

Analiza emisji elektromagnetycznej w środowisku przemysłowym na przykładzie Zakładów Azotowych Puławy S.A.

Streszczenie. Artykuł dotyczy analizy natężeń pól elektrycznych i magnetycznych w środowisku przemysłowym. Badania przeprowadzono w Zakładach Azotowych Puławy S.A. Analizie poddano wyniki pomiarów natężeń pól o częstotliwości 50Hz oraz emisji z zakresu radiowego 30MHz-3GHz. Otrzymane wyniki porównano z dopuszczalnymi limitami.

Abstract. The article describes the analysis of the intensities of electric and magnetic fields in an industrial environment. Measurements done in Zakłady Azotowe Puławy S.A. The analysis concerns the results of measurements of intensities fields of 50 Hz, and the emission of radio range 30MHz-3GHz. The results were compared with acceptable limits. (*Analysis of electromagnetic emissions in an industrial environment of Zakłady Azotowe Puławy S.A.*).

Słowa kluczowe: ekspozycja na pola elektryczne i magnetyczne, kompatybilność elektromagnetyczna

Keywords: exposure to electric and magnetic fields, electromagnetic compatibility.

doi:10.12915/pe.2014.12.60

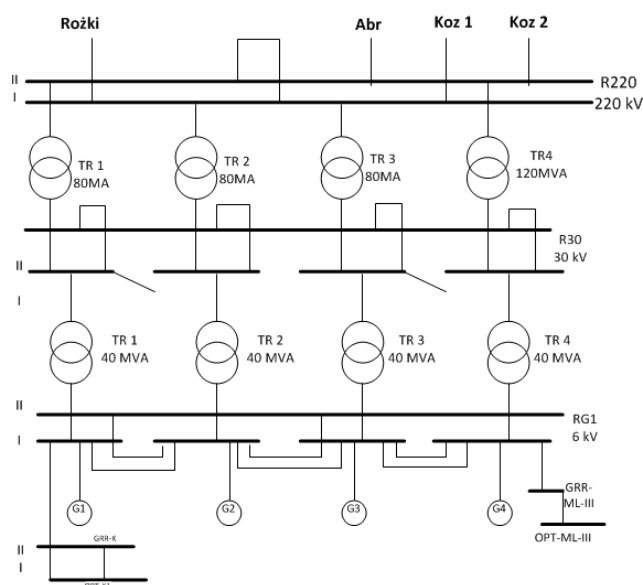
Wstęp

Niejonizujące promieniowanie elektromagnetyczne w postaci pól elektromagnetycznych zawsze występowało w środowisku naturalnym. Pochodzi ono od naturalnych źródeł, jakimi jest Słońce, Kosmos, Ziemia czy zjawiska atmosferyczne. Sztuczne pola elektromagnetyczne zaczęły pojawiać się w środowisku właściwie od kilkuset lat i są związane z techniczną działalnością człowieka. Rozwój cywilizacji, w tym technologii elektrotechnicznych potęguje wzrost emitowanych poziomów. Zwiększenie liczby nadajników radiowo telewizyjnych, stacji bazowych telefonii komórkowej, wi-fi oraz ciągły rozwój sieci energetycznych przesyłowych i rozdzielczych utrzymuje tendencje wzrostowe emisji, a to wywołuje duże zainteresowanie szczególnie w zakresie oddziaływania pól EM na człowieka [1]. Dodatkowo, istniejące pola mogą oddziaływać na inne urządzenia i instalacje elektryczne wywołując nieharmoniczne współistnienie (brak kompatybilności elektromagnetycznej). W odniesieniu do środowiska mieszkalnego, biurowego lub lekko uprzemysłowionego zagrożenia są niewielkie, ale w przypadku środowiska przemysłowego – potencjalne zagrożenia mogą być duże, zatem wymagają każdorazowo indywidualnej analizy.

Miejsce badań

Grupa Azoty Zakłady Azotowe "Puławy" S.A. to polska grupa chemiczna, specjalizująca się w wielkotonażowej produkcji nawozów azotowych, jeden z największych na świecie producentów melaminy i największe polskie przedsiębiorstwo w branży wielkiej syntezy chemicznej. Ofertę produktową można podzielić na trzy segmenty Agro (rolnictwo) i Chemia (produkty chemiczne, monomery) oraz Energetyka. Instalacje produkcyjne obejmują wytwarzanie m.in.: RSM (roztworu saletrzano-mocznikowego), Pulanu (saletry amonowej), Pulrea (mocznika), Pulsaru (siarczanu amonu), RSMS (roztworu saletrzano-mocznikowego z siarką), Pulaski (roztworu nawozu azotowego z siarką), melaminy, kaprolaktamu ciekłego i stałego, sprężonego wodoru, kwasu azotowego, ciekłego amoniaku, suchego lodu, ciekłego dwutlenku węgla, wody amoniakalnej, roztworów mocznika, nadtlenu wodoru, kwasu siarkowego, saletry potasowej. W segmencie Energetyka - podstawowym źródłem energii cieplnej dla PUŁAW jest Elektrociepłownia Zakładów Azotowych PUŁAWY S.A. Moc zainstalowana obecnie wynosi 96,8 MW. Moc cieplna zainstalowana 558 MW. W znaczącym stopniu pokrywa ona zapotrzebowanie spółki na energię elektryczną i jest jednocześnie głównym dostawcą ciepła do miasta Puławy.

Zakłady zasilane są w energię elektryczną bezpośrednio z sieci przesyłowej spółki PSE S.A (Abramowice, Kozienice, Rożki). Roczna ilość energii kupowana z sieci zewnętrznej to 1 TWh. Połączenie z siecią PSE S.A. jest na linii 220 kV. Około 18% tej energii sprzedawana jest do odbiorców końcowych, zlokalizowanych na terenie należącym do spółki (schemat układu pracy rozdzielni prezentuje rysunek pierwszy). W procesie skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i cieplnej Elektrociepłownia PUŁAWY produkuje: energię elektryczną, pary technologiczne, wodę grzewczą na potrzeby Spółki i miasta oraz wodę zdeminalizowaną i zdekarbonizowaną [8].



Rys. 1. Schemat operacyjny układu pracy rozdzielni

W pierwszych dniach lipca wykonane zostały na terenie Zakładów Azotowych Puławy S.A. pomiary emisji elektromagnetycznej. Z racji przetwarzania przez Zakłady dużych ilości energii elektrycznej i jej ciągłego zapotrzebowania, szczególnego znaczenia nabierają obiekty, które bezpośrednio uczestniczą w procesach przesyłu, rozdziału i sterowania energią elektryczną na terenie zakładów produkcyjnych. Jakość wykonania i prowadzenia systemów energetycznych, systemów sterowania, monitoringu czy oświetlenia mają duże znaczenie dla ciągłości produkcji i bezpieczeństwa ludzi,

pracowników, mienia oraz środowiska. Miejsca, w których zostały wykonane pomiary są pod nadzorem Zakładu Elektrycznego i są to Rozdzielnia OPT- ML-III, Dyspozytornia, RGI 6kV, R30, Rozdzielnia 220kV, Sterownia Główna Kaprolaktamu, Rozdzielnia OPT-K1-Oddziałowa Podstacja Transformatorowa-Kaprolaktam 1. W pomiarach uczestniczyli pracownicy Zakładu Elektrycznego oraz pracownik Politechniki Lubelskiej. Z racji wykonywania pomiarów w szczególnych i niebezpiecznych miejscach pracy, podczas pomiarów zachowywano szczególne środki bezpieczeństwa oparte na odpowiednim dozorcze i z zachowaniem środków ochrony osobistej.

Przepisy prawne

We współczesnych zakładach produkcyjnych, nasyconych urządzeniami elektrycznymi, energoelektroniką i instalacjami telekomunikacyjnymi dochodzi do sytuacji, w której należy coraz poważniej rozważać zagadnienia dotyczące ochrony przed promieniowaniem elektromagnetycznym oddziaływującym na środowisko [2,3], w którym pracują ludzie [5,6,7], oraz na sprzęt [1] będący w wyposażeniu budynków czy hal produkcyjnych.

Obowiązujące w kraju przepisy środowiskowe uwzględniają stałe przebywanie ludzi w zasięgu pola, natomiast zasady oceny i ograniczania ekspozycji pracowników na pola elektromagnetyczne są zestawione w normach i rozporządzeniach dotyczących ochrony pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym [5,6,7].

Pola występujące w środowisku mogą powodować niepożądane skutki, co wymaga prowadzenia ich kontroli oraz ograniczenia poziomu ekspozycji, zarówno ogółu ludności, jak i pracowników oraz infrastruktury elektrotechnicznej. Podstawowe parametry, które charakteryzują ten czynnik środowiska pracy to natężenie pól elektrycznych, natężenie pól magnetycznych oraz częstotliwość pól sinusoidalnie zmiennych w czasie.

Dopuszczalne ekspozycje zawodowa i środowiskowa są ustalone w aktualnie obowiązujących rozporządzeniach [6,7], a w poniższych tabelach zestawiono ich limity.

Tabela 1. Dopuszczalne poziomy natężeń wg Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku [6]

Zakres częstotliwości pola elektromagnes.	Składowa elektryczna	Składowa magnetyczna	Gęstość mocy
0 Hz	10 kV/m	2500 A/m	-
0 Hz do 0,5 Hz	-	2500 A/m	-
od 0,5 Hz do 50 Hz	10 kV/m	60 A/m	-
od 50 Hz do 1 kHz	-	3/f A/m	-
od 0,001 MHz do 3 MHz	20 V/m	3 A/m	-
od 3 MHz do 300 MHz	7 V/m	-	-
od 300 MHz do 300 GHz	7 V/m	-	0,1 W/m ²

Tabela 2. Dopuszczalne wartości natężenia pola elektrycznego $E_k(f)$ [7]

Zakres częstotliwości	$E_0(f)$ [V/m]	$E_1(f)$ [V/m]	$E_2(f)$ [V/m]
(0,5÷300) Hz	5000	10000	20000
(0,3÷1) kHz	100/(3f)	100/f	1000/f
1 kHz÷3 MHz	33,3	100	1000

Tabela 3. Dopuszczalne wartości natężenia pola magnetycznego $H_k(f)$ i indukcji magnetycznej $B_k(f)$ [7]

Zakres częstotliwości	(0,5÷50) Hz	(0,05÷1) kHz	(1÷800) kHz
$H_0(f)$ [A/m]	66,6	10/(3f)	3,3
$B_0(f)$ [μT]	83,3	12,5/(3f)	4,2
$H_1(f)$ [A/m]	200	10/f	10
$B_1(f)$ [μT]	250	12,5/f	12,5
$H_2(f)$ [A/m]	2000	100/f	100
$B_2(f)$ [μT]	2500	125/f	125

E_0, H_0, B_0 - wartości rozgraniczające strefę pośrednią od strefy bezpiecznej - granica ekspozycji zawodowej.

E_1, H_1, B_1 - wartości rozgraniczające strefę zagrożenia od strefy pośredniej (ekspozycja do 8 godzin na zmianę roboczą).

E_2, H_2, B_2 - wartości na granicy strefy niebezpiecznej (rozgraniczające strefę niebezpieczną od strefy zagrożenia - zakaz ekspozycji).

Pomiary emisji wysokich częstotliwości

Badania emisji elektromagnetycznej zostały wykonane w dwóch miejscach, w rozdzielni OPT-ML-III oraz na placu przy warsztacie elektrycznym Sekcji Eksploatacji Urządzeń Elektroenergetycznych Zakładu Kaprolaktamu PEE-2K. Zdjęcia z miejsc pomiarów prezentują rys. 2 i 3.



Rys.2. Zdjęcia z pomiarów w rozdzielni OPT-ML-III

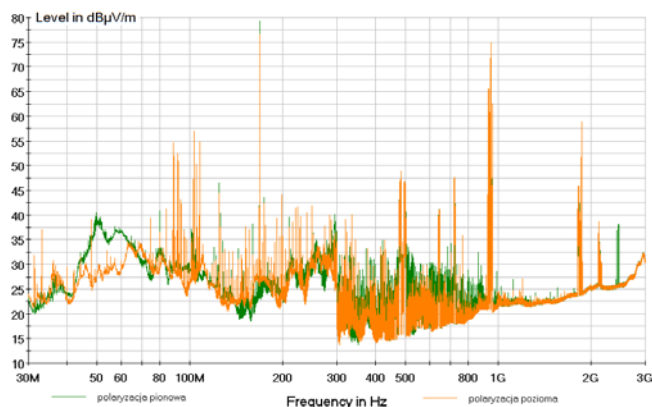


Rys.3. Zdjęcia z pomiarów na placu przy warsztacie elektrycznym

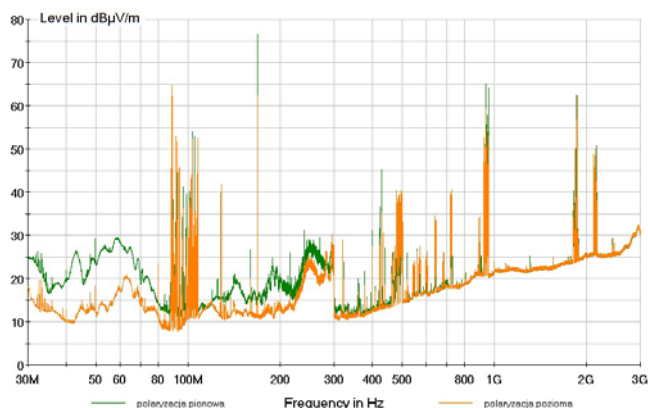
OPT-ML-III to rozdzielnia dwusekcyjna, o zasilaniu realizowanym przy pomocy obudowanych miedzianych mostów szynowych o prądzie znamionowym 4500A łączących transformatory suche o mocy 2500kVA z polami zasilającymi. Rozdzielnia jest obszarem gdzie na bardzo małej przestrzeni jest zlokalizowane wiele urządzeń

i instalacji elektroenergetycznych, które oprócz niebezpiecznego oddziaływania na personel obsługujący rozdzielnię, mogą również niekompatybilnie oddziaływać wzajemnie na siebie. Rozdzielnia stanowi więc punkt wyjściowy w analizie poziomów emisji elektromagnetycznej. Kolejne pomiary przeprowadzono w terenie otwartym.

Do pomiarów natężenia poziomów pola elektromagnetycznego z zakresu 30MHz-3GHz wykorzystano odbiornik pomiarowy ESCI3 Rohde&Schwarz wraz z zestawem dedykowanych do tego pasma anten. Realizację pomiarów oparto na metodologii stosowanej przy analizie kompatybilności elektromagnetycznej [1,4]. Rysunki 4 i 5 przedstawiają otrzymane poziomy emisji zmierzone detektorem wartości średniej, w dwóch polaryzacjach anten – poziomej i pionowej.



Rys. 4. Poziomy emisji elektromagnetyczne zmierzone w rozdzielni OPT-ML-III



Rys. 5. Poziomy emisji elektromagnetyczne zmierzone w terenie otwartym (przy warsztacie elektrycznym)

W obydwu punktach pomiarowych zaobserwowano większe poziomy emisji elektromagnetycznej niż w środowisku zurbanizowanym czy uzdrowiskowym [3]. Większe poziomy emisji są również zauważalne w rozdzielni niż w terenie otartym, bowiem duża ilość urządzeń wykorzystujących energoelektroniczne przekształtniki powoduje podwyższenie emisji w paśmie megahercowym.

W odniesieniu do ekspozycji zawodowej i środowiskowej nie zaobserwowano przekroczeń, a w zakresie oceny kompatybilnościowej, pomimo znacznego poziomu zaburzeń nie obserwuje się niepoprawnej pracy urządzeń rozdzielczych i pomiarowych.

Pomiary w zakresie częstotliwości 50Hz

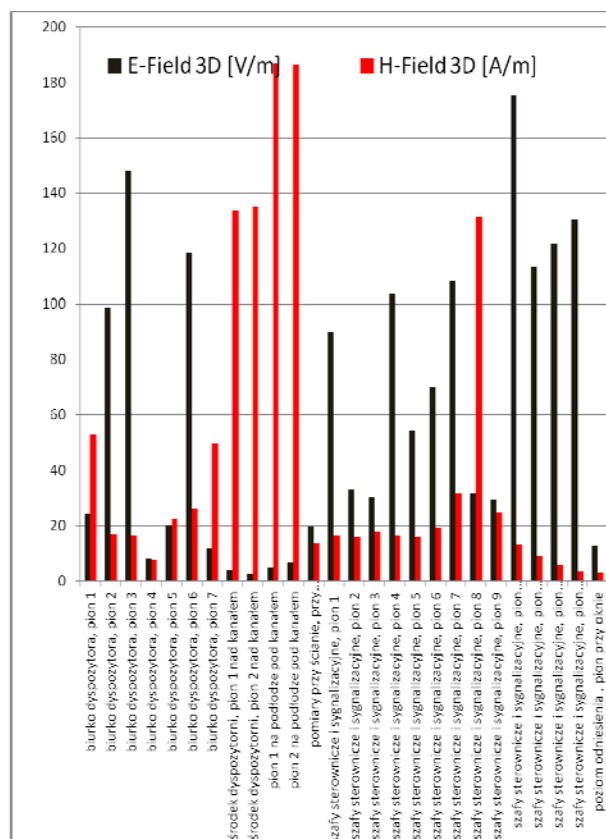
Pomiary emisji o częstotliwości energetycznej zostały wykonane w następujących miejscach:

- Rozdzielnia 220 kV,
- Rozdzielnia 30 kV,

- Rozdzielnia RGI-6kV,
- Nastawnia dyspozycji mocy
- Rozdzielnia OPT-ML-III
- Rozdzielnia OPT-K1
- Sterownia Główna Zakładu Kaprolaktamu

Oprócz omówionej już wcześniej rozdzielni OPT-ML-III badania przeprowadzono również w rozdzielni OPT-K1. To rozdzielnia zasilona z Głównej Rozdzielni Rejonowej 6kV GRR-K. Wyposażona w cztery transformatory olejowe 6/04 kV o mocy 1000kVA każdy. Z rozdzielni OPT zasilone są odbiorniki energii i rozdzielnie produkcyjne niskiego napięcia. Ważnymi obiektami są też dyspozytoria i sterownie. To swoiste interfejsy między procesem zarządzania energią, a ludzkim operatorem. Do niezawodnego i przyjaznego dla użytkownika sterowania procesami niezbędne są właściwie zaprojektowane pomieszczenia sterowania – bezpieczne zarówno dla personelu jak i czulej aparatury sterująco-monitorującej.

Badania przeprowadzono przy użyciu miernika Maschek ESM100, a prezentowane wyniki przedstawiają wypadkowe wartości uwzględniające wszystkie trzy składowe przestrzenne (x,y,z).



Rys. 6. Poziomy natężenie pól elektrycznych i magnetycznych zmierzone w pionach pomiarowych w nastawni dyspozycji mocy

Analiza wyników wykazuje, że ekspozycja nie wykazuje niebezpiecznych stref dla pracowników, nie zaobserwowano również braku kompatybilności urządzeń elektronicznych i instalacji elektrycznych. Zgodnie z wytycznymi zawartymi w aktach prawnych ekspozycja pracowników oceniana jest na podstawie pomiarów wartości skutecznej natężenia pola elektrycznego lub magnetycznego. Jako wynik punktu pomiarowego przyjmuje się maksymalną chwilową wartość skuteczną, zmierzoną w linii odpowiadającej osi ciała pracownika.

Tabela 4. Wybrane wyniki badań przeprowadzonych na terenie rozdzielni, nastawni i sterowni na terenie Zakładów Azotowych

E [V/m]	H [A/m]	Uwagi (lokalizacja pomiaru)
Pomiary w rozdzielni R-220 oraz R-30		
31,91	0,30	Nastawnia
212,41	0,31	
5,82	1,76	
13,96	7,33	
11,03	1,03	Rozdzielnia R-30, Sekcja II
19,91	0,33	
6,04	2,80	Rozdzielnia R-30, Sekcja III
4,04	3,25	
1,87	0,77	
757,77	0,73	Pomiary na terenie
1737,88	3,09	Rozdzielni R-220
2575,95	6,29	Pomiar pod L1, Sekcja II
1874,81	6,58	Pomiar pod L2, Sekcja II
5414,57	5,96	Pomiar pod L3, Sekcja II
249,99	1,41	Pomiary przy transf. 80MVA
255,26	1,41	
Rozdzielnia RG-1 – 6kV		
29,46	56,02	Sekcja I, pomiary w ciągach pieszych i przy celkach
15,42	94,99	
10,17	35,02	
53,22	21,59	Pomiar pod mostem okapturzonym
62,68	19,21	Sekcja I, pomiary w ciągach pieszych i przy celkach
13,68	25,96	
40,76	35,67	
161,36	138,31	Pomiar pod mostem szynowym
128,87	149,54	
16,56	22,98	Sekcja IV, pomiary w ciągach pieszych i przy celkach
3,80	31,46	
49,61	320,60	most szynowy
7,85	71,25	
Nastawnia dyspozycji mocy		
98,76	16,84	Pomiary przy biurkach
148,24	16,70	
118,57	26,21	
11,99	49,86	
4,08	133,55	Pomiar przy podłodze nad mostem szynowym
5,03	186,75	
7,00	186,36	
20,08	13,71	Pomiary przy celkach sterowniczych
90,02	16,46	
33,05	16,07	
30,51	17,90	
175,44	13,27	
113,39	9,09	
12,79	2,90	
OPT- ML-III		
11,66	10,43	Pomiary w pierwszej sekcji w celkach
215,01	18,90	
754,76	133,91	
5,88	2,15	Pomiary w drugiej sekcji
1231,20	28,14	
136,11	125,80	
64,45	179,24	
5,37	2,66	
OPT-K1		
59,04	69,32	pomiary w ciągach pieszych oraz przy celkach
97,05	34,46	
257,70	6,79	
204,80	181,46	
Sterownia Zakładu Kaprolaktamu		
1,76	0,10	Pomiary przy stanowiskach pracy oraz w ciągach komunikacyjnych
2,24	0,08	
47,64	0,12	
14,75	0,25	
7,50	0,25	

W przypadku zarejestrowania wokół źródła relatywnie dużych natężeń pól, zgodnie z wymienionymi przepisami

bezpieczeństwa i higieny pracy, wyróżnia się obszar tzw. stref ochronnych, w których mogą przebywać jedynie pracownicy zatrudnieni przy źródłach pól. Zaobserwowane pola magnetyczne o wartościach natężenia o poziomie ok. 180A/m mają charakter lokalny i w określaniu ekspozycji są uwzględniane jako oddziaływanie na kończyny.

Podsumowanie

Identyfikacja pól elektromagnetycznych i ich zagrożeń wymaga stosowania specjalnych narzędzi pomiarowych i jest potrzebna wszędzie tam gdzie potencjalnie mogą pojawić się niebezpieczeństwa niekompatybilnej pracy urządzeń elektrycznych czy ekspozycji ludzi [1,2,3,4].

Szczególną uwagę należy poświęcić obszarom przemysłowym, gdzie przetwarzane są duże ilości energii elektrycznej. Przeprowadzona analiza wyników wykazuje, że ekspozycja nie wykazuje niebezpiecznych stref dla pracowników, nie zaobserwowano również braku kompatybilności urządzeń elektronicznych i instalacji elektrycznych. Miejsca, w których zaobserwowano znaczne poziomy pól E i H o częstotliwości przemysłowej są zlokalizowane głównie we wnętrzach celek na poszczególnych rozdzielniach oraz bezpośrednio przy wyłącznikach mocy IZM. Badania potwierdziły różnicę w pomiarach przy mostach szynowych w rozdzielni RG-1, pomiary przy nowych okapturzonych mostach szynowych są na poziomie 20-25 A/m natomiast przy starych mostach szynowych na poziomie 130-180 A/m. Badania wykazały, że natężenia pola H w rozdzielniach z otwartymi celkami w porównaniu z nowymi zmodernizowanymi rozdzielniami, w których urządzenia są zabudowane w szafach są na kilkukrotnie niższym poziomie.

LITERATURA

- [1] Dyrektywa unijna 2004/108/EC
- [2] Karpowicz J., Bortkiewicz A., Gryz K., Kubacki R., Wiaderkiewicz R., Pola i promieniowanie elektromagnetyczne o częstotliwości z zakresu 0 Hz – 300 GHz, Dokumentacja nowelizacji harmonizującej dopuszczalny poziom ekspozycji pracowników z wymaganiami dyrektywy 2004/40/WE, Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy 2008/4, s. 7–45
- [3] Mazurek P. A., Wac-Włodarczyk A., Przytuła K., Wójtowicz P. A., Staszek J., Ścirka T., Masłowski G., Wybrane zagadnienia analizy pola elektromagnetycznego miasta Lublin i uzdrowiska Nałęczów, Inżynieria Ekologiczna ISSN 2081-139X, POLISH SOCIETY OF ECOLOGI, Nr 30/2012, str. 194-205
- [4] Mazurek P. A., Rozkład emisji pola elektrycznego i magnetycznego wokół reaktora plazmowego typu GLIDARC, Przegląd Elektrotechniczny, 12/2010, 95-99
- [5] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 12 listopada 2007r. w sprawie zakresu i sposobu prowadzenia okresowych badań poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku, Dz. U. Nr 221, poz. 1645
- [6] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30.X.2003r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów, Dz. U. Nr 192, poz. 1883
- [7] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Część E: Pola i promieniowanie elektromagnetyczne 0 Hz - 300 GHz. Dz.U, nr 217, poz. 1833
- [8] Zintegrowany Raport Roczny Grupy Kapitałowej Zakłady Azotowe PUŁAWY S.A. 2012, Koncepcja wydawnictwa, opracowanie treści: Martis CONSULTING Sp. z o.o., Drukarnia ELKO, Końskowola.

Autorzy: dr inż. Paweł A. Mazurek, Politechnika Lubelska, Instytut Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii, ul. Nadbystrzycka 38a, 20-618 Lublin, E-mail: p.mazurek@pollub.pl; Krzysztof Kisiel, Piotr Tomczyk, Maciej Wiak, Grupa Azoty Zakłady Azotowe Puławy S.A., Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 13, 24-110 Puławy