

Kazimierz Koliński
Wojskowa Akademia Techniczna

WPLYW PODGRZEWANIA KATALIZATORA NA EMISJĘ TOKSYCZNYCH SKŁADNIKÓW SPALIN PODCZAS ROZRUCHU SILNIKA

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wyniki badań katalitycznego ograniczenia emisji tlenku węgla i węglowodorów podczas rozruchu silnika o ZS. Badania przeprowadzono na stanowisku w komorze klimatycznej w obniżonych temperaturach otoczenia: -7, -15 i -20 °C. W badaniach zastosowano podgrzewany trójfunkcyjny reaktor katalityczny platynowo-palladowy z monolitem metalowym. Metodyka prowadzonych badań polegała na pomiarze stężenia toksycznych składników spalin przed i za reaktorem katalitycznym. W wyniku przeprowadzonych badań określono wpływ podgrzewania reaktora na jego pracę w okresie rozruchu silnika.

Słowa kluczowe:

rozruch silnika, reaktor katalityczny.

WSTĘP

Rosnące wymagania w zakresie ograniczenia emisji szkodliwych składników spalin od pewnego czasu zaczęły również obejmować okresy pracy silnika o niestabilizowanym jego stanie termicznym, zwłaszcza rozruch i nagrzewanie w niskiej temperaturze otoczenia. Powodem tego jest stosunkowo duża emisja szkodliwych składników spalin powstających w tym okresie pracy silnika. Istniejące możliwości techniczne spełnienia wymagań przez silniki w warunkach normalnej pracy powodują, że zwiększa się coraz bardziej udział w całkowitej emisji tych składników w okresach pracy silnika o niestabilizowanym stanie termicznym.

Literatura dotycząca problemów tworzenia się toksycznych składników spalin, metod badania tej emisji oraz sposobów zmniejszenia emisji jest bardzo obszerna [1, 2, 4, 5]. Zagadnieniami toksyczności i składu emitowanych przez silniki spalin

zajmuje się wiele ośrodków, a wyniki badań są publikowane w dostępnej literaturze. Jednak uwzględniając wymagania obowiązujących przepisów, ogromna większość tych opracowań dotyczy pracy silników w temperaturze eksploatacyjnej, a więc w warunkach ustabilizowanego ich stanu termicznego lub uruchamianych w dodatniej temperaturze otoczenia. Standardem w obecnych samochodach są urządzenia do zmniejszania tej emisji, takie jak układ recyrkulacji spalin, niezbędny do zmniejszania udziałów tlenków azotu w spalinach, oraz reaktory katalityczne, w których zachodzi utlenianie produktów niepełnego spalania (CO, HC) i redukcja (NO_x). Problemami tymi Zakład Silników i Inżynierii Eksploatacji Pojazdów Mechanicznych WAT zajmuje się od ponad trzydziestu lat. W obecnie prowadzonych pracach coraz więcej uwagi poświęca się badaniom składu spalin z silników podczas ich uruchamiania i nagrzewania w niskiej, ujemnej temperaturze otoczenia [3]. Są to warunki sprzyjające bardzo dużej emisji produktów niepełnego spalania paliwa, to znaczy składników gazowych i cząstek stałych.

Ostatnio obserwuje się wzrost zainteresowania tą problematyką przez niektóre ośrodki krajowe i zagraniczne. W dużym stopniu są nią zainteresowane państwa skandynawskie, dla których są one szczególnie ważne ze względu na panujące w nich trudne warunki klimatyczne. Mają one ponadto bardzo dobre warunki naturalne do prowadzenia takich badań. Forsują tę problematykę na forum międzynarodowym i należy przypuszczać, że badania emisji związków toksycznych w bardzo niskiej temperaturze otoczenia w niedługim czasie będą obowiązkowe. Istotnym ograniczeniem w rozpowszechnianiu takich badań jest konieczność posiadania komory termoklimatycznej, umożliwiającej uzyskanie niskiej temperatury nie tylko podczas rozruchu, ale także podczas pracy przez dłuższy czas niezbędny do zrealizowania pełnego jeźdnego cyklu miejskiego.

Problemy rozruchu silników w niskiej temperaturze powinny być ściśle powiązane z badaniem toksyczności spalin i rozwojem silników spalinowych. Stąd też podjęto badania spalin silnika o zapłonie samoczynnym typu 4CT90 w zakresie emisji szkodliwych składników jako procesu towarzyszącego rozruchowi w niskiej temperaturze otoczenia. W trakcie badań określono wpływ temperatury otoczenia (i początkowej temperatury silnika) oraz podgrzewania reaktora katalitycznego na ograniczenie emisji w fazie rozruchu silnika.

STANOWISKO BADAWCZE I METODYKA BADAŃ

Badania eksperymentalne w obniżonych temperaturach otoczenia przeprowadzono na stanowisku w komorze klimatycznej znajdującej się w Stacji Badań Klimatycznych i Silników Spalinowych Laboratorium Pojazdów Mechanicznych

WAT. Obiektem badań był turbodoładowany silnik o zapłonie samoczynnym 4CT90-1. Jest to czterocylindrowy silnik z pośrednim wtryskiem paliwa do komory wirowej wykonanej w głowicy silnika. Silnik ten spełniał wymagania EURO II.

Ze względu na zakres badań opracowano i wykonano specjalną modułową konstrukcję układu wydechowego, umożliwiającą odpowiednie konfigurowanie położenia katalizatora w układzie. W modułach pomiarowych zamontowano sondy do poboru spalin oraz termopary do pomiaru temperatury spalin i powierzchni roboczych monolitów katalizatora. Do badań zastosowano zmodernizowany katalizator umożliwiający wstępne ogrzewanie monolitów reaktora przed i w czasie rozruchu silnika za pomocą grzejników elektrycznych.

Stężenie wybranych gazowych składników spalin mierzono za pomocą dwukanałowego analizatora spalin typu AG-X (z dwoma zintegrowanymi modułami detekcyjnymi typu IR i czujnikami tlenu) opracowanego specjalnie do realizacji tych badań. Analizator umożliwiał pomiar stężenia poszczególnych składników przed i za reaktorem katalitycznym, co pozwalało na określenie stopnia konwersji toksycznych składników spalin w reaktorze. Stan termiczny układów silnika określano za pomocą piętnastu termopar typu „K”. Proces przebiegu rozruchu silnika rejestrowano za pomocą specjalnego komputerowego zestawu pomiarowego.

Metodyka badań podczas rozruchu silnika polegała na pomiarze stężenia składników spalin wpływających i wypływających z reaktora katalitycznego, wraz z równoczesnym pomiarem parametrów rozruchu i pomiarem temperatur w wybranych układach silnika. Badania wpływu podgrzewania reaktora katalitycznego na emisję toksycznych składników spalin miały charakter porównawczy. Realizowano je w ściśle określonych cyklach pomiarowych.

Reaktor katalityczny podgrzewano wstępnie przed rozruchem do określonej temperatury powierzchni jego wkładu oraz w trakcie rozgrzewania silnika. Podczas badań układ wylotowy i katalizator były izolowane termicznie. Do podgrzewania reaktorów wykorzystano nagrzewnicę elektryczną z termowentylatorem oraz nagrzewnicę elektryczną umieszczoną przed pierwszym wkładem katalizatora. Nagrzewnice elektryczne podczas badań zasilano z zewnętrznej sieci energetycznej o napięciu 230V i częstotliwości 50Hz. Taki sposób podgrzewania reaktorów pozwalał w warunkach laboratoryjnych na łatwą zmianę mocy cieplnej nagrzewnic.

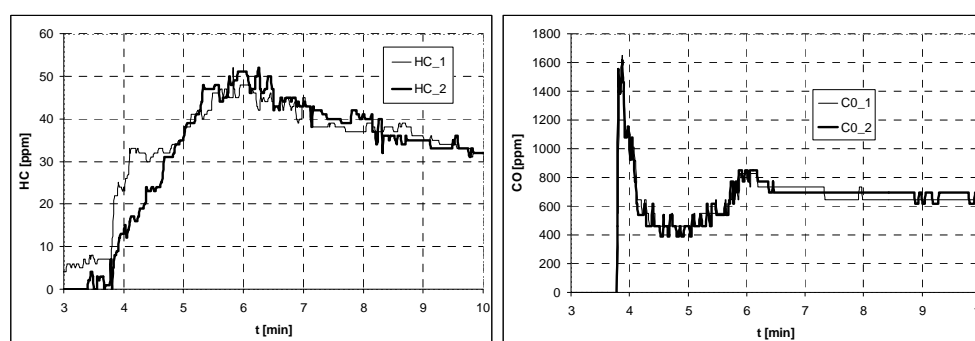
WYNIKI BADAŃ

Przedstawiane w artykule wyniki badań stanowią zaledwie niewielką część przykładowych wyników z szerokiego programu badawczego obejmującego tylko badania na stanowisku w komorze klimatycznej. Z uwagi na ograniczone ramy

publikacji nie zostaną przedstawiane tutaj wyniki z wcześniej przeprowadzonych badań na hamowni silnikowej (w dodatniej temperaturze otoczenia), gdzie sprawdzano działanie prototypów badanych reaktorów w stanach ustalonych (charakterystyki prędkościowe i obciążeniowe) oraz w stanach nieustalonych. Przedstawiono jedynie badania wykonane w komorze termoklimatycznej dla trzech temperatur otoczenia: -7 , -15 i -20°C dla silnika w stanie zimnym.

W badaniach zastosowano reaktor katalityczny platynowo-palladowy z dwoma monolitami metalowymi zamontowanymi szeregowo w jednej obudowie. Oba monolity reaktora miały taką samą konstrukcję (liczba kanalików: 500 cpsi, ładunek: $1\text{g}/\text{dm}^3$ o stosunku Pt:Pd/2:1).

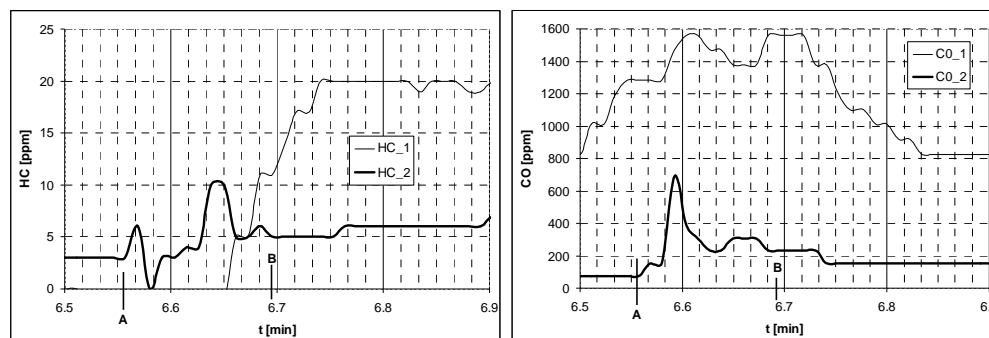
Na rysunku 1. przedstawiono wyniki pomiarów stężeń HC i CO przed i za reaktorem katalitycznym podczas zimnego rozruchu i pracy na biegu jałowym. W legendach wykresów indeksem $_1$ oznaczono wartości stężeń przed reaktorem, natomiast indeksem $_2$ za reaktorem. Czas tej próby rozruchu silnika trwał 8 s.



Rys. 1. Stężenia węglowodorów i tlenku węgla przed i za reaktorem katalitycznym podczas rozruchu i nagrzewania się silnika 4CT90 na biegu jałowym w temperaturze otoczenia -7°C bez podgrzewania reaktora

Na wykresach widoczny jest charakterystyczny wzrost emisji tlenku węgla i węglowodorów w czasie uruchamiania silnika i stopniowa jej stabilizacja po upływie około trzech minut przy pracy na biegu jałowym z prędkością obrotową około 830 obr/min. Widoczny jest brak działania reaktora katalitycznego. Stężenia tlenku węgla i węglowodorów przed i za reaktorem katalitycznym są podobne. Przyczyną braku aktywności reaktora była zbyt niska temperatura spalin, dochodząca zaledwie do 80°C po uruchomieniu silnika. Reakcje utleniania węglowodorów i tlenku węgla zachodzą dopiero, gdy temperatura powierzchni monolitu reaktora jest wyższa niż 250°C . Do momentu osiągnięcia tej temperatury substancje szkodliwe wytwarzane przez silnik nie ulegają konwersji i przyczyniają się do zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego.

Jedną z metod uaktywnienia reaktora jest jego podgrzanie do wymaganej temperatury pracy przed rozruchem silnika za pomocą grzejników elektrycznych. Na rysunku 2. przedstawiono wyniki pomiarów stężeń HC i CO przed i za reaktorem katalitycznym platynowo-palladowym podgrzanym do temperatury około 400 °C, mierzonej na powierzchni wlotowej pierwszego monolitu. Podgrzewanie wykonano za pomocą nagrzewnicy z termowentylatorem o mocy 1500 W.



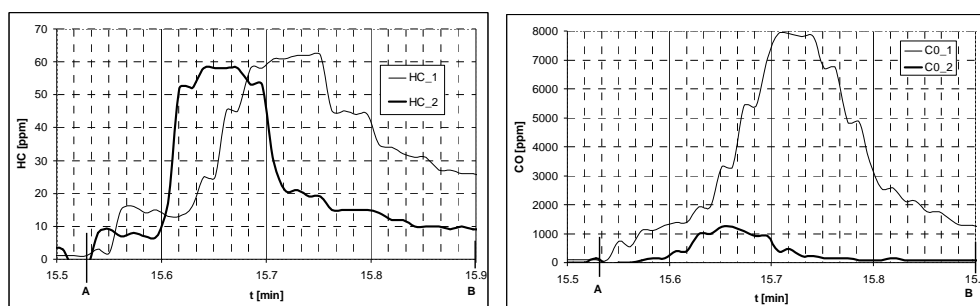
Rys. 2. Stężenie węglowodorów HC i tlenku węgla CO przed i za reaktorem katalitycznym (podgrzanym wstępnie do 400 °C) podczas rozruchu i nagrzewania się silnika 4CT90 w temperaturze -7 °C

W tej próbie rozruch silnika trwał 10 s. Okres trwania rozruchu wyróżniono literami A i B, gdzie przez A oznaczono czas włączenia rozrusznika, a przez B — czas wyłączenia rozrusznika. Oznaczenia te naniesiono na wykresy natężeń składników spalin dla identyfikacji okresu uruchamiania silnika. W okresie rozruchu charakterystyczny jest duży wzrost stężenia tlenków węgla w spalinach przed katalizatorem w czasie rozruchu silnika. Obecność w spalinach przed reaktorem tlenków węgla i węglowodorów przed rozruchem silnika (przed punktem A) jest wynikiem zachodzących procesów spalania osadów w wyniku podgrzewania reaktora katalitycznego. Po włączeniu rozrusznika wyraźnie widoczne są zmiany natężeń wszystkich mierzonych składników spalin. Przy pracy na biegu jałowym poziom emisji tych składników obniżył się i ustabilizował praktycznie na stałym poziomie. Szczególnie wyraźnie widoczna jest duża redukcja tlenku węgla w spalinach z poziomu około 1600 ppm do poziomu około 300 ppm.

W miarę obniżania temperatury otoczenia wydłużał się czas rozruchu silnika. Przykładowo, w temperaturze otoczenia -15 °C uruchomienie silnika nastąpiło po 22 s, natomiast w temperaturze -20 °C dopiero po 84 sekundach.

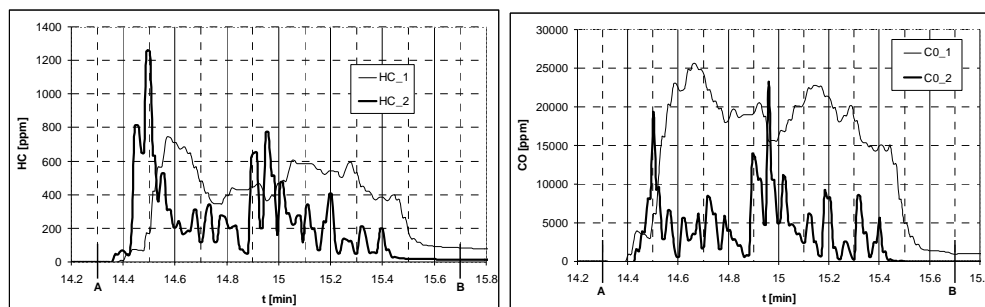
W temperaturze -15 °C rozruch silnika był znacznie trudniejszy niż w -7 °C. Przez większą jego część występowały cyklicznie w cylindrach silnika samozapłony,

które dopiero pod koniec pozwoliły na podjęcie przez silnik samodzielnej pracy. Efektem takiego procesu rozruchu była duża emisja węglowodorów (do 60 ppm) i tlenków węgla (do 8000 ppm), co przedstawiono na rysunku 3. Różnice stężeń poszczególnych składników przed i za katalizatorem świadczą o jego aktywności. Stopień konwersji HC i CO jest zmienny w czasie rozruchu i zależy od jego przebiegu. Najwyższy jest w drugiej połowie rozruchu, gdzie występowały już dosyć regularne zapłony w cylindrach. Natężenie CO zmniejszyło się z 8000 do 100 ppm, natomiast HC z 60 do 20 ppm.



Rys. 3. Stężenie węglowodorów HC i tlenku węgla CO przed i za reaktorem katalitycznym (podgrzany wstępnie do 400 °C) podczas rozruchu silnika 4CT90 w temperaturze $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$

W temperaturze $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ rozruch silnika był bardzo trudny i długotrwały. Efektem bardzo trudnego procesu rozruchu była duża emisja tlenków węgla (do 25000 ppm) i węglowodorów (do 700 ppm), co przedstawiono na rysunku 4. Początek pracy reaktora widoczny jest po około 6 s. Wyraźnie widoczny jest spadek stężenia HC i CO za reaktorem. Przebiegi wykresów stężeń wskazują na bardzo dużą pulsację wartości stężeń składników spalin za reaktorem. Aktywność reaktora determinowana była przebiegiem procesu rozruchu (występującymi lub niewystępującymi zapłonami w cylindrach).



Rys. 4. Stężenie węglowodorów HC i tlenku węgla CO przed i za reaktorem katalitycznym (podgrzany wstępnie do 400 °C) podczas rozruchu silnika 4CT90 w temperaturze $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$

WNIOSKI

W okresie zimnego rozruchu i w fazie nagrzewania silnika o ZS na biegu jałowym zastosowany reaktor katalityczny nie pracował z powodu stosunkowo niskiej temperatury spalin, której wartość nie przekraczała 80 °C we wlocie do reaktora.

Podgrzewanie grzejnikami elektrycznymi reaktora katalitycznego w warunkach zimnego rozruchu silnika o ZS jest dosyć skuteczną metodą obniżenia emisji tlenu węgla i węglowodorów, lecz wymaga znacznej ilości energii elektrycznej.

W początkowym okresie rozruchu silnika występuje charakterystyczny duży wzrost stężenia HC i CO. W miarę rozwijania się zapłonów w cylindrach w czasie rozruchu stężenia tych składników maleją. Podczas trudnego i długotrwałego uruchamiania silnika natężenia HC i CO wykazują bardzo duże wahania determinowane przebiegiem procesu rozruchu (występującymi nieregularnie zapłonami).

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bielaczyc P., Merkisz J., Pielecha J., *Stan cieplny silnika spalinowego a emisja związków szkodliwych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2001.
- [2] Brzeżański M. D., *Emisja toksycznych składników spalin w fazie nagrzewania się silnika o zapłonie iskrowym z zastosowaniem akumulatora ciepła*, Monografia 326, Politechnika Krakowska, Kraków 2006.
- [3] Koliński K., *Opracowanie metod ograniczenia emisji toksycznych składników spalin podczas pracy silnika w niskiej temperaturze otoczenia*, sprawozdanie z pracy badawczej PBG nr 360/WAT/05, WAT, Warszawa 2009.
- [4] Kruczyński S., *Trójfunkcyjne reaktory katalityczne*, Instytut Technologii Eksploatacji, Warszawa — Radom 2004.
- [5] Rokosch U., *Układy oczyszczania spalin i pokładowe systemy diagnostyczne samochodów OBD*, WKŁ, Warszawa 2007.

INFLUENCE OF HEATING UP CATALYTIC REACTOR ON EMISSION TOXIC FUME COMPONENTS DURING COLD START-UP OF SELF-IGNITION ENGINE

ABSTRACT

This article presents the results of tests of catalytic reduction in emission of carbon oxide and hydrocarbon during a self-ignition engine start-up. The tests were performed at the station in a climate chamber at lowered ambient temperatures: -7 , -15 and -20 °C. A heated three-function platinum-palladium catalytic reactor with a metal monolith was used in the tests. The test methodology included measuring toxic fume concentrations upstream and downstream the catalytic reactor. As a result of the tests the influence of heating up the reactor on its operation during the self-ignition engine start-up was identified.

Keywords:

engine start up, catalytic reactor.

Recenzent prof. dr hab. inż. Stanisław Radkowski