

Badanie zaburzeń przewodzonych w torze zasilania reaktorów BDB i GlidArc

Streszczenie. Reaktory plazmowe służące do wytwarzania plazmy niskotemperaturowej, mają wiele możliwości zastosowań, m.in. w inżynierii biomedycznej do sterylizacji ran powierzchniowych i narzędzi nieodpornych na działanie wysokich temperatur oraz w technice materiałowej, gdzie służą do zmiany właściwości fizyko-chemicznych powierzchni materiałów. W artykule przeprowadzono analizę poziomów zaburzeń przewodzonych w torze zasilania reaktorów.

Abstract. Plasma nozzle for producing low-temperature plasma, has many possible applications, in biomedical engineering, which are used to sterilize wounds and surface of medical tools easily at low temperatures and in the technology of materials, to change the physico-chemical properties of surface. The article presents analysis of the levels of conducted disturbances in power systems of two reactors. (**Analysis of conducted disturbances in power systems of BDB and GlidArc reactors**).

Słowa kluczowe: reaktor BDB, GlidArc, zaburzenia przewodzone.

Keywords: BDB reactor, GlidArc reactor, conducted interferences.

Wstęp

Jednym z głównych obszarów zastosowań technologii plazmowych jest wykorzystanie plazmy nietermicznej w inżynierii środowiska. Plazmotrony od lat stanowią komponenty zaawansowanych układów oczyszczania cieczy i gazów. W oczyszczaniu powietrza plazma spełnia rolę dezynfekcyjną i deodoryzującą. Ostatnio obserwuje się intensyfikację badań nad możliwościami zastosowania plazmy nierównowagowej generowanej pod ciśnieniem atmosferycznym w medycynie i biotechnologii [4,5,10,12].

W odniesieniu do wymagań jakości i bezpieczeństwa jakie stawiane są plazmotronom, ważnym zagadnieniem okazuje się również przeprowadzenie badań kompatybilności elektromagnetycznej. Budowane w Instytucie Elektrotechniki i Elektrotechnologii instalacje reaktorów plazmowych wymagają zaprojektowania i wykonania dedykowanych do nich specjalnych układów zasilania. Do zbadania emisji przewodzonej tych układów zostało wykorzystane stanowisko pomiarowe oparte na odbiorniku pomiarowym Rohde&Swarz ESCI 3 oraz jednofazowej sieci sztucznej LISN Schaffner NNB 41C.

Reaktory plazmowe

Plazma to zjonizowany gaz o odpowiedniej koncentracji swobodnych nośników ładunków elektrycznych w postaci dodatnich jonów i elektronów, przy czym wypadkowy ładunek elektryczny jest równy zero. W plazmie, która nie jest w stanie równowagi termodynamicznej, energie elektronów są znacznie większe niż energie jonów i cząstek neutralnych. Można więc przekazywać energię w sposób selektywny, co pozwala na skuteczne przeprowadzanie reakcji fizyko-chemicznych przy stosunkowo niewielkiej temperaturze gazu roboczego

Dzięki tym właściwościom plazma znalazła zastosowanie w wielu dziedzinach nauki i techniki. Oprócz zastosowań w technologii sanitarnej i ochronie środowiska [1-3] wdrażane są do biotechnologii, medycyny, technologii materiałowych [4,12]. Przedstawiany artykuł omawia problematykę niskotemperaturowych reaktorów plazmy nierównowagowej ze szczególnym uwzględnieniem emisji zaburzeń przewodzonych.

Badania przeprowadzono dla dwóch reaktorów plazmowych o odmiennej konstrukcji: reaktora ze ślizgającym się wyładowaniem łukowym typu GlidArc oraz małogabarytowego reaktora plazmowego typu dysza plazmowa z wyładowaniem barierowym.

Przy konstruowaniu reaktorów plazmowych głównym

zadaniem jest projekt i optymalizacja układu zasilania ze względu na to, że plazmotrony są dosyć nietypowymi odbiornikami energii o nieliniowej charakterystyce, a ich działanie wymaga wysokich napięć przy dosyć wysokich częstotliwościach. Do zasilania reaktorów plazmowych stosuje się w praktyce różne źródła zasilania, które można podzielić na dwie zasadnicze grupy:

– układy transformatorowe, wykorzystujące właściwości obwodów magnetycznych,

– układy z elementami energoelektronicznymi [12].

Ze względu na specyfikę zasilania do każdego reaktora należy dobierać indywidualnie układ zasilania. Każde urządzenie elektryczne które planowane jest do eksploatacji wymaga szeregu badań i testów związanych z emitowaniem zakłóceń elektromagnetycznych do środowiska. Wydanie zgody na eksploatację urządzenia wiąże się z uznaniem go za spełniające wymagania kompatybilnościowe.

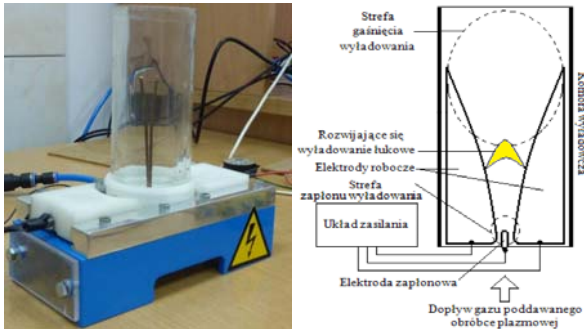
Plazmę ślizgającego się wyładowania łukowego, podobnie jak innych wyładowań łukowych, można generować przy napięciu stałym, przemiennym i impulsowym [12,13].

Reaktor plazmowy typu GlidArc składał się z dwóch wymiennych elektrod o dowolnym kształcie, grubości i długości, wykonanych z miedzi lub stali nierdzewnej. Cechą charakterystyczną zaprojektowanego reaktora jest możliwość regulacji odstępów między elektrodami w strefie zapłonu. Takie rozwiązanie pozwala dostosowywać reaktor do rodzaju stosowanego gazu procesowego, jego wilgotności, prędkości przepływu oraz składu chemicznego. W prezentowanych badaniach zastosowany odstęp międzyelektrodowy wynosił 3mm. Schemat oraz zdjęcie reaktora plazmowego typu GlidArc przedstawiono na rysunku 1.

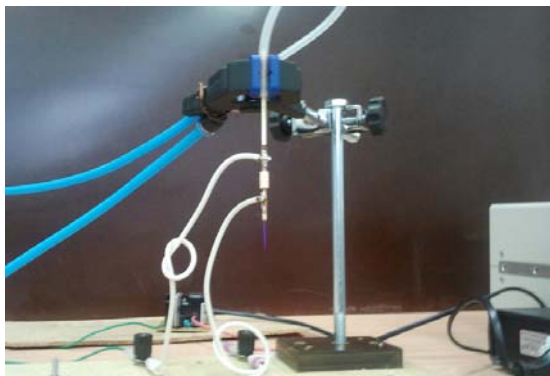
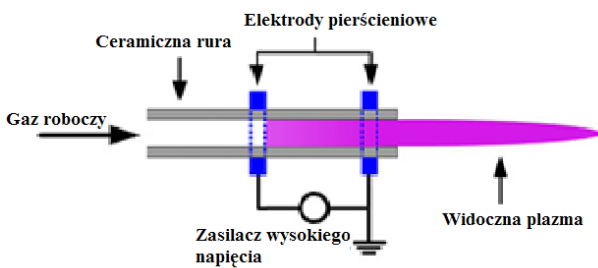
Funkcję zapłonu wyładowania i stabilną pracę reaktora plazmowego zapewniał odpowiednio zaprojektowany układ zasilania typu „flyback”. Parametry elektryczne układu zasilania po stronie wtórnej wynosiły 15kV, 40mA oraz 16kHz.

W badaniach wykorzystano również reaktor plazmowy typu plasma jet z wyładowaniem barierowym (rys. 2) [14,15]. Średnica wewnętrzna dyszy reaktora wynosiła 1,5 mm przy średnicy zewnętrznej 2,4 mm, dysza została wykonana z materiału dielektrycznego. Zastosowano tą samą wartość przepływu gazu 0,08 m³/h. Reaktor BDB był zasilany z zasilacza wysokiego napięcia o parametrach wyjściowych: $U=3,7$ kV oraz $f=17$ kHz (rys.3). Wszystkie

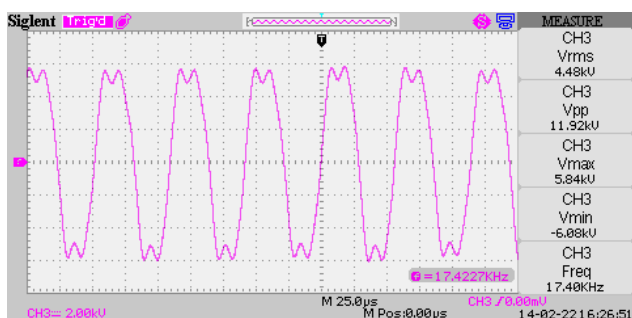
badania przeprowadzono dla ciśnienia atmosferycznego w temperaturze pokojowej 24,5°C i wilgotności 23,9%.



Rys.1. Reaktor plazmowy typu GlidArc, fotografia oraz diagram obrazujący działanie



Rys.2. Reaktor plazmowy typu „plasma jet” z wyładowaniem barierowym (struktura oraz zdjęcie badanego modelu fizycznego)



Rys.3. Kształt napięcia na zaciskach wejściowych reaktora plazmowego BDB z wyładowaniem barierowym

Badania zaburzeń przewodzonych

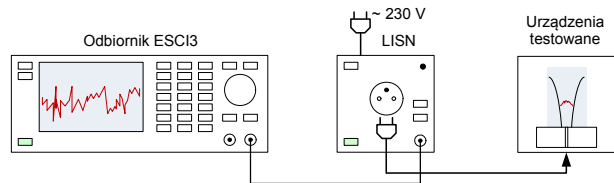
Wszystkie urządzenia i instalacje elektryczne pracujące w określonym środowisku powinny być bezpieczne dla środowiska, współistniejącego zaplecza technicznego i personelu eksploatującego sprzęt. W przypadku elektroniki konieczne jest spełnienie określonych wymogów stawianych przez dyrektywę EMC i zharmonizowane z nią normy [16,23]. Określają one m.in. dopuszczalne emisje promieniowanych zaburzeń elektromagnetycznych i poziomy zaburzeń przewodzonych.

Badania emisji zaburzeń w odniesieniu do kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń i instalacji to pomiary przeprowadzane wg specjalnych procedur i porównywanie zmierzonych wartości z poziomami określonymi jako dopuszczalne limity w normach [17].

W zakresie częstotliwości do 30 MHz przewody są podstawowym torem propagacji zaburzeń do lokalnego środowiska. Poddane badaniom reaktory plazmowe są zasilane z sieci jednofazowej, która dwutorowo zasilą tor elektrod roboczych i tor elektrody wyładowczej.

Do przeprowadzenia pomiarów zaburzeń potrzebny jest specjalny zestaw urządzeń i instalacji pomiarowych. Stanowisko pomiarowe powinno zapewnić zmierzenie poziomu zaburzeń z określoną niepewnością pomiarową, jaką dopuszczają normy.

Podstawą stanowiska jest odbiornik pomiarowy (measuring receiver). W większości przypadków jest on w pełni zautomatyzowany i samodzielnie dokonuje kalibracji i pomiarów sygnałów w zadanym zakresie częstotliwości. W porównaniu do analizatorów widma oferuje znacznie większą czułość, zwiększoną odporność na przeciążenia, możliwość pomiaru częstotliwości i amplitudy z większą dokładnością i większą liczbą detektorów pomiarowych - zgodnych ze standardami CISPR 16. Pomiar zaburzeń przewodzonych sprowadza się do pomiaru napięcia występującego na wejściu miernika - odbiornika pomiarowego. W celu dopasowania lub przekształcenia różnych wielkości elektrycznych stosuje się dodatkowe urządzenia pomocnicze. Do badań zaburzeń w instalacji reaktora możliwe jest wykorzystanie sieci sztucznej. Zadaniem sieci jest stabilizacja warunków pomiarów napięć i prądów zaburzeń w obwodach zewnętrznych dołączanych do badanego obiektu oraz umożliwienie połączenia miernika zakłóceń. Wartość impedancji sieci sztucznej jest znormalizowana dla poszczególnych zakresów częstotliwości (CISPR 16-1).



Rys.4. Schemat blokowy stanowiska pomiarowego do badań zaburzeń przewodzonych oraz zdjęcie z badań

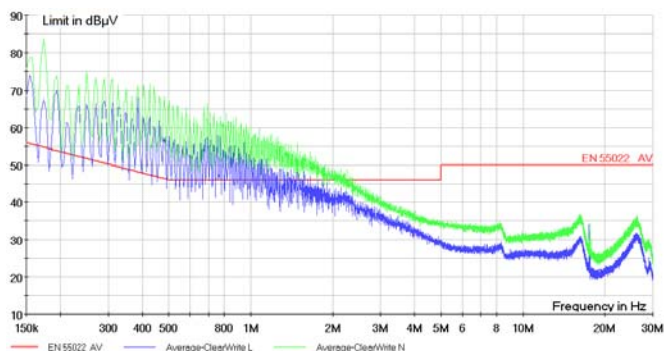
Badania przeprowadzono w pomieszczeniu Laboratorium Technik Plazmowych. Do badań wykorzystano odbiornik pomiarowy ESCI3 firmy Rodhe&Schwarz wraz z siecią sztuczną Schaffner NNB 41C (rys.4).

Wyniki badań

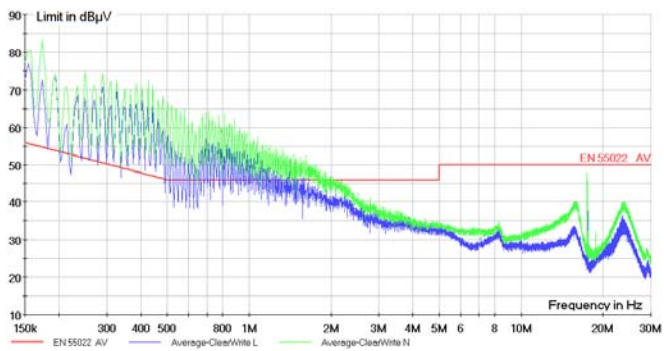
Testowanie emisyjności obydwu instalacji reaktorów zrealizowano w zakresie częstotliwości od 0,15 do 30 MHz przy szerokości pasma 120 kHz. Czas próbkowania ustawiono na 10 ms, step size 40 kHz. Całością testu zarządzano z poziomu programu EMC32 poprzez interfejs GPIB. Jako czynnik roboczy podawany do komory wyładowczej wykorzystano hel.

Do zasilania reaktora typu „plasma jet z wyładowaniem barierowym (BDB) zastosowano dwa układy zasilacza wysokiego napięcia. Pierwszy to elektroniczny układ przekształtnikowy z ferrytowym transformatorem wysokiego napięcia ze szczeliną powietrzną. Układ został zaprojektowany do zasilania napięciem 110 V podczas pomiarów zostały zbadane dwa typy transformatorów 230/110 V: zwykły transformator toroidalny o mocy znamionowej 200 W oraz transformator elektroniczny zaprojektowany do zasilania urządzeń małej mocy którego moc znamionowa wynosi 45 W. Drugi układ zasilania został wykonany na podstawie schematu przetwornicy Mazilliego. Zastosowanie tego typu przetwornicy wymaga stosowania symetrycznego uzwojenia pierwotnego na transformatorze wysokiego napięcia. Układ jest zasilany z zasilacza napięcia stałego co pozwala na płynną zmianę napięcia zasilania reaktora plazmowego.

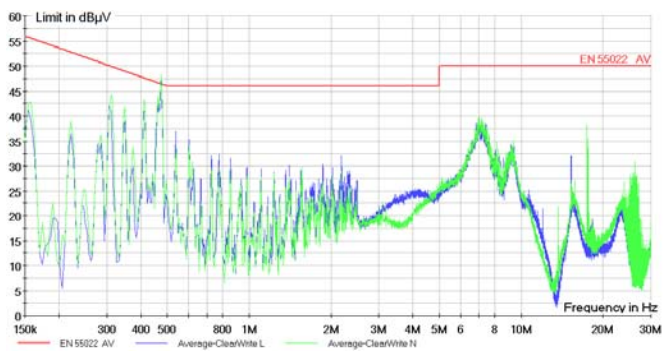
Na wykresach (rys. 5, 6, 7) przedstawiono zmierzone wartości zaburzeń w torze zasilania reaktora BDB.



Rys.5. Poziom zaburzeń w torze zasilania reaktora BDB, zasilacz elektroniczny



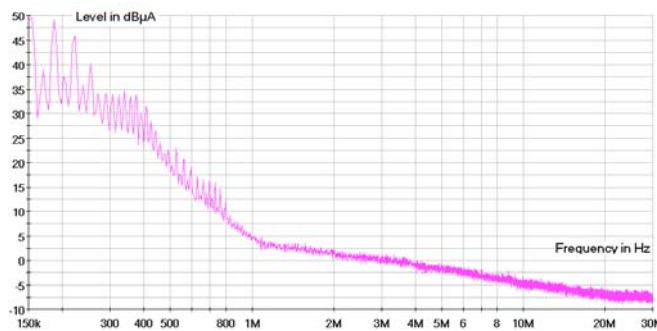
Rys.6. Poziom zaburzeń w torze zasilania reaktora BDB, zasilacz z transformatorem toroidalnym



Rys.7. Poziom zaburzeń w torze zasilania reaktora BDB, zasilacz zasilany DC 19V, 0,96A

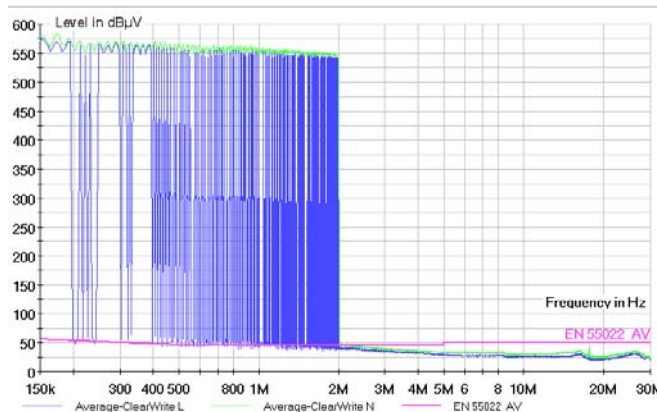
Zaprezentowane na rysunkach wyniki są przedstawione w skali decybelowej, co ułatwia porównanie z wymaganiami norm kompatybilnościowych. Z uzyskanych testów wynika, że instalacja reaktora BDB nie spełnia wymagań kompatybilnościowych w żadnym z badanych układów zasilania. Zasilacze elektroniczne z i bez transformatora toroidalnego jakościowo zachowują się podobnie, przekraczając znacznie poziomy dopuszczalne aż do częstotliwości 2,1 MHz. Znacznie lepsze parametry posiada zasilanie oparte na zasilaczu prądu stałego – ale i tu zaburzenie o częstotliwości 474 kHz przekracza dopuszczalny poziom.

Dodatkowo, dokonano pomiaru prądu zaburzenia po stronie wysokiego napięcia – w bezpośrednim torze elektrod roboczych. Wykorzystano do tego celu urządzenie pomocnicze - sondę prądową EZ-17 firmy Rodhe&Schwarz. Sonda prądowa, wykonana w układzie transformatora prądowego, służy do pomiaru asymetrycznych prądów zaburzeń płynących po przewodach dołączonych do badanego urządzenia. Powinna być tak skonstruowana, aby umożliwiała pomiar prądu zaburzenia bez potrzeby odłączania przewodów sieciowych. Realizuje się to przez umieszczenie rdzenia transformatora sondy wokół badanego przewodu, który stanowi jeden zwój uzwojenia pierwotnego transformatora prądowego [17,21,23]. Zmierzone wartości prezentuje poniższy rysunek. I tu obserwowane są znaczne poziomy w zakresie początkowego badanego pasma (do 500 kHz).



Rys.8. Poziom zaburzeń zmierzony sondą prądową w torze elektrod roboczych reaktora BDB zasilanego z zasilacza elektronicznego

Drugim reaktorem poddanym badaniu był reaktor typu GlidArc. Tu przeprowadzono badanie w torze zasilania tylko przy użyciu sieci sztucznej. Wyniki zaprezentowano na poniższym wykresie.



Rys.9. Poziom zaburzeń w torze zasilania reaktora typu GlidArc, pomiar przy użyciu sieci sztucznej Schaffner NNB 41C

Instalacja jednofazowego reaktora GlidArc, wnosi do systemu energetycznego bardzo duże zakłócenia. Uzyskane wartości pomiarowe wielokrotnie przekraczają dopuszczalne poziomy norm, szczególnie w paśmie niższych częstotliwości (do 2 MHz) co w przypadku analizy kompatybilności elektromagnetycznej dyskwalifikuje instalację w zakresie jej wprowadzenie na rynek.

Podsumowanie

Reaktory plazmowe są często wykorzystywane w technologiach przyjaznych dla środowiska takich jak oczyszczanie powietrza, wody, ścieków i gleby min. dla poprawy parametrów organoleptycznych i inaktywacji trudno usuwalnych związków chemicznych. Jest to prężnie rozwijająca się dziedzina i wciąż obserwuje się zastosowanie plazmotronów w nowych zastosowaniach. W ostatnich czasach zwłaszcza technologie materiałowe oraz aplikacje biotechnologiczne i medyczne zwracają szczególną uwagę. Dla każdego urządzenia plazmowego mogącego znaleźć zastosowanie komercyjne konieczne jest wykonanie badań kompatybilności elektromagnetycznej.

Analiza zaburzeń w torze zasilania jednofazowych reaktorów plazmowych BDB oraz GLiArc wykazuje przekroczenia dopuszczalnych limitów. Analogiczne wyniki – również z przekroczeniami wykazują konstrukcje wielofazowe [19,21,23]. Pomiar zaburzeń są częścią analizy kompatybilności elektromagnetycznej i są konieczne w zakresie określania jakości urządzeń i ich bezpieczeństwa i oddziaływania na system energetyczny. Zaprezentowane wyniki wskazują bezwzględną potrzebę prac w zakresie filtrowania obydwu typów instalacji.

LITERATURA

- [1] Ebihara K., Stryczewska H., Ikegami T., Mitsugi F., Pawłat J., On-site Ozone Treatment for Agricultural Soil and Related Applications, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2011, 7(87), 148-152
- [2] Ebihara K., Stryczewska H., Mitsugi F., Ikegami T., Sakai T., Pawłat J., Teii S., Recent development of ozone treatment for agricultural soil sterilization and biomedical prevention, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2012, 6(88), 92-94
- [3] Ebihara K., Mitsugi F., Ikegami T., Nakamura N., Hashimoto Y., Yamashita Y., Baba S., Stryczewska H., Pawłat J., Teii S., Sung T., Ozone-mist spray sterilization for pest control in agricultural management, *European Physical Journal- Applied Physics*, 2013, 61(02), 201324318
- [4] Pawłat J., Atmospheric pressure plasma jet for sterilization of heat sensitive surfaces, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2012, 10b, 139-140
- [5] Pawłat J., Atmospheric pressure plasma jet for decontamination purposes, *Eur. Phys. J. Appl. Phys.*, 2013, 61, 24323,
- [6] Kolacinski Z., Szymanski L., Raniszewski G., LTE plasma reactors for materials conversion, *Eur. Phys. J. Appl. Phys.*, 2013, 61(02), 24314
- [7] Stryczewska H., Pawłat J., Ebihara K., Non-thermal plasma aided soil decontamination, *JAOTs*, 2013, 1(16), 23-30
- [8] Kovařová Z., Tarabová K., Hensel K., Machala Z., Decontamination of Streptococci biofilms and Bacillus cereus spores on plastic surfaces with DC and pulsed corona discharges, *Eur. Phys. J. Appl. Phys.*, 2013, 61(2), 24306
- [9] Mizeraczyk J., Dors M., Jasinski M., Hrycak B., Czyłkowski D., Atmospheric pressure low-power microwave microplasma source for deactivation of microorganisms, *Eur. Phys. J. Appl. Phys.*, 2013, 61(2), 20405
- [10] Pawłat J., Samoń R., Stryczewska H., Diatczyk J., Giżewski T., RF-powered atmospheric pressure plasma jet for surface treatment, *European Physical Journal- Applied Physics*, 2013, 61(2), 201324322,
- [11] Pawłat J., Possibility of Atmospheric Pressure Plasma Jet Application in Decontamination of Heat Sensitive Surfaces, *Transactions of the Materials Research Society of Japan*, 2013, 38(4), 625-628
- [12] Stryczewska H., Technologie plazmowe w energetyce i inżynierii środowiska. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2009
- [13] Pawłat J., Samoń R., Zasilacze reaktorów plazmowych przeznaczonych do zaawansowanych procesów utleniania (AOPs), *Prace Instytutu Elektrotechniki* 2011, 249, 191-204
- [14] Kwiatkowski M., Terebun P., Krupski P., Samoń R., Diatczyk J., Pawłat J., Stryczewska H., Właściwości i zastosowania reaktorów plazmowych typu dysza plazmowa, *IAPGOŚ*, 2014, 3, 31-35
- [15] Terebun P., Kwiatkowski M., Krupski P., Diatczyk J., Pawłat J., Wpływ parametrów pracy reaktora typu plasma-jet z wyładowaniem barierowym na temperaturę gazu poddanego obróbce plazmowej, *European Journal of Medical Technologies*, 2014, 3, 38-45
- [16] DYREKTYWA 2004/108/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 15 grudnia 2004 r. w sprawie zbliżenia ustawodawstw Państw Członkowskich odnoszących się do kompatybilności elektromagnetycznej oraz uchylająca dyrektywę 89/336/EWG
- [17] Mazurek P. A., Laboratorium podstaw kompatybilności elektromagnetycznej, ISBN 978-83-62596-02-7, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2010
- [18] Mazurek P. A., Zaburzenia promieniowane reaktora plazmowego typu GlidArc, *Przegląd Elektrotechniczny* 2011, nr 12b, vol. 87, s. 121-124
- [19] Mazurek P. A., Zagrożenia elektromagnetyczne reaktorów GlidArc, *Inżynieria Ekologiczna*, 2012, nr 30, s. 85-96
- [20] Mazurek P. A., Masłowski G., Przytuła K., Badania emisji pól elektromagnetycznych, I Sympozjum Naukowe Elektryków i Informatyków, materiały pokonferencyjne, [Red:] Filipek P., Mazurek P.A., Lublin: Politechnika Lubelska, 2011, 89-94
- [21] Mazurek P. A., Wprowadzenie do badań zaburzeń przewodzonych w instalacji reaktora plazmowego, *Elektro.info*, ISSN 1642-8722, 12/2010, str. 32-34.
- [22] Mazurek P.A., Zaburzenia promieniowane reaktora plazmowego typu GlidArc, *Przegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R. 87 NR 12b/2011, str. 121-124.
- [23] Mazurek P.A., Selected methods to improve the electromagnetic compatibility of the plasma reactor, *Electrical Review*, ISSN 0033-2097, R. 88 NR 7a/2012, p. 158-160

Autorzy: dr inż. Paweł A. Mazurek, Politechnika Lubelska, Instytut Elektrotechniki i Elektrotechnologii, ul. Nadbystrzycka 38a, 20-618 Lublin, E-mail: p.mazurek@pollub.pl; dr hab. inż. Joanna Pawłat, prof. PL, Politechnika Lubelska, Instytut Elektrotechniki i Elektrotechnologii, ul. Nadbystrzycka 38a, 20-618 Lublin, E-mail: j.pawlat@pollub.pl, mgr inż. Michał Kwiatkowski, Politechnika Lubelska, Instytut Elektrotechniki i Elektrotechnologii, ul. Nadbystrzycka 38a, 20-618 Lublin, E-mail: m.kwiatkowski@pollub.pl.