

Marek SWAT

Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom

OGRANICZENIE EMISJI SUBSTANCJI TOKSYCZNYCH Z SILNIKA O ZS PRZEZ WYMUSZONĄ KONWERSJĘ NO DO NO₂

Słowa kluczowe

Konwersja NO/NO₂, silnik o ZS, ochrona środowiska.

Streszczenie

Przedstawiono wyniki własnych badań systemu jednoczesnej redukcji tlenków azotu i utleniania cząstek stałych PM w układzie wylotowym silnika o zapłonie samoczynnym. Stwierdzono, że dodatkowe generowanie NO₂ (przez zastosowanie reaktora konwersyjnego *DOC_{NO2}*) oraz warunki i efekty utleniania cząstek w filtrze spalin *CSF* nie powodują dodatkowego wzrostu emisji NO_x i mogą wyraźnie ograniczyć emisję HC i CO z silnika o zapłonie samoczynnym. Stwierdzono, że warunkiem sine qua non uzyskania pozytywnych efektów w ograniczaniu emisji jest optymalny poziom udziału NO₂/NO_x za reaktorem konwersyjnym.

Wprowadzenie

Coraz częściej w przyszłościowych rozwiązaniach ekologicznych układów wylotowych zaczyna dominować łączenie różnych technologii i systemów [5, 10, 11, 13, 14, 16]. W laboratoriach badawczych oceniane są różne konfiguracje

reaktorów utleniających, reaktorów magazynująco-redukujących NO_x oraz filtrów spalin.

Regeneracja filtrów spalin DPF (*Diesel Particulate Filter*) polega na utlenieniu separowanych w procesie filtracji cząstek stałych. Podstawowymi czynnikami determinującymi proces regeneracji są wielkość i dyspozycyjność niezbędnego do tego procesu źródła energii i dostęp tlenu.

Zastosowanie warstwy katalitycznej na powierzchni monolitu filtra (tzw. CSF – *Catalysed Soot Filter*) wymaga systemu regeneracji ciągłej, ponieważ kontakt z aktywatorem powierzchniowym mają jedynie cząstki PM (bądź warstwa cząstek) osadzone na jego powierzchni w początkowej fazie procesu filtracji.

Zastosowanie systemu CRT (*Continous Regeneration Trap*) [1, 2, 4, 7, 12, 13] umożliwia prowadzenie procesu samoregeneracji przebiegającego jednocześnie z procesem filtracji i niewymagającego dodatkowych układów sterowania i regulacji. System CRT jest połączeniem katalitycznego reaktora utleniającego i filtra cząstek stałych, dzięki czemu obniża się temperaturę początku utleniania cząstek do poziomu temperatur w normalnych warunkach eksploatacji silnika.

Najprawdopodobniej pozytywne (bezpośrednie) oddziaływanie konwertora utleniającego na obniżenie temperatury początku utleniania cząstek stałych ma podwójny charakter. Z jednej strony ogranicza on poziom emisji cząstek stałych (głównie części gazowej frakcji SOF – *Soluble Organic Fraction*, z drugiej redukuje energię aktywacji utleniania cząstek w obecności optymalnego stężenia NO_2 . Oddziaływanie pośrednie polega na uwalnianiu tlenu atomowego (już w filtrze) z nietrwałego związku, jakim jest NO_2 .

W systemie CRT reaktor katalityczny nie jest klasycznym reaktorem utleniającym CO i HC, ale głównie konwertorem NO na NO_2 do takiego poziomu stężenia NO_2 , aby maksymalnie obniżyć temperaturę samozapłonu separowanych w filtrze cząstek stałych [2, 4, 6, 7, 10, 11, 14].

Ponieważ w spalinach silnikowych spośród tlenków azotu oznaczonych sumarycznie jako NO_x najwięcej jest tlenku azotu, należy przyspieszyć jego reakcję utleniania do NO_2 w obecności katalizatora utleniającego, wykorzystując tlen (a jest go wystarczająca ilość) znajdujący się w spalinach.

System CRT może być również połączeniem dwóch aktywatorów powierzchniowych (tzw. system CCRT), tj. utleniającego reaktora katalitycznego DOC (*Diesel Oxidation Catalyst* jak w systemie CRT) i katalitycznej powłoki monolitu filtra (jak CSF).

1. Cel pracy

Celem pracy jest określenie wpływu wymuszonej konwersji NO/ NO_2 w systemie jednoczesnej redukcji tlenków azotu i utleniania cząstek stałych PM na emisję substancji toksycznych z układu wylotowego silnika o zapłonie samoczynnym.

Istotą podjętego problemu jest próba określenia czy dodatkowe generowanie NO_2 (przez zastosowanie reaktora konwersyjnego DOC_{NO_2}) oraz warunki i efekty utleniania cząstek w filtrze spalin CSF systemu CCRT nie powodują dodatkowego wzrostu emisji NO_x z silnika o zapłonie samoczynnym..

2. Realizacja

Do realizacji zadania przyjęto system CCRT pracujący w układzie szeregowym.

Przyjęto założenie, że wymuszone generowanie konwersji NO do NO_2 dokonywane będzie w reaktorze konwersyjnym DOC_{NO_2} .

Przyjęto założenie, że podstawowym systemem ograniczenia emisji toksycznych składników spalin jest system $\text{DOC}_{\text{NO}_2} + \text{CSF}$.

Sposób rozwiązania problemu polegał na połączeniu i wykorzystaniu dwóch głównych procesów:

- ograniczenia emisji HC i CO i częściowo PM w reaktorze DOC, którego zadaniem jest nie tylko generowanie NO_2 , ale także reakcje utleniania jak w klasycznym reaktorze utleniającym,
- redukcja energii aktywacji utleniania PM w atmosferze NO_2 – inicjowanie początku utleniania cząstek stałych w temperaturach eksploatacyjnych, tj. ok. 300°C – w filtrze spalin CSF.

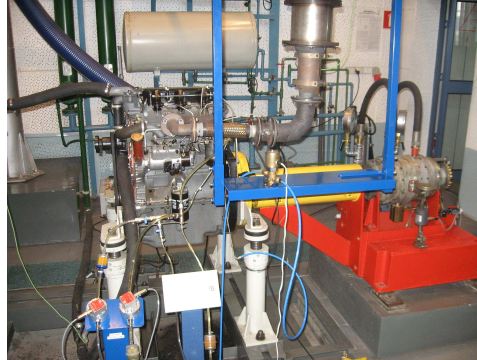
Przyjęto, że reakcja utleniania NO do NO_2 w reaktorze DOC_{NO_2} ma istotny wpływ na podniesienie szybkości i skuteczności utleniania PM w filtrze spalin. Przyjęto, że redukcja energii aktywacji utleniania dokonywana jest w sposób bezpośredni – przez katalityczną powłokę monolitu filtra i pośredni – przez optymalny wzrost stężenia NO_2 za reaktorem. Wysoka skuteczność konwersji NO do NO_2 może zadowalająco obniżyć temperaturę samozapłonu separowanych w filtrze cząstek stałych do warunków panujących w układzie wylotowym silnika, doprowadzając do ciągłej regeneracji filtra.

Zbudowano w tym celu własnej konstrukcji system $\text{DOC}_{\text{NO}_2} - \text{CSF}$ z przepływowym filtrem CSF (CuV na Al_2O_3) i konwersyjnym reaktorem katalitycznymi – DOC_{NO_2} (Pt/Pd na Al_2O_3) – o zwiększonej o 50% gęstości substancji katalitycznej.

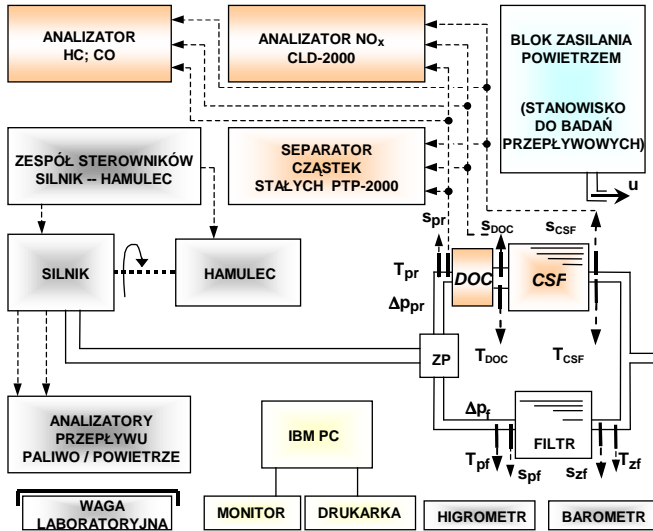
3. Stanowisko badawcze

W zrealizowanym stanowisku silnikowym do badań $\text{DOC}_{\text{NO}_2} + \text{CSF}$ zastosowano systemy jedno- i dwufiltrowe, gdzie w jednym z odgałęzień „by-pass” zamiast samego filtra cząstek stałych zastosowano $\text{DOC}_{\text{NO}_2} + \text{CSF}$.

Jako podstawowe kryterium wyboru przyjęto możliwość badań porównawczych na stanowisku silnikowym jednocześnie samego filtra cząstek stałych i $\text{DOC}_{\text{NO}_2} + \text{CSF}$.



Rys. 1. System $DOC_{NO_2}+CSF$ na stanowisku badawczym



Rys. 2. Schemat funkcjonalny stanowiska badawczego:

u – powietrze do separatora PTP; Δp_f i Δp_{pr} – różnica ciśnień na filtrze i filtrze z $DOC_{NO_2}+CSF$; ZP – zawór przełączający drogę spalin; T – sondy termopar (p_f – przed filtrem; z_f – za filtrem; p_r – przed reaktorem; DOC – za reaktorem DOC a przed filtrem CSF; CSF – za filtrem CSF; s – sondy poboru próbek spalin (oznaczenia indeksowe identyczne jak sond termopar)

Jako obiektu badań użyto silnika o zapłonie samoczynnym AD3.152 pracującego w standardowym układzie hamownianym (rys. 2), którego układ wylotowy wyposażono w układy poboru próbek spalin (do separatora cząstek stałych i analizatora tlenków azotu) oraz sondę analizatora węglowodorów i tlenu węgla.

Pomiaru emisji cząstek stałych dokonywano (na podstawie separowanej masy cząstek określonej metodą grawimetryczną) zgodnie z programowanymi 13-fazowymi testami badawczymi za pomocą separatora cząstek stałych PTP-2000 z mikrotunelem rozcieńczającym (firmy Pierburg).

Do pomiarów tlenków azotu użyto analizatora chemiluminescencyjnego CLD-2000 (firmy Pierburg), wykorzystującego zjawisko emisji promieniowania elektromagnetycznego towarzyszące reakcji tlenku azotu z ozonem.

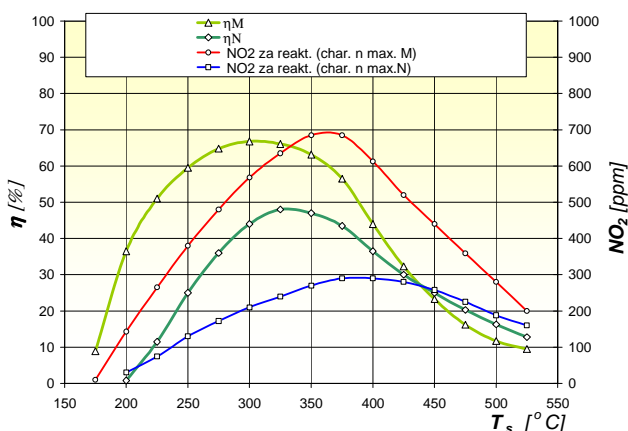
Do pomiarów stężeń węglowodorów i tlenku węgla w spalinach wykorzystano analizator typu FTIR, model Gastester MHD-218 (firmy Hermann).

4. Wyniki badań

Jako miary konwersji tlenku do dwutlenku azotu użyto rzeczywistej ilości utlenionego tlenku azotu w reaktorze konwersyjnym DOC_{NO_2} wg zależności:

$$\eta [\%] = \frac{NO_{\text{przed reaktorem}} [\text{ppm}] - NO_{\text{za reaktorem}} [\text{ppm}]}{NO_{\text{przed reaktorem}} [\text{ppm}]} \cdot 100 [\%]$$

Największą ($\eta_M = 67\%$) konwersję uzyskano dla obciążeń silnika wg charakterystyki obciążeniowej $n_{M \max}$ (rys. 3), przy temperaturze spalin 300°C – najmniejszą ($\eta_N = 48\%$) – dla obciążeń wg charakterystyki obciążeniowej maksymalnej mocy, przy temperaturze spalin 325°C .



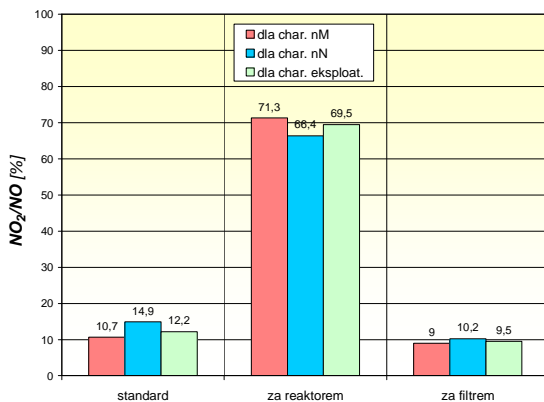
Rys. 3. Porównanie zmian skuteczności konwersji NO do NO_2 w reaktorze DOC_{NO_2} , w funkcji temperatur spalin, dla obciążeń silnika odpowiadających charakterystykom $n_{M \max}$ i $n_{N \max}$

W miarę wzrostu prędkości obrotowej (w zakresie obrotów eksploatacyjnych) skuteczność konwersji maleje i jej maksimum przesunę się w zakres

wyższych temperatur. Przy większym wydatku spalin i relatywnie krótszym czasie kontaktu NO (z jednoczesnym jego mniejszym stężeniem) z katalizatorem reaktora, skuteczność utleniania NO do NO₂ maleje. Prawdopodobnie zwiększenie pojemności (a tym samym jego powierzchni aktywnej) reaktora konwersyjnego DOC_{NO_2} pozwoli na zwiększenie skuteczności konwersji, zwłaszcza w zakresie obciążeń $n_{N\max}$.

Można ogólnie stwierdzić, że dla badanego reaktora konwersyjnego DOC_{NO_2} (w systemie CCRT) optymalny zakres temperatur spalin, ze względu na skuteczność konwersji NO/NO₂, zawiera się w granicach $275^{\circ}\text{C} < T_s < 350^{\circ}\text{C}$. Poniżej tego zakresu kinetyka reakcji utleniania NO do NO₂ jest zbyt mała, powyżej zaczynają dominować procesy dysocjacji nowo wytworzonego NO₂.

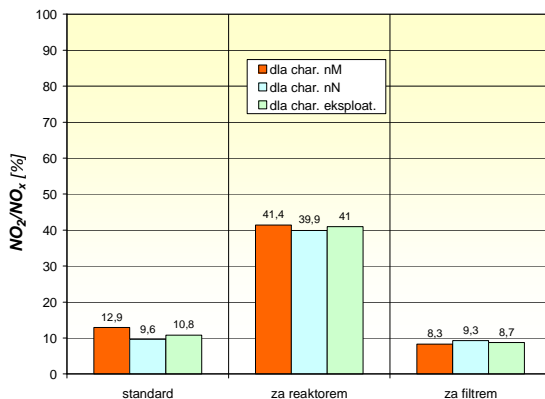
W spalinach standardowego układu wylotowego silnika stężenie NO₂ jest niewielkie, średnio na poziomie 9%–10% (charakterystyka obciążeniowa $n_{N\max}$) do 13% (charakterystyka obciążeniowa $n_{M\max}$) sumarycznego stężenia NO_x, największe w zakresie małych obciążeń silnika (dochodzi nawet do 18%), później gwałtownie spada, by w zakresie maksymalnego obciążenia osiągnąć wartość 1% do 2%. Największe (bezwzględne) stężenia NO₂ zaobserwowano dla obciążeń badanego silnika, gdy temperatura spalin mieściła się w zakresie od 275°C ($n_{M\max}$) do 325°C ($n_{N\max}$).



Rys. 4. Porównanie udziału średnich stężeń dwutlenku azotu i tlenku azotu w spalinach badanego silnika dla układu standardowego oraz systemu DOCNO₂-CSF dla obciążeń silnika odpowiadającym charakterystykom $n_{M\max}$ i $n_{N\max}$

Po przepływie spalin przez zastosowany reaktor konwersyjny DOC_{NO_2} średnie stężenie NO₂ stabilizuje się na poziomie 40% sumarycznego stężenia NO_x praktycznie dla większości obciążeń silnika (rys. 5). Po przejściu przez reaktor katalityczny stężenie NO₂ w spalinach wzrasta od 2,5 do ponad 3 razy. Za reaktorem największe (nawet 10-krotnie większe od standardowych) bezwzględne stężenia NO₂ zaobserwowano dla obciążeń badanego silnika, gdy

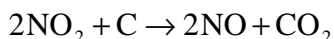
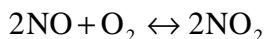
temperatura spalin mieściła się w niewielkim zakresie zmian od 350°C ($n_{M \max}$) do 370°C ($n_{N \max}$).



Rys. 5. Udział średnich stężeń dwutlenku azotu w średnim stężeniu sumarycznych tlenków azotu w spalinach badanego silnika dla układu standardowego oraz systemu DOC_{NO_2} -CSF, dla obciążeń silnika odpowiadającym charakterystykom $n_{M \max}$ i $n_{N \max}$

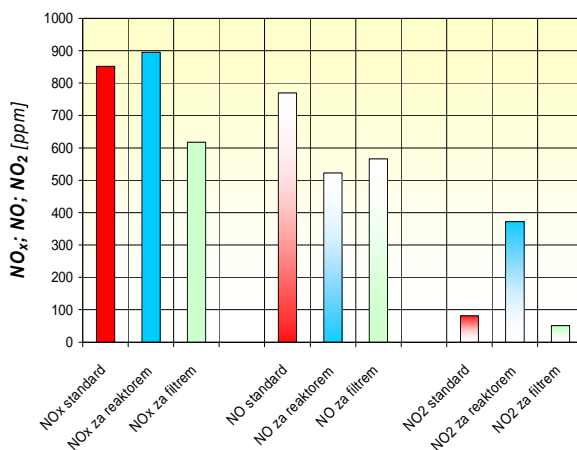
Zaobserwowano wyraźną zależność wzrostu poziomu stężeń NO_2 od temperatury pracy reaktora konwersyjnego DOC_{NO_2} . Największy wzrost stężeń uzyskano w warunkach średnich obciążeń silnika, podobnie jak największą konwersję NO do NO_2 , dla zakresu temperatur reaktora 300 do 350°C. Dla tego zakresu temperatur zaobserwowano również większe stężenia dwutlenku azotu od tlenu azotu w spalinach badanego silnika.

Za filtrem CSF w systemie DOC_{NO_2} -CSF poziom stężeń NO_2 w większości badanych obciążeń i prędkości obrotowych (poza biegiem jałowym) był nie tylko mniejszy od stężeń przed filtrem (redukcja powyżej 80%, rys. 6 i 7) ale także mniejszy niż przed reaktorem (redukcja około 40%), co pozwala wnioskować, że dwutlenek azotu został zużyty do przebudowy struktury bądź utlenienia separowanych cząstek stałych w filtrze, stąd po przejściu przez filtr poziom emisji jednostkowej NO_x zmniejsza się o ok. 25% – rys. 9. W tym przypadku możemy mieć do czynienia nie tylko z rzeczywistą przebudową mikro- i makrostruktury cząstek stałych, zmianą ich gabarytów i składu chemicznego, zwłaszcza związanym z uwolnieniem ciekłej fazy SOF i frakcji gazowej cząstek stałych, ale także z utlenieniem frakcji INSOL (głównie $PM_{C \text{ SOLID}}$), zgodnie ze schematem:

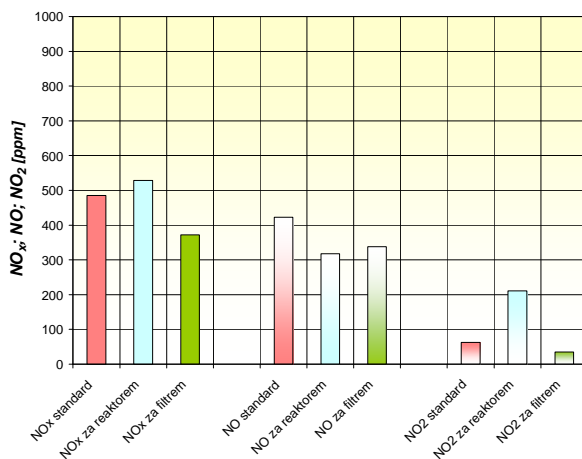


Schemat sugeruje dodatkowy wzrost stężeń NO za filtrem w układzie wylotowym (co widać na rys. 6 i 7) w wyniku utleniania cząstek stałych.

W tym przypadku nie dochodzi do typowego, charakterystycznego dla standardowego układu wylotowego wzrostu emisji sumarycznych tlenków azotu, a przeciwnie – do zmniejszenia tej emisji.



Rys. 6. Udział średnich stężeń tlenków azotu w spalinach badanego silnika dla układu standardowego oraz systemu DOC_{NO2}-CSF, charakterystyka obciążeniowa n_{Mmax}



Rys. 7. Udział średnich stężeń tlenków azotu w spalinach badanego silnika dla układu standardowego oraz systemu DOC_{NO2}-CSF, charakterystyka obciążeniowa n_{Nimax}

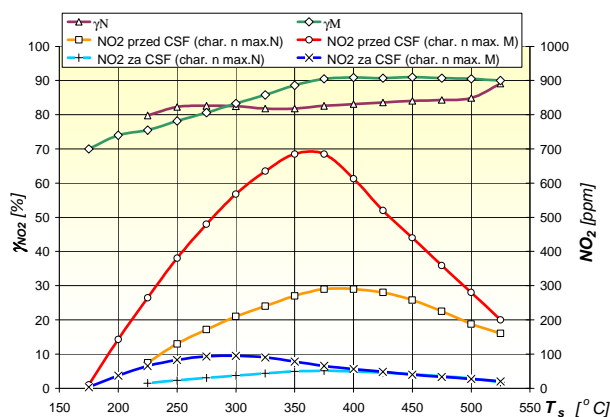
Bardzo wyraźnie zjawisko obrazuje rys. 8. W rzeczywistości „zużycie” NO₂ (na utlenienie cząstek) w filtrze jest większe niż nowo wytworzonego za reaktorem. Większym udziałem „zużycia” NO₂ w sumarycznej emisji tlenków azotu można tłumaczyć 25% redukcję emisji NO_x za filtrem w porównaniu z emisją standardowego układu wylotowego badanego silnika.

Dla przypadku samego filtra spalin właściwszym jest określenie skuteczności redukcji NO_2 w wyniku utleniania cząstek stałych, a nie konwersji NO do NO_2 . Na rys. 8 przedstawiono zmiany tej skuteczności jako γ_{NO_2} .

Po przekroczeniu temperatury spalin 275°C skuteczność redukcji NO_2 jest większa od 80%, a dla $T_s > 350^\circ\text{C}$ η_{NO_2} jest 90-procentowa dla obciążeń silnika odpowiadających charakterystyce $n_{M \max}$. Dla charakterystyki $n_{N \max}$ skuteczność redukcji NO_2 w wyniku utleniania cząstek stałych jest większa od 80% dla całego zakresu obciążeń i temperatur spalin.

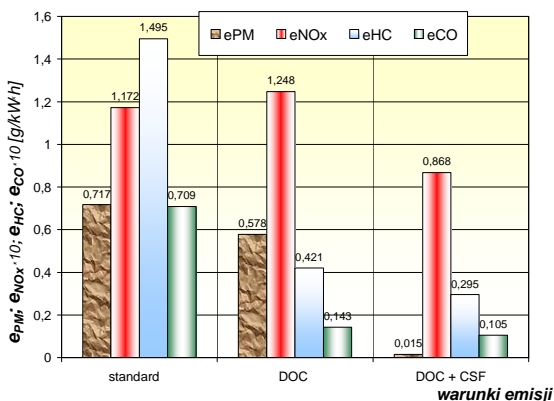
Reaktor konwersyjny DOC_{NO_2} w badanym systemie powoduje 20% zmniejszenie emisji cząstek stałych (rys. 9), prawdopodobnie przez wcześniejsze uwolnienie części gazowej i uniemożliwienie krzepnięcia części ciekłej SOF cząstek stałych, z wielce prawdopodobnym utlenieniem węglowodorów PAH adsorbowanych (głównie w wyniku adsorpcji fizycznej) na powierzchniach tych cząstek. Reaktor oprócz zamierzonego wzrostu stężenia NO_2 ma również właściwości klasycznego reaktora Oxicat, stąd wyraźne zmniejszenie emisji HC (o 72%) i CO (o 80%) w porównaniu z emisją w warunkach standardowych.

Filtr spalin powoduje dalsze, oczekiwane zmniejszenie emisji cząstek – 98% w porównaniu z emisją w warunkach standardowych, przy czym dla analogicznych warunków dla samego filtra (bez reaktora) zmniejszenie emisji nie przekraczało 90%.



Rys. 8. Zmiany skuteczności redukcji NO_2 w wyniku utleniania cząstek stałych w filtrze CSF dla obciążeń silnika odpowiadającym charakterystykom $n_{M \max}$ i $n_{N \max}$

Oddziaływanie aktywatorów powierzchniowych reaktora konwersyjnego DOC_{NO_2} (pośrednio przez wzrost stężenia NO_2 i redukcję frakcji SOF) i filtra CSF w systemie DOC_{NO_2} - CSF powoduje również 80% zmniejszenie emisji węglowodorów i 85% zmniejszenie emisji tlenku węgla przy 25% redukcji emisji tlenków azotu.



Rys. 9. Wyniki badań porównawczych emisji jednostkowych w spalinach badanego silnika dla standardowego układu wylotowego i układu wylotowego z DOC_{NO_2} i DOC_{NO_2-CSF}

Wnioski

- Zastosowanie reaktora konwersyjnego pozwala na uzyskanie zadowalającego stopnia konwersji tlenu do dwutlenku azotu. Filtr *CSF* redukuje („zużywa”) na utlenianie separowanych w nim cząstek 80% do 90% dostarczanego NO_2 .
- Największą ($\eta_M = 67\%$) konwersję w DOC_{NO_2} uzyskano dla obciążeń silnika odpowiadających charakterystyce maksymalnego momentu $n_{M \max}$, najmniejszą ($\eta_N = 48\%$) – dla obciążeń odpowiadających charakterystyce maksymalnej mocy.
- Konwersja NO do NO_2 w DOC_{NO_2} jest uzależniona od temperatury pracy reaktora, a optymalny zakres temperatur spalin, ze względu na skuteczność konwersji NO , zawiera się w granicach $275^\circ C < T_s < 350^\circ C$.
- Zastosowany reaktor konwersyjny DOC_{NO_2} zwiększa średnie stężenie NO_2 do poziomu 40% sumarycznego stężenia NO_x dla większości obciążeń silnika. Ten poziom udziału NO_2/NO_x jest prawdopodobnie warunkiem sine qua non dla uzyskania pozytywnych efektów w ograniczaniu emisji toksycznych składników spalin.
- Za filtrem poziom stężeń NO_2 w większości badanych obciążeniach i prędkości obrotowych (poza biegiem jałowym) był mniejszy niż przed reaktorem, co pozwala wnioskować, że dwutlenek azotu (również nowo wytworzony przez reaktor) został zużyty do przebudowy struktury bądź utlenienia separowanych w filtrze cząstek stałych.
- Efekt utleniania cząstek w filtrze, przy optymalnym stężeniu NO_2 (mimo 8% wzrostu NO) nie powoduje dodatkowego wzrostu emisji NO_x . Większym udziałem „zużycia” NO_2 (na utlenianie cząstek) w sumarycznej emisji

- tlenków azotu można tłumaczyć 25% redukcją emisji NO_x za filtrem w porównaniu z emisją standardowego układu wylotowego badanego silnika.
- Skuteczność ograniczania emisji przez badany system $\text{DOC}_{\text{NO}_2}\text{-CSF}$ dotyczy nie tylko tlenków azotu, ale również cząstek stałych (98%), węglowodorów (80%) i tlenku węgla (85%).

Bibliografia

1. Allansson R., Blakeman P.G., Cooper B.J. i in.: Optimizing the low temperature performance and regeneration efficiency of the continuously regenerating diesel particulate filter (CR-DPF) system. SAE Paper No. 2002-01-0428.
2. Allansson R., Blakeman P.G., Cooper B.J. i in.: The use of continuously regeneration trap (CRT TM) to control particulate emissions: Minimizing the impact of sulfur poisoning. SAE Paper No. 2002-01-1271.
3. Allansson R., Goersmann C., Lavenius M. i in.: The development and in-field performance of highly durable particulate control systems. SAE Paper No. 2004-01-0072.
4. Allansson R., Maloney C.A., Walker A.P. i in.: Sulphate production over the CRT: what fuel sulphur level is required to enable the EU 4 and EU 5 PM standards to be met. SAE Paper No. 2000-01-1875.
5. Conway R., Chatterjee S., Beavan A. i in.: Combined SCR and DPF technology for heavy-duty diesel retrofit. SAE Paper No. 2005-01-1862.
6. Dathe H.: Nanostructured Sulfur Traps for the protection of high performance NO_x storage/reduction catalysts in low emission engine applications. PhD thesis, Technische Universität München, 2005.
7. Hawker P., Myers N. i in.: Experience with a New Particulate Trap Technology in Europe. SAE Paper No. 970182.
8. Hesser M., Lüders H., Henning R.S., Robert Bosch Corporation/Robert Bosch GmbH. SCR Technology for NO_x Reduction: Series Experience and State of Development. DEER Conference 2005.
9. Johnson T.: Update on Diesel Exhaust Emission Control Technology and Regulations, Corning, DEER Conference, August 2004.
10. Kašpar J., Fornasiero P.: Automotive catalytic converters: current status and some perspectives. Catalysis Today 77 (2003), p. 419–449.
11. Maly M., Claussen M., Carlowitz O. i in.: Influence of the nitrogen dioxide-based regeneration on soot distribution. SAE Paper No. 2004-01-0823.
12. Mayer A., Czerwiński J., Comte P.: Badania filtrów o częściowym przepływie spalin w zakresie redukcji cząstek stałych z silników o ZS. Silniki Spalinowe 2/2009, pp. 62–83.

13. O'Sullivan R., Maloney C., Johnson Matthey Catalysts.: Recent Developments in Continuously Regenerating Trap (CRT) Technology. Presentation to the Motor Vehicle Emission. Control Workshop 2004.
14. Richards P., Kalischewski W.: Retrofitting of diesel particulate filters–Particulate matter and nitrogen dioxide. SAE Paper No. 2003-01-1883.
15. Walker A.P., Blakeman P.G., Ilkenhaus T. i in.: The development and in-field demonstration of highly durable SCR catalyst systems. SAE Paper No. 2004-01-1289.
16. Yu R., Cole A., Stroia B., Huang S., Howden K., Chalk S.: Development of Diesel Exhaust Aftertreatment System for Tier II Standards. SAE Technical Paper No. 2002-01-1867.

Recenzent:
Jerzy MERKISZ

The reducing of the toxic substances emissions from diesel engine by the forced conversion of NO to NO₂

Key words

NO/NO₂ conversion, Diesel engine, environmental protection.

Summary

An own engine research results of the simultaneously nitrogen oxides reduce and particulate matter PM oxidation system in the Diesel engine exhaust system were presented.

It was found that the additional generation of NO₂ (by using the *DOC_{NO2}* conversion reactor) and the conditions and effects of the particulate matter oxidation in the *CSF* filter does not cause an additional increase of NO_x emission and may significantly reduce of HC and CO emissions from Diesel engine.

It was found that the sine qua non condition to achieve a positive effects in reducing emissions is the optimal level of NO₂/NO_x participation out the conversion reactor.