

RESEARCHES OF MODEL PLAZMA REACTOR FOR PURIFY DIESEL EXHAUST GAS OF PARTICULATES

Andrzej Zawadzki

Andrzej Irzycki

Piotr Kalina

Krzysztof Snopkiewicz

*Instytut Lotnictwa
Al. Krakowska 110/114, 00-256 Warszawa
tel.: +48 22 8460011 w 683, fax: +48 22 8465774
e-mail: andzaw@ilot.edu.pl
andrzej.irzycki@ilot.edu.pl*

Abstract

The device being investigated generates the low-temperature corona discharge in the stream of exhaust gas, causing the positive charging of particulates. The charged particulates are coming in electrostatic field to agglomeration and acceleration and next mechanically separated from the fumes. The reactor is powered by 10 – 15 kV DC voltage. This work is a continuation of the previously reconnaissance research conducted in Institute of Aviation which showed, that principle problem to be resolved was the deposit of soot between high-voltage electrodes and their insulating housing which caused a current leakage and in effect gradual drop of supply voltage resulting the restriction of reactor's effective work time. However the 40% effectiveness of exhaust gas purifying of particulates was the result, which encouraged the authors to continuation of research work. As opposed to earlier "flat" structure, the mentioned one is made as an axial symmetrical. The device is placed immediately behind the exhaust manifold and works in high temperature area. Several variants of basic reactor's structures were investigated. Subsequent research work will comprise modifications of discharge zone and electrostatic field geometry as well improving efficiency of mechanical particulates separator.

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

Streszczenie

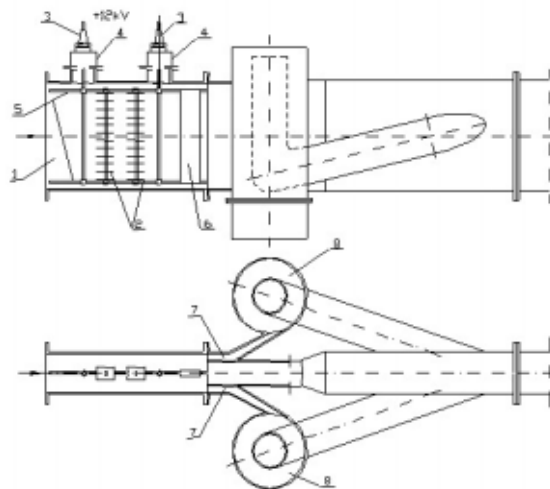
Badane urządzenie wytwarza w strumieniu spalin niskotemperaturowe wyladowania koronowe powodujące jednoczesne dodatnie naładowanie cząstek stałych. Obdarzone ładunkiem cząstki stałe ulegają aglomeracji i akceleracji w polu elektrostatycznym, a następnie są mechanicznie oddzielane od strumienia spalin. Urządzenie jest zasilane prądem stałym o roboczym napięciu 10 – 15 kV. Prace stanowią kontynuację badań rozpoznawczych prowadzonych w Instytucie Lotnictwa, w wyniku których okazało się, że zasadniczym problemem do rozwiązania było osadzanie się sadzy między elektrodami wysokiego napięcia a ich izolacyjną obudową powodujące przepływ prądu, a w efekcie stopniowy spadek napięcia zasilania skutkujący ograniczeniem czasu efektywnej pracy urządzenia. Jednakże uzyskanie ok. 40% skuteczności oczyszczania spalin z cząstek stałych uznano za efekt zachęcający do dalszych badań. W odróżnieniu od uprzednio badanego modelu płaskiego obecne modelowe urządzenie wykonano w układzie osiowo-symetrycznym. Urządzenie usytuowane za kolektorem wylotowym silnika pracuje w strefie spalin o wysokiej temperaturze. Przebadało w kilku wariantach wyjściowe modelowe urządzenie będące podstawą dalszych modyfikacji, które obejmować będą zarówno kształtowanie strefy wyladowań koronowych i odchylającego pola elektrostatycznego, jak i doskonalenie mechanicznego separatora cząstek.

1. Wprowadzenie

Istnieje wiele rodzajów reaktorów plazmowych badanych w aspekcie oddziaływania na spaliny silników tłokowych. Reaktory oparte o zjawisko wyładowań koronowych przez warstwę dielektryka lub warstwę granulatu zasilane prądem zmiennym nie umożliwiają jednoimiennego naładowania cząstek stałych. Są one stosowane głównie w badaniach oddziaływania wyładowań na toksyczne składniki spalin. W niektórych urządzeniach wytwarza się wyładowania łukowe w celu termicznego utleniania cząstek. Reaktory wykorzystujące niskotemperaturowe wyładowania koronowe uzyskiwane poprzez umieszczenie w silnym polu elektrostatycznym cienkich drutów lub ostrzy umożliwiają jednoimienne naładowanie cząstek stałych, a następnie ich akcelerację i aglomerację w celu odseparowania cząstek ze strumienia spalin. Dane na temat reaktorów plazmowych zawarte są m.in. w publikacjach SAE [1,2,3,4,5]. W [1] opisano badania prowadzone w firmie Robert Bosch A.G. z użyciem urządzenia, w którym wyładowania koronowe uzyskiwano w stałym polu elektrostatycznym na ostrzach wkładek wirowych wtryskiwacza. Jednoimienne naładowane cząstki przyspieszane w polu elektrostatycznym wychwytywane były za pomocą cyklonu. Badania układu wg „US Federal Test” wykazały 58% skuteczność wychwytywania cząstek przy 3% wzroście zużycia paliwa.

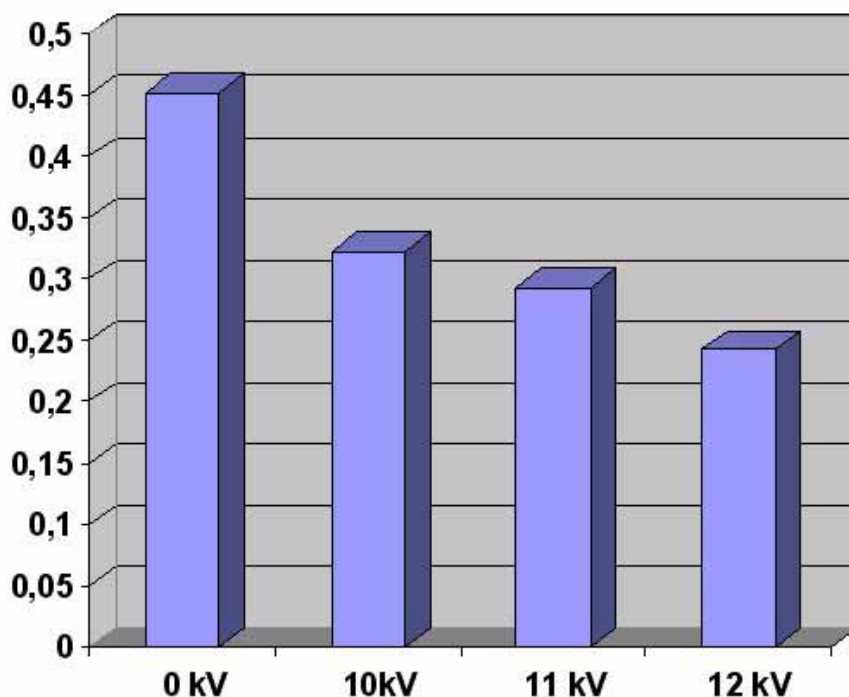
2. Układ płaski

W Instytucie Lotnictwa w 2002 r. wykonano badania rozpoznawcze urządzenia, w którym jako ostrza, na których uzyskiwano wyładowania koronowe wykorzystano żyłki (projekt Nr 9 T12D 015 19). Na rys. 1. przedstawiono schemat tego urządzenia. W płaskim kanale (1) umieszczono stos ostrzy liniowych (2) o potencjale dodatnim wytworzonym przez wysokie napięcie stałe między ostrzami a kolektorem spalin. Izolatory elektrod (3) wyprowadzono poza kolektor i osłonięto tulejkami (4) w celu zabezpieczenia przed zabrudzeniem sadzą powodującą przepływ prądu między elektrodami a masą. Stos ostrzy liniowych zamocowano na ramce (5) w sposób umożliwiający zmianę jego położenia wzdłuż kanału przepływu spalin. Za stosem umieszczono elektrodę (6) odchylającą dodatnio naładowane cząstki w kierunku ścianek kanału w celu skierowania ich do kieszeni (7). Spaliny przepływające przez kieszenie kierowane były do cyklonów (8), w których wychwytywano większe zaglomerowane cząstki stałe. Oba przepływy łączyły się powtórnie za cyklonami. Z połączonych przepływów pobierano próbki spalin do pomiaru emisji cząstek stałych i toksycznych składników gazowych.



Rys. 1. Elektrostatyczne urządzenie oczyszczające spaliny z cząstek stałych opracowane w Instytucie Lotnictwa
 Fig. 1. Electrostatic device for purifying exhaust fumes of particulates, designed in Institute of Aviation

Badania przeprowadzono przy trzech różnych wartościach napięcia stałego: 10, 11 i 12 kV. Poziom 10 kV zapewniał występowanie w pełni rozwiniętych wyładowań koronowych. Na poniższym diagramie (rys. 2) widoczne są efekty wychwytywania cząstek stałych przez opisane urządzenie oczyszczające.



Rys. 2. Emisja cząstek stałych w [g/kWh] wg dyrektywy europejskiej 97/68/EC w zależności od napięcia stałego
 Fig. 2. Particulates emission in [g/kWh] in accordance with 97/68/EC Directive depending on direct voltage

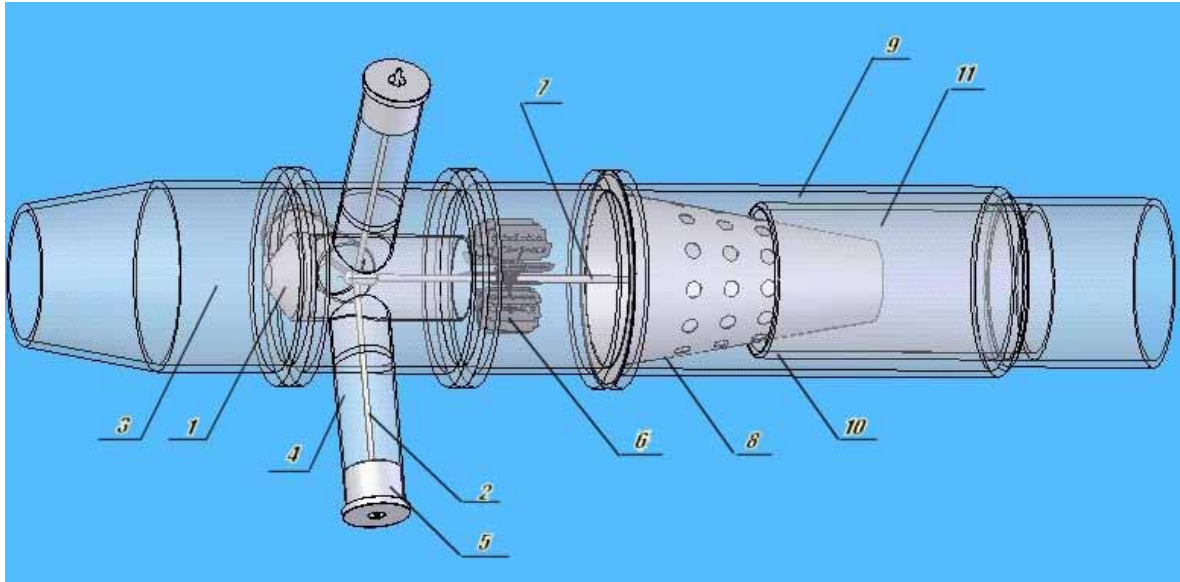
Badany układ elektrostatycznego oczyszczania spalin charakteryzował się ponad 40% skutecznością separacji cząstek stałych. Stwierdzono ponadto spadek emisji węglowodorów o 32% i tlenku węgla o 17% przy napięciu 12 kV. Zasadniczym problemem funkcjonalnym było przewodzenie prądu przez sadzę osiadającą stopniowo między elektrodami wysokiego napięcia a ich obudową, co ograniczało czas pracy urządzenia. Przewodzenie prądu poprzez sadzę zawartą w spalinach ograniczało natomiast maksymalną wartość napięcia do 12 kV. Urządzenie pracowało w strefie spalin o wysokiej temperaturze za kolektorem wylotowym silnika. Uznano, że usunięcie tych mankamentów jest warunkiem koniecznym dla ewentualnego praktycznego zastosowania tej metody oczyszczania spalin, która byłaby szczególnie dogodna w przypadku silników pracujących w pomieszczeniach zamkniętych. Jedną zaletą metody może okazać się aglomeracja i separacja najbardziej szkodliwych nanocząstek.

3. Układ osiowo-symetryczny

W roku 2006 pojawiła się możliwość kontynuowania badań w ramach projektu badawczego Nr 4 T12D 042 29 „Opracowanie modelowego reaktora plazmowego oczyszczającego spaliny z cząstek stałych”. W badaniach skoncentrowano się na układach osiowo-symetrycznych, które pozwalają na dogodniejsze kształtowanie pola elektrostatycznego i stwarzały lepsze możliwości wykonawcze. Wyjściowy układ modelowy przedstawiono na rys.3.

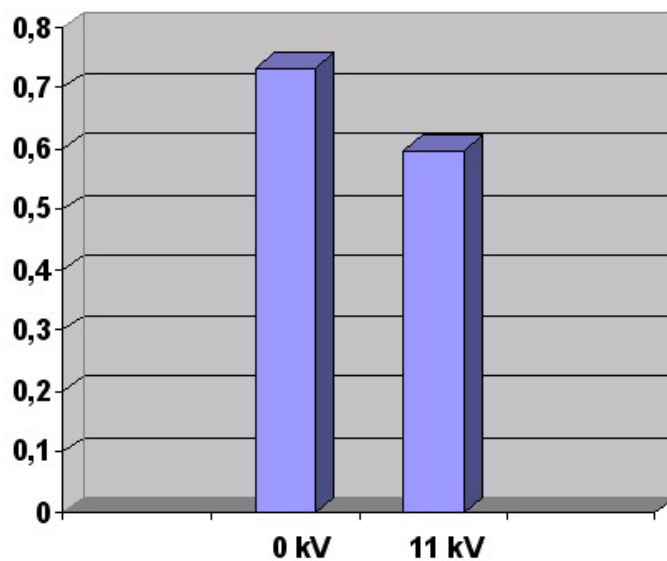
Centralną osłonę (1) elektrody dodatniej (2) zamocowano w kanale odprowadzającym spaliny (3) za pomocą trzech tulejek (4) wyprowadzonych daleko poza strefę przepływu. Celem takiego rozwiązania było przeciwdziałanie osiadanemu sadzy na izolatorach elektrod (5) co powodowałoby przepływ prądu między osłonami a elektrodami, a w konsekwencji spadek napięcia. Elektrode

wyprowadzoną poza centralną osłonę uzbrojono w stos ostrzy (6) oraz przedłużono o pręt (7) spełniający rolę elektrody odchylającej dodatnio naładowane cząstki w kierunku obudowy. Wokół elektrody odchylających zamontowano stożkowy kanał (8) z szeregiem otworów umożliwiającym przedostawanie się odchylonych cząstek stałych do kieszeni (9) między kanałem (3) a przesuwaną tuleją (10). Przesuwanie tulei (10) umożliwiało dobór wielkości szczeliny (11) ze względu na efektywność bezwładnościowego wychwytywania cząstek przez kieszeń (9).



Rys. 3. Wyjściowy osiowo-symetryczny modelowy układ oczyszczający spaliny z cząstek stałych
 Fig. 3. Initial axial-symmetrical model device of exhaust purifier of particulates

Opisany układ poddano serii testów wg europejskiej dyrektywy 97/68/EC (test 8-fazowy) przy napięciu zasilającym 11 kV przy różnych wielkościach szczeliny (10). Badania wykonano na silniku doświadczalnym Ursus 4390. Na rys. 4. przedstawiono wyniki badań przy dobranej wielkości szczeliny w porównaniu z układem bez napięcia zasilającego.



Rys. 4. Emisja cząstek stałych w g/kWh wg dyrektywy europejskiej 97/68/EC przy napięciu zasilającym 11 kV i bez napięcia

Fig. 4. Particulates emission in [g/kWh] in acc. with 97/68/EC Directive at 11 kV DC supply and without voltage

Wyniki uzyskane na wyjściowym oczyszczającym układzie osiowo-symetrycznym były gorsze od uzyskanych uprzednio w układzie płaskim. Poza tym znaczne odsunięcie izolatorów elektrod od głównego przepływu spalin nie spełniło oczekiwań, gdyż penetracja sadzy była tak silna, że możliwe było przeprowadzenie zaledwie jednego testu, po którym każdorazowo oczyszczano elektrody z sadzy. W związku z opisanymi mankamentami przewidziano opisane poniżej modyfikacje układu.

4. Przewidywane modyfikacje układu oczyszczania spalin

- w pierwszej kolejności przewiduje się zamontowanie łopatek zawirowujących przepływ na centralnej osłonie elektrody (1) – rys.3.; stworzone w ten sposób pole promieniowych sił masowych powinno odchyłać cząstki sadzy w kierunku obudowy i zapobiegać penetracji sadzy do wnętrza osłony,
- rozważa się inne sposoby zapobiegania osiadanemu sadzy na izolatorach elektrod, np. wdmuchiwanie strumienia powietrza do tulejek osłonowych (4) – rys.3., czy też wypalanie sadzy za pomocą elementów grzejnych umieszczonych w tulejkach osłonowych,
- dla ułatwienia zabiegów utrudniających osadzaniu się sadzy na izolatorach elektrod przewiduje się zamocowanie centralnej osłony elektrody za pomocą jednej tylko tulejki osłonowej zamiast trzech, co jest istotnym udogodnieniem np. w przypadku w/w wdmuchiwania powietrza,
- przewiduje się modyfikacje segmentu wychwytyjącego odchylone w polu sił elektrostatycznych cząstki stałe, np. poprzez cylindrycznie usytuowane na obwodzie kanału przepływu spalin siatki metalowe o stopniowo malejących oczkach; po zdemontowaniu segmentu zgromadzone sadze mogłyby zostać usunięte, np. w procesie wypalania,
- przewiduje się modyfikacje układu ostrzy generujących wyładowania koronowe i elektrod odchylających w celu empirycznego kształtowania pola elektrostatycznego dla zwiększenia skuteczności oczyszczania.

Literatura

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

