

RESEARCHES OF AXIALLY SYMMETRICAL MODEL PLASMA REACTOR TO CLEANING DIESEL EXHAUST GAS OF PARTICULATES

Andrzej Zawadzki, Andrzej Irzycki, Piotr Kalina, Krzysztof Snopkiewicz

Instytut Lotnictwa

Al. Krakowska 110/114, 00-256 Warszawa, Poland

tel.: +48 22 8460011 w 683, fax.: +48 22 8465774

e-mail: andzaw@ilot.edu.p, andrzej.irzycki@ilot.edu.pl

Abstract

The investigations were concentrated on axially symmetrical arrangements, which permit more convenient formation of electrostatic field and better practicability. The description of construction and results of preliminary investigations of axially symmetrical arrangement was presented in "Researches of model plasma reactor for purify Diesel exhaust gas of particulates" published in Journal of KONES 2006. In the publication the attention was drawn to the fundamental problems requiring the solution, and namely:

- The quick coating of electrodes insulators with soot, which took effect of leakance of corona discharge current and fading away of discharge,*
- Somewhat low, over a dozen-percentage effectiveness of cleaning process in comparison with previously studied flat arrangement, which effectiveness came up to 40 %.*

Subsequent investigations were concentrated on capturing of above-mentioned difficulties. Some modified variants of device were prepared. The number of electrodes was limited from three to only one, which was enclosed with insulator serving as the cardinal bracket of blades assembly generating corona discharge and the deflecting electrode. This new arrangement permitted examination of several variants of device described in present publication, which in consequence constrained searching of methods of soot settlement limitation to two final solutions: blowing-in of air stream in place of soot settlement (described in present publication) as well as burning the soot sediment on artificially warmed surface of insulator (in preparation). In order to improve the cleaning effectiveness of the system, the empirical tests of different variants of discharge area formation are carrying out with simultaneously measurement of discharge current, being the measure of its intensity. The subjects of comparison were among other things the mesh of thin wires and the aggregate of linear blades. Applying of filter modules in form of concentric meshes of different diameter of net mesh caused the improvement of cleaning effectiveness to over 40 %.

Keywords:

BADANIA OSIOWO-SYMETRYCZNEGO MODELOWEGO REAKTORA PLAZMOWEGO DO OCZYSZCZANIA SPALIN SILNIKA O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM Z CZĄSTEK STAŁYCH

Streszczenie

W badaniach skoncentrowano się na układach osiowo-symetrycznych, które pozwalają na dogodniejsze kształtowanie pola elektrostatycznego i stwarzają lepsze możliwości wykonawcze. Opis konstrukcji i wyniki wstępnych badań układu osiowo-symetrycznego opisano w publikacji zamieszczonej w „Journal of KONES 2006”[1]. W publikacji tej zwrócono uwagę na zasadnicze problemy wymagające rozwiązania, a mianowicie:

- szybkie pokrywanie się izolatorów elektrod sadzą, co skutkowało upływnością prądu wyladowań koronowych i zanikiem tych wyladowań,*
- niską kilkunasto-procentową skuteczność oczyszczania urządzenia w porównaniu z uprzednio badanym układem płaskim, którym skuteczność ta wynosiła ok. 40 %.*

W dalszych badaniach skoncentrowano się na opanowaniu powyższych trudności. Wykonano zmodyfikowane warianty urządzenia, w którym ograniczono liczbę elektrod z trzech do jednej, otoczonej izolatorem, wykonanym jako główny wspornik zespołu ostrzy generujących wyladowania koronowe i elektrody odchylającej. Pozwoliło to na przebadanie kilku wariantów urządzenia opisanych w niniejszej publikacji, co w konsekwencji sprowadziło

poszukiwania metod ograniczenia osadzania się sadzy do dwóch rozwiązań - z nadmuchem strumienia powietrza w miejsca osadzania się sadzy (opisanym w niniejszej publikacji) oraz z wypalaniem sadzy na sztucznie grzanej powierzchni izolatora (w przygotowaniu). W celu poprawy skuteczności oczyszczania, empirycznym badaniom poddawane są różne warianty kształtowania pola wyładowań koronowych, z pomiarem prądu tych wyładowań jako miary ich intensywności. Badaniom poddano m.in. warianty z siatką cienkich drutów w porównaniu z zespołem ostrzy liniowych. Po zastosowaniu modułu filtrów w postaci koncentrycznych siatek o różnej średnicy oczek uzyskano poprawę skuteczności oczyszczania do ponad 40 %.

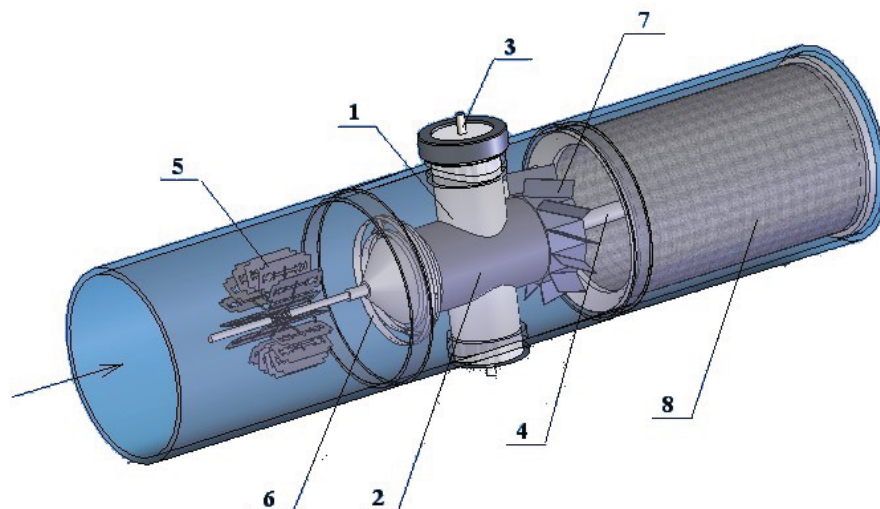
Słowa kluczowe:

1. Wprowadzenie

W Instytucie Lotnictwa od kilku lat badane są układy oczyszczania spalin, w których generowane są wyładowania koronowe dodatnio elektryzujące cząstki stałe niesione przez strumień spalin, ulegające następnie aglomeracji w polu elektrostatycznym i akceleracji w kierunku modułu wychwytyjącego. Pierwszy badany układ płaski umożliwiał prawie 40% skuteczność oczyszczania, lecz był niedogodny konstrukcyjnie, zaś efektywność oczyszczania uznano za niezadowalającą. W dalszych badaniach skoncentrowano się na układach osiowo-symetrycznych, stwarzających szersze możliwości wariantowania konstrukcyjnego oraz kształtowania strefy wyładowań koronowych i pola elektrostatycznego. Opis konstrukcji i wyniki wstępnych badań układu osiowo-symetrycznego opisano w publikacji zamieszczonej w „Journal of KONES 2006”[1]. Układ ten zawierał trzy promieniowo wprowadzone elektrody-wsporniki, osłonięte metalowymi tulejkami, doprowadzające wysokie napięcie do modułu ostrzy liniowych, na których generowane były wyładowania koronowe. Elektroda odchylająca kierowała naładowane cząstki do osadnika bezwładnościowego. Pomimo osłonięcia elektrod na znacznej ich długości penetracja sadzy była silna, co skutkowało pokrywaniem się nią izolatorów elektrod w czasie zbyt krótkim z eksploatacyjnego punktu widzenia. Ponadto osadnik bezwładnościowy nie zapewniał zadawalającej skuteczności wychwytywania cząstek. Przykłady wykorzystania reaktorów plazmowych zawarte są także w publikacjach SAE [2, 3, 4, 5 i 6].

2. Układ osiowo-symetryczny. Wariant „I”

Zaprojektowano i wykonano masywny izolator-wspornik umożliwiający mocowanie modułu ostrzy oraz elektrody odchylającej, redukując w ten sposób liczbę elektrod z trzech do jednej. Wykonano i przebadano szereg wariantów z jedną elektrodą zwracając uwagę zarówno na zapobieżenie osadzaniu się sadzy w miejscach powodujących przepływ prądu między elektrodą a masą, jak i na skuteczność oczyszczania. Poniżej opisano trzy z tych wariantów poddanych badaniom. Budowa urządzenia oczyszczającego w wariantcie I widoczna jest na rys.1.



Rys. 1. Elektrostatyczne urządzenie oczyszczające spaliny z cząstek stałych – wariant I
Fig. 1. Electrostatic device for purifying exhaust fumes of particulates - variant I

Na ceramicznym wsporniku-izolatorze (1) zamocowana jest centralna osłona (2) elektrod. W opisywanym wariantcie osłona ta posiada wysoki potencjał dodatni, gdyż połączona jest ona z elektrodą (3) doprowadzającą ten potencjał i elektrodą (4) odchylającą naładowane dodatnio cząstki stałe. Wyładowania koronowe generowane są na ostrzach (5), (6) i (7). Ostrza (7) są równocześnie krawędziami łopatek zawirowujących przepływ spalin tuż przed otwartym końcem centralnej osłony (2). Zawirowanie to wprowadzono, by w polu sił masowych skierować cząstki sadzy w kierunku ścianek kanału przepływu spalin i zapobiec ich penetracji w głąb osłony. Elektroda odchylająca (4) zagłębiona jest centralnie w module osadnika cząstek (8), zbudowanego w formie koncentrycznych siatek o oczkach różnej średnicy. W opisanym reaktorze plazmowym istnieją dwa obszary, w których gromadząca się sadza może spowodować przepływ prądu między elementami o wysokim potencjale dodatnim i obudową. Pierwszym z tych obszarów jest zewnętrzna powierzchnia wspornika-izolatora (1). Badania powinny dać odpowiedź na pytanie, na ile cząstki sadzy naładowane w strefie wyładowań koronowych generowanych przez ostrza (5) i (6) i odchylane w polu sił elektrostatycznych w kierunku ścianek kanału przepływu spalin ominą powierzchnię izolatora bezpośrednio przyległą do centralnej osłony (2). Drugim z tych obszarów jest powierzchnia izolatora znajdująca się wewnątrz centralnej osłony (2). Osadzaniu się sadzy na tej powierzchni powinny przeciwdziałać siły masowe wywołane zawirowaniem na łopatkach (7) i siły elektrostatyczne działające na cząstki sadzy naelektryzowane dodatkowo w pobliżu ostrzy łopatek. Wariant I posiadał ponadto istotną cechę charakterystyczną – neutralny potencjał ciała centralnego, przynajmniej do chwili pokrycia się izolatora sadzą.

Na rys. 2 – 4 zamieszczono zdjęcia zasadniczych elementów układu w wariantcie I.



Rys. 2. Zespół ostrzy – część przednia reaktora plazmowego
Fig. 2. Edges unit - front part of plasma reactor



Rys. 3. Łopatki zawirowujące (zastrzone) i elektroda odchylająca - część tylna reaktora plazmowego
Fig. 3. Swirling blades (sharpened) and deflective electrode - rear of plasma reactor

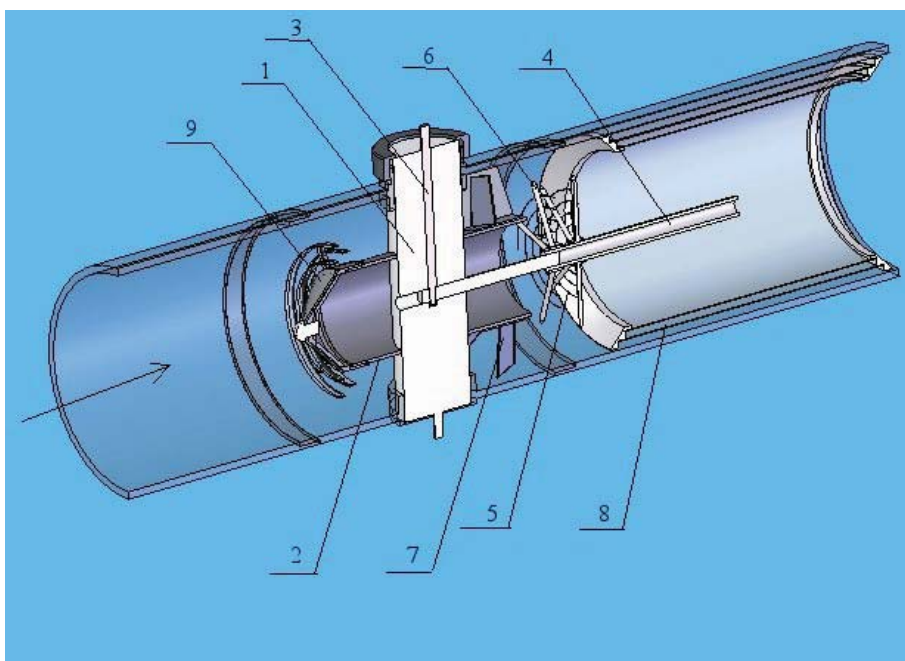


Rys. 4. Filtr
Fig. 4. Filter

Badania silnikowe wariantu I wykazały zarówno niezadowalającą zdolność oczyszczania, jak i niedostateczną ochronę przed osadzaniem się sadzy w miejscach niepożądanych.

2. Układ osiowo-symetryczny. Wariant „II”

W wariacie II (rys. 5 i 6) zachowano neutralny potencjał ciała centralnego, zaś ostrza generujące wyładowania koronowe przeniesiono poza tulejkę osłaniającą elektrodę, idąc zgodnie z kierunkiem przepływu. Zamiast zaostzonych łopatek zawirowujących zamontowano podwyższone łopatki w celu zwiększenia intensywności zawirowania spalin za osłoną elektrody. Ostrza wykonano w postaci siatki z cienkich drutów. Wariant ten pozwolił na sprawdzenie, w jakim stopniu silniejsze niż w poprzednim wariacie zawirowanie spalin zapobiegnie penetracji sadzy w głąb osłony elektrody centralnej w kierunku izolatora i wspomogło przenikanie cząstek w głąb separatora. Uzyskano istotną poprawę skuteczności oczyszczania spalin z cząstek stałych, jednakże penetracja sadzy do wnętrza tulejki osłaniającej elektrodę była nadal zbyt silna.



Rys. 5. Przekrój - elektrostatyczne urządzenie oczyszczające spaliny z cząstek stałych - wariant II
Fig. 5. Section - electrostatic device for purifying exhaust fumes of particulates - variant II

Osłona elektrody centralnej (2) zamocowana na ceramicznym wsporniku (1) jest odizolowana zarówno od potencjału dodatniego jak i od potencjału masy. Potencjał dodatni przekazywany z zasilacza wysokiego napięcia prętem (3) utrzymującym elektrodę centralną w osi kanału przepływu spalin nie dochodzi do osłony elektrody centralnej (2). Ostrza z koncentrycznych siatek z cienkich drutów (5) generujące wyładowania koronowe umieszczono na prętach (6). Na końcu osłony elektrody centralnej zamocowano łopatki zawirowujące (7) nie będące źródłem wyładowań koronowych. Do elektrody centralnej dołączono elektrodę odchylającą (4). Naładowane cząstki, odchylone w polu elektrostatycznym, wychwytywane są przez walcowy separator siatkowy (8).

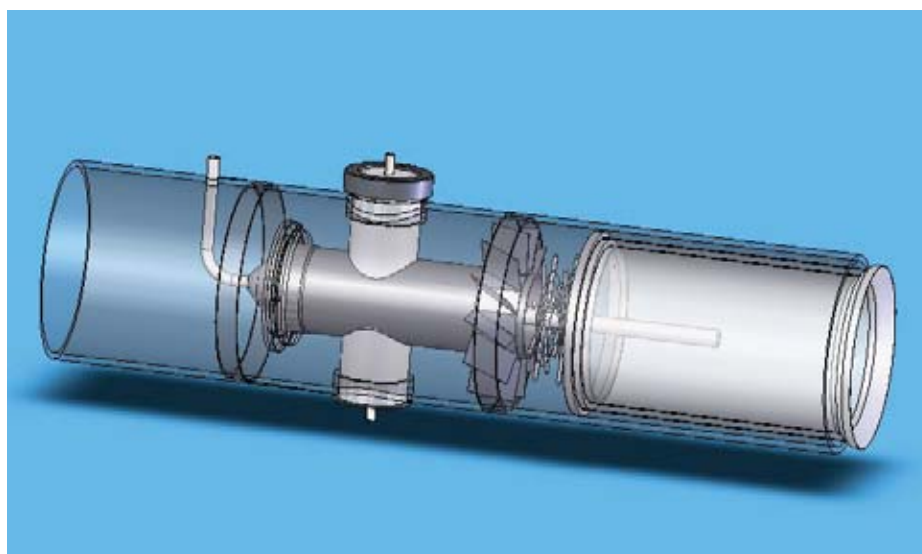


Rys. 6. Wariant II – zmodyfikowane łopatki zawirowujące i siatka cienkich drutów generujących wyładowania koronowe

Fig. 6. Variant II - the modified swirling blades and thin wires mesh generating the crown discharge

3. Układ osiowo-symetryczny. Wariant „III”

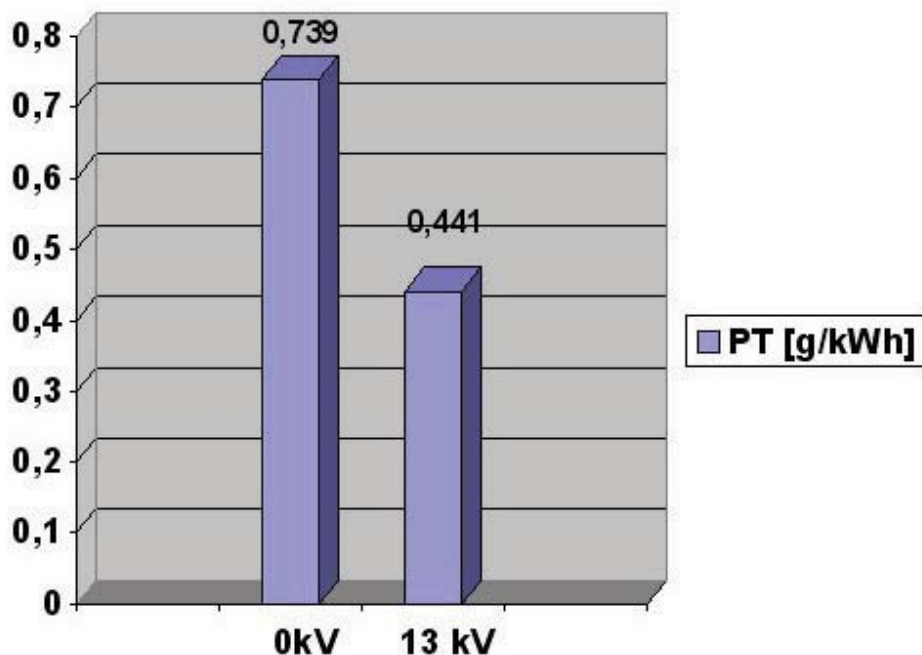
W wariantcie III wprowadzono nadmuch powietrza wprowadzony do wnętrza centralnej osłony w jej przedniej części (rys. 7). Pozostałe elementy – jak w wariantcie II.



Rys. 7. Elektrostatyczne urządzenie oczyszczające spaliny z cząstek stałych - wariant III

Fig. 7. Electrostatic device for purifying exhaust fumes of particulates – variant III

Opisany układ poddano testowi wg europejskiej dyrektywy 97/68/EC (test 8-fazowy) przy napięciu zasilającym 13 kV. Badania wykonano na silniku doświadczalnym Ursus 4390. Na rys. 8. przedstawiono wyniki badań.



Rys. 8. Emisja cząstek stałych w g/kWh wg dyrektywy europejskiej 97/68/EC przy napięciu zasilającym 13 kV i bez napięcia

Fig. 8. Particulates emission in [g/kWh] in acc. with 97/68/EC Directive at 13 kV DC supply and without voltage

Badany układ oczyszczania spalin charakteryzował się ponad 40% skutecznością separacji cząstek stałych. Stwierdzono ponadto spadek emisji węglowodorów i tlenku węgla o 12% przy napięciu 13 kV. Nadmuchiwanie powietrza (3500l/h) do centralnej osłony izolatora (wybrano doświadczalnie poprzez pomiar prądu wyładowań przy nadmuchiawach od 2500l/h do 6500 l/h) zapobiegł penetracji sadzy w głąb osłony elektrody centralnej w kierunku izolatora i zmniejszył przenikanie cząstek w głąb separatora, co pozwoliło na zdecydowane zwiększenie czasu pracy urządzenia i uzyskanie istotnej poprawy skuteczności oczyszczania spalin z cząstek stałych.

Wyniki badań sugerują, iż w próbach efektywnego kształtowania pola wyładowań koronowych istotne będzie dalsze zwiększenie intensywności wyładowań i objętości strefy wyładowań.

4. Przewidywane modyfikacje układu oczyszczania spalin

- wypalanie sadzy na sztucznie grzanej powierzchni izolatora,
- zmiana izolatora i uszczelnienie komory centralnej urządzenia wraz z elementami kształtującymi przepływ w komorze roboczej i osłon zabezpieczających przed penetracją sadzy w miejsca niepożądane,
- oraz dalsze modyfikacje geometrycznego rozmieszczenia układu ostrzy generujących wyładowania koronowe i elektrod odchylających dla zwiększenia skuteczności oczyszczania.

Literatura

- [1] Zawadzki, A., Irzycki, A., Kalina, P., Snopkiewicz, K., *Reserches of model plasma reactor for purify diesel exhaust gas of particulates*, Journal of KONES Powertrain and Transport 2006, vol.13 No.3 Warsaw, 2006.

- [2] Weaver, C. S., Klausmeier, R. J., Ericson, L. M., Gallager, J., Hollman, T., *Feasibility of Retrofit Technologies for Diesel Emissions Control*, SAE 860296, 1986.
- [3] Wegst, R., Russ, H., Neiger, M., Liu (Univ. of Karlsruhe), S., *Experimental and Theoretical Investigations of Removal of NO_x from Diesel-type Engine Exhaust Using Dielectric Barrier Discharge*, SAE 1999-01-3686, 1999.
- [4] Penerante, B. M., Brusasco, R. M., Merrit, B. T., Pitz W. J., Vogtlin, G. E., *Feasibility of Plasma Aftertreatment for Simultaneous Control of NO_x and Particulates*, SAE 1999-01-3637 1999.
- [5] Schweimer, G. W., *Ion probe in the exhaust manifold of diesel engines*, SAE 860012, 1986.
- [6] Kittelson, D. B., Reinertsen, J., Michalski, J., *Further Studies of Electrostatic Collection and Agglomeration of Diesel Particles*, SAE 910329, 1991.

