

Identyfikacja zaburzeń elektromagnetycznych w torze zasilania reaktora plazmowego przy różnych mieszaninach gazowych

Streszczenie. Artykuł dotyczy analizy przewodzonych zaburzeń elektromagnetycznych badanych w torze zasilania reaktora plazmowego typu GlidArc. Reaktor jest silnie nieliniowym trójfazowym odbiornikiem. Jego stabilna praca zależy od układu zasilania, a istniejące zaburzenia w układzie mogą wpłynąć na niejednorodność generowania plazmy.

Abstract. The paper describes the analysis of conducted electromagnetic disturbances in the power supply circuit of plasma reactor. The reactor is strongly non-linear three-phase receiver. Stable work of the reactor depends on the quality of power supply. Existing electromagnetic disturbances in the supply system may affect the heterogeneity of plasma generation. (**Identification of electromagnetic disturbances in the power supply circuit of plasma reactor at different gas mixtures**).

Słowa kluczowe: zaburzenia elektromagnetyczne, EMC, reaktor plazmowy, jakość energii, plazma nietermiczna
Keywords: conducted electromagnetic disturbances, EMC, plasma reactor, quality of energy, nonthermal plasma.

doi:10.12915/pe.2014.07.44

Wstęp

Wobec narastającego z roku na rok problemu zanieczyszczenia środowiska odpadami o podłożu antropogenicznym należy zwrócić uwagę na sposoby utylizacji i niszczenia odpadów szczególnie tych niebezpiecznych. Procesy przemysłowe powodują wytworzenie wielu substancji odpadowych, o różnych stanach skupienia, które jako nieprzydatne są usuwane lub wyrzucane do otoczenia. Odpady podlegają różnym klasyfikacjom ze względu na właściwości, czy też na długość czasu rozkładu do substancji nieszkodliwych. Antropogenicznymi źródłami zanieczyszczenia powietrza są m.in.: chemiczna konwersja paliw, wydobywanie i transport surowców, przemysł chemiczny, rafineryjny i metalurgiczny, cementownie, składowiska surowców i odpadów, motoryzacja, czy też trujące środki bojowe [1,4,8,9,15-17].

Do celów utylizacji zanieczyszczeń gazowych powstających m.in. w procesach przemysłowych wykorzystywane są metody plazmo-chemiczne. Źródłem nietermicznej, nierównowagowej plazmy są reaktory plazmowe [1,15,17]. Jakość pracy reaktorów jest uzależniona od wielu czynników, spośród których najważniejsze powiązane są z jego układem zasilania, wymiarami i kształtem elektrod, prędkością przepływu ośrodka gazowego przez komorę wyładowczą czy temperaturą panującą wewnątrz komory wyładowczej [11,12,15].

Niniejszy artykuł dotyczy analizy przewodzonych zaburzeń elektromagnetycznych badanych w torze zasilania reaktora plazmowego typu GlidArc. Zaburzenia elektromagnetyczne w układzie zasilania mogą wpłynąć na niejednorodność generowania plazmy, co przełoży się może na sprawność destrukcji substancji niebezpiecznych. Dlatego identyfikacja poziomów zakłóceń w różnych warunkach pracy reaktora jest podstawą do zaprojektowania profesjonalnego układu przeciwzakłócającego.

Reaktor plazmowy typu GlidArc

Jednym z typów reaktorów plazmowych jest reaktor z wyładowaniem łukowym, ślizgającym się wzdłuż elektrod, o technologicznej nazwie GlidArc. Instytut Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii Politechniki Lubelskiej posiada kilka takich reaktorów.

Plazmę niskotemperaturową, zwaną też nietermiczną wytwarza się doprowadzając do wyładowań elektrycznych między elektrodami. Zależnie od geometrii elektrod i sposobu ich zasilania dochodzi do wyładowań niepełnych (nie zwierających elektrod reaktora) lub

pełnych (np. łukowych). Stosowane są wyładowania w uwarstwionych układach dielektrycznych (między płytami elektrod), koronowe (w niejednorodnych polach elektrycznych), jarzeniowe, mikrofalowe i inne [5-7,14,15].

W reaktorach plazmy niskotemperaturowej energia elektryczna nie jest wykorzystywana do ogrzewania gazu, który pozostaje „zimny”. Emitowane są „gorące”, czyli wysokoenergetyczne elektrony (brak równowagi termodynamicznej) i promieniowanie UV. Elektrony zderzają się z cząsteczkami gazu i powodują ich dysocjację. Powstające aktywne rodniki i jony wchodzi w reakcje chemiczne. W plazmie niskotemperaturowej temperatura elektronów jest znacznie wyższa od temperatury średniej gazu. W związku z tym zastosowanie plazmy do oczyszczania gazów może sprowadzać się wprost do oddziaływania elektronów, jonów, cząsteczek wzbudzonych, tworzenia aerozoli i reakcji przebiegających na ich powierzchni. Reaktory umożliwiają skuteczne usuwanie tlenków azotu, dwutlenku siarki z gazów spalinyowych, metali ciężkich lub lotnych związków organicznych (w tym odorantów) powstających w procesach malowania, lakierowania i procesach chemicznych. Są polecane zwłaszcza jako metoda usuwania zanieczyszczeń powietrza występujących w małych ilościach [].

W różnych typach metod plazmowych stosowane są różne parametry pracy reaktorów i uzyskiwane są odmienne skuteczności procesu.

Plazmę ślizgającego się wyładowania łukowego można generować przy napięciu stałym, przemiennym lub impulsowym. Stosowane w przemyśle plazmotrony ze ślizgającym się wyładowaniem łukowym są budowane jako dwu-, trzy- i wieloelektrodowe, często posiadające jeszcze dodatkową elektrodę zapłonową [1,4-9,14-17].

Źródłem plazmy i sposobem dostarczania do niej energii jest wymuszony przepływ prądu elektrycznego w gazie. Plazma to zjonizowany gaz, który przewodzi prąd elektryczny i tę właściwość wykorzystuje się przy wytwarzaniu plazmy łukowej [1,4-9,14-17]. Po zainicjowaniu łuku elektrycznego jest on podtrzymywany przez przepływający przez gaz prąd elektryczny i umożliwia wykorzystywanie go jako źródła plazmy. Wyładowanie łukowe jest silnie nieliniowym i asymetrycznym obciążeniem, związanym z dynamicznie zmieniającymi się zjawiskami przejściowymi i zwarciovymi.

Idea działania reaktora z tzw. ślizgającym się wyładowaniem jest następująca. Gaz poddawany obróbce wprowadzany jest osiowo, z określoną prędkością (kilkakilkadziesiąt m/s), pomiędzy elektrody robocze. Testowane

w dalszej części urządzenie składa się z trzech elektrod roboczych, wyprofilowanych w kształcie noży, po których pod wpływem wymuszonego przepływu gazu i sił elektrodynamicznych "ślizga się" ekspansyjne wyładowanie elektryczne. Wytworzona w ten sposób nietermiczna plazma wypełnia znaczną część przestrzeni komory wyładowczej [5-7,10-15]. Wartość napięcia na elektrodach, potrzebna do zapłonu łuku wynosi od kilku do kilkudziesięciu kilowoltów, a do jego podtrzymania około dziesięć razy mniej. Wyładowanie łukowe rozpoczyna się w miejscu, w którym odległość między elektrodami jest najmniejsza (kilka milimetrów).



Rys.1. Widok na komorę wyładowczą reaktora plazmowego typu GlidArc, w tle butle z gazami technicznymi, Instytut Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii, Politechnika Lubelska

Z powodu przepływu gazu roboczego następuje przesuwanie się kolumny łukowej wzdłuż rozszerzających się elektrod. Wyładowanie ślizga się więc wzdłuż ostrzy elektrod, aż do miejsca, w którym następuje jego zerwanie, gdy energia dostarczana ze źródła zasilania nie jest w stanie dłużej kompensować strat energetycznych wydłużającej się kolumny łukowej. Po zgaśnięciu łuku w strefie gaśnięcia, wyładowanie odbudowuje się natychmiast w strefie zapłonu (czyli w miejscu najmniejszej odległości międzyelektrodowej) i następuje kolejny cykl pracy reaktora. Komorę wyładowczą instytutowego reaktora typu GlidArc przedstawia zdjęcie na rysunku 1.

Charakterystyki statyczne i dynamiczne reaktora plazmowego zależą od wielu czynników, które można powiązać z geometrią reaktora plazmowego, układem dostarczania gazów roboczych oraz układem zasilania w energię elektryczną. Poprzez zmianę geometrii reaktora, składu gazu roboczego oraz parametrów zasilania można wpływać na parametry elektryczne i termiczne wyładowania w komorze wyładowczej reaktora plazmowego. Wpływając na moc wyładowania, temperaturę generowanej plazmy, stopień jonizacji gazu, skład chemiczny atmosfery można, z kolei, kształtować parametry technologiczne prowadzonego procesu plazmowego.

Identyfikacja instalacji reaktora

W celu zweryfikowania jakości reaktora jako obiektu elektrycznego konieczne jest przeprowadzenie m.in. testów zgodnych z regulacjami w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej. Badania emisji elektromagnetycznej instalacji reaktora w instytucie IPEiE prowadzone są wieloetapowo [10-13]. Analizie m.in. poddano zaburzenia promieniowane emitowane przez instalacje reaktora oraz przeprowadzone mierzone w układzie zasilania i zapłonu reaktora. Pełna analiza emisji promieniowanej reaktora plazmowego wymagała zbadania przestrzeni wokół

plazmotronu pod względem składowej magnetycznej i elektrycznej, w zakresie częstotliwości roboczych oraz określenia wartości pola elektromagnetycznego w wyższych częstotliwościach (30MHz - 3GHz). Analizę zaburzeń przewodzonych przeprowadzono w zakresie 9kHz-30MHz. Dodatkowo w zakresie 30-300MHz wykonano pomiary mocy zaburzeń wypromieniowanej przez przewody instalacji. Analizy prowadzono przy różnych wartościach prądów roboczych i wszystkie dotychczasowe analizy wykazywały przekroczenia dopuszczalnych poziomów i wskazywały na potrzebę zaprojektowania profesjonalnego układu filtrującego [10-13].

W technicznych rozwiązaniach reaktorów plazmowych wykorzystywanych przemysłowo przez dołączoną do nich instalację gazową przesyłane są gazy poddawane obróbce plazmo-chemicznej. Z samej zasady zastosowania – mają to być mieszaniny niebezpieczne i trujące, które dzięki plazmie mają być neutralizowane. Praca z użyciem takich niebezpiecznych gazów wymaga niestandardowych rozwiązań technicznych.

Do instytutowego reaktora doprowadzane są gazy techniczne, przechowywane w butlach stalowych, wyposażonych w manometry i zawory redukcyjne. Instalacja gazowa składa się z zestawu regulatorów przepływu Bronkhorst o symbolu F-202AV-AAD-44-V oraz kasety z ich elektronicznymi układami sterowania E-7400-10-01-01-AAA (rys. 2). Instalacja gazowa pozwala na regulację przepływu gazów w zakresie od 0 do 15 m³/h. Większym ograniczeniem okazuje się jednak przepustowość dyszy, która maksymalnie osiąga przepływ 9 m³/h. Konstrukcja komory wyładowczej oraz odcinka instalacji gazowej są tak skonstruowane aby gaz dostawał się do przestrzeni międzyelektrodowej i dopiero tam następowało jego rozprężanie i jednocześnie utylizowanie w plazmie.



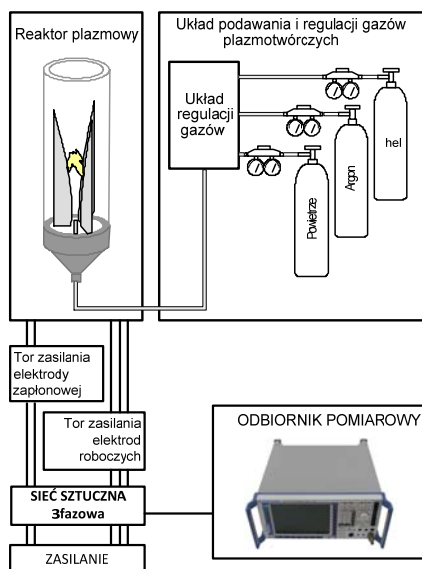
Rys.2. Zestaw regulatorów przepływu Bronkhorst w instalacji reaktora plazmowego

Do pomiarów realizowanych w ramach niniejszej pracy wykorzystywane były techniczne mieszaniny gazów – powietrze, argon i hel. Przy różnych mieszaninach gazów identyfikowano poziom zaburzeń w torze zasilania celem określenia warunków pracy instalacji i doboru układów przeciwzakłóceńowych.

W rozwiązaniach laboratoryjnych instalacja nie jest mocno rozbudowywana, niemniej ze względu na niebezpieczeństwo wymaga szczególnego traktowania. Prace ze sprężonymi lub skroplonymi gazami wymagają zachowania szczególnej ostrożności. Względy bezpieczeństwa nakazują przetrzymywanie butli z gazami poza obrębem stanowiska pracy oraz doprowadzenia gazu do miejsca pracy za pomocą specjalnych magistral rurkowych wykonanych z odpowiednich tworzyw (miedź, stal nierdzewna, tworzywa sztuczne), szczelnie połączonych.

Stalowa dysza jest umieszczona centralnie w komorze wyladowczej. Jest tak ukształtowana, aby gaz dostawał się bezpośrednio do przestrzeni międzyelektrodowej i dopiero tam następowało jego rozprężanie.

Ze względu na tylko badawczy charakter pracy reaktora, czynnikami roboczymi w czasie jego działania są azot, argon, tlen i mieszanina powietrza. Wszystkie czynniki są sprężone w butlach, a poprzez układ podawania i regulacji gazów były odpowiednio kierowane w przestrzeń wyladowczą. Wszelkie opary będące wynikiem spalania były usuwane poprzez układ wyciągowy. Materiałem wyjściowym we wszystkich analizach dotyczących określania kompatybilności elektromagnetycznej instalacji reaktora była mieszanina sprężonego powietrza.



Rys.3. Schemat blokowy układów zasilania i pomiarowego trójfazowego reaktora plazmowego ze ślizgającym się wyladowaniem łukowym

Ocena jakości urządzenia z punktu widzenia zaleceń kompatybilności elektromagnetycznej wymaga przeprowadzenia odpowiedniej procedury oceny zgodności. Zdaniem autora, w analizie kompatybilności reaktora wykorzystać można przepisy odnoszące się do instalacji stacjonarnych [2]. Dlatego pomiary instalacji reaktora plazmowego przeprowadzono w miejscu jego stałego zainstalowania, tj. w Laboratorium Techniki Plazmowych, zlokalizowanym w budynku Centrum Doskonałości ASPPECT na terenie Politechniki Lubelskiej.

Graniczne poziomy zaburzeń, jakie dane urządzenia mogą emitować do środowiska w jakim pracują oraz na ile dane urządzenia powinny być odporne na zaburzenia emitowane przez inne urządzenia, określają normy. Dla badanego reaktora odniesiono poziomy emisyjności przewodzonej urządzeń w zakresie 150kHz – 30MHz z normy PN-EN 61000-6-4:2008 Klasa A - Środowisko przemysłowe [3].

Identyfikacja zaburzeń w torze zasilania

W zakresie częstotliwości do 30 MHz przewody są podstawowym torem propagacji zaburzeń do lokalnego środowiska. Reaktor plazmowy jest zasilany z sieci trójfazowej, a do swej normalnej pracy wykorzystuje dwa tory zasilania, tor zasilania elektrod roboczych i tor zasilania elektrody wyladowczej [5-7, 14,15], a zaprezentowano na rysunku 3.

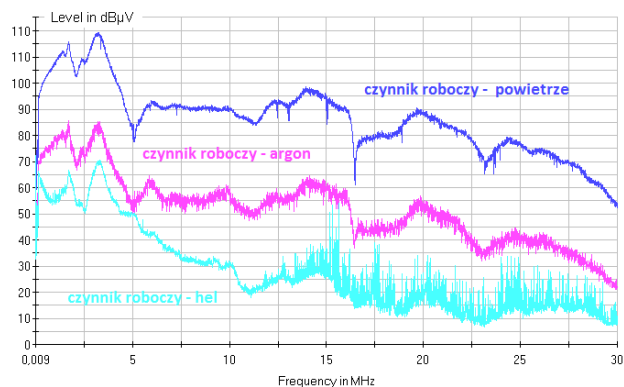
Do pomiaru zaburzeń w obwodach zasilania stosowane są przede wszystkim sieci sztuczne. Ich zadaniem jest stabilizacja warunków pomiarów napięć i prądów zaburzeń

w obwodach zewnętrznych dołączanych do badanego obiektu oraz umożliwienie połączenia miernika zakłóceń.

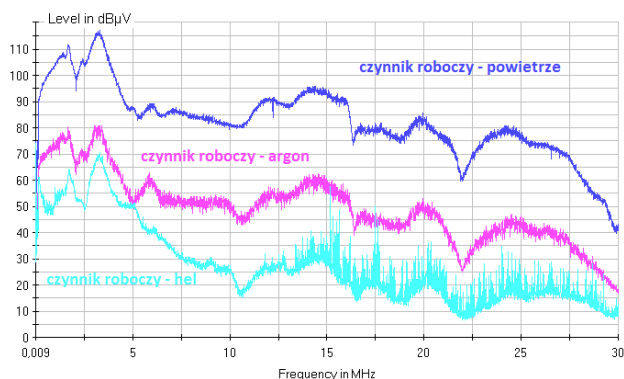
Pomiar zaburzeń przewodzonych sprowadza się do pomiaru napięcia występującego na wejściu miernika – a pobieranego z urządzenia pomocniczego dopasowującego wielkość elektryczną zaburzenia do miernika [10,13]. Jako miernik zakłóceń wykorzystano odbiornik pomiarowy ESCII 3 firmy Rohde & Schwarz a urządzeniem pomocniczym była trójfazowa sieć sztuczna SMZ 6/50, 4x25A.

Procedura pomiaru jest klasyczna. Sieć sztuczna jest włączona szeregowo w torze zasilania elektrod roboczych, pomiędzy zasilanie a transformatory reaktora. Do wyprowadzenia sieci podłączono miernik zakłóceń. Przechodząc kolejne punkty pomiarowe w sieci sztucznej badane były zaburzenia w fazach L1, L2, L3 i N. Pomiar wykonywano detektorem wartości maksymalnej (P) i detektorem wartości średniej (AV). Na rysunkach 4 i 5 zaprezentowano wybrane wartości pomiarowe zmierzone. Ze względu na specyficzny charakter pracy urządzenia trudno w wielu przeprowadzonych cyklach pomiarów wykazać ich powtarzalność.

Podstawowym ograniczeniem związanym z badaniami był czas trwania testu. Czas testu wynikał z dwóch przyczyn. Pierwszą z nich było nagrzewanie się elektrod. Taka sytuacja degradowała stabilność warunków pracy reaktora. Dlatego testy wykonywano w powtarzalnych, kilkuminutowych cyklach. Zwiększenie odporności na nagrzewanie uzyskano poprzez wymiany elektrod na nowe.



Rys.4. Poziomy zaburzeń mierzony w fazie L1, nadmuch gazu roboczego 3m³/h, detektor AV, pomiar dla powietrza, argonu i helu



Rys.5. Poziomy zaburzeń mierzony w przewodzie N, nadmuch gazu roboczego 3m³/h, detektor AV, pomiar dla powietrza, argonu i helu

Drugim ograniczeniem była skończona ilość gazu roboczego. Zgromadzony w butlach czynnik roboczy (powietrze, argon, hel) przy optymalnym ustawieniu prędkości przepływu przez komorę wyladowczą wystarczał na niecałą godzinę pracy reaktora. Procedury ponownego zakupu czynnika wydłużały okres badań.

Od strony „elektrycznej” dla procesu plazmotwórczego skład chemiczny mieszaniny gazowej ma pewne znaczenie. Minimalna wartość napięcia, które spowoduje zapłon oraz napięcie które podtrzymuje wyładowanie łukowe między elektrodami roboczymi reaktora plazmowego, są różne dla różnych gazów roboczych [4-7,14,15].

Praca reaktora w różnych gazach jest różna, nawet wizualnie inaczej pali się łuk plazmowy. Zmierzone zaburzenia (rys. 4, 5) wykazują tu odmienne poziomy. Łuk plazmy w powietrzu ma łagodniejszy charakter, wygląd plazmy jest bardziej rozmyty (zawartość tlenu w mieszaninie gazowej powietrza poprawia warunki palenia się łuku). Wyładowania łukowe w argonie mają bardziej ostry charakter, czasami wręcz iskrowy. Poziom zaburzeń jest niższy niż mieszaniny powietrza, co potwierdzają poziomy zaprezentowane na rysunku 4 i 5, ale badania własne w ramach projektu NN510349936 wykazały, że poziomy zaburzeń w argonie wyraźnie dominują w zakresie wysokich częstotliwości (mierzonych już jako emisja promieniowana). Natomiast wyładowania w helu mają charakter bardzo stłumiony, utrudnione jest utrzymanie stabilnego wyładowania, dochodzi do częstego zjawiska zrywania się wyładowania. Występujące wówczas dynamiczne stany przejściowe są przyczyną występowania w widmie szeregu dodatkowych impulsów.

Przeprowadzone badania mają charakter rozpoznawczy, są jednym z wielu etapów badań dotyczących identyfikacji pracy reaktora plazmowego i określenia jego oddziaływania na lokalne środowisko. Badania pozwalają dobrać właściwy układ filtrujący pozwalający na kompatybilną pracę instalacji w systemie energetycznym. Jak wykazano największe zagrożenie zakłóceniami wykazuje praca reaktora w układzie z czynnikiem gazowym – mieszanina powietrza.

Podsumowanie

Uzyskane wyniki badań zaburzeń są jednoznaczne. Jeżeli chodzi o charakter zmierzonych zaburzeń, to wyraźnie ma on cechy szerokopasmowe. Nieliniowe i asymetryczne obciążenie, jakim charakteryzuje się reaktor plazmowy przekłada się wykładniczo na losowy charakter rozkładu emisji. Dopuszczalne poziomy napięcia zaburzeń detektorem AV dla urządzeń pracujących w środowisku przemysłowym (klasa A) w zakresie częstotliwości od 0,15 do 0,5 MHz wynoszą 66 dB μ V/m, a w zakresie od 0,5 do 30 MHz wynoszą 60 dB μ V/m [3]. Zatem prezentowane wyniki pomiarowe szczególnie dla mieszaniny powietrza wykazują znaczące przekroczenia dopuszczalnych poziomów.

Zmiany prędkości przepływu czynnika roboczego również zmieniają charakter i poziom zaburzeń. Dlatego uzyskanie kompatybilności elektromagnetycznej jest technologicznie dosyć trudne. Zastosowanie klasycznych rozwiązań – filtrów przeciwzakłóceń okazało się nieskuteczne. Testom podano również filtry łączone w układ kaskadowy. W takiej konfiguracji uzyskano najlepsze rezultaty. Obecnie trwają prace dotyczące opracowania dedykowanego układu filtrującego instalację reaktora plazmowego.

LITERATURA

- [1] Czernichowski A., Ferenc Z., Wandrasz J. W.: Zastosowanie plazmy niskotemperaturowej w systemie oczyszczania spalin, Paliwa z Odpadów '99, praca zbiorowa pod red. Wandrasza J. W. i Nadziakiewicza J. KTIUZO, Politechnika Śląska 1999, p. 191-195
- [2] Dyrektywa unijna EMC, 2004/108/EC oraz przewodnik do dyrektywy
- [3] EN61000-6-4:2008, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) -- Część6-4: Normy ogólne -- Norma emisji w środowiskach przemysłowych
- [4] Ferenc Z., Jarzyna K., Łyko G.: Konwersja par chloroformu w reaktorze plazmowym, Paliwa z odpadów VI, praca zbiorowa pod red. Wandrasza J. W., Piekonia K., Wydawnictwo Helion 2007, p. 161-166
- [5] Janowski T., H. D. Stryczewska, A. Wac-Włodarczyk, Technologie nadprzewodnikowe i plazmowe w energetyce, Lubelskie Towarzystwo Naukowe, ISBN: 978-83-61391-76-9, Lublin 2009.
- [6] Komarzyniec G, H. D. Stryczewska, Transformer supply system of plasma reactors, 4th International Conference Electromagnetic Devices and Processes in Environment Protection ELMECO-4, Nałęczów, Poland, September 21 – 24, 2003.
- [7] Komarzyniec G., Stryczewska H. D., Diatczyk J., 5-limb Transformer as a Power System of Arc Plasma Reactors, International Conference on Electromagnetic Devices and Processes in Environment Protection ELMECO 5, Nałęczów – Poland, 2005
- [8] Kuniko Urashima, Jen-Shih Chang: Removal of Volatile Organic Compounds from Air stream an Industrial Flu Gases by Non-Tehermal Plasma Technology, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol 7 No 5, October 2000
- [9] Makles Z., Świątkowski A., Grybowska S.: Niebezpieczne dioksyny, wyd. Arkady, Warszawa 2001
- [10] Mazurek P. A., Rozkład emisji pola elektrycznego i magnetycznego wokół reaktora plazmowego typu GLIDARC, *Przegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R. 86 NR 12/2010, str. 95-98.
- [11] Mazurek P. A., Wprowadzenie do badań zaburzeń przewodzonych w instalacji reaktora plazmowego, *Elektro.info*, ISSN 1642-8722, 12/2010, str. 32-34.
- [12] Mazurek P.A., Zaburzenia promieniowane reaktora plazmowego typu GlidArc, *Przegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R. 87 NR 12b/2011, str. 121-124.
- [13] 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
- [14] Stryczewska H. D., Arc Discharge Reactors Powered by Special Transformers, International Conference on Electromagnetic Devices and Processes in Environment Protection ELMECO 5, Nałęczów – Poland, 2005
- [15] Stryczewska H. D.: Technologie plazmowe w energetyce i inżynierii środowiska. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2009
- [16] Praca zbiorowa pod redakcją Broniarek M. Chemia plazmy niskotemperaturowej, WN-T, Warszawa 1983,
- [17] Praca zbiorowa pod red. J. W. Wandrasz: Termiczne unieszkodliwianie odpadów, Procesy termiczne w gospodarce odpadami w regionach przyrodniczo-cennych, Poznań 2004.

Autor: dr inż. Paweł A. Mazurek, Politechnika Lubelska, Instytut Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii, ul. Nadbystrzycka 38a, 20-618 Lublin, E-mail: p.mazurek@pollub.pl.