

Ernest GNAPOWSKI

BADANIA WPŁYWU ELEKTROD SIATKOWYCH I DIELEKTRYKA WŁÓKNISTEGO NA WYŁADOWANIA BARIEROWE

STRESZCZENIE *Badano model reaktora plazmowego z wyładowaniami barierowymi jako źródło nietermicznej plazmy do zastosowań w procesach dezynfekcji, sterylizacji, obróbki gazów, a także do zastosowań rolniczych i biotechnologicznych. Reaktor składa się z elektrod siatkowych, między którymi umieszczono dielektryk porowaty w formie waty szklanej. (Badania eksperymentalne reaktora z wyładowaniami barierowymi w obecności elektrod siatkowych i dielektryka porowatego).*

Słowa kluczowe: *wyładowana barierowe, generacja ozonu, nietermiczna plazma, elektrody siatkowe, dielektryk włóknisty*

1. WPROWADZANIE

Badania wyładowań wytwarzanych w układzie dielektrycznym uwarstwionym rozwijają się dynamicznie. Wyładowania tego typu powstają w reaktorach, w których jedna z elektrod (w niektórych przypadkach obie) pokryta jest dielektrykiem oddzielającym ją od warstwy powietrza tworząc tzw.

mgr inż. Ernest GNAPOWSKI
e-mail: insp@o2.pl

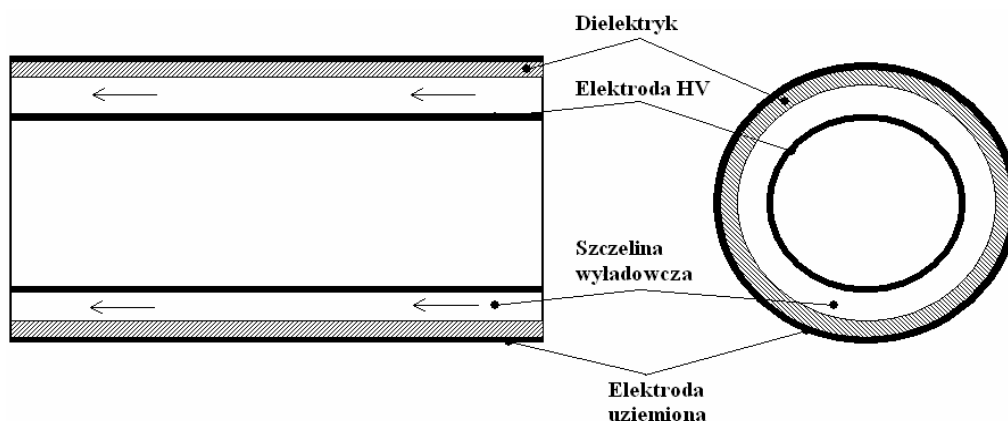
Instytut Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii,
Politechnika Lubelska

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 239, 2008

barierą dielektryczną. Reaktory z wyładowaniami barierowymi są źródłem nietermicznej i nierównowagowej plazmy. Technologie bazujące na plazmie wyładowań barierowych znalazły szerokie zastosowanie w utylizacji odpadów oraz w przemyśle elektronicznym i metalurgicznym.

Syntezę ozonu przeprowadza się najczęściej z tlenu atmosferycznego metodą wyładowań niezupełnych w elementach wyładowczych zwanych ozonatorami. Aby skutecznie utylizować zanieczyszczenia konieczne jest obniżenie kosztów produkcji ozonu. Ozon jest silnym utleniaczem i jest szeroko stosowany w różnego rodzaju procesów oczyszczania. Wielu naukowców próbuje zwiększyć efektywność produkcji ozonu, który jest stosowany do oczyszczania wody, gazów, sterylizacji, utylizacji odpadów itp. Najważniejszym parametrem urządzeń jest ich efektywność, gdyż ona decyduje o kosztach procesu. Na całym świecie są prowadzone badania nad zwiększeniem wydajności procesu syntezy ozonu. Efektywność syntezy można zwiększyć poprzez zastosowanie różnych konfiguracji elektrod, optymalizację systemów zasilania w energię elektryczną oraz chłodzenie.

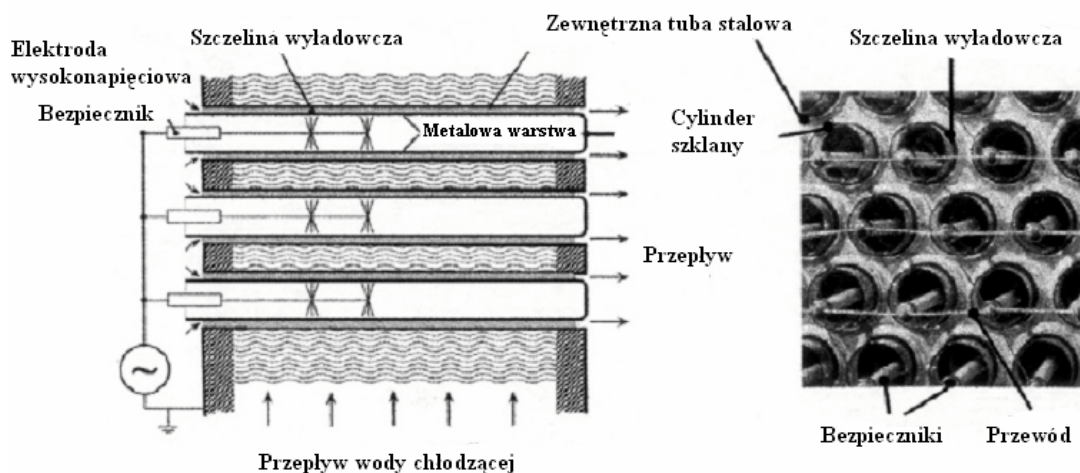
Podstawowym elementem układu generacji ozonu jest reaktor plazmowy. Klasyczne reaktory z wyładowaniami barierowymi mają prostą budowę. Najczęściej stosuje się elektrody cylindryczne (rys. 1) zaś jako dielektryka używa się szkła, które stanowi barierę wyładowczą.



Rys. 1. Cylindryczna geometria reaktora z wyładowaniami barierowymi

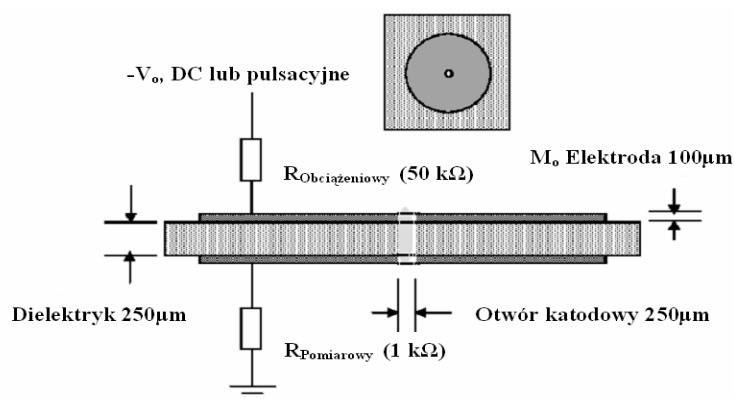
W reaktorach tego typu szczelina wyładowcza wynosi około 2 - 5 mm, nie jest jednak możliwa regulacja szczeliny wyładowczej oraz zmiana rodzaju i grubości dielektryka. Napięcie pracy generatorów ozonu wynosi od kilku do kilkudziesięciu kV. Aby zwiększyć wydajność układu stosowane są dielektryki

o większej stałej dielektrycznej oraz łączy się pojedyncze reaktory w baterie ozonatorów, jak to przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat baterii układów cylindrycznych ozonatorów przemysłowych [11]

Innym rozwiązaniem pozwalającym na poprawienie efektywności wyładowań barierowych są reaktory z wyładowaniami barierowymi w mikro otworowych (z ang. MHCD micro-hollow cathode discharges). Jedno z takich rozwiązań przedstawiono na rysunku 3.

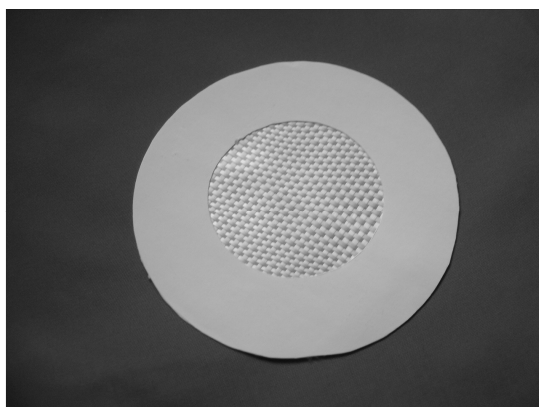


Rys. 3. Schemat budowy układu z wyładowaniami MHCD

Dzięki zastosowaniu elektrod i dielektryka z mikro-otworami można znacznie obniżyć napięcie pracy układu w porównaniu z klasycznym układem z wyładowaniami barierowymi, w którym wymagane napięcie sięga kilku lub kilkunastu kilowoltów. Obecnie reaktory z wyładowaniami MHCD są badane w laboratoriach.

Celem badań przedstawionych w pracy jest przeprowadzenie analizy teoretycznej i eksperymentalnej modelu reaktora plazmowego z wyładowaniami barierowymi generowanymi przy ciśnieniu atmosferycznym z zastosowaniem elektrod siatkowych i dielektryka porowatego. Badania skierowane są na analizę wpływu elektrod siatkowych i dielektryka porowatego oraz ich geometrii i struktury na efektywność generacji plazmy.

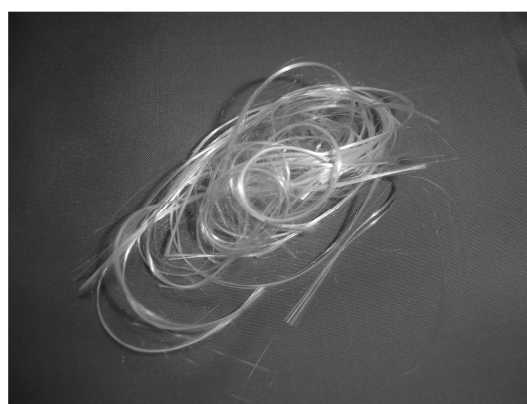
Zaprojektowany i zbudowany reaktor przedstawiono na rysunku 5. Zastosowanie włókien szklanych jako dielektryka porowatego umożliwia swobodny przepływ gazu przez dielektryk i elektrody. Rysunek 4 przedstawia dielektryki wykorzystywane podczas badań. W konfiguracji układu możliwe jest również zastosowanie jednej elektrody siatkowej oraz jednej całkowicie nieprzepuszczalnej metalowej oraz wykorzystanie dielektryków porowatych przepuszczalnych lub nieprzepuszczalnych gazu, a także różnych kombinacji konfiguracji elektrod i dielektryków.



a)

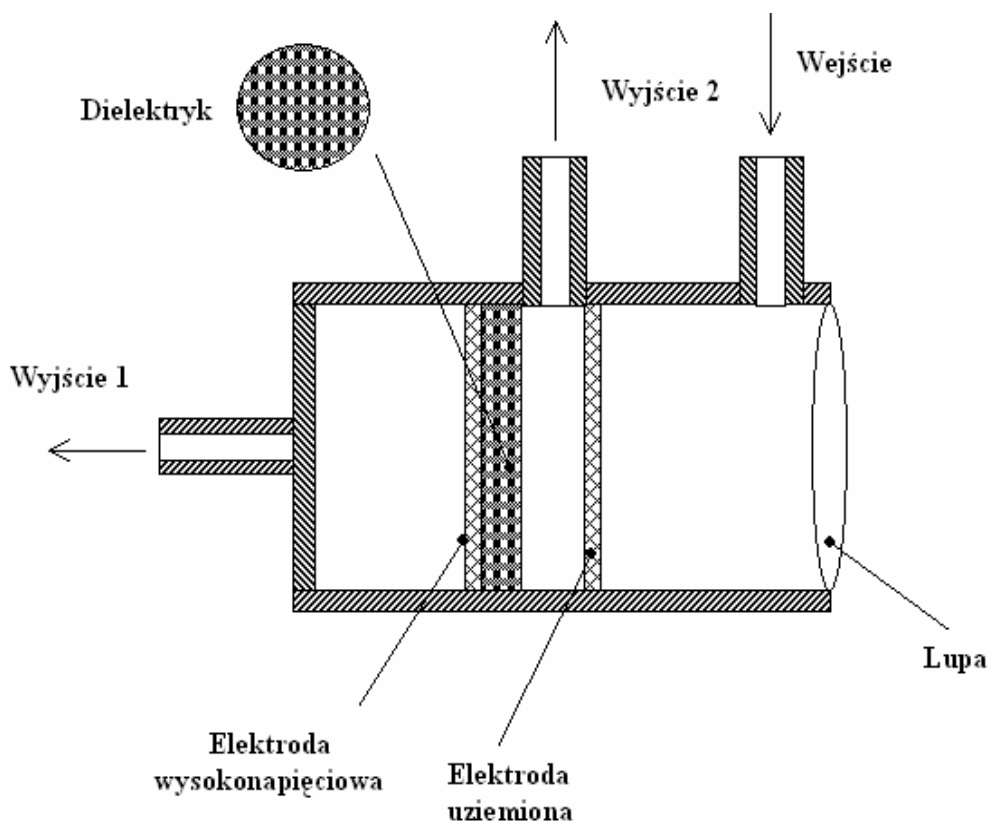


b)



c)

Rys. 4. Dielektryki porowate a) mata szklana, b) kulki szklane oraz c) włókna szklane



Rys. 5. Schemat reaktora plazmowego z elektrodami siatkowymi i dielektrykiem porowatym

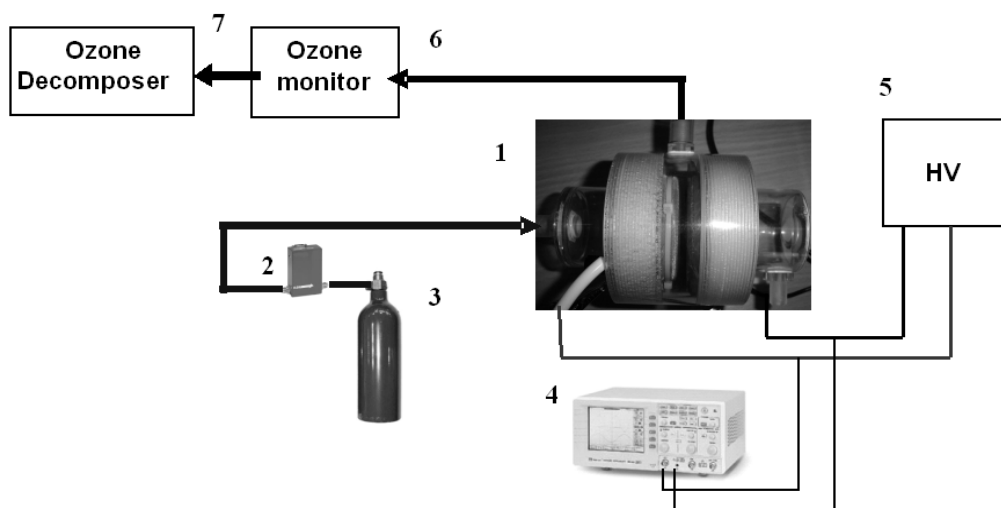
W odróżnieniu od klasycznych rozwiązań stosowanie reaktorów z elektrodami siatkowymi pozwala na uzyskiwanie wyładowań homogenicznych bez konieczności stosowania podwyższonej częstotliwości napięcia zasilania, gazów szlachetnych, np. helu, argonu, oraz obniżonego ciśnienia, które wymagane są w klasycznych reaktorach celem uzyskania jednorodnych wyładowań jarzeniowych. Wyładowania jarzeniowe (z ang. atmospheric pressure glow discharge APGD) charakteryzują się jednorodnością i brakiem strimerów, które mogą powodować lokalne podwyższenie temperatury.

Przeprowadzenie analizy pracy reaktora z elektrodami siatkowymi i dielektrykiem porowatym pozwoli stwierdzić celowość postawionej w rozprawie tezy, która brzmi:

Zastosowanie elektrod siatkowych oraz dielektryków porowatych w reaktorze z wyładowaniami barierowymi przy ciśnieniu atmosferycznym pozwoli obniżyć napięcie pracy reaktora, zwiększy gęstość mocy, zapewni większą jednorodność wyładowań oraz wzrost ich intensywności.

2. CZĘŚĆ EKSPERYMENTALNA

Układ pomiarowy, którego schemat przedstawiono na rysunku 6, składa się z autotransformatora 0-250 V, transformatora podwyższającego napięcie 230/10000 V, 50 Hz, przepływomierza gazu, analizatora ozonu BMT 961TC. Do pomiaru napięcia oraz prądu użyto oscyloskopu Tektronix TDS 380, 400 MHz, 2GS/s. Średnica elektrod w badanym reaktorze wynosiła \varnothing 5 cm, regulacja szczeliny wyładowczej była możliwa w zakresie 1-10 mm. Zastosowanie przezroczystych materiałów do konstrukcji reaktora pozwalało na obserwacje wyładowań.



Rys. 6. Schemat układu pomiarowego: 1 reaktor, 2 przepływomierz, 3 butla, 4 oscyloskop, 5 zasilanie, 6 analizator ozonu, 7 pochłaniacz ozonu

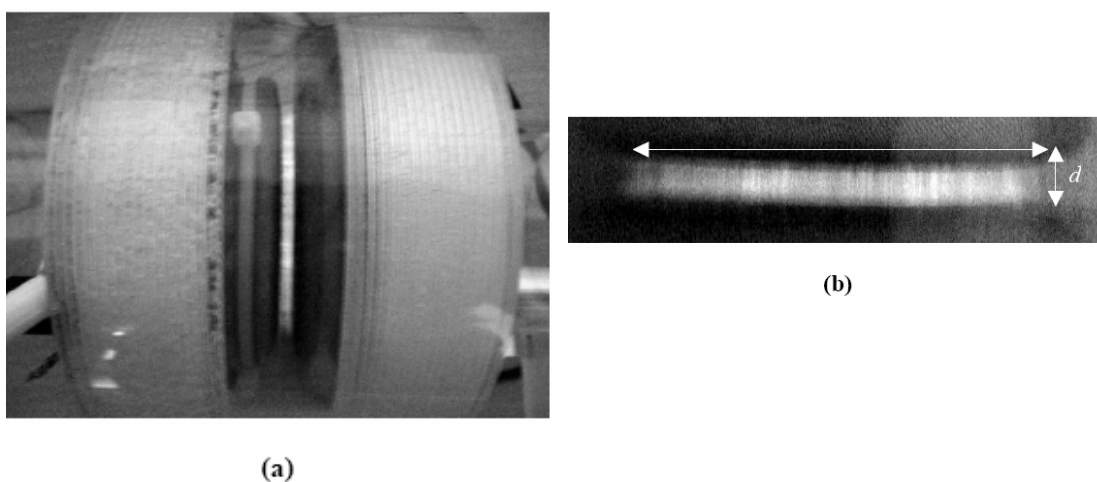
TABELA 1
Warunki eksperymentu

Parametr	Użyte ustawienia
Wymiar elektrod, mm	50
Szczelina wyładowcza, mm	1, 2, 3
Grubość dielektryka, mm	0.025, 0.05, 0.075
Przepływ gazu, L·min ⁻¹	0.5 – 1.7
Ciśnienie gazu, atm	1
Użyty gaz	Powietrze

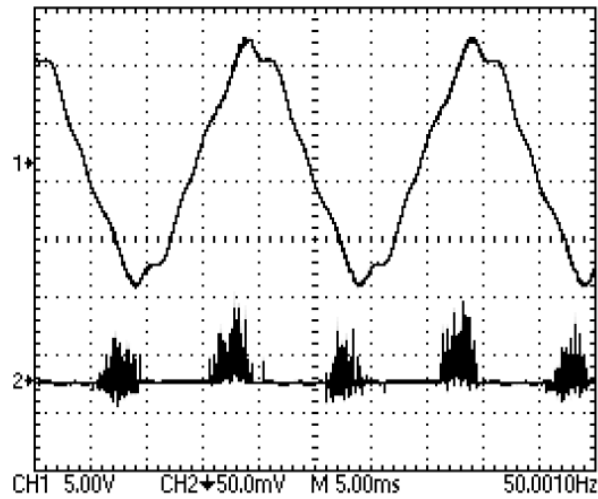
Moc elektryczną wyładowań obliczono na podstawie pola powierzchni figury Lissajous $q=f(u)$, będącej zależnością ładunku elektrycznego q od napięcia zasilającego u , którą zdjęto podając na oscyloskop sygnał proporcjonalny do ładunku (zastosowano kondensator $0.51 \mu\text{F}$ połączony szeregowo z reaktorem) oraz sygnał napięcia z sondy napięciowej 1:1000). Parametry geometryczne reaktora oraz warunki eksperymentu przedstawiono w tabeli 1.

3. WYNIKI BADAŃ

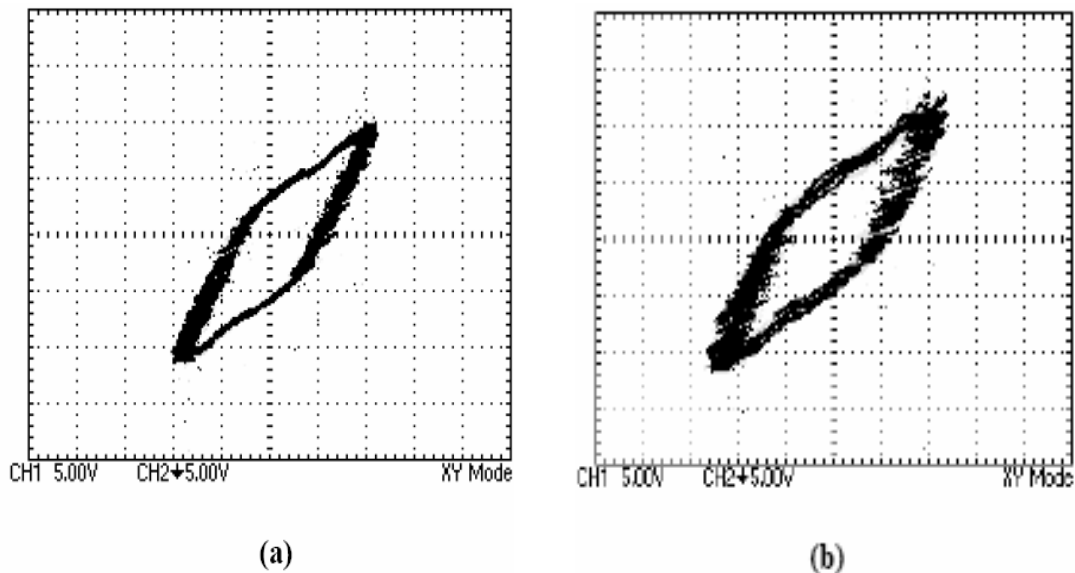
Przedstawione na rysunku 7 wyładowana są połączeniem wyładowań barierowych, jarzeniowych i powierzchniowych. W obecności włóknistego dielektryka intensywność wyładowań wzrasta wraz z koncentracją ozonu. Dla szczeliny większej od 5mm wyładowania homogeniczne przechodzą w wyładowania niejednorodne z widocznymi kanałami wyładowaniami (z ang. filaments). Oscylogramy napięcia oraz prądu przedstawiono na rysunku 8. Obecność włókien szklanych w szczelinie wyładowczej powoduje wzrost intensywności wyładowań i mocy dostarczonej do przestrzeni wyładowań, co stwierdzono na podstawie zwiększonego pola powierzchni figury Lissajous w układzie bez dielektryka porowatego w szczelinie i w jego obecności (rys. 9) oraz z zależności gęstości powierzchniowej mocy wyładowań od napięcia (rys. 10).



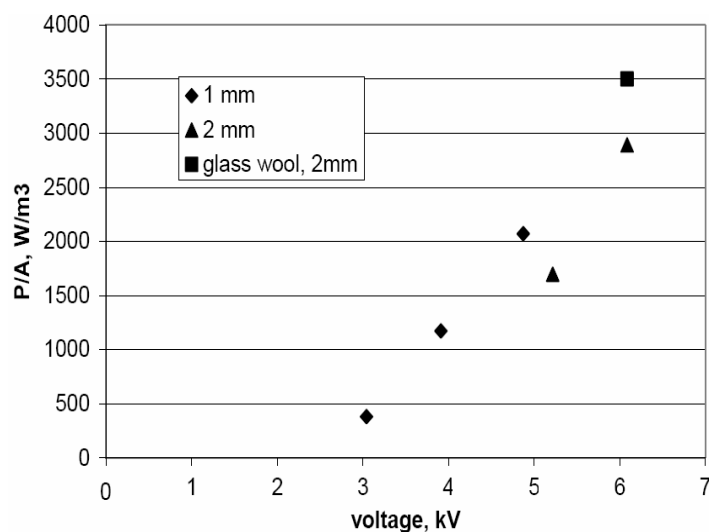
Rys. 7. Zdjęcie reaktora (a), szczelina wyładowcza 4 mm (b), przepływ powietrza 0,5 l/min



Rys. 8. Wykres napięcia i prądu wyładowań w reaktorze z włóknami szklanymi, przepływ gazu 1 l/min, wymiar szczeliny wyładowczej 3mm

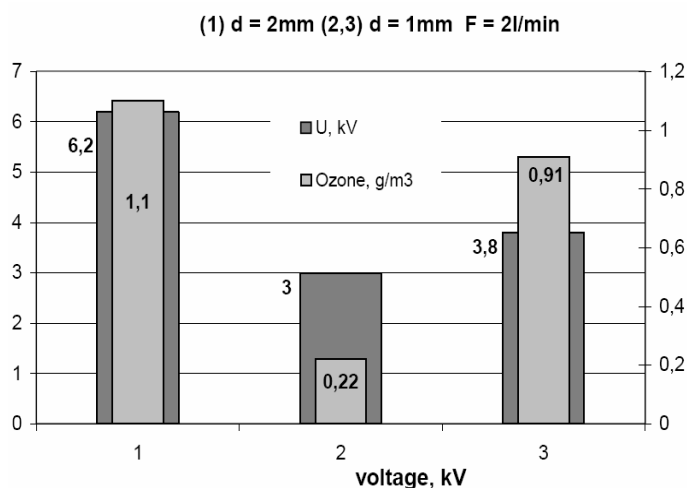


Rys. 9. Figury Lissajous reaktora - (a) bez włókien szklanych, (b) z włóknami szklanymi, przy takich samych warunkach eksperymentu (0.5 l/min, szczelina – 2 mm, 50 Hz)



Rys. 10. Moc wyładowań w zależności od napięcia dla przepływu powietrza 0.5 l/min, 50 Hz

Na rysunku 10 przedstawiono moc wyładowań w funkcji napięcia zasilającego. Największą gęstość mocy uzyskano w obecności włókien, która wynosiła 3500 W/m^3 w porównaniu z 3000 W/m^3 dla wyładowań bez dielektryka włóknistego w takich samych warunkach eksperymentalnych. Koncentracja ozonu zależy od wartości napięcia zasilającego oraz wymiarów szczeliny wyładowczej (rys. 11).



Rys. 11. Koncentracja ozonu i napięcie zasilania dla szczeliny 1mm i 2 mm, dla przepływu powietrza 2 l/min (1 bez włóknistego dielektryka, 2, 3 z włóknistym dielektrykiem)

W badanym modelu reaktora wzrost mocy i intensywności wyładowań o około 20% i koncentracji ozonu zostały osiągnięte dzięki zastosowaniu dielektryka porowatego (włókien szkła) wprowadzonych do szczeliny wyładowczej.

Zwiększenie gęstości mocy umożliwia obniżenie napięcia pracy reaktora przy utrzymaniu porównywalnych gęstości energii, jakie uzyskuje się przy zastosowaniu klasycznego układu.

4. WNIOSKI

Głównym celem badań przedstawionych w referacie było sprawdzanie nowej konstrukcji generatora ozonu z włóknistym dielektrykiem porowatym oraz elektrodami siatkowymi, będącego połączeniem reaktora z wyładowaniami barierowymi DBD i powierzchniowymi. Wyniki pokazują, że zarówno obecność elektrod siatkowych, jak i obecność włókien szklanych powodują wzrost intensywności wyładowań, które występuje przy niższych wartościach napięcia w porównaniu do tradycyjnego reaktora. Dalsze badania mają na celu eksperymentalną weryfikację wpływu wymiaru oczek siatki, kompozycji gazu plazmotwórczego jak również typu porowatego lub perforowanego dielektryka na intensywności wyładowań oraz sprawność energetyczną badanego reaktora.

LITERATURA

1. Chang J.S.: Energetic Electron Induced Plasma Processes for Reduction of Acid and Greenhouse Gases in Combustion Flue Gas. *NATO ASI Series*, vol. G 34, Part A. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 1993.
2. Chirokov A., Gutsol A., Fridman A., Sieber K. D., Grace J. M., Robinson K. S.: Analysis of two-dimensional microdischarge distribution in dielectric-barrier discharges. *Plasma Sources Sci. Technol.*, 13, 623-635. 2004.
3. Gibalov, V. I. and Pietsch, G.: On the Performance of Ozone Generators Working with Dielectric Barrier Discharges. *Ozone Science and Engineering*, 28, str. 119-124. 2006.
4. Hulka L., G. J. Pietsch, Influence of Dimensions and Materials of Coplanar Arrangements on Ozone Production, *Plasma Process. Polym.*, 2, str. 222-226, 2005.
5. Itoh, H., Teranishi, K. and Suzuki, S.: Discharge Plasmas Generated by Piezoelectric Transformers and Their Applications. *Plasma Sources, Sci. Technol.*, 15, S51-S61. 2005.
6. Janowski T., Stryczewska H. D.: Power Supply Systems of Ozone Generators with Magnetic Frequency Multipliers, *J. Adv. Oxid. Technol.* Vol. 9, No.2, 2006.
7. Kogelschatz, U.: Non-Equilibrium Plasmas at about Atmospheric Pressure. Proc. 27th ICPIG, (CD-rom) W1-355, 2005.

8. Pollo I.: Selected Design Criteria for Ozone Production, *J. Adv. Oxid. Technol.* Vol. 7, No.1, 2004.
9. Stryczewska H., et all: Non-thermal Plasma Based Technology for Soil Treatment, *Plasma Process.Polym*, 2005.
10. Yagi, S. and Tanaka, M.: Mechanism of Ozone Generation in Air-Fed Ozonisers. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 12, 1509. 1979.
11. Kogelschatz U.: Dielectric-barrier Discharges: Their History, Discharge Physics, and Industrial Applications, *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, Vol. 23, No. 1, March 2003.

Rękopis dostarczono dnia 3.12.2008 r.

Opiniował: **prof. dr hab. inż. Stanisław WINCENIAK**

INVESTIGATIONS OF A METAL MESH ELECTRODES AND GLASS WOOL PACKING TO BARRIER DISCHARGES INTENSITY

Ernest GNAPOWSKI

ABSTRACT *During this experiment we used ozonizer with mesh electrodes and a few different porous dielectrics in order to improve efficiency of ozone production. An intensity of atmospheric pressure discharges generated in the dielectric barrier configuration in air can be considerably increased due to the application of the mesh electrodes and presence of porous or perforated dielectric in the discharge gap. In the investigated model the increase of more than 20% of the discharge power related to the unit electrode surface was achieved only due to introducing the glass wool dielectric into the discharge gap.*