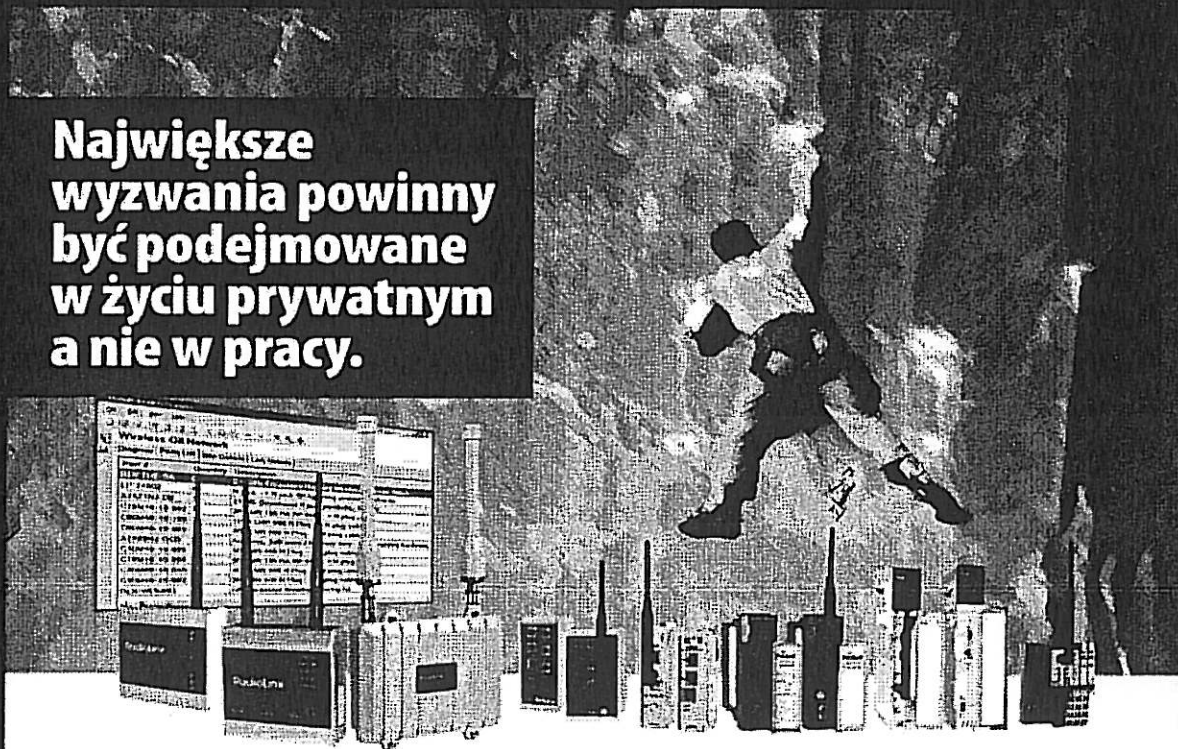


PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY ELECTRICAL REVIEW

LXXXVI

Main topic – Temat numeru
International Symposium on Electromagnetic
Fields in Electrical Engineering - ISEF'09

**Największe
wyzwania powinny
być podejmowane
w życiu prywatnym
a nie w pracy.**



Ułatwiamy komunikację.

**Dzięki bliskiej współpracy z
inżynierami-automatykami**
ProSoft Technology pomaga im w:

- ograniczeniu nakładu pracy nad sieciami
- łatwej integracji systemów
- szybkiej realizacji instalacji przemysłowych
- ograniczeniu kosztów utrzymania

Ponad 60 protokołów: interfejsy współpracujące z najpopularniejszymi sieciami przemysłowymi.

Przemysłowa sieć wireless spełnia standardy: FHSS, 802.11 abgn, Ethernet I/lub Serial Wireless.

ProSoft Technology jest od ponad 20 lat światowym liderem w dostarczaniu rozwiązań dla sieci przewodowych i bezprzewodowych w automatyce przemysłowej.

ProSoft[®]
TECHNOLOGY
Where Automation Connects

www.prosoft-technology.com/emea_16
poland@prosoft-technology.com
Tel. +33 (0)5 3436-8720



SIGMA-NOT
Spółka z o.o.

cena 22,00 zł
(w tym "0" VAT)



Diagnostyka nierównowagi termodynamicznej plazmy ślizgającego się wyładowania łukowego

Streszczenie. Badania nad parametrami plazmy wytwarzanej w plazmotronach łukowych odgrywają zasadniczą rolę przy projektowaniu układów przemysłowych. Istotnym parametrem, z punktu widzenia procesów plazmochemicznych, jest rozkład temperatury w komorze wyładowczej reaktora plazmowego. Dąży się do uzyskania jak największej energii elektronów przy możliwie niskiej temperaturze gazu procesowego. Diagnostyka termowizyjna pozwala szybko ocenić temperaturę zjonizowanego gazu w zależności od warunków pracy reaktora.

Abstract. Investigations of the parameters of the plasma generated by gliding arc discharges are very important from the point of view of its industrial applications. The knowledge of temperature distribution in the discharge chamber of plasma reactor is crucial to estimate temperature of plasma species and parameters of the discharge required to achieve non-equilibrium conditions of generated plasma (Diagnostic of the gliding arc discharge plasma's non-equilibrium).

Słowa kluczowe: reaktor plazmowy, nierównowagowa plazma nietermiczna, diagnostyka temperatury gazu.

Keywords: gliding arc plasma, non-thermal an non-equilibrium plasma, gas temperature diagnostic.

Wstęp

W ostatnich latach obserwujemy rosnące zainteresowanie wytwarzaniem nietermicznej, nierównowagowej plazmy stosowanej w ochronie środowiska do obróbki toksycznych gazów, oczyszczania woda i sterylizacji gleby [1]. Do jej wytwarzania przy ciśnieniu atmosferycznym mogą być wykorzystywane reaktory ze ślizgającym się wyładowaniem łukowym, w których istotne jest określenie sprawności i skuteczności procesów utylizacji toksycznych gazów, odbywających się za pośrednictwem zderzeń elektronów o wysokich energiach z ciężkimi cząstkami gazów.

Badania nad parametrami plazmy wytwarzanej w plazmotronach łukowych odgrywają zasadniczą rolę przy projektowaniu układów przemysłowych. Istotnym parametrem, z punktu widzenia procesów plazmochemicznych, jest rozkład temperatury w komorze wyładowczej reaktora plazmowego [2]. Do pomiaru temperatury gazu procesowego można wykorzystać techniki termowizyjne, natomiast do wyznaczenia energii obsadzenia wzbudzonych poziomów elektronowych (temperatura elektronowa) wykorzystuje się wyłącznie metody spektroskopowe [3]. W pracy przedstawiono specyfikę wykorzystania metod termowizyjnych oraz wyniki pomiaru temperatury ciężkich cząstek nietermicznej plazmy generowanej w reaktorze plazmowym ze ślizgającym się wyładowaniem łukowym typu GlidArc. Cechą charakterystyczną takiego reaktora jest uzyskanie plazmy nietermicznej i nierównowagowej w jak największej objętości poddawanych obróbce gazów przy ciśnieniu atmosferycznym.

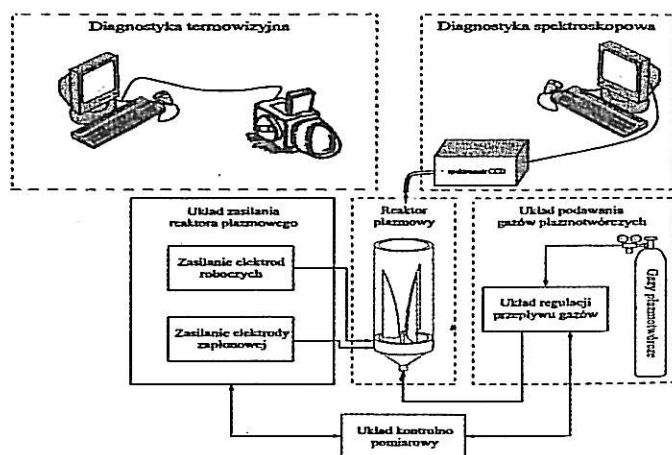
Stanowisko pomiarowe

W badaniach eksperymentalnych wykorzystano 3-elektrodowy reaktor plazmowy ze ślizgającym się wyładowaniem łukowym. W skład stanowiska laboratoryjnego (rys. 1) wchodzi różne układy zasilania reaktora plazmowego w energię elektryczną, system podawania gazów procesowych z elektronicznym regulatorem przepływu, spektrometr optyczny oraz termograf.

Badania pola temperatury ciężkich cząstek zjonizowanego gazu procesowego w komorze wyładowczej reaktora plazmowego wykonano za pomocą kamery termowizyjnej V-20 ER005-10 firmy VIGO System o następujących parametrach [4]:

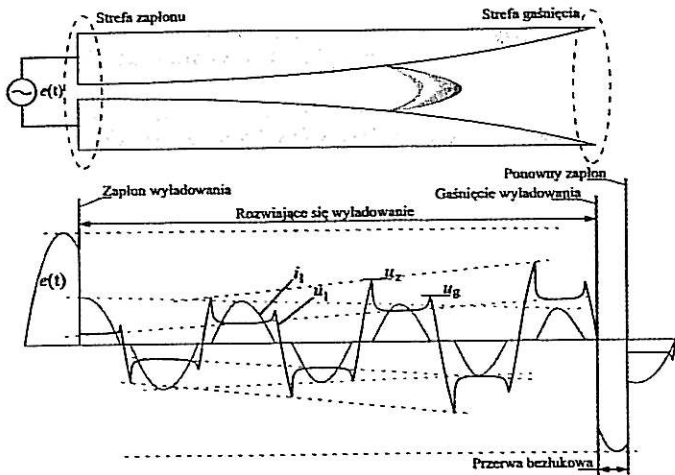
- rozdzielczość przestrzenna 3,5 mrad,

- rozdzielczość termiczna 0,05°C,
- zakres widmowy 3 – 5 μm,
- czas rejestracji termogramu 320x240 punktów 10 s,
- czas rejestracji jednej linii (240 punktów) 0,1 s.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego

Praca reaktora plazmowego jest okresowa. W czasie trwania jednego okresu (od zapłonu do zgaśnięcia wyładowania) zawarty jest kilka okresów napięcia zasilającego (rys. 2). Na czas trwania jednego cyklu pracy reaktora ma wpływ wiele czynników, spośród których wymienić należy: wymiary i kształt elektrod, prędkość przepływu ośrodka gazowego przez komorę wyładowczą, skład chemiczny gazu, w jakim zachodzi wyładowanie, napięcie i prąd elektrod oraz częstotliwość napięcia zasilającego. Wynika z tego, że w odniesieniu do czasu rejestracji kamery termowizyjnej, obserwowane wyładowanie charakteryzuje się dużą dynamiką czasową i przestrzenną. Przy analizie wyników pomiarów termowizyjnych, istotny jest skutek cieplny wywołany wielokrotnym przejściem wyładowania przez komorę wyładowczą w czasie wykonania pomiaru. Dlatego można założyć, że generowana w reaktorze ze ślizgającym się wyładowaniem łukowym plazma, równomiernie wypełnia całą komorę wyładowczą. Dla każdego punktu pomiarowego (określony gaz roboczy, przepływ i napięcie zasilające) wykonano od 50 do 100 pomiarów. Otrzymane wyniki zostały dodatkowo uśrednione za pomocą oprogramowania THERM-V20 dołączonego do kamery.



Rys. 2. Chwilowe przebiegi napięć i prądów dwuelektrodowego reaktora plazmowego ze ślizgającym się wyładowaniem łukowym; przebiegi chwilowe: $e(t)$ – napięcie źródła zasilania, u_1 – napięcie łuku, i_1 – prąd łuku, u_z – napięcie zapłonu wyładowania, u_g – napięcie gaśnięcia wyładowania

Pomiary zostały wykonane dla różnych gazów plazmotwórczych: argonu, azotu i powietrza, oraz dla różnych wartości przepływu: 0,3 m³/h, 0,5 m³/h, 1,0 m³/h, 1,5 m³/h, 2,0 m³/h i 3,5 m³/h. Ustawienie wartości przepływu poniżej 0,5 m³/h możliwe było jedynie w przypadku stosowania argonu. Związane jest to ze stabilizacją wyładowania w argonie, co jest szczególnie istotne przy niskich wartościach przepływu gazu procesowego [5].

Na początku pomiarów eksperymentalnie wybrano linię położoną w obszarze o najwyższej temperaturze, wzdłuż której następnie rejestrowano temperaturę. Pomiary wykonano dla trzech ustawień kamery:

- widok z boku (odległość kamery – 1,20 m) – poziome ustawienie kamery,
- widok z boku (odległość kamery – 0,90 m) – pionowe ustawienie kamery,
- widok z góry (odległość kamery – 1,10 m) – poziome ustawienie kamery.

Warunki przeprowadzenia pomiarów zestawiono w tabeli 1.

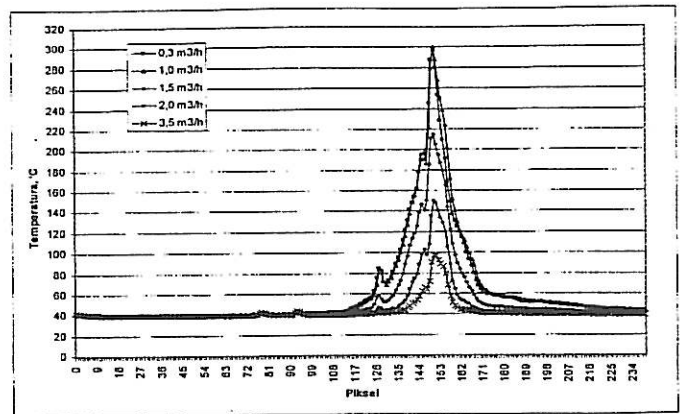
Tabela 1. Parametry czujnika

Geometria komory wyładowczej reaktora	
średnica komory wyładowczej	80 mm
długość elektrod roboczych	141 mm
długość elektrody zapłonowej	15 mm
przerwa międzyelektrodowa w obszarze zapłonu wyładowania	1 - 6 mm
przerwa międzyelektrodowa w obszarze gaśnięcia wyładowania	30 - 35 mm
Parametry gazu roboczego	
rodzaj gazu	argon, powietrze, azot
wartości przepływu	0,3 - 3,5 m ³ /h
średnica dyszy wlotowej	3 mm
Parametry układu zasilania	
napięcie międzyelektrodowe	0,4 - 1,5 kV
wartość prądu	1,0 - 3,5 A

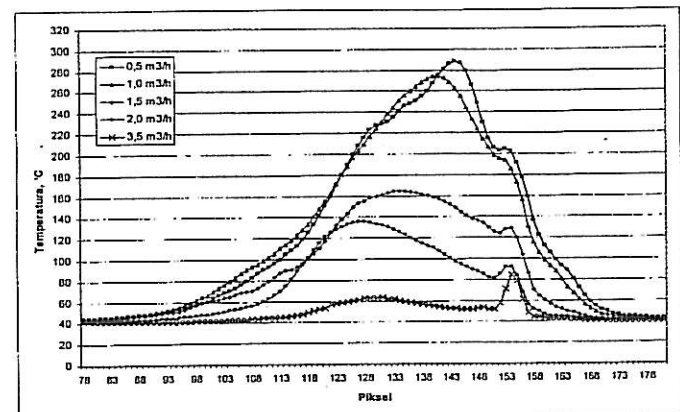
Wyniki pomiarów

Na podstawie termogramów otrzymanych za pomocą kamery termowizyjnej opracowano charakterystyki przedstawiające rozkład temperatury wewnątrz komory wyładowczej reaktora.

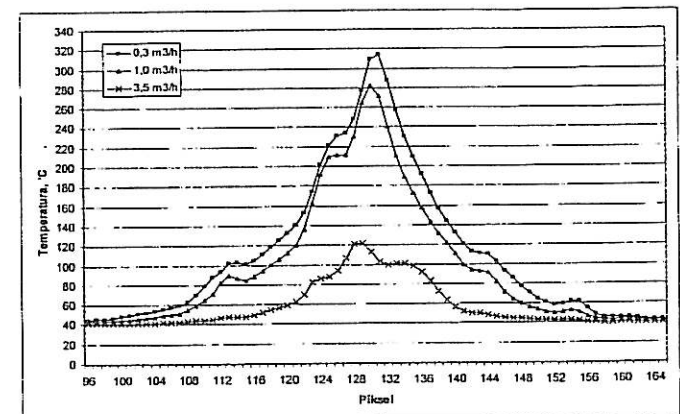
Na rysunkach 3, 4, 5 przedstawiono wpływ zmiany wartości przepływu argonu na rozkład temperatury wewnątrz komory wyładowczej reaktora plazmowego.



Rys. 3. Wpływ zmiany wartości przepływu argonu na rozkład temperatury wewnątrz komory wyładowczej (poziome ustawienie kamery)



Rys. 4. Wpływ zmiany wartości przepływu argonu na rozkład temperatury wewnątrz komory wyładowczej (pionowe ustawienie kamery)

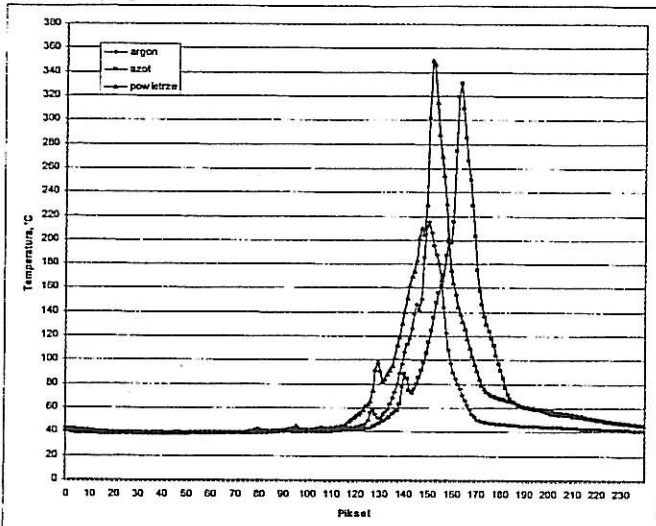


Rys. 5. Wpływ zmiany wartości przepływu argonu na rozkład temperatury wewnątrz komory wyładowczej (poziome ustawienie kamery – widok z góry)

Z przedstawionych wykresów wynika, iż niezależnie od ustawienia kamery wraz ze wzrostem wartości przepływu argonu przez komorę wyładowczą reaktora plazmowego maleje temperatura wewnątrz komory wyładowczej. Przy czym przy małych wartościach przepływu (do 1,0 m³/h) zmiany temperatury są nieznaczne – zmiana wartości przepływu w zakresie od 0,3 m³/h do 1,0 m³/h powoduje zmianę temperatury o ok. 10%. Zwiększenie wartości przepływu powyżej 1,0 m³/h powoduje znaczący spadek temperatury wewnątrz komory wyładowczej reaktora.

W dalszej części przedstawione zostaną charakterystyki wpływu rodzaju gazu procesowego na rozkład temperatury wewnątrz komory wyładowczej reaktora plazmowego. Na rysunku 5 przedstawiono wpływ rodzaju gazu roboczego na

rozkład temperatury wewnątrz komory wyladowczej reaktora plazmowego przy stałej wartości przepływu wynoszącej 1,5 m³/h.



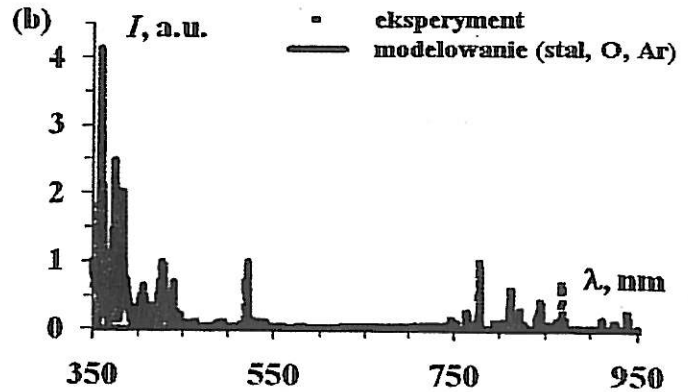
Rys. 5. Wpływ gazu roboczego na rozkład temperatury wewnątrz komory wyladowczej reaktora plazmowego przy stałej wartości przepływu 1,5 m³/h (poziome ustawienie kamery)

Wraz ze wzrostem wartości przepływu gazu roboczego przez komorę wyladowczą reaktora rośnie wpływ składu chemicznego gazu roboczego na rozkład temperatury wewnątrz komory wyladowczej. W przypadku stosowania azotu lub powietrza jako gazu roboczego uzyskujemy temperaturę wewnątrz komory wyladowczej o ok. 30% większą w porównaniu do temperatury uzyskanej w przypadku zastosowania argonu. Różnica temperatur wynikająca ze stosowania azotu lub powietrza jako gazu roboczego nie przekracza 10%, co związane jest z dużą zawartością azotu w powietrzu.

Podsumowanie

W reaktorach ze ślizgającym się łukiem istotnym parametrem jest stopień nierównowagi generowanej plazmy. Dąży się do uzyskania jak największej energii elektronów przy możliwie niskiej temperaturze gazu procesowego. Diagnostyka termowizyjna pozwala ocenić temperaturę gazu roboczego w zależności od wartości przepływu, rodzaju gazu oraz warunków zasilania reaktora. Przy instalowaniu i obsłudze kamery termowizyjnej należy uwzględnić wiele czynników wpływających na dokładność pomiaru, m.in. zmianę wartości współczynnika emisyjności zjonizowanego gazu, dynamikę wyladowania, równomierność wypełnienia wyladowaniem komory reaktora. Błędy wywołane przez te czynniki mogą być znaczne, lecz są do uniknięcia.

Otrzymane wartości temperatury ciężkich cząstek zjonizowanego gazu procesowego są zbieżne z wynikami uzyskanymi za pomocą metod spektroskopowych (rys. 6).



Rys. 6. Wyniki diagnostyki spektroskopowej [6]
Gaz procesowy – powietrze, przepływ – 3,5 m³/h, ciśnienie – 1 atm.
 T_e (Fe,Cr,Ni) = 8000 K; T_e (Ar) = 7000 K; T_e (O) = 6000 K, T_{rot} = 600 K

Połączenie metod diagnostyki termowizyjnej z diagnostyką spektroskopową, za pomocą której można uzyskać wartość energii wzbudzonych elektronów, pozwala ocenić stopień nierównowagi termodynamicznej generowanej plazmy. W reaktorach ze ślizgającym się wyladowaniem łukowym generowana jest plazma silnie nierównowagowa ($T_e \gg T_{rot}$).

LITERATURA

- [1] Stryczewska H.D., *Technologie plazmowe w energetyce i inżynierii środowiska*. Monografia. Komitet Elektrotechniki PAN. Lublin (2009).
- [2] Diatczyk J., Stryczewska H.D., Specific conditions of glidarc plasma spectral diagnostics. *The 11th International Symposium on High Pressure Low Temperature Plasma Chemistry (Hakone XI)*. Oleron Island, France (2008).
- [3] Kamera termograficzna V-20: Informacje techniczne i eksploatacyjne. VIGO System. Strona internetowa: www.vigo.com.pl.
- [4] Diatczyk J., Komarzyniec G., Stryczewska H.D., Diagnostyka spektroskopowa nietermicznej plazmy w reaktorze ze ślizgającym się wyladowaniem łukowym. *Przegląd Elektrotechniczny*, 05 (2008).
- [5] Diatczyk J., Komarzyniec G., Stryczewska H.D., Warunki generacji nietermicznej plazmy w reaktorze ze ślizgającym się wyladowaniem łukowym. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej – Nauki Techniczne – Elektryka*. Gliwice (2007).
- [6] Prysiazhnevych I.V., olomenko Ok.V., Cherniak V.Ya., Naumov V.V., Diatczyk J., Stryczewska H.D., Optical Diagnostics of Plasma in Gliding Arc with Stainless Steel Electrodes, The Third Central European Symposium on Plasma Chemistry, Kyiv, Ukraine, 23–27 August (2009), *Book of Abstracts*, 104–105

Autorzy: dr inż. Jarosław Diatczyk

E-mail: j.diatczyk@pollub.pl;

dr hab. inż. Henryka Danuta Stryczewska prof. PL,

E-mail: h.stryczewska@pollub.pl;

dr inż. Grzegorz Komarzyniec

E-mail: g.komarzyniec@pollub.pl;

Politechnika Lubelska

Instytut Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii

ul. Nadbystrzycka 38A

20-618 Lublin