

Czesław Kolanek

Ograniczenie emisji NO_x z silników o zapłonie samoczynnym przez wprowadzenie wody do procesu spalania

Postęp cywilizacyjny, objawiający się wzrostem zamożności społeczeństw, spowodował wzmożone zainteresowanie motoryzacją, a zwłaszcza indywidualną. Z kolei rozwój motoryzacji spowodował pozytywne skutki w postaci doskonalszych pojazdów, ze sprawniejszymi jednostkami napędowymi, ale również i negatywne – w postaci narastającego obciążenia środowiska gazami spalinowymi, zawierającymi związki toksyczne oraz wydłużeniem okresu eksploatacji starych pojazdów, co problem emisji spalin potęguje. Poziom emisji związków toksycznych do atmosfery osiągnął takie rozmiary, że na początku lat siedemdziesiątych w USA, a potem w innych krajach, opracowano progresywne programy ograniczenia emisji tlenu węgla, niepalonych węglowodorów i tlenków azotu [1]. W okresie pierwszych kilku lat po wprowadzeniu tych ograniczeń program przewidywał szybkie obniżenie emisji CO i HC, natomiast tempo zmian emisji NO_x zostało rozciągnięte w czasie. Takie działania legislacyjne wynikały z możliwości technicznych ograniczenia emisji poszczególnych składników spalin.

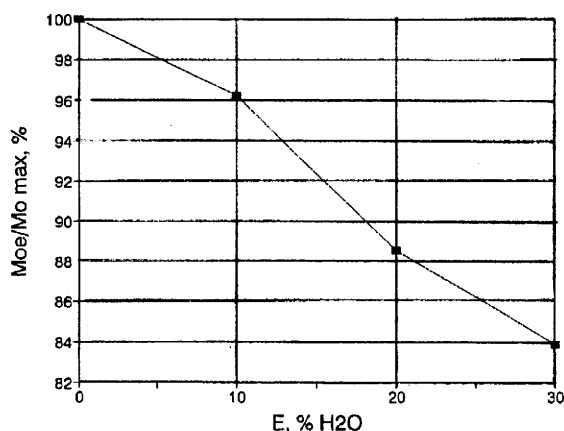
Problem emisji CO i HC rozwiązano za pomocą katalizatorów – najpierw utleniających, a potem trójfunkcyjnych, obniżających również stężenia NO_x , przy czym efektywne wykorzystanie tych ostatnich, ze względu na wymagane wartości współczynnika nadmiaru powietrza (λ), jest możliwe tylko w przypadku silników o zapłonie iskrowych.

Możliwości ograniczenia emisji NO_x

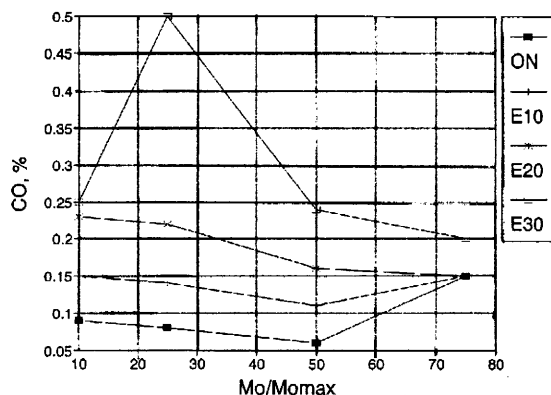
Najprostszym sposobem ograniczenia emisji tlenków azotu jest zmniejszenie kąta początku wtrysku paliwa. Konsekwencją takiego zabiegu jest wzrost stężenia CO i HC w spalinach, które można neutralizować za pomocą katalizatora utleniającego. Na drodze regulacji kąta wyprzedzenia wtrysku paliwa nie można jednak obniżyć zawartości NO_x do zera. Całkowite usunięcie tlenków azotu oferuje metoda SCR (*Selective Catalytic Reduction*), polegająca na ich redukcji za pomocą amoniaku [2]. Jednak ze względu na potrzebę precyzyjnego dozowania amoniaku, w stosunku do chwilowych stężeń NO_x , proces ten jest z powodzeniem stosowany tylko w dużych silnikach okrętowych [3]. Jedną z wielu metod pozwalających na częściowe ograniczenie emisji tlenków azotu [4] jest wprowadzenie wody do przestrzeni spalania silnika, w celu obniżenia maksymalnej temperatury czynnika roboczego, która decyduje o syntezie NO_x z tlenu i azotu znajdujących się w cylindrze silnika. Wariantem tej metody jest zasilanie silnika emulsją wodną oleju napędowego.

Efekty zasilania silnika emulsją

Dla oceny tej metody przeprowadzono badania na silniku o zapłonie samoczynnym, eksploatowanym między innymi w kopalnianych maszynach roboczych ($N=85 \text{ kW}$, $n=2300 \text{ obr/min}$, $V_{ss}=6,54 \text{ dm}^3$). Częściowe wyniki badań, dla różnych obciążeń $M_o/M_{o\max}$, przy prędkości obrotowej odpowiadającej mocy nominalnej, przedstawiono na rysunkach 1+5.

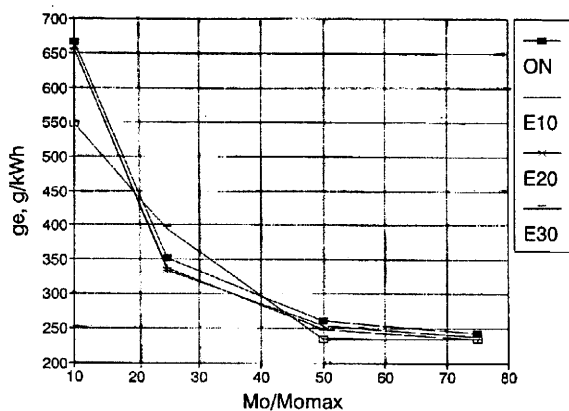


Rys. 1. Wpływ zawartości wody w emulsji na wartość maksymalną momentu obrotowego

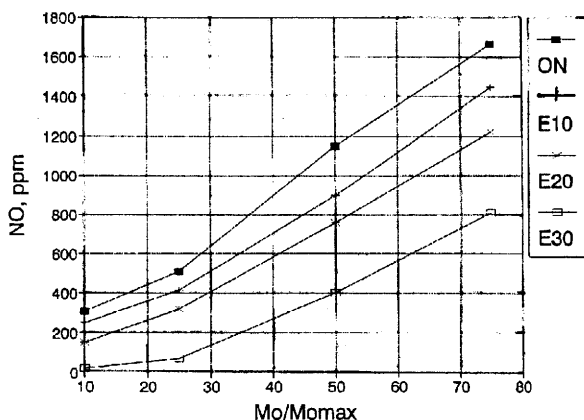


Rys. 2. Wpływ zawartości wody w emulsji na stężenie CO w spalinach (ON – olej napędowy, E10, E20, E30 – emulsja o zawartości wody odpowiednio 10, 20, 30%)

Bezpośrednim kosztem wprowadzenia wody do przestrzeni spalania silnika było obniżenie jego parametrów nominalnych, tzn. wraz ze wzrostem zawartości wody w paliwie wartość maksymalna momentu obrotowego silnika malała. Zmiany te miały jednak wymiar pozytywny, gdyż (zachowując liniowy charakter) 30-procentowemu udziałowi wody w paliwie odpowiadała tylko 16-procentowa obniżka wartości momentu obrotowego silnika (rys. 1), co oznacza, że wzrosła jego sprawność.

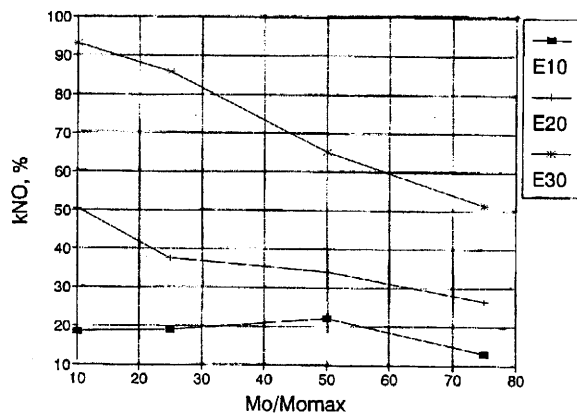


Rys. 3. Wpływ zawartości wody w emulsji na jednostkowe zużycie paliwa (ON – olej napędowy, E10, E20, E30 – emulsja o zawartości wody odpowiednio 10, 20, 30%)



Rys. 4. Wpływ zawartości wody w emulsji na stężenie NO w spalinach (ON – olej napędowy, E10, E20, E30 – emulsja o zawartości wody odpowiednio 10, 20, 30%)

Liczbowym potwierdzeniem tych obserwacji było nieznaczne, ale zauważalne zmniejszenie jednostkowego zużycia paliwa (rys.3), informujące o ilości paliwa zużywanego na jednostkę wytworzonej energii. Występująca przy 30-procentowym udziale wody w paliwie wyższa wartość g_e (dla 25% obciążenia silnika mierzonego stosunkiem M_o/M_{omax}) była wartością błędną lub wynikiem chwilowego stanu silnika. To ostatnie spostrzeżenie potwierdza nieoczekiwany wzrost stężenia CO dla omawianych parametrów pracy silnika (rys.2). Zmiany stężenia tlenków azotu w gazach odlotowych (rys.4) jednoznacznie informują o pozytywnym wpływie obecności wody. Ocenę ilościową tego zjawiska pokazano na rysunku 5, przedstawiającym stopień obniżenia zawartości tlenków azotu w funkcji obciążenia silnika i zawartości wody w paliwie. Zgodnie z oczekiwaniami, stopień obniżenia zawartości NO osiągał najwyższe wartości dla największych udziałów wody w paliwie. Zauważalna była również tendencja do obniżania zawartości tlenku azotu w spalinach przy małych obciążeniach silnika.



Rys. 5. Wpływ zawartości wody w emulsji na stopień obniżenia NO w spalinach (E10, E20, E30 – emulsja o zawartości wody odpowiednio 10, 20, 30%)

Podsumowanie

Zastosowanie wodnej emulsji paliwa umożliwiło w sposób kontrolowany na ograniczenie emisji NO_x w spalinach, przy czym wzrost stężenia CO nie stanowił problemu w silnikach wyposażonych w katalizator. Stwierdzono, że użycie emulsji wodnej paliwa nieznacznie zmniejszyło jednostkowe zużycie paliwa. Jednocześnie wyraźne zmniejszenie wartości maksymalnych momentu obrotowego silnika ograniczyło przydatność tej metody do układów napędowych dysponujących nadwyżką momentu obrotowego.

Użycie wodnej emulsji paliwa wymuszało potrzebę przełączania zasilania silnika przed zatrzymaniem na olej napędowy, z uwagi na korozyjne działanie wody na elementy układu paliwowego. Ma to określony wymiar ekonomiczny, który należy uwzględnić przy podejmowaniu decyzji o wykorzystaniu tej metody. Badania wymaga także (intuicyjnie negatywny) wpływ emulsji na trwałość silnika.

Ponadto istotnym ograniczeniem omawianej metody jest podatność emulsji na zamarzanie, co powoduje ograniczenie przydatności tej metody do przestrzeni o dodatnich temperaturach otoczenia.

LITERATURA

1. H. J. DECKER et.al.: Progress in CVS techniques – A variable flow venturi. MTZ, 1995, 56, 1.
2. G. LEPPERHOFF et.al.: Verhalten von SCR-Katalysatoren im dielemotorischen Abgas. MTZ, 1988, 49, 1.
3. W. LAUSCH et.al.: Possibilities and limits of NO_x reduction in MAN B&W large bore four-stroke diesel engines. MTZ, 1993, 54, 2.
4. C. KOLANEK: Emisja tlenku azotu – problem do rozwiązania. Mat. konf. „KONES '95”, Poznań 1995.

Abatement of NO_x Emission by Adding Water to the Combustion Process in Diesel Engines

Synthesis of nitrogen oxides creates serious problems in the abatement of toxic substance emission from combustion engines. According to long-term predictions, zero-emission of NO_x will have been achieved by the year 2005. Many different methods

of reducing NO_x emission have been developed so far. This paper provides an account of these methods and presents the results obtained from the study of a Diesel traction-engine fuelled with a water/oil emulsion.