

Kazimierz Koliński

Badanie funkcjonowania reaktora katalitycznego w symulowanym teście UDC silnika o ZS

JEL: L62 DOI: 10.24136/atest.2018.361

Data zgłoszenia: 19.11.2018 Data akceptacji: 15.12.2018

W artykule przedstawiono wyniki badań funkcjonowania podgrzewanego reaktora katalitycznego na stanowisku dynamometrycznym podczas realizacji symulowanego testu miejskiego UDC. 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 z reaktorem katalitycznym przy jednoczesnym pomiarze parametrów rozruchu i pomiarze temperatur w wybranych 15 punktach silnika oraz reaktora katalitycznego. Emisje tlenku węgla i węglowodorów próbowano ograniczyć poprzez wstępne podgrzanie reaktora katalitycznego przed i podczas rozruchu za pomocą grzejnika elektrycznego.

Wstęp

Problematyka tworzenia się toksycznych składników spalin, metod badania ich emisji oraz sposobów zmniejszenia emisji jest bardzo szeroko opisana w literaturze [1, 2]. Standardem w obecnych pojazdach w tym autobusów są urządzenia do zmniejszania tej emisji, takie jak układy recyrkulacji spalin, AdBlue, niezbędne do zmniejszania udziałów tlenków azotu w spalinach oraz reaktory katalityczne, w których zachodzi utlenianie produktów niepełnego spalania (CO, HC) lub ich redukcja (NOx). Urządzenia te są ciągle doskonalone i stały się podstawowym wyposażeniem współczesnych tłokowych silników spalinowych. Niezależnie od tego znaczne zmiany następują także w systemach tworzenia mieszanki i spalania. Powszechne stają się wysokociśnieniowe zasobnikowe systemy tworzenia mieszanki (tzw. Common Rail), które umożliwiają wieloetapowy wtrysk paliwa (nawet do 5 dawek na cykl pracy silnika), zapewniający jak najniższą emisję związków toksycznych i najlepszą ekonomiczność pracy silnika.

W publikowanych materiałach znacznie mniej uwagi poświęca się badaniom składu spalin z silników podczas ich uruchamiania i nagrzewania w niskiej, ujemnej temperaturze otoczenia. Są to warunki przyjąłające 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 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 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.

Podczas rozruchu zimnego silnika bardzo wzrasta zapotrzebowanie na energię elektryczną czerpaną z akumulatora, którego

pojemność jest dodatkowo zmniejszona w niskiej temperaturze. Dlatego podczas zimnego rozruchu silnika i jego wstępnego rozgrzania, konieczne jest właściwe zarządzanie energią tak, aby można było uzyskać pewny i niezawodny rozruch silnika przy niskiej emisji toksycznych składników spalin.

Badania były prowadzone dwuetapowo, na dwóch stanowiskach. Pierwszy etap został zrealizowany na hamowni silnikowej, gdzie sprawdzano działanie układów silnika z prototypami badanych urządzeń, a bardzo dokładna aparatura do analizy składu spalin (analizator CEB II) pozwoliły na dokładną ocenę wykonanych urządzeń. Drugi etap badań był realizowany na stanowisku rozruchowym umieszczonym w komorze klimatycznej. Silnik na tym stanowisku był obciążony jedynie oporami własnymi. Komora ta umożliwiała badania w temperaturze do -25°C , a jej duża objętość pozwalała na stosunkowo długą pracę w obniżonej temperaturze. Badania silnika z zaprojektowanymi zmianami przeprowadzono do temperatury do -25°C . W niższej temperaturze otoczenia uruchomienie badanego silnika było niemożliwe [3, 4].

Badania na hamowni przeprowadzono w stanach nieustalonych podczas odtwarzania warunków pracy silnika zbliżonych do testu UDC. Realizację testu ograniczono do warunków jazdy miejskiej, gdyż są one szczególnie niekorzystne dla tego środowiska, ze względu na dużą liczbą codziennie użytkowanych w mieście samochodów.

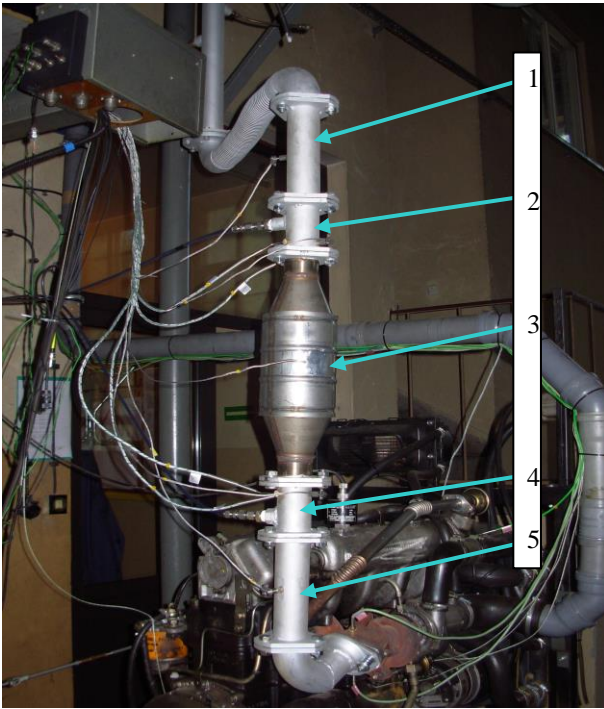
Badania samych silników, na stanowiskach dynamometrycznych nie w pełni odpowiadały wymaganiom testu UDC, który opracowano do badań całych pojazdów na hamowni podwoziowej, jednak pozwoliły na wstępne określenie efektywności proponowanych zmian bez konieczności badania całego samochodu. Badania takie prowadzono w Zakładzie Silników już w latach siedemdziesiątych, z pozytywnym rezultatem, a w późniejszym okresie opracowano metodykę badania silników w stanach nieustalonych odpowiadających pracy w maszynach roboczych. Badania wykonywane na zautomatyzowanej hamowni były bardzo powtarzalne.

Jako obiekt badań był wykorzystany silnik 4CT90, który umieszczono na odpowiednio wyposażonym stanowisku dynamometrycznym. Nie jest to silnik w pełni nowoczesny, zasilany za pomocą rzędowej pompy wtryskowej. Posiada, jednak wszystkie układy niezbędne do realizacji pracy: turbosprężarkę, układ recyrkulacji spalin i dlatego mógł być dobrym obiektem badań do tego celu.

1. Stanowiska badawcze

Badania eksperymentalne w obniżonej temperaturze otoczenia przeprowadzono na stanowisku w komorze klimatycznej znajdującej się w Stacji Badań Klimatycznych i Silników Spalinowych Laboratorium Pojazdów Mechanicznych WAT. Układ ziębniczy komory posiada zdolność do osiągnięcia temperatury powietrza do -45°C [3].

Natomiast badania eksperymentalne w stanach nieustalonych przeprowadzono hamowni przedstawionej na rys. 1.



Rys. 1. Stanowisko dynamometryczne z silnikiem 4CT90.
Oznaczenia: 1, 5 - moduły dystansowe, 2, 4 – moduły pomiarowe, 3- reaktor katalityczny.

Obiektem badań był turbodoładowany silnik o zapłonie samoczynnym 4CT90-1 produkcji Wytwórni Silników Wysokoprężnych „ANDORIA” S.A. Jest to czterocylindrowy silnik z pośrednim wtryskiem paliwa do komory wirowej (RICARDO COMET VB) wykonanej w głowicy silnika.

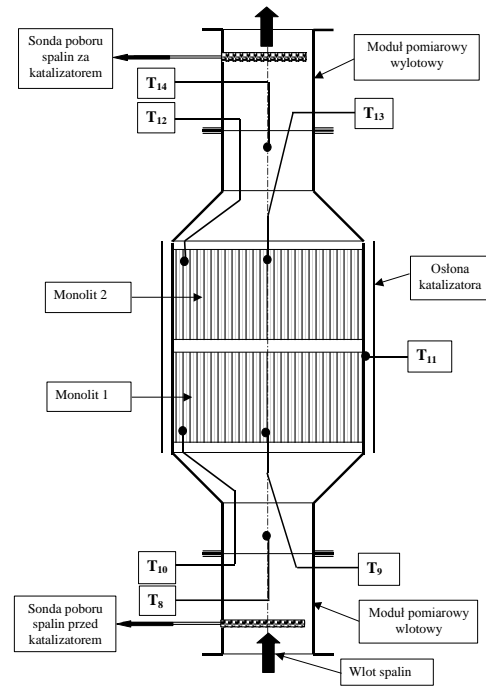
Podstawowe dane techniczne silnika są następujące:

- pojemność skokowa – 2417cm³;
- skok tłoka / średnica cylindra - 95mm/90mm;
- stopień sprężania - 21;
- moc znamionowa - 66kW przy 4100obr/min;
- maksymalny moment obrotowy - 195Nm przy 2500obr/min;
- pompa wtryskowa - rzędowa, tłoczkowa z własnym napędem wyposażona w korektor dawkowania oraz w pneumatyczny korektor dawkowania;
- przestawiacz kąta początku wtrysku - automatyczny, mechaniczny;
- turbosprężarka - promieniowa z zaworem upustu spalin, ciśnienie doładowania 60-80kPa w zakresie prędkości obrotowej 2000 - 4100obr/min.

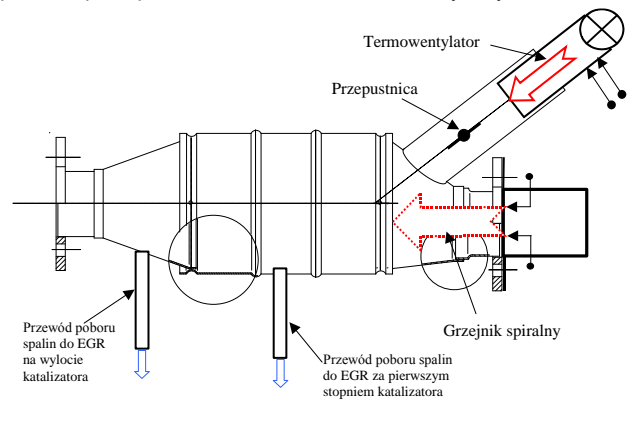
Silnik ten spełniał wymagania EURO II i nie dysponował żadnym układem zmniejszającym emisję podczas zimnego rozruchu i w fazie nagrzewania.

Ze względu na przyjęty zakres badań opracowano i wykonano specjalną modułową konstrukcję układu wydechowego silnika, umożliwiającą odpowiednie konfigurowanie położenia reaktora katalitycznego w układzie (rys. 2).

W badaniach zastosowano reaktor katalityczny platynowo-palladowy z dwoma monolitami metalowymi ustawionymi szeregowo w jednej obudowie (rys. 3). Oba monolity tego reaktora miały taką samą konstrukcję (ilość kanałków: 500 cpsi, ładunek: 1g/dm³ o stosunku Pt:Pd/2:1). Dla uproszczenia i przejrzystości publikacji przyjęto następujące oznaczenie tego reaktora: **Pt/Pd**. Zasadniczą część układu wydechowego składała się z reaktora katalitycznego, dwóch modułów pomiarowych oraz dwóch modułów dystansowych.



Rys. 2 Schemat rozmieszczenia czujników temperatury T_i i sond poboru spalin podczas badań reaktorów katalitycznych



Rys. 3. Reaktor katalityczny z mimośrodowym stożkiem, z przyspawanymi kołnierzami przyłączeniowymi, króćcem do podłączenia grzałki i króćcami do podłączenia układu recyrkulacji spalin EGR. (Pt/Pd – reaktor platynowo-palladowy o ładunku: 1g/dm³ w stosunku Pt:Pd/2:1, ilość kanałków: 500 cpsi).

Poszczególne moduły zakończone były kołnierzami umożliwiającymi łatwe ich łączenie. W modułach pomiarowych zamontowano sondy do poboru spalin oraz termopary do pomiaru temperatury spalin i powierzchni roboczych monolitów reaktora. Zastosowanie modułów pomiarowych umożliwiło wymianę reaktorów w trakcie pomiarów bez konieczności demontażu układów pomiarowych. Do badań zastosowano zmodernizowany reaktor katalityczny 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 zadania badawczego. Analizator umożliwiał pomiar stężenia poszczególnych składników przed i za reaktorem katalitycznym, co pozwalało na określenie stopnia konwersji toksycznych składników spalin w reaktorze. Spaliny do analizatora doprowadzane były z dwóch sond poboru spalin zamontowanych w modułach pomiarowych układu wydechowego. Pracą

analizatora sterował komputer. Komputerowy zestaw analizatora umożliwił cyfrowy zapis wyników pomiarów z poszczególnych cykli w plikach tekstowych, które zawierały następujące wielkości:

- data i czas pomiaru;
- stężenie tlenku węgla w [ppm];
- stężenie dwutlenku węgla w [ppm];
- stężenie węglowodorów w [ppm];
- stężenie tlenu w [%].

Nie rejestrowano stężenia tlenków azotu, ponieważ ich stężenie w spalinach w warunkach zimnego rozruchu silnikach jest na bardzo niskim poziomie [2].

W przeprowadzonych badaniach, mierzono stężenia poszczególnych składników spalin w sposób ciągły, rejestrując mierzone wartości stężeń w odstępach co 0,68 s. Stan termiczny układów silnika określano za pomocą 15 termopar typu „K”. Termopary podłączono do komputerowego systemu akwizycji danych, który pozwalał na ciągły pomiar temperatur: otoczenia, spalin, reaktora katalitycznego, płynu chłodzącego, tulei cylindrowej, oleju smarowego i powietrza w układzie wlotowym. Temperaturę spalin mierzono w kolektorze wylotowym, za turbiną, we wlocie i w wylocie reaktora katalitycznego. Temperaturę reaktora katalitycznego mierzono:

- na wejściowej powierzchni monolitu metalowego I;
- na wyjściowej powierzchni monolitu metalowego II;
- na obudowie monolitu metalowego.

System pomiaru temperatury stwarzał możliwość pomiaru temperatury jednocześnie we wszystkich punktach pomiarowych i umożliwił ciągłą rejestrację wyników pomiarów w postaci zapisu cyfrowego na twardym dysku komputera z możliwością podglądu mierzonych wielkości. Proces przebiegu rozruchu silnika rejestrowano za pomocą specjalnego komputerowego zestawu pomiarowego, umożliwiającego ciągły pomiar natężenia prądu pobieranego przez rozrusznik, natężenia prądu pobieranego przez świece żarowe oraz napięcia w instalacji elektrycznej silnika.

2. Metodyka badań

Badania silnika i katalizatorów prowadzono zgodnie z wytycznymi odnośnie dopuszczania pojazdów do ruchu po drogach europejskich w ramach przeprowadzonych procedur homologacyjnych. Obecne przepisy europejskie, dotyczące pojazdów samochodowych o dopuszczalnej masie całkowitej do 3,5 tony odnoszą się do emisji kilku substancji zanieczyszczających: CO, HC, NO_x i PM, podawanych w g/km. Oznacza to, że pojazdy sklasyfikowane jako pojazdy kategorii M1 i N1 muszą posiadać przynajmniej cztery koła, masę własną powyżej 400kg i muszą osiągać prędkość jazdy powyżej 50 km/h. Dlatego też pojazdami takimi są na ogół samochody osobowe (PC – Passenger Cars) i dostawcze (LDV – Light Duty Vehicle), wyposażone zarówno w silniki ZI, jak i silniki ZS (LDD - Light Duty Diesel). Ponieważ badany silnik 4CT90 wykorzystywany jest głównie do napędu samochodu Lublin należącego do grupy samochodów ciężarowych o całkowitej masie dopuszczalnej nie przekraczających 3,5 tony, w badaniach zastosowano właśnie powyższą procedurę.

Procedury homologacyjne w badaniach typu I przewidują przeprowadzenie odpowiednich testów jezdnych, przeprowadzanych na hamowniach podwoziowych, odwzorowujących warunki ruchu związane ze współpracą kół napędowych z nawierzchnią oraz oporami jazdy. Europejskim aktem prawnym opisującym procedury przeprowadzania testów jezdnych jest Dyrektywa 98/69 EC. Zmieniła ona przepisy dotyczące cykli jezdnych obowiązujących od roku 2000, w których to test jezdny EDC (European Drive Cycle) zaczynał się po 40 sekundach pracy początkowej od momentu rozruchu zimnego silnika, podczas której nie była mierzona emisja spalin. Jest to najistotniejsza zmiana, bowiem sam układ testu składający się z

dwóch części: pierwszej zwanej cyklem miejskim (UDC – Urban Drive Cycle) i drugiej nazywanej pozamiejskim cyklem miejskim (EUDC – Extra Urban Drive Cycle) pozostał bez zmian.

Pierwsza część testu (UDC) składa się z czterech podstawowych miejskich cykli, z których każdy zawiera 15 faz odzwierciedlających bieg jałowy, przyspieszanie, jazdę ciągłą i opóźnianie. Każdy podstawowy cykl miejski jazdy trwa 195 sekund, średnia prędkość podczas testu wynosi 19 km/h, a teoretyczna przebyta droga podczas każdego cyklu stanowi 1,013 km, co daje ogólnie 4,052 km przejechanych podczas tej części badań.

Podczas badań realizowanych w niniejszej publikacji nie prowadzono badań na hamowni podwoziowej. Silnik ustawiony był na stanowisku dynamometrycznym. Ponieważ nie był obciążony ani masą, ani masowymi momentami bezwładności pojazdu dla uzyskania zbliżonych warunków badań jak w testach na hamowni podwoziowej, wprowadzono symulowane obciążenie silnika hamulcem dynamometrycznym odpowiednio do zmieniających się podczas testu UDC warunków ruchu pojazdu po drodze. Dla wyznaczenia obciążenia badanego silnika uwzględniono: opór toczenia, opór aerodynamiczny i opór bezwładności samochodu Lublin. Pominęto opór wzniesienia zakładając, że pojazd porusza się po drodze poziomej.

W badaniach na hamowni silnik 4CT90 był hamowany hamulcem dynamometrycznym. Brak było pojazdu, który obciążałby silnik zarówno oporami drogi, oporami aerodynamicznymi jak i oporami bezwładności. Dodatkowym problemem był brak skrzyni przekładniowej, dostosowującej prędkość silnika do prędkości i obciążenia pojazdu. Zmiany prędkości obrotowej i obciążenia musiały uwzględnić brak zmian przełożeń w skrzyni przekładniowej. Moment obciążający silnik wynikał z wartości siły napędowej na kołach i promienia dynamicznego koła napędowego. Siła napędowa była sumą siły oporu toczenia, siły oporu aerodynamicznego oraz siły oporu bezwładności.

Podczas badań na stanowisku dynamometrycznym układem obciążającym silnik był hamulec elektrowirowy Schenck W 230 o maksymalnej mocy 230kW. Hamulec działał na zasadzie wzajemnego oddziaływania stałego pola magnetycznego stojana oraz pola magnetycznego wirnika, wywołanego przez prądy wirowe Foucaulta, indukujące się w wirniku. Moment obrotowy silnika był mierzony za pomocą przetwornika tensometrycznego. Hamulec wzorcowano za pomocą obciążników umieszczanych na wsporniku dźwigni nad czujnikiem tensometrycznym. Prędkość obrotową silnika mierzono za pomocą przetwornika impulsowego z wieńcem zębatym znajdującym się na wale hamulca.

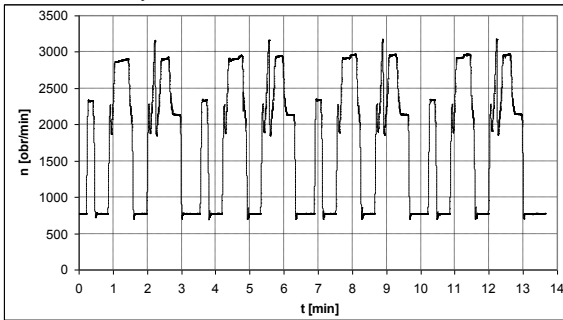
Do podgrzewania reaktora wykorzystano nagrzewnice elektryczne z termowentylatorem (z nadmuchem powietrza z zewnątrz) oraz również spiralną nagrzewnicę elektryczną umieszczoną przed pierwszym wkładem monolitycznym reaktora. Nagrzewnice elektryczne zasilano z zewnętrznej sieci energetycznej o napięciu 230V i częstotliwości 50Hz. Taki sposób podgrzewania reaktorów pozwalał w warunkach laboratoryjnych na dowolną zmianę mocy cieplnej nagrzewnic za pomocą autotransformatora.

3. Wyniki badań

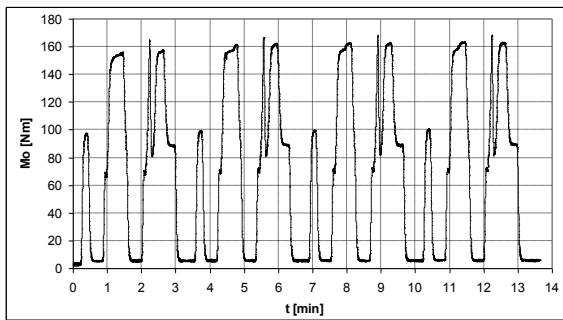
Przedstawiane w tej publikacji wyniki badań stanowią tylko część przykładowych wyników z szerokiego programu badawczego obejmującego swym zakresem badania na stanowisku na stanowisku dynamometrycznym. Z uwagi na ograniczone ramy publikacji zostały przedstawiane tutaj tylko niektóre wybrane wyniki z przeprowadzonych 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 (symulowany test miejski UDC).

Napisany program sterujący układem obciążania stanowiska dynamometrycznego umożliwił zrealizowanie czterech cykli testu miejskiego UDC. Przebieg zmian prędkości i momentu obrotowego silnika 4CT90 podczas realizacji czterech cykli testu miejskiego przedstawiono na rys. 4 i 5.



Rys. 4. Przebieg prędkości obrotowej silnika 4CT90 podczas realizacji czterech cykli testu miejskiego UDC na stanowisku dynamometrycznym

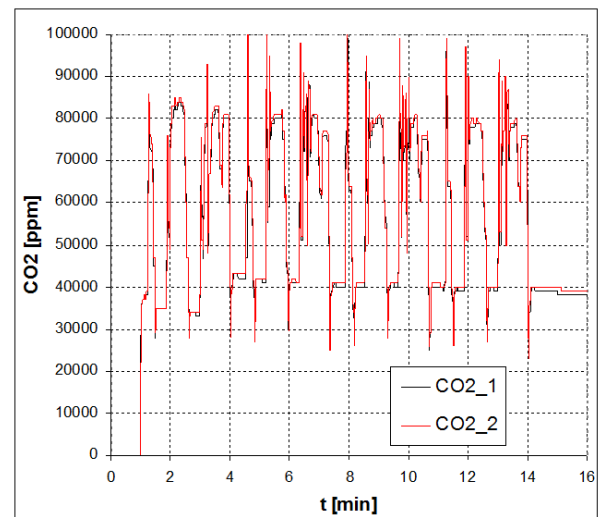
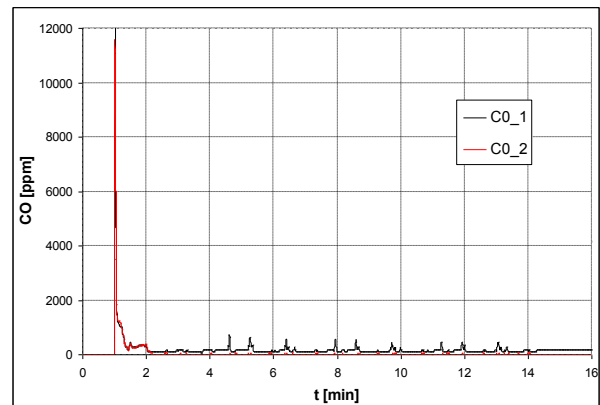
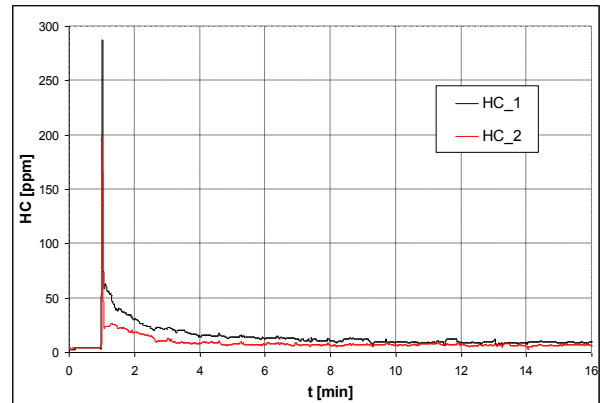
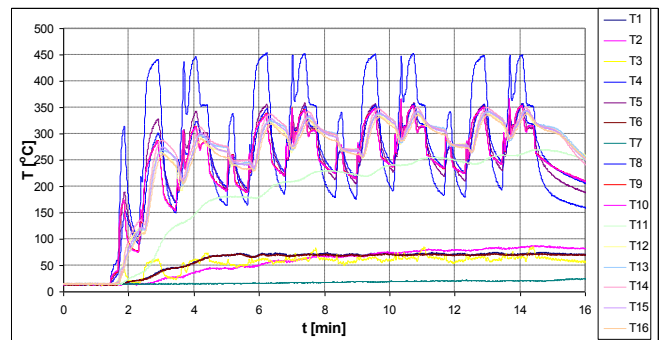


Rys. 5. Przebieg momentu obrotowego silnika 4CT90 podczas realizacji czterech cykli testu miejskiego UDC na stanowisku dynamometrycznym

Analiza zarejestrowanych przebiegów prędkości obrotowej silnika i momentu obrotowego wykazała bardzo dobrą ich powtarzalność we wszystkich czterech cyklach. Niewielkie różnice można zauważyć, porównując na przykład maksymalne wartości prędkości i momentu obrotowego w pierwszym cyklu z pozostałymi cyklami. Spowodowane jest to nagrzewaniem się silnika. Dopiero po pierwszym cyklu silnik osiągnął właściwe temperatury eksploatacyjne, co pokazują zarejestrowane temperatury: cieczy chłodzącej T_1 i oleju T_2 przedstawione na rys. 6 i 7.

Przykładowe wyniki pomiarów temperatur i stężeń składników spalin dla reaktora katalitycznego platynowo-palladowego bez wstępnego podgrzewania przedstawiono na rys. 6.

W legendach wykresów indeksem $_1$ oznaczono wartości stężeń przed reaktorem, natomiast indeksem $_2$ oznaczono wartości stężeń za reaktorem. Na przebieg funkcjonowania reaktora katalitycznego miała wpływ temperatura spalin, która zmieniała się w czasie testu zależnie od prędkości obrotowej silnika i jego obciążenia. Wyraźnie widoczny jest charakterystyczny piłokształtnie zmienny przebieg temperatur w katalizatorze, podobny do zmian prędkości obrotowej i momentu obrotowego. Maksymalna temperatura spalin wystąpiła przed turbiną (temp. T_8 na rys. 6). Jej wartość dochodziła do ok. 450°C . Temperatury w katalizatorze osiągnęły swe maksymalne wartości na poziomie 350°C dopiero w drugim cyklu testu.

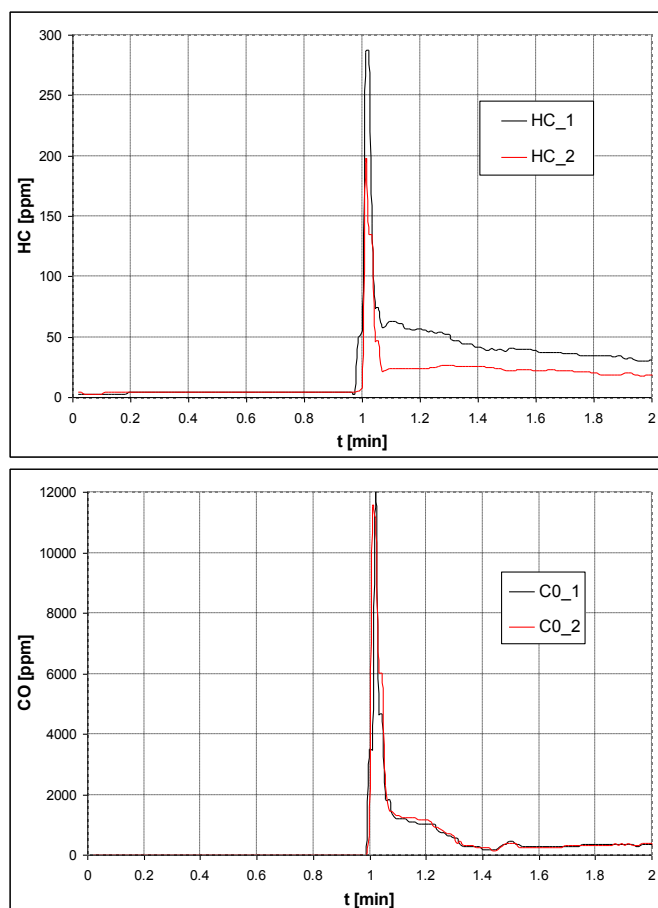


Rys. 6. Przebiegi temperatur i stężeń składników spalin podczas badań katalizatora platynowo-palladowego w teście miejskim UDC (bez podgrzewania wstępnego).

Opis oznaczeń temperatur: T_1 - temperatura cieczy chłodzącej w silniku, T_2 - temperatura oleju silnikowego, T_3 - temperatura powietrza w kolektorze dolotowym, T_4 - temperatura spalin przed turbiną, T_5 - temperatura spalin za turbiną, T_6 - temperatura tulei cylindrowej, T_7 - temperatura otoczenia (na zewnątrz silnika), T_8 - temperatura

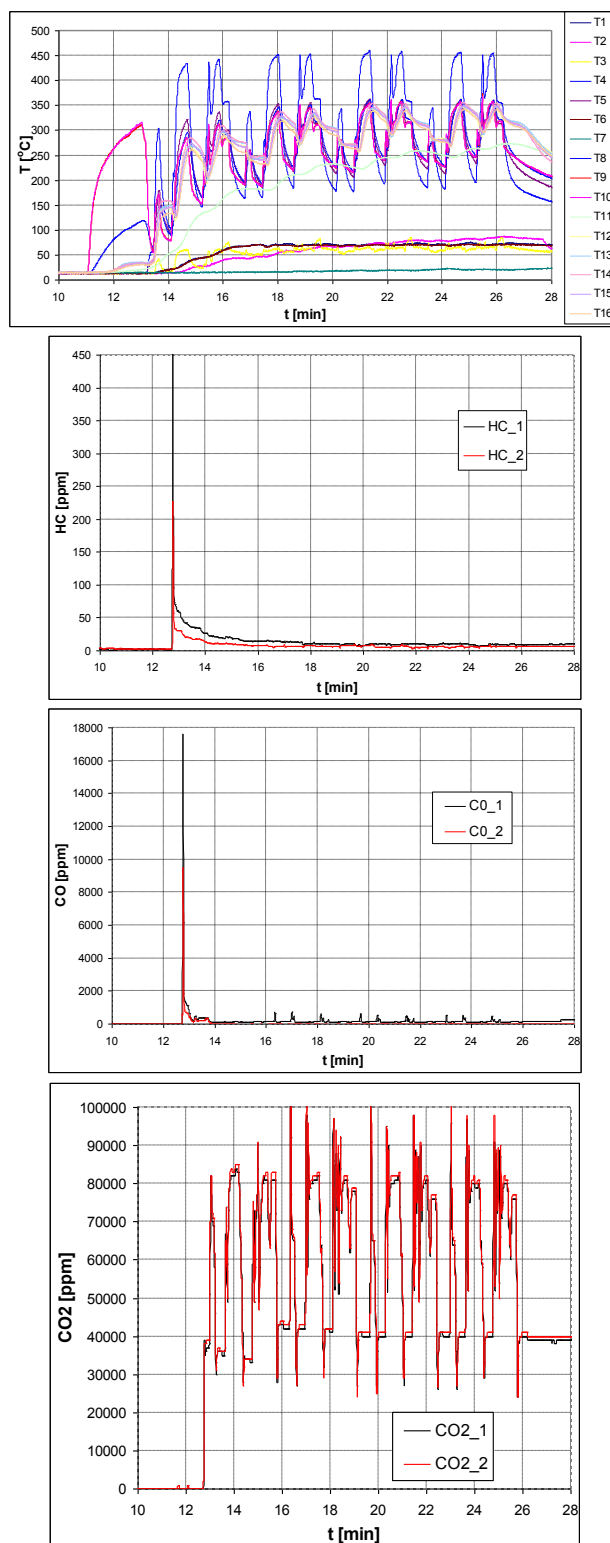
spalin we wlocie do katalizatora, T_9 - temperatura powierzchni wlotowej pierwszego monolitu katalizatora w środkowej strefie, T_{10} - temperatura powierzchni wlotowej pierwszego monolitu katalizatora w bocznej strefie, T_{11} - temperatura zewnętrznej powierzchni obudowy katalizatora, T_{12} - temperatura powierzchni wylotowej drugiego monolitu katalizatora w bocznej strefie, T_{13} - temperatura powierzchni wylotowej drugiego monolitu katalizatora w środkowej strefie, T_{14} - temperatura spalin w wylocie katalizatora, T_{15} - temperatura spalin w I module dystansowym, T_{16} - temperatura powierzchni grzałki spiralnej.

Z analizy wykresów wynika charakterystyczny skokowy wzrost stężenia HC i CO podczas pierwszego cyklu – gdy wystąpił wzrost prędkości obrotowej i obciążenia silnika, co wyraźnie zilustrowano na rys. 7 w czasie dwóch pierwszych minut testu. W dalszych cyklach testu stężenie węglowodorów wyraźnie zmniejszyło się. Podobny przebieg miała emisja tlenku węgla. W reaktorze katalitycznym wystąpiło częściowe utlenianie węglowodorów, natomiast utlenianie tlenku węgla nie występowało.



Rys. 7. Zestawienie stężeń składników spalin: HC i CO w początkowym okresie (w czasie 2 minut) badań katalizatora platynowo-palladowego w teście miejskim UDC – bez podgrzewania

Na rys. 8. przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów temperatur i stężeń składników spalin dla reaktora katalitycznego platynowo-palladowego wstępnie podgrzanego. W tej próbie pierwszy stopień reaktora został podgrzany przez 2 minuty za pomocą grzałki elektrycznej (z wentylatorem) o mocy 1500W do temperatury 310°C. W wyniku wstępnego podgrzewania katalizatora uzyskano zmniejszenie stężenia tlenku węgla w pierwszym cyklu testu na wyjściu z reaktora.



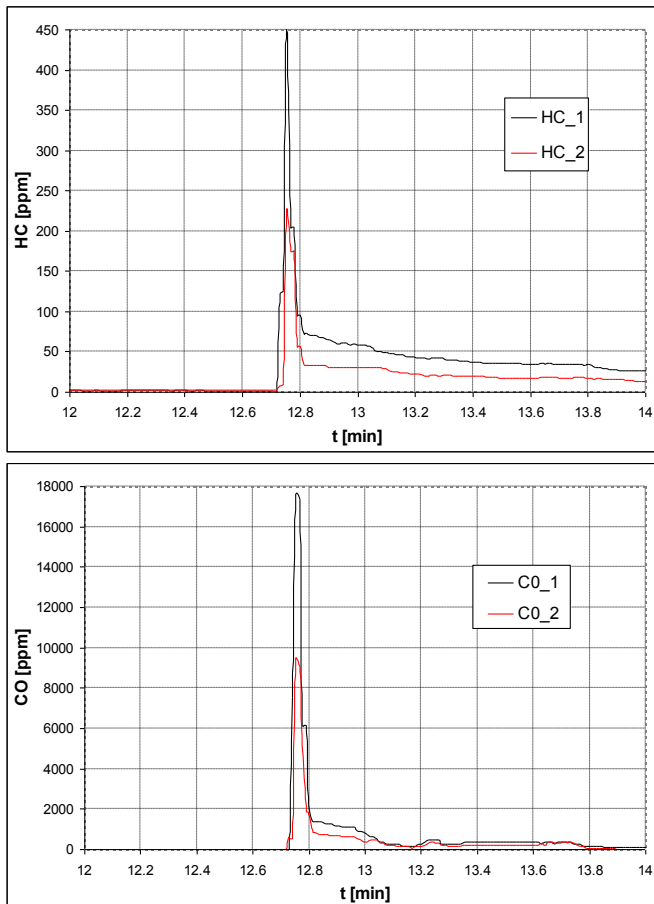
Rys. 8. Przebiegi temperatur i stężeń składników spalin podczas badań katalizatora platynowo-palladowego w teście miejskim UDC (podgrzanego wstępnie przez 2 minuty grzałką elektryczną o mocy 1500W)

Analizując wykresy temperatur należy zauważyć, że wstępne podgrzanie reaktora miało nieznaczny wpływ na zmianę temperatur w całym cyklu UDC. Na stan termiczny reaktora zasadniczy wpływ miała temperatura strumienia spalin. Nieznaczne wzrosty temperatur w reaktorze można zauważyć w pierwszym cyklu testu. Wyższe temperatury reaktora miały wpływ na obniżenie emisji tlenku węgla, co jest widoczne na rys. 9. Utlenianie węglowodorów w reaktorze miało podobny przebieg jak w próbie bez wstępnego jego podgrze-

wania. W czasie testu następowało (na podstawie temperatury T_{11}) stopniowe nagrzewanie się izolowanej termicznie obudowy katalizatora. Pod koniec testu temperatura ta osiągnęła wartość 260°C.

Charakter zmian emisji CO_2 w teście UDC jest determinowany zmianami momentu obrotowego silnika (rys. 6 i 8). O zachodzących w reaktorze reakcjach utleniania węglowodorów i tlenku węgla świadczą wyższe stężenia dwutlenku węgla na wyjściu z reaktora.

W artykule nie przedstawiono (ze względu na ograniczone ramy) wyników pomiarów stężeń HC, CO i NO_x w wylocie reaktora zarejestrowane za pomocą analizatora CEB II.



Rys. 9. Zestawienie stężeń składników spalin: HC i CO w początkowym okresie (w czasie 2 minut) badań katalizatora platynowo-palladowego w teście miejskim UDC – z podgrzewaniem wstępnym katalizatora

Przyczyną braku pełnej aktywności reaktora była zbyt niska temperatura spalin, dochodząca w reaktorze do 300°C w pierwszym cyklu testu po uruchomieniu silnika (temperatura spalin T_4 przed turbiną na rys. 6 i 8). Temperatura spalin we wlocie do reaktora katalizacyjnego T_8 była jeszcze niższa i wynosiła ok. 150°C.

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. Maksymalny stopień konwersji substancji szkodliwych osiągany jest powyżej temperatury 300°C.

Reaktory katalizacyjne zawierające pallad były stosowane w latach siedemdziesiątych jako katalizatory utleniające. Potem zastoso-

wykazuje dobre właściwości w utlenianiu węglowodorów w spalinach o charakterze utleniającym (w spalinach silników o zaplonie samoczynnym), co jest istotne w przypadku ograniczenia emisji przy rozruchu zimnego silnika. Dlatego też katalizatory z dużą zawartością palladu są często proponowanym rozwiązaniem dla obniżenia emisji podczas rozruchu i nagrzewania zimnego silnika. Temperatury początku pracy reaktorów zawierających pallad są niższe o ok. 50°C niż reaktorów zawierających samą platynę [1].

W okresie rozruchu silnika występuje duży wzrost stężenia tlenków węgla i węglowodorów w spalinach. Jedną z metod uaktywnienia reaktora jest jego podgrzanie do wymaganej temperatury pracy przed rozruchem silnika za pomocą grzejników elektrycznych [3, 4].

Podsumowanie

W wyniku wstępnego podgrzewania katalizatora uzyskano zmniejszenie stężenia węglowodorów w początkowej fazie testu. Szczególnie było to widoczne w przypadku reaktora platynowo-palladowego, gdzie także nastąpiło zmniejszenie stężenia tlenku węgla.

Na przebieg funkcjonowania reaktorów katalizacyjnych miała wpływ temperatura spalin, która zmieniała się w czasie testu zależnie od prędkości silnika i jego obciążenia (cykli testu). Wpływało to na charakterystyczne pilokształtne zmiany wartości temperatur w katalizatorze. Maksymalna temperatura spalin wystąpiła przed turbiną. Jej wartość dochodziła do ok. 450°C. Temperatury w katalizatorze osiągnęły swe maksymalne wartości na poziomie 350°C w drugim cyklu testu.

W czasie testu widoczne jest (na podstawie przebiegu temperatury T_{11}) stopniowe nagrzewanie się izolowanej termicznie obudowy katalizatora. Pod koniec testu temperatura ta osiągnęła wartość 250°C.

Nieustalone stany pracy silnika (okres rozruchu, nagrzewania się silnika, zmiany prędkości obrotowej i obciążenia) mają bardzo duży wpływ na prawidłowe funkcjonowanie reaktora katalizacyjnego. Okres pierwszego cyklu testu UDC silnika o ZS charakteryzuje się stosunkowo wysoką emisją tlenku węgla i węglowodorów. Wielkość tej emisji maleje wraz z nagrzewaniem się silnika.

Wstępne podgrzanie reaktora wpływa na zmianę temperatur szczególnie w reaktorze już w pierwszym cyklu testu *miejskiego UDC*, co ma wpływ na obniżenie emisji tlenku węgla.

Stosunkowo niska temperatura spalin determinuje właściwą pracę reaktora katalizacyjnego w fazie uruchamiania i nagrzewania silnika oraz w stanach z częstą zmianą prędkości obrotowej i obciążenia silnika. Takie stany pracy silnika bardzo często występują podczas eksploatacji autobusów w warunkach miejskich, a zwłaszcza w okresie zimowym. W tych warunkach termicznych stopnie konwersji tlenku węgla i węglowodorów w reaktorach katalizacyjnych są bardzo niskie (wbrew oczekiwaniom).

Bibliografia

1. Kruczyński S.: *Trójfunkcyjne reaktory katalizacyjne*. Instytut Technologii Eksploatacji. Warszawa - Radom 2004.
2. Bielaczyc P., Merksiz J., Pielacha J.: *Stan cieplny silnika spalinowego a emisja związków szkodliwych*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej. Poznań 2001.
3. Koliński K.: *Podgrzewany reaktor katalizacyjny podczas zimnego rozruchu silnika o ZS*. Autobusy nr 12/2016.
4. Koliński K.: *Funkcjonowanie podgrzewanego reaktora katalizacyjnego w nieustalonych stanach pracy silnika o ZS*. Autobusy nr 12/2017.

Research of the operation of the catalytic reactor under simulated test UDC with diesel engine.

The article presents the results of research on the functioning of the heated catalytic reactor at the dynamometric stand during the implementation of the simulated UDC city test. In the research, a heated three-functional platinum-palladium catalytic reactor with a metal monolith was used. The methodology of the conducted research consisted in the measurement of concentration of toxic components of the exhaust gas before and after with the catalytic reactor, with simultaneous measurement of the start-up parameters

and temperature measurement at selected points of the engine and the catalytic converter. Emissions of carbon monoxide and hydrocarbons were reduced by pre-heating the catalytic converter before and during start-up with an electric heater.

Autor:

Dr inż. **Kazimierz Koliński** – Wojskowa Akademia Techniczna w Warszawie, Wydział Mechaniczny, Instytut Pojazdów Mechanicznych i Transportu, e-mail: kazimierz.kolinski@wat.edu.pl