

Halina Aniołczyk, Magda Mariańska, Paweł Mamrot

OPTIMALIZACJA METOD POMIAROWYCH I OCENIAJĄCYCH EKSPOZYCJĘ ZAWODOWĄ NA POLA ELEKTROMAGNETYCZNE STOSOWANE W FIZYKOTERAPII KRÓTKOFALOWEJ

OPTIMIZATION OF METHODS FOR MEASUREMENT AND ASSESSMENT OF OCCUPATIONAL EXPOSURE
TO ELECTROMAGNETIC FIELDS IN PHYSIOTHERAPY (SW DIATHERMY)

Instytut Medycyny Pracy, im. prof. J. Nofera, Łódź
Zakład Ochrony Radiologicznej

STRESZCZENIE

Wstęp: W fizykoterapii powszechnie stosowane są aparaty do diatermii polem elektromagnetycznym (PEM) wysokiej częstotliwości, które są źródłem silnych pól. Wysokie wartości natężenia pól w miejscach przebywania fizjoterapeutów wymagają częstych pomiarów i kontroli ekspozycji. Takie postępowanie jest prawnie obowiązujące ale kosztowne, przy czym nie poprawia warunków pracy. Celem podjętych badań jest uaktualnienie stanu wiedzy o realnej ekspozycji fizjoterapeutów na PEM oraz optymalizacja postępowania metodycznego i decyzyjnego. **Materiał i metody:** Przeprowadzono pomiary natężenia PEM w otoczeniu 20 aparatów do diatermii krótkofalowej (KF) oraz w miejscach przebywania fizjoterapeutów. Do pomiarów zastosowano nowoczesną aparaturę, umożliwiającą m.in. identyfikację widma wytwarzanego PEM, cyfrowy odczyt czy zarządzanie wynikami pomiarów. U 16 fizjoterapeutów wykonano pomiary prądu indukowanego w kończynach I_L. **Wyniki:** Najwyższe zmierzone wartości natężenia PEM wynosiły: dla całego ciała fizjoterapeuty przy konsoli do 200 V/m i 0,20 A/m oraz przy elektrodach do 180 V/m i 0,40 A/m. W czasie czynności interwencyjnych ręka fizjoterapeuty znajduje się w PEM o wartościach natężenia do 900 V/m i do 2,0 A/m. Wskaźnik ekspozycji W dla czynności rutynowych dochodził do 0,32, a dla czynności interwencyjnych do 1,67. Wartości natężenia prądów indukowanych mierzone w kończynach górnych fizjoterapeuty w czasie czynności interwencyjnych wynosiły do 120 mA, wykazując zależność osobniczą. **Wnioski:** Potwierdzone zostały wysokie wartości natężenia PEM występujące w realnych warunkach środowiska pracy fizjoterapeuty przy wykonywaniu czynności rutynowych. Wysokie wartości natężenia prądów indukowanych w kończynach fizjoterapeuty podczas wykonywania czynności interwencyjnych wskazują na realne ryzyko szkodliwego działania PEM na zdrowie fizjoterapeuty w 25% badanych przypadków. Konieczność wykonywania corocznych, kosztownych pomiarów kontrolnych nie pełni swojej roli w ochronie przed PEM. Zaproponowano wprowadzenie dwustopniowych pomiarów kontrolnych: obligatoryjnych i decyzyjnych. Med. Pr. 2011;62(5):499–515

Słowa kluczowe: ekspozycja zawodowa fizjoterapeuty, diatermia krótkofalowa, natężenie pola elektrycznego, natężenie pola magnetycznego, prądy indukowane w kończynach

ABSTRACT

Background: Physiotherapists commonly use high-frequency (HF) electromagnetic field (EMF) units for therapeutic heating, whereas they are a source of strong EM fields. High EMF intensity values in places, where physiotherapists perform their occupational duties, require frequent measurements and their exposure must be monitored. Such procedures are obligatory and expensive, but they do not improve working conditions of physiotherapists. The aim of the study was to update the knowledge of actual exposure of physiotherapists to EMF and optimize methodical and decisive procedures. **Material and methods:** EMF strength was measured in close proximity of twenty diathermy (SW) units, and in places usually occupied by physiotherapists. Modern digital-readout equipment was used for the measurements. It allowed us to identify the resultant EMF spectrum and to manage the measurement results. Values of the induced current, I_L, in the limbs of 16 physiotherapists were measured. **Results:** The highest values of EMF strengths were measured for the whole body of the physiotherapist at the console, to 200 V/m and 0.20 A/m, and at the electrodes, to 180 V/m and 0.40 A/m. During intervention procedures, the physiotherapist's hands were exposed to 900 V/m and 2.0 A/m EMF. The maximum value of the exposure W indicator for routine operations was as high as 0.32, and for intervention procedures as high as 1.67. The maximum intensities of induced currents measured in the physiotherapist's upper limbs during intervention procedures were up to 120 mA, depending on individual person. **Conclusions:** The results have confirmed the high EMF strength values occurring in the real conditions of the work environment of physiotherapists performing routine procedures. High intensity values of currents induced in the limbs of the physiotherapist performing intervention procedures represent a real threat in 25% of cases. The existing obligatory annual monitoring procedures are expensive and completely fail to offer any protection against EMF. The authors of this paper propose to implement a two-stage (obligatory and facultative) monitoring and measurement system. Med Pr 2011;62(5):499–515

Key words: occupational exposure, physiotherapist, SW diathermy, electric field, magnetic field, induced currents in the limbs

Adres 1. autorki: Zakład Ochrony Radiologicznej, Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera,
ul. św. Teresy 8, 91-348 Łódź; e-mail: h_anioł@imp.lodz.pl
Nadesłano: 29 sierpnia 2011
Zatwierdzono: 5 września 2011

Praca wykonana w ramach tematu statutowego Instytutu Medycyny Pracy w Łodzi nr 18.8 pt. „Optymalizacja metod pomiarowych i oceniających ekspozycję na pola elektromagnetyczne z zakresu częstotliwości 10–110 MHz”. Kierownik tematu: dr Halina Aniołczyk.



WSTĘP

Pola elektromagnetyczne (PEM) występujące w środowisku pracy należą do czynników fizycznych szkodliwych dla zdrowia. Zapobieganie skutkom szkodliwego działania PEM na pracowników podlegających ekspozycji na ten czynnik realizowane jest poprzez kontrolę poziomu natężenia PEM na stanowisku pracy i efektywnego czasu narażenia na te pola oraz poprzez profilaktykę zdrowotną (badania lekarskie wstępne i okresowe) na podstawie Kodeksu pracy i przepisów wykonawczych do niego (1–3). Stosowane w polskich gabinetach fizykoterapii aparaty do diatermii krótkofalowej (KF) polem elektromagnetycznym pracują w zakresie częstotliwości 27,12 MHz z mocą dochodzącą do 500 W (fala ciągła) oraz do 1000 W (w szczycie) w przypadku aparatów do terapii impulsowym polem magnetycznym wielkiej częstotliwości (w.cz.). W wyniku tego personel medyczny, głównie fizjoterapeuci, mogą podlegać ekspozycji na silne PEM, które cechują parametry mające istotny wpływ na pomiary natężenia pola oraz ocenę ekspozycji. Wynikają one przede wszystkim z długości wytwarzanej przez te aparaty fali elektromagnetycznej (λ), która w próżni dla częstotliwości 27,12 MHz wynosi ponad 11 m. Powoduje to, że personel medyczny przebywa w obszarze pola bliskiego, charakteryzującego się szybko zmieniającymi się poziomami natężenia pola elektrycznego (E) i magnetycznego (H) oraz kierunkiem polaryzacji. Pole to może być modulowane, w tym impulsowo. Ponadto w tym zakresie częstotliwości występuje zjawisko sprzężenia pojemnościowego wytwarzanego pola z otaczającym ww. aparaty sprzętem metalowym oraz zjawisko indukowania wtórnych źródeł PEM.

Polskie przepisy higieniczne regulujące najwyższe dopuszczalne wartości natężenia (NDN) w odniesieniu do PEM opierają się na koncepcji stref ochronnych, na których obszarze mogą przebywać jedynie pracownicy, którzy odbyli specjalistyczne przeszkolenie w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy i poddali się badaniom lekarskim, potwierdzającym brak przeciwwskazań zdrowotnych do pracy w PEM (4,5). Według krajowych przepisów w otoczeniu źródła PEM wyróżnia się trzy strefy ochronne, zdefiniowane w Polskiej Normie (PN) (6):

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

niczony (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.

Przebywanie poza ww. strefami ochronnymi, w tzw. strefie bezpiecznej, nie podlega żadnym ograniczeniom. Obszar strefy bezpiecznej jest dostępny dla pozostałych pracowników, w tym kobiet w ciąży i młodocianych (7,8). Źródła PEM oraz obszary występowania stref ochronnych powinny być odpowiednio oznakowane zgodnie z normą PN-74/T-06260 oraz PN-93/N-01256/03/Az 2 (9,10). W przypadku wyników pomiarów natężenia PEM wskazujących na wystąpienie strefy zagrożenia (albo zagrożenia i niebezpiecznej) pomiary kontrolne muszą być przeprowadzane co najmniej raz w roku (2). Wyniki pomiarów obowiązują tylko dla zastanej konfiguracji źródeł PEM, stanowisk pracy i sprzętu metalowego w danej kabinie zabiegowej. Tymczasem w coraz większej części gabinetów fizykoterapii diatermii KF nie są instalowane na stałe i jako urządzenia mobilne mogą być stosowane zamiennie z innymi urządzeniami lub też instalowane w innych, dostępnych w danym czasie, kabinach.

Parametry, które należy określić przy ocenie warunków pracy w PEM o częstotliwości pracy diatermii KF to:

- natężenie pola elektrycznego o ogólnym działaniu na organizm człowieka [E, w V/m],
- natężenie pola magnetycznego H o ogólnym działaniu na organizm człowieka [H, w A/m],
- wskaźnik ekspozycji W dla dozy rzeczywistej pola elektrycznego i magnetycznego w strefie zagrożenia (w praktyce, w strefie pośredniej i zagrożenia łącznie),
- zasięgi stref ochronnych.

Dopuszczalne wartości natężenia pola (NDN) E_1 i H_1 , ustalone jako wartości graniczne strefy zagrożenia i pośredniej, podano w tabeli 1. Wartości 3-krotnie niższe od podanych w tabeli 1 odpowiadają granicy strefy pośredniej i bezpiecznej (E_0 i H_0), a 10-krotnie wyższe ustalają granicę strefy niebezpiecznej i zagrożenia (E_2 i H_2).

Ekspozycja pracowników na PEM oceniana jest na podstawie wyników pomiarów maksymalnej, chwilowej wartości skutecznej natężenia pola E i/lub H, wykonanych wzdłuż linii odpowiadającej osi ciała pracownika do wysokości 2 m od podłoża (11).



Tabela 1. Dopuszczalne wartości skuteczne natężenia pola elektrycznego i magnetycznego oraz dozy dopuszczalnej według Rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. (3)

Table 1. Admissible rms values of electric and magnetic field strength and the admissible doses specified in the Ordinance of 29 November 2002 issued by the Minister of Labour and Social Policy (3)

Zakres częstotliwości Frequency range [MHz]	E_0 (f) [V/m]	E_1 (f) [V/m]	E_2 (f) [V/m]	Dd_E (f) [(V/m) ² h]
f = 27,12	6,67	20,00	200,00	3 200,00
	H_0 (f) [A/m]	H_1 (f) [A/m]	H_2 (f) [A/m]	Dd_H (f) [(A/m) ² h]
	0,10	0,29	2,95	0,70

E_0 (f) — natężenie pola E o częstotliwości f, rozgraniczające strefę pośrednią od strefy bezpiecznej / strength of field E with frequency f, separating the intermediate zone from the safe zone; E_1 (f) — natężenie pola E o częstotliwości f, rozgraniczające strefę zagrożenia od strefy pośredniej / strength of field E with frequency f, separating the dangerous zone from the intermediate zone; E_2 (f) — natężenie pola E o częstotliwości f, rozgraniczające strefę niebezpieczną od strefy zagrożenia / strength of field E with frequency f, separating the hazardous zone from the dangerous zone; Dd_E (f) — doza dopuszczalna pola E o częstotliwości f / admissible dose of field E with frequency f; H_0 (f) — natężenie pola H o częstotliwości f, rozgraniczające strefę pośrednią od strefy bezpiecznej / strength of field H with frequency f, separating the intermediate zone from the safe zone; H_1 (f) — natężenie pola H o częstotliwości f, rozgraniczające strefę zagrożenia od strefy pośredniej / strength of field H with frequency f, separating the dangerous zone from the intermediate zone; H_2 (f) — natężenie pola H o częstotliwości f, rozgraniczające strefę niebezpieczną od strefy zagrożenia / strength of field H with frequency f, separating the hazardous zone from the dangerous zone; Dd_H (f) — doza dopuszczalna pola H o częstotliwości f / admissible dose of field H with frequency f.

W 2004 r. została opublikowana Dyrektywa 2004/40/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na ryzyko spowodowane polami elektromagnetycznymi (12). Kryteria do oceny ekspozycji pracownika na PEM oparte są na dwóch rodzajach wielkości:

- miarach wewnętrznych ekspozycji — niemierzalnych na stanowiskach pracy,
- miarach zewnętrznych ekspozycji — mierzalnych na stanowiskach pracy.

Miary wewnętrzne ekspozycji odnoszą się do maksymalnych skutków ekspozycji występujących wewnątrz ciała pracownika i opierają się na ustalonych skutkach zdrowotnych. Miarami wewnętrznymi ekspozycji są: gęstość prądu J i współczynnik SAR (W/kg) będący wielkością określającą szybkość pochłaniania właściwego

energii (Specific Absorption Rate — SAR). Nie można zmierzyć ich w rzeczywistych warunkach, możliwe jest co najwyżej ustalenie teoretyczne poprzez analizy i obliczenia. Miar tych nie można przekroczyć w żadnym wypadku. Są one stabelaryzowane i zależą od częstotliwości PEM. W tabeli 2. podano miary wewnętrzne dla ekspozycji zawodowej na PEM o częstotliwości 27,12 MHz.

Miary zewnętrzne ekspozycji stanowią wielkości mierzone bezpośrednio na stanowisku pracy i są to: natężenie pola E, natężenie pola H, a także prąd kontaktowy I_c i prąd indukowany I_L w kończynach pracownika. Dopuszczalne wartości miar zewnętrznych ekspozycji na PEM (zestawione w tabeli 3) obliczone zostały na podstawie granicznych wartości miar wewnętrznych według metodyki stosowanej przez Międzynarodową Komisję Ochrony przed Promieniowaniem Niejonizującym (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection — ICNIRP) (13).

Tabela 2. Dopuszczalne wartości miar wewnętrznych ekspozycji na PEM według Dyrektywy 2004/40/WE (12)

Table 2. EMF exposure limit values as specified by Directive 2004/40/EC (12)

Zakres częstotliwości Frequency range [MHz]	Wartość SAR uśredniona względem całego ciała Whole body averaged SAR [W/kg]	Miejscowa wartość SAR Local SAR value [W/kg]	
		w głowie i tułowie head and trunk	w kończynach limbs
f = 27,12	0,4	10	20

SAR — szybkość pochłaniania energii / specific absorption rate.



Tabela 3. Dopuszczalne wartości miar zewnętrznych ekspozycji na PEM według Dyrektywy 2004/40/WE (12)
Table 3. Admissible values of exposure to EMF (unperturbed rms values) as specified by Directive 2004/40/EC (12)

Zakres częstotliwości Frequency range [MHz]	Natężenie pola elektrycznego Electric field strength E [V/m]	Natężenie pola magnetycznego Magnetic field strength H [A/m]	Prąd kontaktowy Contact current I _c [mA]	Prąd indukowany w kończynach Current induced in limbs I _L [mA]
27,12	61	0,16	40	100

Ekspozycja pracowników na PEM oceniana jest na podstawie wyników pomiarów uśrednionej przestrzeni (w objętości ciała pracownika podlegającego ekspozycji) wartości skutecznej natężenia pola E i/lub H oraz prądu kontaktowego I_c i/lub prądu indukowanego I_L w kończynach. Ponadto wartości E², H² i I_L² powinny być uśrednione również w dowolnym okresie 6 minut. Nowoczesna aparatura firmy NARDA czy HOLADAY posiada opcje rejestracji i uśredniania wyników pomiarów, w tym również za czas 6 minut.

W 2007 r. Grupa Ekspertów ds. Pól Elektromagnetycznych na 55. posiedzeniu Międzyresortowej Komisji ds. Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynników Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy w dniu 19 czerwca 2007 r. zaproponowała zmodyfikowanie przepisów krajowych pod kątem ich harmonizacji z ww. dyrektywą, która aktualnie też jest modyfikowana (14–15). Projekt nowelizacji ww. przepisów wprowadza m.in. zmniejszenie wartości NDN pól magnetycznych o częstotliwości do 150 MHz oraz dołączenie wartości NDN prądu kontaktowego I_c i prądu indukowanego I_L w kończynach jako dopuszczalnych miar wewnętrznych (tab. 4).

Poszerzenie o 2 nowe parametry listy już obowiązujących 6 parametrów do badań i pomiarów PEM czyni ocenę warunków ekspozycji fizjoterapeutów na PEM

bardzo pracochłonną i kosztowną. Z dotychczasowych badań i pomiarów wynika, że okresowa kontrola PEM winna być prowadzona co najmniej raz w roku z uwagi na stosunkowo wysokie wartości natężenia tego pola tylko w miejscu wykonywania czynności uruchamiania aparatu do zabiegu, gdzie występują strefy ochronne, w tym zagrożenia (16,2). Powstaje pytanie, czy takie postępowanie jest tu zawsze uzasadnione, jeśli zważy się na dużą zmienność warunków ekspozycji z uwagi na rodzaj wykonywanych zabiegów (różne elektrody zabiegowe i ich ustawienie przestrzenne, różne nastawy mocy wyjściowej generatora), mobilną lokalizację aparatu oraz różne procedury obsługi aparatu podczas wykonywania zabiegów. Badania i pomiary PEM dla maksymalnych (zgodnie z normą metodyczną), a nie dla realnych warunków ekspozycji, po zmianie kryteriów częstotliwości wykonywania pomiarów PEM, budzą sprzeciw właścicieli ww. aparatów. Powodem są koszty ponoszone na działania nie mające wpływu na obniżenie ryzyka ekspozycji fizjoterapeutów na PEM.

Mając na uwadze powyższe ustalenia, podjęto badania, których celem jest uaktualnienie stanu wiedzy o realnej ekspozycji fizjoterapeutów na PEM oraz optymalizacja postępowania metodycznego i decyzyjnego poprzez zastosowanie:

Tabela 4. Dopuszczalne wartości natężenia pola elektrycznego i magnetycznego oraz doza dopuszczalna według projektu nowelizacji harmonizującej wymagania Rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. (3) z Dyrektywą 2004/40/WE (12)

Table 4. Admissible values of electric and magnetic field strengths and the admissible dose as specified in the Project of Amendment intended to harmonize the requirements of Minister of Labour and Social Policy Ordinance of 29 November 2002 (3) with those of Directive 2004/40/EC (12)

Zakres częstotliwości Frequency range [MHz]	E ₀ (f) [V/m]	E ₁ (f) [V/m]	E ₂ (f) [V/m]	Dd _E (f) [(V/m) ² h]	Prąd kontaktowy Contact current I _c [mA]	Prąd indukowany w kończynach Current induced in limbs I _L [mA]
27,12	6,67	20	200	3200	40	100
	H ₀ (f) [A/m]	H ₁ (f) [A/m]	H ₂ (f) [A/m]	Dd _H (f) [(A/m) ² h]		
	0,01	0,05	0,5	0,02		

Skróty jak w tabeli 1 / Abbreviations as in Table 1.



- nowoczesnej aparatury pomiarowej umożliwiającej identyfikację widma PEM wytwarzanego przez badane urządzenie, automatyczną rejestrację wyników pomiarów, w tym dotychczas niemierzonych w środowisku pracy prądów indukowanych I_L w kończynach,
- zmodyfikowanych metod pomiarowych,
- zmodyfikowanych metod oceniających ekspozycję zawodową na PEM.

W Polsce dotychczas nie wykonywano badań i pomiarów prądów indukowanych w kończynach fizjoterapeutów eksponowanych na PEM w realnych warunkach środowiska pracy.

MATERIAŁ I METODY

Do badania i pomiarów PEM wytwarzanego przez aparaty do diatermii KF zastosowano nowoczesną aparaturę pomiarową (serii NARDA i HOLADAY) umożliwiającą:

- analizę widma PEM wytwarzanego przez badane źródło PEM,
- automatyczną rejestrację wyników pomiarów natężenia PEM,
- automatyczne przestrzenne uśrednianie wartości natężenia PEM,
- automatyczne uśrednianie wyników natężenia PEM w zadanym czasie (od 4 s do 30 min).

W celach porównawczych zastosowano również aparaturę serii MEH z pośrednim odczytem mierzonych wartości natężenia PEM.

Do badania i pomiarów PEM stosowano metodę referencyjną zgodną z PN-T-06580-3:2002 (11) oraz metodę zmodyfikowaną, opracowaną na podstawie analizy dostępnych metod referencyjnych krajowych, europejskich i międzynarodowych oraz badań własnych i danych literaturowych (11,12,16–18). W celu przetestowania metody zmodyfikowanej badania i pomiary wykonano w warunkach laboratoryjnych, a następnie w realnych warunkach środowiska pracy. Badania i pomiary prądu indukowanego zostały wykonane za zgodą Komisji Bioetycznej.

Warunki laboratoryjne

Testowanie zmodyfikowanej metody pomiarowej i oceniającej ekspozycję na PEM przeprowadzono we własnym laboratorium, a źródłem pola był aparat do diatermii KF typu pojemnościowego. Zastosowana do pomiarów i oceny ekspozycji na PEM metoda zmody-

fikowana uwzględniała wartości skuteczne natężenia składowej elektrycznej (E) uśrednione przestrzennie oraz wartości prądu indukowanego w kończynach. Uśrednianie przestrzenne wyników pomiarów natężenia pola E przeprowadzono metodą energetyczną — opisaną m.in. w PN-EN 50357 i rekomendacji ECC (17,18) — z rozszerzeniem na całe ciało i kończyny fizjoterapeuty. W zaleceniach metodycznych do rekomendacji ICNIRP (13) w uśrednianiu przestrzennym sumuje się wyniki pomiarów niezależnie dla całego ciała i kończyn, a wybór punktów pomiarowych nie uwzględnia głowy.

$$E_{\text{spatial_ave}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} E_i^2}{n}} \quad (1)$$

gdzie:

$E_{\text{spatial_ave}}$ — uśredniona przestrzennie wartość natężenia pola elektrycznego,

E_i — wartość skuteczna natężenia pola elektrycznego w i -tym punkcie pomiarowym,

n — liczba punktów pomiarowych.

Dla celów porównawczych wykonano również pomiary metodą referencyjną, poszerzoną o procedurę uśredniania przestrzennego zmierzonych wartości skutecznych natężenia pola E .

Pomiary prądu indukowanego w kończynach I_L wykonano dla 3 osób symulujących pracę fizjoterapeuty w pobliżu konsoli aparatu do diatermii KF oraz elektrod zabiegowych. Punkty pomiarowe do badań szczegółowych wybrano: w miejscu ręki trzymanej nad konsolą aparatu (czynności rutynowe) oraz w pobliżu ww. elektrod (czynności interwencyjne). Rejestrowano wyniki pomiarów natężenia pola E w ww. punktach, a następnie wyniki pomiarów prądu indukowanego w nadgarstku osoby badanej. Za wynik pomiaru przyjmowano wartość skuteczną natężenia prądu.

Warunki środowiska pracy

Badaniami i pomiarami PEM objęto środowisko pracy 84 fizjoterapeutów w 17 oddziałach rehabilitacji szpitali i przychodni, w których stosowano 20 aparatów do diatermii KF typu pojemnościowego i indukcyjnego. Charakterystykę techniczną zbadanych aparatów zestawiono w tabeli 5. Na fotografii 1. przedstawiono przykładowe aparaty do diatermii KF z lokalizacją punktów pomiarowych do badań szczegółowych.



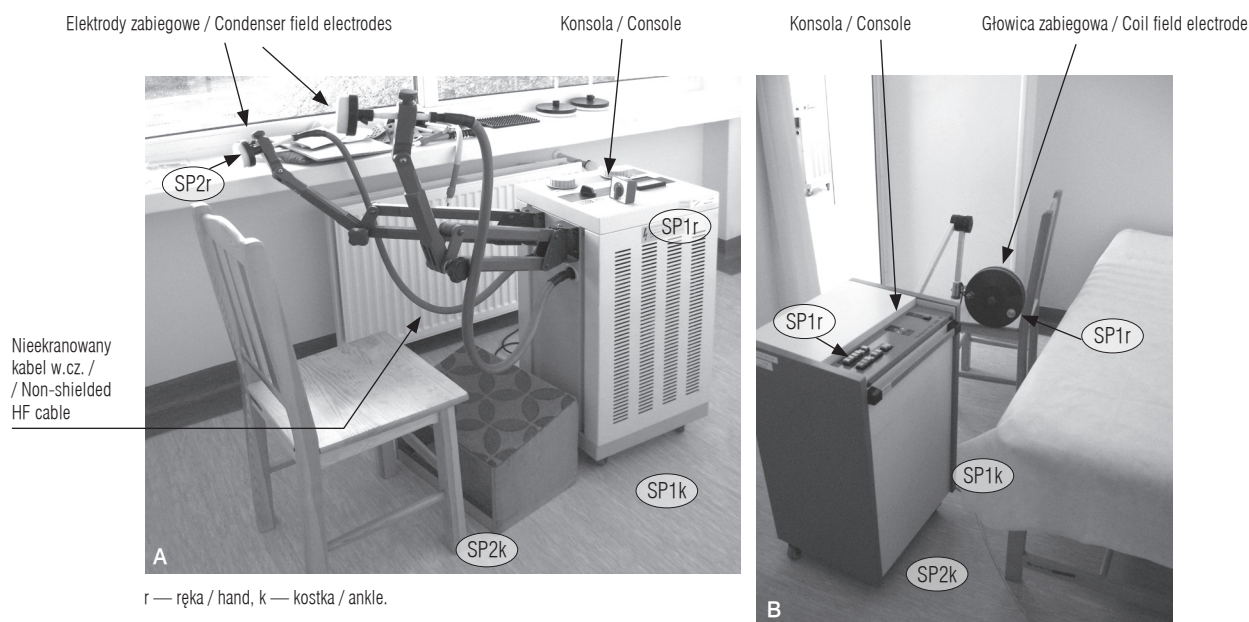


Tabela 5. Charakterystyka techniczno-eksploatacyjna badanych aparatów do diatermii KF wytwarzających PEM wielkiej częstotliwości
Table 5. Technical and operational characteristics of the studied short-wave (SW) diathermy units HF radiating EMF

Charakterystyka Characteristics	Aparat do diatermii Diathermy units					indukcyjny induction
	pojemnościowy capacitive					
Częstotliwość znamionowa / Operating frequency	27,12 MHz ±0,6%					27,12 MHz ±0,6%
Modulacja / Modulation	fala ciągła / continuous wave					fala impulsowa / pulse wave
Model / Model	SW 500	THERMA 2000	ERBOTHERM 1100P	THERMATUR 200	Diamat G110/G10	CURAPULS 670 TERAPULS GS 200/220
Moc wyjściowa / Output power [W]	500	500	400	200	350	200 1 000
Moc rzeczywista* / Actual power*	20–400	83–222	80	30	30	10 13–60
Współczynnik wypełnienia / Filling factor (WW) [%]	100	100	100	100	100	b.d. 0,9–6
Rodzaj elektrod zabiegowych / Sort of treatment electrodes applicators	dwie elektrody miękkie: 100×160 mm, dwie elektrody sztywne o średnicy 80 mm i 160 mm / two flexible condenser electrodes: 100×160 mm, two condenser electrodes 80 mm and 160 mm dia.	dwie elektrody sztywne o średnicy 120 mm / two condenser electrodes 120 mm dia.	dwie elektrody miękkie: 18×120 mm / two flexible condenser electrodes: 180×120 mm	dwie elektrody sztywne o średnicy 85 mm / two condenser electrodes 85 m dia.	dwie elektrody sztywne o średnicy 75 mm / two condenser electrodes 75 mm dia.	circuploide (eliptyczna) o wymiarach 310×115 mm oraz okrągła o średnicy 110 mm / / circuploide (elliptical) 310×115 mm and circular 110 mm dia. głowica zabiegowa o średnicy 250 mm / / coil field electrode 250 mm dia.
Zbadane aparaty / Tested units [n]	5	1	1	1	2	1 9

* Moc wyjściowa wynikająca z ustawień aparatu, lub uśredniona za okres powtarzania impulsów: $P_{\text{sr}} = P_{\text{p}} \times t_{\text{p}} \times f_{\text{p}}$ (P_{p} — moc szczytowa impulsów, t_{p} — czas trwania impulsów, f_{p} — częstotliwość powtarzania impulsów) / Output power, operator-adjusted or averaged over pulse repetition period: $P_{\text{sr}} = P_{\text{p}} \times t_{\text{p}} \times f_{\text{p}}$ (P_{p} — peak pulse power, t_{p} — pulse duration, f_{p} — frequency of pulse repetition).

b.d. — brak danych / no data.



Fot. 1. Wygląd ogólny aparatu do diatermii KF typu pojemnościowego (A) oraz typu indukcyjnego (B) z rozmieszczeniem punktów pomiarowych na stanowisku pracy fizjoterapeuty (SP) w miejscu usytuowania kończyn podczas wykonywania czynności rutynowych (SP1) i interwencyjnych (SP2).

Photo 1. General view of capacitive (A) and induction (B) units for SW diathermy showing the distribution of measurement points at the physiotherapist's workplace (SP) at the place of location of the limbs during routine (SP1) and intervention (SP2) procedures.

Zakres badań obejmował:

1. Pomiary natężenia pola E i H metodą referencyjną zgodną z PN-T-06580-3:2002 (11), w otoczeniu ww. aparatów oraz w miejscach wykonywania pracy przez fizjoterapeutów podczas czynności rutynowych i interwencyjnych w czasie realnych zabiegów diatermicznych. Rejestrowano maksymalne chwilowe wartości skuteczne natężenia PEM dla obu składowych E i H niezależnie oraz liczbę zabiegów i efektywny czas ekspozycji fizjoterapeuty na PEM. Określono zasięg stref ochronnych i wskaźnik ekspozycji W.
2. Pomiary natężenia pola E i prądów indukowanych metodą zmodyfikowaną (wykonane na szpitalnym oddziale rehabilitacji) podczas symulowanych rutynowych i interwencyjnych czynności fizjoterapeuty w czasie wykonywania zabiegu diatermicznego.

Badania i pomiary natężenia pola E oraz prądów indukowanych wykonano dla 16 fizjoterapeutów. Rejestrowano, niezależnie dla każdego z fizjoterapeutów, maksymalne chwilowe wartości skuteczne natężenia pola E na stanowisku pracy fizjoterapeuty w miejscach jego przebywania, z uwzględnieniem kończyn, tj. 0,15 m nad płytą czołową konsoli i w odległości 0,15 m od elektrod (kończyny górne, pkt SP1r i SP2r, fot. 1) oraz

na wysokości 0,15 m nad podłożem (kończyny dolne, pkt SP1k i SP2k, fot. 1). Rejestrowano także wyniki pomiarów prądu indukowanego z umieszczonego elementu pomiarowego (cegi pomiarowe) w okolicy nadgarstka dla kończyny górnej oraz okolicy kostki dla kończyny dolnej. Za wynik pomiaru przyjmowano wartość skuteczną natężenia prądu indukowanego.

Specyfikacja zastosowanej aparatury pomiarowej

Do pomiarów została zastosowana aparatura serii MEH oraz nowoczesne przyrządy pomiarowe firmy NARDA i HOLADAY, które umożliwiają automatyczną bieżącą analizę widmową PEM oraz bieżącą rejestrację wyników pomiarów PEM:

1. Do analizy widmowej PEM zastosowano sondę — analizator pola elektrycznego i magnetycznego typu EHP-200, umożliwiający analizę widmową z minimalną rozdzielczością 1 kHz przy szczegółowych pomiarach natężenia pola E i H w zakresie częstotliwości od 9 kHz do 30 MHz z minimalną rozdzielczością 0,01 V/m i 0,1 A/m. Pasma rozdzielające (resolution bandwidth — RBW): 1 kHz – 3 kHz – 10 kHz – 30 kHz – 100 kHz – 300 kHz. Rozszerzona niepewność pomiarowa obliczona ze współczynnikiem $k = 1,96$ wynosi 8%.



2. Do pomiarów natężenia pola E zastosowano:
 - szerokopasmowy miernik pola elektromagnetycznego typu MEH-25 (prod. Politechnika Wrocławska) z sondą izotropową typu 3 AE-1, który umożliwia pomiar natężenia tego pola od 0,6 V/m do 1000 V/m w zakresie częstotliwości od 0,1 MHz do 300 MHz. W tym zakresie względna niepewność rozszerzona, obliczona ze współczynnikiem $k = 2$ ww. zestawu, wynosi $\pm 0,142$ (14,2%),
 - szerokopasmowy miernik typu NBM-550 (nr seryjny B-0233, prod. NARDA) z izotropową sondą pomiarową typu EF-1891 (nr seryjny A-0196), który umożliwia pomiar natężenia pola E o wartościach 0,6–1000 V/m w zakresie częstotliwości 3 MHz – 18 GHz. Maksymalna rozszerzona niepewność pomiarowa obliczona ze współczynnikiem $k = 1,96$ wynosi 1,5 dB (19%).
3. Do pomiaru natężenia pola H zastosowano szerokopasmowy miernik typu NBM-550 (nr seryjny B-0233, prod. NARDA) z izotropową sondą pomiarową typu HF-0191 (nr seryjny A-0196), który umożliwia pomiar natężenia tego pola o wartościach 0,018–13 A/m w zakresie częstotliwości 27 MHz–1 GHz. Maksymalna rozszerzona niepewność pomiarowa obliczona ze współczynnikiem $k = 1,96$ wynosi 1,5 dB (19%).
4. Do pomiaru prądu indukowanego w kończynach zastosowano miernik cęgowy (typu Clamp-On) prądu indukowanego typu HI-4416 (prod. HOLADAY), który umożliwia pomiar natężenia prądu indukowanego o wartościach 3–1000 mA w zakresie częstotliwości 3 kHz–100 MHz. Maksy-

malna niepewność pomiarowa obliczona ze współczynnikiem $k = 2$ wynosi 0,84 dB (10%).

W Polsce dotychczas badań i pomiarów prądów indukowanych w kończynach fizjoterapeutów ekspozowanych na PEM w realnych warunkach środowiska pracy nie wykonywano.

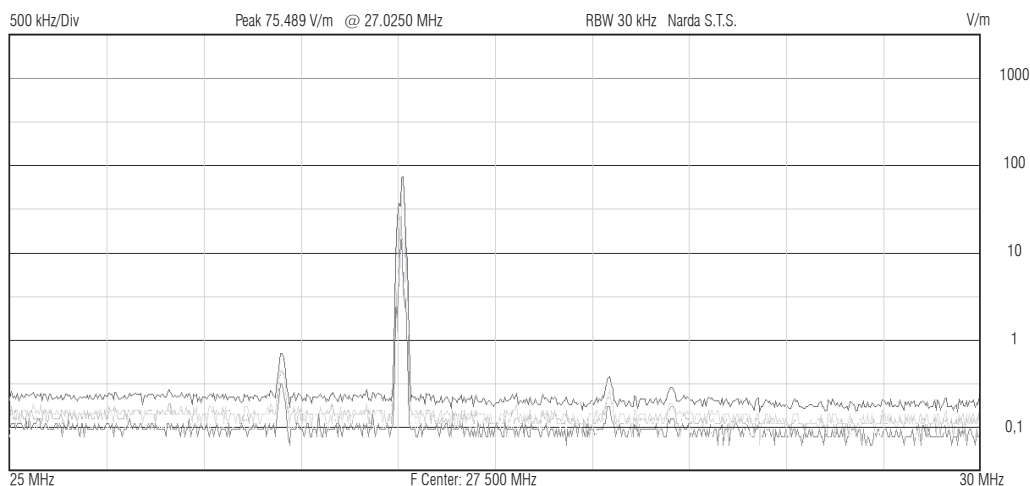
WYNIKI

Wyniki badań i pomiarów PEM w warunkach laboratoryjnych

Źródłem PEM do testowania zmodyfikowanej metody badań w warunkach laboratoryjnych (pomiar natężenia pola E w miejscu lokalizacji kończyn fizjoterapeuty oraz prądów indukowanych I_L w kończynach) był aparat do diatermii KF typu pojemnościowego (model Diamat G 110, nr fabryczny 76093, prod. Famed). Aparat pracował z dwiema elektrodami sztywnymi o średnicy 75 mm i wytwarzał PEM o fali ciągłej przy nastawie mocy w położeniu 4. Elektrody zabiegowe ustawione były w pozycji jak dla zabiegu na zatoki czołowe. Elektrody obciążonymi były fantomem (5-litrowy pojemnik z roztworem soli fizjologicznej).

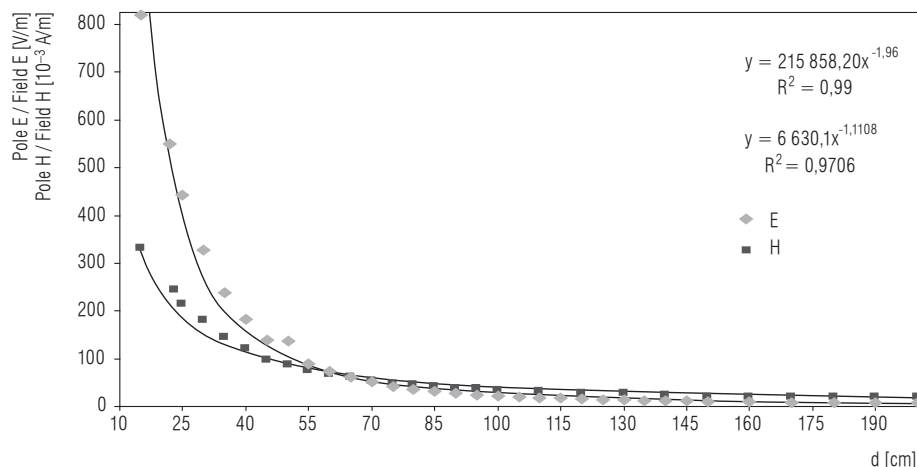
Przeprowadzona identyfikacja widma PEM wytwarzanego przez ww. aparat do diatermii wykazała, że pracował on z częstotliwością 27,03 MHz. Charakterystykę widmową jego pracy przedstawiono na rysunku 1. W celu określenia charakteru wytwarzanego PEM, wykonano pomiary punktowe natężenia pola E i H metodą referencyjną w funkcji odległości od bezpośredniego źródła PEM, tj. w osi elektrod zabiegowych.

Najwyższa zmierzona chwilowa wartość skuteczna natężenia pola E wynosiła 820 V/m w odległości 0,15 m



Ryc. 1. Charakterystyka widmowa PEM podczas pracy aparatu do diatermii KF (model Diamat G 110) w warunkach laboratoryjnych.
Fig. 1. Frequency spectrum characteristics of EMF during operation of a Diamat G 110 unit for SW diathermy in laboratory conditions.





Ryc. 2. Zależność natężenia pola E i H od odległości od elektrod aparatu do diatermii KF (model Diamat G 110) — elektrody sztywne o średnicy 75 mm, nastawa 4.

Fig. 2. Relationship between field strengths E and H and the distance from the electrodes of a Diamat G 110 SW diathermy unit (75 mm dia. condenser electrodes, setting 4).

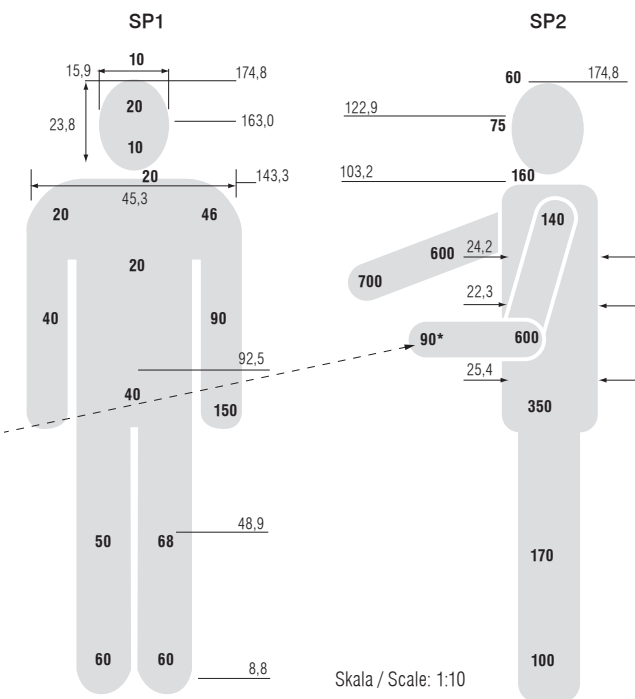
od elektrod i szybko malała z odległością. Dopiero w odległości powyżej 1 m od aparatu do diatermii KF wartości natężenia pola E były niższe niż NDN. Wyniki pomiarów przedstawiono na rycinie 2.

W otoczeniu ww. elektrod wykonano również pomiary natężenia pola E w funkcji wysokości nad podłożem, w pionie pomiarowym odpowiadającym stojącemu pracownikowi, w ustalonej odległości 0,5 m od elektrod. Na wysokości 1,51 m wartość skuteczna natężenia pola wynosiła 125 V/m, na 1,30 m — 350 V/m, na 0,5 m — 170 V/m, a na 0,15 m — 100 V/m, co wskazuje, że fizjoterapeuta podlega ekspozycji na pole niejednorodne pod względem intensywności natężenia. Aby porównać wyniki pomiarów realizowane metodą referencyjną i zmodyfikowaną zastosowano siatkę pomiarową modelu centylowego mężczyzny (19). W punktach obserwacyjnych odpowiadających miejscom wykonywania pracy przez fizjoterapeutę wykonane zostały szczegółowe pomiary natężenia pola E. Pomiary wykonano w 16 punktach zlokalizowanych na ww. siatce, umieszczanej kolejno w dwóch pionach pomiarowych usytuowanych odpowiednio:

- w odległości 0,25 m od konsoli na obudowie generatora — SP1 (miejsce czynności rutynowych — załączanie i nastawianie mocy generatora oraz czasu trwania danego zabiegu)
- w odległości 0,50 m od środka elektrod zabiegowych — SP2 (miejsce czynności interwencyjnych — korygowanie położenia elektrod).

Wyniki pomiarów maksymalnych chwilowych wartości natężenia pola E przedstawiono graficznie na rycinie 3. Uśrednione przestrzenne wartości skuteczne

natężenia pola E dla punktu SP1 i SP2 uzyskano w drodze obliczeń dla pomiarów realizowanych miernikiem serii MEH 25 oraz automatycznie z rejestracji wyników pomiarów miernikiem NBM 550. Przykładowe



Ryc. 3. Wyniki pomiarów natężenia pola E w punktach obserwacyjnych na modelu centylowym stojącego mężczyzny o wzroście 174,8 m symulującego fizjoterapeutę podczas czynności rutynowych (SP1) i interwencyjnych (SP2) przy aparacie do diatermii KF.

Fig. 3. Results of measurements of field strength E at observation points of a 174.8 m centile model of a standing male simulating the physiotherapist performing routine (SP1) and intervention (SP2) procedures at a SW diathermy unit.



wyniki uśrednionych przestrzennie wartości skutecznych natężenia pola E za pomocą miernika NBM-550 przedstawiono w tabeli 6. Uzyskane wartości natężenia pola E, uśrednione przestrzennie dla całego ciała modelu fizjoterapeuty, były porównywalne i wynosiły 62,28 V/m i 62,46 V/m. Najwyższa zmierzona wartość natężenia pola E uzyskana metodą dyskretną wynosiła 88,87 V/m, uśredniona przestrzennie — 62,46 V/m, a uśredniona dodatkowo za okres 6 min wynosiła już tylko 55,70 V/m.

Porównanie maksymalnych chwilowych wartości skutecznych natężenia pola E uzyskanych metodą referencyjną i zmodyfikowaną za pomocą miernika serii MEH 25 i NBM 550 dały zbliżone wyniki w punktach obserwacyjnych usytuowanych na modelu z siatki pomiarowej. Z kolei porównanie maksymalnych chwilowych wartości skutecznych natężenia pola E, uzyskanych metodą referencyjną z wartościami uśrednionymi przestrzennie $E_{\text{spatial_ave}}$ i czasowo, uzyskanymi metodą zmodyfikowaną, dało wyniki zaniżone w stosunku do metody referencyjnej, co było do przewidzenia ze względu na różne kryteria przyjęte do oceny ekspozycji na PEM (3,12,13). Metoda referencyjna przyporządkowana jest polskim przepisom o NDN, natomiast metoda zmodyfikowana oparta jest o wymogi dyrektywy 2004/40/EC.

Przeprowadzono porównanie oceny ekspozycji fizjoterapeuty na pole E na podstawie uzyskanych wyników badań metodą referencyjną i zmodyfikowaną. Analiza wyników pomiarów natężenia pola E uzyskanych metodą referencyjną wskazuje, że do oceny

ekspozycji fizjoterapeuty należy przyjąć: maksymalną wartość chwilową natężenia pola E dla czynności interwencyjnej SP2 680 V/m oraz dla czynności rutynowych SP1 76 V/m. Wskaźnik ekspozycji W (11) dla ekspozycji interwencyjnej przy założonym efektywnym czasie ekspozycji 1 min (2 interwencje po 30 s, W_{SP2}) wynosi 2,3, a ekspozycja sklasyfikowana została jako niebezpieczna. Wskaźnik ekspozycji W dla czynności rutynowych przy założonym efektywnym czasie ekspozycji 0,5 godz. (W_{SP1}) wynosi 0,9. Ekspozycja sklasyfikowana została jako dopuszczalna.

W przypadku przestrzennego uśrednienia wartości natężenia pola E metodą energetyczną dla płaszczyzny przekroju pionowego ciała fizjoterapeuty uzyskano wartość 49 V/m. Dla takiej wartości natężenia pola wskaźnik ekspozycji W dla SP1 wynosi tylko 0,4. Ekspozycję sklasyfikowano również jako dopuszczalną. O ile w pierwszym przypadku dopuszczalny limit ekspozycji został wyczerpany w 90%, o tyle w drugim tylko w 40%, a w konsekwencji ocena ekspozycji jest łagodniejsza.

Wyniki pomiarów prądu indukowanego w kończynach

Badania nowego parametru wprowadzonego Dyrektywą 2004/40/WE do oceny ekspozycji pracowników na PEM, jakim jest prąd indukowany, w kończynach I_L wykonano podczas symulacji rutynowych i interwencyjnych czynności fizjoterapeuty z wykorzystaniem aparatu do diatermii KF (model Diamat G 110). Pomiarzy zostały wykonane za pomocą miernika prądu indukowanego typu CLAMP ON u 3 osób (eksperymenty).

Tabela 6. Uśrednione przestrzennie wartości natężenia pola elektrycznego uzyskane miernikiem NARDA typ NBM-550 na stanowisku fizjoterapeuty (SP1) podczas symulowanego zabiegu aparatem do diatermii KF model Diamat G-110 w warunkach laboratoryjnych
Table 6. Spatial averaging of electric field strength values obtained by NBM-550 NARDA meter at the physiotherapist workplace (SP1) during simulated treatment with a Diamat G-110 SW diathermy unit in laboratory conditions

Ekspozowana część ciała Exposed body part	Natężenie pola elektrycznego Field strength value E [V/m]	
	metoda pomiarów / measurement method	
	ciągła continuous method	dyskretna discrete method
Głowa / Head	25,50	30,12
Tułów / Trunk	46,56	42,70
Wartość uśredniona dla głowy i tułowia / Spatial average for head and trunk	37,54	36,95
Kończyna górna / Upper limb	80,34	88,14
Kończyna dolna / Lower limb	96,70	88,87
Wartość uśredniona dla kończyn / Spatial average for limbs	88,89	88,51
Wartość uśredniona dla całego ciała / Spatial average for whole body	62,28	62,46



tatorów-pomiarowców) poprzez umieszczenie cęgów pomiarowych w okolicy nadgarstka (kończyna górna). Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 7.

Uzyskane wartości prądu indukowanego podczas czynności rutynowej wynosiły dla całego ciała od 3,5 mA do 7,0 mA (SP1), a podczas czynności interwencyjnej — od 7,7 mA do 45,0 mA (SP2) — i różniły się dla każdej z badanych osób, co wskazuje, że parametr ten jest miarą indywidualną ekspozycji na PEM.

WYNIKI BADAŃ I POMIARÓW PEM W ŚRODOWISKU PRACY

Wyniki rutynowych badań i pomiarów PEM aparatów do diatermii KF typu pojemnościowego

Metoda rutynowa badań i pomiarów PEM, zastosowana do 10 aparatów do diatermii KF typu pojemnościowego dla warunków ich pracy z falą ciągłą podczas

zabiegów diatermicznych, pozwoliła określić wartości chwilowe maksymalnego skutecznego natężenia pola E i H w miejscu wykonywania czynności przez fizykoterapeutę oraz zasięgi występowania stref ochronnych. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 8.

Najwyższe zmierzone wartości natężenia PEM dla całego ciała wynosiły:

- przy konsoli aparatu — E = 6,2–110 V/m, H = 0,01–0,20 A/m dla czynności rutynowych,
- przy elektrodach — E = 14–180 V/m, H = 0,04–0,40 A/m dla czynności interwencyjnych.

W czasie czynności interwencyjnych ręka fizjoterapeuty znajdowała się w PEM o wartościach natężenia: E = 150–900 V/m i H = 0,10–2,0 A/m. Wskaźnik ekspozycji W określony dla czynności rutynowych wynosił od 0,01 do 0,32 i wskazywał na ekspozycję dopuszczalną. Z kolei w przypadku czynności interwencyjnych wynosił do 1,26 dla całego ciała oraz

Tabela 7. Wyniki pomiarów pilotażowych prądu indukowanego I_L w kończynach górnych osoby badanej podczas symulacji czynności rutynowych i interwencyjnych przy aparacie do diatermii KF (model Diamat G-110) w warunkach laboratoryjnych
Table 7. Results of pilot measurements of current I_L induced in the upper limbs of the examined person during simulation of routine and intervention procedures in the close proximity of a Diamat G-110 diathermy unit in laboratory conditions

Miejsce pomiaru Measurement location	Prąd indukowany Induced current I_L [mA]		
	osoba 1 person 1	osoba 2 person 2	osoba 3 person 3
SP1 — podstawowy pion pomiarowy (konsola) / primary measurement point (control panel) console	7,0	6,0	4,0
SP1r — ręka w pobliżu konsoli / hand in close proximity of the control panel console	25,0	9,0	17,0
SP2 — podstawowy pion pomiarowy (elektrody) / primary measurement point (electrodes)	32,0	45,0	8,0
SP2r — ręka w pobliżu elektrod / hand in close proximity of the electrodes	200,0	281,0	313,0

Tabela 8. Zestawienie wyników pomiarów PEM oraz wskaźników ekspozycji W podczas czynności rutynowych i interwencyjnych fizjoterapeutów w warunkach środowiska pracy

Table 8. Comparison of results of EMF measurements and exposure W indicator during routine and intervention procedures performed by physiotherapists in the work environment

Typ aparatu do diatermii KF Type of SW diathermy unit	Zbadane urządzenia Tested units [n]	Maksymalne chwilowe wartości skuteczne natężenia PEM E [V/m]/H [A/m] oraz wskaźniki ekspozycji W Maximum momentary rms values of EMF strengths, E [V/m]/H [A/m] and exposure W indicator			
		całe ciało whole body		kończyny górne upper limbs	
		konsola control panel console	elektrody* electrodes*	konsola nastawy console control panel setting	elektrody* korekta ustawienia electrodes* adjustment of placement
Pojemnościowy / Capacitive	10	E: 6,20–110,00 H: 0,01–0,20 W: 0,01–0,32	E: 14,00–180,00 H: 0,02–0,04 W: 0,01–1,26	E: 3,80–110,00 H: 0,01–0,25 W: 0,01–0,14	E: 150,00–900,00 H: 0,10–2,00 W: 0,01–1,67

* Czynność interwencyjna / intervention procedure.



do 1,67 po uwzględnieniu ręki fizjoterapeuty i wskazywał na ekspozycję nadmierną. Zasięgi stref ochronnych wynosiły:

- niebezpieczna — dla pola E: do 0,65 m, dla pola H: nie występuje,
- zagrożenia — dla pola E: do 1,35 m, dla pola H: do 0,85 m,
- pośrednia — dla pola E: do 1,70 m, dla pola H: do 1,20 m.

Wyniki rutynowych badań i pomiarów PEM aparatów do diatermii KF typu indukcyjnego

Metoda rutynowa badań i pomiarów PEM zastosowana do 10 aparatów do diatermii KF typu indukcyjnego dla warunków ich pracy z modulacją impulsową podczas zabiegów diatermicznych pozwoliła określić wartości chwilowe maksymalnego skutecznego natężenia pola E i H w miejscu wykonywania czynności rutynowych przez fizykoterapeutę oraz zasięgi występowania stref ochronnych. Najwyższe zmierzone wartości natężenia PEM dla całego ciała wynosiły:

- przy konsoli aparatu — $E = 5,4\text{--}24 \text{ V/m}$, $H = 0,02\text{--}0,05 \text{ A/m}$,
- przy głowicy zabiegowej — $E = 10\text{--}160 \text{ V/m}$, $H = 0,07\text{--}0,70 \text{ A/m}$.

Z uwagi jednak na impulsowy charakter pracy diatermii typu indukcyjnego oraz stosowane do pomiarów mierniki dipolowo-diodowe uzyskane powyżej wartości natężenia PEM są niedoszacowane. Dla pól impulsowych podawany jest tzw. współczynnik wypełnienia (WW), który określany jest wzorem:

$$WW = t_i \times f_i \times 100\% \quad (2)$$

gdzie:

t_i — czas trwania impulsu,

f_i — częstotliwość powtarzania impulsów.

Współczynnik wypełnienia WW równy 100% odpowiada fali ciągłej. Ustalono, że w przypadku badanych przez nas aparatów wartość WW wynosiła 0,9–6,0%.

Stosowanie do pomiarów pól impulsowych wytwarzanych przez aparaty do diatermii typu indukcyjnego tzw. mierników dipolowo-diodowych kalibrowanych tylko w polach ciągłych powoduje, że pomiary te są

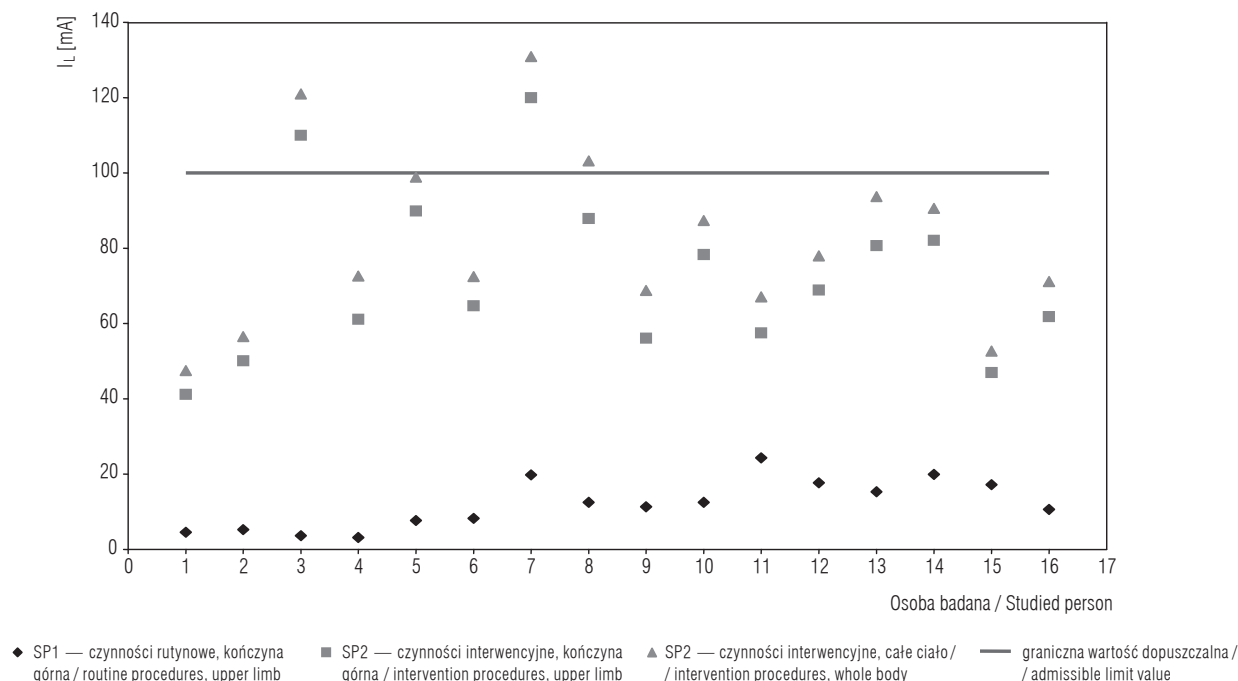
obarczone dużym błędem, który zależy od wartości ww. współczynników. Ustalono, że miernik typu MEH-25 zaniża mierzone wartości o ok. 35% i powinien być dodatkowo kalibrowany dla PEM impulsowych, wytwarzanych przez aparaty do diatermii KF, w szczególności typu indukcyjnego (20).

Wyniki badań i pomiarów natężenia pola E i prądów indukowanych w kończynach metodą zmodyfikowaną dla aparatów do diatermii KF typu pojemnościowego

W badaniach i pomiarach PEM w środowisku pracy zakres metody zmodyfikowanej ograniczono do rejestrowania maksymalnych chwilowych wartości skutecznych natężenia pola E w miejscu przebywania fizjoterapeuty oraz prądów indukowanych w jego kończynach I_L . Pomiary natężenia pola E realizowano podczas wykonywania czynności rutynowych i interwencyjnych w ściśle ustalonych punktach, w których również realizowano pomiary prądów indukowanych w kończynach. Źródłem PEM był aparat do diatermii KF typu pojemnościowego (model ERBOTHERM 1100P, nr fabryczny A 1248), stosowany na szpitalnym oddziale rehabilitacji.

Aparat pracował z dwiema elektrodami miękkimi o wymiarach $12 \times 18 \text{ cm}$ i wytwarzał PEM o częstotliwości $27,12 \text{ MHz} \pm 0,6\%$ i fali ciągłej, przy nastawie mocy 80 W. Elektrody zabiegowe, obciążone fantomem (5-litrowy pojemnik z roztworem soli fizjologicznej) ustawione były w pozycji jak dla zabiegu na staw kolanowy. Badania wykonano u 16 fizjoterapeutów zgodnie z opracowaną procedurą badań. Wyniki badań natężenia prądów indukowanych zmierzone w nadgarstku przedstawiono na rycinie 4. Wartości natężenia prądów indukowanych w nadgarstku fizjoterapeutów podczas wykonywania czynności interwencyjnych wynosiły 41–120 mA przy wartościach natężenia pola E równych 540–950 V/m. Wartości natężenia prądów indukowanych w kostkach (kończyny dolne) były niższe i wynosiły od nieco powyżej 4 mA do nieco powyżej 15 mA. Wartości natężenia prądu indukowanego dla całego ciała dla ww. warunków ekspozycji fizjoterapeutów na PEM (pole bliskie, silnie niejednorodne) wynosiły więc 48–131 mA i u 25% badanych fizjoterapeutów przekraczały wartość dopuszczalną według Dyrektywy 2004/40/EC.





Ryc. 4. Wyniki pomiarów prądu indukowanego I_L w kończynie górnej (nadgarstek) oraz dla całego ciała fizjoterapeutów ekspozowanych na PEM przy aparacie do diatermii KF (model ERBOTHERM 1100P) na szpitalnym oddziale rehabilitacji.
Fig. 4. Results of measurements of induced current I_L in the upper limb (wrist) and in the whole body of physiotherapists exposed to EMF at an ERBOTHERM 1100P SW diathermy unit in a hospital rehabilitation department.

OMÓWIENIE

Aparaty do terapii diatermicznej PEM z zakresu KF, powszechnie stosowane na świecie, wytwarzają w swoim otoczeniu pola o wysokich wartościach natężenia (21–23). Szacuje się, że liczba tych urządzeń w Polsce wynosi prawie 3 tys., a liczba korzystających z nich fizjoterapeutów dochodzi do 4,5 tys. (24). Mimo upływu kilkudziesięciu lat od wprowadzenia w Polsce systemu kontroli ekspozycji zawodowej na PEM nic nie zmieniło się w rozwiązaniach konstrukcyjnych ww. aparatów. Postulaty w tej sprawie krajowemu producentowi przedstawiał Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera w Łodzi. Obecnie aparaty do diatermii KF sprowadzane są głównie z Niemiec i Włoch. Nadal przyczyną występowania silnych PEM w ich otoczeniu są nieekranowane kable doprowadzające energię w.cz. z generatora do elektrod oraz produkowanie elektrod zabiegowych bez osłon. Nadal też uruchamianie aparatów odbywa się ręcznie. Warunki ekspozycji fizjoterapeutów na PEM należą do jednych z trudniejszych do oceny z uwagi na pole bliskie i silnie niejednorodne poziomy natężenia w miejscu ich przebywania.

Obserwuje się znaczący postęp w doskonaleniu aparatury pomiarowej do celów kontrolnych poziomu

PEM na stanowiskach pracy. Jednym z najpowszechniej stosowanych zestawów pomiarowych w Europie i na świecie są mierniki firmy Narda. Ich zastosowanie umożliwia m.in. identyfikację widma wytwarzanego PEM, co przy często spotykanym braku pełnych danych o aparacie do diatermii ma kluczowe znaczenie przy doborze właściwych sond pomiarowych i odpowiednich kryteriów do oceny ekspozycji fizjoterapeuty na PEM. Nie do przecenienia jest też cyfrowy odczyt wyników pomiarów natężenia PEM, możliwość tworzenia baz danych, ich przeglądania i zarządzania nimi.

W związku ze zbliżającą się koniecznością wdrożenia wymogów Dyrektywy 2004/40/EC do przepisów krajowych interesujące było również porównanie w praktyce metod pomiarowych i oceniających ekspozycję zawodową na PEM stosowanych w krajach UE, które przyjęły rekomendacje ICNIRP (13,17–18), ze stosowanymi w Polsce. W wyniku porównań przeprowadzonych w warunkach laboratoryjnych stwierdzono, że tak przeprowadzona ocena ekspozycji jest aż o 36–42% łagodniejsza niż przyjmowana do oceny ekspozycji w Polsce. Ponadto stosowany w Polsce współczynnik ekspozycji W jako miara ekspozycji pracownika pozwala ją sklasyfikować jako niebezpieczną, nadmierną, dopuszczalną czy pomijalną. Ma to duże znaczenie



praktyczne, np. w ostrzeganiu pracownika o ograniczonym czasie przebywania w otoczeniu źródeł PEM, a dla służb do spraw bezpieczeństwa i higieny pracy jest miarą oceny ryzyka ekspozycji na PEM. Z uwagi na nierozstrzygnięte jednoznacznie ustalenia ekspertów odnośnie do negatywnych skutków długotrwałego oddziaływania PEM na zdrowie pracowników, w tym fizjoterapeutów, przyjęcie innych metod pomiarowych niż dotychczas stosowane w Polsce jest nieuzasadnione. Wyjątkiem może być tylko pomiar natężenia prądu indukowanego w kończynach, który wnosi interesujące informacje o poziomie ekspozycji na PEM w przypadku aparatów obsługiwanych ręcznie.

Innym problemem, dotychczas nierozwiązanym zadowalająco, jest stosowanie mierników z sondami dipolowo-diodowymi do pomiarów PEM o częstotliwości poniżej 100 MHz, modulowanych impulsowo. Źródłem takich pól są m.in. aparaty do diatermii KF typu indukcyjnego (popularne terapulsy). Badania i pomiary natężenia PEM w realnych warunkach środowiska pracy ujawniły, że ocena ekspozycji fizjoterapeutów przy stosowaniu aparatów do diatermii KF tego typu, pracujących z modulacją impulsową, jest niedoszacowana w przypadku stosowania do pomiarów mierników dipolowo-diodowych serii MEH (35%) oraz przeszacowana w przypadku stosowania mierników Narda (15%) (20). Wielkość tego błędu zależy od tzw. współczynnika wypełnienia (WW) sygnału wytwarzanego przez wymienione aparaty do diatermii. Producent aparatury serii Narda opracował dla sond diodowych krzywe kalibracyjne (25). Podobnie powinien opracować producent sond do mierników serii MEH.

Nowym parametrem, wprowadzonym Dyrektywą 2004/40/EC do oceny ekspozycji na PEM z zakresu częstotliwości 10–110 MHz, jest pomiar prądów indukowanych w kończynach (I_L). Prąd indukowany I_L to prąd przepływający wewnątrz ciała osoby ekspozowanej bezpośrednio na zewnętrzne PEM. W tym zakresie mieszczą się częstotliwości przydzielone dla urządzeń medycznych KF. Za zgodą Komisji Bioetycznej Instytutu Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera w Łodzi wykonano pomiary prądów indukowanych w kończynach 16 fizjoterapeutów, w realnych warunkach środowiska pracy. Ponieważ PEM przyjmują najwyższe wartości natężenia w miejscu trzymania kończyn, głównie dłoni fizjoterapeuty, możliwość pomiaru prądów indukowanych może być nie do przecenienia w dyskusji dotyczącej z jednej strony metod pomiarowych i oceniających ekspozycję fizjoterapeuty na PEM, a z drugiej — doprecyzowania decyzji podejmowanych

odnośnie do dopuszczalności wykonywania czynności interwencyjnych (korekta elektrod podczas zabiegu), jeżeli zachodzi taka potrzeba.

Wartości natężenia prądów indukowanych mierzone w kończynach górnych fizjoterapeuty w czasie czynności interwencyjnych wynosiły 41–120 mA, a poziom dopuszczalny przekroczony był u 12,5% i był zależny osobniczo. Jeżeli za wartość prądu indukowanego w całym ciele fizjoterapeuty przyjmiemy sumę wartości dla kończyn dolnych i górnych, to poziom dopuszczalny zostanie przekroczony u 25% badanych i dyskusyjna jest dopuszczalność czynności interwencyjnych podczas zabiegu diatermicznego. Pomiary natężenia prądów indukowanych w kończynach fizjoterapeutów, w realnych warunkach środowiska pracy, nie były dotąd prowadzone w Polsce. Pomiary prądów indukowanych w kończynach są działaniem poszerzającym informację o rzeczywistym narażeniu pracownika, szczególnie jeśli wymagana jest obsługa ręczna źródeł PEM. Wobec braku formalnych procedur dotyczących metody pomiarów i oceny ekspozycji pracowników na PEM na podstawie pomiarów prądów indukowanych w kończynach powyższe dane należy odnosić tylko do warunków eksperymentu naukowego. Trwają prace mające zdecydować o przydatności pomiarów i oceny ww. parametru w zastosowaniu praktycznym do oceny ekspozycji.

Podsumowując aktualny stan wiedzy o rzeczywistej ekspozycji fizjoterapeutów na PEM w oparciu o przeprowadzone badania, ustalono, że najwyższe zmierzone wartości pola elektrycznego (E) i magnetycznego (H) wynosiły:

- dla całego ciała fizjoterapeuty przy konsoli — E do 200 V/m, H do 0,20 A/m i nie przekraczały wartości granicznej dla strefy zagrożenia i niebezpiecznej, a wskaźnik ekspozycji W dla czynności rutynowych dochodził do 0,32;
- dla całego ciała fizjoterapeuty przy elektrodach — E do 180 V/m, H do 0,40 A/m i przekraczały wartość graniczną dla strefy zagrożenia i niebezpiecznej — w czasie czynności interwencyjnych ręka fizjoterapeuty znajduje się w PEM o wartościach natężenia: E od 150 V/m do 900 V/m i H od 0,1 A/m do 2,0 A/m; wskaźnik ekspozycji W dla czynności interwencyjnych dochodził do 1,67, a ekspozycja została sklasyfikowana jako nadmierna.

Rozporządzenie Ministra Zdrowia o częstotliwości pomiarów (2) w odniesieniu do PEM wprowadza jako kryterium wystąpienie stref ochronnych. W przypadku aparatów do diatermii KF dla realnych,



a nie maksymalnych z możliwych mocy wyjściowych generatora występowanie strefy ochronnej pośredniej w podstawowym pionie pomiarowym fizjoterapeuty (bez uwzględniania rąk) stwierdzano w 80% przypadków. Obliguje to do pomiarów kontrolnych co 2 lata. Występowanie strefy zagrożenia stwierdzano w 60% przypadków, co narzuca obowiązek pomiarów kontrolnych co roku. Takie postępowanie jest prawnie obowiązujące i kosztowne, ale nie poprawia warunków pracy. Wyniki przeprowadzonych badań i pomiarów PEM oraz ocena ekspozycji fizjoterapeutów poszerzona o pomiary natężenia prądów indukowanych w kończynach stanowią wystarczające podstawy do zaproponowania zmian w zakresie postępowania metodycznego i decyzyjnego. Obowiązujący zakres pomiarów oraz metody badań i pomiarów PEM dla celów oceny ekspozycji zawodowej fizjoterapeuty są bardzo pracochłonne i wymagają optymalizacji działań.

Proponuje się wprowadzenie dwustopniowych pomiarów kontrolnych PEM:

- obowiązkowe/obligatoryjne — po zainstalowaniu aparatu do diatermii KF, dla wszystkich zadeklarowanych rodzajów zabiegów diatermicznych oraz każdorazowo po wprowadzeniu nowych rodzajów zabiegów — pełny zakres badań i pomiarów PEM, tj. określenie zasięgów występowania stref ochronnych, określenie wskaźnika ekspozycji W na podstawie pomiarów pola E i H dla czynności rutynowych i interwencyjnych, z uwzględnieniem ekspozycji całego ciała i kończyn;
- decyzyjne/okresowe — na żądanie użytkownika, ograniczone do kontroli wskaźnika ekspozycji W (stąd wynika kontrola poziomu natężenia pola E i H ograniczona tylko do miejsc przebywania fizjoterapeuty, podczas wykonywania czynności rutynowych i interwencyjnych z uwzględnieniem ekspozycji całego ciała i kończyn).

Okresowość pomiarów kontrolnych PEM powinna zależeć od wartości wskaźnika ekspozycji W, a decyzję podejmuje użytkownik aparatów do diatermii PEM, po konsultacji z zakładowymi służbami do spraw bezpieczeństwa i higieny pracy oraz lekarzem sprawującym profilaktyczną opiekę zdrowotną nad fizjoterapeutami.

O roli wskaźnika ekspozycji W jako kryterium częstotliwości pomiarów PEM na stanowiskach pracy dyskutowano w 2006 r. przy planowaniu zmian zapisów dotyczących częstotliwości wykonywania pomiarów kontrolnych zawartych w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2005 r., w którym kryte-

rium stanowiła wartość NDN (26). Instytut Medycyny Pracy w Łodzi jako kryterium zaproponował wartość wskaźnika ekspozycji W (27). W zmienionym rozporządzeniu z 2011 r. za kryterium przyjęto strefy ochronne PEM, które *de facto* są oceną urządzenia, a nie wielkości ekspozycji pracownika na PEM (2). Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w odniesieniu do PEM jest powszechnie krytykowane i wymaga kolejnej nowelizacji.

WNIOSKI

1. Przeprowadzone badania i pomiary natężenia PEM dla aparatów do diatermii KF z zastosowaniem nowoczesnej aparatury kontrolno-pomiarowej serii Narda dostarczyły aktualnych danych o realnej ekspozycji fizjoterapeutów na te pola.
2. W przypadku stosowania mierników z sondami diodowo-dipolowymi do badania i pomiarów PEM do aparatów do diatermii KF wytwarzających sygnały modulowane impulsowo należy stosować krzywe kalibracji uwzględniające tzw. współczynniki wypełnienia z uwagi na wysokie błędy pomiarowe, które wynikają z niedoszacowania lub przeszacowania mierzonych wartości natężenia PEM.
3. Uzyskane wartości prądów indukowanych w kończynach fizjoterapeutów podczas wykonywania przez nich czynności interwencyjnych (przekroczenie NDN w 25% przypadków) dostarczyło dodatkowych informacji o realnym zagrożeniu dla takich warunków pracy spotykanych w praktyce.
4. Wysokie wartości natężenia PEM w miejscach przebywania fizjoterapeutów podczas czynności rutynowych w 80% przypadków wymagają pomiarów co 2 lata, a w 60% przypadków pomiarów co roku. Pomiary PEM są w przypadku aparatury do diatermii KF szczególnie pracochłonne i kosztowne, a jednocześnie nic nie wnoszą do poprawy warunków pracy. Zaproponowano optymalizację działań decyzyjnych poprzez wprowadzenie dwustopniowych pomiarów kontrolnych PEM.

PIŚMIENNICTWO

1. Ustawa z dnia 26 czerwca 1974 r. Kodeks pracy. DzU z 1974 r. nr 24, poz. 141 z późn. zm.
2. 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



3. 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. Załącznik 2, część E. Pola i promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu częstotliwości 0 Hz–300 GHz. DzU z 2002 r. nr 217, poz. 1833
4. 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
5. Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 30 maja 1996 r. w sprawie przeprowadzenia badań lekarskich pracowników, zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydawanych do celów przewidzianych w Kodeksie pracy. DzU z 1996 r. nr 69, poz. 332
6. PN-T-06580-1:2002. Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym w zakresie częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz. Część 1. Terminologia
7. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 lipca 2002 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym. DzU z 2002 r. nr 27, poz. 1091
8. 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
9. PN-74/T-06260. Źródła promieniowania elektromagnetycznego. Znaki ostrzegawcze
10. PN-93/N-01256/03/Az 2:2001. Znaki bezpieczeństwa. Ochrona i higiena pracy (Zmiana Az 2)
11. PN-T-06580-3:2002. Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym w zakresie częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz. Część 3. Metody pomiaru i oceny pola na stanowisku pracy
12. Directive 2004/40/EC of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on the minimum Health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields) (18th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC). Off. J. EC L, 159.30.04.04
13. ICNIRP: Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). Health Phys. 1998;74(4):494–522
14. Karpowicz J., Bortkiewicz A., Gryz K., Kubacki R., Wierdkiewicz R.: Pola i promieniowanie elektromagnetyczne o częstotliwości z zakresu 0 Hz–300 GHz. Dokumentacja nowelizacji harmonizującej dopuszczalny poziom ekspozycji pracowników z wymaganiem dyrektywy 2004/40/WE. Podst. Met. Oceny Środ. Pr. 2008;4:7–14
15. European Commission: Consultation of social partners, second stage of consultation of the social partners on the protection of workers from the risk related to exposure to electromagnetic fields at work. C(2010)3250 final. Brussels, 20.5.2010
16. Mariańska M.: Ocena ekspozycji na pole elektromagnetyczne przy urządzeniach stosowanych w fizykoterapii [praca magisterska]. Uniwersytet Łódzki, Łódź 2009
17. PN-EN 50357:2004. Ocena ekspozycji ludzi w polach elektromagnetycznych urządzeń wykorzystywanych do elektronicznej ochrony artykułów (EAS), identyfikacji drogą radiową (RFID) i tym podobnych zastosowań
18. ECC, CEPT: ECC/REC/(02)04. Revised ECC recommendation (02)04. Measuring Non-Ionizing Electromagnetic Radiation (9 kHz–300 GHz). Electronic Communications Committee, European Conference of Postal and Telecommunications Administrations, October 2003
19. Gedliczka A., Pochopień P.: Atlas miar człowieka: dane do projektowania i oceny ergonomicznej: antropometria, biomechanika, przestrzeń pracy, wymiary bezpieczeństwa. CIOP, Warszawa 2001
20. Kubacki R., Kieliszek J., Sobiech J., Puta R.: Metrologia pól elektromagnetycznych modulowanych impulsowo miernikami diodowymi. Med. Pr. 2007;58(1):57–62
21. Martin C.J., McCallum H.M., Strelley S., Heaton B.: Electromagnetic fields from therapeutic diathermy equipment: a revive of hazards and precautions. Physiotherapy 1991;77:3–7
22. Macca I., Scapellato M.L., Carrieri M., Pasqua di Bisceglie A., Saia B., Bartolucci G.B.: Occupational exposure to electromagnetic fields in physiotherapy departments. Radiat. Prot. Dosimetry 2008;128(2):180–190
23. Li C.Y., Feng C.K.: An evaluation of radiofrequency exposure from therapeutic diathermy equipment. Ind. Health 1999;37:465–468
24. Prowadzenie Centralnego Rejestru Źródeł Emisji Pól Elektromagnetycznych dla celów higieniczno-sanitarnych. Centralny System Informatyczny Kontroli Źródeł Pól Elektromagnetycznych (Baza Danych o Źródłach PEM). Druk statystyczny MZ-52 za rok 2003: Ochrona przed polami elektromagnetycznymi 0 Hz–300 GHz w środowisku pracy. Sprawozdanie z realizacji tematu nr IMP-01/04. Instytut Medycyny Pracy, Łódź 2004 [praca niepublikowana]
25. Narda Safety Test Solutions: Technical Note 2. Standards-compliant test of non-ionizing electromagnetic radiation on radar equipment. Annex 1. RMS response of E-field probes with diode detectors to pulsed RF signals [cytowany 25 lipca 2011]. Adres: http://www.narda-sts.de/pdf/personenschutz/Radar_appl_engl.pdf



26. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2005 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU z 2005 r. nr 73, poz. 645
27. Aniołczyk H., Zmysłony M.: Wymagania przepisów dotyczących ochrony pracowników przed polami elektromagnetycznymi występującymi w środowisku pracy. Med. Pr. 2006;57(2):161–170

