

APPLICATION OF AMPLITUDE DISCRIMINANTS IN DIAGNOSIS OF THREE-WAY CATALYTIC CONVERTER

Stanisław W. Kruczyński
Dariusz Tomaszewski

Institut Pojazdów Politechniki Warszawskiej
02-584 Warszawa, ul. Narbutta 84, tel.: +48 22 660-87-82

Marcin Ślęzak

Institut Transportu Samochodowego
03-301 Warszawa, ul. Jagiellońska 30, tel.: +48 22 675-30-58

Abstract

An estimation of three – way catalytic converter diagnosis method by means of amplitude discriminants of narrow-band oxygen sensors signals is evaluated in the paper. A method of the deactivation process depending on the exchange reactor active bricks of converter on inactive ones was suggested. Monitoring in fixed engine work bench conditions and NEDC cycle test were compared. On the basis of results, suggested indexes usefulness in view of harmful gases emission was evaluated for EOBD need.

ZASTOSOWANIE DYSKRYMINANT AMPLITUDOWYCH W DIAGNOSTYCE TRÓJFUNKCYJNEGO REAKTORA KATALITYCZNEGO SPALIN

Streszczenie

W pracy oceniono możliwości diagnostyki trójfunkcyjnych reaktorów katalitycznych za pomocą dyskryminant amplitudowych sygnałów z wąskopasmowych czujników tlenu. Zaproponowano metodę symulacji procesu dezaktywacji reaktora polegającą na wymianie wkładów aktywnych reaktora na wkłady nieaktywne. Porównano możliwości monitoringu w ustalonych warunkach pracy silnika i teście NEDC. Na podstawie uzyskanych wyników określono przydatność wskaźnika monitoringu ze względu na emisję składników toksycznych spalin dla potrzeb EOBD.

1. Wprowadzenie

Przepisy diagnostyki pokładowej EOBD wprowadzono między innymi w celu kontroli emisji substancji szkodliwych silnika w czasie całego okresu jego eksploatacji. Do integralnych elementów systemu EOBD należy układ monitorowania sprawności reaktora katalitycznego, który wywiera największy wpływ na emisję składników toksycznych silnika spalinowego. Wykrycie jakiegokolwiek nieprawności, w tym reaktora katalitycznego jest sygnalizowane zaświeceniem widocznego dla kierowcy wskaźnika świetlnego MIL.

2. Metoda symulacji utraty sprawności konwersji do celów monitoringu TWC

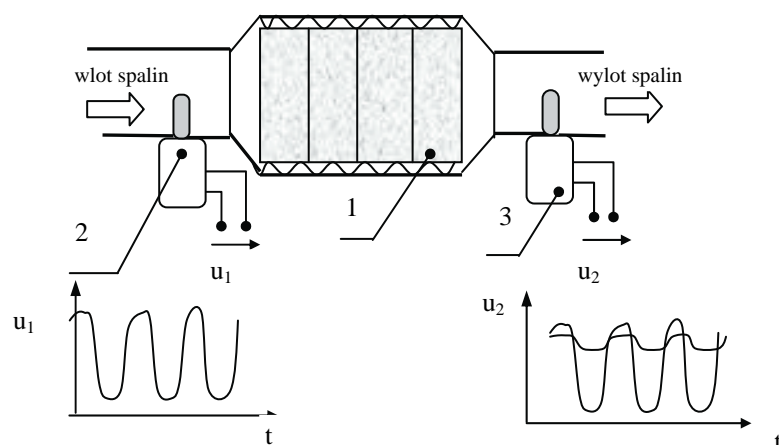
Ze względu na niejednoznaczny proces dezaktywacji reaktora w czasie jego rzeczywistej eksploatacji i znaczne koszty takiego eksperymentu opracowano metodę symulacji utraty aktywności reaktora. W tym celu blok reaktora katalitycznego pocięto na osiem segmentów o jednakowej długości. Symulacji dezaktywacji reaktora katalitycznego dokonywano poprzez

wymianę segmentów aktywnych z przedniej części reaktora na segmenty nieaktywne. W ten sposób uzyskano różne poziomy aktywności reaktora A począwszy od aktywności $A = 12,5\%$ aż do aktywności $A = 100\%$ z krokiem równym $12,5\%$. Aktywność reaktora katalitycznego określono jako stosunek objętości segmentów aktywnych V_a do objętości całego katalizatora V_k . Aktywność A można zapisać w postaci:

$$A = \frac{V_a}{V_k}$$

3. Układ badawczy

Eksperyment wykonano z wykorzystaniem silnika 1.4 16V firmy Rover wyposażonego we wtryskowy układ zasilania z korekcją składu mieszanki za pomocą jednego czujnika tlenu Bosch LSH 6 umieszczonego przed reaktorem. W układzie wylotowym silnika zastosowano trójfunkcyjny reaktor katalityczny Pt-Rh/ Al_2O_3 - CeO_2 o objętości monolitu dobranej odpowiednio do pojemności skokowej silnika. Badany reaktor katalityczny posiadał blok wykonany w postaci monolitu metalowego pokrytego nośnikiem γ - Al_2O_3 - CeO_2 z naniesionymi na nim krystalitami platyny i rodu w proporcji 5:1 i ilości $2,0 \text{ g/dm}^3$ monolitu. Za reaktorem katalitycznym umieszczono drugi identyczny czujnik stężenia tlenu zasilaając go z układu elektronicznego zasilania pierwszego czujnika. Schemat układu badawczego pokazany jest na rysunku 1. Określenia stężenia tlenu przed i za reaktorem dokonywano wobec tego z wykorzystaniem wąskopasmowych czujników tlenu. Rysunek 2 przedstawia sygnały z czujników tlenu dla reaktora katalitycznego w różnych poziomach aktywności.



Rys. 1. Schemat układu badawczego reaktora katalitycznego:

1 – reaktor katalityczny spalin, 2 – sonda sterująca,

3 – sonda diagnostyczna, gdzie:

u_1 – napięcie generowane przez sondę sterującą,

u_2 – napięcie generowane przez sondę diagnostyczną, t – czas

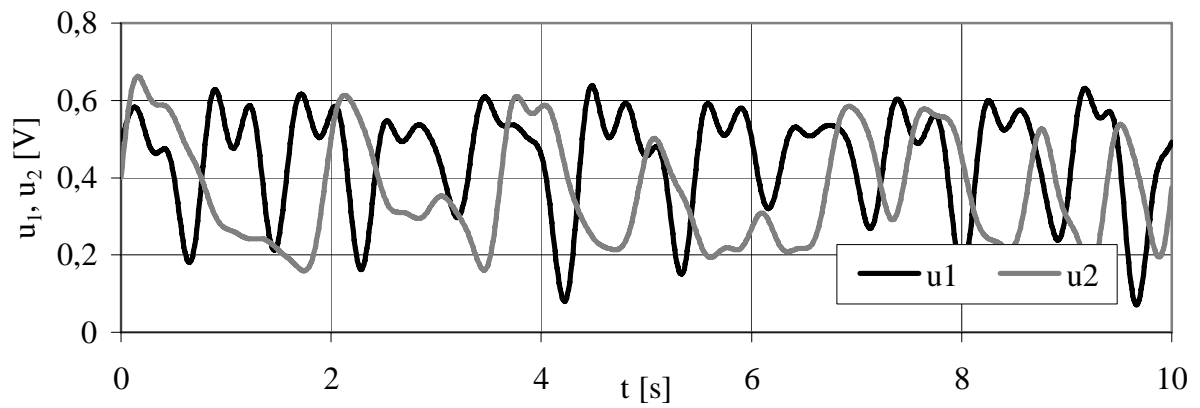
Fig. 1. Scheme of TWC examination work bench:

1 - three-way catalytic converter, 2 - monitor oxygen sensor,
3 - diagnostic oxygen sensor, where:

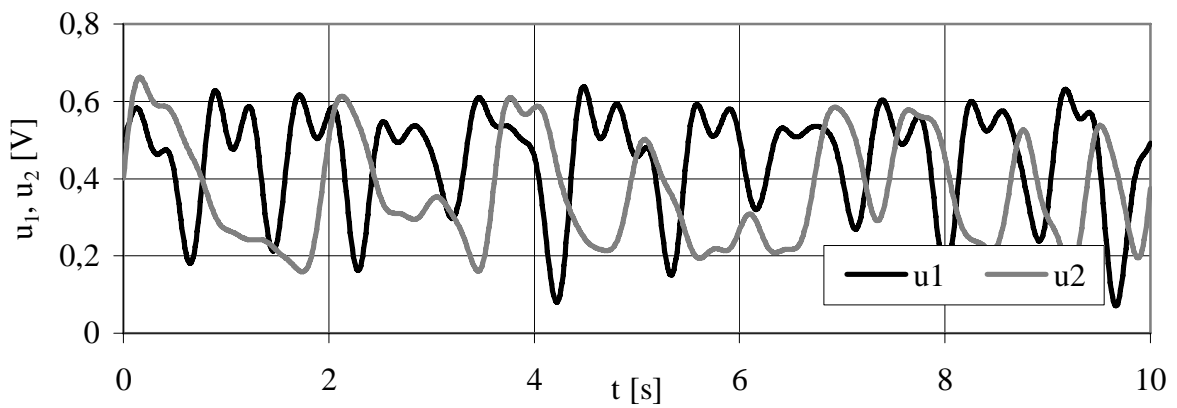
u_1 – voltage generated by monitor oxygen sensor,

u_2 – voltage generated by diagnostic oxygen sensor, t – time

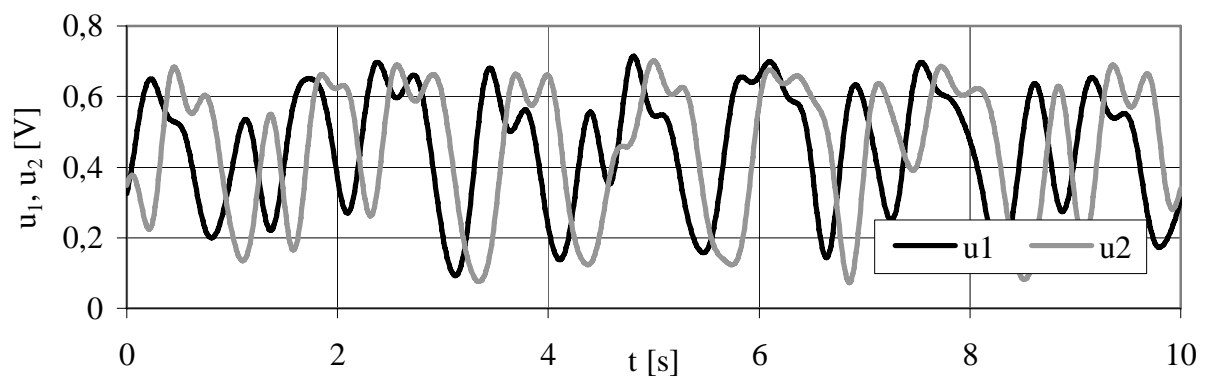
a).



b).



c).



Rys. 2. Sygnały z czujników tlenu dla reaktora o poziomach aktywności
a) $A=100\%$, b) $A=50\%$, c) $A=0\%$

Fig. 2. Oxygen sensors signals for catalytic converter in different activity levels:
a) $A=100\%$, b) $A=50\%$, c) $A=0\%$

4. Opis badań

Badania sygnałów diagnostycznych (pomiaru stężeń tlenu) oraz pomiaru stężeń toksycznych składników spalin przed i za reaktorem katalitycznym przy różnej jego aktywności wykonano:

- na hamowni silnikowej w 9 ustalonych punktach pracy silnika, odpowiadającym najczęściej występującym podczas jego eksploatacji i również występującym w warunkach wykonywania testu diagnostycznego OBD. Prędkość obrotowa silnika zawierała się od $n = 2000$ obr/min do $n = 4000$ obr/min, a obciążenie od $M_e = 30$ Nm do $M_e = 60$ Nm, co odpowiadało względnemu objętościowemu natężeniu przepływu spalin SV w granicach od 22000 h^{-1} do 50000 h^{-1} ,
- na hamowni podwoziowej, w następujących próbach: UDC, EUDC oraz NEDC (UDC+EUDC) składających się na cykl jezdny ECE R83.

W celu wyznaczenia stopnia konwersji CO, HC i NO_x próbki spalin pobierano z przed i z za reaktora i kierowano do zestawu analizatorów spalin mierzących stężenia tlenu węglą metodą NDIR, węglowodorów metodą FID oraz tlenków azotu metodą CLD. Pomiarów stężeń tlenu dokonywano w sposób pośredni przy pomocy czujników tlenu umieszczonych przed i za reaktorem katalitycznym.

5. Definicje wskaźników monitorowania reaktora katalitycznego

Obliczono następujące dyskriminanty amplitudowe sygnału z drugiego czujnika tlenu na podstawie danych uzyskanych w okresie 10 s:

a) współczynnik kształtu K:

$$K = \frac{u_{\text{RMS}2}}{\bar{u}_2},$$

b) współczynnik impulsowości I:

$$I = \frac{\hat{u}_2}{\bar{u}_2},$$

c) współczynnik szczytu C:

$$C = \frac{\hat{u}_2}{u_{\text{RMS}2}},$$

e) kurtoza R:

$$R = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T u_2^4(t) dt}{\left(\frac{1}{T} \int_0^T u_2^2(t) dt \right)^2},$$

W celu określenia przydatności diagnostycznej dyskryminant amplitudowych zdefiniowano wskaźniki monitorowania reaktora katalitycznego:

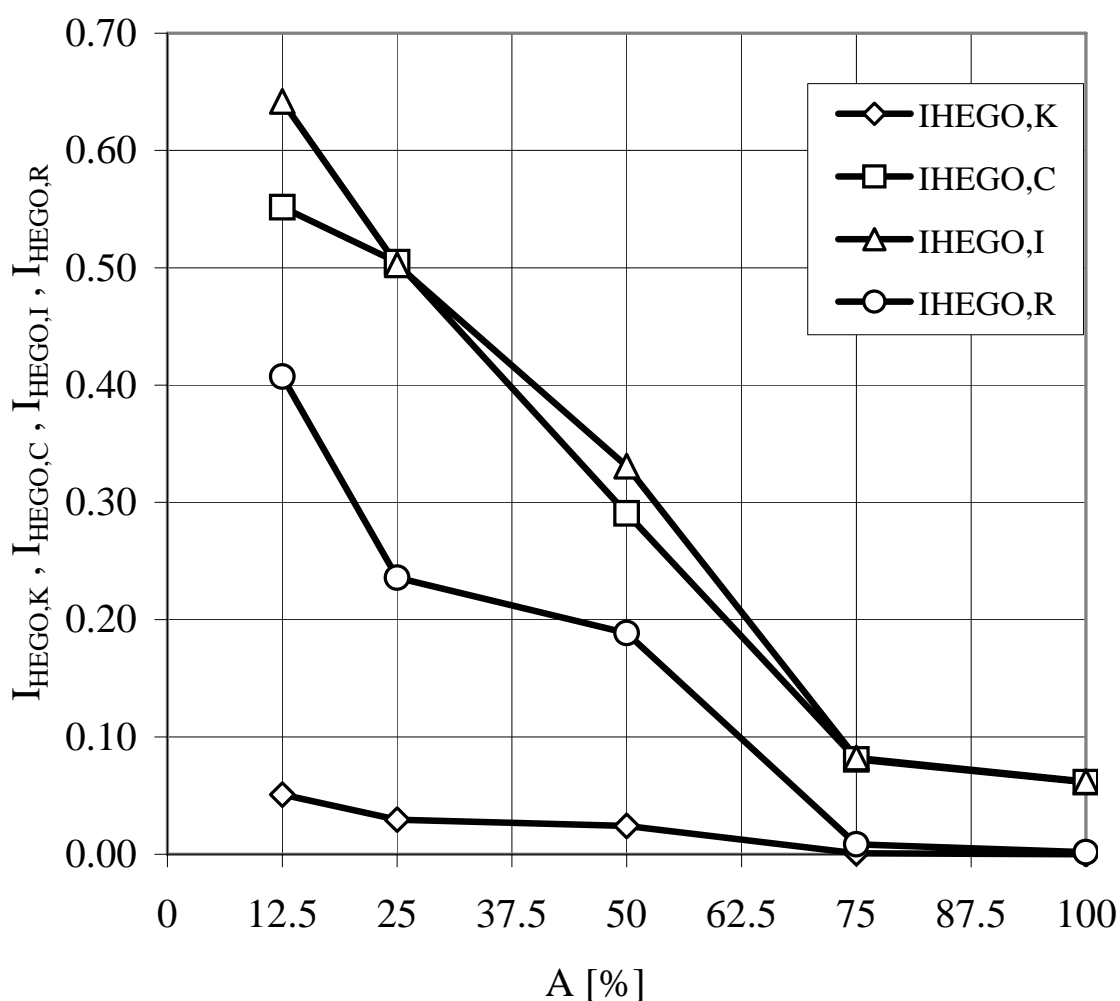
$$I_{\text{HEGO,K}} = K - 1,$$

$$I_{\text{HEGO,I}} = I - 1,$$

$$I_{\text{HEGO,C}} = C - 1,$$

$$I_{\text{HEGO,R}} = R - 1,$$

Rysunek 3 przedstawia zależność między wskaźnikami monitorowania: $I_{\text{HEGO,K}}$, $I_{\text{HEGO,I}}$, $I_{\text{HEGO,C}}$, $I_{\text{HEGO,R}}$ a stopniem aktywności reaktora A.

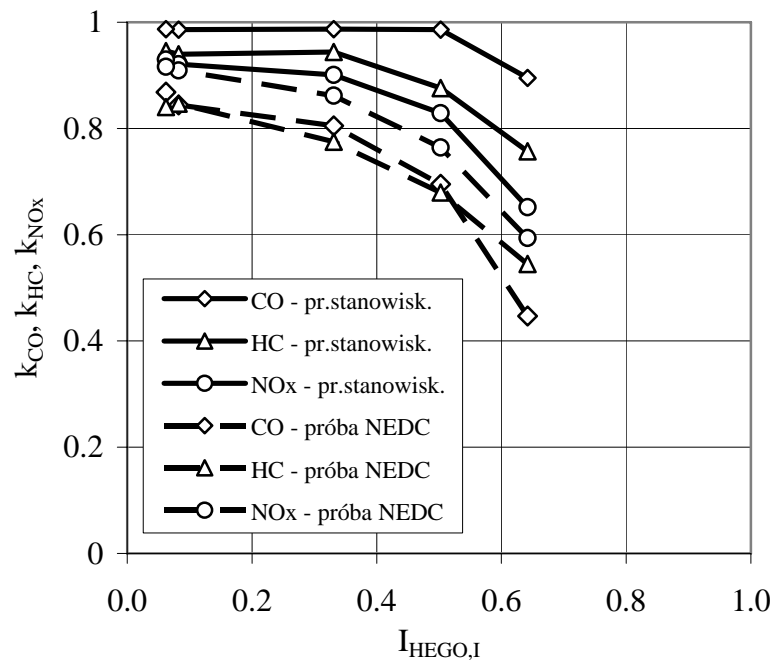


Rys. 3. Zależność wskaźników monitorowania: $I_{\text{HEGO,K}}$, $I_{\text{HEGO,C}}$, $I_{\text{HEGO,I}}$, $I_{\text{HEGO,R}}$ od aktywności reaktora katalitycznego A

Fig. 3. Monitoring indexes: $I_{\text{HEGO,K}}$, $I_{\text{HEGO,C}}$, $I_{\text{HEGO,I}}$, $I_{\text{HEGO,R}}$ versus converter activity A

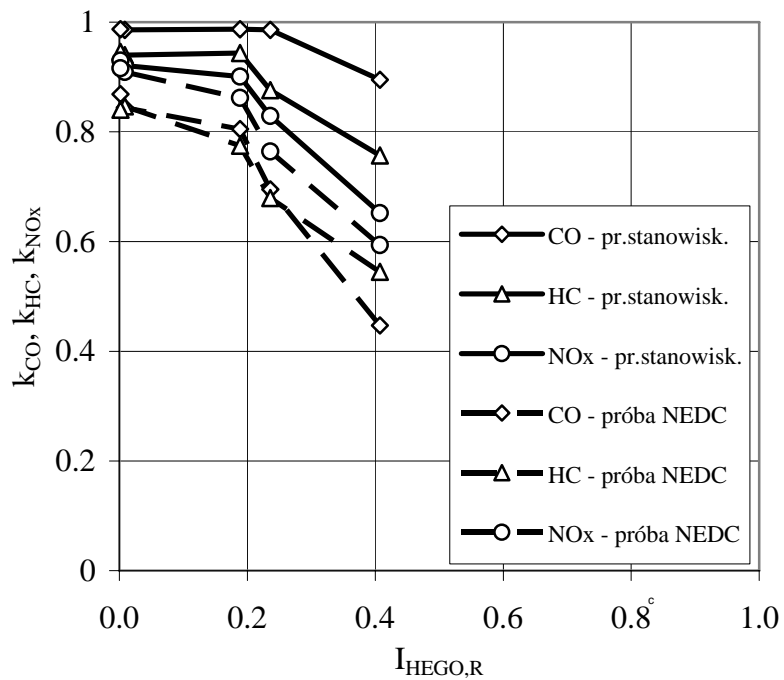
W dalszej analizie skupiono się na metodach charakteryzujących się największą czułością na zmianę poziomu aktywności.

Wybrano wskaźniki monitorowania: $I_{HEGO,I}$ – oparty na obliczeniach współczynnika impulsowości sygnału i $I_{HEGO,R}$ – oparty na obliczeniach kurtozy.



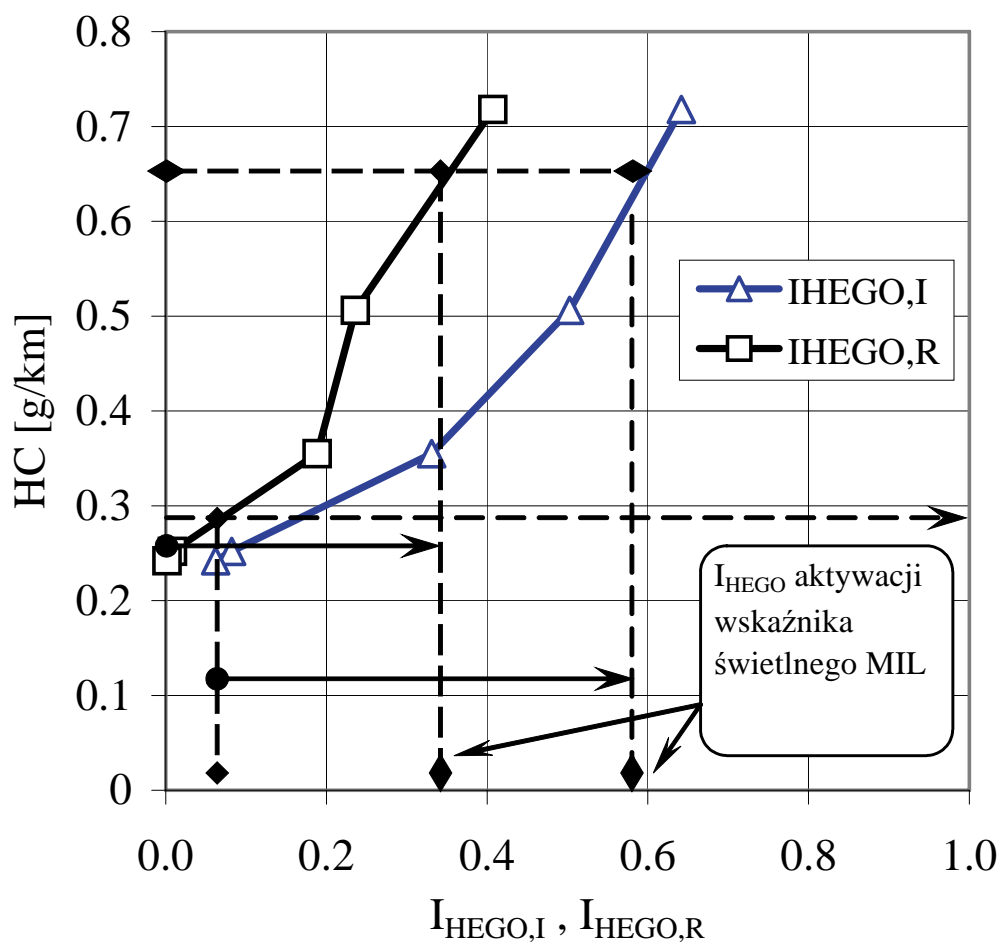
Rys. 4. Konwersja HC, CO, NOx w funkcji wskaźnika monitorowania $I_{HEGO,I}$, porównanie w próbie stanowiskowej i cyklu NEDC

Fig. 4. Conversion of HC, CO, NOx gases versus monitoring index $I_{HEGO,I}$, comparison in work bench test and NEDC driving cycle



Rys. 5. Konwersja HC, CO, NOx w funkcji wskaźnika monitorowania $I_{HEGO,R}$, porównanie w próbie stanowiskowej i cyklu NEDC

Fig. 5. Conversion of HC, CO, NOx gases versus monitoring index $I_{HEGO,R}$, comparison in work bench test and NEDC driving cycle



Rys. 6. Emisja HC w funkcji wskaźników monitorowania $I_{HEGO,R}$ i $I_{HEGO,I}$ w teście NEDC
 Fig. 6. Emission of HC versus monitoring index $I_{HEGO,R}$ and $I_{HEGO,I}$ in NEDC driving cycle

Na rysunku 4 przedstawiono zależność konwersji HC, CO i NOx od wskaźnika monitorowania $I_{HEGO,I}$.

Na rysunku 5 przedstawiono zależność konwersji HC, CO i NOx od wskaźnika monitorowania $I_{HEGO,R}$.

Rysunek 6 przedstawia zależność emisji HC od wskaźników monitorowania: $I_{HEGO,I}$, $I_{HEGO,R}$ w cyklu NEDC.

6. Wnioski

1. Możliwe jest monitorowanie konwersji substancji szkodliwych w reaktorze w europejskim cyklu jezdnym NEDC na podstawie obliczeń wartości I_{HEGO} w ustalonych warunkach pracy silnika.
2. Metody oparte na obliczeniach wybranych dyskryminant amplitudowych mogą wykazywać pewną przydatność w diagnostyce TWC.

3. Największą czułością charakteryzuje się metoda oparta na obliczeniach współczynnika impulsowości sygnału z czujnika tlenu, a najmniejszą oparta na obliczeniach kurtozy.
4. Wynikające z przepisów EOBD, osiągnięcie progu sygnalizacji lampką MIL (przyrost emisji HC w teście NEDC o 0,4 g/km) odpowiada zmianie wartości $I_{\text{HEGO,R}}$ z 0,0 do wartości 0,35 a w drugiej metodzie - zmianie wartości $I_{\text{HEGO,I}}$ z 0,07 do 0,58.

Literatura

- [1] Ambrozik A., Kruczyński S. W., Diagnostyka i monitoring trójfunkcyjnych reaktorów katalitycznych spalin. XXVII Ogólnopolskie Sympozjum DIAGNOSTYKA MASZYN, Węgierska Górka, luty 2000.
- [2] Ambrozik A., Kruczyński S. W., Łaczyński J., Tomaszewski D., Pomiary stężeń tlenu w diagnozowaniu pokładowym trójfunkcyjnego reaktora katalitycznego spalin, Diagnostyka, VOL.27, 2002.
- [3] Merkisz J., Mazurek St., Pokładowe systemy diagnostyczne pojazdów samochodowych, WKiŁ, 2002.
- [4] Cempel Cz., Podstawy wibroakustycznej diagnostyki maszyn, WKiŁ, 1982.
- [5] Zóltowski B., Ćwik Z., Leksykon diagnostyki maszyn, Wydawnictwo ATR, 1996.