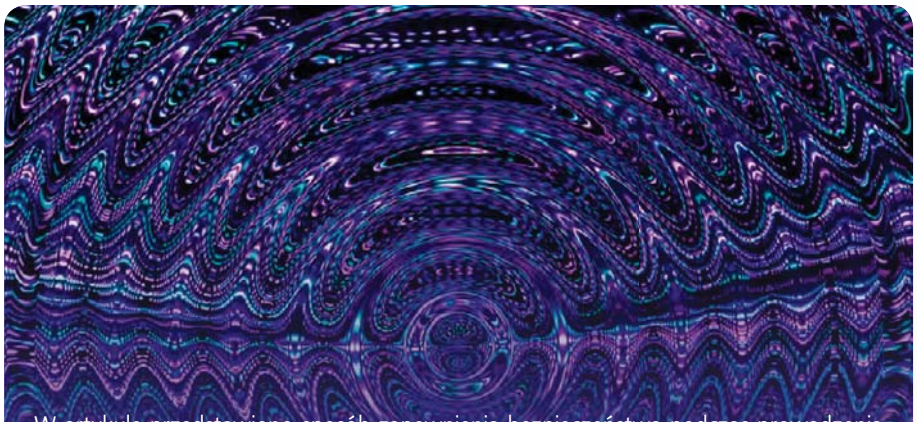
dr inż. MICHAŁ ARASZKIEWICZ
prof. dr hab. inż. WŁODZIMIERZ KORDYLEWSKI
mgr inż. MATEUSZ WNUKOWSKI
Politechnika Wrocławska
Kontakt: michal.araszkiewicz@pwr.edu.pl
DOI: 10.5604/01377043.1222018

Bezpieczeństwo pracy z mikrofalami przy urządzeniach do wytwarzania plazmy



Fot. Landio/Bigstockphotoo

W artykule przedstawiono sposób zapewnienia bezpieczeństwa podczas prowadzenia procesu plazmowego z wykorzystaniem mikrofal. Omówiono podstawowe elementy aparatury mikrofalowej wspólne dla wszystkich tego rodzaju urządzeń. Przedstawiono również najważniejsze zagrożenia, jakie można spotkać w przypadku stosowania mikrofal w aparaturze przemysłowej. Z uwagi na specyfikę promieniowania mikrofalowego, zasady bezpieczeństwa są w tym przypadku szczególnie istotne. Analiza potencjalnego ryzyka, metody wyznaczania poszczególnych stref bezpieczeństwa, jak i postępowanie w celu uzyskania certyfikacji stanowiska ze źródłem pola elektromagnetycznego o wysokiej częstotliwości zostały szczegółowo opisane. Dodatkowo przytoczono podstawowe akty prawne dotyczące tej tematyki.

Słowa kluczowe: mikrofale, generacja plazmy, promieniowanie mikrofalowe, promieniowanie elektromagnetyczne, strefy bezpieczeństwa

Safety rules during work with microwave generated plasma

The methods of providing the safety of microwave generated plasma conduction processes are presented in the article. Basic elements of microwave apparatuses common for the all microwave devices are discussed. The most important potential dangers that can be spotted around microwave industrial apparatuses are listed. The safety rules are extremely important due to the specific microwave behavior. Analysis of potential risk, the method of determination of each safety perimeters and ways of obtaining the safety certifications of the microwave site were precisely described. Additionally the legal framework, both European and Polish, on the topic is present in the article.

Keywords: microwaves, plasma generation, microwave radiation, electromagnetic radiation, safety zones

Wstęp

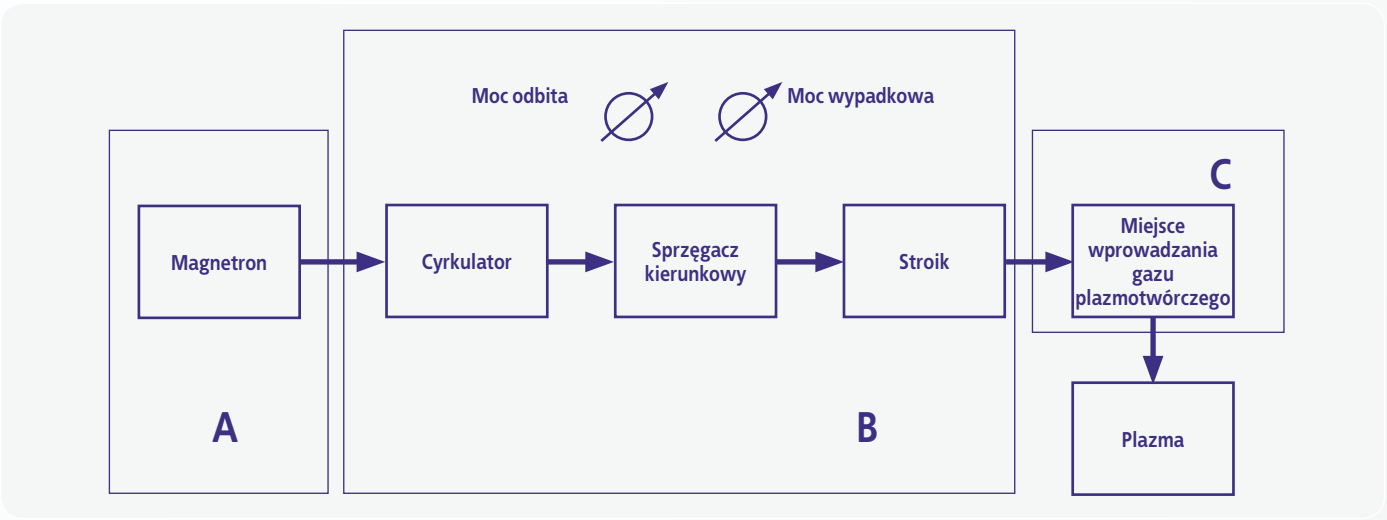
Mikrofalowe promieniowanie elektromagnetyczne jest alternatywną metodą dostarczania energii w wielu procesach przemysłowych. Z uwagi na swoje unikalne właściwości może ono skutecznie konkurować z tradycyjnymi metodami dostarczania energii, niezbędnymi do przeprowadzenia procesu, takimi jak na przykład przepływ ciepła. Interesującym zastosowaniem mikrofal jest wytwarzanie plazmy mikrofalowej (*microwave induced plasma,* MIP). Jest ona intensywnie badana ze względu na swoje właściwości i wielorakie, obiecujące zastosowania, które znajduje w wielu gałęziach przemysłu.

Posługiwanie się wspomnianymi mikrofalami stwarza jednak zagrożenia dla zdrowia człowieka na stanowiskach pracy (m.in. w laboratoriach), na których jest wykorzystywana. Zagrożenia te z reguły nie są powszechnie znane wśród pracowników, a tymczasem instalacje z aktywnym źródłem promieniowania elektromagnetycznego wymagają zastosowania specjalnych zasad bezpieczeństwa oraz uczulenia na nie personelu pracującego bezpośrednio przy tej aparaturze.

Głównym celem artykułu jest przedstawienie podstawowych zasad bezpieczeństwa i czynności, które muszą zostać podjęte przy bezpiecznym uruchomieniu aparatury mikrofalowej.

Technika mikrofalowa

Mikrofale są rodzajem fal elektromagnetycznych o długości od 1 mm do 30 cm i odpowiadającej jej częstotliwości od 300 MHz do 300 GHz, chociaż w praktyce wykorzystuje się częstotliwości od ok. 1 GHz. Z uwagi na ograniczenia w wykorzystywaniu częstotli-



Rys. 1. Schemat instalacji mikrofalowej do wytwarzania plazmy: A – magnetron, B – falowód, C – aplikator
Fig. 1. Microwave installation for plasma generation's schematics: A – magnetron, B – waveguide, C - applicator

wości wynikające z przepisów UKE, częstotliwości dopuszczalne do zastosowań przemysłowych są następujące: 915 MHz, 2450 MHz, 5800 MHz, 24125 MHz [1], a najpopularniejszą z nich jest 2450 MHz. Popularność ta wynika m.in. z dużej dostępności (i stosunkowo niskiej ceny) źródeł mikrofal o tej częstotliwości oraz, z powszechnego ich wykorzystania w technice grzewczej.

Fale elektromagnetyczne z racji swoich właściwości mają tę szczególną zaletę, że nie transportują energii cieplnej, jako takiej. Efekt ten powoduje, że mogą się poszczycić wyjątkową efektywnością energetyczną (opisywaną jako „brak strat cieplnych") i dodatkowo umożliwia przeprowadzanie danego procesu w warunkach, które można opisać jako „sterylne". Oznacza to, że środowisko reakcji może być odizolowane od otoczenia (ważne jest jednak, żeby materiał, z którego jest zrobiona osłona wokół obszaru, w którym zachodzi proces, był transparentny dla promieniowania mikrofalowego; może to zatem być np.: szkło kwarcowe, teflon, tworzywo sztuczne), a energia zostanie dostarczona praktycznie bez strat.

Urządzenia mikrofalowe, niezależnie od zastosowania, mają bardzo podobną budowę. Składają się z trzech głównych części: źródła promieniowania mikrofalowego (magnetronu), falowodu (przewodu łączącego magnetron z trzecim elementem aparatury, czyli komorą mikrofalową) oraz tzw. aplikatora, w którym umieszczany jest materiał poddawany działaniu promieniowania mikrofalowego. Na rys. 1. przedstawiono szczegółową budowę układu mikrofalowego służącego do wytwarzania plazmy. Zostały na nim zaznaczone poszczególne elementy wchodzące w skład takiego urządzenia. Elementy układu, a więc: cyrkulator, stroik, i sprzęgacz służą z jednej strony do ukierunkowania mikrofal w celu wytworzenia wystarczającej gęstości pola do wygenerowania plazmy, a z drugiej do zabezpieczenia magnetronu przed przegrzaniem w przypadku zbyt małego obciążenia układu.

Magnetron, z uwagi na bardzo mocne nagrzewanie się anody wymaga intensywnego chłodzenia. W przypadku urządzeń o małej mocy i krótkim czasie działania wystarczy do tego użycie strumienia powietrza (sposób popularny w kuchenkach mikrofalowych). W przypadku urządzeń w większej skali wymagana jest bardziej wydajna metoda chłodzenia – instalacja wodna.

Identyczny schemat aparatury jest wykorzystywany w przypadku plazmotronu mikrofalowego, czyli urządzenia stosowanego do wytwarzania plazmy. Mikrofale generowane w magnetronie są przenoszone w postaci fali stojącej falowodem do aplikatora, gdzie skoncentrowana wiązka mikrofal, działając na gaz przepływający w rurce kwarcowej, powoduje jego jonizację, a w konsekwencji zapalenie się płomienia plazmowego. Można wyróżnić dwa rodzaje plazmotronów mikrofalowych: w typie I rurka kwarcowa z przepływającym gazem jest umieszczona w komorze aplikatora, a rozkład pola elektromagnetycznego w falowodzie jest regulowany stroikiem oraz przesuwanym tłumikiem na końcu komory aplikatora. Typ II plazmotronów wykorzystuje geometrię zwężającego się falowodu, w którym bezpośrednio umieszcza się rurkę z przepływającym gazem. W tym przypadku odpowiednie zaprojektowanie rozmiarów i geometrii falowodu pozwala na skoncentrowanie wiązki mikrofalowej w miejscu przepływu gazu.

Zastosowanie mikrofal w procesie generacji plazmy ma wiele zalet, aczkolwiek powoduje zagrożenie dla bezpieczeństwa personelu pracującego przy samym plazmotronie, z uwagi na obecność promieniowania elektromagnetycznego. Najbardziej ryzykownym momentem w procesie mikrofalowej generacji plazmy jest jej inicjacja – czyli wprowadzanie elektrody (wolframowej) do strumienia gazu przepływającego bezpośrednio w polu mikrofalowym. W celu zapewnienia bezpieczeństwa personelu ten akurat moment pracy instalacji powinien być zautomatyzowany. Gdy plazma jest już wytwarzana, nie ma jakiejkolwiek potrzeby regulacji plazmotronu, więc ryzyko ekspozycji na promieniowanie jest już znacznie mniejsze.

Przemysłowe zastosowania plazmy mikrofalowej

Podstawową zaletą plazmy termicznej jest możliwość uzyskiwania bardzo wysokich temperatur w urządzeniach o stosunkowo małych rozmiarach. Plazma jest wykorzystywana w szerokim zakresie technologii, do których można zaliczyć m.in.: technologię pokrywania powierzchni, syntezę pyłów o rozmiarach cząstek w nanoskali czy metalurgię – czyste topienie albo operacje wytopu, niszczenie i rozkład substancji szkodliwych (odpadów). Plazma termiczna jest używana w procesie obróbki materiałów z uwagi na wysoką gęstość energii oraz zdolność do ogrzewania, stapiania i odparowywania obrabianych materiałów. Plazma znajduje również zastosowanie w procesach syntezy chemicznej, gdyż może katalizować powstawanie reaktywnych związków w wysokich temperaturach. Jest to niezbędne w przygotowywaniu barwników, syntetycznych krzemianów o wysokim stopniu czystości i syntezie proszków nieorganicznych i ceramicznych o wysokim stopniu czystości [2].

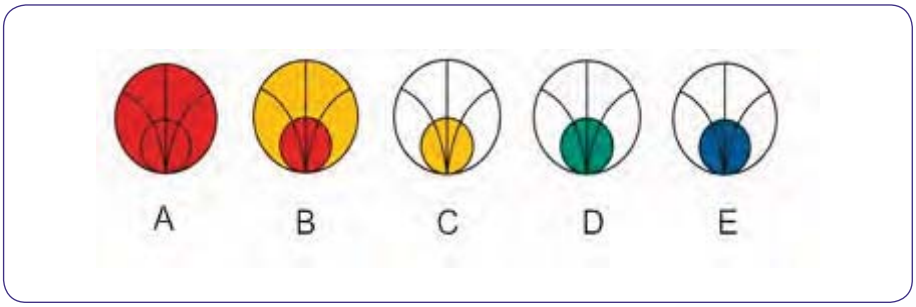
Do podstawowych zastosowań plazmy w procesach przetwarzania odpadów można zaliczyć: likwidację termiczną odpadów zamiast ich składowania na wysypiskach (z uwagi na ograniczoną ich pojemność) i odzysk energii uzyskanej w tym procesie [3,4,5]. Stosowanie wysokich temperatur i plazmy umożliwia zniszczenie mikroorganizmów oraz chemiczną degradację leków [6]. Plazma termiczna jest również wykorzystywana w przerobie odpadów przemysłu metalurgicznego [7].

Zagrożenia stwarzane podczas stosowania aparatury mikrofalowej

Wszystkie urządzenia mikrofalowe muszą spełniać określone normy emisji mikrofal w swoim otoczeniu. Ryzyko niekontrolowanego rozprzestrzeniania się mikrofal w przypadku profesjonalnie zaprojektowanej i sprawdzonej aparatury praktycznie nie istnieje, niemniej należy sobie zdawać z niego sprawę. Należy podkreślić, że zarówno sam magnetron, jak i falowód z „definicji" nie emitują promieniowania elektromagnetycznego na zewnątrz urządzenia. W przypadku magnetronu byłoby to fizycznie niemożliwe, a sam falowód straciłby swoje właściwości transmisyjne w przypadku istnienia nieszczelności. Dopiero połączenie falowodu z komorą aplikacyjną (miejscem emisji mikrofal) i sama komora są miejscami, w których najczęściej może dochodzić do niekontrolowanego rozprzestrzeniania się mikrofal. Jeżeli już jednak do tego dojdzie, to jego wielkość jest uzależniona od obciążenia urządzenia mikrofalowego, tzn. od rodzaju i ilości materiału poddanego ekspozycji na mikrofale. Dlatego też samodzielny pomiar natężenia pola elektrycznego powinien być dokonywany przez pracowników w trakcie działania urządzenia mikrofalowego z pełnym ładunkiem komory aplikacyjnej – w przypadku plazmotronu najlepiej podczas zasilania gazem docelowym – w celu sprawdzenia poprawności działania urządzenia.

Naturalne jest, że przede wszystkim należy rozpatrywać zapewnienie bezpieczeństwa personelowi przebywającemu w bezpośrednim otoczeniu aparatury. Trzeba jednak mieć na uwadze również to, że pole elektromagnetyczne może oddziaływać negatywnie na urządzenia elektryczne znajdujące się w pobliżu aparatury mikrofalowej.

Głównym parametrem charakteryzującym poziom bezpieczeństwa w obrębie aparatury mikrofalowej jest w tym miejscu natężenie pola elektrycznego. Niekorzystne oddziaływanie mikrofal można podzielić na termiczne, polegające na nagrzewaniu się tkanek pod wpływem pochłoniętej przez nie energii pola elektromagnetycznego oraz nietermiczne, objawiające się pobudzeniem mięśni, nerwów bądź narządów zmysłów [8,9]. Ten drugi rodzaj jest dużo poważniejszy i może mieć szkodliwy wpływ na zdrowie zarówno psychiczne, jak i fizyczne pracownika. Z kolei pobudzenie układu nerwowego może objawiać się zawrotami głowy oraz wrażeniami wzrokowymi. Nieznane są obecnie skutki zdrowotne długofalowego przebywania w obrębie działania pola elektromagnetycznego wysokiej częstotliwości.



Rys. 2. Znaki do oznaczenia stref w otoczeniu urządzeń emitujących promieniowanie elektromagnetyczne [12]: A – strefa niebezpieczna, B – strefa zagrożenia, C – strefa pośrednia, D – strefa bezpieczna, E – oznaczenie miejsca, gdzie znajduje się źródło promieniowania elektromagnetycznego

Fig. 2. Signs marking the zones placed in the proximity of devices emitting electromagnetic radiation [12]: A – unsafe zone, B – danger zone, C – intermediate zone, D – safe zone, E – marking of an electromagnetic radiation source

Niezbędne i zalecane środki chroniące przed zagrożeniami podczas pracy z mikrofalami

Zasady zapewnienia bezpieczeństwa personelu narażonego na oddziaływanie promieniowania elektromagnetycznego są regulowane w Polsce rozporządzeniem Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej RP z dnia 29 czerwca 2016 r. [10]. Z kolei Parlament Europejski zawarł swoje ustalenie dotyczące zasad bezpieczeństwa w dyrektywie Parlamentu UE i Rady z dnia 26 czerwca 2013 r. [11].

Ocena narażenia

Przy dokonywaniu oceny narażenia na stanowisku pracy wyposażonym w aparaturę emitującą fale elektromagnetyczne z zakresu mikrofal o wysokiej częstotliwości należy oszacować możliwe bezpośrednie skutki biofizyczne, ze szczególnym uwzględnieniem pracowników szczególnie chronionych, używających urządzeń medycznych pasywnych, jak i aktywnych, takich jak np. pompy insulinowe czy wszczepione rozruszniki serca. Należy też zwrócić uwagę na pracownice w ciąży. Na ocenę narażenia ma również wpływ wyposażenie miejsca pracy w sprzęt monitorujący aktualne natężenie pola elektrycznego. Istotne są również informacje dotyczące budowy urządzenia uzyskane od jego producenta – większość urządzeń mikrofalowych jest indywidualnie dostrajana do zastosowania w danym procesie.

Pomiar rozkładu pola elektromagnetycznego

W celu zapewnienia bezpieczeństwa podczas pracy z mikrofalami należy przede wszystkim dokonać określenia stopnia narażenia na działanie fal elektromagnetycznych. Trzeba zanalizować potencjalny poziom promieniowania elektromagnetycznego w bezpośrednim otoczeniu aparatury, na podstawie podręczników, norm i wytycznych zapewnionych przez producenta sprzętu. W przypadku, gdy nie można jednoznacznie stwierdzić poziomu promieniowania elektromagnetycznego na podstawie wymienionych źródeł, niezbędne jest przeprowadzenie pełnego pomiaru rozkładu pola elektromagnetycznego wokół aparatury, w której prowadzony jest proces mikrofalowy.

Co ważne, podczas przeprowadzania takiego monitoringu w aparaturze powinien zachodzić identyczny proces, jak ten, który będzie przeprowadzany docelowo. Pomiar powinien być dokonany przez specjalistyczne laboratorium, posiadające akredytację Polskiego Centrum Akredytacji. Wyniki powinny zostać uzupełnione o informacje dotyczące niepewności przeprowadzanych pomiarów, które również mogą być przeprowadzane tylko za pomocą urządzeń podlegających okresowemu wzorcowaniu.

Specyfika interakcji mikrofal z materiałami dielektrycznymi (substratami) wymusza niejako konieczność dokonania oceny narażenia, tudzież powtórzenia pomiarów przy jakiejkolwiek ingerencji w urządzenie mikrofalowe lub zmianę surowca poddawanego działaniu pola elektromagnetycznego, co może mieć wpływ na rozkład pola elektrycznego wokół urządzenia. W wyniku przeprowadzenia pomiarów

powinno się uzyskać sprawozdanie, które musi zawierać niezbędne informacje, charakteryzujące warunki pracy urządzenia oraz wyniki pomiarów natężenia pola elektrycznego w bezpośrednim otoczeniu aparatury oraz w jej pobliżu. Ma to na celu zdefiniowanie stref ochronnych, otaczających źródło promieniowania elektromagnetycznego.

Strefy ochronne w otoczeniu źródła promieniowania elektromagnetycznego

Rozpatrując przestrzeń, w której znajdują się źródła promieniowania mikrofalowego, można wyróżnić strefę bezpieczną oraz trzy strefy ochronne: niebezpieczną, zagrożenia i pośrednią (rys. 2.). Strefa niebezpieczna to taka, w której obecność pracowników jest zabroniona w ramach codziennej praktyki. W strefie zagrożenia przebywanie jest dopuszczone pod warunkiem stosowania środków ochronnych określonych pod kątem rozpoznanych zagrożeń elektromagnetycznych wynikających z bezpośrednich lub pośrednich skutków oddziaływania pola EM. W strefie pośredniej przebywanie jest dopuszczane pod warunkiem stosowania środków ochronnych ze względu na rozpoznane zagrożenia elektromagnetyczne wynikające z pośrednich skutków oddziaływania pola EM [10].

Graniczne wartości natężenia pola elektrycznego rozgraniczające poszczególne strefy są podane w rozporządzeniu Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej [13]. Ustawodawca definiuje poszczególne poziomy natężenia pola elektrycznego: IPNog-E – poziom natężenia pola elektrycznego określający górny limit pola elektromagnetycznego strefy zagrożenia; IPNod-E – natężenie pola elektrycznego określający dolny limit pola elektrycznego strefy zagrożenia; IPNp-E – poziom natężenia pola elektrycznego określający dolny limit pola elektromagnetycznego w strefie pośredniej. W strefie niebezpiecznej natężenie pola elektrycznego E ma wartość: $E \geq$ IPNog-E, w strefie zagrożenia natężenie pola elektrycznego $E \geq$ IPNod-E oraz $E <$ IPNog-E.

Strefa pośrednia jest określana dla przestrzeni, w której natężenie pola elektrycznego mieści się w granicach: $E \geq$ IPNp-E oraz $E <$ IPNod-E. Dla zakresu częstotliwości $100 \times 10^6 \leq f < 300 \times 10^9$ [Hz] wartości brzegowe natężenia pola elektrycznego są następujące: IPNog-E: $2{,}4 \times 10^2$ [V/m], IPNod-E:20 [V/m], IPNp-E:7 [V/m]. Przykładowo, uzyskane wyniki pomiarów natężenia pola elektrycznego wykonanych na stanowisku doczyszczania gazu za pomocą plazmy mikrofalowej w skali laboratoryjnej (3 generatory mikrofalowej po 2 kW pracujące z częstotliwością 2,45 GHz, natężenie przepływu gazu 2 – 3 m^3/h) są następujące: wnęka otworu probierczego (tam, gdzie pobiera się próbki gazu do analizy) – 40 [V/m], w bezpośrednim otoczeniu aparatury (do 50 cm od obrysu obudowy aparatury): 6,7 [V/m], obszar w otoczeniu aparatury (w odległości większej niż 1,5 m od obrysu aparatu): < 3 [V/m]. W związku z tym wyznaczono strefę bezpieczną w odległości większej niż 65 cm od obrysu aparatury, strefę zagrożenia w bezpośrednim otoczeniu otworów technologicznych w kolumnie aparatury. Nie stwierdzono istnienia strefy niebezpiecznej.

Należy zauważyć, że powyższe wartości pomiarów odnoszą się do aparatury w skali laboratoryjnej o stosunkowo małej mocy (maksymalnie 6 kW nominalnej mocy mikrofalowej). Aparatura w skali przemysłowej może posiadać nawet do 12 kW mocy mikrofalowej przy planowanym natężeniu przepływu gazu 17 m^3/h. W takim przypadku zachowanie zasad bezpieczeństwa jest szczególnie istotne.

Podsumowanie

Z zaprezentowanych w artykule informacji i rozważań wynika, że organizacja bezpieczeństwa pracy w bezpośrednim otoczeniu urządzenia mikrofalowego, które wykorzystywane jest do wytworzenia plazmy, nie jest skomplikowana. Zapewnienie pracownikom bezpieczeństwa i ochrony zdrowia wymaga jednak spełnienia określonych warunków, takich jak: dokonanie oceny narażenia pracowników, wykonanie pomiaru rozkładu pola elektromagnetycznego przez atestowane laboratorium, wyznaczenie stref ochronnych na podstawie uzyskanych odczytów oraz uczulenie personelu na potencjalne zagrożenia. Przy spełnieniu warunków można bezpiecznie prowadzić proces mikrofalowego wytwarzania plazmy i korzystać w pełni z jego zalet.

Dysponując wynikami oceny narażenia, należy opracować plan stosowania środków ochronnych zabezpieczających pracowników przed działaniem pola elektromagnetycznego. W tym celu trzeba szczegółowo opracować zasady pracy, tak, aby personel jak najkrócej przebywał w strefie zagrożenia. Kolejnym krokiem jest wybór sprzętu mikrofalowego o mocy dostatecznej do przeprowadzenia procesu, a z drugiej strony niepowodującego nadmiernej emisji promieniowania elektromagnetycznego. Można zastosować środki techniczne ograniczające ekspozycję personelu na promieniowanie mikrofalowe (np. ekrany).

Należy oznakować zasięgi stref ochronnych pola elektromagnetycznego. Jeżeli chodzi o środki ochrony indywidualnej, warto wyposażyć personel w przenośne urządzenia do pomiaru natężenia pola elektrycznego, najlepiej z funkcją alarmu dźwiękowego lub wibracyjnego (co ma szczególne znaczenie w przypadku miejsc o wysokim poziomie hałasu), ustawionego na konkretną wartość natężenia pola elektrycznego. Dodatkowo można umocować czujnik z czytelnym wyświetlaczem w pobliżu miejsca emisji mikrofal. Kwestia przeszkolenia personelu w zakresie przebywania w otoczeniu źródła pola elektromagnetycznego wysokiej częstotliwości jest oczywista.

BIBLIOGRAFIA

[1] Dz.U. z dnia 3 lutego 2014 r., poz. 161 w sprawie Krajowej Tablicy Przeznaczeń Częstotliwości

[2] Boulos M.I. *Thermal plasma processing.* "IEEE Trans. Plasma Sci." 1991,19:1078-1089

[3] Yang Y.B., Goodfellow J., Ward D., Gan S., Swithenbank J., Nasserzadeh V. *Cutting wastes from municipal solidwaste incinerator plants.* "Process Saf. Environ. Prot." 2003,81:143-155

[4] Chan Y.M., Agamuthu P., Mahalingam R. *Solidification and stabilization of asbestoswaste from an automobile brake manufacturing facility using cement.* "J. Hazard. Mater." 2000,77:209-226

[5] Gomeza E., Amutha Rania D., Cheesemanb C.R., Deeganc D., Wisec M., Boccaccinia A.R. *Thermal plasma technology for the treatment of wastes: A critical review.* "J. of Hazard. Mat." 2009,161:614-626

[6] Chu J.P., Hwang I.J., Tzeng C.C. Kuo Y.Y., Yu Y.J. *Characterization of vitrified slag from mixed medical waste surrogates treated by a thermal plasma system.* "J. Hazard. Mater." 1998, 58:179-194

[7] G.Z. Ye, Burstrom E., Kuhn M., Piret J. *Reduction of steel-making slags for recovery of valuable metals and oxide materials.* "Scand. J. Metall." 2003,32:7-14

[8] Hinrikus H., Bachmann M., Tomson R., Lass J. *Non-thermal effect of microwave radiation on human brain.* "The Environmentalist" 2005,25:187-194

[9] Johansson O. *Disturbance of immune system by electromagnetic fields – A potentially underlying cause for cellular damage and tissue repair reduction which could lead to disease and impairment* 2009, 16:157-177

[10] Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 czerwca 2016 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na pole elektromagnetyczne, Dz.U. poz. 950, 2016

[11] Dyrektywa Parlamentu Unii Europejskiej i Rady z dnia 26 czerwca 2013 r., 29.06.2013, L. 179

[12] PN-T-06260:1974 Źródła promieniowania elektromagnetycznego. Znaki ostrzegawcze

[13] Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 27 czerwca 2016 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Dz.U. poz. 952, 2016

Przedstawione w artykule informacje zostały uzyskane podczas wykonywania projektu realizowanego w ramach programu GEKON – Generator Koncepcji Ekologicznych, współfinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, wg umowy nr GEKON1/04/213768/32/2015, pt. „Kogeneracyjny układ zgazowania osadów ściekowych z plazmowym doczyszczaniem gazu".