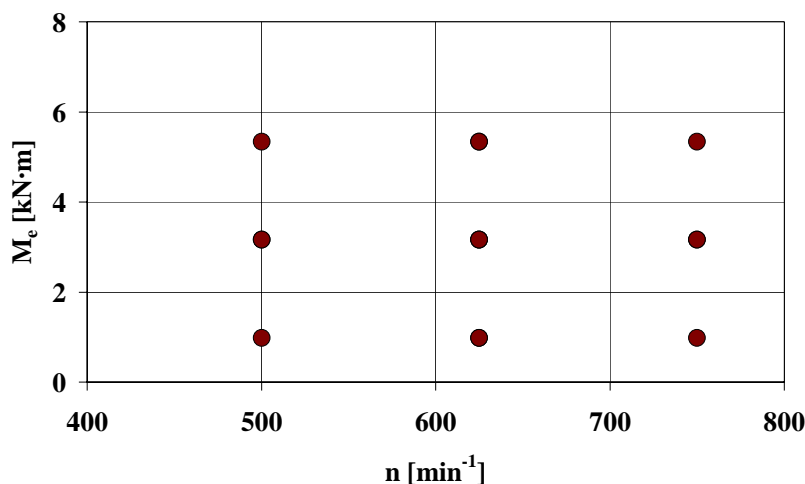
|  |  |
|--|--|
| $n$ [ $\text{min}^{-1}$ ]                    | – prędkość obrotowa,                               |
| $M_e$ [ $\text{kN}\cdot\text{m}$ ]           | – moment obrotowy,                                 |
| $g$ [%]                                      | – zawartości dodatku w paliwie                     |
| $c$  | – wektor, który zawiera:                           |
| $c_{\text{CO}}$ [ppm]                        | – objętościowe stężenie tlenku węgla w spalinach,  |
| $c_{\text{HC}}$ [ppm]                        | – objętościowe stężenie węglowodorów w spalinach,  |
| $c_{\text{NOx}}$ [ppm]                       | – objętościowe stężenie tlenków azotu w spalinach, |
| $c_{\text{PM}}$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | – masowe stężenie cząstek stałych w spalinach,     |
| $\eta_e$                                     | – sprawność ogólną,                                |

$$c = [c_{\text{CO}}, c_{\text{HC}}, c_{\text{NOx}}, c_{\text{PM}}, \eta_e]^T. \quad (2)$$

Do identyfikacji modelu matematycznego (1) wykorzystano wyniki badań silnika Sulzer 6AL20/24 zgodnie z planem Boxa–Behnkena [10]. Zakres zmiennych niezależnych przyjęto jako odpowiadający:

- przeciętnym warunkom użytkowania silnika oraz możliwościami stanowiska badawczego
- w wypadku prędkości obrotowej i momentu obrotowego,
- wynikiem wstępnych badań rozpoznawczych – w wypadku zawartości w paliwie badanego dodatku:  $g = 0\% - 1,5\%$ .

Na rysunku 1 przedstawiono punkty pomiarów zgodnie z planem Boxa–Behnkena.



Rys. 1. Punkty pomiarów zgodnie z planem Boxa–Behnkena  
Fig. 1. Set of points according to Box- Behnken plan

Strukturę modelu matematycznego silnika ze względu na emisję zanieczyszczeń i sprawność ogólną z zastosowaniem dodatku magnezowego do paliwa przyjęto w postaci funkcji wielomianowej stopnia drugiego trzech zmiennych niezależnych:

$$C = W_0 + W_1 \cdot n + W_2 \cdot n^2 + W_3 \cdot M_e + W_4 \cdot M_e^2 + W_5 \cdot g + W_6 \cdot g^2 + W_7 \cdot n \cdot M_e + W_8 \cdot n \cdot g + W_9 \cdot M_e \cdot g, \quad (3)$$

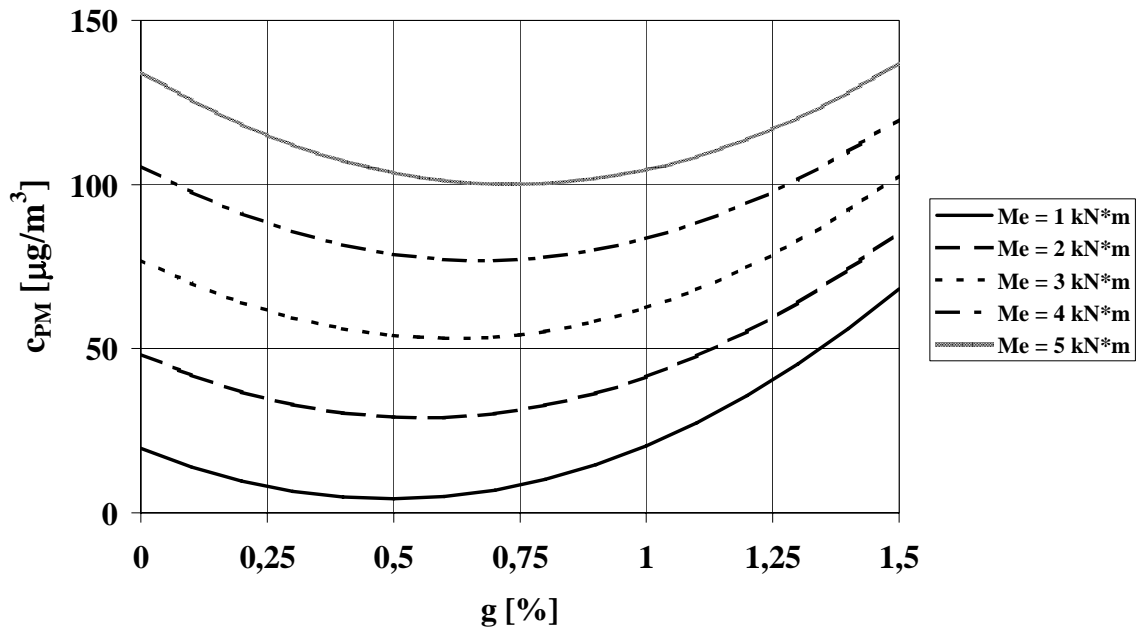
gdzie  $W$  jest macierzą współczynników

$$W_i = [W_{cPMi}, W_{cCOi}, W_{cHCl}, W_{cNOxi}, W_{nei}], \quad i = 0, \dots, 9. \quad (4)$$

W wyniku identyfikacji wyznaczono macierz  $W$ :

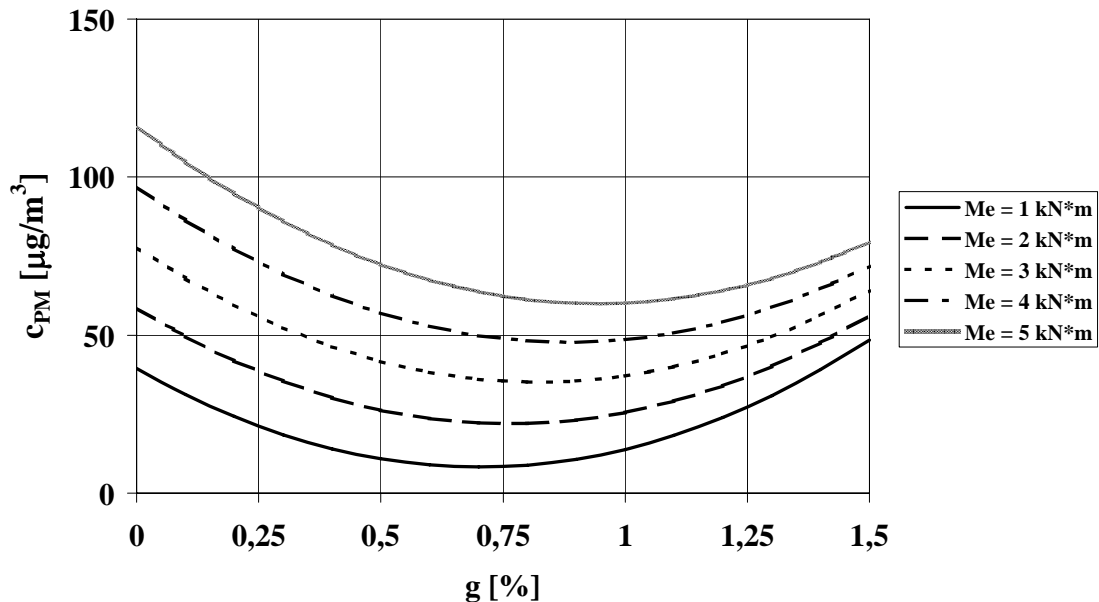
$$W = \begin{bmatrix} 1,702E-01 & 2,309E+03 & 3,365E+01 & 1,338E+03 & -5,193E+01 \\ -1,167E-03 & -7,530E+00 & -2,654E-02 & -2,927E-01 & -3,267E-02 \\ 1,840E-06 & 6,824E-03 & 2,667E-06 & -1,083E-03 & 2,368E-04 \\ 3,003E-01 & 3,874E+02 & 7,845E+00 & 1,770E+02 & 6,651E+01 \\ 1,841E-03 & 2,096E+01 & -5,699E-01 & -4,770E+01 & -1,122E-02 \\ 3,005E-01 & 1,653E+02 & -4,712E+00 & -3,584E+01 & 5,072E+01 \\ 3,267E-01 & -1,202E+02 & -8,148E-01 & 2,681E+01 & 6,320E+01 \\ -3,394E-04 & -7,661E-01 & -1,835E-03 & 2,725E-01 & -7,558E-02 \\ -1,147E-03 & -5,333E-03 & 1,333E-02 & 5,333E-03 & -2,110E-01 \\ -4,128E-02 & 8,563E+00 & -9,174E-01 & -2,599E+00 & -7,637E+00 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Na rysunkach 2 – 8 przedstawiono wyniki badań modelu matematycznego silnika.



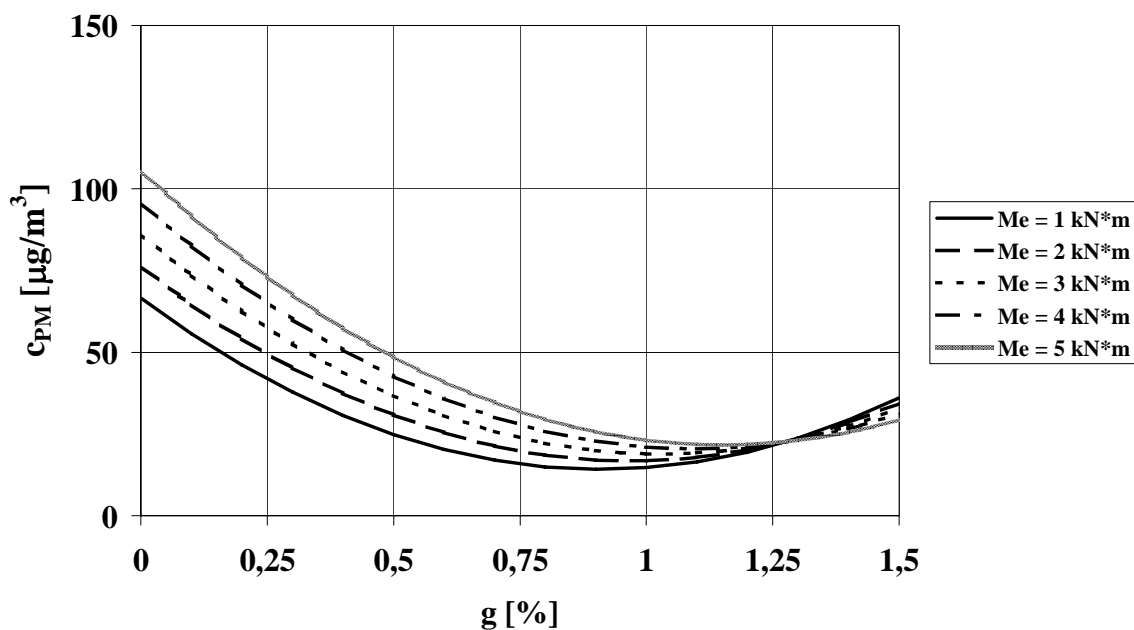
Rys. 2. Zależność stężenia cząstek stałych od zawartości dodatku w paliwie i od obciążenia silnika dla prędkości obrotowej  $500 \text{ min}^{-1}$

Fig. 2. Dependence of particulate mass concentration on fuel additive concentration and torque for engine speed  $500 \text{ min}^{-1}$



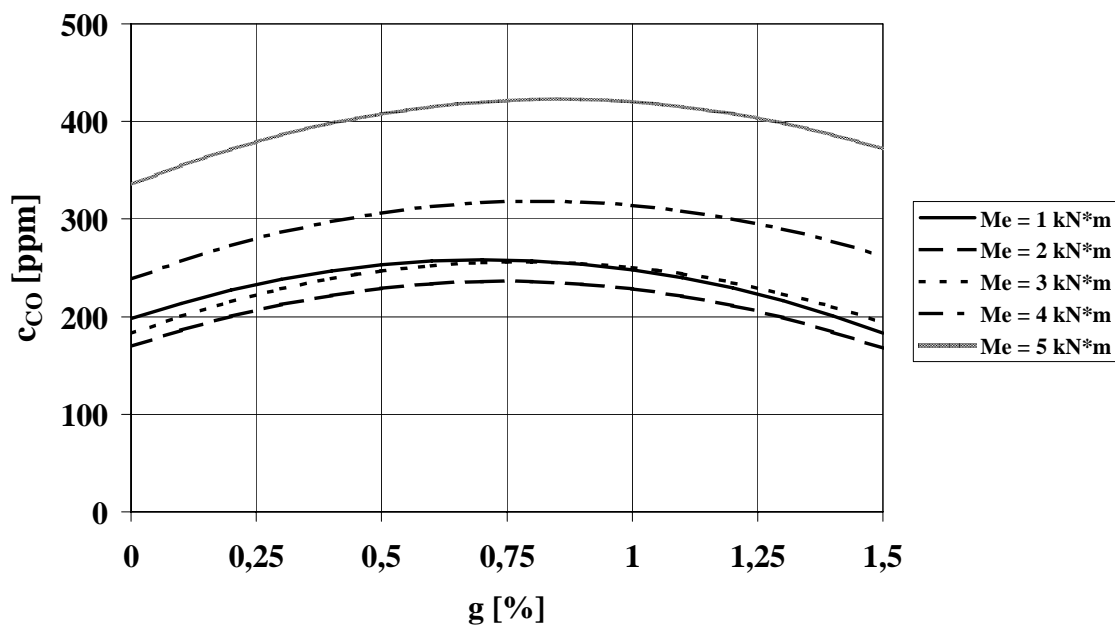
Rys. 3. Zależność stężenia cząstek stałych od zawartości dodatku w paliwie i od obciążenia silnika dla prędkości obrotowej  $625 \text{ min}^{-1}$

Fig. 3. Dependence of particulate mass concentration on fuel additive concentration and torque for engine speed  $625 \text{ min}^{-1}$



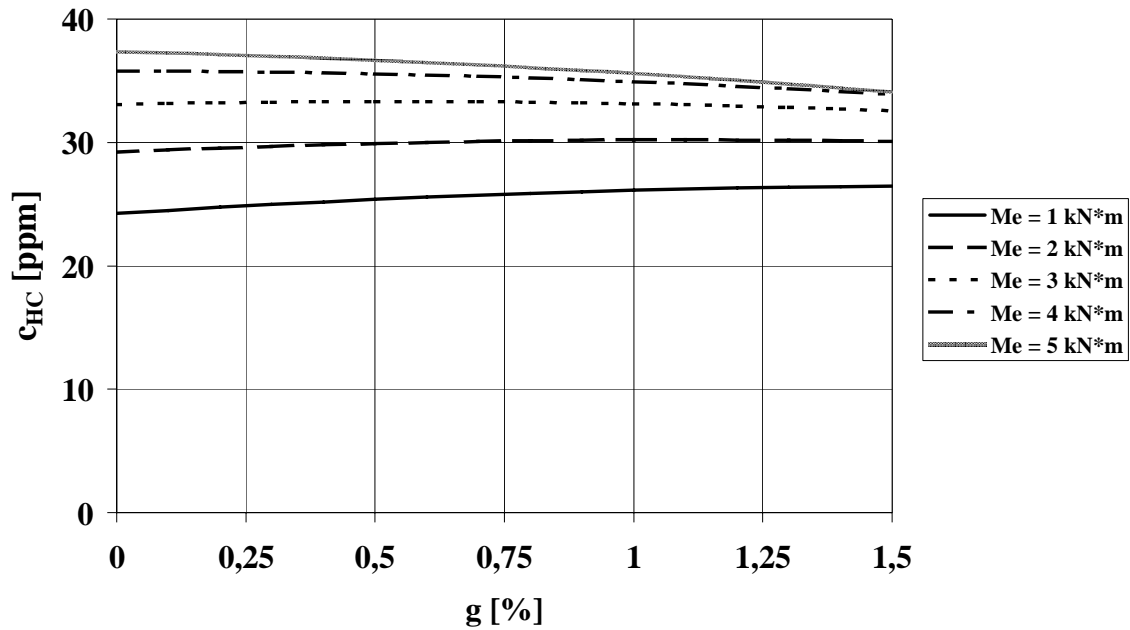
Rys. 4. Zależność stężenia cząstek stałych od zawartości dodatku w paliwie i od obciążenia silnika dla prędkości obrotowej  $750 \text{ min}^{-1}$

Fig. 4. Dependence of particulate mass concentration on fuel additive concentration and torque for engine speed  $750 \text{ min}^{-1}$



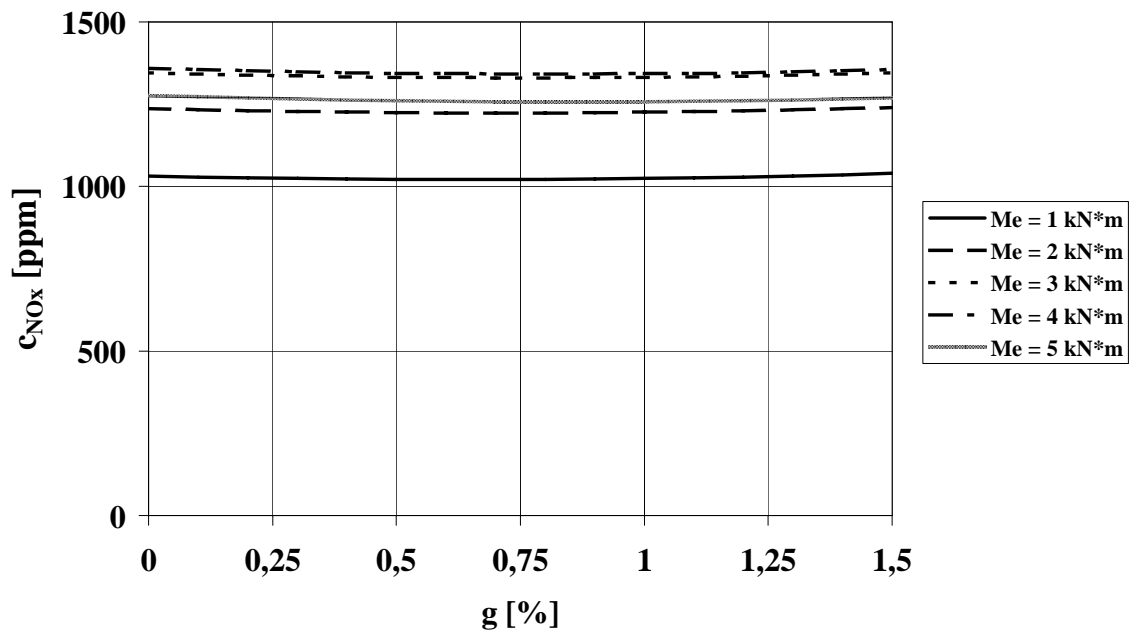
Rys. 5. Zależność stężenia tlenku węgla od zawartości dodatku w paliwie i od obciążenia silnika dla prędkości obrotowej  $625 \text{ min}^{-1}$

Fig. 5. Dependence of carbon monoxide concentration on fuel additive concentration and torque for engine speed  $625 \text{ min}^{-1}$



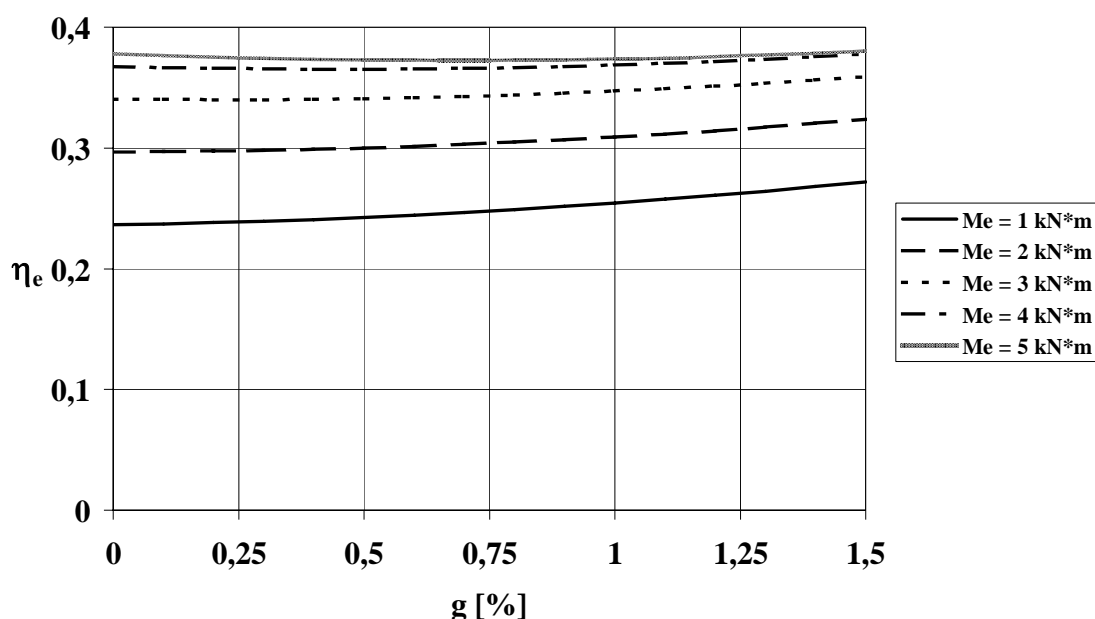
Rys. 6. Zależność stężenia węglowodorów od zawartości dodatku w paliwie i od obciążenia silnika dla prędkości obrotowej  $625 \text{ min}^{-1}$

Fig. 6. Dependence of hydrocarbon concentration on fuel additive concentration and torque for engine speed  $625 \text{ min}^{-1}$



Rys. 7. Zależność stężenia tlenków azotu od zawartości dodatku w paliwie i od obciążenia silnika dla prędkości obrotowej  $625 \text{ min}^{-1}$

Fig. 7. Dependence of nitrogen oxide concentration on fuel additive concentration and torque for engine speed  $625 \text{ min}^{-1}$



Rys. 8. Zależność sprawności ogólnej od zawartości dodatku w paliwie i od obciążenia silnika dla prędkości obrotowej  $625 \text{ min}^{-1}$

Fig. 8. Dependence of total efficiency on fuel additive concentration and torque for engine speed  $625 \text{ min}^{-1}$

### 3. Wnioski

W wyniku przeprowadzonych badań było możliwe sformułowanie następujących wniosków:

1. Wpływ doprowadzania do paliwa badanego związku był znaczny jedynie na stężenie cząstek stałych, niewielki na stężenie tlenku węgla a nieistotny na stężenie węglowodorów i tlenków azotu oraz na sprawność ogólną silnika.
2. Skuteczność zmniejszania się stężenia cząstek stałych dzięki zastosowaniu dodatku katalicznego K jest zależna od zawartości tego dodatku w paliwie oraz od obszaru pracy silnika w warunkach statycznych, określonego prędkością obrotową i momentem obrotowym.

$$K(n, M_e, g) = \frac{c_{PM}(n, M_e, 0) - c_{PM}(n, M_e, g)}{c_{PM}(n, M_e, g)} \quad (6)$$

Ekstremalnie skuteczność ta przekracza 60%. Stwierdzono, że graniczna zawartość dodatku w paliwie, do której następuje zmniejszanie się stężenia cząstek stałych zwiększa się w miarę wzrostu prędkości obrotowej i obciążenia silnika. Dla prędkości obrotowej  $500 \text{ min}^{-1}$  i obciążenia  $1 \text{ kN}\cdot\text{m}$  graniczna zawartość dodatku w paliwie wynosi około 0,5%, natomiast dla prędkości obrotowej  $750 \text{ min}^{-1}$  i obciążenia  $5 \text{ kN}\cdot\text{m}$  – około 1,5%.

Wyrażna zależność optymalnej ze względu na zmniejszenie emisji cząstek stałych zawartości dodatku katalicznego w paliwie od statycznych warunków pracy silnika stawia przed sterowaniem dawkowania tego dodatku duże wymagania.

Wnioski sformułowane na podstawie przeprowadzonych badań są słuszne jedynie dla realizowanych warunków badań, tzn. dla warunków statycznych. Jak wskazuje doświadczenie, w warunkach dynamicznych badane zależności mogą mieć znacznie odmienny charakter [11]. Kierunki dalszych badań nad zastosowaniem katalicznych dodatków do paliwa są planowane w zakresie badań silnika w warunkach dynamicznych.

## Literatura

- [1] Chłopek, Z., Darkowski, A., Piaseczny, L., *Influence of metaloorganic additive to the fuel on the pollution emission from the SI engine*. Polish Journal of Environmental Studies. Vol. 14, No 5(2005).
- [2] Neeft, J. P. A., Makkee, M., Moulijn, J. A., *Catalysts for the oxidation of soot from diesel exhaust gases*. Applied Catalysis B: Environmental 8 (1996).
- [3] Teraoka, Y., Nakano, K., Shangguan, W., Kagawa, S., *Simultaneous catalytic removal of nitrogen oxides and diesel soot particulate over perovskite – reated oxides*. Catalysis Today 27 (1996).
- [4] Bloom, R. L., Brunner, N. R., Schroe, S. C., *Fiber wound diesel particulate filter durability experience with metal based additive*. SAE Paper 97018.
- [5] Courcot, D., Abi–Aad, E., Capelle, S., Aboukais, A., *Investigation of copper – cerium oxide catalysts in the combustion of diesel soot*. Catalysis and Automotive Pollution Control III, Vol 116 (1998).
- [6] Jelles, S. J., Makkee, M., Moulijn, J. A., *Ultra low dosage of platinum and cerium fuel additives in diesel particulate control*. Topics in Catalysis 16/17 (1/4) 2001.
- [7] Pattas, K., Samaras, Z., Kyriakis, N., Pistikopoulos, P., Manikas, T., Seguelong, T., *An experimental study of catalytic oxidation of particulates in a diesel filter installed on a direct injection turbo – charged car*. Topics in Catalysis 16/17 (1/4) 2001.
- [8] Russo, P., Ciambelli, P., Palma, V., Vaccaro, S., *Simultaneous filtration and catalytic oxidation of carbonaceous particulates*. Topics in Catalysis 22 (1/2) 2003.
- [9] Chłopek, Z., Piaseczny, L., *Zastosowanie teorii planowania doświadczeń w badaniach ekologicznych właściwości silników spalinowych*. Archiwum Motoryzacji 2–3/2002.
- [10] Chłopek, Z., *Metodyka oceny niepowtarzalności ekologicznych właściwości silników spalinowych w przypadkowych warunkach pracy silników*. Sprawozdanie z projektu badawczego Komitetu Badań Naukowych Nr 5 T 12D 013 23. Warszawa 2005.