

Marek SWAT

Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom

WPLYW KONWERSJI NO/NO₂ W SYSTEMIE CCRT UKŁADU ANTYSADZOWEGO NA EMISJĘ TLENKÓW AZOTU Z SILNIKA O ZS

Słowa kluczowe

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

Streszczenie

Przedstawiono wyniki własnych badań wpływu systemu *CCRT* na strukturę sumarycznej emisji tlenków azotu z 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* systemu *CCRT* nie powodują dodatkowego wzrostu emisji NO_x z silnika o zapłonie samoczynnym. Optymalne stężenie NO₂ pozwala na 25% redukcję emisji NO_x z systemu *CCRT*.

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 czyn-

nikami 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. Jeśli te cząstki (warstwa) nie zostaną natychmiast utlenione, uniemożliwiają kontakt z aktywatorem w następnej separowanej warstwie cząstek. Dodatkowym utrudnieniem w późniejszym procesie regeneracji jest również blokowanie dostępu tlenu do substancji katalitycznej aktywatora, chyba że w składzie pierwiastkowym cząstek stałych znajdzie się na tyle wolnego tlenu, aby kontynuować proces utleniania cząstek po samozapłonie. Z reguły jednak tlen atomowy w cząstce stałej zawarty jest w wodzie, związanej głównie z siarczanami wchodzącymi w skład frakcji nierozpuszczalnej *INSOL (Insoluble)* cząstki PM.

Zastosowanie systemu *CRT (Continuous 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].

W normalnych warunkach eksploatacji silnika stężenie NO_2 w jego spalinach jest zbyt niskie (prawdopodobnie dwukrotnie), aby inicjować proces samozapłonu sadzy. Efekt utleniania NO na NO_2 w układzie wylotowym (na odcinku komora spalania–filtr spalin) jest niewielki, gdyż w istniejących temperaturach czas trwania reakcji jest zbyt długi. Dysocjacja N_2O_4 na NO_2 w układzie wylotowym wymaga dodatkowej porcji energii (ok. 23 J/mol), gdyż stosunek $\text{NO}_2/\text{N}_2\text{O}_4$ w ich mieszaninie jest w określonej temperaturze wielkością stałą.

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* jest przykładem aplikacji pasywnego systemu regeneracji, gdzie redukcja energii aktywacji utleniania cząstek stałych odbywa się głównie przez powierzchniową aktywację katalityczną konwertora utleniającego NO do NO₂.

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 zbadanie wpływu optymalnego (ze względu na redukcję energii aktywacji utleniania cząstek stałych separowanych w filtrze) – stężenia NO₂ na strukturę sumarycznej emisji tlenków azotu z silnika o zapłonie samoczynnym.

Istotą podjętego problemu jest próba określenia czy dodatkowe generowanie NO₂ (przez zastosowanie reaktora konwersyjnego *DOC_{NO2}*) 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 pracujący w układzie szeregowym.

Przyjęto założenie, że podstawowym systemem ograniczenia emisji toksycznych składników spalin jest system *CCRT* (*DOC_{NO2}* + *CSF*), gdzie główne efekty redukcji NO_x wynikają ze „zużycia” NO₂ na utlenianie cząstek stałych separowanych w filtrze *CSF*.

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

- ograniczenia emisji cząstek PM przez uwolnienie ciekłej fazy *SOF* i utlenienie ich gazowej frakcji w reaktorze *DOC*, którego zadaniem jest nie tylko generowanie NO₂, ale także reakcje utleniania jak w klasycznym reaktorze utleniającym,
- redukcja energii aktywacji utleniania PM w atmosferze NO₂ – inicjowanie początku utleniania cząstek stałych w temperaturach eksploatacyjnych, tj. ok. 300°C – w filtrze spalin *CSF*.

Przyjęto, że reakcja utleniania NO do NO₂ w reaktorze *DOC_{NO2}* 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 NO₂ za reaktorem. Wysoka skuteczność konwersji NO do NO₂ może zadowalająco obniżyć temperaturę samozapłonu separowa-

nych w filtrze cząstek stałych do warunków panujących w układzie wylotowym silnika doprowadzając do ciągłej regeneracji filtra.

Zbudowano w tym celu własnej konstrukcji system DOC_{NO_2} -CSF pracujący w układzie CCRT z przepływowym filtrem CSF (*Catalysed Soot Filter* – CuV na Al_2O_3) i reaktorem konwersyjnym DOC_{NO_2} (*Diesel Oxidation Catalyst* – Pt/Pd na Al_2O_3) – o zwiększonej o 50% gęstości substancji katalitycznej.



Rys. 1. System CCRT na stanowisku badawczym

3. Stanowisko badawcze

W zrealizowanym stanowisku silnikowym do badań CCRT zastosowano systemy jedno- i dwufiltrowe, gdzie w jednym z odgałęzień „by-pass” zamiast samego filtra spalin zastosowano $DOC_{NO_2}+CSF$.

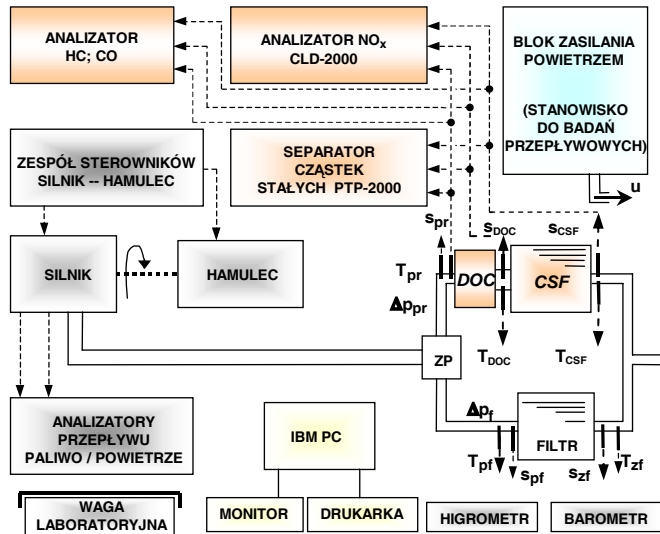
Jako podstawowe kryterium wyboru przyjęto możliwość badań porównawczych na stanowisku silnikowym jednocześnie samego filtra spalin i $DOC_{NO_2}+CSF$.

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 tlenku węgla.

Pomiaru emisji cząstek stałych dokonywano (na podstawie separowanej masy cząstek określonej metodą grawimetryczną) zgodnie z programowanymi 13-fazowymi testami badawczymi przy pomocy 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).



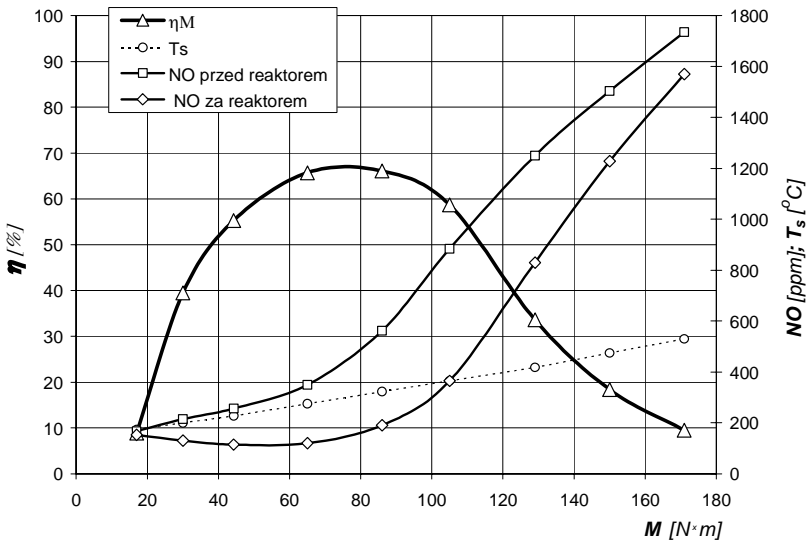
Rys. 2. Schemat funkcjonalny stanowiska badawczego: **u** – powietrze do separatora PTP; **Δp_f** i **Δp_{pr}** – różnica ciśnień na filtrze i filtrze z DOC_{NO₂}+CSF; **ZP** – zawór przełączający drogę spalin; **T** – sondy termopary (**p_f** – przed filtrem; **z_f** – za filtrem; **p_r** – przed reaktorem; **DOC** – za reaktorem DOC a przed filtrem CSF; **CSF** – za filtrem CSF; **s** – sondy poboru próbek spalin (oznaczenia indeksowe identyczne jak sond termopary)

4. Wyniki badań

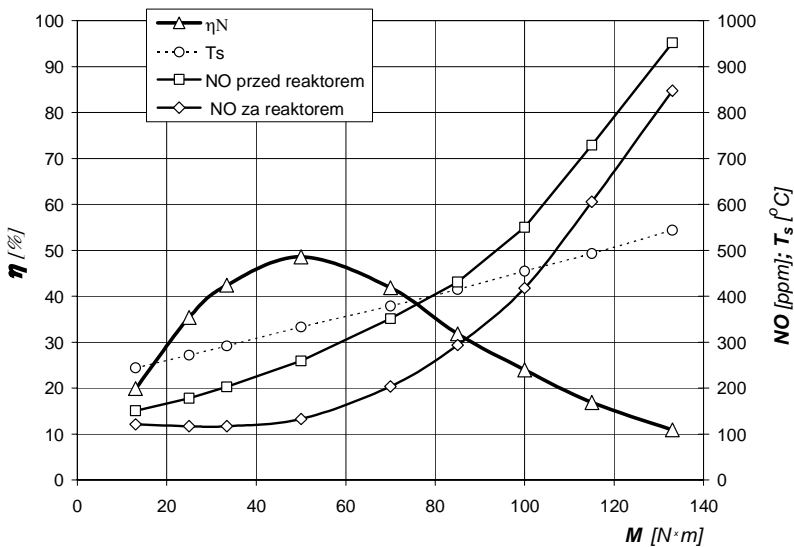
Jako miary konwersji tlenu do dwutlenku azotu użyto rzeczywistej ilości utlenionego tlenu azotu w reaktorze konwersyjnym DOC_{NO_2} wg zależności:

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

Największą ($\eta_M = 67\%$) konwersję uzyskano dla obciążeń silnika wg charakterystyki obciążeniowej $n_{M \max}$ (rys. 3), przy temperaturze spalin 300°C (rys. 5) – najmniejszą ($\eta_N = 48\%$) – dla obciążeń wg charakterystyki obciążeniowej obrotów maksymalnej mocy (rys. 4), przy temperaturze spalin 325°C (rys. 5).



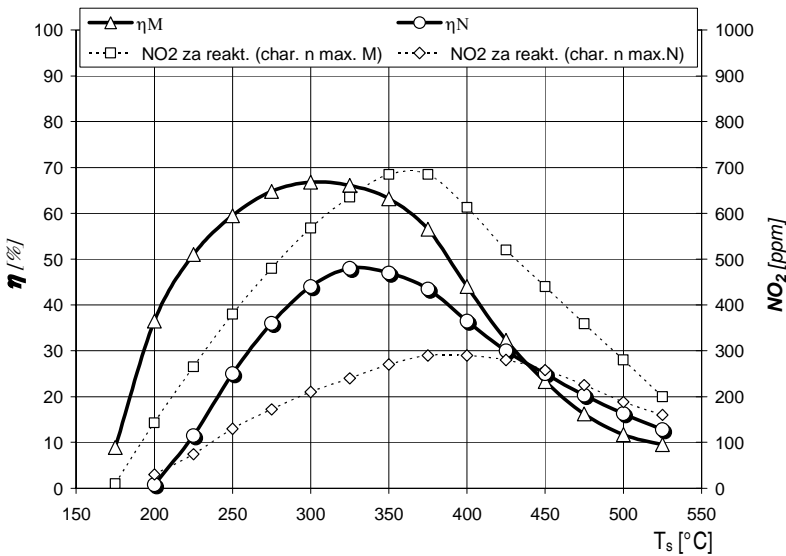
Rys. 3. Zmiany skuteczności konwersji NO do NO_2 w reaktorze konwersyjnym DOC_{NO_2} dla obciążeń silnika odpowiadającym charakterystyce $n_{M \max}$



Rys. 4. Zmiany skuteczności konwersji NO do NO_2 w reaktorze konwersyjnym DOC_{NO_2} dla obciążeń silnika odpowiadającym charakterystyce $n_{N \max}$

W miarę wzrostu prędkości obrotowej (w zakresie obrotów eksploatacyjnych) skuteczność konwersji maleje i jej maksimum przesuną 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 NO_2 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_{Nmax} .



Rys. 5. Porównanie zmian skuteczności konwersji NO do NO_2 w reaktorze DOC_{NO_2} , w funkcji temperatur spalin, dla obciążeń silnika odpowiadającym charakterystykom n_{Mmax} i n_{Nmax} .

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

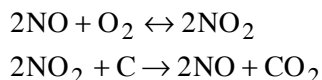
Stwierdzono, że w spalinach standardowego układu wylotowego silnika stężenie NO_2 jest niewielkie, średnio na poziomie 9%÷10% (charakterystyka obciążeniowa n_{Mmax}) do 13% (charakterystyka obciążeniowa n_{Nmax}) sumarycznego stężenia NO_x , największe w zakresie małych obciążeń silnika (dochodzi nawet do 18%), później gwałtownie spada, by w zakresie maksymalnego obciążenia osiągnąć wartość 1% do 2%. Największe (bezwzględne) stężenia NO_2 zaobserwowano dla obciążeń badanego silnika, gdy temperatura spalin mieściła się w zakresie 275°C (n_{Mmax}) do 325°C (n_{Nmax}).

Po przepływie spalin przez zastosowany reaktor konwersyjny DOC_{NO_2} średnie stężenie NO_2 stabilizuje się na poziomie 40% sumarycznego stężenia NO_x praktycznie dla większości obciążeń silnika (rys. 6 i 7). Po przejściu przez reaktor katalityczny stężenie NO_2 w spalinach wzrasta 2,5 do ponad 3 razy. Za

reaktorem największe (nawet 10-krotnie większe od standardowych – rys. 14) bezwzględne stężenia NO_2 zaobserwowano dla obciążeń badanego silnika, gdy temperatura spalin mieściła się w niewielkim zakresie zmian 350°C ($n_{M \max}$) do 370°C ($n_{N \max}$).

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 tlenku azotu w spalinach badanego silnika (rys. 6 i 7 oraz 10 i 11).

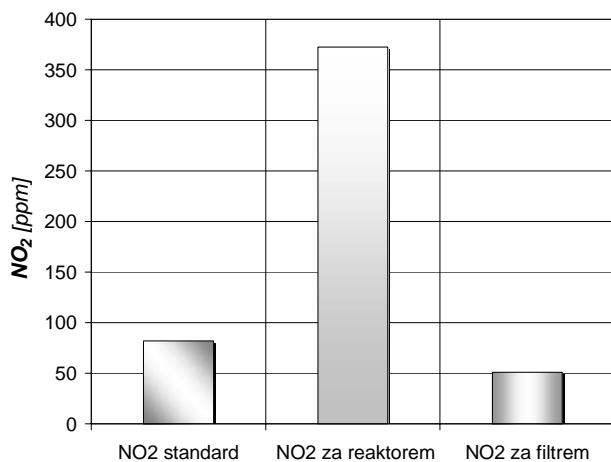
Za filtrem w systemie $CCRT$ poziom stężeń NO_2 w większości badanych obciążeń i prędkości obrotowych (poza biegiem jałowym) był nie tylko mniejszy od stężeń przed filtrem (redukcja powyżej 80% rys. 6 i 7), ale także mniejszy niż przed reaktorem (redukcja około 40%), co pozwala wnioskować, że dwutlenek 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 26% przy 40% redukcji emisji jednostkowej NO_2 – rys. 8 i 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 $\text{PM}_{\text{C SOLID}}$), zgodnie ze schematem:



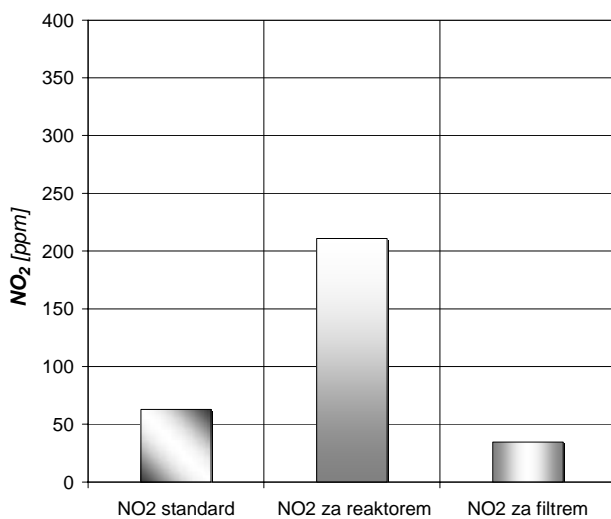
Schemat sugeruje dodatkowy wzrost emisji NO za filtrem, co widać na rys. 9 (a tym samym i średnich stężeń w układzie wylotowym – rys. 10 i 11) w wyniku utleniania cząstek stałych.

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

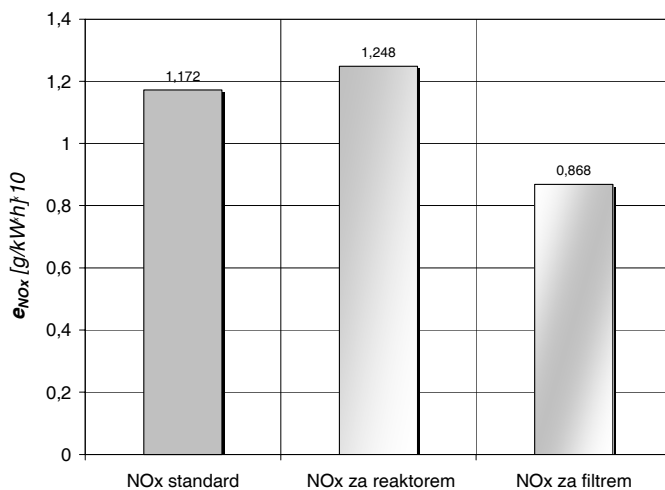
Bardzo wyraźnie zjawisko obrazują rys. 12 i 13, gdzie konwersja NO do NO_2 przyjmuje ujemne wartości praktycznie dla całego zakresu temperatur spalin. Niewielkie dodatnie wartości konwersji zaobserwowano jedynie po przekroczeniu temperatury 450°C dla charakterystyki $n_{M \max}$ i 500°C dla charakterystyki $n_{N \max}$. W tych temperaturach dochodzi już prawdopodobnie do całkowitej dysocjacji nowo wytworzonego dwutlenku azotu i nie bierze on udziału w utlenianiu cząstek stałych.



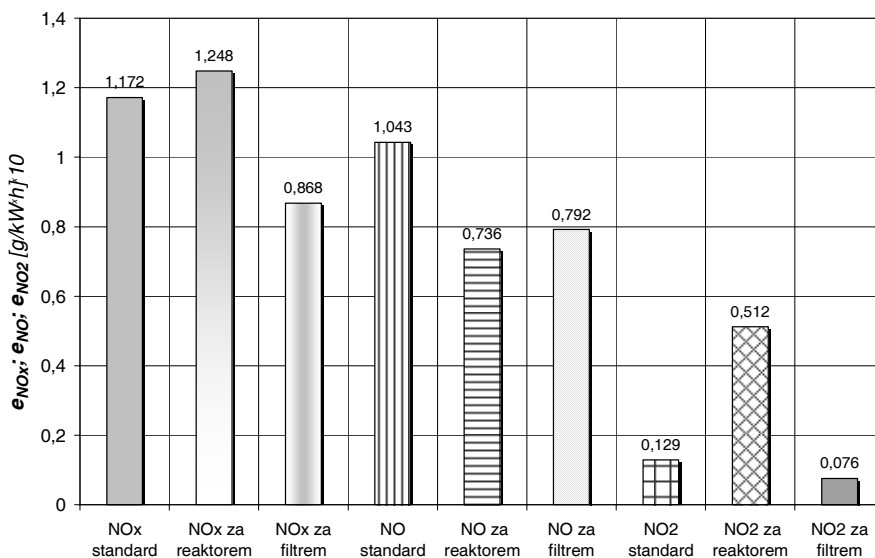
Rys. 6. Średnie stężenia dwutlenku azotu w spalinach badanego silnika dla układu standardowego oraz systemu DOC_{NO₂}-CSF, charakterystyka obciążeniowa n_{Mmax}



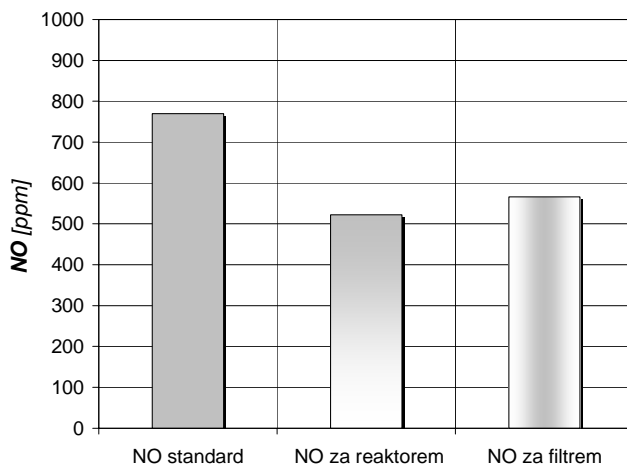
Rys. 7. Średnie stężenia dwutlenku azotu w spalinach badanego silnika dla układu standardowego oraz systemu DOC_{NO₂}-CSF, charakterystyka obciążeniowa n_{Nmax}



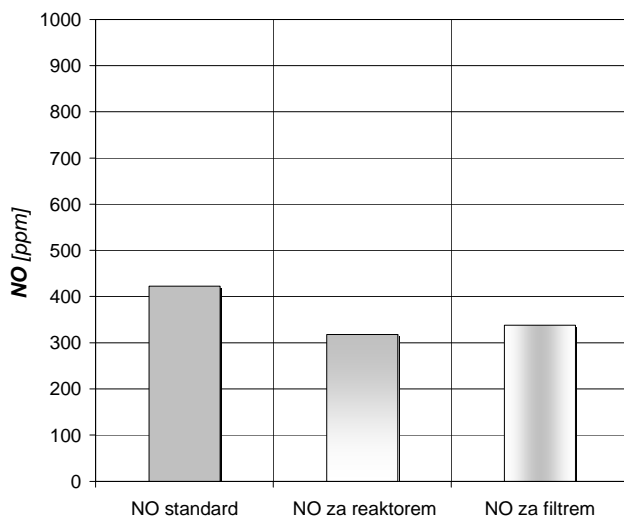
Rys. 8. Emisja jednostkowa tlenków azotu w spalinach badanego silnika dla układu standardowego oraz systemu DOC_{NO_2} -CSF



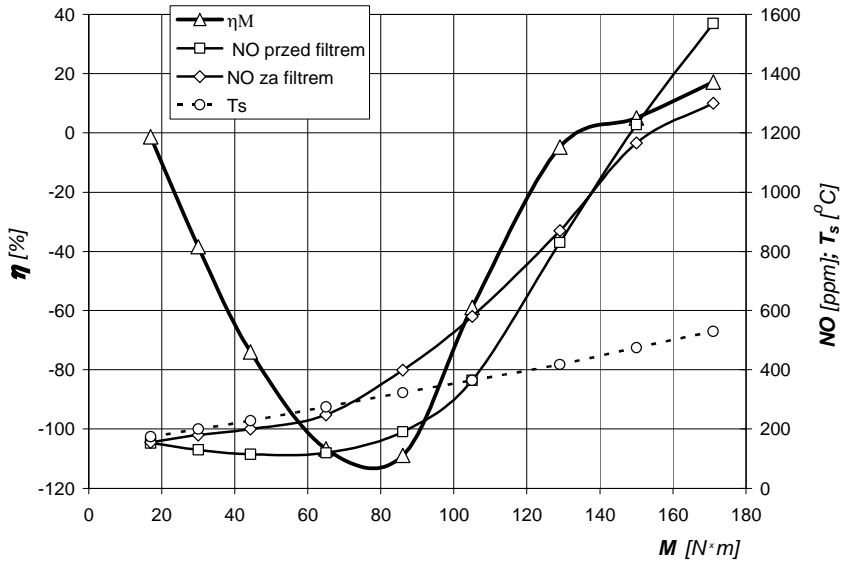
Rys. 9. Udział tlenku i dwutlenku azotu w emisji sumarycznych tlenków azotu w spalinach badanego silnika dla układu standardowego oraz systemu DOC_{NO_2} -CSF



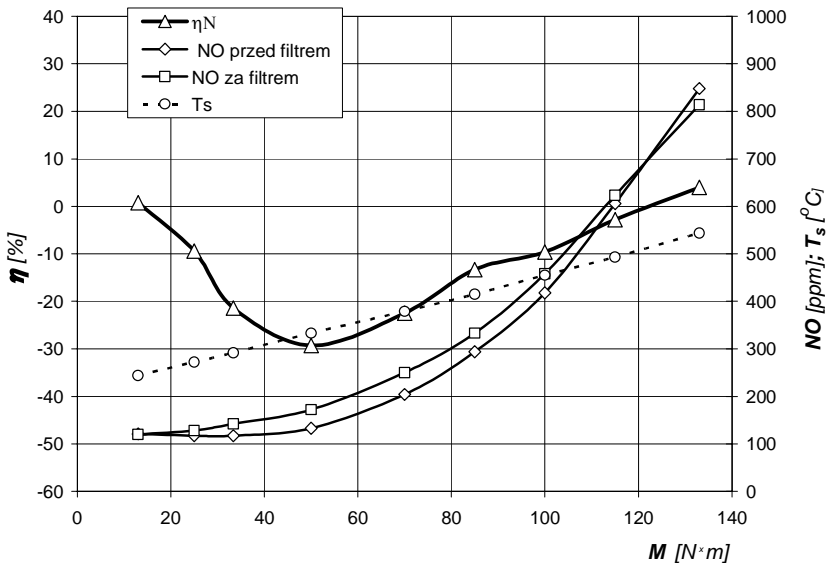
Rys. 10. Średnie stężenia tlenku azotu w spalinach badanego silnika dla układu standardowego oraz systemu DOC_{NO_2} -CSF, charakterystyka obciążeniowa n_{Nmax}



Rys. 11. Średnie stężenia tlenku azotu w spalinach badanego silnika dla układu standardowego oraz systemu DOC_{NO_2} -CSF, charakterystyka obciążeniowa n_{Nmax}



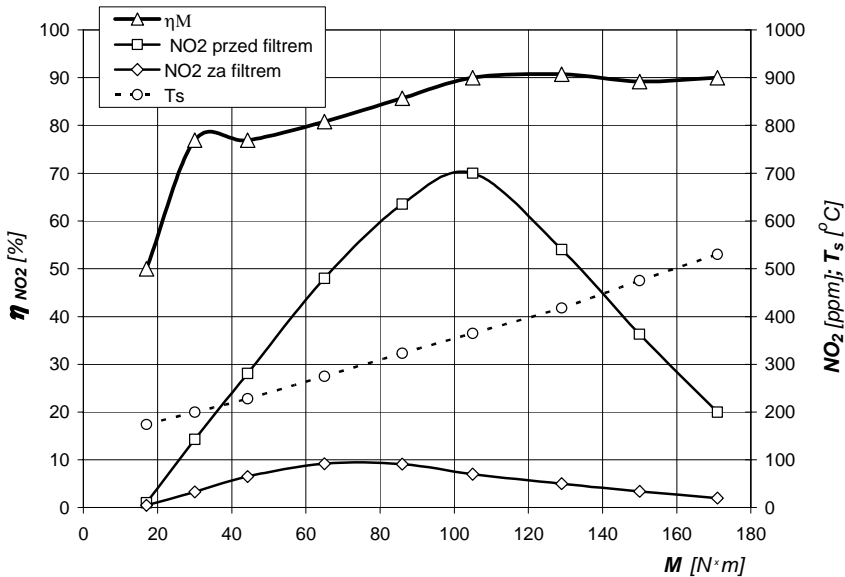
Rys. 12. Zmiany skuteczności konwersji NO do NO₂ w filtrze CSF dla obciążeń silnika odpowiadającym charakterystyce $n_{M_{max}}$



Rys. 13. Zmiany skuteczności konwersji NO do NO₂ w filtrze CSF dla obciążeń silnika odpowiadającym charakterystyce $n_{N_{max}}$

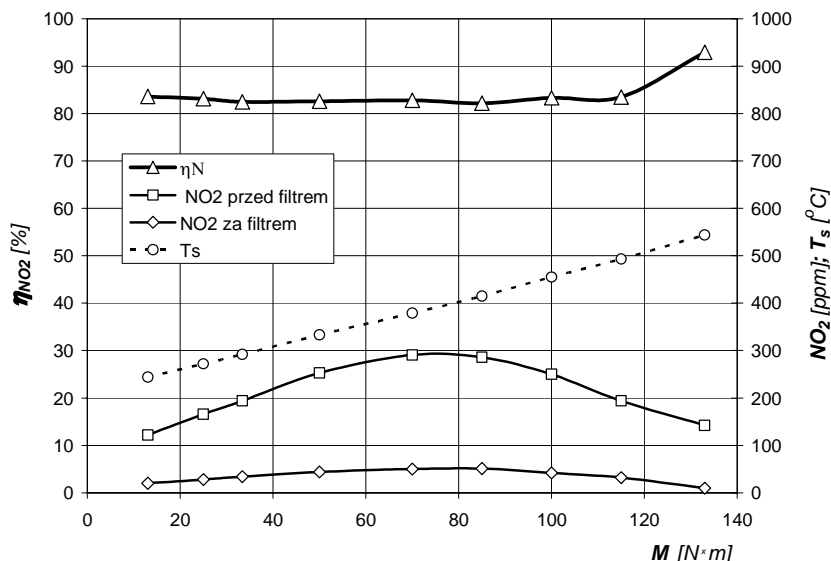
W rzeczywistości „zużycie” NO_2 (na utlenienie cząstek) w filtrze jest większe niż nowo wytworzonego za reaktorem. Większym udziałem „zużycia” NO_2 w sumarycznej emisji tlenków azotu można tłumaczyć 26% redukcję emisji NO_x za filtrem w porównaniu do emisji standardowego układu wylotowego badanego silnika.

Po dokładnym przeanalizowaniu wyników badań konwersji wydaje się, że 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. 14 i 15 przedstawiono zmiany tej skuteczności jako η_{NO_2} .



Rys. 14. Zmiany skuteczności redukcji NO_2 w wyniku utleniania cząstek stałych w filtrze CSF dla obciążeń silnika odpowiadającym charakterystyce $n_{M_{\max}}$

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.



Rys. 15. Zmiany skuteczności redukcji NO₂ w wyniku utleniania cząstek stałych w filtrze CSF dla obciążeń silnika odpowiadającym charakterystyce n_{Nmax}

Wnioski

- Zastosowanie w DOC_{NO_2} zwiększonej gęstości katalizatora Pt/Pd pozwala na uzyskanie zadowalającego stopnia konwersji tlenku do dwutlenku azotu. Filtr CSF wykorzystuje na utlenianie separowanych w nim cząstek 80% do 90% dostarczanego NO₂.
- Efekt utleniania cząstek w filtrze, przy optymalnym stężeniu NO₂ (8% wzrost NO) nie powoduje dodatkowego wzrostu emisji NO_x w porównaniu z emisją standardowego układu wylotowego badanego silnika.
- W spalinach standardowego układu wylotowego silnika stężenie NO₂ jest niewielkie, w zależności od obciążenia, średnio na poziomie 9% do 10% sumarycznego stężenia NO_x. Największe (bezwzględne) stężenia NO₂ zaobserwowano dla obciążeń badanego silnika, gdy temperatura spalin mieściła się w zakresie $275^{\circ}C < T_s < 325^{\circ}C$.
- Zastosowany reaktor konwersyjny DOC_{NO_2} zwiększa średnie stężenie NO₂ do poziomu 40% sumarycznego stężenia NO_x dla większości obciążeń silnika. Reaktor przesuwaa zakres występowania największych (bezwzględnych) stężeń NO₂ do temperatur $350^{\circ}C < T_s < 370^{\circ}C$.
- Największą ($\eta_M = 67\%$) konwersję w DOC_{NO_2} uzyskano dla obciążeń silnika przy obrotach maksymalnego momentu n_{Mmax} , najmniejszą ($\eta_N = 48\%$) – dla obciążeń obrotów maksymalnej mocy. W miarę wzrostu prędkości obro-

towej (w zakresie obrotów eksploatacyjnych) skuteczność konwersji maleje i jej maksimum przesuwa się w zakres wyższych temperatur.

- Konwersja NO do NO₂ 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 $275^{\circ}\text{C} < T_s < 350^{\circ}\text{C}$.
- Za *CCRT* poziom stężeń NO₂ w większości badanych obciążeniach i prędkościach 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.
- Większym udziałem „zużycia” NO₂ w sumarycznej emisji tlenków azotu można tłumaczyć ok. 25% redukcję emisji NO_x przez system *CCRT* w porównaniu do emisji standardowego układu wylotowego badanego silnika.

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 inni: 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), pages 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:

Sławomir LUFT
Jerzy WALENTYNOWICZ

The effect of NO/NO₂ conversion in the antysoot ccrt system on the nitrogen oxides emission from diesel engine

Key words

NO/NO₂ conversion, Diesel engine, environmental protection.

Summary

The engine research results of the *CCRT* system effect on the summary structure of nitrogen oxides emissions from Diesel engine are presented.

It was determined that the additional generation of NO₂ (by using the *DOC_{NO2}* conversion reactor) and the oxidation conditions and effects of the particulate matter in the *CSF* filter in the *CCRT* system does not cause an additional increase of NO_x emissions from a Diesel engine.

The optimal concentration of NO₂ allows for a 25% reduction of NO_x emissions from the *CCRT* system.