



Halina Aniołczyk
Magda Mariańska
Paweł Mamrot

OCENA EKSPOZYCJI ZAWODOWEJ NA POLA ELEKTROMAGNETYCZNE CZĘSTOTLIWOŚCI RADIOWYCH

ASSESSMENT OF OCCUPATIONAL EXPOSURE TO RADIO FREQUENCY
ELECTROMAGNETIC FIELDS

Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera / Nofer Institute of Occupational Medicine, Łódź, Poland
Zakład Ochrony Radiologicznej / Department of Radiation Protection

STRESZCZENIE

Wstęp: Dyrektywa 2013/35/UE nałożyła obowiązek implementacji przepisów UE do prawa krajowego. Celem pracy jest ocena aktualnego stanu zagrożeń wynikających ze stosowania urządzeń wytwarzających PEM RF w zakresie od 100 kHz do 300 GHz oraz wskazanie urządzeń i miejsc pracy o najwyższym ryzyku narażenia zdrowia pracowników. **Materiał i metody:** Materiał stanowiły dane pochodzące z badań i pomiarów PEM RF realizowanych w Pracowni Zagrożeń Elektromagnetycznych Instytutu Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera w Łodzi. Szczegółowej analizie poddano wyniki pomiarów natężenia pola elektrycznego (E) dla ponad 450 wybranych urządzeń, reprezentatywnych dla działów gospodarki, w których najczęściej są stosowane. Analizowano również zasięg występowania stref ochronnych i krotność przekroczenia najwyższego dopuszczalnego natężenia (NDN). Pomiary i badania PEM w środowisku pracy były zgodne z Polską Normą, a kryterium oceny ekspozycji stanowiły polskie przepisy o NDN. **Wyniki:** Najwyższe zmierzone wartości natężenia pola (E) na stanowiskach pracownika stwierdzono dla aparatów elektrochirurgicznych do 400 V/m, diatermii krótkofalowych (KF) do 220 V/m, zgrzewarek dielektrycznych do 240 V/m i wnętrza radiowych systemów antenowych UKF do 180 V/m. Największy zasięg stref ochronnych stwierdzono dla prototypowych urządzeń stosowanych w nauce, diatermii KF i zgrzewarek dielektrycznych. Najwyższą krotność przekroczenia NDN stwierdzono przy: zgrzewarkach dielektrycznych do 12, diatermiach KF do 11, diatermiach MF do 8. **Wnioski:** Potwierdzono wysokie wartości natężenia PEM RF w środowisku pracy dla takich grup zawodowych jak fizjoterapeuci, operatorzy zgrzewarek dielektrycznych i pracownicy technicznych grup maszynowych w obiektach radiokomunikacji (w tym stacji radiowych i telewizyjnych). Med. Pr. 2015;66(2):199–212

Słowa kluczowe: ekspozycja zawodowa, natężenie pola elektrycznego, źródła pól elektromagnetycznych, strefy ochronne, najwyższe dopuszczalne natężenie, pola elektromagnetyczne częstotliwości radiowych

ABSTRACT

Background: European Union Directive 2013/35/UE provides for the implementation of EU regulations into national legislation. Our aim is to assess actual health hazards from radiofrequency electromagnetic field (RF EMF) (range: 100 kHz – 300 GHz) and indicate workplaces with the highest risk to employee health. **Material and Methods:** Data from measurements of RF EMF performed by the Laboratory of Electromagnetic Hazards in Nofer Institute of Occupational Medicine (Łódź, Poland) were analyzed. The analysis covered the results of electric field intensity (E) for over 450 selected items. The ranges of protection zones and the extent to which maximum admissible intensity (MAI) values were also analyzed. The determinations and measurements of EMF in the work environment met the requirements of Polish Standard, while Polish regulations on the MAI values were used as the criterion for the assessment of the exposure. **Results:** The highest values of E field intensity at workplaces were measured for: electro-surgery, to 400 V/m, and short-wave diathermy units, to 220 V/m, dielectric welders to 240 V/m, within the FM radio antenna systems, to 180 V/m. The widest protection zones were noted for prototype research instruments, short-wave diathermy units, and dielectric welders. The most excessive (up to 12-fold MAI) values were recorded for dielectric welders, short-wave diathermy units (up to 11-fold) and microwave diathermy units (up to 8-fold). **Conclusions:** Our results have confirmed the high RF EMF values for physiotherapists, operators of dielectric welders, and mast maintenance workers in radio communication facilities (especially radio and TV broadcasting stations). Med Pr 2015;66(2):199–212

Key words: occupational exposure, EMF intensity, EMF source, protection zone, maximum admissible intensity, radiofrequency electromagnetic fields

Autorka do korespondencji / Corresponding author: Halina Aniołczyk, Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera, Zakład Ochrony Radiologicznej, ul. św. Teresy 8, 91-348 Łódź, e-mail: h_aniol@imp.lodz.pl
Nadesłano: 2 lutego 2015, zatwierdzono: 11 marca 2015

WSTĘP

W opracowaniach Międzynarodowej Agencji Badań nad Rakiem (International Agency for Research on Cancer – IARC) i monografiach Światowej Organizacji Zdrowia (World Health Organization – WHO) dotyczących ochrony człowieka przed polami i promieniowaniem elektromagnetycznym (PEM) z zakresu częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz wyraźnie zaznacza się podział na 2 podzakresy PEM: ekstremalnie niskich częstotliwości (extremely low frequency – ELF) i częstotliwości radiowych (radiofrequency – RF) [1,2]. Granice ww. przedziałów nie zostały jednak jednoznacznie określone w rekomendacjach ani normatywach regulujących warunki ekspozycji na PEM. Dla przykładu w przepisach kanadyjskich zakres ten obejmuje częstotliwości od 3 kHz do 300 GHz, podobnie jak w przepisach Organizacji Traktatu Północnoatlantyckiego (North Atlantic Treaty Organization – NATO) [3,4].

Obowiązujące przepisy polskiego prawa pracy [5], podobnie jak nowa Dyrektywa 2013/35/UE [6], regulują poziom ochrony zdrowia i bezpieczeństwa pracowników narażonych na PEM z zakresu częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz. Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera w Łodzi (IMP) tylko w sporadycznych przypadkach prowadził badania i pomiary dla celów oceny bezpieczeństwa pracy w zakresie częstotliwości poniżej 100 kHz, natomiast dysponuje własną bazą danych dla urządzeń wytwarzających PEM w zakresie częstotliwości powyżej 100 kHz.

Największe zastosowanie pól elektromagnetycznych częstotliwości radiowych (PEM RF) w praktyce obserwuje się w następujących sektorach gospodarki:

- radiodyfuzja – radiofonia i telewizja;
- radiokomunikacja (stała i ruchoma) – lądowa, lotnicza, morska i żegluga śródlądowej;
- teletransmisja – linie radiowe horyzontowe;
- sieci telefonii ruchomej, w tym komórkowej;
- systemy stacjonarnego radiowego dostępu abonenckiego (SRDA);
- systemy ochrony i bezpieczeństwa publicznego;
- bezprzewodowe sieci komputerowe (WLAN, WiMAX);
- radiolokacja – stacje radiolokacyjne, radionawigacyjne i meteorologiczne (promieniowanie elektromagnetyczne modulowane impulsowo);
- przemysł – głównie nagrzewnictwo indukcyjne (piece do hartowania) i pojemnościowe (dielektryczne zgrzewarki i suszarnie);
- medycyna – chirurgia (diatermie elektrochirurgiczne), fizykoterapia (diatermie krótkofalowe – KF,

mikrofalowe – MF), diagnostyka (spektrometry elektronowego rezonansu paramagnetycznego (elektron paramagnetic resonance – EPR), urządzenia do obrazowania metodą rezonansu magnetycznego (magnetic resonance imaging – MRI), w których oprócz stałego pola magnetycznego podczas badań występuje pole RF z zakresu 40–100 MHz)), lecznictwo (w onkologii akceleratory i zestawy do hipertermii);

- nauka – radioastronomia (badania kosmosu), meteorologia, laboratoria uczelni wyższych, instytutów badawczych, przemysłowych i inne (urządzenia i układy eksperymentalne, prototypowe konstrukcje nowych urządzeń, stanowiska do testowania i badań nad PEM – od wytwarzania poprzez propagację w różnych ośrodkach fizycznych aż do skutków oddziaływań, w tym biologicznych itp.).

W tabeli 1. zestawiono wyniki przeglądu wybranych urządzeń wytwarzających PEM RF z liczbą tych urządzeń w skali kraju oszacowaną na podstawie danych literaturowych i badań własnych [7–12]. Przy wszystkich wymienionych powyżej urządzeniach zatrudnieni są pracownicy, którzy podczas ich instalowania, testowania, obsługi, konserwowania, naprawiania i demontażu w różnym stopniu narażeni są na PEM. Zaprezentowane wyniki mają znaczenie zarówno przy rozpoznaniu potrzeb w zakresie dostosowania krajowego systemu kontroli ekspozycji na PEM po transpozycji dyrektywy do przepisów krajowych, jak i przy ocenie możliwości realizowania tej kontroli przez Państwową Inspekcję Pracy (PIP) czy Państwową Inspekcję Sanitarną (PIS).

W Polsce od prawie 45 lat funkcjonuje system kontroli ekspozycji na PEM w środowisku pracy, którego podstawę stanowią Kodeks pracy [13] i przepisy wykonawcze do niego – Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 6 czerwca 2014 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [5] oraz Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [14].

Po opublikowaniu Dyrektywy 2013/35/UE [6] ww. system czeka kolejna modyfikacja (poprzednią przeprowadzono w 2001 r.). Rezultatem funkcjonującego systemu było podniesienie poziomu rzeczywistej ochrony pracowników i znaczące obniżenie narażenia na PEM wybranych grup ekspozowanych na nie zawodowo, a nawet wyeliminowanie tego narażenia. W znacznym stopniu sprzyjał temu postęp techniczny (szczególnie rozwój elektroniki), dzięki któremu stare urządzenia zastąpiono nowoczesnymi, szczególnie

Tabela 1. Najczęściej stosowane urządzenia wytwarzające pola elektromagnetyczne częstotliwości radiowych (PEM RF) w środowisku pracy [7–11]
Table 1. The most commonly applied radiofrequency electromagnetic field (RF EMF) sources in the work environment [7–11]

Zakres częstotliwości Frequency range	Urządzenie Device	Szacowana liczba urządzeń Estimated number of devices	Zastosowanie Application
120–150 kHz, 13 MHz, 433 MHz, 865–868 MHz	systemy i urządzenia przeciwkradzieżowe / electronic anti-theft system (EAS)	setki tysięcy / hundreds of thousands	identyfikacja obiektów / identification of objects handel / trade przemysł, magazyny / industry, warehousing
125 kHz, 13,56 MHz, 868–956 MHz, 2 400 MHz (ISM), 5 800 MHz (ISM)	radiowe systemy identyfikacji obiektów / radio- frequency identification (RFID)	setki tysięcy / hundreds of thousands	identyfikacja obiektów / identification of objects handel / trade przemysł, magazyny / industry, warehousing
135,6 kHz, 440 kHz	piece do hartowania / harding furnace urządzenia do nagrzewania indukcyjnego / induction heating	brak danych / no data 595 [7]	przemysł metalurgiczny, elektryczny / metal-processing, electrical industry
136–174 MHz, 380–430 MHz, 403–515 MHz, 450–470 MHz, 806–870 MHz	urządzenia w systemie EDAC (Enhanced Digital Access Communication System) / devices in EDAC system	kilkaset instalacji / several hundred installations	systemy łączności dyspozytorskiej / dispatch communication systems
225 kHz	tetra (tranking – system cyfrowej łączności radio- telefonicznej) / terrestrial system trunked radio	1 [8]	radiokomunikacja / radio communication administracja publiczna / public administration służby mundurowe / military, police, fire services
330 kHz, 440 kHz, 1 760 kHz, 3 MHz	radiofonia AM (fale długie) / broadcasting AM (long-wave)	4 742 [7]	radiodifuzja / broadcasting
27,12 MHz (ISM)	aparaty elektrochirurgiczne / electrosurgery devices	2 160 [7] 996[7] > 10 [10]	ochrona zdrowia / medical applications
87,5–108 MHz	diatermia krótkofalowa (KF) / short-wave diathermy	998 [9]	fizykoterapia / physiotherapy elektrotermia / electroheat
470–862 MHz	zgrzewarki pojemnościowe / capacitive welders suszarki w.cz. / HF dryers	925 [9]	przemysł drzewny / timber industry przemysł samochodowy / automobile industry
900 MHz, 1 800 MHz	radio UKF FM / FM broadcasting	25 463 [11]	radiodifuzja / broadcasting
900 MHz, 1 800 MHz	telewizja (TV) kanały 21–69 / TV broadcasting channels 21–69	792 [11]	radiodifuzja / broadcasting
2 100 MHz	telefonii komórkowa GSM / global system for mobile (GSM) communications	19 920 [11]	łączność / communication
2 400 MHz (ISM)	szybki Internet LTE / high speed internet long term evolution LTE	kilka milionów / several million	łączność / communication transmisja danych / data transmission
	telefonii komórkowa UMCS / universal mobile telecommunications system (UMCS)		łączność / communication teletransmisja / transmission
	bluetooth		teletransmisja / transmission

Tabela 1. Najczęściej stosowane urządzenia wytwarzające pola elektromagnetyczne częstotliwości radiowych (RF PEM) w środowisku pracy [7–11] – cd.
Table 1. The most commonly applied radiofrequency electromagnetic field (RF EMF) sources in the work environment [7–11] – cont.

Zakres częstotliwości Frequency range	Urządzenie Device	Szacowana liczba urządzeń Estimated number of devices	Zastosowanie Application
2 400 MHz, 5 000 MHz (ISM)	Wi-Fi	kilkaset tysięcy / several hundred thousands	teletransmisja / transmission
2 400–2 500 MHz (ISM)	diatermie mikrofalowe / microwave diathermy units suszarki mikrofalowe / microwave dryers piece mikrofalowe / microwave furnaces kuchenki mikrofalowe / microwave oven	6 [8] brak danych / no data 2 [10] > 210 [8, 10]	ochrona zdrowia / medical applications przemysł / industry gastronomia / gastronomy
2,4–6,4 GHz, 10,5 GHz, 13–38 GHz, 42 GHz, 70–90 GHz	linie radiowe / radio relays	> 85 000 [8, 10]	teletransmisja / transmission

w.cz. – wysoka częstotliwość / HF – high frequency, AM – modulacja amplitudy / amplitude modulation, UKF FM – ultrakrótkie fale z modulacją częstotliwości / VHF FM – very high frequency, frequency modulation, ISM – przemysłowe, naukowe, medyczne / industrial, scientific, medical.

w radiodifuzji (cyfryzacja telewizji) czy teletransmisji oraz w mniejszym zakresie w ochronie zdrowia.

Duża część urządzeń pracuje obecnie bezobsługowo, jednak powstały nowe grupy zawodowe, które mogą podlegać ekspozycji na PEM – nierozpoznanej, nieuświadomionej czy nieuwzględnianej podczas kontroli Państwowej Inspekcji Pracy czy Państwowej Inspekcji Sanitarnej. Dotyczy to pracowników zatrudnionych przy instalacji i konserwacji anten sieci bezprzewodowych, używających radiotelefonów przenośnych i w pojazdach oraz obsługujących urządzenia wykorzystujące PEM, np. w medycynie estetycznej lub gastronomii (kuchenki mikrofalowe). Ponadto instalowane są również starsze urządzenia – w powstających małych przedsiębiorstwach albo w koncernach z obcym kapitałem, które przenoszą je z krajów wyżej uprzemysłowionych do zakładów tworzących w Polsce.

Celem niniejszej pracy jest przegląd i ocena aktualnego stanu zagrożeń powodowanych przez urządzenia wytwarzające silne PEM RF. Mimo postępu technicznego i technologicznego nadal problemem jest spełnienie wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa pracowników narażonych na zagrożenia wywołane ekspozycją na PEM. Wskazanie urządzeń i miejsc pracy o najwyższym ryzyku narażenia pracowników powinno zwrócić uwagę pracodawców na konieczność podjęcia działań obniżających to ryzyko, co jest jednym z wymagań nowej dyrektywy [6]. Jest to też istotne z uwagi na prowadzone prace związane z transpozycją przepisów UE do prawa krajowego.

W przeprowadzonej analizie pierwszym kryterium były wartości natężenia pola elektrycznego (E). Pominięto składową magnetyczną (H), która nie wnosi istotnych informacji do realizacji założonego celu. Jako drugie kryterium przyjęto krotność przekroczenia wartości NDN (najwyższe dopuszczalne natężenie). Wartość 1/3 NDN stanowi granicę między strefą ochronną pośrednią a strefą bezpieczną, natomiast 10 NDN wyznacza granicę między strefami ochronną zagrożenia a ochronną niebezpieczną [5]. Krotność przekroczenia wartości NDN jest kryterium w klasyfikacji narażenia pracowników na zagrożenia zdrowia spowodowane występowaniem PEM w środowisku pracy.

MATERIAŁ I METODY

Materiał stanowiły dane z badań i pomiarów PEM realizowanych w Pracowni Zagrożeń Elektromagnetycznych Instytutu Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera

w Łodzi w ramach usług badawczych oraz projektów i tematów naukowych w odniesieniu do oceny poziomów ekspozycji zawodowej na PEM RF występujących w środowisku pracy [10]. Badania polegały na analizie parametrów charakteryzujących silne źródła PEM, takich jak wielkości natężenia pola elektrycznego (E) w otoczeniu danego urządzenia i na stanowiskach pracownika, zasięg stref ochronnych oraz krotność przekroczenia NDN na stanowisku pracownika.

Zgodnie z Polską Normą PN-T-06580-1 [15] przyjęto, że stanowisko pracownika to przestrzeń w obrębie stanowiska pracy, w której znajduje się ciało pracownika, a położenie stanowiska pracownika określa pionowa oś symetrii tułowia tego pracownika. Do analizy wybrano urządzenia o najwyższych poziomach natężenia pola elektrycznego stwierdzonych w otoczeniu urządzenia i na stanowisku pracownika.

Uzyskane dane pogrupowano pod względem rodzaju urządzeń i działu gospodarki, w którym badane urządzenia mają największe zastosowanie, i poddano analizie statystycznej z uwzględnieniem mediany (Me).

W badaniach i pomiarach PEM stosowano metodę pomiarową i oceniającą, zgodną z Polską Normą PN-T-06580-3:2002 [16]. Wyniki pomiarów są obarczone błędem, którego wielkość zależy od wielu czynników, takich jak metodyka badań, rodzaj źródeł PEM i charakter ich pracy oraz niedoskonałość aparatury pomiarowej, a także czynnika ludzkiego. Niepewność pomiarów, uwzględniając wpływ ww. czynników, wynosi 20–60% [17]. Dla zastosowanej aparatury pomiarowej rozszerzona niepewność pomiarowa obliczona ze współczynnikiem k równym 2 wynosi 8–19%.

Kryterium oceny ekspozycji na PEM stanowiły polskie przepisy higieniczne, które regulują najwyższe dopuszczalne wartości natężenia (NDN) w odniesieniu do PEM, opierające się na koncepcji stref ochronnych – niebezpiecznej, zagrożenia i pośredniej [5]. Dopuszczalne wartości graniczne natężenia pola elektrycznego $E(f)$ przedstawiono w tabeli 2.

WYNIKI

Analiza ekspozycji pracowników na PEM RF i ich ocena

Szczegółowej analizie poddano:

- wyniki badań i pomiarów PEM RF dla ponad 450 wybranych urządzeń, które są najczęściej stosowane w następujących działach gospodarki: łączność (279 urządzeń), ochrona zdrowia (105 urządzeń), przemysł (60 urządzeń) i nauka (8 urządzeń);

- poziom natężenia pola w otoczeniu urządzeń lub na stanowiskach pracowników odpowiadający strefom ochronnym zagrożenia i niebezpiecznej.

Wyniki analiz dla wybranych urządzeń zestawiono graficznie na rycinach 1. i 2.

Wyniki badań i pomiarów PEM

emitowanych przez urządzenia stosowane

w radiodifuzji, radiokomunikacji i teletransmisji

W radiodifuzji analizą szczegółową objęto 195 nadajników z 50 stacji nadawczych, w tym 30 stacji radiowych z zakresu ultrakrótkich fal (UKF) modulowanych w funkcji częstotliwości (frequency modulated – FM), które wytwarzają PEM w zakresie częstotliwości 87,5–108 MHz, oraz 20 stacji telewizyjnych pracujących w 48 kanałach telewizyjnych w zakresie częstotliwości 470–862 MHz.

Najwyższe zmierzone wartości natężenia pola E w otoczeniu 32 nadajników radiowych UKF FM o mocy wyjściowej od 50 W do 10 kW, wynosiły 3,4–38 V/m (Me: 5,8 V/m) w bezpośrednim otoczeniu urządzeń i 0,4–9,6 V/m (Me: 3 V/m) w miejscach okresowego przebywania pracowników dozoru. Zasięg strefy zagrożenia wynosił do 0,15 m, a strefy pośredniej – 0,2–0,5 m. Nie stwierdzono przekroczenia wartości NDN na stanowiskach pracowników dozoru.

Najwyższe zmierzone wartości natężenia pola E w otoczeniu 8 radiowych anten nadawczych UKF FM zainstalowanych na masztach znajdujących się na dachach budynków wynosiły 2,5–83 V/m (Me: 5,8 V/m) w miejscach wykonywania prac konserwacyjnych, dostępnych z poziomu zadania budynku, nadbudówek czy podestów pod masztami (z wyjątkiem prac wykonywanych w bezpośrednim otoczeniu anten, na wysokości ich zainstalowania). Strefa niebezpieczna nie występowała, natomiast w 4 analizowanych przypadkach występowała strefa zagrożenia, a w 5 – strefa pośrednia. Krotność przekroczenia NDN wynosiła do 4,2.

Najwyższe zmierzone wartości natężenia pola E w otoczeniu 38 nadajników telewizyjnych wynosiły 1,9–29,8 V/m (Me: 11,3 V/m) w bezpośrednim otoczeniu urządzeń i 2,1–16,7 V/m (Me: 5 V/m) w miejscach okresowego przebywania pracowników dozoru. Zasięg strefy zagrożenia wynosił do 0,18 m, a strefy pośredniej – 0,3–0,8 m. Nie stwierdzono przekroczenia wartości NDN na stanowiskach pracy pracowników dozoru.

W radiokomunikacji do celów teletransmisji stosowane są linie radiowe (LR). Przeanalizowano wyniki pomiarów dla 125 nadajników zainstalowanych w 18 obiektach LR.

Tabela 2. Dopuszczalne wartości graniczne natężenia pola elektrycznego $E(f)$ dla strefy bezpiecznej i pośredniej $E_0(f)$, pośredniej i zagrożenia $E_1(f)$ oraz zagrożenia i niebezpiecznej $E_2(f)$ *

Table 2. Admissible limit values of the electric $E(f)$ fields for the safe and intermediate $E_0(f)$, intermediate and danger $E_1(f)$ and danger and hazard $E_2(f)$ zones*

Zakres częstotliwości Frequency range	Natężenie pola elektrycznego Electric field strength (E) [V/m]		
	$E_0(f)$	$E_1(f)$	$E_2(f)$
$0 \text{ Hz} \leq f \leq 0,5 \text{ Hz}$	10 000	20 000	40 000
$0,5 \text{ Hz} < f \leq 50 \text{ Hz}$	5 000	10 000	20 000
$0,05 \text{ kHz} < f \leq 0,3 \text{ kHz}$	5 000	10 000	20 000
$0,3 \text{ kHz} < f \leq 1 \text{ kHz}$	$33,3/f$	$100/f$	$1\ 000/f$
$1 \text{ kHz} < f \leq 800 \text{ kHz}$	33,3	100	1 000
$0,8 \text{ MHz} < f \leq 3 \text{ MHz}$	33,3	100	1 000
$3 \text{ MHz} < f \leq 15 \text{ MHz}$	$100/f$	$300/f$	$3\ 000/f$
$15 \text{ MHz} < f \leq 150 \text{ MHz}$	6,66	20	200
$0,15 \text{ GHz} < f \leq 3 \text{ GHz}$	6,66	20	200
$3 \text{ GHz} < f \leq 300 \text{ GHz}$	$0,053f+6,5$	$0,16f+19,5$	$1,6f+195$

* Na podstawie Rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 6 czerwca 2014 r w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy / Based on Regulation of the Minister of Labour and Social Policy, of 6 June, 2014 on the maximum admissible concentrations and intensities of agents harmful to human health at workplace [5].

E_0 – natężenie pola E, rozgraniczające strefę pośrednią od strefy bezpiecznej / strength of field E, separating the intermediate zone from the safe zone, E_1 – natężenie pola E, rozgraniczające strefę zagrożenia od strefy pośredniej / strength of field E separating the dangerous zone from the intermediate zone, E_2 – natężenie pola E, rozgraniczające strefę niebezpieczną od strefy zagrożenia / strength of field E, separating the hazardous zone from the dangerous zone.

Najwyższe zmierzone wartości natężenia pola E w otoczeniu 125 nadajników LR wynosiły 3,8–9,3 V/m (Me: 5,2 V/m) – tylko dla 8,3% analizowanych urządzeń, w pozostałych przypadkach nie stwierdzano występowania pola E. Strefa pośrednia występowała tylko w 1 przypadku. Nie stwierdzono przekroczenia wartości NDN na stanowiskach pracy pracowników dozoru.

W dostępnym dla pracowników obszarze 5 anten nadawczych LR zmierzone wartości wynosiły 6,1–44,7 V/m (Me: 10,6 V/m). Stwierdzono występowanie strefy zagrożenia (1 przypadek) i strefy pośredniej (1 przypadek). Krotność przekroczenia NDN do 2,2 zaobserwowano tylko w odniesieniu do pracy na pomostach w pobliżu anten, nie stwierdzono go dla prac przeprowadzanych na wysokości zainstalowania anten (na kierunku osi wiązki ich promieniowania).

W sieciach radiokomunikacyjnych istotną rolę odgrywają stacje bazowe, co dotyczy zwłaszcza telefonii komórkowej. Analizą szczegółową objęto 20 obiektów stacji bazowych telefonii komórkowej (BTS), w których anteny zostały zainstalowane na masztach wsporczych umieszczonych na dachach budynków. Anteny

sektorowe BTS pracowały w zakresach częstotliwości z pasma 900 MHz i 1800 MHz.

Najwyższe zmierzone wartości natężenia pola E w dostępnym z poziomu dachu budynków otoczeniu ponad 60 anten sektorowych, w którym mogą przebywać pracownicy podczas rutynowych prac wykonywanych w czasie przeglądów konserwacyjnych, wynosiły 1,1–12,3 V/m (Me: 6,8 V/m). Dotyczy to 60% badanych obiektów. Stwierdzono występowanie strefy pośredniej (20% obiektów), której zasięg był ograniczony do rozmiaru dachu czy pomostu, na którym znajdują się urządzenia nadawcze BTS. Nie zanotowano przekroczenia wartości NDN na stanowiskach pracy pracowników bieżącej konserwacji urządzeń TS.

W radiokomunikacji ruchomej lądowej stosowane są m.in. radiotelefony przewoźne i noszone. Analizą szczegółową objęto 11 stacji przewoźnych zainstalowanych w pojazdach oraz 3 noszonych stosowanych w służbach ochrony i bezpieczeństwa ludzi. Stacje radiotelefoniczne pracowały w paśmie 44 MHz (5 sztuk) z mocą nadajnika do 25 W oraz w paśmie 144–174 MHz (6 sztuk) z mocą nadajnika do 10 W. Moc nadajnika w przypadku radiotelefonów noszonych wynosiła 1–5 W.

Najwyższe zmierzone wartości natężenia pola E wewnątrz 11 pojazdów z zainstalowanymi radiotelefonami przewodnymi wynosiły 5–76 V/m (Me: 23 V/m) w bezpośrednim otoczeniu instalacji urządzeń i 4,3–36,0 V/m (Me: 7,5 V/m) w miejscach przebywania kierowcy-operatora i pracownika obok kierowcy. Stwierdzono występowanie stref zagrożenia i pośredniej. Krotność przekroczenia NDN na stanowiskach kierowcy-operatora radiotelefonu wynosiła do 1,8.

Najwyższe zmierzone wartości natężenia pola E w otoczeniu anteny radiotelefonów noszonych wynosiły 54–74 V/m (Me: 60 V/m). Zasięg strefy zagrożenia zawierał się w granicach 0,2–0,4 m, a strefy pośredniej – 0,45–0,7 m. Krotność przekroczenia NDN wynosiła powyżej 2.

Wyniki badań i pomiarów PEM

dla ekstremalnych warunków pracy przy montażu, demontażu i pracach konserwacyjnych w pobliżu czynnych anten nadawczych radiowych i telewizyjnych systemów antenowych oraz anten sektorowych telefonii komórkowej

Najwyższe poziomy natężenia PEM występują w bezpośrednim otoczeniu anten nadawczych, do których mają dostęp pracownicy zatrudnieni przy montażu, demontażu i konserwacji anten. Dotyczy to szczególnie obiektów wieloprogramowych (typu radiowe i telewizyjne stacje nadawcze dużych mocy – radiowo-telewizyjne centra nadawcze (RTCN)), w których systemy antenowe są instalowane na wysokich, wolnostojących masztach.

Wyobrażenie o natężeniu pola E podczas prac na jednym z wysokich, uziemionych masztów stalowych obiektu wieloprogramowego ($h = 240$ m) może dać to, że już samo przejście wewnątrz anteny wieloelementowej, systemowej (4 piętra \times 3 elementy) dla programów radiowych zakresu UKF (moc z nadajników obniżona do 16 kW, docelowa – 32 kW) i podobnego typu anteny (16 pięter \times 4 elementy) dla programów telewizyjnych IV/V zakresu TV (standard telewizyjny, moc z nadajników: 80 kW) wiąże się z narażeniem pracownika na silne pola E o bardzo wysokim poziomie natężenia. Na podestach, wewnątrz systemu anten UKF natężenie pola elektrycznego wynosiło 152–180 V/m przy mocy nadajników obniżonej o 50% oraz powyżej 180 V/m przy mocy obniżonej o 25%.

Już na tarasie pod anteną telewizyjną (częstotliwości 535,25 MHz i 615,25 MHz) wartości natężenia pola E wynosiły 61–148 V/m i odpowiadały strefie zagrożenia. Krotność przekroczenia NDN równała się odpowiednio: 9 i 7,4. Przy tego typu pracach istnieje możliwość

ekspozycji nadmiernej (wskaźnik ekspozycji $W > 1$) z uwagi na efektywny czas przebywania pracownika w polu E o wartościach ze strefy zagrożenia.

Dopuszczalny czas ekspozycji o ww. wartościach natężenia wynosi odpowiednio 6 min i 9 min na zmianę roboczą przy obniżonej do połowy mocy nadajników radiowych z pasma UKF. (Dane dotyczące wyników pomiarów w pobliżu anteny telewizyjnej mają już znaczenie historyczne, ponieważ w 2013 r. telewizję analogową zastąpiono telewizją cyfrową, dzięki której obniżono moc nadajników. Cytowane dane, dotyczące wysokich wartości natężenia pola E, zostały zmierzone na pomoście pod anteną TV, dlatego autorzy niniejszej publikacji chcą zwrócić uwagę na możliwość nadmiernej ekspozycji przy pracach wewnątrz takich systemów antenowych).

W przypadku prac wykonywanych na masztach wsporczych dla 11 anten sektorowych BTS (3 pracujących w zakresie 900 MHz i 8 pracujących w zakresie 1800 MHz) zmierzone wartości wynosiły do 74 V/m, co odpowiada strefie zagrożenia z dopuszczalnym czasem ekspozycji 36 min na zmianę roboczą. Krotność przekroczenia NDN wynosiła do 3,7.

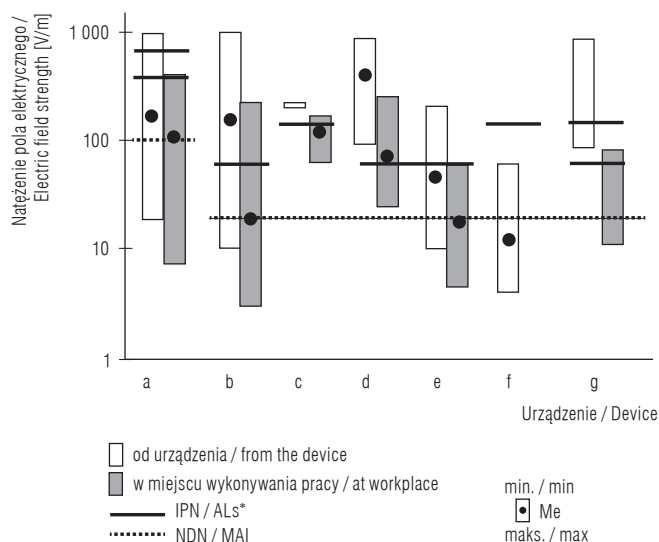
Wyniki badań i pomiarów PEM

emitowanych przez urządzenia stosowane w ochronie zdrowia

W ochronie zdrowia (oddziały chirurgiczne i zabiegowe szpitali oraz zakłady fizykoterapii) analizą szczegółową objęto 105 urządzeń medycznych, w tym 45 aparatów do elektrochirurgii, 54 fizykoterapeutycznych diatermii krótkofalowych i 6 diatermii mikrofalowych.

Najwyższe zmierzone wartości natężenia pola E w otoczeniu 45 aparatów do elektrochirurgii wynosiły 23–1000 V/m (Me: 180 V/m), a na stanowisku chirurga operatora – 8,5–400 V/m (Me: 105 V/m). Strefa niebezpieczna nie występowała. Zasięg strefy zagrożenia obejmował 0,2–1,0 m, a pośredniej – 0,3–1,3 m i nie przekraczał granic sal zabiegowych. Krotność przekroczenia NDN wynosiła do 4,0.

Najwyższe zmierzone wartości natężenia pola E w otoczeniu 54 aparatów do diatermii krótkofalowej wynosiły 10–1000 V/m (Me: 156 V/m), a na stanowisku fizjoterapeuty – 3–220 V/m (Me: 19 V/m). Zasięg strefy niebezpiecznej obejmował 0–1,2 m, strefy zagrożenia – 0,3–2,7 m, a pośredniej – 0,6–4,0 m. W 35% badanych przypadków stwierdzono występowanie stref ochronnych poza kabiną zabiegową czy pomieszczeniem, w którym pracowała diatermia. Krotność przekroczenia NDN wynosiła do 11,0.



a – aparaty do elektrochirurgii / electrosurgery units, b – diatermie krótkofalowe / short-wave diathermy, c – diatermie mikrofalowe / microwave diathermy, d – zgrzewarki wysokiej częstotliwości / high frequency dielectric welders, e – prasy w.cz. / HF press, f – kuchenki mikrofalowe / microwave ovens, g – urządzenia naukowe / scientific research apparatus.

IPN – interwencyjne poziomy narażenia dla pola elektrycznego / ALs – action levels for exposure to electric fields, NDN – najwyższe dopuszczalne stężenie / MAI – maximum admissible intensity.

min. – wartość minimalna / minimal value, maks. – wartość maksymalna / max – maximal value, Me – mediana / median.

* Przy założeniu, że pole E występowało przez co najmniej 6 min / assuming that the E field occurred during at least 6 min.

Ryc. 1. Najwyższe poziomy natężenia pola elektrycznego dla wybranych źródeł PEM RF stosowanych w ochronie zdrowia, przemyśle i nauce

Fig. 1. Maximum intensity levels of electric field for selected RF EMF sources used in medical application industry and scientific research

Najwyższe zmierzone wartości natężenia pola E w otoczeniu 6 aparatów do diatermii mikrofalowej wynosiły 194,2–213 V/m (z uwagi na ograniczoną liczbę punktów pomiarowych nie przeprowadzono analizy statystycznej), a na stanowisku fizjoterapeuty – 58,2–160 V/m (Me: 122 V/m). Zasięg występowania strefy niebezpiecznej obejmował 0,1–0,4 m, zagrożenia – 1,2–2,6 m, a pośredniej – 2,3–6 m (w tym sąsiednie kabiny zabiegowe i korytarz). Krotność przekroczenia NDN wynosiła 3–8.

Wyniki badań i pomiarów PEM emitowanych przez urządzenia stosowane w przemyśle

W przemyśle analizą szczegółową objęto 60 urządzeń, w tym 29 pras wielkiej częstotliwości (w.cz.) (stosowanych w przemyśle drzewnym, papierniczym, tekstylnym do usuwania we wsadzie stałym wody lub innych płynów, w przemyśle samochodowym do suszenia

elementów wygłuszających), 16 zgrzewarek dielektrycznych (urządzenia z generatorem wysokiej częstotliwości, stosowane do zgrzewania wyrobów z folii termoplastycznych) oraz 15 kuchenek mikrofalowych, które często są stosowane w gastronomii.

Najwyższe zmierzone wartości natężenia pola E w otoczeniu 29 pras w.cz. wynosiły 10–200 V/m (Me: 45 V/m), a na stanowisku operatora – 4,3–56 V/m (Me: 18 V/m). Strefa niebezpieczna nie występowała. Zasięg strefy zagrożenia obejmowała 0,2–2 m, a pośredniej – 0,5–10,5 m. W 25% badanych przypadków stwierdzono występowanie stref ochronnych poza wydzieloną częścią hali z prasami w.cz. Strefy poszczególnych urządzeń nakładały się, obejmując również inne urządzenia niebędące źródłem silnych PEM. Krotność przekroczenia NDN wynosiła do 2,8.

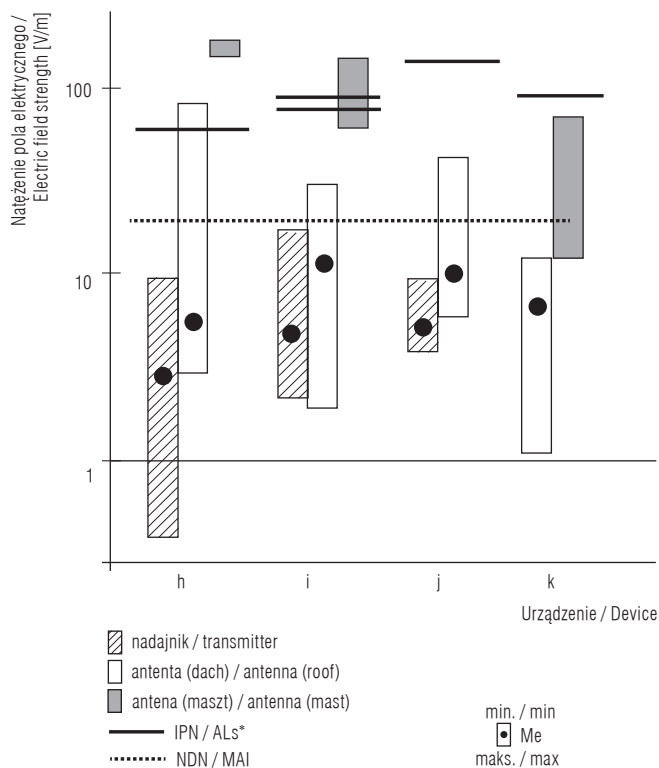
Najwyższe zmierzone wartości natężenia pola E w otoczeniu 16 zgrzewarek dielektrycznych wynosiły 90–850 V/m (Me: 400 V/m), a na stanowisku operatora – 23–240 V/m (Me: 70 V/m). Strefa niebezpieczna obejmowała 0–0,6 m, zagrożenia – 0,7–2 m, a pośrednia – 1,0–4,2 m. Stwierdzono, że strefy poszczególnych urządzeń nakładają się, obejmując także inne urządzenia, które nie stanowią źródła silnych PEM. Krotność przekroczenia NDN wynosiła 1,1–12.

Najwyższe zmierzone wartości natężenia pola E w otoczeniu 15 kuchenek mikrofalowych, które są potencjalnym źródłem zagrożenia PEM w tzw. małej gastronomii, wynosiły 4–60 V/m (Me: 12 V/m). Nie stwierdzono występowania strefy niebezpiecznej. Zasięg strefy zagrożenia wynosił 0,18 m, a pośredniej – 0,1–0,6 m. Krotność przekroczenia NDN osiągnęła wartość do 3 przy urządzeniu. Brakuje danych dotyczących stanowiska pracownika.

Wyniki badań i pomiarów PEM emitowanych przez urządzenia stosowane w nauce

W nauce analizą szczegółową objęto 8 urządzeń, w tym 5 prototypowych. Badano m.in. urządzenia do obróbki cieplnej materiałów tekstylnych w plazmie gazowej, do osuszania murów i zgrzewania materiałów dielektrycznych metodą pojemnościową.

Najwyższe zmierzone wartości natężenia pola E w otoczeniu urządzeń wynosiły 88–800 V/m, a na stanowisku operatora/wykładowcy – od 12 V/m do powyżej 67 V/m. Zasięg strefy niebezpiecznej obejmował 0,4–1,5 m, strefy zagrożenia – 0,4–10 m, a pośredniej – 0,6–22 m. Krotność przekroczenia NDN wynosiła powyżej 3,4.



h – radio UKF / FM – radio broadcast, i – telewizja / television broadcast, j – linie radiowe / radio relay, k – stacja bazowa telefonii komórkowej / base transceiver station (BTS).

Inne objaśnienia jak na rycinie 1 / Other abbreviations as in Figure 1.

Ryc. 2. Najwyższe poziomy natężenia pola elektrycznego w miejscu wykonywania pracy przy wybranych źródłach PEM RF najczęściej stosowanych w radiokomunikacji i łączności

Fig. 2. Highest levels of electric field intensity for workplaces at selected common RF EMF sources used in the radio communications sector

OMÓWIENIE

Pola elektromagnetyczne (PEM) występujące w środowisku pracy należą do czynników fizycznych potencjalnie zagrażających zdrowiu. Skutkom szkodliwego działania PEM na pracowników zapobiega się poprzez kontrolę poziomu natężenia pola elektrycznego (E) i magnetycznego (H) w otoczeniu instalacji i urządzeń wytwarzających PEM oraz na stanowisku pracownika, oszacowanie efektywnego czasu narażenia na te pola i określenie wskaźnika ekspozycji W.

Według krajowych przepisów w otoczeniu źródła PEM wyróżnia się 3 strefy ochronne, zdefiniowane w PN T-6580-1:2002 [15]:

- strefę niebezpieczną – obszar, w którym przebywanie pracowników bez środków ochrony indywidualnej jest zabronione,
- strefę zagrożenia – obszar, w którym dopuszczalne jest przebywanie pracowników przez czas ograniczony

(dopuszczalny czas przebywania określa się w zależności od zmierzonych wartości natężenia PEM),

- strefę pośrednią – obszar, w którym mogą przebywać pracownicy w ciągu 8-godzinnej zmiany roboczej.

Obszar poza ww. strefami ochronnymi, w którym przebywanie nie podlega żadnym ograniczeniom, to tzw. strefa bezpieczna.

Wartość E lub H rozgraniczająca strefę pośrednią, gdzie pracownicy mogą przebywać w ciągu 8-godzinnego dnia pracy, od strefy zagrożenia została przyjęta za najwyższe dopuszczalne natężenie (NDN). Obszar strefy bezpiecznej jest dostępny dla pracowników niezwiązanych zawodowo ze stosowaniem źródeł PEM, w tym kobiet w ciąży i młodocianych [18,19]. Źródła PEM i obszary występowania stref ochronnych powinny być oznakowane zgodnie z normą PN-EN ISO 7010:2012 [20].

W obszarze stref ochronnych mogą przebywać jedynie pracownicy, którzy odbyli specjalistyczne przeszkolenie w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy oraz poddali się badaniom lekarskim potwierdzającym brak przeciwwskazań zdrowotnych do pracy w narażeniu na PEM [21,22].

Przyjęte w praktyce rozwiązania (wprowadzenie stref ochronnych, kwalifikacja wielkości ekspozycji na podstawie wskaźnika ekspozycji W) stanowią dobrze sprawdzony element krajowego systemu kontroli ekspozycji na PEM.

Przeprowadzona analiza wyników badań i pomiarów PEM RF dla ponad 450 wybranych urządzeń reprezentatywnych dla działów gospodarki, w których najczęściej są one stosowane, pozwoliła na ocenę obecnego stanu narażenia pracowników na te pola w środowisku pracy. Porównanie zmierzonych wartości natężenia pola E w miejscach przebywania pracownika z wartościami granicznymi (NDN) i zasięgiem stref ochronnych w otoczeniu badanych urządzeń pozwala określić:

- obszar występowania PEM, w którym mogą przebywać tylko przeszkoleni pracownicy o nadzorowanym stanie zdrowia, czyli zakwalifikowani jako ekspozowani zawodowo na te pola,
- krotność przekroczenia wartości NDN na stanowisku pracownika, czyli potencjalne zagrożenie zdrowia wskutek oddziaływania PEM.

Postępowanie takie jest zgodne z wymaganiami przepisów krajowych. Wskaźnik ekspozycji W określa jej poziom i klasyfikuje ją jako ekspozycję pomijalną, dopuszczalną lub nadmierną. Wskaźnik ten nie jest jednak wygodnym parametrem do oceny potencjalnego narażenia pracowników na zagrożenia zdrowia i bezpieczeństwa wynikające lub mogące wynikać z ekspozycji

na PEM. Powodem jest parametr czasu, który zmienia się między stanowiskami pracy w zależności od potrzeb pracodawcy czy procedur pracy przy stosowaniu urządzeń w danej kategorii jego zastosowań. Kryterium krotności wartości NDN, zastosowane do celów przeprowadzonej analizy, umożliwia klasyfikację poziomu narażenia pracowników na zagrożenia zdrowia spowodowane występowaniem PEM w środowisku pracy i jest wystarczające.

W wyniku przeprowadzonej analizy ustalono, że najwyższe zmierzone natężenie pola E na stanowiskach pracownika stwierdzono dla aparatów elektrochirurgicznych do 400 V/m, diatermii KF do 220 V/m, zgrzewarek dielektrycznych do 240 V/m i wnętrza radiowych systemów antenowych UKF do 180 V/m. Największy zasięg stref ochronnych zaobserwowano w przypadku prototypowych urządzeń stosowanych w nauce, diatermii KF i zgrzewarek dielektrycznych.

Zasięg strefy niebezpiecznej wynosił odpowiednio: 1,5 m, 1,2 m i 0,6 m. Najwyższą krotność przekroczenia NDN stwierdzono przy zgrzewarkach dielektrycznych – do 12, diatermiach KF – do 11 i diatermiach MF – do 8. Potwierdzono wysokie wartości natężenia PEM RF występujące w środowisku pracy takich grup zawodowych, jak fizjoterapeuci, operatorzy zgrzewarek dielektrycznych i pracownicy technicznych grup maszynowych w obiektach łączności (w tym stacji radiowych i telewizyjnych).

Nowa Dyrektywa 2013/35/UE Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na ryzyko spowodowane PEM [6] została opublikowana w czerwcu 2013 r., a jej wymogi powinny zostać transponowane do prawa krajowego do 1 lipca 2016 r. Parametry charakteryzujące PEM w zakresie RF, określające poziom ekspozycji pracownika według dyrektywy, wprowadzają dodatkowe wielkości w porównaniu z krajowymi przepisami:

- prąd końcowy (I_1) w zakresie częstotliwości 10–110 MHz,
- prąd kontaktowy (I_c), energię pochłoniętą (specific energy absorption – SA) w jednostce masy tkanki biologicznej (dotyczącą skutków impulsowego pola zakresu mikrofalowego),
- szybkość pochłaniania właściwego energii (specific energy absorption rate – SAR), uśrednioną dla całego ciała lub jego części.

Tych ostatnich wielkości nie można zmierzyć bezpośrednio na stanowisku pracownika. Możliwe jest najwyżej ustalenie ich teoretycznie – poprzez analizy

i obliczenia. Parametrów określonych tymi wartościami nie można przekroczyć w żadnym wypadku, zostały one ujęte w Dyrektywie 2013/35/UE [6] i zależą od częstotliwości PEM.

W Dyrektywie 2013/35/UE [6] wprowadzono ponadto pojęcie limitów ekspozycji na PEM, dotyczących ochrony pracowników przed niekorzystnym oddziaływaniem PEM:

- graniczne poziomy oddziaływania (GPO) – oznaczające wartości, których nie wolno przekraczać (ustalone na podstawie naukowych dowodów na występowanie natychmiastowych i ostrych skutków termicznych oraz pobudzenia elektrycznego tkanek),
- interwencyjne poziomy narażenia (IPN) – oznaczające poziomy operacyjne ustalone w celu wykazywania zgodności z odpowiednimi GPO, które można zmierzyć bezpośrednio na stanowisku pracy.

Wartości IPN dla PEM RF podano w tabeli 3.

Tabela 3. Interwencyjne poziomy narażenia (IPN) na pola elektryczne o częstotliwości od 100 kHz do 300 GHz* – najwyższe wartości obliczone lub zmierzone w miejscu, w którym znajduje się ciało pracownika

Table 3. Actions levels (ALs) for exposure to electric fields of frequency 100 kHz – 300 GHz* – maximal values calculated or measured at the workers' body position

Przedział częstotliwości Frequency range	IPN (E) ALs (E) (RMS) [V/m]	IPN (S) ALs (S) [W/m ²]
100 kHz ≤ f < 1 MHz	6,1×10 ²	–
1 ≤ f < 10 MHz	6,1×10 ⁶ /f	–
10 ≤ f < 400 MHz	61	–
400 MHz ≤ f < 2 GHz	3×10 ⁻³ f ^{1/2}	–
2 ≤ f < 6 GHz	1,4×10 ²	–
6 ≤ f ≤ 300 GHz	1,4×10 ²	50

* Na podstawie Dyrektywy 2013/35/UE Parlamentu Europejskiego i Rady z 26 czerwca 2013 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na zagrożenia spowodowane czynnikami fizycznymi wartości IPN stanowią najwyższe obliczone lub zmierzone wartości w miejscu, w którym znajduje się ciało pracownika / Based on Directive 2013/35/EU of the European Parliament and of the Council of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents [6].

f – częstotliwość [Hz] / frequency [Hz], RMS – wartość skuteczna / root mean square, [IPN (E)]² – uśrednione w dowolnych 6 min w zakresie częstotliwości do 10 GHz / [ALs (E)]² – averaged over any 6-min period to 10 GHz, IPN (S) – uśrednione w dowolnych 6 min w zakresie częstotliwości 6–10 GHz, a w zakresie > 10 GHz uśrednione w dowolnym okresie 68/f^{0.95} min / averaged over any 6 min period from 6 to 10 GHz and above 10 GHz IPN (S) averaged over any 68/f^{0.95} min period, IPN (E) – interwencyjne poziomy narażenia dla natężenia pola elektrycznego / ALs (E) – ALs for electric field strength, IPN (S) – IPN dla gęstości mocy / ALs (S) – ALs for power density.

Różnice między wymogami Dyrektywy 2013/35/UE [6] a przepisami krajowymi występują szczególnie w sposobie ustalania rzeczywistych wartości natężeń pól E i H oddziałujących na pracownika. Zgodnie z dyrektywą następuje uśrednianie mierzonej w czasie maksymalnej wartości skutecznej, oddziałującej na pracownika, a według wymogów krajowych bierze się pod uwagę maksymalną w czasie chwilową wartość skuteczną, która oddziałuje w osi tułowia pracownika. Analiza porównawcza oceny poziomów natężenia pola E według kryteriów dyrektywy została przeprowadzona przy założeniu, że pole E o stwierdzonych powyżej wartościach natężenia oddziaływało na ciało pracownika przez co najmniej 6 min.

Przy takim założeniu stwierdzono możliwość przekroczenia wartości IPN na stanowiskach pracowników przy diatermiach KF (krotność przekroczenia IPN do 3,8) i MF (do 1,1), zgrzewarkach dielektrycznych w.cz. (do 3,9) oraz przy pracach wewnątrz radiowych systemów antenowych dużej mocy (krotność przekroczenia IPN: 2,5–3). W rzeczywistości jednak takie warunki pracy mogą wystąpić przy pracach wewnątrz czynnych radiowych systemów antenowych. Sporadycznie możliwość przekroczenia wartości IPN może się zdarzyć w przypadku zgrzewarek dielektrycznych wielostanowiskowych z nieprawidłowym ekranowaniem tzw. gorącej elektrody. Wyniki analizy porównawczej zestawiono w tabeli 4.

Podobne problemy przy używaniu ww. urządzeń występują w krajach zachodnich, w których stosowano się do wymagań Międzynarodowej Komisji Ochrony przed Promieniowaniem Niejonizującym (International Committee on Non Ionizing Radiation Protection – ICNIRP) [23] – zgodnie z którymi wartości dla tzw. poziomów odniesienia dla PEM są porównywalne z wartościami IPN w Dyrektywie 2013/35/UE [6]. W badaniach fińskich zbliżone lub nawet wyższe wartości poziomów natężenia pola E stwierdzono dla suszarek dielektrycznych, dla których najwyższe wartości natężenia pola E dochodziły do 1800 V/m, a dla 48% stanowisk pracy stwierdzono przekroczenie wartości normatywnej według wytycznych ICNIRP [24]. Przy diatermiach KF w badaniach Maccà i wsp. maksymalne poziomy natężenia pola E dochodziły do 2000 V/m, a przy elektrodach – nawet do 4000 V/m [25].

Podobnie wysokie wartości natężenia pola E, przekraczające 137 V/m, stwierdzono w przypadku anten radiowych UKF [26], a dla anten telefonii komórkowych (pasmo 900 MHz) wartości te wynosiły nawet 90 V/m [27]. Przy kuchenkach mikrofalowych

stosowanych w gastronomii zmierzone wartości natężenia pola E dochodziły do 140 V/m [28].

W Polsce nadal znajduje się wiele urządzeń, przy których praca wiąże się z dużym zagrożeniem ekspozycją na najsilniejsze pola, a jej kontroli się nie przeprowadza lub jest ona niewystarczająca. Należą do nich prace przy montażu, demontażu i konserwacji anten stacji bazowych telefonii komórkowych oraz stosowanie radiotelefonów noszonych przez dużą część zmiany roboczej czy dyżuru.

W badaniach efektywnego czasu użytkowania radiotelefonów noszonych, stosowanych w transporcie sanitarnym i ruchu drogowym, ustalono, że wynosił on 30–40 min na zmianę roboczą [29]. Szczegółowe badania radiotelefonów noszonych, stosowanych w służbach ratunkowych i mundurowych, przy wykorzystaniu symulacji numerycznych wykazały, że dla natężeń pola E, w którym IPN = 61 V/m, oszacowany w analizowanych modelach SAR (10 g) jest mniejszy od wartości dopuszczalnej 10 W/kg i wynosi 0,2–2,6 W/kg, co oznacza zgodność z wymogami dla GPO [30].

Uzyskane przez autorów niniejszej publikacji wyniki natężenia pola E dla radiotelefonów noszonych wynosiły od 54 V/m do 74 V/m w odległości 0,15 m od anteny. W rzeczywistych warunkach użytkowania radiotelefonu (0,02–0,05 m od głowy operatora) wartości te będą wyższe i istnieje ryzyko przekroczenia wartości GPO. Zaniebdanym problemem są też warunki pracy w gastronomii (kuchenki mikrofalowe). W przypadku małych pomieszczeń z kilkoma zainstalowanymi kuchenkami mikrofalowymi limity dopuszczalnej ekspozycji zawodowej są przekroczone, a pracujących tam osób nie traktuje się jak pracowników zatrudnianych przy źródłach PEM.

W takich sytuacjach stwierdzono występowanie PEM o wartościach natężenia 3-krotnie przekraczających NDN. Wyniki analizy poziomów nadmiernej i niepożądanego ekspozycji na PEM w środowisku pracy świadczą o konieczności obniżenia poziomów natężenia zarówno w otoczeniu urządzeń, jak i na stanowiskach pracowników. W Dyrektywie 2013/35/UE [6] wskazuje się na zwiększenie wymagań wobec pracodawców, których obowiązkiem jest przede wszystkim wyeliminowanie lub ograniczenie do minimum za pomocą środków technicznych i/lub organizacyjnych zagrożenia PEM w miejscach dostępnych dla pracowników.

Ważne jest też eliminowanie stref ochronnych obejmujących zasięgiem stanowiska pracowników niezwiązanych zawodowo z obsługą urządzeń wytwarzających silne PEM. Należy również usprawnić działania inspekcji sanitarnej oraz inspekcji pracy w zakresie kontroli

Tabela 4. Porównanie poziomów natężenia pola elektrycznego (E) z dyrektywą 2013/35/UE dla wybranych urządzeń stosowanych w różnych działach gospodarki krajowej przy założeniu, że pole to występowało przez co najmniej 6 min

Table 4. Comparison of the intensity of the electric field (E) of Directive 2013/35/EU for selected devices used in various sectors of the national economy, assuming that this field occurred during at least 6 min

Rodzaj urządzenia Type of device	Badane urządzenia Tested devices [n]	Krotność przekroczenia IPN Quotient exceeded of ALs value	
		przy urządzeniu at the device	na stanowisku pracownika at workplace
Radiokomunikacja / Radio communication			
nadajniki radiowe UKF / FM radio transmitter	32	< IPN / < ALs	< IPN / < ALs
anteny radiowe UKF / FM radio antennas*	8	brak danych / no data	< 1,4
nadajniki telewizyjne / television transmitter	38	< IPN / < ALs	< IPN / < ALs
nadajniki linii radiowych / radio relays transmitter	125	< IPN / < ALs	brak danych / no data
anteny linii radiowych / radio relays antennas**	5	brak danych / no data	< IPN / < ALs
anteny stacji bazowych 900/1800 MHz / base transceiver station antennas 900/1800 MHz**	ok. 60	brak danych / no data	< IPN / < ALs
radiotelefony przewoźne / land mobile vehicle-mounted radio	11	< 1,3	< IPN / < ALs
Ochrona zdrowia / Medical applications			
aparaty do elektrochirurgii / electrosurgery units	45	< 2,9	< IPN / < ALs
diatermie krótkofalowe (KF) / short-wave diathermy devices (KF)	54	< 16,4	< 3,8
diatermie mikrofalowe (MF) / microwave diathermy devices	6	> 1,5	< 1,1
Przemysł / Industry			
zgrzewarki dielektryczne w.cz. / HF dielectric welders	16	1,5–13,9	< 3,9
prasy w.cz. / HF presses	29	< 3,3	< IPN / < ALs
kuchenki mikrofalowe / microwave ovens	15	< IPN / < ALs	brak danych / no data
Nauka / Scientific research			
urządzenia prototypowe / prototype apparatus	8	1,4–13,1	< IPN / < ALs

* Dachy budynków / Rooftops.

** Dachy i galerie / Roofs and arcades.

w.cz. – wysoka częstotliwość / HF – high frequency.

IPN – interwencyjne poziomy narażenia dla pola elektrycznego / ALs – action levels for exposure to electric fields.

pracodawców obejmującej bezpieczne wykonywanie pracy i jej wpływ na zdrowie pracowników.

W Dyrektywie 2013/35/UE położono duży nacisk na szkolenie zarówno pracowników, jak i pracodawców. Równoległe z pracami nad transpozycją przepisów dyrektywy do prawa krajowego należy więc podjąć działania dotyczące dalszego wzmacniania krajowego systemu kontroli ekspozycji zawodowej na PEM.

WNIOSKI

Przeprowadzona analiza wyników badań i pomiarów PEM RF dla ponad 450 wybranych urządzeń reprezentatywnych dla działów gospodarki, w których są one najczęściej stosowane, pozwoliła ocenić obecny stan narażenia pracowników na te pola i wykazała ich wysokie natężenia występujące na stanowiskach pracy

tych grup zawodowych, jak fizjoterapeuci, operatorzy zgrzewarek dielektrycznych, operatorzy radiotelefonów noszonych i pracownicy technicznych grup masztowych w obiektach radiodifuzji i radiokomunikacji.

Analiza porównawcza oceny poziomów ekspozycji na PEM RF według Dyrektywy 2013/35/UE [6] wykazała, że w realnych warunkach istnieje możliwość przekroczenia jej wymogów tylko na stanowiskach pracowników przy pracach wewnątrz czynnych radiowych systemów antenowych w obiektach radiodifuzji.

Wyniki analizy poziomu ekspozycji na PEM w środowisku pracy świadczą o konieczności dalszego obniżania tego natężenia zarówno w otoczeniu urządzeń, jak i w przestrzeni stanowisk pracy.

Nadal istnieje wiele urządzeń, przy których praca jest związana z dużym zagrożeniem ekspozycji na silne pola, a jej kontrola jest niewystarczająca lub nikt jej nie przeprowadza. Dotyczy to czynności przy montażu, demontażu i konserwacji anten stacji bazowych telefonii komórkowych, stosowania radiotelefonów noszonych przez dłuższy okres podczas zmiany roboczej czy dyżuru oraz stosowania kuchenek mikrofalowych w tzw. małej gastronomii.

PIŚMIENNICTWO

1. International Agency for Research on Cancer: Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk to humans non-ionizing radiation. Vol. 80. Part 1. Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields. IARC, Lyon 2002
2. World Health Organization: Environmental health criteria 137. Electromagnetic fields (300 Hz to 300 GHz). WHO, Geneva 1993
3. Health Canada: Limits of human exposure to radiofrequency electromagnetic energy in the frequency range from 3 kHz to 300 GHz – Safety code 6. Health Canada, Ontario 2009
4. Nato Standardization Agency: Evaluation and control of personnel exposure to radio frequency fields – 3 kHz to 300 GHz. Stanag 2345. NSA, Brussels 2003
5. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 6 czerwca 2014 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Załącznik 2, Część E. Pola i promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu częstotliwości 0 Hz–300 GHz. DzU z 2014 r., poz. 817
6. Dyrektywa 2013/35/UE Parlamentu Europejskiego i Rady z 26 czerwca 2013 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na zagrożenia spowodowane czynnikami fizycznymi (polami elektromagnetycznymi) (dwudziesta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG) i uchylająca dyrektywę 2004/40/WE. DzUz UE z 2013 r. L 179:1–21
7. Druk statystyczny MZ 52. Sprawozdanie z ochrony przed polem elektromagnetycznym w środowisku pracy za 2006 r. W: Raport 1/07/GIS/IMPL/H5 – Prowadzenie centralnego rejestru źródeł emisji pól elektromagnetycznych dla celów higieniczno-sanitarnych. Centralny System Informatyczny Kontroli Źródeł Elektromagnetycznych (baza danych o źródłach PEM). Instytut Medycyny Pracy, Łódź 2007
8. Polskaam.radiopolska.pl [Internet]: Polska AM [cytowany 12 grudnia 2014]. Adres: <http://www.polskaam.radiopolska.pl>
9. Radiopolska.pl. [Internet] Radio Polska [cytowany 16 października 2014]. Adres: <http://www.radiopolska.pl>
10. Ekspertyzy, orzeczenia, protokoły i sprawozdania z pomiarów pola elektromagnetycznego dla celów bezpieczeństwa i higieny pracy opracowane w ramach usług naukowo-badawczych (materiały niepublikowane). Instytut Medycyny Pracy, Łódź 1995–2013
11. Uke.gov.pl. [Internet] Urząd Komunikacji Elektronicznej [cytowany 10 grudnia 2014]. Adres: <http://www.uke.gov.pl>
12. Bieńkowski P., Cała P., Zubrzak B.: Pole elektromagnetyczne wytwarzane przez systemy radiokomunikacyjne pracujące w Paśmie E (60–90 GHz). *Bezpiecz.* Pr. 2013;9:13–15
13. Ustawa z dnia 26 czerwca 1974 r. Kodeks pracy z późniejszymi zmianami. DzU z 2014 r., poz. 208
14. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU z 2011 r. nr 33, poz. 166
15. PN-T-06580-1:2002. Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym o częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz. Część 1. Terminologia. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2002
16. PN-T-06580-3:2002. Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym o częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz. Część 3. Metody pomiaru i oceny pola na stanowisku pracy. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2002
17. Bieńkowski P.: Pole emitowane przez urządzenia w zakresie radio- i mikrofal – aparatura i metodyka pomiarów dla ochrony środowiska i bezpieczeństwa pracy. *Med. Pr.* 2008;59(6):513–519
18. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 lipca 2002 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie wykazu prac wzbronionych kobietom. DzU z 2002 r. nr 127, poz. 1092

19. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 lipca 2002 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym. DzU z 2002 r. nr 127, poz. 1091
20. PN-EN ISO 7010:2012. Symbole graficzne – barwy bezpieczeństwa i znaki bezpieczeństwa – zarejestrowane znaki bezpieczeństwa. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2012
21. Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 27 lipca 2004 r. w sprawie szkolenia w dziedzinie bezpieczeństwa i higieny pracy. DzU z 2004 r. nr 180, poz. 1860
22. Rozporządzenie Ministra Zdrowia Opieki Społecznej z dnia 30 maja 1996 r. w sprawie przeprowadzania badań lekarskich pracowników, zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydawanych dla celów przewidzianych w Kodeksie pracy. DzU z 1996 nr 69, poz. 332
23. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys.* 1998;74(4):494–522
24. European Agency for Safety and Health at Work: Working Environment Information. Vol. 8. Technical report. Assessment, elimination and substantial reduction of occupational risks [cytowany 1 lutego 2015]. Agency, Luxemburg 2009, ss. 127–130. Adres: http://www.researchgate.net/publication/276275312_Assessment_elimination_and_substantial_reduction_of_occupational_risks
25. Macca I., Scapellato M.L., Carrieri M., Pasqua di Bisceglie A., Saia B. i wsp.: Occupational exposure to electromagnetic fields in physiotherapy departments. *Radiat. Prot. Dosim.* 2008;128(2):180–190, <http://dx.doi.org/10.1093/rpd/ncm309>
26. Jokela K., Puranen L.: Occupational RF exposures. *Radiat. Prot. Dosim.* 1999;83(1–2):119–124, <http://dx.doi.org/10.1093/oxfordjournals.rpd.a032645>
27. Alanko T., Hietanen M., von Nandelstadh P.: Occupational exposure to RF fields from base station antennas on rooftops. *Ann. Telecom.* 2008;63(1–2):125–132, <http://dx.doi.org/10.1007/s12243-007-0001-6>
28. Mantiply E.D., Pohl K.R., Poppell S.W., Murphy J.A.: Summary of measured radiofrequency electric and magnetic fields (10 kHz to 30 GHz) in the general and work environment. *Bioelectromagnetics* 1997;18:563–577, [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-186X\(1997\)18:8<563::AID-BEM5>3.0.CO;2-0](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1521-186X(1997)18:8<563::AID-BEM5>3.0.CO;2-0)
29. Aniołczyk H., Zmyślony M.: Analysis of exposure to electromagnetic fields during professional use of radiotelephones. *Pol. J. Occup. Med. Environ. Health* 1991;4(3):281–289
30. Zradziński P., Leszko W., Karpowicz J., Gryz K.: Ocena narażenia na pola elektromagnetyczne użytkowników przenośnych radiotelefonów, z wykorzystaniem symulacji numerycznych i wymagań dyrektywy 2013/35/UE. *Med. Pr.* 2013;64(6):817–82