

INFLUENCE OF SPARK IGNITION ENGINE WARM UP PROCESS ON TOXIC GASES CONVERSION IN THREE WAY CATALYST

Stanisław Kruczyński, Wiktor Danilczyk, Wojciech Kamela

Technical University of Warsaw, Institute of Vehicles
Narbutta 84, 02-524 Warszawa, Poland
tel.: +48 22 6608782, fax: +48 22 8490303
e-mail: skruczyn@simr.pw.edu.pl

Abstract

In his article the influence of deactivated three way catalyst on toxic gases conversion at engine warm up process was described. The test procedure and the test bench were described. The test bench was used to achieve catalytic reactor deactivation at laboratory conditions. The test procedure was chosen to achieve catalytic reactor deactivation same as at the real road conditions at the vehicle that traveled 100 000 kilometers. Paper contains results of toxic gases conversion at the new and deactivated reactors. This was made to estimate the influence of catalytic reactor aging on toxic gases conversion ability. Article also contains the results of toxic gases emission measured at the NEDC test. This measurement was also done with new and aged reactor mounted at the chosen vehicle exhaust pipe. Results from this test was used to estimate CO, HC and NO_x conversion at aged catalytic reactor at the engine warm up process in all NEDC test cycles. Received results shown that toxic gases conversion at deactivated reactor decreases at range from 14 to 32% depending on chosen toxic substance. Examples of O₂, CO₂ and CO HC i NO_x concentrations changes after catalyst at NEDC test, the CO, HC and NO_x conversion changes In function of catalytic process temperature for New and deactivated catalysts, comparison of CO, HC and NO_x conversion received at NEDC test and from simulation for new catalyst are presented in the paper.

Keywords: combustion engines, toxic gases emission, catalytic reactors, engine warm up process, air pollution

WPŁYW PROCESU ROZGRZEWANIA SIĘ SILNIKA O ZAPŁONIE ISKROWYM NA KONWERSJĘ SUBSTANCJI SZKODLIWYCH W TRÓJFUNKCYJNYM REAKTORZE KATALITYCZNYM

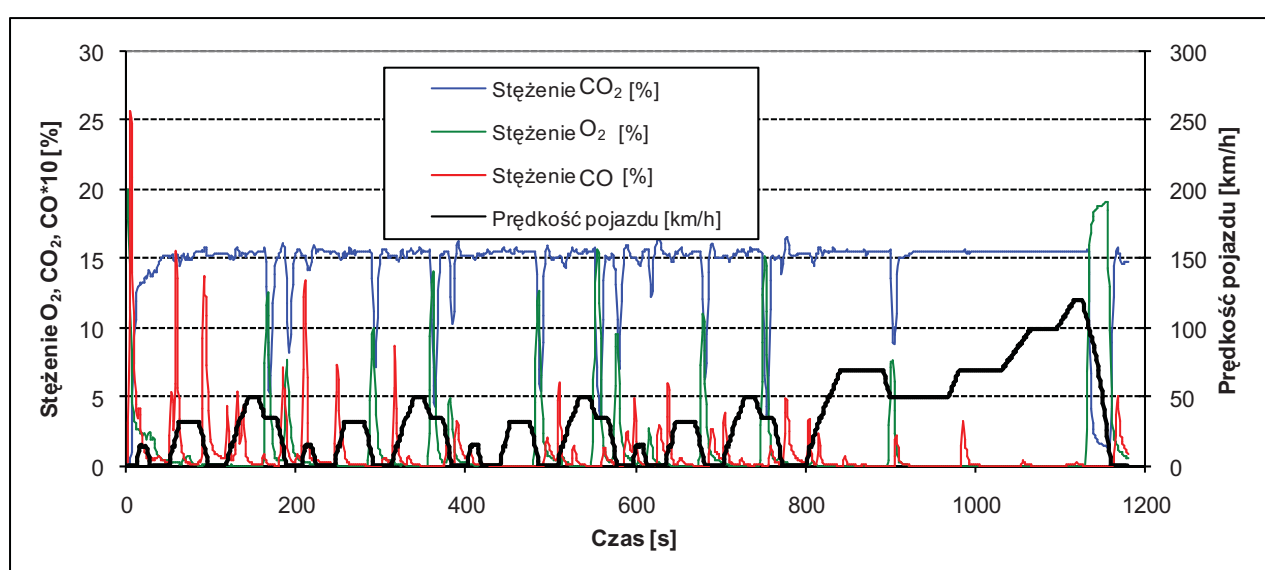
Streszczenie

W artykule przedstawiono wpływ obecności w układzie wydechowym pojazdu deaktywowanego reaktora katalitycznego na spadek konwersji substancji szkodliwych podczas zimnego rozruchu silnika. Opisano metodę oraz stanowisko hamowniane służące do deaktywowania reaktora katalitycznego na hamowni silnikowej. Przedstawiona metoda pozwoliła na deaktywację reaktora odpowiadającą przebiegowi 100 000 kilometrów w rzeczywistych warunkach eksploatacji reaktora katalitycznego w pojeździe. Przedstawiono wyniki pomiarów konwersji związków toksycznych w reaktorze nowym oraz po teście deaktywacji w celu określenia wpływu starzenia reaktora katalitycznego na jego zdolność do konwersji substancji szkodliwych. W artykule zamieszczono również wyniki badań uzyskane w trakcie pomiarów emisji substancji szkodliwych na hamowni podwozowej, w teście NEDC pojazdu z nowym oraz deaktywowanym reaktorem katalitycznym. Określono konwersję CO, HC oraz NO_x za deaktywowanym reaktorem umieszczonym w pojeździe, w trakcie rozgrzewania się silnika, w kolejnych fazach testu NEDC. Uzyskane wyniki wykazały spadek konwersji substancji szkodliwych, za daktywowanym reaktorem katalitycznym w zakresie od 14 do 32% w zależności od wybranego związku toksycznego. W artykule są zilustrowane przykładowe zmiany stężeń O₂, CO₂, CO, HC oraz NO_x za reaktorem katalitycznym pojazdu w teście NEDC, zmiana konwersji CO, HC oraz NO_x w funkeji temperatury pracy reaktora katalitycznego nowego oraz deaktywowanego, porównanie konwersji NO_x uzyskanych w teście NEDC oraz w trakcie badań symulacyjnych nowego reaktora katalitycznego.

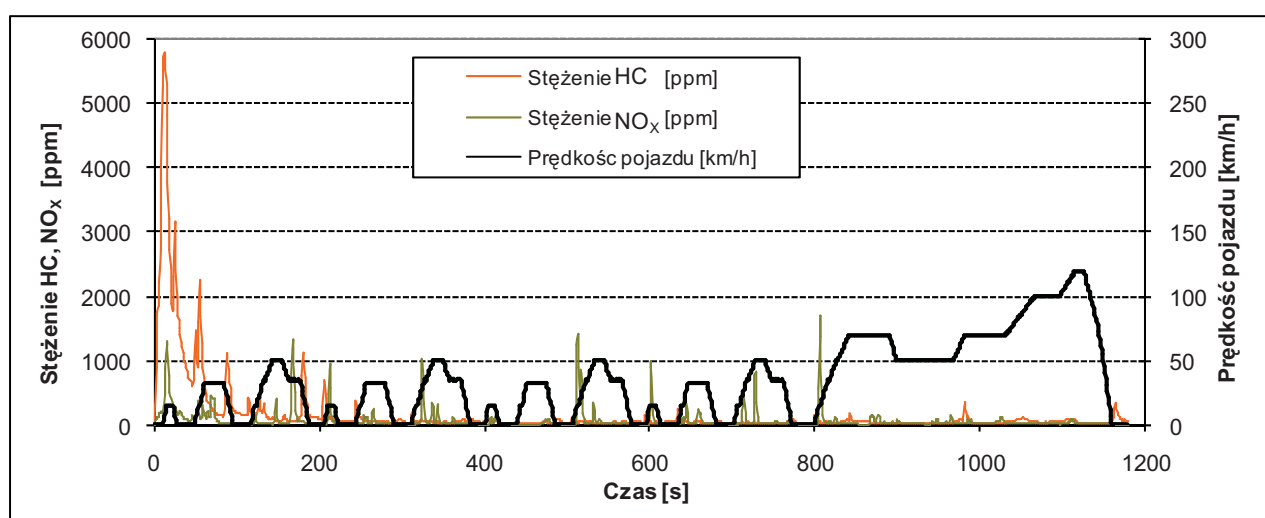
Słowa kluczowe: silniki spalinowe, emisja substancji szkodliwych, reaktory katalityczne, zimny rozruch silnika zanieczyszczenie środowiska

1. Wstęp

Temperatura spalin rozgrzanego silnika o zapłonie iskrowym może zmieniać się od 300-400°C na biegu jałowym, do około 1100°C przy jego pracy pod pełnym obciążeniem. Jednak podczas rozruchu zimnego silnika szczególnie w ujemnych temperaturach otoczenia temperatura reaktora katalitycznego przez długi czas jest bardzo niska, przez co nie wykazuje on zdolności do konwersji szkodliwych składników gazów wylotowych. Do momentu osiągnięcia temperatury pracy sięgającej około 200-300°C, substancje szkodliwe wytwarzane przez silnik nie ulegają konwersji, co przyczyniają się do znacznego wzrostu zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego wywołanego przez silnik pracujący we wspomnianych warunkach. W teście jezdnym FTP 75, jak i w nowym europejskim teście jezdym miejskim i pozamiejskim NEDC (UDC+EUDC - *Urban Driving Cycle + Extra Urban Driving Cycle*) około 90% emisji węglowodorów powstaje w czasie, jaki jest potrzebny reaktorowi do rozpoczęcia skutecznej konwersji związków toksycznych od chwili uruchomienia silnika.



Rys. 1. Przykładowe zmiany stężeń O₂, CO₂ i CO za reaktorem katalitycznym pojazdu w teście NEDC
 Fig. 1. Examples of O₂, CO₂ and CO concentrations changes after catalyst at NEDC test



Rys. 2. Przykładowe zmiany stężeń HC i NO_x za reaktorem katalitycznym pojazdu w teście NEDC
 Fig. 2. Examples of HC and NO_x concentrations changes after catalyst at NEDC test

Rysunek 1 przedstawia przykładowe wartości stężeń O_2 , CO_2 oraz CO za reaktorem katalitycznym umieszczonym pod podłogą samochodu, w zależności od czasu trwania testu NEDC. Na rysunku 2 przedstawiono natomiast przykładowe wartości stężeń HC i NO_x , również w funkcji czasu trwania testu NEDC. Na obu rysunkach zamieszczono dodatkowo przebieg zmiany prędkości pojazdu w czasie trwania całego testu.

Jak wynika z rysunków 1 i 2 do czasu, gdy temperatura reaktora nie osiągnie odpowiedniej wartości, przy której następuje skuteczne usuwanie przez reaktor toksycznych związków spalin (po około 180s od chwili rozruchu), stężenia tlenku węgla, a w szczególności węglowodorów wielokrotnie przewyższają ich stężenia w dalszej części testu. Problem ten omówiono szczegółowo w literaturze [1, 2, 3]. Dane literaturowe mówią również, że możliwe jest obniżenie całkowitej emisji CO i HC o ponad 70% przez bardzo szybkie (w ciągu 20 sekund po rozruchu zimnego silnika) osiągnięcie przez reaktor katalityczny temperatur T_{50} [4, 5, 6]. W związku z powyższym widać, jak ważne są rozwiązania konstrukcyjne zmierzające do jak najszybszego nagrzania reaktora do jego temperatury pracy w celu obniżenia szkodliwej emisji związków toksycznych.

Istnieją dwie główne metody rozwiązania tego problemu:

- metoda aktywna, wykorzystująca doprowadzanie dodatkowej energii w sposób kontrolowany w celu podniesienia temperatury spalin podczas rozruchu zimnego silnika i w konsekwencji przyspieszenia momentu zadziałania reaktora. Do tej kategorii należą takie systemy jak grzejniki elektryczne, dopalacze i palniki,
- metoda pasywna, polegająca na modyfikacji układu wylotowego (np. usytuowanie reaktora katalitycznego bliżej silnika, zastosowanie reaktorów pomocniczych, adsorbentów HC , systemów magazynowania ciepła i wymienników ciepła oraz izolowanych rur wylotowych w celu zmniejszenia przenikania ciepła ze spalin do otoczenia na odcinku układu wylotowego pomiędzy silnikiem i reaktorem katalitycznym) zmniejszającą emisję podczas rozruchu zimnego silnika.

Zadowalające wyniki odnośnie zmniejszania emisji głównie HC w trakcie zimnego rozruchu silnika uzyskuje się również poprzez modyfikacje układu zasilania silnika. Zaliczyć do nich można na przykład zastosowanie dodatkowego zaworu sterującego przepływem zasysanego powietrza IACV (*Intake Air Control Valve*) [4], którego zadaniem jest zmniejszenie stopnia skraplania się paliwa w kolektorze dolotowym. Do innych rozwiązań należą: inteligentny układ zmiennych faz rozrządu VVT-i (*Variable Valve Timing-Intelligent*) oraz zmodyfikowane końcówki wtryskiwaczy pozwalające na uzyskanie znacznie bardziej rozdrobnionych kropeł paliwa tuż przy samej ich końcówce [4]. Zaznaczyć jednak należy, że najlepsze rezultaty uzyskuje się poprzez usprawnienie pracy i szybkości nagrzewania się układu wydechowego, w którym zamontowane są reaktory.

Ogólnie w celu poprawy szybkości nagrzewania się reaktora katalitycznego muszą być spełnione następujące warunki konstrukcji układu wylotu spalin przed reaktorem katalitycznym: ograniczenie masy układu wylotowego i powierzchni styku ze spalinami oraz czasu obecności spalin w układzie. W celu przyspieszenia czasu nagrzewania reaktorów coraz częściej zastępuje się żeliwne kolektory wylotowe kolektorami zgrzewanymi z cienkiej blachy (1,5 mm), co zmniejsza ich zdolność do akumulacji i odprowadzania ciepła. Efektem uzyskanego dwukrotnego zmniejszenia masy kolektorów jest możliwość skrócenia czasu nagrzewania reaktorów katalitycznych z 55 s do 25 s.

2. Koncepcja badań

W celu przyspieszenia cyklu badań i ograniczenia jego kosztów zastosowano procedurę badawczą przyspieszającą proces starzenia i deaktywacji reaktora. Do najważniejszych zabiegów przyspieszających ten proces zaliczyć można:

- wysokie i szybko zmienne wydatki spalin przepływających przez reaktor,
- wysokie i szybko zmienne temperatury spalin,

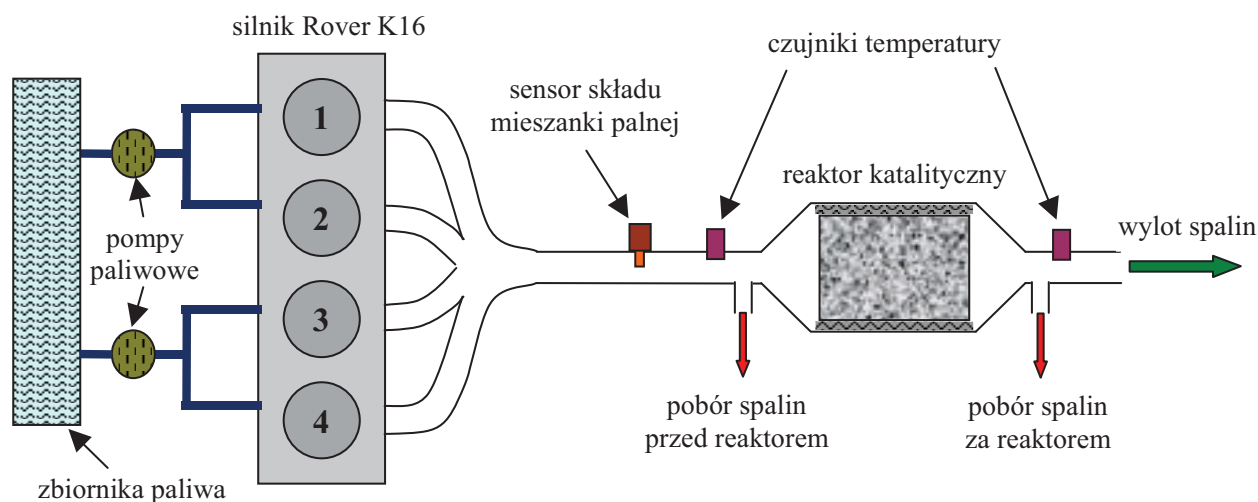
- atmosfera utleniająca w reaktorach (przerwy we wtrysku paliwa),
- wysokie stężenie węglowodorów w spalinach (przerwy w zapłonie mieszanki),
- stosowanie paliw przyczyniających się do deaktywacji reaktora (zwiększony poziom siarki, duża zawartość alkoholi itp.),
- stosowanie olejów smarnych przyczyniających się do deaktywacji reaktora (np. zwiększony poziom fosforu itp.),

W opracowanym teście do deaktywacji reaktora zastosowano;

- przerwy w dopływie paliwa do wtryskiwaczy,
- przerwy w zapłonie mieszanki,
- wysokosiarkowe paliwo do zasilania silnika.

Układ paliwowy przekonstruowano w ten sposób, aby można było zasilać cylindry 1 i 2 oraz 3 i 4 przez oddzielne pompy paliwowe. Było to konieczne w celu zapewnienia ciągłej pracy silnika w chwili, kiedy następowała przerwa w dopływie paliwa do dwóch wybranych cylindrów. Przerwy w zapłonie dokonano poprzez modyfikację układu wyzwalającego impulsy do cewki wysokiego napięcia. Zatrucie chemiczne złoża katalitycznego reaktora dokonano poprzez związki siarki zawarte w paliwie.

W układzie wydechowym silnika zamontowany został trójfunkcyjny reaktor katalityczny, czujniki temperatury przed i za reaktorem oraz czujnik tlenu (sonda lambda), służący do kontroli składu mieszanki palnej. Kontrola emisji związków toksycznych odbywała się poprzez analizę spalin pobieranych przed i za reaktorem katalitycznym. Schemat układu zasilania i wydechu silnika został przedstawiony na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat stanowiska badawczego do prowadzenia testu dezaktywacji reaktora katalitycznego

Fig. 3. Engine bench made for catalyst deactivation purposes

Warunki pracy silnika w teście zostały dobrane tak, aby w ciągu 100 godzin pracy silnika na stanowisku badawczym uzyskać intensywność procesów starzenia i zatrucia złoża katalitycznego odpowiadającą przebiegowi pojazdu równemu 100 tysięcy kilometrów.

3. Paliwo testowe

Do celów deaktywacji chemicznej reaktora (zatrucia złoża aktywnego reaktora) przygotowano paliwo testowe o zwiększonej zawartości siarki. Zawartość siarki w paliwie określono przy następujących założeniach:

- masa siarki (w przeliczeniu na czystą siarkę), która przepływa przez reaktor podczas 100 godzinowego testu dezaktywacji powinna być taka sama jak masa siarki przepływająca przez ten sam reaktor podczas eksploatacji samochodu Daewoo Matiz w okresie 100 000 kilometrów,

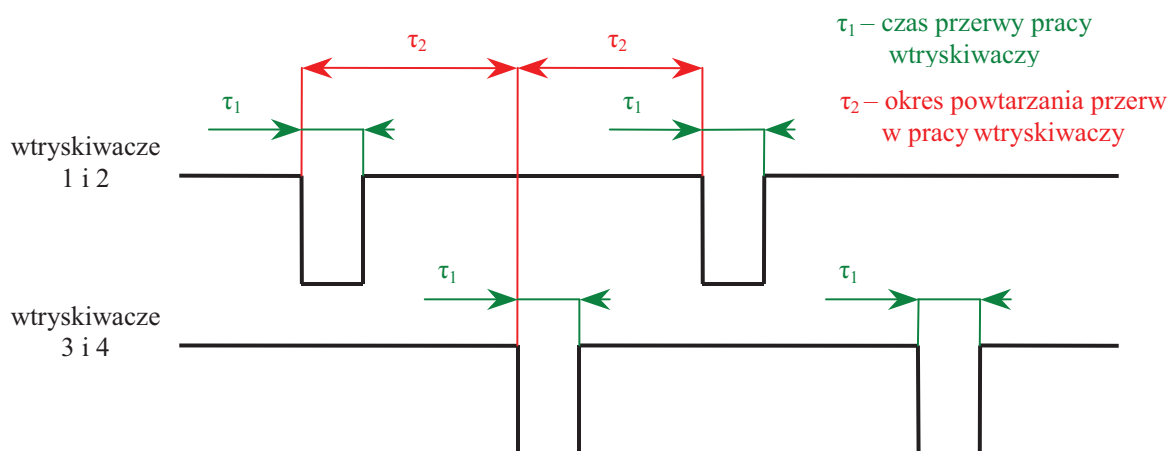
- Do obliczeń ilości masy siarki podczas testu przyjęto zawartość siarki w paliwie handlowym w ilości 60 mg/kg paliwa i jego zużycie podczas testu w ilości 15 dm³/godz,
- Do obliczeń ilości masy siarki podczas eksploatacji samochodu przyjęto zawartość siarki w paliwie handlowym w ilości 60 mg/kg paliwa i średnie zużycie paliwa w ilości 5,2 dm³ na 100 km. (test EUDC – samochód Daewoo Matiz).

Masę siarki w paliwie testowym do poziomu 600 mg/kg paliwa wyliczonego na podstawie w/w założeń uzupełniono poprzez dodatek odpowiedniej ilości tiofenu (2-(3-tienylo)etanol - C₃H₈OS).

4. Test deaktywacji

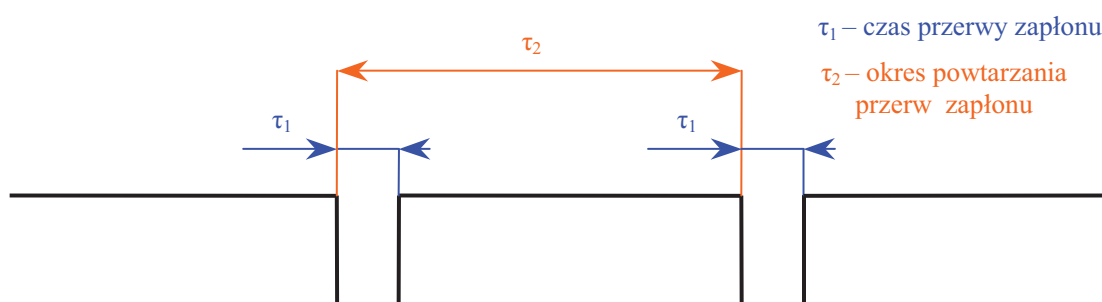
100 godzinny test deaktywacji został podzielony na dziesięciogodzinne cykle, z których każdy zawierał:

- 2,5 godzinny okres pracy silnika w następujących warunkach pracy: $n = 4000$ obr/min, $M_e = 85$ Nm, W tym okresie pracy naprzemiennie, co $\tau_2 = 10$ sekund realizowane jest odcinanie wtrysku paliwa na $\tau_1 = 2$ sekundy kolejno w 1 i 2 cylindrach, a następnie w 3 i 4 cylindrach. W ten sposób wymuszane jest występowanie chwilowych wysokich stężeń tlenu sprzyjających deaktywacji termicznej i spiekaniu złoża katalitycznego. Na rysunku 4 schematycznie przedstawiono przebiegi odcinania wtrysku paliwa. W tych warunkach pracy silnika uzyskuje się następujące średnie temperatury spalin mierzone w odpowiednich punktach pomiarowych, $t_1 = 650^\circ\text{C}$, $t_2 = 630^\circ\text{C}$, (punkt 1 – temperatura spalin przed reaktorem, punkt 2 - temperatura spalin za reaktorem).
- 2,5 godzinny okres pracy silnika w następujących warunkach pracy: $n = 4000$ obr/min, $M_e = 85$ Nm, W tym okresie pracy, w efekcie chwilowego odcinania zapłonu, wymuszane są, poprzez spalanie części paliwa w reaktorach katalitycznych ich chwilowe wysokie temperatury. Na rysunku 5 schematycznie przedstawiono sposób wymuszania braku zapłonu przez czas $\tau_1 = 1$ sekund, co okres $\tau_2 = 10$ sekund i tym samym spalania części paliwa w reaktorach,. Takie warunki pracy silnika powodują przy intensywnym przepływie spalin duże gradienty temperatur sprzyjające procesom destrukcji złoża katalitycznego. W tych warunkach pracy silnika uzyskuje się następujące średnie temperatury spalin mierzone w odpowiednich punktach pomiarowych, $t_1 = 660^\circ\text{C}$, $t_2 = 750^\circ\text{C}$.
- 5 godzinny stabilny okres pracy silnika w następujących warunkach pracy: $n = 4000$ obr/min, $M_e = 85$ Nm, przeznaczony na ustabilizowanie procesów deaktywacji reaktorów katalitycznych. W tych warunkach pracy silnika uzyskuje się następujące średnie temperatury spalin mierzone w odpowiednich punktach pomiarowych, $t_1 = 700^\circ\text{C}$, $t_2 = 40^\circ\text{C}$.



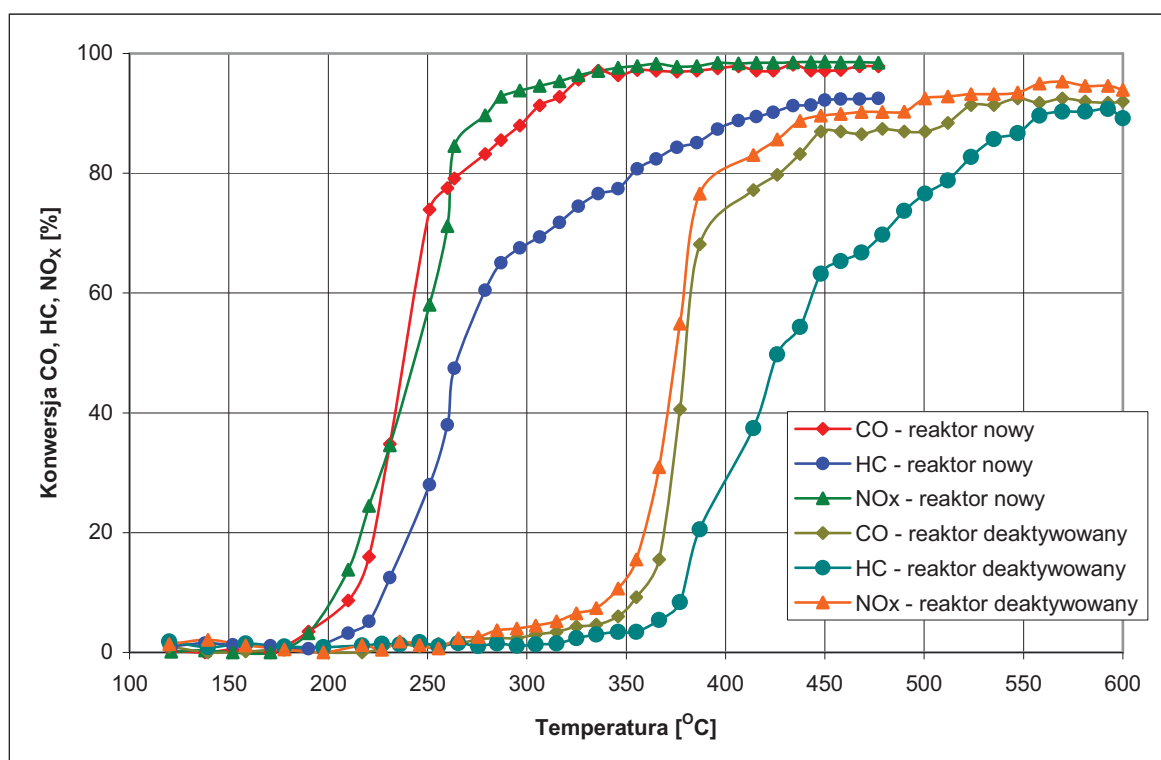
Rys. 4. Schemat odcinania dopływu paliwa do cylindrów 1 i 2 oraz 3 i 4 celem wymuszenia atmosfery utleniającej w badanym reaktorze katalitycznym

Fig. 4. Interruptions of fuel supplies for cylinders 1,2 and 3,4 made to extort oxidizing atmosphere in exhaust gases



Rys.5. Schemat wprowadzania przerwy w zapłonie celem zwiększenia stężenia węglowodorów w spalinach
 Fig. 5. Interruptions of fuel ignitions made to extort high HC concentrations in exhaust gases

Przed wykonaniem testu deaktywacji reaktora katalitycznego dokonano pomiaru stężeń CO, HC oraz NO_x przed i za badanym reaktorem w ustalonych warunkach pracy silnika. Na podstawie uzyskanych wyników wyznaczono konwersje tych składników spalin. Takie same pomiary przy tych samych ustalonych warunkach pracy silnika wykonano po przeprowadzeniu testu deaktywacji reaktora odpowiadającego 100 000 kilometrów użytkowania pojazdu w warunkach drogowych. Zebrane wyniki konwersji toksycznych składników spalin w funkcji temperatury procesu katalitycznego dla reaktora nowego i deaktywowanego zestawione zostały na rysunku 6.



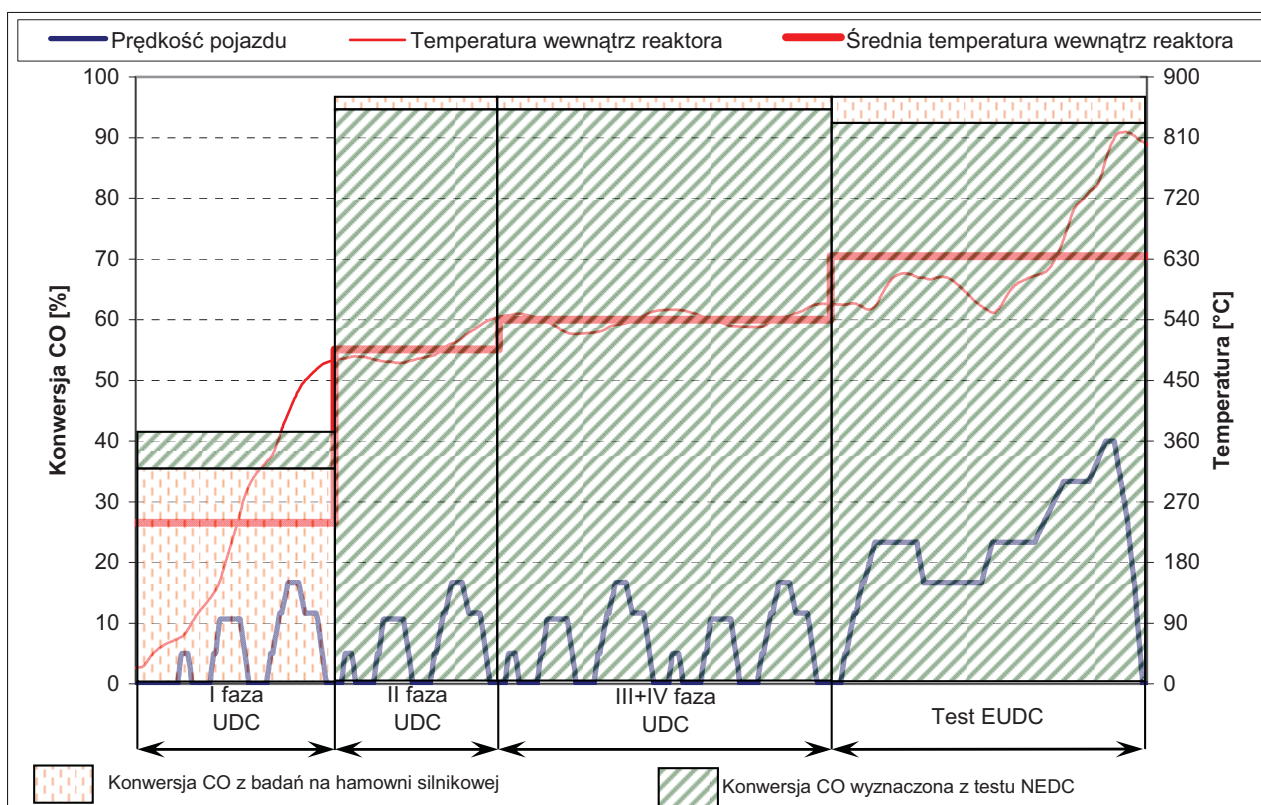
Rys. 6. Zmiana konwersji CO, HC oraz NO_x w funkcji temperatury pracy reaktora katalitycznego nowego oraz deaktywowanego

Fig. 6. CO, HC and NO_x conversion changes In function of catalytic process temperature for New and deactivated catalysts

Na rysunku 6 widać, że w reaktorze deaktywowanym temperatury konwersji 50% CO, HC i NO_x przesunęły się w kierunku wysokich temperatur pracy reaktora o około 150°C w stosunku do wartości T₅₀ tych związków uzyskanych dla reaktora przebadanego przed testem deaktywacji. Zauważyć należy jednocześnie, że deaktywacja reaktora nieznacznie tylko wpływa na maksymalne uzyskiwane przez reaktor katalityczny poziomy konwersji poszczególnych składników spalin, a jedynie na zakres temperatur ich występowania.

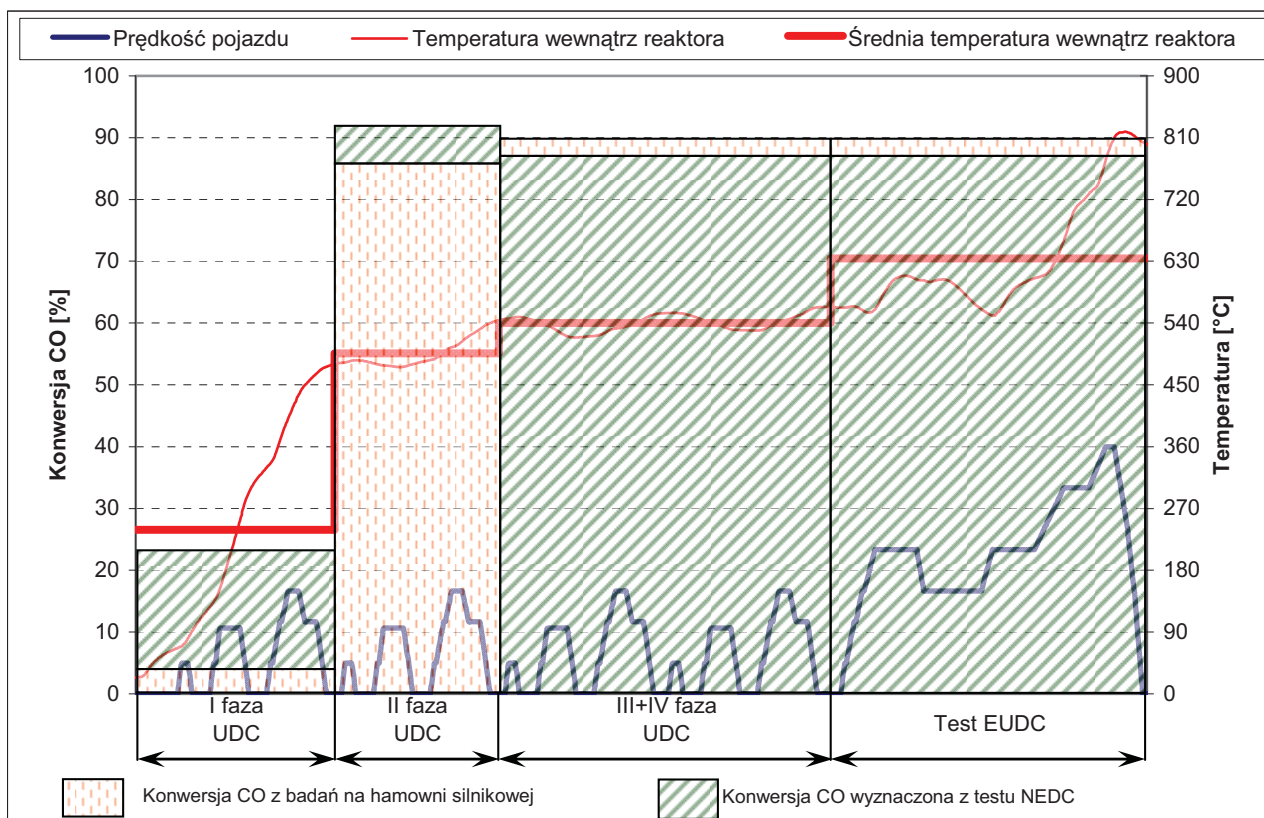
5. Porównanie konwersji związków toksycznych uzyskanych w teście NEDC oraz w trakcie badań symulujących deaktywację reaktora katalitycznego

Pomiary konwersji CO, HC i NO_x w reaktorze nowym i po teście deaktywacyjnym wykazały, że reaktor deaktywowany charakteryzuje się wyższymi temperaturami konwersji 50% trzech rejestrowanych toksycznych składników spalin. Kolejnym krokiem było, przeprowadzenie prób mających na celu określenie poziomów konwersji poszczególnych składników toksycznych w trakcie rozgrzewania się silnika pojazdu w teście NEDC, w którego układzie wydechowym znajdował się nowy oraz deaktywowany reaktor katalityczny, a następnie porównanie ich z odpowiadającymi średnim temperaturom z poszczególnych faz testu NEDC poziomom konwersji reaktora nowego i deaktywowanego przebadanego na hamowni silnikowej. W tym celu, w pierwszym etapie pojazd wyposażony w silnik o pojemności skokowej około 1,5 dm³, z zamontowanym nowym reaktorem katalitycznym poddano testowi NEDC na hamowni podwoziowej. W trakcie trwania testu, w czasie rzeczywistym rejestrowane były emisje CO, HC oraz NO_x. W drugim etapie, w tym samym pojeździe zamontowany został reaktor deaktywowany. Tak przygotowany samochód poddano ponownie testowi NEDC w trakcie, którego ponownie prowadzono rejestrację poziomów emisji substancji szkodliwych emitowanych w układzie wydechowym. Uzyskane wyniki posłużyły do wyznaczenia poziomów konwersji CO, HC i NO_x w poszczególnych fazach testu NEDC. W trakcie trwania testu prowadzono również rejestrację temperatury wewnątrz reaktorów. Po wyznaczeniu średnich temperatur w reaktorze, w poszczególnych fazach testu NEDC określono poziomy konwersji związków toksycznych wyliczone z badań symulacyjnych nagrzewania reaktorów na hamowni podwoziowej. Zestawienie otrzymanych wyników zaprezentowane zostało na wykresach poniżej. Na każdym z wykresów zamieszczono dodatkowo przebiegi temperatury wewnątrz reaktora oraz wyznaczone na ich podstawie wartości średniej temperatury w poszczególnych fazach testu, jak również przebieg zmiany prędkości pojazdu w całym teście NEDC.



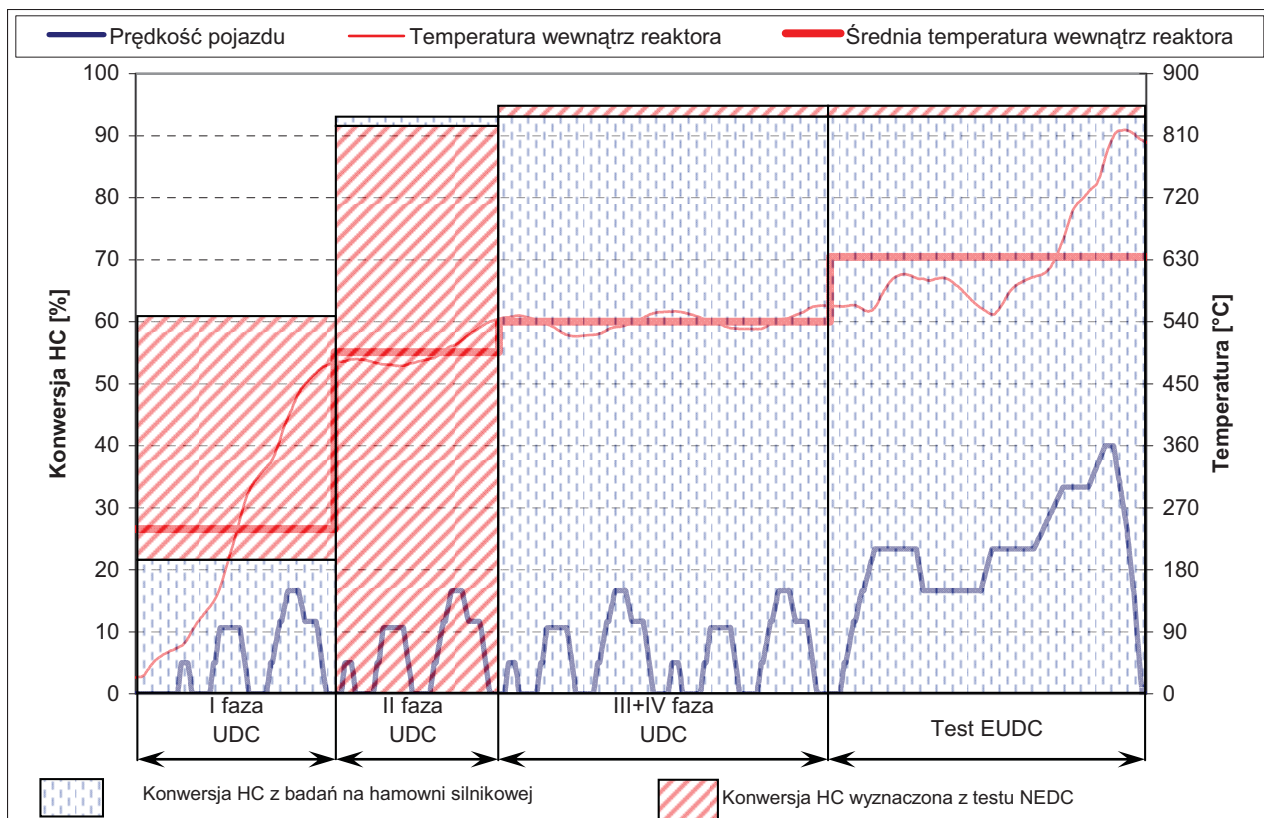
Rys. 7. Porównanie konwersji CO uzyskanych w teście NEDC oraz w trakcie badań symulacyjnych dla nowego reaktora katalitycznego

Fig. 7. Comparison of CO conversion received at NEDC test and from simulation for new catalyst



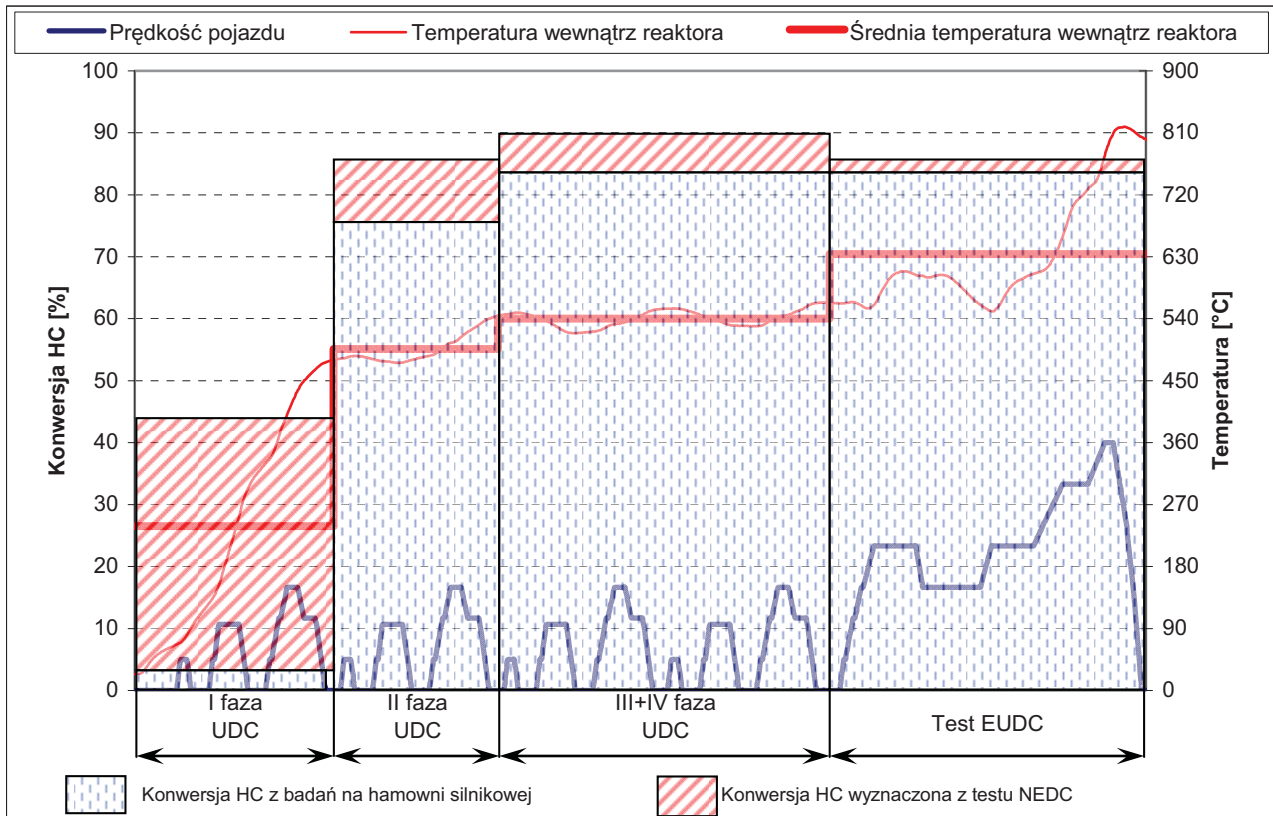
Rys. 8. Porównanie konwersji CO uzyskanych w teście NEDC oraz w trakcie badań symulacyjnych dla deaktywowanego reaktora katalitycznego

Fig. 8. Comparison of CO conversion received at NEDC test and from simulation for catalyst after deactivation



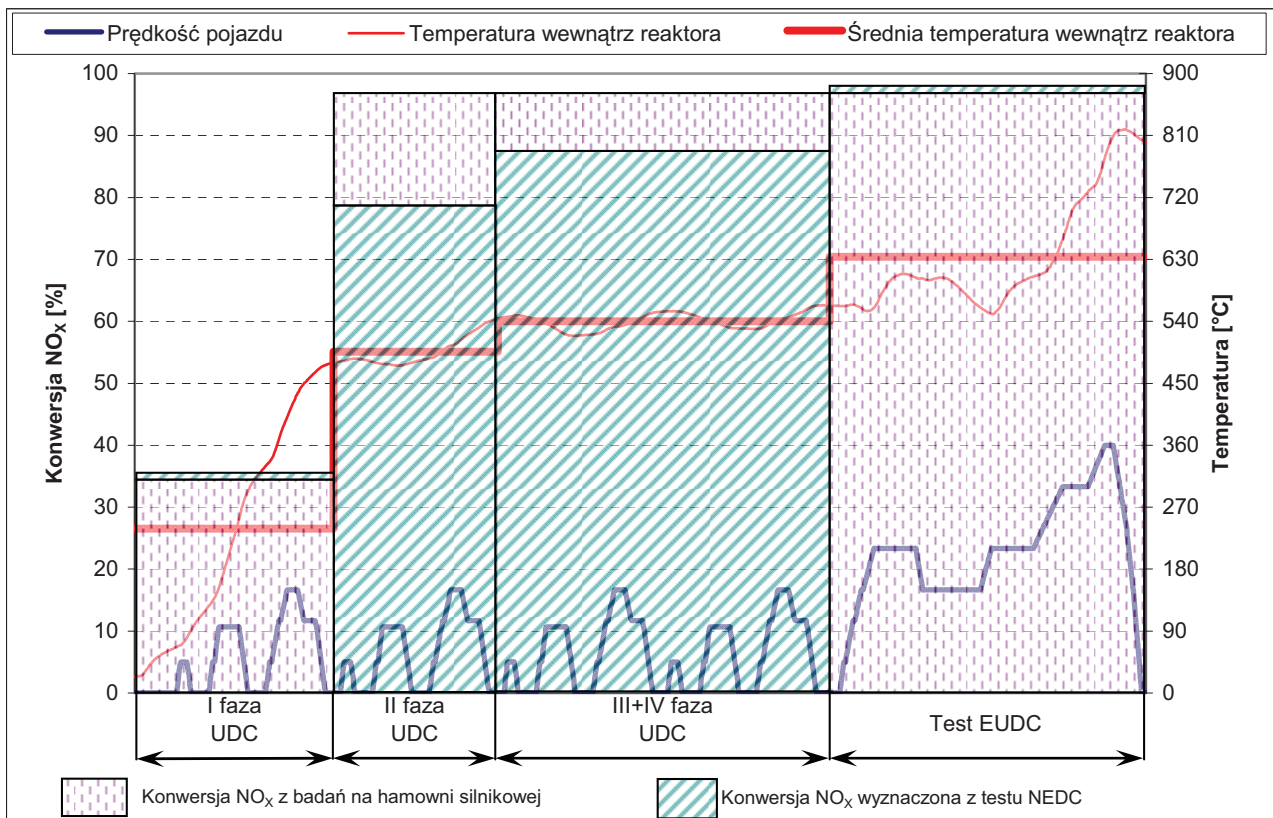
Rys. 9. Porównanie konwersji HC uzyskanych w teście NEDC oraz w trakcie badań symulacyjnych dla nowego reaktora katalitycznego

Fig. 9. Comparison of HC conversion received at NEDC test and from simulation for new catalyst



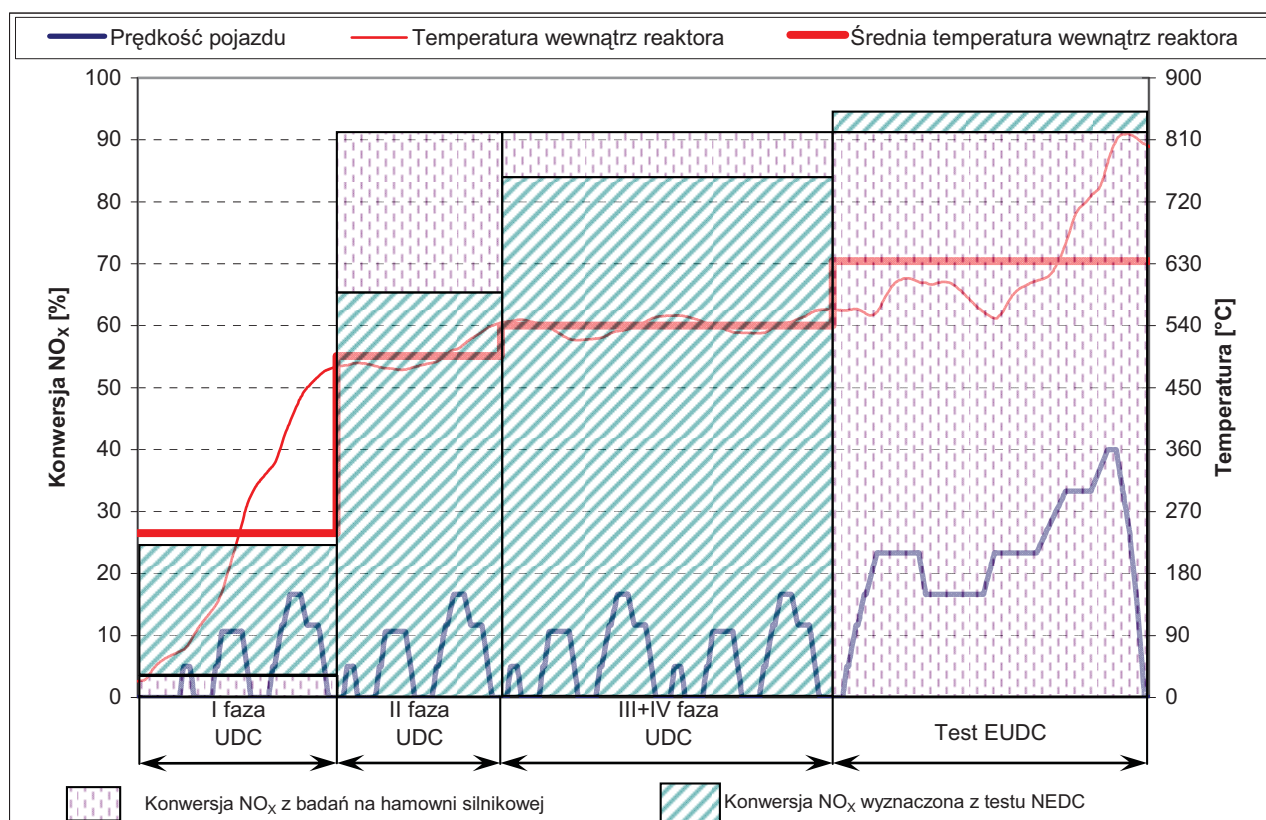
Rys. 10. Porównanie konwersji HC uzyskanych w teście NEDC oraz w trakcie badań symulacyjnych dla deaktywowanego reaktora katalizacyjnego

Fig. 10. Comparison of HC conversion received at NEDC test and from simulation for catalyst after deactivation



Rys. 11. Porównanie konwersji NO_x uzyskanych w teście NEDC oraz w trakcie badań symulacyjnych dla nowego reaktora katalizacyjnego

Fig. 11. Comparison of NO_x conversion received at NEDC test and from simulation for new catalyst



Rys. 12. Porównanie konwersji NO_x uzyskanych w teście NEDC oraz w trakcie badań symulacyjnych dla deaktywowanego reaktora katalitycznego

Fig. 12. Comparison of NO_x conversion received at NEDC test and from simulation for catalyst after deactivation

6. Wnioski

Dane o emisji CO, HC oraz NO_x zebrane w trakcie pomiarów na stanowisku hamownianym oraz w trakcie testu jezdnego NEDC pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

- właściwy dobór parametrów pracy silnika oraz zastosowanie odpowiednio zasiarczonego paliwa pozwala przeprowadzić test deaktywacji reaktora katalitycznego na hamowni silnikowej odpowiadający rzeczywistej deaktywacji takiego reaktora zamontowanego w pojeździe o przebiegu wynoszącym w przybliżeniu 100 000 km,
- reaktor deaktywowany osiąga maksymalne poziomy konwersji CO, HC oraz NO_x na poziomach nieznacznie niższych od osiąganych dla reaktora nowego,
- reaktor deaktywowany charakteryzował się wzrostem o około 150-200°C temperatury konwersji 50% CO, HC i NO_x w stosunku do wartości uzyskanych dla reaktora nowego,
- konwersja trzech omawianych substancji toksycznych w teście NEDC jest najniższa dla pierwszej fazy testu NEDC, czyli w chwili rozgrzewania się silnika. Rośnie ona stopniowo wraz z czasem trwania testu, co związane jest z nagrzewaniem się reaktora katalitycznego,
- maksymalne uzyskiwane poziomy konwersji dla faz testu II, III+IV oraz testu EUDC z badań na hamowni podwoziowej oraz z badań symulacyjnych były porównywalne. Jedynie w przypadku tlenków azotu dało się zauważyć nieznacznie większe rozbieżności w wynikach otrzymanych dla obu prób,
- deaktywacja reaktora powoduje spadek konwersji substancji szkodliwych w każdej z faz cyklu NEDC. Największe różnice występują w tym przypadku w fazie I testu dla reaktora badanego na hamowni silnikowej,

- duże rozbieżności w uzyskanych poziomach konwersji HC z badań na hamowni podwoziowej i silnikowej wynikają najprawdopodobniej ze zjawiska magazynowania węglowodorów w reaktorze w początkowej chwili od rozruchu zimnego silnika w teście NEDC. W przypadku badań symulacyjnych reaktor przed dokonaniem pomiarów pracował przez dłuższy czas w ustalonej temperaturze przez konwersja HC wynikała jedynie z jego zdolności utleniających,
- wzrost emisji substancji szkodliwych za deaktywowanym reaktorem katalitycznym pojazdu biorącego udział w teście NEDC wywołany jest głównie wzrostem T_{50} w stosunku do reaktora nowego,
- maksymalne rozbieżności w uzyskanych poziomach konwersji dla obu prób sięgają od 2 do 40% z tym, że największe rozbieżności występują głównie w I fazie testu NEDC,
- mała rozbieżność poziomów konwersji uzyskanych w obu próbach w fazach II, III+IV i testu EUDC pozwala prowadzić oszacowanie konwersji związków toksycznych w tych fazach testu NEDC na podstawie pomiarów prowadzonych na stanowisku hamownianym, w trakcie próby rozgrzewania reaktora katalitycznego.

Literatura

- [1] Ashley, C., *Future Strategies for Reducing Emissions*, Automotive Engineer 21, 1996.
- [2] Koltsakis, G., Stamatelos, A., *Catalytic Automotive Exhaust Aftertreatment*, Prog. Energy Combust. Sci. Elsevier Sci. Bol. 23, 1997.
- [3] *Heated Catalytic Converter*, Automotive Engineer, Vol. 102, No. 9, 1994.
- [4] Ashley, C., *Techniques for Future Emission Control at Bosch*, Automotive Engineer Vol. 21, No. 1, 1996.
- [5] Laurikko, J., *Exhaust Emission Performance of in Use TWC Cars at Low Ambient Temperatures*, FISITA World Automotive Congress, Paris, 1998.
- [6] Kidokoro, T., Hoshi, K., Hiraku, K., Satoya, K., Watanabe, T., Fujiwara, T., Suzuki, H., *Development of PZEV Exhaust Emission Control System*, SAE Technical Paper No. 2003-01-0817, 2003.

