

Jolanta Karpowicz
Krzysztof Gryz
Wiesław Leszko
Patrik Zradziński

ZOBIEKTYWIZOWANA OCENA NARAŻENIA CHIRURGÓW NA RADIOFALOWE POLA ELEKTROMAGNETYCZNE – W KONTEKŚCIE CZASU NARAŻENIA ORAZ POLSKICH I ZNOWELIZOWANYCH MIĘDZYNARODOWYCH WYMAGAŃ DOTYCZĄCYCH OCHRONY PRACOWNIKÓW

OBJECTIVIZED EVALUATION OF SURGEONS EXPOSURE TO RADIOFREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS –
IN THE CONTEXT OF EXPOSURE DURATION AND POLISH AND NEW INTERNATIONAL REQUIREMENTS
REGARDING WORKERS PROTECTION

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy / Central Institute for Labour Protection –
National Research Institute, Warszawa, Poland
Pracownia Zagrożeń Elektromagnetycznych / Laboratory of Electromagnetic Hazards

STRESZCZENIE

Wstęp: Wykorzystanie diatermii chirurgicznej w zabiegach operacyjnych związane jest z emisją pola elektromagnetycznego, które podlega ocenie ze względu na wymagania przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy. **Materiał i metody:** Monitoring charakterystyki narażenia chirurgów wykonano w czasie 11 operacji (resekcja: odbytnicza, wątroby, guza pęcherza moczowego, migdałków, udrożnienie tętnicy i zabiegi laparoskopowe), wykorzystując rejestrator czasu rzeczywistej aktywności monopolarnych diatermii chirurgicznych w czasie zabiegów. Wykonano również badania wartości skutecznej natężenia pola elektrycznego i magnetycznego przy różnych trybach pracy urządzeń (moc: 55–150 W, częstotliwość: 330–445 kHz przy cięciu; 40–240 W, 335–770 kHz przy koagulacji). Dla każdej operacji oceniono parametry statystyczne rozkładu czasu użycia diatermii w okresie dowolnych 6 min (zgodnie z międzynarodowymi zaleceniami dotyczącymi ochrony przed niepożądanymi skutkami termicznymi oddziaływania pola elektromagnetycznego). **Wyniki:** Natężenie pola elektrycznego, zmierzone 10 cm od kabla zasilającego elektrodę czynną, wynosiło 147–675 V/m przy cięciu i 297–558 V/m przy koagulacji, a magnetycznego nie przekraczało 0,2 A/m przy obu trybach. Monitoring pracy diatermii w czasie operacji wykazał ich wykorzystanie w zakresie 5–66% czasu w ciągu początkowych 3 min zabiegu, 3–40% – w ciągu początkowych 6 min. Rozkład współczynnika ich wykorzystania podczas dowolnych 6-minutowych okresów charakteryzuje zakres: 0–12% (mediana) / 7–43% (wartość maksymalna). **Wnioski:** Rzeczywisty czas użycia diatermii chirurgicznej w czasie zabiegów jest zdecydowanie krótszy niż deklarowany przez pracowników. Przy co najmniej 15-centymetrowej odległości pracowników od kabli łączących elektrody z generatorem wymagania przepisów krajowych odnośnie do dopuszczalnego poziomu ekspozycji są spełnione. Ocena lokalnych narażeń w dłoni wymaga szczegółowej analizy rozkładu współczynnika SAR i dalszych badań. Med. Pr. 2013;64(4):487–501

Słowa kluczowe: ekspozycja zawodowa, pole elektryczne, dyrektywa Europejska 2013/35/UE, urządzenia medyczne

ABSTRACT

Background: Use of electro surgery units (ESU) in surgeries is linked with electromagnetic field emission, which is assessed according to the requirements of occupational health and safety legislation. **Material and Methods:** Surgeons' exposure characteristics was monitored during 11 surgeries (proctectomy, patency of artery, hepatectomy, cystectomy, tonsilectomy, laparoscopy) by real time of monopolar ESU activity recorder. Investigations of root-mean-square value of electric and magnetic field strength was also performed at various modes of ESU operations during cutting (output power, 55–150 W; frequency, 330–445 kHz) and coagulating (40–240 W, 335–770 kHz). Statistical parameters of distribution of ESU operation over any 6-min periods (according to international requirements regarding protection against adverse thermal effects of electromagnetic field) were assessed. **Results:** Electric field strength, measured 10 cm from the cable supplying an active electrode was 147–675 V/m during cutting and 297–558 V/m during coagulating; magnetic field strength was less than 0.2 A/m in both modes. Monitoring of ESUs showed the following ranges of their operation during surgeries 5–66% of time over starting 3 min of surgery, 3–40% over starting 6 min, and the distribution of their use over any 6-min periods 0–12% (median) / 7–43% (maximum value). **Conclusions:** The real operation time of ESUs

during surgeries was significantly shorter than that declared by workers. The distance of at least 15 cm between cables, connecting electrodes with generator and workers meets the requirements of the Polish legislation on permissible exposure limits. The assessment of localized exposure of the hand needs a detailed analysis of the SAR ratio distribution and further studies are required. *Med Pr* 2013;64(4):487–501

Key words: occupational exposure, electric field, European Directive 2013/35/EU, medical devices

Autorka do korespondencji / Corresponding author: Jolanta Karpowicz, Pracownia Zagrożeń Elektromagnetycznych, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, e-mail: jokar@ciop.pl
Nadesłano: 13 czerwca 2013, zatwierdzono: 21 sierpnia 2013

WSTĘP

Radiofale pola elektromagnetyczne już od lat 50–70. ubiegłego wieku zaliczane są do szkodliwych czynników środowiska pracy w związku z zaobserwowanymi niepożądanymi skutkami ich oddziaływania na ludzi (1). Badania dotyczące zagrożeń zdrowia związanych z oddziaływaniem takich pól dotyczyły najczęściej osób zatrudnionych przy obsłudze różnego typu obiektów radionadawczych – radiowo-telewizyjnych, mobilnej łączności, systemów radarowych itp. (2). W innych sektorach gospodarki urządzenia wytwarzające pola elektromagnetyczne radiofale stosowane są m.in. do medycznych zabiegów fizyioterapeutycznych i do plastycznej obróbki dielektryków (3).

Niepożądane skutki zdrowotne stwierdzone u pracowników obsługujących takie urządzenia to: u pracowników obsługujących średniofale obiekty nadawcze – m.in. zaburzenie funkcjonowania układu krążenia i regulacji neurovegetatywnej, u pracowników obsługujących zgrzewarki dielektryczne – m.in. zaburzenia układu krążenia, bóle głowy, objawy zmęczenia, zaburzenia snu, a u wieloletnich (dłużej niż 10 lat) intensywnych użytkowników telefonów komórkowych – m.in. zwiększona zachorowalność na niektóre rodzaje nowotworów (guzy mózgu, nowotwory układu krwiotwórczego i limfatycznego) (4–7).

Do źródeł pola elektromagnetycznego o częstotliwościach radiofale należą również diatermie chirurgiczne, wykorzystywane powszechnie przy zabiegach operacyjnych (8–13). Urządzenia takie wyposażone są w generator wysokiego napięcia, przykładanego między elektrodę bierną, mocowaną na stałe do ciała pacjenta, a elektrodę czynną monopolarną stanowiącą skalpel elektryczny, którego uchwyt trzymany jest w dłoni przez chirurga wykonującego zabieg. Prąd elektryczny przepływający między elektrodami powoduje w pobliżu elektrody czynnej przegrzanie tkanek pacjenta, umożli-

wiające zarówno cięcie (tryb pracy CUT), jak i koagulację (tryb pracy COAG) tkanek miękkich. Do niektórych zabiegów stosowane są również elektrody bipolarne zabiegowe, przy których użyciu w uchwycie trzymanym przez chirurga znajdują się obie elektrody.

Pierwotnym źródłem pola elektromagnetycznego przy aktywnej diatermii chirurgicznej jest obwód wysokonapięciowy, w którym przepływa prąd elektryczny między elektrodami – tworzony przez przewody łączące generator urządzenia elektrochirurgicznego z elektrodą zabiegową i elektrodą bierną (kable zasilające elektrodę czynną i bierną). Współczesne generatory diatermii chirurgicznych najczęściej nie są istotnym źródłem pola dzięki właściwemu ekranowaniu elektromagnetycznemu.

Skutkiem wykorzystania diatermii chirurgicznych jest narażenie chirurgów na pole elektromagnetyczne, którego poprzez działania organizacyjne nie można skutecznie wyeliminować. W innej sytuacji są pozostali pracownicy zespołu zabiegowego, których narażenie jest uzależnione od przestrzennej organizacji pola operacyjnego – często podlegają oni narażeniom wielokrotnie mniejszym niż chirurdzy. Z uwagi na powszechność wykorzystania tego rodzaju urządzeń w placówkach ochrony zdrowia problem narażenia i jego właściwej oceny może dotyczyć stosunkowo dużej grupy pracowników (szacunkowo na podstawie danych NFZ dotyczących usług medycznych w Polsce – 15 tys. osób).

Nieliczne dane na temat charakterystyki narażenia na pola elektromagnetyczne pracowników przy zabiegach chirurgicznych zostały opublikowane z uwzględnieniem identyfikacji częstotliwości i zmienności w czasie pola, wytwarzanego przez diatermie chirurgiczne, oraz poziomu i rozkładu przestrzennego narażenia (9,10,12–17). Analizowano również prądy elektryczne przepływające w ciele chirurga i pracowników asystujących w czasie zabiegów (9–11,15,18). Wspomniane dane o narażeniu pracowników wyko-

nujących zabiegów z wykorzystaniem diatermii chirurgicznych pozyskano w czasie badań laboratoryjnych lub w rzeczywistych miejscach eksploatacji diatermii, ale z wykorzystaniem fantomów symulujących ciało pacjenta.

Reprezentatywne dane pomiarowe na temat profilu wykorzystania diatermii w czasie zabiegów są niedostępne, ponieważ komercyjna aparatura używana w ocenie narażenia na pola elektromagnetyczne nie umożliwia wykonania badań pierwotnego pola elektromagnetycznego w czasie rzeczywistych zabiegów. Wynika to zarówno z wymagań higienicznych w salach operacyjnych, jak i ograniczeń dotyczących organizacji procesu pomiarów (zespół pomiarowy nie może zakłócać pracy chirurgów przebywających przy pacjencie i diatermii chirurgicznej w czasie operacji).

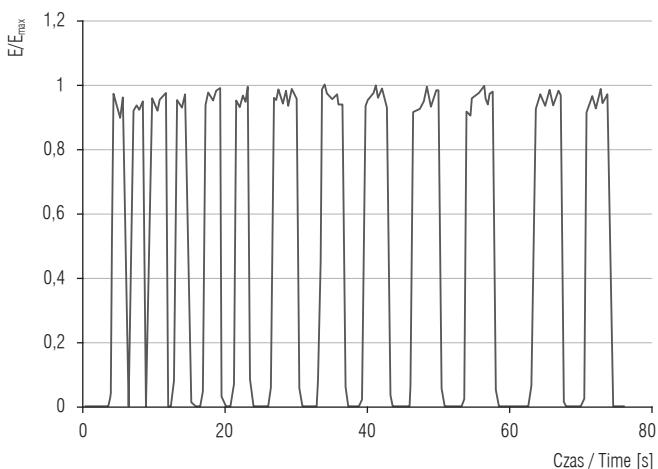
Problematyka oceny parametrów rzeczywistego narażenia pracowników na pola elektromagnetyczne w czasie zabiegów chirurgicznych została zasygnalizowana w opracowaniu Aniołczyk i Mamrota z 2000 r. (12), w którym omówiono wyniki pomiaru czasu całkowitego użycia diatermii chirurgicznych w czasie 4 zabiegów chirurgicznych. Nie ma danych bibliograficznych dotyczących wykorzystania w czasie zabiegów współcześnie wykorzystywanych w szpitalach diatermii chirurgicznych, zróżnicowania czasu wykorzystania diatermii podczas zabiegów, a także oceny narażenia pracowników na podstawie znowelizowanych w 2010 r. zaleceń międzynarodowych i znowelizowanej w 2013 r. dyrektywy europejskiej.

Diatermie chirurgiczne stosowane w Polsce wytwarzają najczęściej wysokie napięcie zasilające elektrodę czynną o przebiegu zbliżonym do sinusoidalnego (w trybach pracy CUT) lub zmodulowane amplitudowo (w trybach pracy COAG), o częstotliwościach podstawowych z zakresu 300–800 kHz lub 1800 kHz (9–14). Są to więc częstotliwości zbliżone do częstotliwości pracy nadajników radiowych długo- i średniofalowych (emisja radiowa AM – amplitude modulation), jednak w przeciwieństwie do narażenia w ośrodkach radionadawczych oddziaływanie pola ma charakter lokalny, w pobliżu kabli zasilających elektrody. Najczęściej najsilniejszemu narażeniu podlega ręka chirurga, w której trzyma on uchwyt elektrody zabiegowej.

W związku z wykorzystaniem wysokich napięć do zasilania elektrody czynnej w czasie zabiegów, przy stosunkowo małych prądach w obwodzie wyjściowym generatora diatermii chirurgicznej (impedancja w obwodzie wyjściowym przekraczająca nawet 1000 Ω), dominujące w otoczeniu diatermii jest pole elektryczne, przy

na tyle małym natężeniu występującego równocześnie pola magnetycznego, że może być ono niebrane pod uwagę przy ocenie narażenia pracowników. W czasie zabiegów chirurgicznych zwykle ustawiony jest stały poziom mocy wyjściowej diatermii, a lekarz używając włącznika w uchwycie elektrody czynnej lub ustawionego na podłodze, załącza obwód wyjściowy, kiedy – zbliżając elektrodę do tkanek pacjenta – wykonuje cięcie lub koagulację. W rezultacie w otoczeniu kabli występuje najczęściej kluczkowane w czasie pole elektryczne o stabilnej amplitudzie (ryc. 1).

Z informacji pozyskanych od pracowników zatrudnionych w zespołach operacyjnych wynika, że w pierwszej fazie zabiegów operacyjnych (początkowe minuty operacji) diatermie wykorzystywane są głównie w trybie cięcia, a w ich dalszym przebiegu – w trybie koagulacji. Pracownicy wskazują również na najintensywniejsze użycie diatermii w początkowej fazie operacji.



Ryc. 1. Unormowane natężenie pola elektrycznego (E) zarejestrowanego w otoczeniu kabla zasilającego elektrodę czynną w czasie symulowanego zabiegu chirurgicznego – normalizacja względem maksymalnej wartości zarejestrowanej (E_{max})
Fig. 1. The normalized electric field strength (E) recorded in the vicinity of cable supplying active electrode during simulation of the surgery – normalized against maximum recorded value (E_{max})

CEL BADAŃ

Wobec omówionych cech narażenia chirurgów na pola elektromagnetyczne wytwarzane przez diatermie chirurgiczne celem prezentowanych badań było wykonanie oceny narażenia, uwzględniającej rozkład narażenia w czasie trwania zabiegu oraz obecnie obowiązujące w Polsce wymagania prawa pracy i nowej dyrektywy europejskiej (2013/35/UE), dotyczące ochrony pracowników przed nadmiernym oddziaływaniem pól elek-

tromagnetycznych (19–21)¹. W ramach badań o takim zakresie konieczne było opracowanie metody umożliwiającej monitorowanie wykorzystania diatermii chirurgicznych w czasie rzeczywistych zabiegów i przeprowadzenie serii badań w czasie rzeczywistych zabiegów chirurgicznych.

MATERIAŁ I METODY

Relacjonowane badania obejmowały laboratoryjną identyfikację w dziedzinie czasu charakterystyki pola elektromagnetycznego przy kablach zasilających elektrodę aktywną diatermii chirurgicznych, pomiar natężeń pól elektrycznych i magnetycznych w otoczeniu kabli oraz monitoring wykorzystania diatermii w czasie rzeczywistych zabiegów chirurgicznych.

Natężenie pola elektrycznego i magnetycznego (E i H) zostało zmierzone miernikiem Narda EMR-300 (Narda Safety Test Solutions, Pfullingen, Niemcy), z izotropowymi sondami:

- pola elektrycznego z pasma częstotliwości 100 kHz – 3 GHz – o średnicy sondy pomiarowej 64 mm, zakresie pomiarowym 0,6–800 (1300) V/m i niepewności pomiaru ± 2 dB;
- pola magnetycznego z pasma częstotliwości 300 kHz – 30 MHz – o średnicy sondy pomiarowej 120 mm, zakresie pomiarowym 0,017–17 A/m i niepewności ± 2 dB.

Aby uzyskać ustandaryzowane (powtarzalne) dane dotyczące pól elektromagnetycznych emitowanych przez diatermie chirurgiczne, pomiary natężenia pola elektrycznego i magnetycznego wykonano w ustalonej odległości od kabli. Ponieważ natężenie pola elektrycznego przy przewodzie może przekraczać 1000 V/m (9,10), aby uniknąć możliwego przeciążenia sondy pomiarowej i jej uszkodzenia, pomiary wykonano przy stałej odległości 10 cm między środkiem sondy pomiarowej a kablem zasilającym elektrodę czynną. W czasie pomiaru wykonywanego przy ciągłej pracy diatermii rejestrowano 100 próbek z częstotliwością próbkowania 0,4 s, a za wynik przyjęto wartość średnią (\pm odchylenie standardowe – SD). Wynik takie-

go pomiaru jest niezależny od chwilowych fluktuacji pola elektromagnetycznego, typowych dla użycia urządzeń elektrochirurgicznych.

Poprawność wskazań mierników oraz ich odpowiedzi na modulowane amplitudowo pola elektromagnetyczne zostały zbadane z wykorzystaniem:

- laboratoryjnego źródła pola elektromagnetycznego, składającego się z komory TEM (prod. CIOP-PIB, Polska),
- generatora wielkiej częstotliwości SMX (prod. Rhode&Schwarz, Niemcy),
- wzmacniacza mocy AR100A/250A (prod. Amplifier Research, USA),
- linearyzowanego diodowego woltomierza wielkich częstotliwości URV55 (prod. Rhode & Schwarz) – całkowita niepewność $\pm 0,7$ dB.

Urządzenia są nadzorowane metrologicznie w ramach systemu jakości laboratorium wzorującego CIOP-PIB (certyfikat Polskiego Centrum Akredytacji nr AP 061).

Badania te wykazały, że miernik natężenia pola elektrycznego i magnetycznego wskazuje wartość skuteczną (root mean square – RMS) w polach $E < 500$ V/m i $H < 1,5$ A/m. W przypadku modulowanego impulsowo pola elektromagnetycznego (w trybie COAG), oszacowanie wartości RMS maksymalnej w czasie powinno być przeprowadzone z wykorzystaniem indywidualnych współczynników korekcyjnych, ustalonych na podstawie analizy kształtu przebiegu zmienności w czasie mierzonego pola (13,22,23). Jest to również niezbędne do wyznaczenia wartości równoważnych natężenia pola elektrycznego i magnetycznego, w oparciu o pomiar wartości RMS – wartości takie są podstawą oceny narażenia pracowników przy urządzeniach elektrochirurgicznych według wymagań krajowych przepisów bhp (20,21).

Identyfikację parametrów zmienności w czasie pola elektromagnetycznego emitowanego przez poszczególne diatermie chirurgiczne wykonano metodą oscyloskopową, wykorzystując sondę pola elektrycznego EMCO nr 904 (prod. EMCO, Austin, TX, USA) i przenośny oscyloskop cyfrowy Scopemeter 199C (prod. Fluke, Everett, WA, USA).

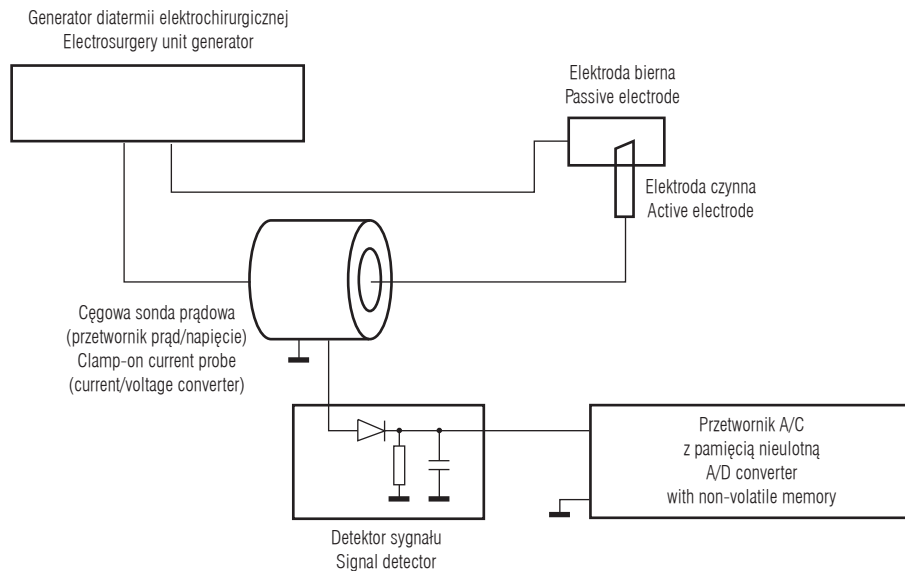
Pomiary wykonano przy typowej mocy wyjściowej dla poszczególnych rodzajów zabiegów, ustawionej zgodnie z informacjami uzyskanymi od użytkowników poszczególnych urządzeń – w trybach CUT i COAG.

Przeprowadzono również wywiad z użytkownikami, dotyczący ich opinii na temat czasu trwania zabiegu i czasu użycia diatermii w ciągu zabiegu. Ponadto wyko-

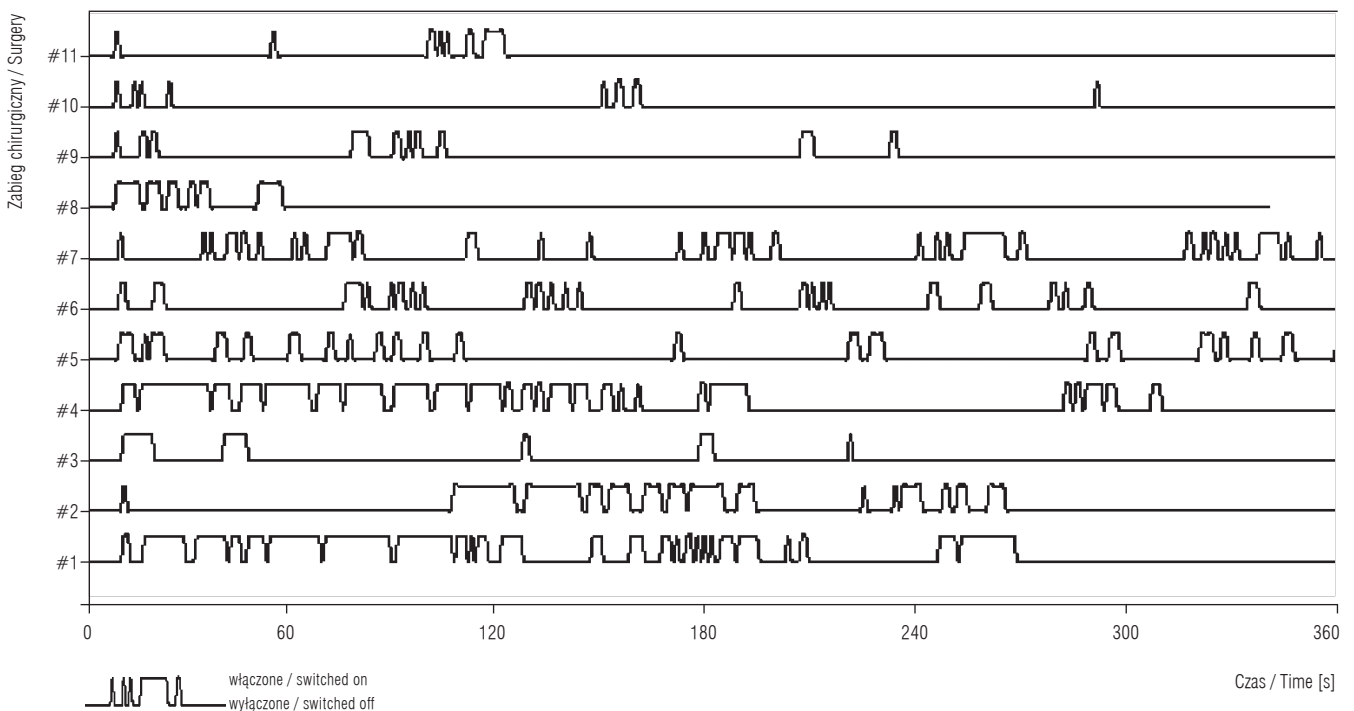
¹ Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (19) zaplanowano zastąpić nowym w 2013 r. Według projektu opublikowanego 18 czerwca 2013 r. nie są w nim planowane zmiany merytoryczne w zakresie zagrożeń elektromagnetycznych (<http://www.mpips.gov.pl/bip/projekty-aktow-prawnych/projekty-rozporzadzen-i-zarzadzen/prawo-pracy/rozporzadzenie-ministra-pracy-i-polityki-spolecznej-w-sprawie-najwyzszych-dopuszczalnych-stezen-i-natzen-czynnikow-szkodliwych-dla-zdrowia-w-srodowisku-pracy->).

nano monitoring wykorzystania diatermii chirurgicznych w czasie rzeczywistych zabiegów chirurgicznych. Do badań został zbudowany specjalistyczny zestaw monitorujący, złożony z: sondy cęgowej prądu radiofalowego, detektora sygnału, przetwornika analogowo-cyfrowego i szybkiego rejestratora (ryc. 2). Wykorzysta-

nie tego zestawu monitorującego umożliwiło zbadanie czasu rzeczywistej aktywności diatermii chirurgicznych w czasie zabiegów, z częstością próbkowania: 1 s. Wyniki monitoringu wykorzystania diatermii chirurgicznych w czasie początkowych 6 min zabiegów chirurgicznych pokazano na rycinie 3.



Ryc. 2. Schemat ideowy układu monitorującego wykorzystanie diatermii w czasie zabiegów chirurgicznych
 Fig. 2. The diagram of the setup monitoring the operation of electrocautery unit during surgeries



Ryc. 3. Aktywność urządzenia elektrochirurgicznego w czasie początkowych 6 min monitorowanych zabiegów chirurgicznych
 Fig. 3. The activity of electrocautery units during starting 6-min period of monitored surgeries

Na podstawie wyników monitoringu, wykonanego dla każdego zabiegu operacyjnego, został wyznaczony współczynnik K według zależności:

$$K = t/T \quad [1]$$

gdzie:

t – czas włączenia urządzenia i generacji pola elektromagnetycznego,

T – czas 6 min.

Rozkład wartości współczynnika K w czasie trwania zabiegów scharakteryzowano przez parametry statystyczne, takie jak: średnia arytmetyczna, wartość minimalna, maksymalna, mediana i zakres międzykwartylowy (25÷75%), tj. przedział obejmujący 25–75% wyników dla współczynnika K.

Współczynnik K reprezentuje w dowolnych 6 min trwania zabiegu użycie diatermii i jest istotnym elementem oceny zarówno w kontekście polskich wymagań szacowania wskaźnika ekspozycji pracownika W (20,21), jak i międzynarodowych wymagań uśredniania kwadratu natężenia pola przy ocenie zagrożenia skutkami termicznymi oddziaływania pola (19,22). Wyznaczono również współczynnik $K_1 = t/T_1$ dla pierwszych 3 i 6 min zabiegu (kiedy zgodnie z deklaracją

użytkowników ma miejsce najbardziej intensywne używanie urządzeń elektrochirurgicznych) oraz dla całego czasu trwania zabiegu.

WYNIKI

Pomiary wykonano przy wykorzystaniu 11 urządzeń elektrochirurgicznych powszechnie stosowanych w Polsce typów (2 urządzenia typu UES-40, prod. Olympus, Japonia; 9 urządzeń typu: ERBE VIO 300D, ERBE Erbotom Tur, ERBE ICC 350C, ERBE ICC 300E, prod. ERBE, Niemcy). Ponieważ poziom narażenia w otoczeniu urządzeń jest uzależniony głównie od ustawień trybu pracy i mocy wyjściowej generatora, przy omawianiu wyników badań poszczególne zabiegi oznaczono od #1 do #11 – żeby nie sugerować nieuzasadnionego powiązania poziomu narażenia z typem użytego urządzenia i jego producentem. W tabeli 1. zestawiono parametry pracy diatermii i rodzaj zabiegów chirurgicznych, w czasie których wykonano relacjonowane badania.

Na rycinie 4. podano parametry statystyczne rozkładu współczynnika $K = t/T$ i pierwiastka kwadratowego ze współczynnika K, wyznaczonego dla dowolnych 6-minutowych przedziałów czasu, rozpoczynających się kolejno co 1 s, dla każdego zabiegu operacyj-

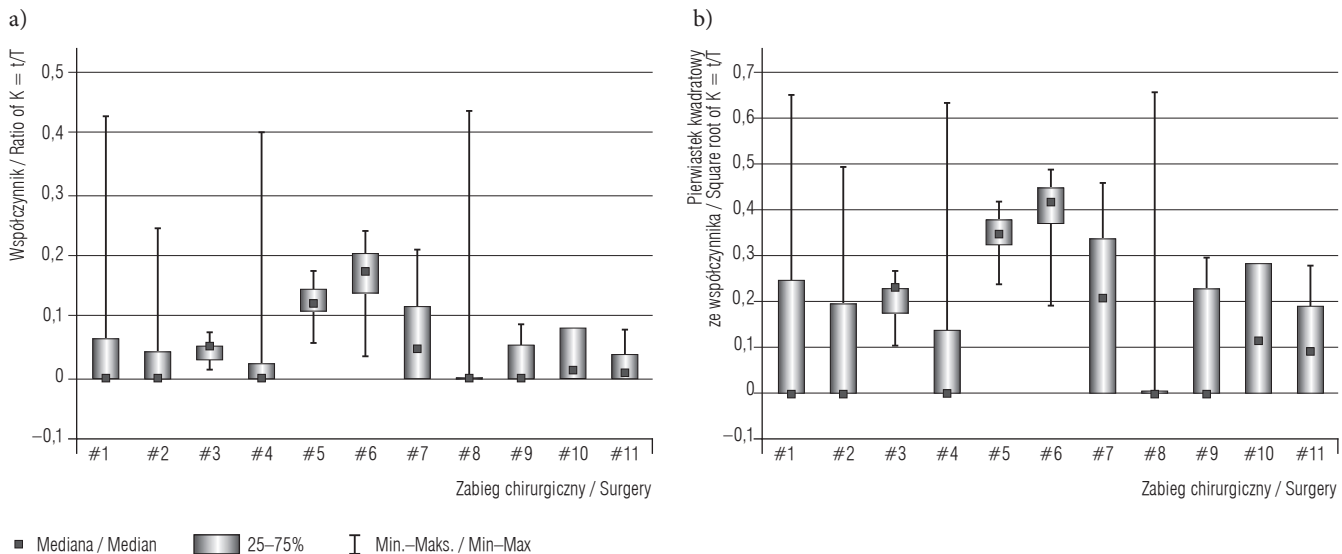
Tabela 1. Zabiegi chirurgiczne i parametry pracy diatermii chirurgicznych, podczas których wykonano badania
Table 1. Surgeries and settings of electro-surgical units applied in the performed studies

Zabieg chirurgiczny Surgery	Tryb pracy cięcie (CUT) CUT mode		Tryb pracy koagulacja (COAG) COAG mode	
	parametry wyjściowe* output settings*	częstotliwość frequency [kHz]	parametry wyjściowe* output settings*	częstotliwość frequency [kHz]
#1 resekcja odbytnicza / proctectomy	55 W, pure cut	330	55 W, coag 2	335
#2 resekcja odbytnicza / proctectomy	55 W, pure cut	330	55 W, coag 2	335
#3 udrożnienie tętnicy / patency of artery	120 W, autotcut effect 4	340	60 W, effect 2	400
#4 resekcja wątroby / hepatectomy	140 W, autotcut effect 5	340	80 W, forced, effect 4	360
#5 resekcja guza pęcherza moczowego / cystectomy	output 2/5 (max 400 W)	445	output 3/5 (max 400 W)	415
#6 resekcja guza pęcherza moczowego / cystectomy	output 2/5 (max 400 W)	445	output 3/5 (max 400 W)	415
#7 resekcja guza pęcherza moczowego / cystectomy	output 2/5 (max 400 W)	445	output 3/5 (max 400 W)	415
#8 wycięcie migdałków / tonsilectomy	56 W, effect 2, autotcut	330	40 W, spray	770
#9 zabieg laparoskopii / laparoscopy	150 W, effect 3	350	60 W, forced	425
#10 zabieg laparoskopii / laparoscopy	150 W, effect 3	350	60 W, forced	425
#11 zabieg laparoskopii / laparoscopy	150 W, effect 3	350	60 W, forced	425

* Parametry wyjściowe trybu pracy podano według oryginalnych oznaczeń na urządzeniach / Output setting of the operation mode follows the original indications on the devices.
max – maksymalna moc wyjściowa według specyfikacji technicznej urządzenia / maximum output power according to technical specification of the device.

nego. W tabeli 2. zawarto informacje o czasie użycia diatermii podczas zabiegu, uzyskane od użytkowników urządzeń elektrochirurgicznych, zmierzony rzeczywisty czas trwania zabiegu i wykorzystania diatermii

oraz wyznaczone współczynniki $K_1 = t/T_1$ dla pierwszych 3 i 6 min zabiegu (w czasie których według użytkowników urządzenia elektrochirurgiczne są używane najintensywniej) oraz dla całego czasu trwania zabiegu.



Ryc. 4. Parametry statystyczne rozkładu współczynnika $K = t/T$ w czasie zabiegów chirurgicznych, wyznaczonego dla dowolnych 6-minutowych przedziałów czasu rozpoczynających się kolejno co 1 s: a) współczynnik K, b) pierwiastek kwadratowy ze współczynnika K

Fig. 4. Statistical parameters of distribution of the $K = t/T$ ratio during surgeries, assessed for any 6-min periods starting every 1 s: a) the ratio of K, b) the square root of K

Tabela 2. Czas trwania zabiegów chirurgicznych i parametry statystyczne rozkładu współczynnika $K_1 = t/T_1$ dla pierwszych 3 i 6 min oraz całego czasu trwania każdego z zabiegów

Table 2. Duration of surgeries and statistical parameters of the $K_1 = t/T_1$ ratio distribution, over starting 3- and 6-min periods of each surgery and over the entire duration of surgery

Zabieg chirurgiczny Surgery	Czas trwania zabiegu T Surgery duration T [min]	Czas użycia urządzenia w trakcie zabiegu Operation time of electrosurgery unit [min]		Współczynnik Ratio $K_1 = t/T_x$		
		deklarowany przez użytkowników declared by the users	zmierzony measured	pierwsze 3 min zabiegu first 3 min of surgery ($T_x = 3$ min)	pierwsze 6 min zabiegu first 6 min of surgery ($T_x = 6$ min)	cały zabieg whole surgeries ($T_x = T$)
#1	155	60	8,0	0,61	0,40	0,05
#2	183	60	5,0	0,34	0,24	0,03
#3	57	60	1,0	0,12	0,06	0,02
#4	127	60	8,5	0,66	0,40	0,07
#5	20	60	3,0	0,17	0,15	0,12
#6	40	60	7,0	0,13	0,12	0,17
#7	30	60	3,0	0,15	0,19	0,13
#8	5	5	0,5	0,14	0,08	0,09
#9	60	45	1,0	0,09	0,06	0,02
#10	40	45	1,0	0,05	0,03	0,02
#11	50	45	1,0	0,08	0,05	0,02

Wyniki rejestracji natężenia pola elektrycznego w odległości 10 cm od kabla zasilającego elektrodę czynną (wartości średnie) dla poszczególnych zabiegów chirurgicznych podano w tabeli 3. Są to wartości RMS (w trybie CUT) oraz RMS i równoważne (w trybie COAG) – wyznaczone na podstawie oscyloskopowej analizy kształtu przebiegu zmienności w czasie mierzonego pola.

Tabela 3. Natężenie pola elektrycznego zmierzone w odległości 10 cm od kabla zasilającego elektrodę czynną
Table 3. Electric field strength measured 10 cm from the cable supplying an active electrode

Zabieg chirurgiczny Surgery	Natężenie pola elektrycznego* Electric field strength* [V/m]		
	CUT		COAG
	wartości RMS RMS values	wartości RMS RMS values	wartości równoważne** equivalent values**
#1	270	151	297
#2	280	159	313
#3	182	122	319
#4	151	123	365
#5	650	311	311
#6	665	318	318
#7	675	325	325
#8	147	52	182
#9	275	215	527
#10	285	221	541
#11	290	228	558

* Natężenie pola magnetycznego w odległości 10 cm od kabla < 0,2 A/m / Magnetic field strength at the 10 cm distance from the cable < 0.2 A/m.

** Współczynnik do oszacowania wartości równoważnej na podstawie pomiarów wartości RMS przyjęto na podstawie obserwacji oscyloskopowych – z przedziału 1–3,5 / Factor for assessing the equivalent value obtained from the measurement of RMS value was taken on the basis of oscilloscopic observations – from the range 1–3.5.

RMS – wartość skuteczna / root mean square.

CUT – tryb cięcia / cut mode. COAG – tryb koagulacji / coagulation mode.

OMÓWIENIE

Ocena narażenia na pola elektromagnetyczne przy wykorzystaniu diatermii chirurgicznych należy do zakresu badań okresowych, wynikających z wymagań prawa pracy w Polsce (20,23), a także do zakresu badań środowiska pracy dotyczących oceny zagrożeń elektro-

gnetycznych, zgodnie z zaleceniami międzynarodowymi (3,19,21,24). Ponadto Światowa Organizacja Zdrowia (World Health Organization) i Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem (International Agency for Research on Cancer) wskazują na potrzebę nie tylko jakościowego, ale również ilościowego charakteryzowania parametrów narażenia pracowników na pola elektromagnetyczne, a także monitorowania zmian, jakie w profilach narażenia na promieniowanie radiofale wnoszą rozwój technologii. Pozwoli to na bardziej miarodajne badania epidemiologiczne dotyczące zagrożeń zdrowia, które wynikają z oddziaływania pól elektromagnetycznych (2,25). Z kolei nowa dyrektywa europejska 2013/35/UE, dotycząca ochrony pracowników przed zagrożeniami elektromagnetycznymi, wzywa państwa członkowskie Unii Europejskiej i Komisję Europejską do monitorowania rozwoju wiedzy naukowej dotyczącej odległych skutków przewlekłego narażenia pracowników, żeby w miarę jej rozwoju były podejmowane adekwatne środki zaradcze (19).

Kryteria oceny zagrożeń elektromagnetycznych

Narażenie na pole elektromagnetyczne oceniane jest w pierwszym rzędzie na podstawie natężenia pola elektrycznego E (w V/m) i natężenia pola magnetycznego H (w A/m). Wymagania dotyczące dopuszczalnego narażenia pracowników zestawiono w tabeli 4. (19,20,22).

Narażenie na pole elektryczne o natężeniu 33–1000 V/m warunkowo dopuszczalne jest dla pracowników, u których badania lekarskie potwierdziły brak przeciwwskazań zdrowotnych do przebywania w polach elektromagnetycznych, a w ciągu dnia pracy narażenie nie spowoduje przekroczenia dopuszczalnej wartości wskaźnika ekspozycji W. Podczas oddziaływania na chirurga pola elektromagnetycznego modulowanego impulsowo (kluczowanego w czasie) o określonym natężeniu E, które łącznie w ciągu dnia pracy trwa t godzin, wskaźnik ekspozycji jest mniejszy od dopuszczalnej wartości W = 1, jeśli (20):

$$E < E_1 / (t/8)^{-0,5} \quad [2]$$

gdzie:

$E_1 = 100$ V/m – natężenie pola elektrycznego, w jakim zgodnie z wymaganiami prawa pracy dopuszcza się przebywanie pracownika w ciągu 8 godzin.

Nowa dyrektywa europejska (2013/35/UE) zaleca w pierwszym etapie ocenę poziomu narażenia według zmierzonej lub obliczonej wartości natężenia pola oddziałującego na ciało pracownika – maksymalnej

Tabela 4. Wymagania dotyczące ochrony przed niepożądanym oddziaływaniem pól elektromagnetycznych o częstotliwościach, jakie wytwarzają diatermie chirurgiczne (300–1800 kHz)

Table 4. Requirements regarding the protection against adverse effects of interaction of electromagnetic fields of frequency as emitted by electrosurgery units (300–1800 kHz)

Wymagania Requirements	Pole elektryczne Electric field		Pole magnetyczne Magnetic field	
	natężenie strength E [V/m]	częstotliwość frequency [kHz]	natężenie strength H [A/m]	częstotliwość frequency [kHz]
Zalecenia międzynarodowe (E i H zależne od częstotliwości) / International guidelines (E and H frequency dependent) (18,21)				
poziomy odniesienia dotyczące ekspozycji ludności według ICNIRP / reference levels on general public exposure, according to ICNIRP	87* 65*	300–800 1 800	2,4* 0,40*	300 1800
graniczna ekspozycja pracowników według DE (interwencyjne poziomy narażenia – IPN) i ICNIRP (poziomy odniesienia) / limits regarding occupational exposure, according to ED (action levels – AL) and ICNIRP (reference levels – RL)	610* 338*	300–800 1 800	5,3* 0,89*	300 1800
Wymagania prawne ustanowione w Polsce (E niezależne od częstotliwości) / Requirements of legislation established in Poland (E frequency independent) (19)				
granica ekspozycji pozazawodowej i zawodowej / the limit between occupational and non-occupational exposure	33**	300–1 800	3,3–1,5**	300–1800
zakres ekspozycji zawodowej / occupational exposure range	33–1 000**	300–1 800	1,5–100**	300–1800
ekspozycja zabroniona (granica strefy niebezpiecznej) / prohibited exposure (limit of dangerous zone)	> 1 000**	300–1 800	> 100** > 44,4**	300–800 1800

* W polu jednorodnym, wartość kwadratu natężenia pola uśrednionego w ciągu 6 min, tj. wartość skuteczna / In uniform field, the value of squared field strength averaged over 6 min, i.e. root-mean-square value – RMS.

** Wartość maksymalna w czasie i maksymalna zmierzona w miejscu odpowiadającym położeniu osi tułowia pracownika, w przypadku pola elektrycznego z pasma częstotliwości 1–3000 kHz oraz pola magnetycznego z pasma częstotliwości 1–800 kHz wartość równoważna natężenia pola, poza podanymi pasmami wartość skuteczna natężenia pola / Maximum in time value and maximum measured value at location corresponding with the worker's body axis, for electric field from frequency range of 1–3000 kHz and magnetic field from frequency range of 1–800 kHz equivalent value of field strength, outside given ranges of root-mean-square value of field strength.

DE – dyrektywa europejska / ED – European directive (18).

ICNIRP – zalecenia Międzynarodowej Komisji ds. Ochrony przed Promieniowaniem Niejonizującym / International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection guide-lines (21).

w przestrzeni i uśrednionej w czasie 6 minut – wg zaleceń ICNIRP (19,22). Należy więc ocenić poziom narażenia bezpośrednio przy kablach diatermii chirurgicznych. Dyrektywa jednak nie odnosi się do problemu uśredniania pola w obszarze sondy pomiarowej, które powoduje, że technicznie możliwe jest jedynie zmierzenie wartości natężenia pola odnoszącej się do pewnej odległości od źródła – zdefiniowanej wymiarami sondy – i tylko wartości uśrednionej przestrzennie w obszarze sondy. Jeśli natomiast dostęp do źródła pola nie jest ograniczony fizyczną barierą, maksymalne natężenie pola oddziałującego na pracownika jest takie jak na powierzchni źródła i może być znacznie większe od zmierzonego typową sondą o średnicy 6,4 cm czy 12 cm.

Zarówno wymagania dyrektywy europejskiej, zaleceń międzynarodowych, jak i polskich przepisów prawa pracy zalecają ocenę dodatkową, jeśli zostanie stwierdzone narażenie miejscowe o natężeniu przekraczającym wartości podane w tabeli 4. ($E > 610$ V/m – E uśrednione

w dowolnych 6 min; lub $E > 1000$ V/m – E maksymalne w czasie) (19,20,22). Według dyrektywy w kolejnym etapie należy ocenić współczynnik SAR (specific energy absorption rate – szybkość pochłaniania właściwego energii), reprezentujący zagrożenie wynikające ze skutków termicznych ekspozycji w organizmie (analogicznie do zaleceń International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection – ICNIRP – Międzynarodowej Komisji ds. Ochrony przed Promieniowaniem Niejonizującym) (tab. 5).

Również wymagania prawa pracy obowiązujące w Polsce odwołują się do drugiego etapu oceny zagrożeń, którym może być ocena SAR lub prądu pojemnościowego I_K przepływającego przez kończyny pracownika. Zgodnie z postanowieniami PN-T-06580-3:2002 (pkt 3.2.2): „Jeżeli obsługa urządzenia wymaga dotykania przez ciało pracownika elementów, które są pierwotnym albo wtórnym źródłem pola elektrycznego lub magnetycznego, w strefie zagrożenia lub nie-

Tabela 5. Dopuszczalne wartości współczynnika SAR, nazwane granicznymi poziomami oddziaływania (16) lub ograniczeniami podstawowymi (19)

Table 5. Permissible SAR values, recognized as exposure limit values (16) or basic restrictions (19)

Częstotliwość Frequency	SAR _C	SAR _{GT}	SAR _K
100 kHz < f ≤ 10 MHz	0,4	10	20

Wartości dopuszczalne SAR oznaczają wartości uśrednione w okresie dowolnych 6 min; SAR_C – wartość uśredniona względem całego ciała / Permissible values of SAR mean values averaged over any 6-min period. SAR_C – value averaged over whole-body.

Wartości dopuszczalne miejscowych wartości SAR (SAR_{GT} – miejscowa wartość w głowie i tułowie; SAR_K – miejscowa wartość w kończynach) – maksymalne wartości uśrednione odnośnie do dowolnych 10 g zwartej jednorodnej tkanki / Permissible values of localized SAR (SAR_{GT} – localized value in the head and trunk; SAR_K – localized value in limbs) – maximum values averaged over any 10 g of contiguous tissue.

Ograniczenia dotyczące dopuszczalnych wartości SAR (SAR_C, SAR_{GT} i SAR_K) mają być spełnione równocześnie / Limitations for permissible values of SAR (SAR_C, SAR_{GT} i SAR_K) should be met simultaneously.

bezpiecznej, to pomiary natężeń tych pól nie mogą być jedynym kryterium oceny ekspozycji. Wymagana jest dodatkowa ocena na podstawie udokumentowanych wyników badań, obliczeń lub ekspertyz, uwzględniających takie warunki ekspozycji” (20). Z powodu braku krajowych kryteriów przy takiej ocenie wykorzystuje się wymagania dyrektywy europejskiej dotyczące granicznych poziomów oddziaływania (GPO) i interwencyjnych poziomów narażenia (IPN) (19) lub zalecenia międzynarodowe ICNIRP dotyczące ograniczeń podstawowych i poziomów odniesienia (22).

Wcześniejsze badania wykazały, że wartość graniczna indukowanego prądu przepływającego w kończynie górnej pracownika (prądu kończynowego) powinna być obniżona 2-krotnie w stosunku do wartości granicznej dla kończyny dolnej – jeśli celem ograniczenia jest ochrona przed skutkami termicznymi w kończynach. Uwzględniając taką zależność (w celu spełnienia wymagań dyrektywy podającej GPO dotyczące SAR), przy obsłudze diatermii chirurgicznych prąd przepływający w rękę pracownika trzymającego uchwyt elektrody lub kable, powinien być mniejszy od 50 mA (wartość RMS uśredniona w ciągu dowolnych 6 min) – jeśli traktujemy prąd pojemnościowy przepływający w kończynie jako prąd indukowany (10,18).

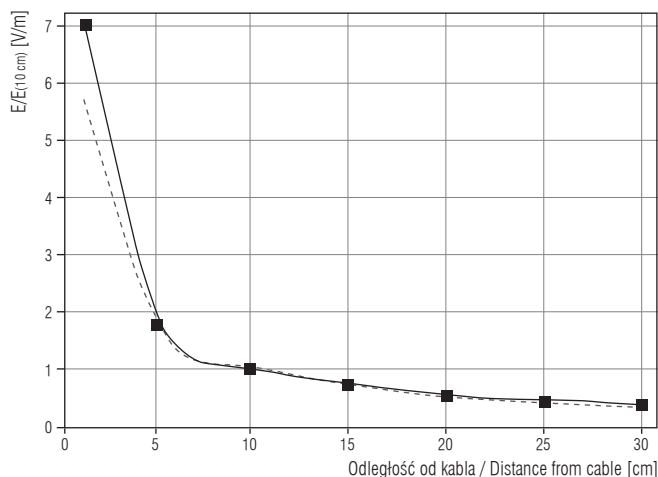
Interwencyjny poziom narażenia dotyczący prądu kończynowego podano w dyrektywie jedynie w zakresie częstotliwości 10–110 MHz. W dyrektywie do oceny narażenia na pola elektromagnetyczne o częstotliwościach wytwarzanych przez diatermie chirurgiczne podano jedynie wartość IPN dla prądu kontaktowego – 40 mA (maksymalna wartość RMS stanu ustalonego w dowolnej kończynie, w paśmie częstotliwości

ści 100 kHz – 110 MHz). Ograniczenie to zastosowane do prądu pojemnościowego przepływającego w kończynie odnosi się do ochrony przed skutkami elektrostymulacji tkanki nerwowej i mięśniowej wskutek oddziaływania prądu przepływającego w kończynie (19).

Wymagania dyrektywy nie precyzują aspektów praktycznych stosowania różnych wymagań dotyczących prądu przepływającego w kończynach, nie wyjaśniają również braku wartości IPN dla prądu kończynowego przy narażeniu na pola elektromagnetyczne z pasma częstotliwości 100 kHz – 10 MHz. Struktura wymagań ustalona przez dyrektywę przemawia za stosowaniem ograniczenia prądu kończynowego również w paśmie częstotliwości 100 kHz – 10 MHz, którego dotyczy wspomniane ograniczenie współczynnika SAR.

Reasumując zaprezentowane rozważania, autorzy niniejszej publikacji proponują wykorzystanie wartości 40 mA jako wartości IPN dotyczącej oceny wyników pomiaru prądu pojemnościowego w kończynie górnej pracownika, który trzyma uchwyt elektrody lub kable diatermii chirurgicznej.

Wykorzystując dane literaturowe dotyczące rozkładu pola elektromagnetycznego w otoczeniu kabli zasilających (ryc. 5), na podstawie wyników pomiarów w odległości 10 cm od kabli, oszacowano natężenie pola występującego w innych odległościach (tab. 6).



Względne wartości w różnych odległościach wynoszą / Relative values at different distances are as follows: 1 cm – E = 7,0; 3 cm – E = 5,0; 5 cm – E = 1,8; 10 cm – E = 1,0; 15 cm – E = 0,7; 30 cm – E = 0,4.

Ryc. 5. Względny rozkład przestrzenny natężenia pola elektrycznego przy kablu zasilającym elektrodę aktywną diatermii chirurgicznej, na podstawie danych odnoszących się do różnych warunków przeprowadzenia badań (10,16)

Fig. 5. The relative spatial distribution of electric field strength near the cable supplying an active electrode of the electro-surgical unit, according to the data on various conditions during investigations (10,16)

Tabela 6. Oszacowane natężenie pola elektrycznego w otoczeniu kabla zasilającego elektrodę czynną na podstawie pomiarów w odległości 10 cm od środka sondy pomiarowej (wartości równoważne – ocena według wymagań bhp obowiązujących w Polsce)
Table 6. Estimated electric field strength in the vicinity of the cable supplying an active electrode based on the measurements taken 10 cm from the center of measurement probe (equivalent values – assessment according to Polish OSH regulations)

Zabieg chirurgiczny Surgery	Natężenie pola elektrycznego w różnej odległości od środka sondy pomiarowej Electric field strength at different distances from the center of measurement probe [V/m]											
	CUT						COAG					
	1 cm	3 cm	5 cm	10 cm	15 cm	30 cm	1 cm	3 cm	5 cm	10 cm	15 cm	30 cm
#1	1 890	1 350	486	270	189	108	2 080	1 486	535	297	208	119
#2	1 960	1 400	504	280	196	112	2 190	1 565	563	313	219	125
#3	1 274	910	328	182	127	73	2 235	1 597	575	319	224	128
#4	1 057	755	272	151	106	60	2 555	1 825	657	365	256	146
#5	4 550	3 250	1 170	650	455	260	2 177	1 555	560	311	218	124
#6	4 655	3 325	1 197	665	466	266	2 226	1 590	572	318	223	127
#7	4 725	3 375	1 215	675	473	270	2 275	1 625	585	325	228	130
#8	1 029	735	265	147	103	59	1 273	909	327	182	127	73
#9	1 925	1 375	495	275	193	110	3 686	2 633	948	527	369	211
#10	1 995	1 425	513	285	200	114	3 789	2 707	974	541	379	217
#11	2 030	1 450	522	290	203	116	3 909	2 792	1 005	558	391	223

Pogrubienia – natężenia pola o poziomie ekspozycji zawodowej ocenione w odległościach nie mniejszych niż 15 cm od środka sondy pomiarowej (E z przedziału 33–1000 V/m) – ocena według przepisów krajowych (20,21) / Bold fonts – electric field strength of occupational exposure level, assessed at the distance not less than 15 cm from the center of measurement probe (E from the range of 33–1000 V/m), – assessment according to Polish law (20,21).

CUT – tryb cięcia / cut mode. COAG – tryb koagulacji / coagulation mode.

Do oszacowania największego poziomu narażenia w czasie zabiegów chirurgicznych – zgodnie z kryteriami oceny według zaleceń międzynarodowych (tj. uśredniania kwadratu natężenia pola elektrycznego E^2 w dowolnych 6 min) – wyniki pomiaru maksymalnej wartości RMS w czasie przebiegu modulowanego, zaprezentowane w tabeli 3., należy pomnożyć przez pierwiastek kwadratowy ze współczynnika K (3).

W tabeli 7. przedstawiono oszacowane natężenie pola występujące w odległości 1–30 cm od kabli badanych diatermii chirurgicznych, przy założeniu maksymalnych wartości pierwiastka kwadratowego ze współczynnika K, podanych na rycinie 4b dla każdego z analizowanych zabiegów chirurgicznych. Oszacowania te mogą być nieznacznie zawyżone w przypadku oceny pól elektromagnetycznych modulowanych (tryb COAG) o natężeniach przekraczających 500 V/m. Autorzy niniejszego artykułu nie dysponują jednak obecnie możliwościami technicznymi zweryfikowania w takim przypadku zgodności wskazań miernika natężenia pola elektrycznego z wartością skuteczną mierzonego pola. Rozbieżności takie są jednak relacjonowane przez wielu autorów (16,22,23).

Bezpośrednio przy kablu zasilającym elektrodę czynną występuje silne pole elektryczne o poziomach przekraczających wartości graniczne, niezależnie od kryteriów oceny. W odległości większej niż 15 cm od kabla występuje pole o natężeniu mniejszym od wartości granicznej zgodnej z zaleceniami międzynarodowymi, natomiast ekspozycja w nich jest dopuszczalna pod warunkiem spełnienia wymagań przepisów krajowych dotyczących wskaźnika ekspozycji.

Przy uwzględnieniu maksymalnego wykorzystania diatermii elektrochirurgicznej podczas zabiegów (maksymalna wartość współczynnika K) wskaźnik ekspozycji nie przekroczy wartości 1, jeżeli w polu elektrycznym o natężeniu (E) czas zabiegu (T) nie przekroczy wartości podanych w tabeli 8., oszacowanych według zależności:

$$T = 80\,000 \times K^{-1} \times (E \text{ [V/m]})^{-2} \quad [3]$$

Porównanie wyników (tab. 8) z czasem trwania rzeczywistych zabiegów (tab. 2) wskazuje, że przekroczenie dopuszczalnego wskaźnika ekspozycji nie wy-

Tabela 7. Uśrednione w dowolnych 6 min natężenie pola elektrycznego w otoczeniu kabla zasilającego elektrodę czynną na podstawie pomiarów w odległości 10 cm od środka sondy pomiarowej* – maksymalny wynik dla poszczególnych zabiegów chirurgicznych
Table 7. Averaged over any 6-min electric field strength in the vicinity of the cable supplying an active electrode based on the measurements taken 10 cm from the center of measurement probe* – maximum result obtained for each surgery

Zabieg chirurgiczny Surgery	Natężenie pola elektrycznego w różnej odległości od środka sondy pomiarowej Electric field strength at different distances from the center of measurement probe [V/m]											
	CUT						COAG					
	1 cm	3 cm	5 cm	10 cm	15 cm	30 cm	1 cm	3 cm	5 cm	10 cm	15 cm	30 cm
#1	1 229	878	316	176	123	70	687	491	177	98	69	39
#2	960	686	247	137	96	55	545	390	140	78	54	31
#3	344	246	89	49	34	20	231	165	59	33	23	13
#4	666	476	171	95	67	38	542	387	139	77	54	31
#5	1 911	1 365	491	273	191	109	914	653	235	131	92	52
#6	2 281	1 629	587	326	228	130	1 091	779	280	156	109	62
#7	2 174	1 553	559	311	218	124	1 047	748	269	150	105	60
#8	679	485	175	97	68	39	240	172	62	34	24	14
#9	578	413	149	83	58	33	452	323	116	65	45	26
#10	559	399	144	80	56	32	433	309	111	62	43	25
#11	568	406	146	81	57	32	447	319	115	64	45	25

* Kryterium oceny według międzynarodowych zaleceń dotyczących wartości RMS / Assessment criteria according to international requirements concerning RMS values.
 Pogrubienia – natężenia pola przekraczające wartość graniczną ($E > 610$ V/m), według zaleceń międzynarodowych zwaną interwencyjnym poziomem narażenia (IPN) (18) lub poziomem odniesienia (21) / Bold fonts – electric field strength exceeding the limit value ($E > 610$ V/m), according to international requirements recognised as action level (AL) (18) or reference level (RL) (21).

CUT – tryb cięcia / cut mode. COAG – tryb koagulacji / coagulation mode.

Tabela 8. Maksymalny czas trwania poszczególnych zabiegów, przy którym użycie diatermii chirurgicznej nie spowoduje wskaźnika ekspozycji pracownika przekraczającego wartość dopuszczalną $W = 1^*$

Table 8. Maximum duration of the surgeries, in which the operation of electrosurgical units will not cause the worker's exposure factor exceeding the permissible value $W = 1^*$

Zabieg chirurgiczny Surgery	Czas trwania zabiegu Duration of surgery [min]			
	CUT		COAG	
	kabel w odległości 15 cm 15 cm from the cable	kabel w odległości 30 cm 30 cm from the cable	kabel w odległości 15 cm 15 cm from the cable	kabel w odległości 30 cm 30 cm from the cable
#1	312	960	240	780
#2	522	1 620	420	1 260
#3	4 260	12 840	1 380	4 200
#4	1 080	3 360	180	540
#5	132	396	564	1 740
#6	90	282	402	1 260
#7	102	312	444	1 380
#8	1 080	3 180	660	2 100
#9	1 440	4 380	420	1 200
#10	1 500	4 620	420	1 260
#11	1 440	4 440	420	1 200

* Według przepisów krajowych / According to Polish law (19,20).

CUT – tryb cięcia / cut mode. COAG – tryb koagulacji / coagulation mode.

stąpi nawet przy wykonywaniu przez ten sam zespół medyczny kilku zabiegów dziennie. Należy jednak zaznaczyć, że w pracy Aniołczyk i Mamrota (12) relacjonowano znacznie dłuższe wykorzystanie diatermii w czasie niektórych zabiegów chirurgicznych (do niemal 50% czasu trwania zabiegu). Przy tak długotrwałym wykorzystaniu diatermii należałoby również oczekiwać przekroczenia wartości dopuszczalnej wskaźnika ekspozycji W.

Rozbieżności między omawianymi w niniejszej pracy wynikami, przeprowadzonych współcześnie pomiarów czasu wykorzystania diatermii, a wspomnianymi danymi literaturowymi mogą być rezultatem zarówno zmiany techniki wykorzystania urządzeń chirurgicznych na przestrzeni kilkunastu lat, zastosowania innej techniki pomiarów, jak i różnic w charakterze zabiegów chirurgicznych, w czasie których wykonano badania, a nawet procedur pracy w różnych placówkach medycznych. Zagadnienie to wymaga dalszych badań celem zebrania bardziej reprezentatywnych danych pomiarowych, zalecanych również przez WHO (26).

Przeprowadzona analiza warunków narażenia chirurgów na radiofale pola elektromagnetyczne wskazuje również na silnie niejednorodny rozkład przestrzenny tego pola w otoczeniu kabli diatermii elektrochirurgicznych. Z powodu możliwości wykonywania pomiarów pól elektromagnetycznych tylko podczas symulowanego zabiegu z fantomem ciała pacjenta konieczne jest wypracowanie unormowanego sposobu badań symulowanego narażenia, który zapewni miarodajną ocenę rzeczywistych zagrożeń. Protokół wykonania takich pomiarów powinien być zharmonizowany z wybranym kryterium oceny poziomu ekspozycji, m.in. powinien pozwolić rozstrzygnąć, w jakiej odległości od kabla mają być wykonane pomiary, które będą stanowić podstawę do oceny pól działających na pracowników oraz jakiej wielkości antena pomiarowa jest źródłem danych referencyjnych.

Przy ocenie wyników pomiarów pól niesinusoidalnych należy również uwzględnić różnice między ich wartością maksymalną a skuteczną (RMS) oraz rozbieżności między wskazaniem miernika a rzeczywistą wartością RMS mierzonego pola elektromagnetycznego (ewentualne poprawki według danych aplikacyjnych producenta dotyczących pomiarów pól modulowanych), co wymaga zidentyfikowania kształtu przebiegu zmienności w czasie, jak również znajomości parametrów technicznych wykorzystywanego przyrządu pomiarowego. Najbardziej uniwersalną metodą identyfikacji przebiegu jest rejestracja oscyloskopowa.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania, wykazały, że rzeczywisty czas użycia diatermii elektrochirurgicznych w czasie zabiegów jest zdecydowanie krótszy niż deklarowany przez pracowników. Przy wykorzystaniu elektrody czynnej monopolarnej zachowanie przez pracowników minimalnej odległości 15 cm tułowia od kabli łączących elektrody z generatorem pozwala na spełnienie wymagań przepisów krajowych dotyczących dopuszczalnego poziomu ekspozycji. Przekroczenie go może wystąpić przy bezpośrednim kontakcie tułowia pracownika z kablami. Dla bezpieczeństwa zespołu zabiegowego, podawanego narażeniu chronicznemu, narażenie na pola elektromagnetyczne występujące bezpośrednio przy kablach powinno być wyeliminowane przez właściwą organizację zabiegów (27).

Ocena lokalnego narażenia w dłoni wymaga szczegółowej analizy współczynnika SAR, ponieważ bezpośrednio przy kablach zasilających elektrody natężenie pola elektrycznego przekracza 2–3 razy limit natężenia pola podany w zaleceniach międzynarodowych. Wymaga to dalszych badań.

Przy wykorzystaniu mocy znacznie większych niż przy relacjonowanych badaniach również narażenie na pole elektromagnetyczne może być większe od omówionego w niniejszej pracy.

PODZIĘKOWANIA

Autorzy dziękują pracownikom placówek ochrony zdrowia za wszechstronną pomoc przy wykonaniu relacjonowanych badań.

PIŚMIENNICTWO

1. Korniewicz H., Karpowicz J., Gryz K., Aniołczyk H., Zmysłony M., Kubacki R. i wsp.: Pola i promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu częstotliwości 0 Hz – 300 GHz. Dokumentacja proponowanych znowelizowanych wartości dopuszczalnych ekspozycji zawodowej. *Podst. Met. Oceny Środ. Pr.* 2001;28(2):7–45
2. International Agency for Research on Cancer: Non-ionizing radiation, part 2: Radiofrequency electromagnetic fields. *IARC Monogr. Eval. Carcinog. Risks Hum.* 2013;102
3. Hansson Mild K., Alanko T., Decat G., Falsaperla R., Gryz K., Hietanen M. i wsp.: Exposure of workers to electromagnetic fields. A review of open questions on exposure assessment techniques. *Int. J. Occup. Saf. Er-*

- gon. 2009;15(1):3–33 [cytowany 28 maja 2013]. Adres: <http://www.ciop.pl/28713>
4. Bortkiewicz A.: Skutki zdrowotne działania pól elektromagnetycznych – przegląd badań. *Podst. Met. Oceny Środ. Pr.* 2008;58(4):67–87 [cytowany 28 maja 2013]. Adres: http://www.ciop.pl/zasoby/3nr4r2008_skutki_zdrowotne.pdf
 5. Wilen J., Hansson Mild K., Paulsson L.E., Anger G.: Induced current measurements in whole body exposure condition to radio frequency electric fields. *Bioelectromagnetics* 2001;22:560–567, <http://dx.doi.org/10.1002/bem.84>
 6. Szmigielski S., Sobiczewska E.: Ryzyko chorób nowotworowych w warunkach narażenia na pola radio- i mikrofalowe – badania epidemiologiczne. *Med. Pr.* 2009;60(5):389–398
 7. Hansson Mild K., Hardell L., Carlberg M.: Użytkowanie telefonów komórkowych i bezprzewodowych a ryzyko występowania guzów mózgu zdiagnozowanych w latach 1997–2003 – wyniki badań kliniczno-kontrolnych. *Bezpiecz. Pr.* 2007;440(4):22–26 [cytowany 28 maja 2013]. Adres: <http://www.ciop.pl/23792>
 8. Eggleston J.L., von Maltzahn W.W.: Electrosurgical devices. W: Bronzino J.D. [red.]. *The biomedical engineering handbook. Medical devices and systems*, Wyd. 3. CRC Taylor and Francis, Boca Raton 2006, ss. 63-1–63-9
 9. Gryz K., Karpowicz J.: Zagrożenia elektromagnetyczne przy elektrochirurgii – ocena ekspozycji pracowników na pole elektromagnetyczne i prądy indukowane w organizmie. *Rocz. Państw. Zakł. Hig.* 2006;57(2):165–175 [cytowany 28 maja 2013]. Adres: http://www.pzh.gov.pl/page/fileadmin/user_upload/biblioteka/roczniki_PZH/57/2_2006pl.pdf
 10. Gryz K., Karpowicz J., Zradziński P.: Pola elektromagnetyczne przy urządzeniach elektrochirurgicznych – ocena ryzyka zawodowego. *Bezpiecz. Pr.* 2008;440(5):16–21 [cytowany 6 maja 2013]. Adres: <http://www.ciop.pl/18054.html>
 11. Karpowicz J., Gryz K., Leszko W., Zradziński P.: An assessment of limb current in surgeons and nurses using electrosurgical units. W: *BioEM 2013. Joint Meeting of The Bioelectromagnetics Society and the European BioElectromagnetics Association*. 10–14 czerwca 2013, Thessaloniki, Grecja; Abstract Collection – Complete Collection. The Bioelectromagnetics Society and the European Bioelectromagnetics Association, Thessaloniki 2013, ss. 322–324
 12. Aniołczyk H., Mamrot P.: Ocena ekspozycji na pola elektromagnetyczne od urządzeń przemysłowych, medycznych i naukowych. W: Aniołczyk H. [red.]. *Pola elektromagnetyczne – źródła, oddziaływanie, ochrona*. Instytut Medycyny Pracy, Łódź 2000, ss. 191–201
 13. Gryz K., Karpowicz J.: Urządzenia medyczne. W: Gryz K., Karpowicz J. *Pola elektromagnetyczne w środowisku pracy*. Centralny Instytut Ochrony Pracy, Warszawa 2000, ss. 100–105
 14. De Marco M., Magi S.: Evaluation of stray radiofrequency radiation emitted by electrosurgical devices. *Phys. Med. Biol.* 2006;51:3347–3358, <http://dx.doi.org/10.1088/0031-9155/51/14/004>
 15. Wilen J.: Exposure assessment of electromagnetic fields near electrosurgical units. *Bioelectromagnetics* 2010;31:513–518, <http://dx.doi.org/10.1002/bem.20588>
 16. Liljestrand B., Sandstrom M., Hansson Mild K.: RF exposure during use of electrosurgical units. *Electromagn. Biol. Med.* 2003;22(2):127–132, <http://dx.doi.org/10.1081/JBC-120024622>
 17. Gryz K., Karpowicz J.: Zasady oceny zagrożeń elektromagnetycznych związanych z występowaniem prądów indukowanych i kontaktowych. *Podst. Met. Oceny Środ. Pr.* 2008;58(4):137–171
 18. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2013/35/UE z dnia 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 Rady 89/391/EWG i uchylająca dyrektywę 2004/40/WE), *DzUrz UE* 2013, L 179:1–21
 19. 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/E: Pola i promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu częstotliwości 0 Hz – 300 GHz. *DzU z 2002 r. nr 217, poz. 1833*
 20. PN-T-06580:2002: Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym w zakresie częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz. Terminologia. Metody pomiaru i oceny pola na stanowisku pracy. *Polski Komitet Normalizacyjny*, Warszawa 2002
 21. 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
 22. Bienkowski P., Zubrzak B.: Wytwarzanie i pomiar impulsowego i modulowanego pola elektromagnetycznego. *Przegl. Elektrotech.* 2010;86(12):17–20
 23. Kubacki R., Kieliszek J., Sobiech J., Puta R.: Metrologia pól elektromagnetycznych modulowanych impulsowo miernikami diodowymi. *Med. Pr.* 2007;58(1):57–62
 24. 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*

-
25. PN-EN 50499:2009: Metoda oszacowania ekspozycji pracowników na pola elektromagnetyczne. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2009
 26. World Health Organization: WHO research agenda for radiofrequency fields. WHO, Geneva 2010 [cytowany 14 lutego 2013]. Adres: <http://www.who.int/peh-emf/research/agenda/en/index.html>
 27. Karpowicz J., Gryz K., Sosnowska-Mach M.: Zagrożenia wypadkowe związane z wybranymi zastosowaniami pól elektromagnetycznych – służba zdrowia, telekomunikacja z wykorzystaniem fal radiowych. Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2008