

Michał JANICKI ¹
Czesław KOLANEK ²
Wojciech WALKOWIAK ³

EKOLOGICZNE ASPEKTY ROZCIEŃCZANIA SPALIN SILNIKOWYCH

Przedstawiono zasadę i przykładowe efekty działania beznapędowego urządzenia do rozcieńczania gazów wylotowych silników spalinowych oraz wyniki modelowania rozkładu stężeń cząstek stałych w otoczeniu wylotu silnika z układem rozcieńczającym i bez takiego układu.

THE ECOLOGICAL ASPECTS OF COMBUSTION ENGINE EXHAUST DILUTION

The paper presents the basic principal and the effects of usage of system for exhaust gas dilution from combustion engine and the results of modelling of particle matter (PM) concentration in environment in case of emission from the vehicle with and without the system.

1. WSTĘP

Jedną z cech urządzeń napędzanych silnikami spalinowymi jest ich zagrożenie dla środowiska. Elementem zagrożenia jest emisja do atmosfery gazów wylotowych zawierających związki toksyczne, będące efektem procesów niecałkowitego i niepełnego procesu spalania składników paliwa węglowodorowego (tlenek węgla, niespalone węglowodory, sadza, tlenki siarki) oraz wykorzystywania jako utleniacza tlenu z powietrza zawierającego azot (tlenki azotu).

¹ Ove Arup & Partners Int. Ltd. Sp. z o.o. Oddz. w Polsce, ul. Królewska 16, 00-103 Warszawa, michal.janicki@arup.com, +48 (0) 71 719 68 57 fax: +48 (0) 71 719 68 55

² Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny; 50-371 Wrocław, ul. Łukasiewicza 7/9
Tel., fax.: + 48 71-34-77-918; e-mail: czeslaw.kolane@pwr.wroc.pl

³ Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny; 50-371 Wrocław, ul. Łukasiewicza 7/9
Tel., fax.: + 48 71-34-77-918; e-mail: wojciech.walkowiak@pwr.wroc.pl

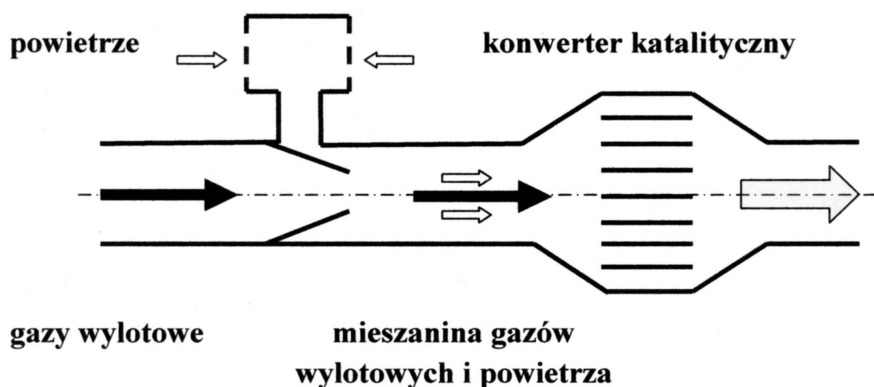
2. ROZCIEŃCZANIE SPALIN JAKO METODA OGRANICZANIA OBCIĄŻEŃ ŚRODOWISKA

Metody ograniczania zagrożeń i obciążeń środowiska związkami występującymi w gazach wylotowych silników spalinowych dzielą się na czynne i bierne. Metody czynne związane są z działaniami dotyczącymi procesu spalania w silniku a metody bierne – zabiegów na spalinach. Efekt takich zabiegów mierzony jest zmianą (obniżeniem) stężeń (wyrażanych w udziałach objętościowych lub masowych) lub emisji jednostkowych toksycznych składników (wyrażanych w zależności od stosowanego testu badawczego w g/km lub g/kWh). Będące wyrazem efektu wskaźniki ilościowe mają swoje źródło w pierwotnym pomiarze stężeń w gazach wylotowych opuszczających silnik.

Metoda rozcieńczania spalin, polegająca na intensywnym mieszaniu gazów wylotowych z otaczającym powietrzem powoduje, że stężenia toksyn są „mechanicznie u źródła” obniżane. Obniżeniu ulega również temperatura gazów wylotowych, co ma istotne znaczenie w przypadkach eksploatacji maszyn z napędem spalinowych w przestrzeniach zamkniętych środowiska pracy ludzi (kopalnie, magazyny).

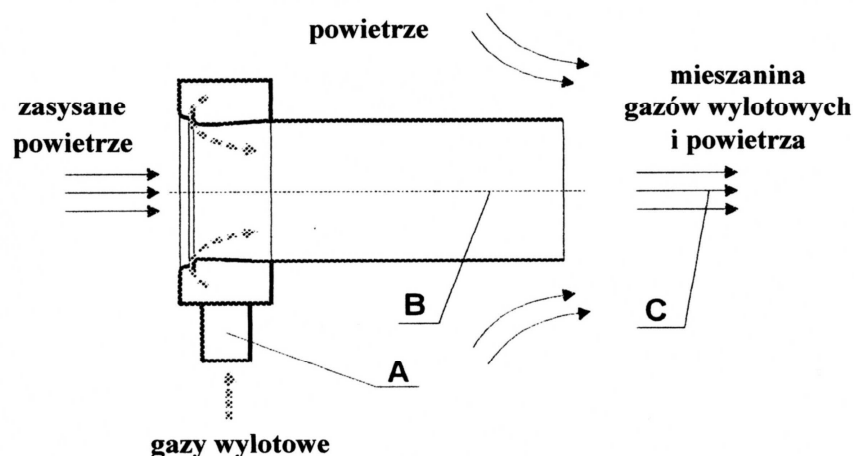
3. STOSOWANE ROZWIĄZANIA

Idea dodatkowego powietrza pojawiła się w związku z wprowadzeniem układów katalitycznej neutralizacji spalin za pomocą katalizatora utleniającego. Praca napędowego silnika spalinowego w stanach wysokiego obciążenia powodowała zbyt niskie stężenie tlenu na złożu katalizatora. Efektem „ubocznym” było rozcieńczanie spalin [1]. Proponowane rozwiązanie polegało na inżektorowym podsysaniu powietrza według schematu przedstawionego na rys. 1.



Rys. 1. Inżektorowy system doprowadzania dodatkowego powietrza do układu katalitycznego [opracowanie własne na podst. 1]

System permanentnego rozcieńczania spalin funkcjonuje (z założenia) u wylotu gazów do atmosfery. Schemat urządzenia, wykorzystującego efekt Coanda, przedstawiono na rys. 2. [2, 3].



Rys. 2. Schemat dyfuzorowego układu rozcieńczania spalin [3]: A-gaz „surowy”, B-rura dyfuzora, C-po rozcieńczeniu [opracowanie własne na podst. 3]

Układ działa według następującej zasady. Opuszczające silnik gazy wylotowe są doprowadzane do kołowego kolektora. Następnie, poprzez pierścieniową szczelinę kierowane są do obszaru obniżonego ciśnienia dyfuzora, wymuszając ruch powietrza znajdującego się w cylindrycznej części urządzenia i efekt mieszania. Wypływające z urządzenia gazy mieszają się wtórnie z otaczającym je powietrzem.

4. EFEKTY ROZCIEŃCZANIA SPALIN

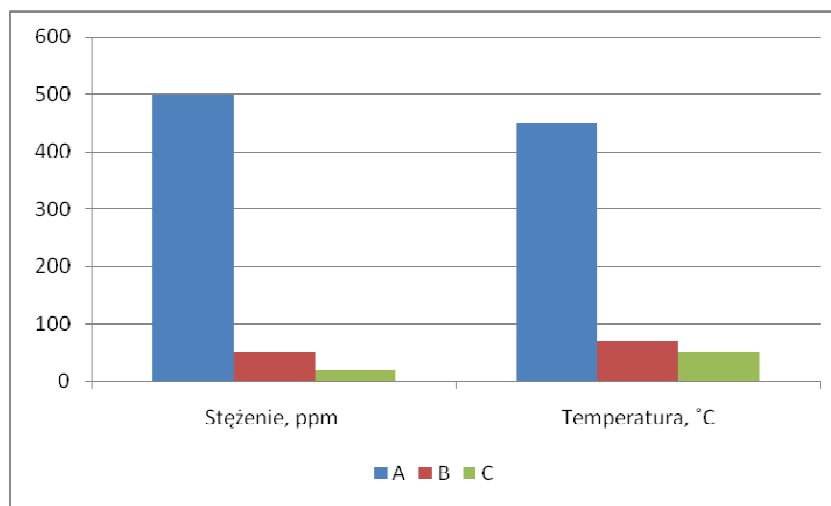
Efekt rozcieńczania spalin, jak sygnalizowano wcześniej, jest podwójny i dotyczy obniżania stężeń gazów i ich temperatury. Przykładowy rezultat takich zabiegów przedstawiono na rys. 3.

Jak wynika z przebiegów przedstawionych na rys. 3 obniżenie stężenia gazów wprowadzanych do „urządzenia rozcieńczającego” osiąga 20-krotność; temperatura ulega obniżeniu 9-krotnemu.

5. MODELOWANIE ROZCIEŃCZANIA SPALIN

Procesy atmosferyczne zachodzące w granicznej warstwie atmosfery mogą być opisane z wykorzystaniem zasad zachowania: masy, ciepła, pędu, wody oraz zanieczyszczeń gazowych i aerozoli [4]. Matematyczny zapis tych zasad zachowania jest wyrażony równaniami: ciągłości, transportu ciepła, ruchu (trzy składowe prędkości), transportu wody

(w trzech stanach skupienia), transportu zanieczyszczeń gazowych i cząstek aerozoli (oddzielne równanie dla każdego zanieczyszczenia). Do tych zależności funkcyjnych dochodzi równanie stanu dla gazu doskonałego.



Rys. 3. Efekty rozcieńczania gazów wylotowych za pomocą dyfuzora w aspekcie stężeń i temperatur: A-gaz „surowy”, B–w rurze dyfuzora, C-po rozcieńczeniu [opracowanie własne na podst. 3]

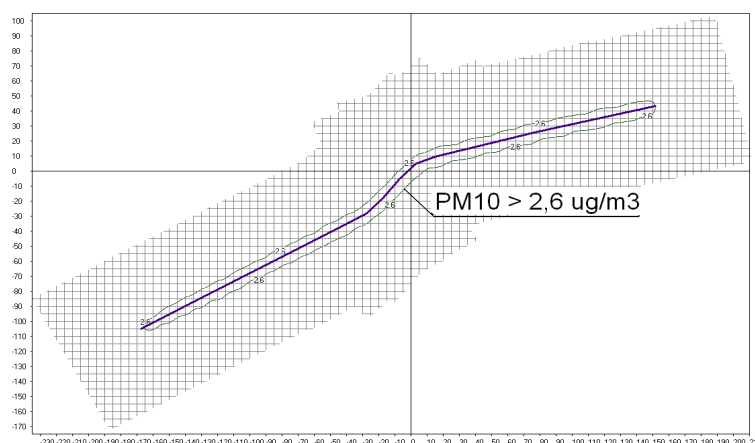
W podanym poniżej przykładzie, do wyznaczenia średniorocznych stężeń posłużono się modelem Caline3, opracowanym przez P.E. Bensona na zlecenie Departamentu Transportu Stanu Kalifornia. Model ten został pozytywnie zweryfikowany przez US EPA w oparciu o pomiary kontrolne i zaliczony do podstawowej grupy modeli, zalecanych do stosowania przy wykonywaniu analiz stanu zanieczyszczenia powietrza.

Do analizy posłużono się hipotetyczną drogą, o jednakowym wyniesieniu i jednakowej szorstkości terenu. Przyjęto identyczne warunki meteorologiczne oraz potok ruchu w podokresach. Zamodelowano rozkład średniorocznych stężeń pyłu PM 10.

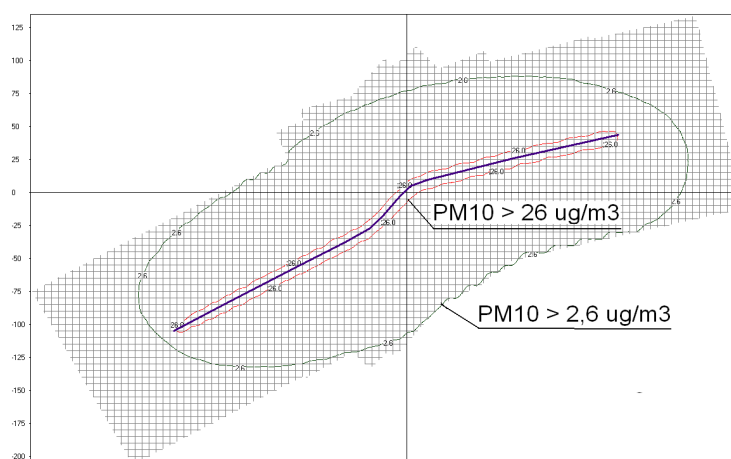
W pierwszym przypadku założono, że pojazdy posiadają mechanizm rozcieńczenia spalin w drugim, że wylot gazów następuje „tradycyjnie”. W celu uproszczenia modelu, posłużono się w obu przypadkach emisją z silników o zapłonie samoczynnym.

Różnice w rozkładzie stężeń średniorocznych pomiędzy omawianymi wariantami przedstawiono za pomocą izolinii PM10 > 2,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dla gazów rozcieńczonych oraz PM10 > 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dla gazów nierozcieńczonych.

Wyniki modelowania przedstawiono na rysunkach 4 i 5 w postaci izolinii na planie siatki o wymiarach podstawowego kwadratu 5 x 5 m.



Rys. 4. Rozkład stężeń średniorocznych pyłu PM 10 pojazdów wyposażonych w system rozcieńczania spalin [opracowanie własne]



Rys. 5. Rozkład stężeń średniorocznych pyłu PM 10 pojazdów bez systemu rozcieńczania spalin [opracowanie własne]

Wariant z zastosowaniem układu rozcieńczania spalin charakteryzuje się znacznie większym strumieniem gazów wylotowych, który w strefie mieszania ulega szybszej dyfuzji zarówno poziomej jak i pionowej.

Przebiegi izolinii źródłowych $PM_{10} > 2,6$ (rys. 4) oraz $PM_{10} > 26$ (rys. 5) układają się podobnie. Stan naturalnego rozcieńczania gazów ze źródła $PM_{10} > 26$ powoduje wystąpienie izolinii $PM_{10} > 2,6$ dopiero w odległości od 5 m (na początku drogi źródła) do

około 105 m (w sytuacji najkorzystniejszej). Ekologiczny aspekt wykorzystania mechanicznego urządzenia do rozcieńczania gazów wylotowych staje się więc oczywisty.

6. WNIOSKI

1. Przedstawiona metoda rozcieńczania spalin nie zmniejsza „globalnego” stężenia emitowanych gazów.
2. Uzyskiwany efekt „lokalnego” obniżenia stężeń oraz temperatury gazów wylotowych może mieć istotne znaczenie dla środowiska pracy ludzi oraz maszyn z napędem spalinowym.
3. Realne obniżenie lokalnych (u źródła) stężeń oraz temperatury gazów wylotowych powoduje wtórny, pozytywny efekt zmniejszonego obciążenia środowiska.
4. Obecnie rozważa się możliwość wykorzystania idei dodatkowego powietrza rozcieńczającego w sytuacjach krótkiego okresu pracy układu katalitycznego po uruchomieniu silnika, gdy temperatura złoża katalitycznego jest zbyt niska. Elementem pompującym dodatkowe powietrze może być sprężarka o wysokiej wydajności, napędzana silnikiem elektrycznym.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] *Materiały informacyjne firmy Engelhard Ltd*
- [2] Kolanek C., Walkowiak W. W.: Rozcieńczanie spalin jako metoda zmniejszania zadymienia lokalnego. W: Ogólnopolska Konferencja Naukowa KONSSPAL '94; Wrocław, 27-28 września 1994; Zeszyty Naukowe - Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Zmechanizowanych im. T. Kościuszki; wyd. spec. Wrocław 1994
- [3] *Exhaust Gas Diluters*. Nett Technologies Inc.; www.nett.ca
- [4] Markiewicz M.T.: *Podstawy modelowania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym*. OW Politechniki Warszawskiej; Warszawa 2004