

SELEKTYWNA REDUKCJA KATALITYCZNA TLENKÓW AZOTU W POJAZDACH SPEŁNIAJĄCYCH NORMĘ EMISJI EURO VI

W artykule omówiony został system selektywnej redukcji tlenków azotu w układzie oczyszczania spalin silnika o zapłonie samoczynnym, spełniającym limity normy emisji Euro VI i przeznaczonym do napędu pojazdów ciężarowych oraz autobusów. Przedstawiono wyniki badań emisji tlenków azotu uzyskane w teście homologacyjnym WHTC, który został przeprowadzony w warunkach zimnego oraz ciepłego rozruchu silnika. Układ oczyszczania spalin składał się z reaktora utleniającego (DOC), filtra cząstek stałych (DPF) oraz z systemu selektywnej redukcji katalitycznej (SCR) wraz z układem dozowania wodnego roztworu mocznika. Podczas badań poddano analizie sprawność systemu SCR, określaną jako stopień redukcji szkodliwych tlenków azotu w spalinach, w warunkach dynamicznych zmian obciążeń silnika w teście WHTC. Przedmiotem analizy było ponadto określenie okresu czasu niezbędnego do uzyskania gotowości systemu do rozpoczęcia dozowania mocznika i podjęcia efektywnej pracy po rozruchu zimnego silnika. Zwrócono także uwagę na występujące problemy eksploatacyjne związane z użytkowaniem systemu SCR, takie jak formowanie się osadów stałych mocznika wewnątrz układu i emisja amoniaku za reaktorem. Uzyskane wyniki badań omówiono w aspekcie określenia najlepszej metody oczyszczania spalin z tlenków azotu w silnikach o zapłonie samoczynnym, pod kątem planowego wprowadzenia testów emisji spalin pojazdów w rzeczywistych warunkach drogowych (testy RDE).

WSTĘP

Nieustanny rozwój surowych norm emisji spalin w Europie i na Świecie konsekwentnie prowadzi do zmniejszenia emisji toksycznych składników do atmosfery, ale odbywa się kosztem zwiększenia stopnia skomplikowania i kosztów produkcji samochodowych układów oczyszczania spalin. Nowe limity Euro VI koncentrują się przede wszystkim na ograniczeniu emisji tlenków azotu w gazach spalinowych. W pewnej analogii do znacznych obostrzeń limitów normy Euro IV, które spowodowały zastosowanie filtrów cząstek stałych (DPF) niemal we wszystkich pojazdach, surowe ograniczenia normy Euro VI wymusiły na producentach pojazdów zastosowanie dodatkowych reaktorów katalitycznych przeznaczonych do redukcji tlenków azotu (NOx). Systemy redukujące NOx w spalinach znajdują zastosowanie głównie w silnikach o zapłonie samoczynnym, ale występują również w silnikach o zapłonie iskrowym zasilanych ubogą mieszanką ($\lambda > 1$). Konieczność zastosowania dodatkowego reaktora katalitycznego NOx dotyczy niemal wszystkich grup pojazdów, począwszy od małych pojazdów miejskich, poprzez samochody dostawcze i ciężarowe, a na autobusach oraz pojazdach pozadrogowych kończąc. Obecnie stosuje się dwie wiodące metody redukcji tlenków azotu w gazach spalinowych. Pierwszą z nich jest selektywna redukcja katalityczna, w której wykorzystuje się do redukcji NOx wodny roztwór mocznika, wtryskiwany do gazów spalinowych. Metoda ta stosowana jest głównie w pojazdach ciężarowych, dostawczych, a także w większych pojazdach osobowych. Drugą metodą natomiast są reaktory magazynująco-redukujące (ang. *DeNOx Trap*), które pracują na zasadzie cyklicznej adsorpcji (magazynowaniu) i redukcji tlenków azotu na powierzchni aktywnej reaktora. Czynnikiem redukującym NOx jest paliwo silnikowe, dlatego metoda ta jest relatywnie mniej skomplikowana i znajdują zastosowanie głównie w małych pojazdach osobowych z ograniczoną ilością miejsca w nadwoziu. Reaktory te znane są również jako NSC (ang. *NOx-Storage Catalysts*) lub LNT (ang. *Lean NOx Trap*).

W świetle drastycznych różnic pomiędzy rzeczywistymi a deklarowanymi przez producentów pojazdów wartościami emisji tlenków azotu, problem emisji tego składnika stał się obecnie kluczowy. Szczególnego znaczenia nabral fakt, że planowane jest wprowadzenie, niestosowanych dotąd, testów emisji spalin pojazdów prowadzonych w rzeczywistych warunkach drogowych (testy RDE). Wyniki emisji testów RDE, będą musiały odpowiadać, z pewnym współczynnikiem, wynikom uzyskanym podczas badań laboratoryjnych.

1. SELEKTYWNA REDUKCJA KATALITYCZNA

1.1. Charakterystyka ogólna systemu

System selektywnej redukcji katalitycznej (SCR) jest uważany za najbardziej skuteczną metodę eliminacji tlenków azotu w gazach spalinowych. Czynnikiem redukującym tlenki azotu jest wodny roztwór mocznika o handlowej nazwie AdBlue, który dozowany jest wprost do strumienia spalin przed reaktorem. Przykład układu oczyszczania spalin przeznaczonego do silnika o zapłonie samoczynnym i wyposażonego w system selektywnej redukcji katalitycznej przedstawiono na rysunku 1. Układ ten spełnia wymagania limitów normy Euro VI i składa się z następujących elementów głównych: reaktora katalitycznego DOC, służącego do utleniania toksycznych składników spalin, filtra DPF z katalityczną warstwą aktywną, wspomagającą proces utleniania cząstek stałych oraz z reaktora przeznaczonego do redukcji tlenków azotu.

System SCR składa się z reaktora redukującego, z obwodu dozowania mocznika, obejmującego podgrzewany zbiornik, pompę czy i przewody doprowadzające czynnik, a także ze specjalnego miksera umieszczonego pomiędzy wtryskiwaczem a reaktorem, który służy do polepszenia odparowania oraz wymieszania mocznika w gazach spalinowych. Proces dozowania czynnika redukującego w systemie SCR kontrolowany jest przez sterownik DCU. Ilość wtrysniętego czynnika odpowiada wartości współczynnika α , która jest zdefiniowana w algorytmie sterownika dla konkretnych warun-

ków pracy silnika. Współczynnik α jest ilorazem ilości molekuł amoniaku pochodzącego czynnika redukującego (NH_{3in}) i ilości molekuł tlenków azotu (NO_{xin}) znajdujących się w elementarnym przepływie masowym spalin zgodnie z zależnością:

$$\alpha = \frac{NH_{3in}}{NO_{xin}} \quad (1)$$

Następnie dla danej wartości α , ilość wtryskiwanego roztworu mocznika obliczana jest przez sterownik w funkcji wartości aktualnego stężenia objętościowego tlenków azotu w gazach spalinowych oraz ich masowego przepływu. Zgodnie z teorią, wartość współczynnika α równa 1 oznacza taką minimalną ilość czynnika redukującego, która wprowadzona do strumienia spalin zużyta jest na całkowite zredukowanie (usunięcie) tlenków azotu, nie powodując przy tym niepożądanych zjawisk takich jak: emisja amoniaku za reaktorem SCR (ang. ammonia slip) czy jego akumulacja w reaktorze.

Czujnik tlenków azotu umieszczony przed reaktorem DOC (rys.1) służy do sterowania ilością wtryskiwanego czynnika w funkcji bieżącego przepływu spalin, drugi czujnik natomiast umieszczony jest za reaktorem SCR i spełnia funkcję diagnostyczną. W niektórych aplikacjach w tej lokalizacji umieszcza się również czujnik amoniaku służący do kontroli emisji tego składnika.

Mocznik w gazach spalinowych ulega procesom rozkładu do amoniaku, który jest właściwym czynnikiem redukującym tlenki azotu w reaktorze. Rozpoczęcie dozowania czynnika redukującego następuje po osiągnięciu pewnej minimalnej temperatury spalin wynoszącej zwykle $180 \div 200^\circ C$. Dozowanie mocznika przy mniejszych wartościach temperatury prowadzi do wytrącania osadów stałych wewnątrz układu wylotowego oraz jest nieefektywne pod względem redukcji tlenków azotu.

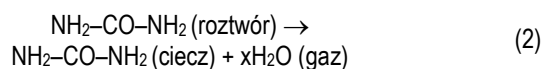
W zależności od rodzaju reaktora SCR, największa sprawność redukcji tlenków azotu osiągana jest w zakresie temperatury spalin $250^\circ C \div 450^\circ C$. Najczęściej stosowanymi pokryciami aktywnymi w reaktorach SCR są metale na nośnikach tlenkowych $TiO_2-WO_3-V_2O_5$ oraz pokrycia reaktorów oparte na zeolitach: Cu-Zeolite, Fe-Zeolite. Systemy SCR charakteryzują się dużym stopniem redukcji tlenków azotu, osiągającym wartości 95% i więcej, dlatego stanowią jedyną realną metodę pozwalającą na sprostanie obecnym oraz przyszłym limitom emisji NO_x , a w szczególności w odniesieniu do planowanych limitów testów emisji w rzeczywistych warunkach drogowych (RDE).

Ponieważ SCR jest bardzo złożonym systemem o stosunkowo dużych rozmiarach zewnętrznych i wymaga stałego wożenia na pokładzie pojazdu infrastruktury układu dozowania mocznika, zastosowanie metody SCR w małych pojazdach osobowych jest bardzo utrudnione i znacząco zwiększa koszt układu oczyszczania spalin. Z tego względu niewielkie jednostki napędowe o zapłonie samoczynnym będą stopniowo wypierane przez napędy hybrydowe składające się z silnika benzynowego i silnika elektrycznego.

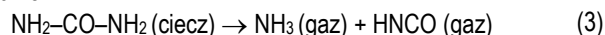
1.2. Reakcje chemiczne w procesie selektywnej redukcji katalitycznej

Ze względu na dużą aktywność chemiczną i właściwości toksyczne czystego amoniaku, czynnikiem redukującym przechowywanym i stosowanym w pojazdach samochodowych jest 32,5 % wodny roztwór mocznika. Czynnikiem redukującym ulega w strumieniu spalin reakcjom termiczno-chemicznym, których końcowymi produktami jest lotny amoniak (NH_3) oraz dwutlenek węgla (CO_2). Proces powstawania amoniaku z roztworu mocznika można podzielić na trzy podstawowe etapy:

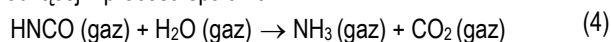
Pierwszym, jest odparowanie wody z rozdrobnionych kropeł czynnika, prowadzące do powstania mocznika w stanie ciekłym:



Następnie czysty mocznik w stanie ciekłym pod wpływem ogrzewania ulega rozkładowi termicznemu (termolizie), zgodnie z równaniem:

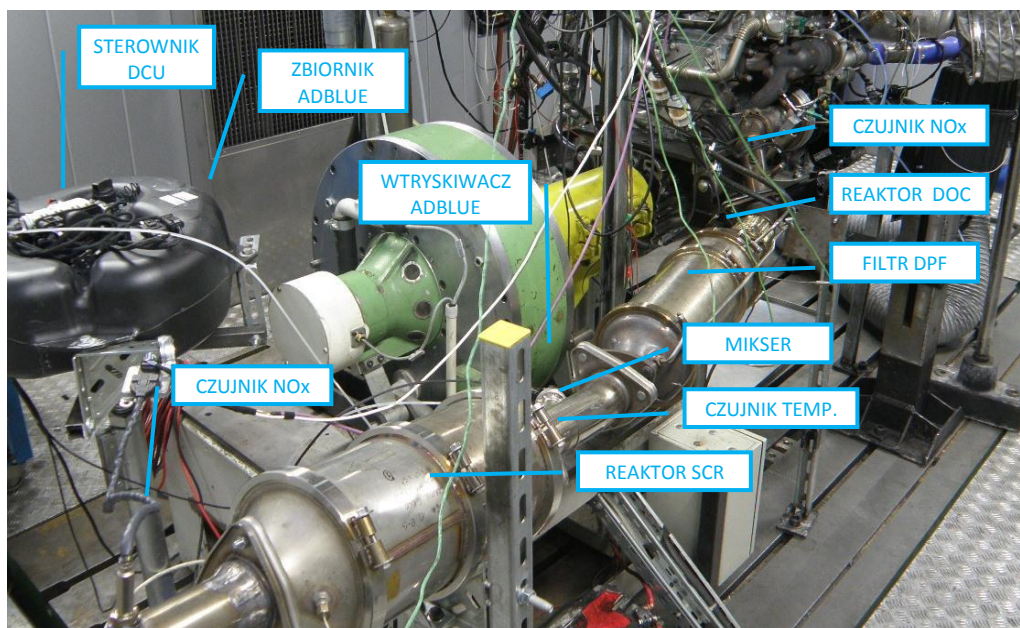


W wyniku powyższej reakcji powstają równo-molowe ilości amoniaku NH_3 oraz kwasu cyjanowego $HNCO$. Oba produkty występują w postaci gazowej. Kwas cyjanowy jest bardzo stabilny w fazie gazowej, ale bardzo łatwo hydroлізуje się do amoniaku i dwutlenku węgla w obecności pary wodnej znajdującej się w spalinach, pochodzącej z procesu spalania:



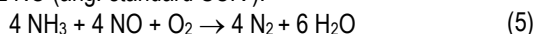
Reakcje odparowania wody (2) i termolizy (3) są reakcjami endotermicznymi, a więc pochłaniają ciepło z otoczenia i zasadniczo zachodzą w strumieniu spalin w przestrzeni pomiędzy wtryskiwaczem a reaktorem SCR. Proces hydroлізу kwasu cyjanowego (4) jest reakcją egzotermiczną (emitowane jest ciepło) i zachodzi przede wszystkim w reaktorze w kontakcie z warstwą aktywną.

Pozyskany z mocznika lotny amoniak redukuje tlenki azotu w

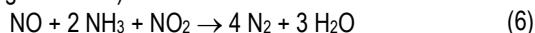


Rys. 1. Silnik o zapłonie samoczynnym wraz z układem oczyszczania spalin Euro VI zamontowany na stanowisku badawczym w BOSMAL

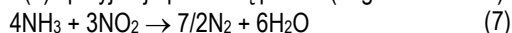
reaktorze i proces ten można opisać za pomocą trzech zasadniczych reakcji chemicznych zależnych od udziału NO/NO₂ w składniku NO_x. Pierwsza reakcja zachodzi jeżeli gazy spalinowe składają się głównie z NO (ang. standard SCR):



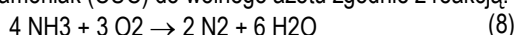
Przy równomolowym (1:1) udziale składników NO i NO₂, szybkość reakcji jest znacznie większa niż w przypadku reakcji wyłącznej z NO (ang. fast SCR):



Reakcja tylko z NO₂ jest z kolei wolniejsza niż te opisane równaniami (5) oraz (6) i przyjmuje poniższą postać (ang. NO₂ – SCR):



Dodatkowo, aby ograniczyć emisję amoniaku za reaktorem SCR (ang. ammonia slip), istnieje możliwość zastosowania reaktora utleniającego amoniak (CUC) do wolnego azotu zgodnie z reakcją:



2. TESTY HOMOLOGACYJNE SILNIKÓW POJAZDÓW CIĘŻAROWYCH

2.1. Testy homologacyjne i limity Euro VI

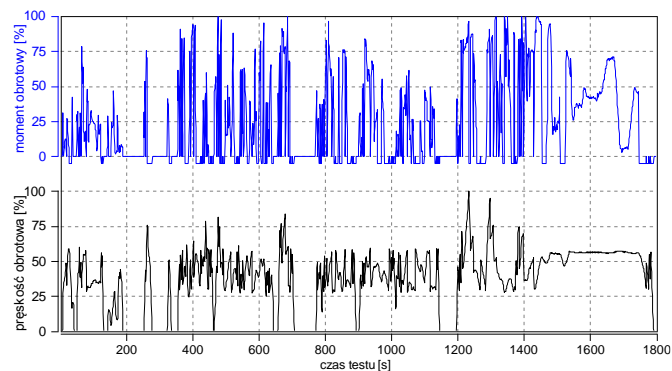
Spełnienie normy emisji spalin Euro VI przez silnik o zastosowaniu w pojeździe o masie całkowitej powyżej 3.5t wymusza na jego producencie użycie odpowiedniego układu oczyszczania spalin oraz przeprowadzenie serii testów określających ilość emitowanych szkodliwych związków. Testy te, w odróżnieniu od testów samochodów osobowych, które odbywają się na hamowni podwoziowej, przeprowadzane są na hamowni silnikowej wyposażonej w odpowiednią aparaturę pomiarową. Obecnie stosowane cykle pracy silnika w testach homologacyjnych są zunifikowane dla większości regionów świata, co zdecydowanie upraszcza procedurę certyfikacji silnika. Dla spełnienia normy emisji spalin Euro VI wymagane jest przeprowadzenie testu statycznego WHSC (World Harmonized Steady Cycle) oraz testu dynamicznego WHTC (World Harmonized Transient Cycle) wykonywanego zarówno w warunkach zimnego jak i ciepłego rozruchu. W testach tych określa się ilość wyemitowanych szkodliwych związków spalin. W przypadku testów silników o zapłonie samoczynnym są to: tlenek węgla, tlenki azotu, wszystkie węglowodory, cząstki stałe (zarówno masowo jak i ilościowo). Zmierzone ilości szkodliwych związków przeliczane są na jednostkową emisję substancji przypadającą na jedną kilowatogodzinę pracy mechanicznej wykonanej w teście. Dopuszczalne maksymalne emitowane wartości poszczególnych składników przedstawiono w tabeli 1. Uzyskane wartości muszą zawierać się poniżej limitu narzuconego przez normę. Dodatkowo legislacja określa maksymalne stężenie amoniaku w spalinach, które w przypadku limitu Euro VI wynosi 10ppm. Pomiar gazowych składników spalin odbywa się przy użyciu laboratoryjnych analizatorów spalin. Dopuszczalne jest pobieranie i poddanie analizie surowych stężonych spalin lub zastosowanie tunelu rozrzedzającego. Natomiast pomiar masowej emisji oraz liczby cząstek stałych dopuszczalny jest jedynie po rozrzedzeniu spalin. Dopuszcza się zarówno całkowite rozrzedzenie spalin jak i rozrzedzenie wyłączenie pobieranej próbki spalin.

Tab. 1. Limity emisji spalin dla silników o zapłonie samoczynnym w standardzie Euro VI

Norma	Test	CO	THC	NO _x	PM	PN
		g/kWh				1/kWh
Euro VI	WHSC	1.5	0.13	0.40	0.01	8.0x10E11
Euro VI	WHTC	4.0	0.16	0.46	0.01	6.0x10E11

Procedura testu dynamicznego

Test WHTC ze względu na dynamiczny charakter oraz uwzględnienie zimnego rozruchu jest najbardziej reprezentatywny dla silników stosowanych w autobusach oraz samochodach ciężarowych. Zjawisko zimnego rozruchu jest szczególnie istotne z punktu widzenia emisji spalin. Obecnie większość elementów układu oczyszczania spalin, służąca do usuwania szkodliwych związków gazowych, oparta jest na reakcjach chemicznych zachodzących w obecności katalizatora. Reakcje te zachodzą dopiero po przekroczeniu granicznej temperatury, poniżej której ich efektywność jest bardzo niska lub praktycznie nie występują. W konsekwencji, obszarem pracy silnika o największej jednostkowej emisji szkodliwych związków spalin jest okres trwający od rozruchu zimnego silnika do osiągnięcia temperatury pracy układu oczyszczania spalin. Właściwość ta dotyczy się również układów wyposażonych w selektywną redukcję tlenków azotu.



Rys. 2. Znormalizowane wartości prędkości obrotowej i momentu obrotowego testu WHTC

Procedura WHTC określa przebieg prędkości obrotowej oraz momentu obrotowego w trakcie pojedynczej fazy, która trwa 1800 sekund. Prędkość obrotowa wyznaczana jest jako procentowy udział w stosunku do tzw. prędkości odniesienia. Moment obrotowy opisany jest to jako procentowy udział obciążenia silnika w stosunku do maksymalnego momentu obrotowego osiąganego przy danej prędkości obrotowej. Zarówno prędkość obrotowa silnika jak i moment obrotowy zdefiniowane są z częstotliwością 1Hz. Znormalizowany przebieg jednej fazy przedstawia rysunek 2. Test WHTC składa się z dwóch faz wykonywanych po sobie, każda rozpoczynająca się rozruchem silnika. Fazy te cechuje ten sam przebieg prędkości i momentu obrotowego w czasie testu. Jediną różnicą jest temperatura silnika w trakcie rozruchu. W pierwszej kolejności wykonuje się fazę zimną, która rozpoczyna się od uruchomienia silnika o temperaturze płynu chłodzącego, oleju i układu oczyszczania spalin pomiędzy 20 a 30°C. W trakcie 30 minut testu, silnik osiąga nominalną temperaturę pracy, a na końcu zostaje zatrzymany. Faza ciepła rozpoczyna się po 10 minutach od zakończenia fazy zimnej. Jako wynik testu podaje się ważoną emisję poszczególnych składników z obu testów. W przypadku limitu Euro VI współczynnik wagi dla fazy zimnej wynosi 0.14, natomiast dla fazy ciepłej jest to 0.86. Przyjmuje się, że rozruchy pojazdów ciężarowych i autobusów zdecydowanie częściej występują w warunkach rozgrzanego silnika.

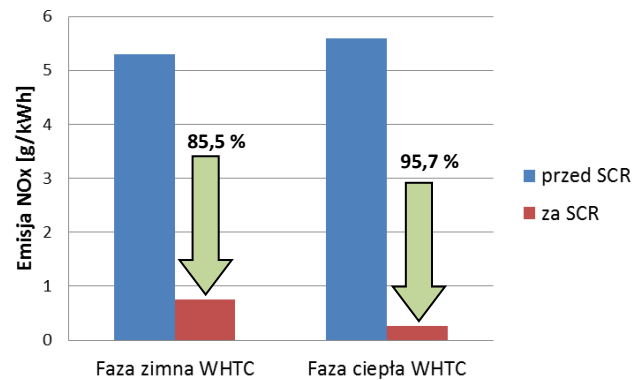
3. ANALIZA I WYNIKI BADAŃ

Testy emisji WHTC przeprowadzono w Laboratorium Badań Silników Instytutu BOSMAL z wykorzystaniem hamulca dynamicznego oraz niezbędnej aparatury pomiarowej zgodnej z wymaganiami normy Euro VI.

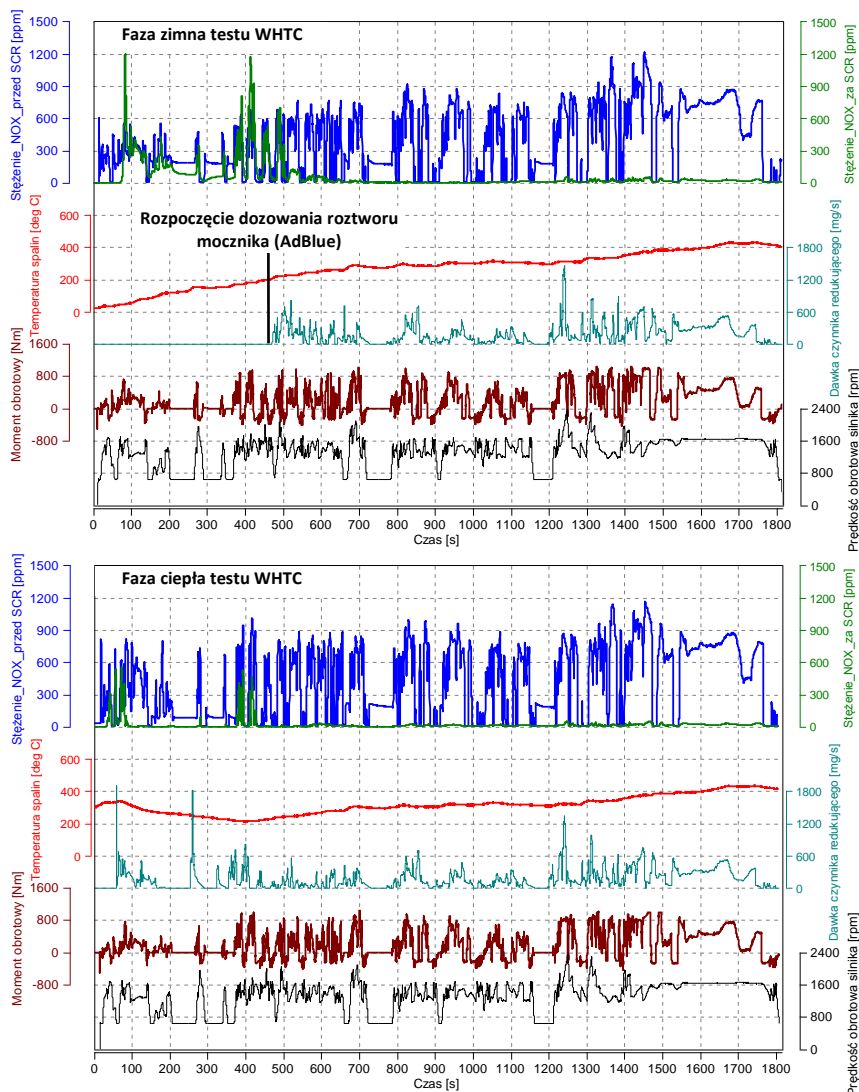
Rozważając fazę zimną testu WHTC (rysunek 4), należy przede wszystkim zaznaczyć, że sprawność systemu selektywnej redukcji katalitycznej jest mocno uzależniona od wielkości temperatury spalin. W zależności od szybkości nagrzewania się silnika po rozruchu oraz konstrukcji układu dozowania, wyznaczony jest warunek brzegowy, określający wymaganą wartość temperatury spalin niezbędną do rozpoczęcia dozowania czynnika redukującego w układzie oczyszczania spalin. W pierwszych 480 sekundach fazy zimnej testu WHTC, temperatura spalin nie osiąga wartości niezbędnej do uruchomienia układu dozowania i w tej części testu stężenia tlenków azotu przed oraz za reaktorem SCR osiągają porównywalne wartości. Po przekroczeniu wartości 200°C temperatury spalin mierzonej przed reaktorem SCR, układ samoczynnie rozpoczyna dozowanie czynnika redukującego. Ze względu na konieczność wstępnego nasycenia reaktora czynnikiem oraz zachodzące zjawiska chemiczne, czas odpowiedzi systemu SCR od momentu rozpoczęcia dozowania wynosi ok. 20 sekund. W dalszej części testu wraz ze stopniowym zwiększaniem się temperatury spalin, zmierzone wartości stężenia NOx za reaktorem SCR pozostają bardzo małe niezależnie od dynamicznie zmiennych warunków pracy silnika. Obliczona emisja tlenków azotu w fazie zimnej testu WHTC za reaktorem SCR była o ponad 85% mniejsza niż przed reaktorem (rysunek. 3). W przypadku fazy ciepłej testu WHTC, rozpoczęcie dozowania czynnika zachodzi niemal natychmiast po uruchomieniu silnika, co powoduje zmniejszenie emisji NOx o ponad 95%. Należy tutaj zwrócić uwagę na bardzo duży stopień redukcji NOx uzyskany

po osiągnięciu wymaganej temperatury układu i praktycznie niezależnie od warunków pracy silnika, ale pod warunkiem, że czynnik redukujący pozostaje dozowany. Zastosowanie systemu SCR jest szczególnie korzystne w pojazdach, w których udział czasu nagrzewania silnika jest niewielki i pracuje on przy dużych obciążeniach (np. pojazdy ciężarowe i autobusy).

W wielu aplikacjach z systemem SCR na końcu układu oczyszczania spalin stosuje się dodatkowy reaktor utleniający, który eliminuje problem emisji amoniaku, ale jednocześnie zwiększa nieco koszt całego układu.



Rys. 3. Wyniki emisji NOx w fazie zimnej oraz ciepłej testu WHTC



Rys. 4. Parametry pracy silnika oraz stężenie tlenków azotu przed oraz za reaktorem SCR w fazie zimnej i w fazie ciepłej testu WHTC

PODSUMOWANIE

System oczyszczania spalin z tlenków azotu wykorzystujący metodę selektywnej redukcji katalitycznej jest skomplikowany i złożony technicznie. Pomimo tego, uważany jest obecnie za najlepszą metodę oczyszczania spalin z tlenków azotu w pojazdach, szczególnie dostawczych i autobusach. Limit emisji szkodliwych związków spalin zawarty w standardzie Euro VI praktycznie wymusza na producencie pojazdu zastosowanie systemu SCR. Oczyszczanie spalin poprzez selektywną redukcję katalityczną cechuje bardzo wysoka sprawność. Po osiągnięciu granicznej temperatury pracy, tlenki azotu zawarte w spalinach redukowane są niemal całkowicie (95÷99%). System SCR pozwala przerzucić ciężar ograniczenia emisji tlenków azotu z silnika na układ oczyszczania spalin. Umożliwia to dalszą optymalizację konstrukcji i kalibracji silnika w kierunku zmniejszenia zużycia paliwa. System SCR jest niezawodny, a jego funkcjonowanie jest praktycznie nie zauważalne przez użytkownika pojazdu. Jediną eksploatacyjną niedogodnością jest konieczność uzupełniania płynu Adblue, którego zużycie wynosi około 3% zużycia paliwa. Pomimo swych zalet, metoda SCR wymaga dalszych prac rozwojowych, szczególnie w odniesieniu do takich stanów pracy jak faza nagrzewania silnika i układu oczyszczania spalin oraz praca na biegu jałowym. Praca systemu w warunkach małej wartości temperatury spalin jest problematyczna ze względu na ograniczoną zdolność czynnika redukującego do odparowania i konwersji do amoniaku w gazach spalinowych, a także prowadzi do powstawania osadów stałych wewnątrz systemu SCR.

BIBLIOGRAFIA

1. Brzezanski M., Sala R., *In-service problems of selective catalytic reduction systems for reduction of nitrogen oxides*; Combustion Engines. 2013, 154(3), 969-976. ISSN 0138-0346.
2. Brzezanski M., Sala R., *A study on the indirect urea dosing method in the Selective Catalytic Reduction system*; Scientific Conference on Automotive Vehicles and Combustion Engines (KONMOT 2016), Materials Science and Engineering 148 (2016) 012062 doi:10.1088/1757-899X/148/1/012062;
3. Bielaczyc P., Woodburn J., *Current directions in LD powertrain technology in response to stringent exhaust emissions and fuel efficiency requirements*. Combustion Engines. 2016, 166(3), 62-75. DOI:10.19206/CE-2016-341.
4. Merkisz J., Pielecha J., Bielaczyc P., Woodburn J., *Analysis of Emission Factors in RDE Tests As Well as in NEDC and WLTC Chassis Dynamometer Tests*, SAE Technical Paper 2016-01-0980, 2016, doi:10.4271/2016-01-0980.
5. Yang L., Franco V., Mock P., Kolke R., Zhang S., Wu, Y., German J., *Experimental assessment of NOx emissions from 73 Euro 6 diesel passenger cars*. 2015. Environ. Sci. Technol. 49 (24), 14409e14415. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.5b04242>.
6. Johnson T., *Vehicular Emissions in Review*. SAE Int. J. Engines 9(2):1258-1275, 2016, doi:10.4271/2016-01-0919(1) International Council on Clean Transportation Europe (ICCT). European Vehicle Market Statistics. Pocketbook 2015/2016.
7. Mock, P., Ed.; ICCT: Berlin, Germany, 2015. EEA, 2015a. *Exceedance of Air Quality Limit Values in Urban Areas*. European Environment Agency. Indicator CSI004, last Updated Nov. 2015, Accessed April 2016.

Selective Catalytic Reduction of nitrogen oxides in vehicles complaint to Euro VI emission limit.

The NOx emission aftertreatment of compressed ignition engines has always been a point of concern. The legislative emission limits for heavy duty vehicles constantly tighten the requirements for emissions of NOx. Nowadays it is believed that the most effective and reliable method of NOx reduction is a Selective Catalytic Reduction (SCR) system. The reducing agent of the system is ammonia, delivered and stored on a vehicle as Adblue, an aqueous urea solution. As all catalyst based clean-up systems, SCR activates only when a certain temperature is achieved. Nevertheless, once the system is started, the reduction efficiency of up to 99% can be achieved.

Autorzy:

dr inż. **Rafał Sala** – Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o. Pracownia Badań Katalizatorów i Sterowania Silników.

dr inż. **Jarosław Krasowski** – Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o. Pracownia Badań Katalizatorów i Sterowania Silników.

mgr inż. **Jakub Dzida** – Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o. Pracownia Badań Katalizatorów i Sterowania Silników.