



Podstawy oceny zagrożeń elektromagnetycznych podczas pomiarów pola elektromagnetycznego emitowanego przez diatermie chirurgiczne¹

The principles of evaluating electromagnetic hazards when measuring the electromagnetic field emitted by surgical diathermy devices

dr hab. inż. JOLANTA KARPOWICZ
<https://orcid.org/0000-0003-2547-2728>
e-mail: jokar@ciop.pl

dr hab. inż. KRZYSZTOF GRYZ
<https://orcid.org/0000-0001-5655-2187>

dr hab. inż. PATRYK ZRADZIŃSKI
<https://orcid.org/0000-0001-8094-0761>

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
Central Institute for Labour Protection – National Research Institute, Poland

Streszczenie

Ochrona przed zagrożeniami elektromagnetycznymi powinna dotyczyć również prac podczas ich oceny, traktowanych jako jeden z przejawów użytkowania źródła pola elektromagnetycznego (pola-EM). Diatermie chirurgiczne zaliczają się do najliczniejszych źródeł pola-EM, które wymaga oceny w środowisku pracy. Przy takich urządzeniach charakterystyka zagrożeń elektromagnetycznych jest podobna podczas wykonywania ich oceny i podczas zabiegów medycznych - jest uzależniona od konfiguracji przestrzennej wyposażenia technicznego w sali operacyjnej (lub zabiegowej) oraz organizacji pracy zespołu pomiarowego/(zabiegowego). Jednakże warunki narażenia zespołu zabiegowego są determinowane w pierwszym rzędzie stanem zdrowia pacjenta, ale również wiedzą i umiejętnościami pracowników organizujących lub przeprowadzających zabiegi. Narażenie na pole-EM jest nieuniknione podczas wykorzystywania diatermii chirurgicznych w zabiegach ratujących zdrowie i życie pacjentów, natomiast podczas pomiarów przy takich urządzeniach można w znacznym stopniu je ograniczyć, opracowując procedury wykonywania pomiarów w optymalnym zakresie i warunkach technicznych - o ile pomiary takie są niezbędne do właściwego rozpoznania i ograniczenia zagrożeń dotyczących pracowników ochrony zdrowia. W artykule przeanalizowano wybrane aspekty tego problemu w kontekście wymagań prawa pracy dotyczących m.in. oceny i ograniczania oddziaływania pola-EM emitowanego przez diatermie chirurgiczne na pracowników, w tym oceny narażenia kończyn. Pomiary pola-EM powinny być zorganizowane w taki sposób, aby miarodajnie ocenić parametry narażenia zespołu zabiegowego (przy wielu urządzeniach osiągniętego poziomu narażenia niebezpiecznego), ale przy zapewnieniu bezwarunkowej tymczasowości narażenia zespołu pomiarowego, ponieważ prace pomiarowe nie spełniają kryteriów dotyczących warunkowej akceptowalności narażenia niebezpiecznego na pole-EM pracownika (jak określono w rozporządzeniu ministra ds. pracy: DzU 2018, poz. 331). W załączniku artykułu scharakteryzowano ramowe zasady organizowania takich pomiarów

¹ Opracowano i wydano na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Projekt nr II.PB.17 pt. „Modelowanie narażenia na pole elektromagnetyczne podczas zróżnicowanego użytkowania diatermii chirurgicznych”.
Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

i zasady oceny zagrożeń elektromagnetycznych (występujących w różnych warunkach użytkowania diatermii chirurgicznych), obejmującej wykorzystanie danych poza-pomiarowych.

Słowa kluczowe: diatermia chirurgiczna, pole elektromagnetyczne, ekspozycja, bezpieczeństwo i higiena pracy, inżynieria środowiska, inżynieria biomedyczna, ocena zagrożeń elektromagnetycznych.

Abstract

Protection against electromagnetic hazards should also apply to work performed while assessing such hazards, as this is also treated as a use of electromagnetic field (EMF) sources. The most common EMF source for which electromagnetic hazards in the work environment are assessed involves surgical diathermy devices. By such devices, the characteristics of electromagnetic hazards while assessing them has many features in common with the hazards experienced during medical treatments using surgical diathermy devices – they are determined by the configuration of the material objects used in the operating (or treatment) room and the organization of the work of the measuring team / (treatment team). However, the exposure of the treatment team is determined primarily by the patient's health, as well as by the knowledge and skills of the personnel organizing or performing the treatment. Exposure to the EMF emitted by surgical diathermy devices is inevitable during medical procedures saving the health and life of patients, while exposure during measurements near such devices may be substantially mitigated by developing procedures for performing the measurements in the proper scope and under proper technical conditions – assuming that such measurements are the necessary basis for recognizing and mitigating electromagnetic hazards experienced by the healthcare workers. The article analyses selected aspects of this problem in the context of labour law concerning issues such as the evaluation and mitigation of interactions of EMF emitted by surgical diathermy devices on workers, including evaluation of limb exposure. Measurements of EMF must be organized in such a way as to reliably determine the parameters of the exposure of the treatment team (reaching the level of “dangerous exposure” near many devices), but must also ensure that the exposure of the measuring team is unconditionally “temporary” because the measurement tasks do not fulfill the criteria set with respect to conditional accepting the “dangerous exposure” to EMF for worker (as set out in the labour regulation: J.L 2018, item 331). The principles for organizing such measurements and for assessing electromagnetic hazards (while using surgical diathermy devices), including the use of non-measuring-sourced data are described in an appendix to the article.

Keywords: surgical diathermy device, electromagnetic field, exposure, occupational safety and health, environmental engineering, biomedical engineering, evaluation of electromagnetic hazards

WPROWADZENIE

Ocena zagrożeń elektromagnetycznych (Z-EM) jest wymagana zgodnie z rozporządzeniem ministra ds. pracy [DzU 2018, poz. 331] w stosunku do wszystkich okoliczności użytkowania różnego typu źródeł pola elektromagnetycznego (pola-EM) o częstotliwości z zakresu 0–300 GHz. „Prace podczas pomiarów pola-EM w przestrzeni pracy” zostały wymienione w tym rozporządzeniu jako jeden z takich przejawów użytkowania źródeł pola-EM, jak: zamierzone wykorzystywanie pola-EM w różnych celach użytkowych, regulacja parametrów roboczych lub inne czynności przy produkcji źródła pola-EM, prace eksploatacyjne przy źródle pola-EM (wykonywane w zakresie: obsługi związanej ze zmianą parametrów działania podczas zamierzonego stosowania źródła pola-EM, konserwacji, przeglądów serwisowych, regulacji

lub innych prac, polegających na: utrzymaniu odpowiedniej zdolności użytkowej i bezpieczeństwa funkcjonalnego, remontach polegających na wykrywaniu niesprawności, usuwaniu usterek, naprawie uszkodzeń lub wymianie zużytych elementów, w celu osiągnięcia wymaganego stanu technicznego). Ponadto na potrzeby ochrony przed Z-EM rozrózniono w tym rozporządzeniu źródła pola-EM:

- a) pierwotne, rozumiane jako obiekt techniczny zasilany energią elektryczną, naelektryzowany lub magnes trwały, emitujący pole-EM w trakcie użytkowania,
- b) wtórne, rozumiane jako obiekt metalowy, podlegający oddziaływaniom zewnętrznego pola-EM, emitowanego z innego źródła.

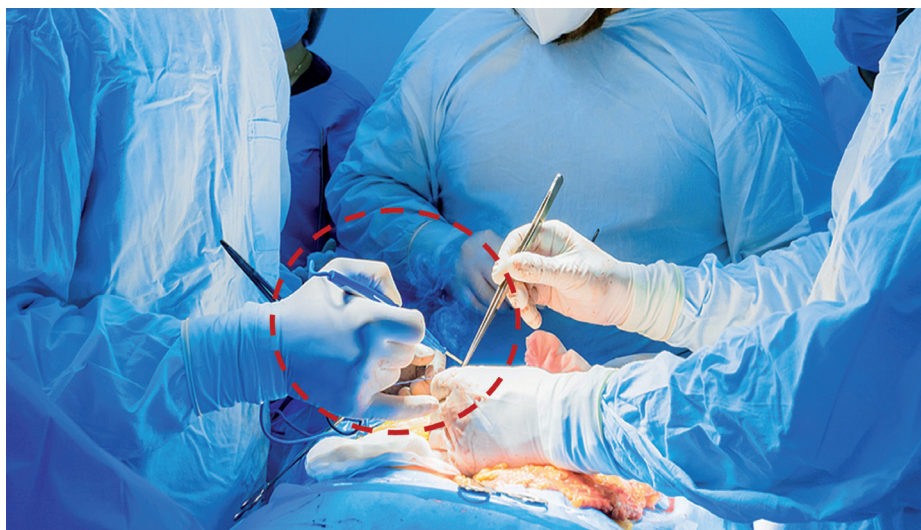
DIATERMIA CHIRURGICZNA JAKO ŹRÓDŁO ZAGROŻEŃ ELEKTROMAGNETYCZNYCH

Do najliczniejszych źródeł pola-EM, przy których prowadzone są obecnie pomiary celem oceny Z-EM w środowisku pracy, zalicza się diatermie chirurgiczne (DCH). Charakterystyka Z-EM dotyczących pracowników wykonujących pomiary ma wiele cech wspólnych z narażeniem pracowników ochrony zdrowia podczas zabiegów z użyciem DCH – jest uzależniona od konfiguracji przestrzennej wyposażenia technicznego w sali operacyjnej (lub zabiegowej) oraz organizacji pracy zespołu pomiarowego (zabiegowego) (ryc. 1). Jednakże narażenie zespołu zabiegowego wykorzystującego DCH jest determinowane stanem zdrowia pacjenta, ale również wiedzą i umiejętnościami pracowników organizujących lub przeprowadzających zabiegi – i jest nieuniknione podczas zabiegów ratujących zdrowie i życie pacjentów. Natomiast narażenie pracowników wykonujących pomiary przy DCH można w znacznym stopniu ograniczyć, opracowując procedury wykonywania pomiarów w optymalnym zakresie i warunkach technicznych – o ile przyjmemy, że pomiary takie są niezbędne do właściwego funkcjonowania systemu ograniczania Z-EM dotyczących pracowników ochrony zdrowia.

Wykorzystanie termicznych skutków oddziaływania prądów przepływających między elektrodami DCH zasilanymi wysokim napięciem

wielkiej częstotliwości należy do rutynowych technik stosowanych podczas zabiegów chirurgicznych, celem ograniczenia utraty krwi przez pacjenta. Przy wysokim napięciu załączonym w obwodzie wyjściowym generatora DCH (ręcznie, włącznikiem w uchwycie elektrody lub nożnym pedałem ustawionym na podłodze) jest emitowane również pole-EM wielkiej częstotliwości (PWCZ), (De Marco, Magi 2006; Gryz i in. 2006; 2008a; Karpowicz i in. 2013a; 2013b; 2015; 2020; 2021; 2023a; 2023b; Radczuk i in. 2013; Wilen 2010). Obudowa generatorów DCH powinna stanowić skuteczny ekran elektromagnetyczny (kiedy jest przewodząca/metalowa, uziemiona i „szczelna elektromagnetycznie”), dlatego podczas użytkowania tych urządzeń pierwotnymi źródłami PWCZ są najczęściej tylko:

- elektroda zabiegowa (EZ-DCH), określaną również jako elektroda czynna (monopolarna lub bipolarna), przyłączona do wysokiego potencjału elektrycznego wytwarzanego przez generator DCH,
- kable (K-DCH), określane również jako przewody, łączące generator DCH z elektrodami (czynną monopolarną i bierną lub bipolarną).



Rycina 1. Przykładowe wykorzystanie diatermii chirurgicznej podczas zabiegu chirurgicznego; na zdjęciu wyróżniono uchwyt i kabel elektrody zabiegowej w ręku operatora [zdjęcie ilustracyjne: bigstock-A-Team-Of-Surgeons-With-Surgic-455130169_fot_e.a.nekrasov]

Figure 1. Example use of a surgical diathermy device during surgical treatment; the handle and cable of an active electrode grasping by an operator are marked in the photo [photo: bigstock-A-Team-Of-Surgeons-With-Surgic-455130169_fot_e.a.nekrasov]

Natomiast wtórnymi źródłami PWCZ są takie metalowe obiekty znajdujące się w pobliżu K-DCH, jak: stół operacyjny i stoliki narzędziowe, lampy oświetleniowe itp., a także ciało człowieka (pacjenta i pracowników). Wtórne źródła pola-EM mogą w istotny sposób modyfikować rozkład przestrzenny PWCZ w miejscu pracy i profil

narażenia zespołu zabiegowego/pomiarowego, jednak w każdym przypadku parametry narażenia od źródeł pierwotnych i wtórnych są determinowane poziomem emisji PWCZ ze źródeł pierwotnych i lokalizacją tych źródeł w odniesieniu do miejsca przebywania pracowników i wyposażenia materialnego środowiska pracy.

OGÓLNE ZASADY OCENY ZAGROŻEŃ ELEKTROMAGNETYCZNYCH W ŚRODOWISKU PRACY

W przestrzeni pracy wyróżnia się:

- przestrzeń pola-EM stref ochronnych (**PPSO**), (pośredniej, zagrożenia i niebezpiecznej), w której obowiązuje stosowanie środków ochronnych dostosowanych do charakterystyki narażenia na pole-EM i rozpoznanych tam Z-EM, wynikających z bezpośrednich i pośrednich skutków oddziaływania pola-EM,
- przestrzeń pola-EM strefy bezpiecznej (**PPSB**), tj. przestrzeń poza strefami ochronnymi, dla której nie określono warunków ograniczających ekspozycję (ryc. 2).

Do rozgraniczenia przestrzeni pola-EM poszczególnych stref ochronnych w rozporządzeniu ministra ds. pracy [DzU 2018, poz. 1286, załącznik 2, cz. E] określono wartości limitów Interwencyjnych Poziomów Narażenia (IPN), rozumianych jako wartości równoważne (WR) natężenia pola elektrycznego (pola-E), E wyrażane w voltach na metr (V/m) i natężenia pola magnetycznego (pola-M), H wyrażane w amperach na metr (A/m), odpowiednio: IPN-E oraz IPN-H (Bieńkowski i in. 2016):

- IPNog-E, IPNog-H – limity operacyjne górne rozgraniczające PPSZ i PPSN,
- IPNod-E, IPNod-H – limity operacyjne dolne rozgraniczające PPSZ i PPSP,
- IPNp-E, IPNp-H – limity pomocnicze rozgraniczające PPSP i PPSB.

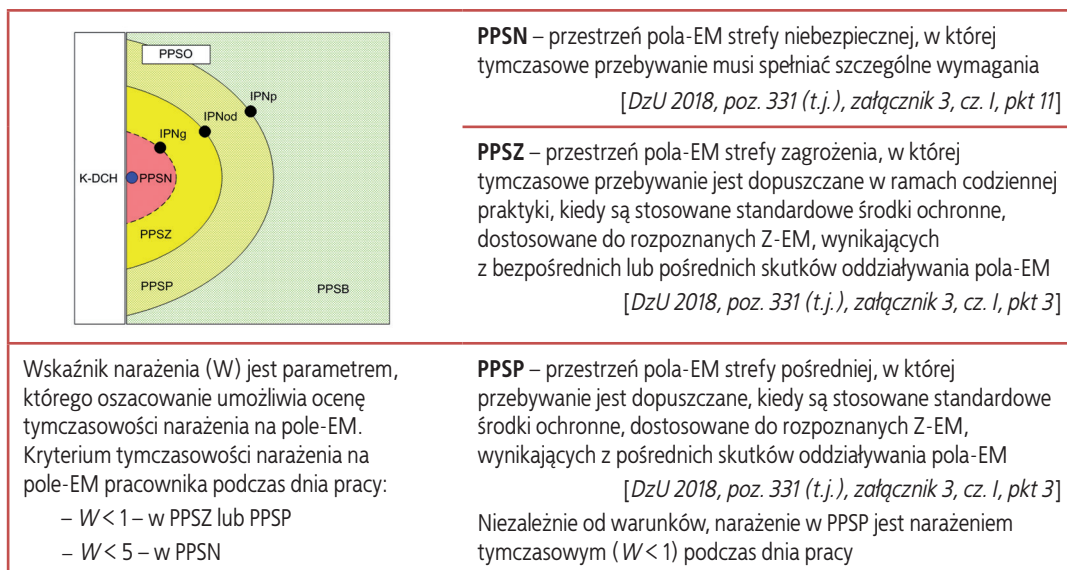
Ponadto w innym rozporządzeniu ministra ds. pracy [DzU 2018, poz. 331 (t.j.), załącznik 2] określono obowiązujące łącznie limity Granicznych Poziomów Oddziaływania (**GPO**):

- limity GPO dotyczące miar bezpośrednich skutków: biofizycznych, termicznych (tj.

obciążenia termicznego) i pozatermicznych (tj. indukowanych potencjałów elektrycznych),

- limity uzupełniające GPOu dotyczące natężenia prądu końcowego.

Limity GPO nie dotyczą parametrów środowiska pracy [DzU 2018, poz. 331 (t.j.), par. 10.3] – w konsekwencji nie podlegają pomiarom wykonywanym w trybie określonym w rozporządzeniu Ministra Zdrowia w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Rozporządzenie... 2011). Badania dotyczące oceny limitów GPO (głównie metodami symulacji komputerowych z uwzględnieniem niepewności i reprezentatywności wyników badań) prowadzą kompetentne laboratoria instytutów naukowo-badawczych lub uniwersytetów technicznych, o udokumentowanej umiejętności wykonania oceny bezpośredniego oddziaływania pola-EM w środowisku pracy i związanych z nim Z-EM. Ponadto: „... w procesie rozpoznania i oceny Z-EM dopuszcza się wykorzystanie danych z recenzowanych publikacji, opracowanych przez kompetentne laboratoria instytutów naukowo-badawczych lub uniwersytetów technicznych, o udokumentowanej umiejętności wykonania oceny oddziaływania pola-EM w środowisku pracy i związanych z nim Z-EM, jeżeli można wykazać jednoznaczne powiązanie ich z charakterystyką Z-EM rozpoznanych w przestrzeni pracy i spełnienie minimalnych wymagań dotyczących oceny zagrożeń, określonych w części II lub III niniejszego załącznika” [DzU 2018, poz. 331 (t.j.), załącznik 3, cz. I, pkt. 8.3].



Rycina 2. Schemat oceny pola-EM w otoczeniu jego źródła użytkowanego w środowisku pracy [DzU 2018, poz. 331 (t.j.), załącznik 3, cz. I]
Figure 2. The scheme of the electromagnetic field near its source used in the work environment [J.L. 2018, item 331, annex 3, part. I]

ZASADY OCENY ZAGROŻEŃ ELEKTROMAGNETYCZNYCH PODCZAS UŻYTKOWANIA DIATERMII CHIRURGICZNYCH

Jak wykazały wykonane badania, pole-EM emitowane przez typowe DCH należy do zakresu częstotliwości 0,3-3 MHz (Karpowicz i in. 2021). W związku z tym, do skutków oddziaływania pola-EM emitowanego przez DCH odnoszą się limity GPO dotyczące wartości współczynnika SAR (GPOg-SAR) i natężenia pola-E indukowanego w organizmie (GPOg-Ew), a także limity GPOu odnoszące się do natężenia prądu kończynowego kontaktowego, przepływającego w kończynach w wyniku dotykania obiektu znajdującego się wraz z pracownikiem w polu-EM (GPOu-Ikk) [DzU 2018, poz. 331 (t.j.), załącznik 2 i załącznik 3, cz. II]. Praktyczne znaczenie w ocenie Z-EM podczas użytkowania DCH ma jedynie ocena pola-E (Gryz i in. 2006; 2008a; Karpowicz i in. 2013a; 2013b; 2015; 2020; 2021, 2023; Radczuk i in. 2013; Wilen 2010). Ponadto w razie niewielkich różnic zasięgu PPSZ i PPSP (jak w przypadku typowej PPSO w otoczeniu DCH) do praktycznej realizacji wymagań prawa pracy można wyróżnić jedynie 2 podzakresy PPSO:

- PNK – przestrzeń narażenia kontrolowanego, stanowiącą łącznie PPSZ i PPSP,
- PNN – przestrzeń narażenia niebezpiecznego, stanowiącą PPSN,

co w konsekwencji prowadzi do wniosku, że IPNog-E i IPNp-E są kluczowymi limitami wykorzystywanymi podczas oceny narażenia na pole-EM emitowane przez DCH i planowania środków ochronnych celem ograniczania Z-EM, a w razie rozpoznania PNN, również IPNob [DzU 2018, poz. 331 (t.j.), załącznik 3, cz. II]. Podsumowując wspomniane okoliczności, dla procesu oceny typowego narażenia na pole-EM najistotniejsze są limity IPN i GPO przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Limity poziomów narażenia i skutków oddziaływania pola-EM w środowisku pracy dotyczące pola-EM o częstotliwości 0,3–3 MHz, emitowanego podczas użytkowania typowych diatermii chirurgicznych

Table 1. Limits of electromagnetic field exposure levels and exposure effects in the work environment regarding electromagnetic fields with a frequency of 0.3-3 MHz, emitted while using typical surgical diathermy devices

Limity IPN [DzU 2018, poz. 1286]	Wartości natężenia pola elektrycznego, E , V/m ⁽¹⁾		
	rozgraniczające PPSB i PNK	limit bazowy	rozgraniczające PNK i PNN
	IPNp-E = 20	IPNob-E = 200	IPNog-E = 800
Limity GPO [DzU 2018, poz. 331 (t.j.)]	Współczynnik SAR, W/kg ⁽²⁾	Natężenie pola-E indukowanego w organizmie E_w , V/m ⁽³⁾	Natężenie prądu końcowego kontaktowego I_{kk} , mA ⁽⁴⁾
	GPOg-SARcc = 0,4 GPOg-SARgt = 10 GPOg-SARk = 20	GPOg-Ew = 380 f_{MHz}	GPOu-Ikk = 40

Objaśnienia:

f_{MHz} – częstotliwość wyrażona w MHz.

GPO – Graniczny Poziom Oddziaływania.

IPN – Interwencyjny Poziom Narażenia.

⁽¹⁾ E – wartość równoważna (WR) natężenia pola-E, obliczana jako wartość międzyszczytowa podzielona przez 2,82; w przypadku przebiegu sinusoidalnie zmiennego równa wartości skutecznej (RMS).

⁽²⁾ GPOg-SAR – wartość współczynnika SAR (uśrednianego w ciele i w okresie T_{SR} dowolnych 6 minut), dotyczącego energii pochłoniętej przez tkankę o masie jednostkowej wskutek oddziaływania pola-EM.

⁽³⁾ GPOg-Ew – wartość szczytowa w dziedzinie czasu (P) natężenia pola-E indukowanego w organizmie E_w , wskutek oddziaływania pola-EM.

⁽⁴⁾ GPOu-Ikk – wartość RMS natężenia prądu stanu ustalonego w kończynie górnej I_{kk} (gdzie ciało ma ciągłą styczność z obiektem w polu-EM), uśredniona w okresie $T_{RMS} = 1/f$.

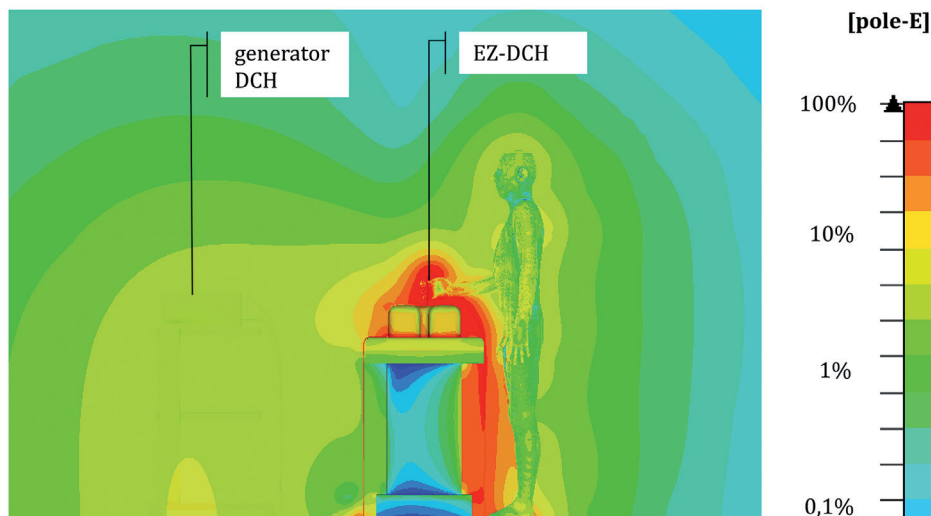
W środowisku pracy oddziaływanie pola-EM na organizm człowieka nie powinno powodować bezpośrednich skutków oddziaływania przekraczających limity GPO (w omawianym przypadku narażenia na PWCZ emitowane przez DCH, dotyczy to limitów GPOg-SAR i GPOg-Ew). Na podstawie przytoczonej charakterystyki PWCZ

emitowanego przez DCH i dotyczących takiego narażenia limitów (wg zestawienia w tabeli 1), minimalne wymagania dotyczące badania zgodności z limitami GPO, określone w rozporządzeniu ministra ds. pracy [DzU 2018, poz. 331 (t.j.), załącznik 3, cz. II] można sprowadzić do wymagań praktycznych przedstawionych w tabeli 2.

Tabela 2. Minimalne wymagania dotyczące badania zgodności z limitami dotyczącymi skutków narażenia na pole-EM (GPO), emitowane przez diatermie chirurgiczne

Table 2. The minimum requirements regarding compliance tests on the limits of exposure effects (GPO) caused by the exposure to electromagnetic field emitted by a surgical diathermy devices

Lp.	Wymagania dotyczące badania zgodności narażenia na pole-EM emitowane przed diatermie chirurgiczne z limitami GPO [DzU 2018, poz. 331 (t.j.), załącznik 3, cz. II]	Etapy badania zgodności (ocena warunków)
1.	operacyjną metodą wykazania zgodności poziomu bezpośrednich skutków oddziaływania pola-EM z limitami GPO jest wykazanie, że poziom maksymalnego narażenia miejscowego na PWCZ w przestrzeni pracy spełnia warunek: $E_{sp} < IPNog-E$ (gdzie E_{sp} jest maksymalną chwilową wartością RMS miejscowego natężenia pola-E zmierzonego w przestrzeni pracy, wykorzystywaną do oszacowania wartości WR tego natężenia pola-E)	$E_{sp} < 800$ V/m
2.	limity GPO uważa się za spełnione również, jeżeli po zastosowaniu uśredniania w czasie, zgodnie z zasadami wynikającymi z definicji limitów GPO odpowiednich do charakterystyki pola-EM rozpoznanego w przestrzeni pracy, poziom uśrednionego w czasie narażenia miejscowego spełnia warunek: $E_{tav} < IPNob-E$ (gdzie E_{tav} jest uśrednioną w dowolnym okresie 6 minut miejscową wartością RMS natężenia pola-E zmierzonego w przestrzeni pracy)	$E_{tav} < 200$ V/m
jeżeli prace przy źródle pola-EM wymagają dotykania obiektów, które są pierwotnym albo wtórnym źródłem pola-EM strefy zagrożenia lub niebezpiecznej, to wymagana jest ocena na podstawie udokumentowanych wyników badań, obliczeń lub ekspertyz, uwzględniających warunki ekspozycji i zasady oceny limitów GPO:		
3.	w przypadku stwierdzenia, że miejscowe natężenie pola-E przekracza odpowiednią wartość limitu IPNob ($E_{sp} > IPNob-E$) należy wykazać, że przez zastosowanie środków ochronnych zapewniono, że poziom bezpośredniego oddziaływania pola-EM nie przekracza limitów dotyczących prądu końcowego: $I_{kk} < GPOu-I_{kk}$ (ze względu na limity GPO dotyczące kończyn)	$E_{sp} > 200$ V/m i $I_{kk} < 40$ mA
4.	w innych szczególnych przypadkach prowadzi się wprost ocenę miar bezpośredniego oddziaływania pola-EM, odpowiednio do charakterystyki pola-EM rozpoznanego w przestrzeni pracy i określonych dla niego limitów GPO: GPOg-SAR i GPOg-Ew (w razie potrzeby – ocena wartości E_w i SAR, obliczonych z wykorzystaniem specjalistycznych symulacji komputerowych i cyfrowych modeli scenariuszy narażenia), (ryc. 3)	ocena wartości E_w i SAR (w razie potrzeby)



Rycina 3. Przykładowa wizualizacja rozkładu przestrzennego natężenia pola-E powstającego w otoczeniu elektrody zabiegowej i kabla diatermii chirurgicznej, w modelu komputerowym scenariusza ekspozycyjnego, umożliwiającym ocenę skutków narażenia – symulacje CST Studio Suite (źródło: archiwum autorów)

Figure 3. An example graphical presentation of the spatial distribution of the electric field strength near to an active electrode and cables of a surgical diathermy device, in the computer model of exposure scenario, allowing the exposure effects to be evaluated – simulations using CST Studio Suite (source: authors' archive)

PARAMETRY CHARAKTERYZUJĄCE ZAGROŻENIA ELEKTROMAGNETYCZNE PODCZAS UŻYTKOWANIA DIATERMII CHIRURGICZNYCH

Uwzględniając omówione zasady oceny Z-EM podczas użytkowania DCH przeprowadzono systematyczne badania dotyczące: charakterystyki pola-EM emitowanego przez te urządzenia w różnych trybach pracy, parametrów oddziaływania tego pola-EM na pracowników oraz skutków takiego oddziaływania obejmujące rozpoznanie (Gryz i in. 2008b; Karpowicz i in. 2013a; 2013b; 2015; 2020; 2021; 2023; Zradziński i in. 2018):

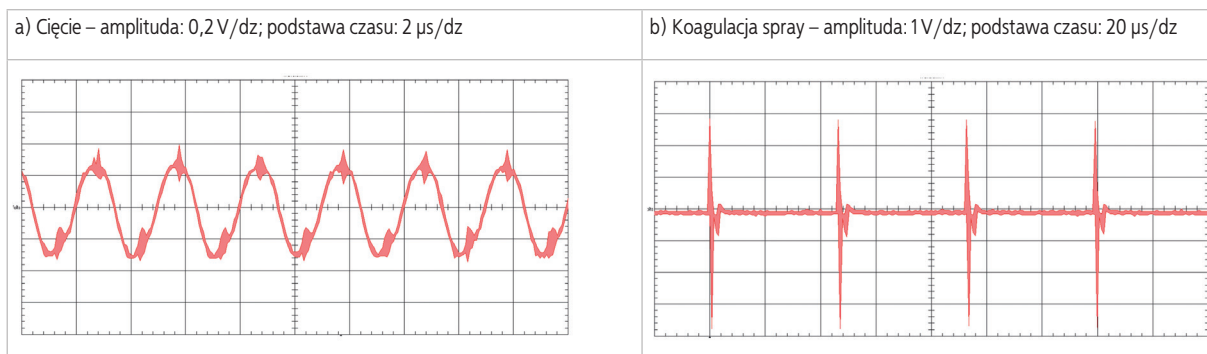
- 1) przebiegu zmienności w czasie pola-EM emitowanego przez różnego typu DCH używane w zróżnicowanych trybach pracy
- 2) rozkładu przestrzennego niezaburzonego pola-EM przy K-DCH
- 3) poziomu pola-EM emitowanego w różnych trybach pracy DCH
- 4) parametrów prądu końcowego kontaktowego podczas użytkowania DCH
- 5) parametrów skutków biofizycznych oddziaływania pola-EM na użytkowników DCH w różnych scenariuszach narażenia.

Zakres przeprowadzonych badań dostosowano do wymagań dotyczących zakresu oceny narażenia pracujących oraz wymagań dotyczących miar

narażenia na pole-EM określonych rozporządzeniami ministra ds. pracy [DzU 2018, poz. 331 (t.j.), załącznik 2; DzU 2018, poz. 1286, załącznik 2, cz. E] i stosowanych do takich badań metod (Bieńkowski i in. 2016).

1) Rozpoznanie przebiegu zmienności w czasie pola-EM emitowanego przez różnego typu DCH użytkowane w zróżnicowanych trybach pracy

Rozpoznanie zmienności w czasie pola-EM emitowanego przez DCH prowadzono metodą oscyloskopową, uzupełnioną o analizę jego widma częstotliwości metodą szybkiej transformaty Fouriera (FFT). Wykorzystywano przenośny oscyloskop cyfrowy z pamięcią i kalibrowaną antenę. Przeprowadzone badania wykazały, że do typowych zabiegów są stosowane napięcia i prądy elektryczne o częstotliwościach ok. 0,3-3 MHz, t.j. z zakresu PWCZ, przy których bardzo jest ograniczona elektrostymulacja nerwów i mięśni. Podczas badań studialnych rozpoznano również PWCZ o dominującej częstotliwości dochodzącej do 4 MHz (przy nielicznych DCH).



Rycina 4. Przykładowe przebiegi zmienności w czasie pola-EM emitowanego podczas użytkowania typowych diatermii chirurgicznych w różnych trybach pracy

Figure 4. An example of the time-variability of the electromagnetic field while using typical surgical diathermy devices in various modes

Na rycinie 4 zaprezentowano przykładowe przebiegi zmienności w czasie PWCZ emitowanego podczas różnych trybów pracy typowych DCH wykorzystywanych w zabiegach medycznych, najczęściej oznaczonych jako różnego typu „Cięcie” (CUT) lub „Koagulacja” (COAG), z mocą i modulacją regulowanymi manualnie lub zaprogramowanymi do automatycznej pracy DCH podczas zabiegu.

W przypadku pola-EM sinusoidalnie zmienne w czasie (np. podczas pracy DCH w trybie Cięcia) wartości równoważne natężenia pola-E (WRE) ocenia się bezpośrednio na podstawie wyników pomiarów wartości skutecznej, a w przypadku emisji modulowanego pola-EM (np. podczas pracy w trybie Koagulacja), z wykorzystaniem współczynników korekcyjnych zwiększających wartość zmierzonego natężenia pola. Odpowiednie współczynniki korekcyjne ustala się na podstawie oscyloskopowej analizy zmienności w czasie mierzonego pola-EM oraz właściwości metrologicznych użytych mierników.

2) Rozpoznanie rozkładu przestrzennego niezaburzonego pola-EM przy K-DCH

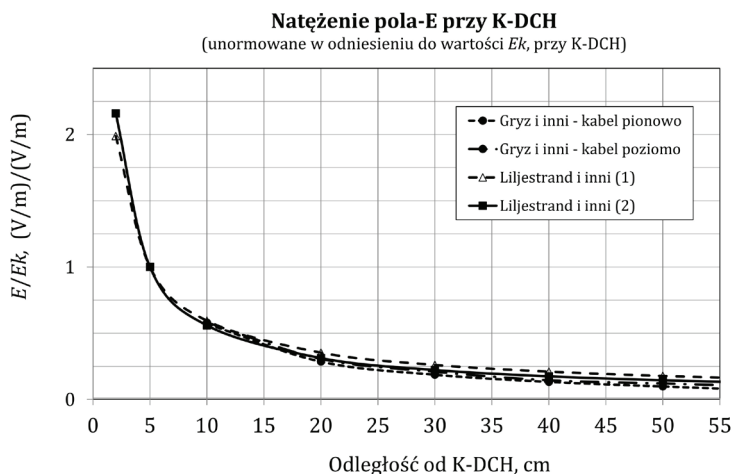
Zakres pomiarów PWCZ przy DCH, zgodnie z wymaganiami dotyczącymi zakresu oceny narażenia pracujących [DzU 2018, poz. 331 (t.j.), Załącznik 3] oraz wymaganiami dotyczącymi miar narażenia na pole-EM [DzU 2018, poz. 1286] powinien umożliwić:

- wyznaczenie w przestrzeni pracy zasięgów PPSO na podstawie wyników pomiarów niezaburzonego pola-EM (czyli takiego, którego rozkład przestrzenny nie został zmieniony wskutek obecności obiektów,

które nie są stałym elementem przestrzeni pracy lub przebywających tam osób), tj. pomiarów natężenia pola-E w pionach pomiarowych do wysokości co najmniej 2 m [DzU 2018, poz. 331(t.j.), załącznik nr 3, Cz. III, pkt. 1.1 i 8], za **przestrzeń pracy** przyjęto otoczenie DCH,

- określenie w przestrzeni jakiej strefy pola-EM jest zlokalizowane **miejsce wykonywania pracy** (ze względu na wymagania rozporządzenia Ministra Zdrowia (Rozporządzenie... 2011), na podstawie maksymalnych miejscowych wartości natężenia pola-E w pionie pomiarowym odpowiadającym położeniu osi głównej ciała [DzU 2018, poz. 331(t.j.), załącznik 3, Cz. I, pkt. 7],
- w przypadku zlokalizowania **przestrzeni obsługi** w PPSZ lub PPSN – ocenę tymczasowości lub zgodności z limitami GPO narażenia na quasi-stacjonarne pole-EM na podstawie maksymalnych miejscowych wartości natężenia niezaburzonego pola-E, oddziałującego na głowę, tułów i kończyny – przy czym wartości natężenia pola-E przy powierzchni K-DCH (E_k), to jest w odległości środka sondy pomiarowej 5 cm od K-DCH, wyznacza się na podstawie pomiarów w odległości 10 i 20 cm od niego [DzU 2018, poz. 331(t.j.), załącznik 3, Cz. III, pkt. 1.2 i 1.7].

Relacjonowane w artykule badania doświadczalne obejmowały wymagane przez prawo pracy pomiary rozkładu przestrzennego niezaburzonego pola-EM, wykonane w warunkach labo-



Rycina 5. Rozkład natężenia pola-E w otoczeniu kabla diatermii chirurgicznej (wartości unormowane w odniesieniu do wartości E_k natężenia pola-E odpowiadającej wynikowi pomiaru przy powierzchni kabla)

Figure 5. The spatial distribution of electric field strength near the cables of a surgical diathermy device supplying an active electrode (normalized to the values E_k of electric field strength values as it would be measured by the cable surface)

ratoryjnych oraz *in situ* w placówkach ochrony zdrowia, podczas użytkowania DCH z fantomem pacjenta (obciążeniem rezystancyjnym DCH, zapewniającym stabilną pracę urządzeń), (ryc. 5). Wykonanie miarodajnych badań niezaburzonego pola-EM podczas rzeczywistego zabiegu chirurgicznego jest niemożliwe ze względu na wymagania higieniczno-sanitarne i wymagania techniczne dotyczące oceny pola-EM. Pomiary prowadzono z wykorzystaniem szerokopasmowego miernika wartości skutecznej (RMS) natężenia pola-E (o zakresie pomiarowym 0,8–1300 V/m, w paśmie 0,1-3000 MHz), wzorcowanego w akredytowanym laboratorium CIOP-PIB (certyfikat Polskiego Centrum Akredytacji nr AP 061).

Zaprezentowana charakterystyka rozkładu przestrzennego PWCZ emitowanego przez DCH obrazuje jego znaczną niejednorodność (rzędu 2-krotnego osłabienia przy 2-krotnym zwiększeniu odległości od jego źródła, co oznacza, że poziom PWCZ w odległości 50 cm można oszacować jako 10% jego wartości występującej w odległości 5 cm od K-DCH, a 5% w odległości 100 cm od K-DCH). W tym kontekście uwagi wymaga, że wprawdzie w pozycji naturalnej operator trzyma uchwyt EZ-DCH z jej kablem zasilającym w odległości od osi ciała nie mniejszej od tzw. długości uchwytu (długość uchwytu, tj. odległość „łokieć – oś uchwytu dłoni” wynosi dla populacji dorosłych mężczyzn w Polsce: 32-43 cm, a dla kobiet:

28-40 cm (Gedliczka 2001)), jednak podczas zabiegu ze względów ergonomicznych nie jest możliwe długotrwałe zachowanie takiej pozycji ciała, a także podczas poruszania się operatora i innych osób położenie K-DCH może się znacznie zmieniać. Z tego powodu, jako tzw. najgorszy przypadek narażenia kończyn, tułowia, ale również głowy, podczas zróżnicowanego użytkowania DCH, należy przyjąć maksymalny poziom natężenia pola-E bezpośrednio przy kablach. Zgodnie z wymaganiami prawa pracy dotyczącymi oceny Z-EM, jest to wspomniana na ryc. 5 wartość E_k natężenia pola-E odpowiadająca natężeniu pola w odległości 5 cm od K-DCH, ale wyznaczona na podstawie pomiarów w odległości 10 i 20 cm).

3) Rozpoznanie poziomu pola-EM emitowanego w różnych trybach pracy DCH

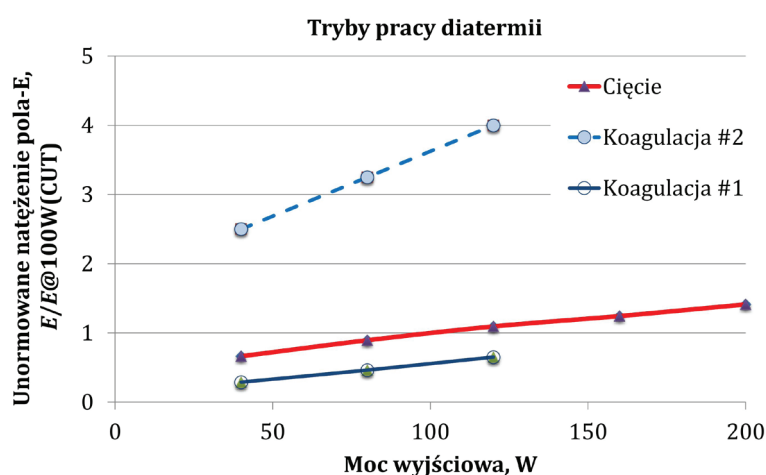
Analiza wyników badań pola-EM w otoczeniu ponad 200 DCH różnego typu wykazała jednoznacznie, że podczas ich użytkowania pracownicy podlegają narażeniu na PWCZ o poziomie znacznie zróżnicowanym przestrzennie i w dziedzinie czasu (Karpowicz i in. 2013a; 2013b; 2015; 2020; 2021; 2023). Poziom natężenia pola-E w otoczeniu elementów DCH będących pierwotnymi źródłami PWCZ (głównie K-DCH) i narażenia członków zespołu zabiegowego/pomiarowego zależy nie tylko od mocy wyjściowej DCH, lecz także

w znacznym stopniu od jej trybu pracy. Szczególniej uwagi wymaga w tym kontekście, że nie zaobserwowano liniowej zależności poziomu emitowanego pola-E od mocy wyjściowej DCH, ani istotnej statystycznie korelacji natężenia pola-E (lub jego kwadratu) i mocy wyjściowej generatora DCH. Relacje te są zróżnicowane, zależnie od trybu pracy i konstrukcji generatora DCH (tj. typu i producenta urządzenia), (ryc. 6), (Karpowicz i in. 2021; 2023). W związku z tym nastawy mocy wyjściowej generatora DCH nie mogą być parametrem wykorzystywanym do normowania (skalowania) poziomu narażenia przy DCH użytkowanej przy różnych nastawach. Do oceny parametrów narażenia na PWCZ przy DCH jest konieczne przeprowadzenie badań eksperymentalnych obejmujących pełny zakres mocy wyjściowych urządzenia, przy którym narażenie jest rozpatrywane.

Systematyczne rozpoznanie warunków użytkowania DCH na podstawie wyników badań (kwestionariuszowych i konsultacji z pracownikami różnych placówek medycznych) wykazało, że moce wyjściowe generatora DCH zasilającego elektrody dostosowuje się do specyfiki przeprowadzanej procedury medycznej – typowo w zakresie od pojedynczych watów (podczas np. zabiegów okulistycznych i dermatologicznych), poprzez zakres ok. 5-50 W (podczas zabiegów elektrodą bipolarną), do zakresu ok. 30-200 W (podczas zabiegów elektrodą monopolarną), (Karpowicz i in. 2021).

Podstawą oceny narażenia pracowników na PWCZ jest wartość równoważna natężenia pola-E (WRE) niezaburzonego PWCZ, aby ocenić czy narażenie spełnia kryteria określone za pośrednictwem odpowiednich limitów IPN_x (tzn. ocena czy w najgorszym przypadku narażenia: $WRE < IPN_x$). Jeśli dostępna jest aparatura umożliwiająca miarodajny pomiar WRE, ocena taka będzie najdokładniejsza na podstawie WRE zmierzonej przy najbardziej zmodulowanym przebiegu trybu pracy Koagulacja (np. Koagulacja Spray). Jednak w praktyce często nie jest dostępna taka aparatura. W takim przypadku można przeprowadzić uproszczoną ocenę najgorszego przypadku narażenia (tzn. narażenia relatywnie najsilniejszego) w celu sklasyfikowania poziomu narażenia zespołu zabiegowego i określenia jakie środki ochronne powinny być stosowane ze względu na użytkowanie DCH. Ze względu na charakterystyki zmienności w czasie i poziomu PWCZ emitowanego przez DCH w różnych trybach pracy (ryc. 4 i 6), na potrzeby uproszczonej oceny narażenia na PWCZ emitowane przez DCH można wykorzystać wartości skuteczne natężenia pola-E (WSE), zmierzone przy trybie pracy Cięcie, ale z zastosowaniem współczynnika korekcyjnego do oszacowania na ich podstawie WRE (poprzez odpowiednie zwiększenie wyników pomiarów WSE). W takim celu należy przyjąć:

$$WRE = 3 \times WSE \quad (1)$$



Rycina 6. Przykładowe zależności poziomu wartości równoważnej natężenia pola-E (WRE) niezaburzonego pola-EM, zmierzonego przy kablu diatermii chirurgicznej w funkcji mocy wyjściowej oraz trybu pracy urządzenia (odniesione do wartości natężenia pola-E przy mocy wyjściowej 100 W w trybie Cięcie)

Figure 6. An example of the relation between the maximum value of electric field strength (WRE) of an unperturbed electromagnetic field, measured by the diathermy device cable, and the output power and the mode of operation of device (in relation to the electric field strength value at 100 W output power in CUT mode)

Pomiary przeprowadzone przy wspomnianych nastawach DCH wykazały, że natężenie pola-E bezpośrednio przy K-DCH (E_k) rozpoznano w zakresie 20–2400 V/m, a w niektórych przypadkach w odległości 100 cm od kabli również natężenie pola-E przekraczające 20 V/m. Relacjonowane badania wykazały, że zasięgi PWCZ stref ochronnych (tzn. zasięg przestrzeni, w której natężenie niezaburzonego pola-E przekracza odpowiednie limity IPN, jak podano w tab. 1) dochodzą do: 20 cm od K-DCH – zasięg PWCZ strefy niebezpiecznej, 120 cm od K-DCH – zasięg PWCZ strefy pośredniej (inaczej określanej jako zasięg PPSO). Ponadto wykazano, że zasięg PWCZ o natężeniu pola-E przekraczającym limit IPNob dochodzą do 40 cm od K-DCH.

Podczas zabiegów/(pomiarów) kable zasilające elektrody powinny być ułożone w taki sposób, aby operator lub inni członkowie zespołu zabiegowego (np. instrumentariuszki) / (lub pomiarowego) nie dotykali do nich ciałem. W przypadku ułożenia kabli bezpośrednio przy tułowiu, szczególnie podczas wykorzystywania relatywnie dużych mocy wyjściowych generatora dochodzi do silnego narażenia pracujących na PWCZ strefy zagrożenia (narażenie kontrolowane – w PNK), a nawet na PWCZ strefy niebezpiecznej (narażenie niebezpieczne – w PNN).

Na podstawie przedstawionych wyników badań wykazano, że podczas wielu rodzajów zabiegów (zależnie od nastaw trybu pracy DCH) narażenie pracowników na PWCZ emitowane przez DCH może osiągać poziom na tyle wysoki, że prawo pracy wymaga jego rozpoznania i oceny, a także ograniczania bezpośrednich i pośrednich Z-EM w środowisku pracy poprzez stosowanie odpowiednich środków ochronnych. Jeśli nie przeprowadzono dokładnej oceny poziomu oddziaływania PWCZ przy DCH, to na podstawie pomiarów niezaburzonego PWCZ wykonanych w różnych placówkach podczas użytkowania DCH z elektrodą monopolarną i ze średnią lub dużą mocą wyjściową, osoby przebywające w odległości do ok. 100 cm od K-DCH należy traktować jako przebywające w PNK, w odległości do ok. 20 cm – przebywające w PNN.

W takich warunkach w odległości do ok. 50 cm od K-DCH poziom narażenia pracowników ($E > IPNob-E$) wymaga również oceny odnoszącej się do miar skutków bezpośredniego oddziaływania pola-EM na operatora i zespół

zabiegowy (tj. oceny z wykorzystaniem wyników badań prądu końcowego lub modelowania komputerowego parametrów pola-EM indukowanego w organizmie (E_w) i współczynnika SAR), (Gryz i in. 2008a; Karpowicz i in. 2008; Zradziński 2016). Przy takim poziomie narażenia ocenia się również wskaźnik narażenia (W), zależny od poziomu oddziaływania PWCZ na pracującego i czasu jego trwania – w przypadku narażenia podczas użytkowania DCH zredukowany do zależności:

$$W = T_g (E_k / IPNob-E)^2 \quad (2)$$

gdzie:

T_g – bezwymiarowy współczynnik krotności czasu narażenia ogólnego w stosunku do 8-godzinnego dnia pracy,

E_k – wartości natężenia pola-E w punktach pomiarowych odpowiadających maksymalnemu narażeniu głowy i tułowia podczas narażenia *quasi*-stacjonarnego – jak wcześniej wspomniano, powinna to być wartość równoważna natężenia pola-E przy K-DCH (WRE dotycząca poziomu narażenia E_k),

IPNob-E – wartość odpowiedniego bazowego limitu IPN (patrz tabela 1).

W tabeli 3. zestawiono przykładowe wartości wskaźnika narażenia (W), odpowiadające wspomnianemu zakresowi wartości równoważnych (WRE), typowego poziomu narażenia na PWCZ przy K-DCH (E_k).

W tym kontekście istotne są wyniki badań przeprowadzonych w różnych placówkach ochrony zdrowia, wskazujące istotne różnice między czasem trwania zabiegu i czasem narażenia na PWCZ w jego trakcie: „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)” (Karpowicz i in. 2013a).

Tabela 3. Wskaźnik narażenia (W) w typowych warunkach narażenia na pole-EM emitowane w różnych trybach pracy przez diatermie chirurgiczne (DCH)

Table 3. Exposure factor (W) in typical conditions of exposure to the electromagnetic field emitted under various operating modes of surgical diathermy devices

Maksymalne narażenie głowy i tułowia pracownika na PWCZ (wartość równoważna WRE przy K-DCH)	Wartość współczynnika narażenia (W), jeśli dzienny czas narażenia pracownika (przy poziomie E_k) wynosi łącznie:			
	0,2 h	0,5 h	1 h	2 h
E_k (V/m)				
20	0,00025	0,000625	0,00125	0,0025
100	0,00625	0,015625	0,03125	0,0625
200	0,025	0,0625	0,125	0,25
400	0,1	0,25	0,5	1
800	0,4	1	2	4
1600	1,6	4	8	16
2400	3,6	9	18	36

4) Rozpoznanie parametrów prądu końcowego kontaktowego podczas użytkowania DCH

Charakter pracy operatora, tzn. konieczność trzymania w ręku uchwytu EZ-DCH oraz możliwość dotykania przez jego ciało do K-DCH skłania do rozszerzenia oceny warunków narażenia wymaganego zgodnie z rozporządzeniem ministra ds. pracy [DzU 2018, poz. 331 (t.j.), załącznik 3, Cz. III, pkt 3], obejmującego m.in. ocenę natężenia prądu końcowego (I_{kk}). Pomiar prądu końcowego wykonane przy ponad 200 DCH w różnych placówkach medycznych (Karpowicz i in. 2023) nie wykazały przekroczenia odpowiedniego limitu GPOu dla tego parametru (tabela 1, ryc. 7a). Wyniki badań wykazały, że w typowych warunkach użytkowania DCH wartości I_{kk} , zależne od trybów pracy urządzeń, poziomów mocy wyjściowych

oraz ułożenia względem ciała K-DCH, nie przekraczają 30 mA. Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała, że o ile brak dokładniejszych danych pomiarowych, natężenie prądu końcowego I_{kk} na potrzeby oceny Z-EM podczas użytkowania DCH można oszacować wg zależności:

$$I_{kk} \text{ (mA)} = 0,01 E_k \text{ (V/m)} \quad (3)$$

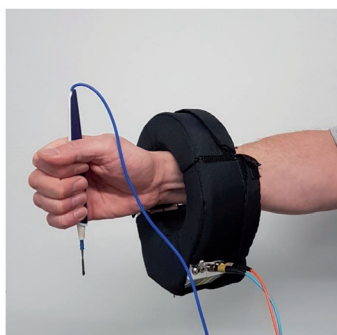
gdzie:

E_k – natężenie pola-E bezpośrednio przy K-DCH,
 I_{kk} – natężenie prądu końcowego.

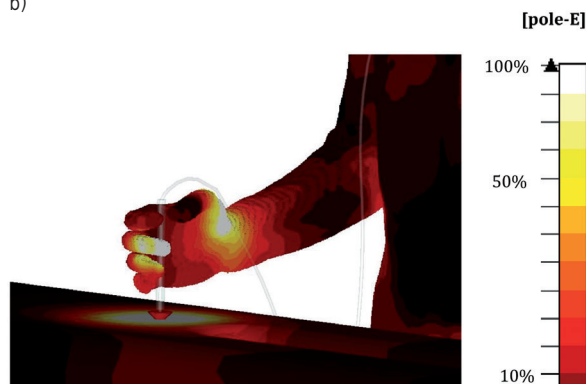
5) Rozpoznanie parametrów skutków biofizycznych oddziaływania pola-EM na użytkowników DCH

Ocena prądu końcowego nie odnosi się do zagrożeń wynikających z bezpośrednich skutków

a)



b)



Rycina 7. Narażenie na pole-EM dłoni trzymającej uchwyt elektrody zabiegowej diatermii chirurgicznej: a) pomiar prądu końcowego; b) symulacje komputerowe pola-E indukowanego w ciele operatora (źródło: archiwum autorów)

Figure 7. Exposure to the electromagnetic field of a palm grasping the handle of an active electrode of a surgical diathermy device: a) the measurements of limb current; b) numerical simulations of the electric field induced in the operator's body (source: authors' archive)

narażenia innych części ciała na PWCZ podczas użytkowania DCH, które powinny być oceniane na podstawie wyników symulacji komputerowych natężenia indukowanego w organizmie pola elektrycznego (E_w) oraz współczynnika SAR (ryc. 7) [DzU 2018, poz. 331 (t.j.)].

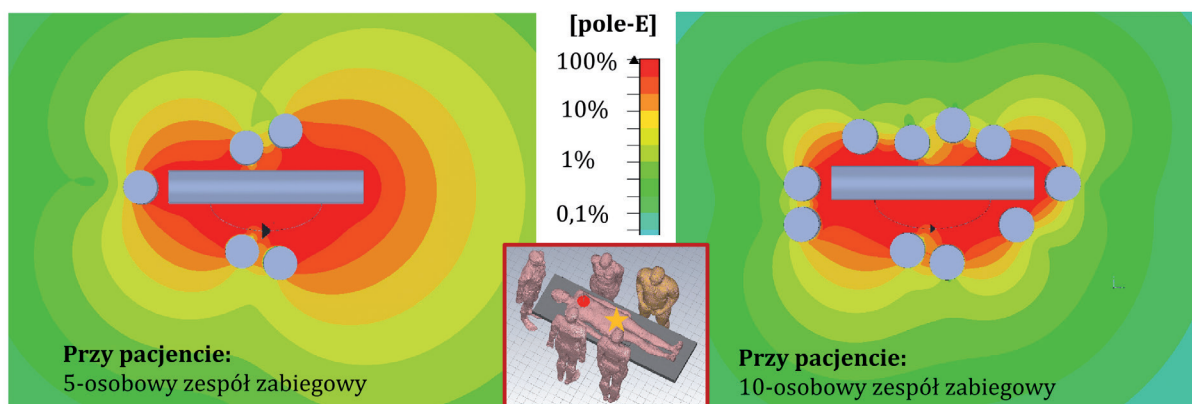
Ze względu na trudności techniczne takiego modelowania komputerowego dotychczas parametry skutków narażenia na PWCZ były rozpoznane w stopniu niewystarczającym do pełnej realizacji wymagań prawa pracy. Celem scharakteryzowania Z-EM (tj. parametrów PWCZ w otoczeniu DCH oraz miar skutków jego oddziaływania na ludzi – E_w i SAR) przeprowadzono m.in. zaawansowane symulacje, dotyczące modeli scenariuszy narażenia różnych (1-10- osobowych) zespołów zabiegowych (z jednobryłowymi, jednorodnymi modelami ciała człowieka), (Karpowicz i in. 2020). Wyniki badań wykazały, że rozkład przestrzenny i poziom narażenia poszczególnych osób (zespołu zabiegowego i pacjenta) jest silnie uzależniony od liczebności i miejsca przebywania zespołu zabiegowego podczas użytkowania DCH (ryc. 8).

Ponadto przy niedostatecznej izolacji elektrycznej operatora DCH i innych osób przebywających przy pacjencie, skutki oddziaływania na nie PWCZ są do 10-krotnie większe i mają inny rozkład przestrzenny niż w modelach izolowanych od podłoża. Porównywalnie do operatora mogą być narażone również inne osoby (przebywające obok operatora i po przeciwnej stronie pacjenta).

Przedstawione w pracy wyniki badań wskazują, że parametry narażenia na PWCZ są znacznie uzależnione od konfiguracji przestrzennej i rozkładu

potencjałów elektrycznych obiektów materialnych oraz uczestników zabiegu chirurgicznego podczas użytkowania DCH. Z tego względu parametry niezaburzonego PWCZ przy DCH, oceniane zgodnie z podstawowymi wymaganiami rozporządzenia ministra ds. pracy [DzU 2018, 331 (t.j.), załącznik 3] należy traktować jako element uproszczonej oceny poziomu Z-EM – raczej wskazówki do opracowania programu stosowania odpowiednich środków ochronnych, niż dane do rozstrzygającego zaklasyfikowania narażenia jako zgodnego/lub niezgodnego z wymaganiami prawa pracy (Rozporządzenie... 2016; Rozporządzenie... 2017; Ustawa... 2020). We wspomnianych programach ochrony przed Z-EM uwagi wymaga również ograniczanie narażenia niekoniecznego, ze względu na ochronę przed skutkami narażenia wieloletniego (IARC 2002, 2011). W związku z powyższym pomiary pola-EM emitowanego przez DCH powinny być zorganizowane w taki sposób, aby miarodajnie oszacować parametry narażenia zespołu zabiegowego (przy wielu urządzeniach osiągającego poziom narażenia niebezpiecznego), ale przy zapewnieniu bezwarunkowej tymczasowości narażenia zespołu pomiarowego, ponieważ prace pomiarowe nie spełniają kryteriów dotyczących warunkowości narażenia niebezpiecznego na pole-EM, jak określono w rozporządzeniu ministra ds. pracy [DzU 2018, poz. 331 (t.j.)].

W załączniku artykułu scharakteryzowano ramowe zasady organizacji pomiarów dotyczących oceny Z-EM podczas użytkowania DCH oraz oceny takich zagrożeń w różnych warunkach użytkowania DCH z wykorzystaniem danych poza-pomiarowych.



Rycina 8. Przykład zróżnicowania rozkładu przestrzennego pola-EM emitowanego przez diatermie chirurgiczną wskutek przebywania różnej liczby osób z zespołu zabiegowego w pobliżu urządzenia i pacjenta (przekrój poziomy nad stołem zabiegowym) (źródło: archiwum autorów)
Figure 8. An example of the spatial distribution of an electromagnetic field emitted by a surgical diathermy device, modified because of various numbers of humans nearby (horizontal cross-section above the treatment table) (source: authors' archive)

PODSUMOWANIE

Korzystanie z możliwości użytkowania technologii elektromagnetycznych (w uzasadnionych okolicznościach nawet pomimo narażenia pracujących na silne pole-EM) nie zwalnia z obowiązku takiego zorganizowania pracy, aby narażenie to i związane z nim zagrożenia bezpieczeństwa i zdrowia ograniczać w racjonalnie możliwym zakresie.

Narażenie na pole-EM (dochodzące do poziomu narażenia niebezpiecznego, zależnie od rodzaju i trybu pracy urządzeń) jest nieuniknione podczas zabiegów ratujących zdrowie i życie pacjentów z wykorzystaniem DCH, natomiast narażenie podczas pomiarów pola-EM (służących rozpoznaniu i ograniczaniu Z-EM dotyczących pracowników ochrony zdrowia użytkujących DCH) można w znacznym stopniu ograniczyć, opracowując procedury ich wykonywania w optymalnym zakresie i warunkach technicznych.

Pomiary pola-EM emitowanego przez DCH powinny być zorganizowane w taki sposób, aby

miarodajnie ocenić parametry narażenia zespołu zabiegowego, ale przy zapewnieniu bezwarunkowej tymczasowości narażenia zespołu pomiarowego, ponieważ prace pomiarowe nie spełniają kryteriów dotyczących warunkowej dopuszczalności narażenia niebezpiecznego na pole-EM, jak określono w rozporządzeniu ministra ds. pracy [DzU 2018, poz. 331 (t.j.)].

W załączniku artykułu scharakteryzowano ramowe zasady organizacji takich pomiarów oraz oceny takich zagrożeń w różnych warunkach użytkowania DCH z wykorzystaniem danych pozapomiarowych.

Autorzy dziękują lekarzom, pielęgniarkom i pracownikom inżynieryjno-technicznym za udział w konsultacjach dotyczących warunków użytkowania diatermii chirurgicznych, prowadzonych w ramach relacjonowanych badań w placówkach medycznych.

Wykaz skrótów i oznaczeń stosowanych w artykule

COAG	tryb pracy DCH „Koagulacja”	Ikk	natężenie prądu kończynowego
CUT	tryb pracy DCH „Cięcie”	K-DCH	kable łączące elektrody i generator DCH
DCH	diatermia chirurgiczna	PPSB	przestrzeń pola-EM strefy bezpiecznej
<i>E</i>	natężenie pola elektrycznego	pole-EM	pole elektromagnetyczne
<i>Ek</i>	natężenie pola elektrycznego przy kablu DCH	PPSN	przestrzeń pola-EM strefy niebezpiecznej
<i>Esp</i>	natężenie pola elektrycznego miejscowe maksymalne	PPSZ	przestrzeń pola-EM strefy zagrożenia
<i>Etav</i>	natężenie pola elektrycznego uśrednione w czasie	PPSP	przestrzeń pola-EM strefy pośredniej
<i>Ew</i>	natężenie pola elektrycznego indukowanego w organizmie	PPSO	przestrzeń pola-EM stref ochronnych
EZ-DCH	elektroda zabiegowa DCH	PNK	przestrzeń narażenia kontrolowanego
GPO	Graniczny Poziom Oddziaływanie	PNN	przestrzeń narażenia niebezpiecznego
IPN	Interwencyjny Poziom Narażenia	RMS	wartość skuteczna (ang. <i>root-mean-square</i>)
		WR	wartość równoważna
		WRE	wartość równoważna natężenia pola elektrycznego
		Z-EM	zagrożenia elektromagnetyczne

PIŚMIENNICTWO

Bieńkowski P., Karpowicz J., Kieliszek J. (2016). Przegląd miar skutków narażenia na zmienne w czasie pole elektromagnetyczne i właściwości metrologicznych mierników, istotnych podczas oceny narażenia w środowisku pracy. *Podst. Metod. Ocen. Srod. Pr.* 4(90), 41–74.

De Marco M., Magi S. (2006). Evaluation of Stray Radiofrequency Radiation Emitted by Electrosurgical Devices. *Phys. Med. Biology* 51, 3347–3358.

Gedliczka A. (2001). Atlas miar człowieka. Dane do projektowania i oceny ergonomicznej. CIOP, Warszawa.

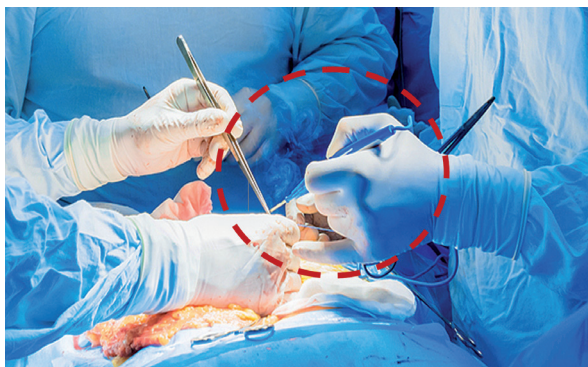
Gryz K., Karpowicz J. (2006). Zagrożenia elektromagnetyczne przy elektrochirurgii – ocena ekspozycji pracowników na pole elektromagnetyczne i prądy indukowane w organizmie. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny* 57(2), 165–175.

- Gryz K., Karpowicz J., Zradziński P. (2008a). Pola elektromagnetyczne przy urządzeniach elektrochirurgicznych – ocena ryzyka zawodowego. *Bezp. Pr.* 5, 16–21.
- Gryz K., Karpowicz J. (2008b). Zasady oceny zagrożeń elektromagnetycznych związanych z występowaniem prądów indukowanych i kontaktowych. *Podst. Metod. Ocen. Srod. Pr.* 4(58), 137–171.
- IARC, Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans (2002). Non-ionizing radiation. Part 1: Static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields. *IARC, Monogr Eval Carcinog Risks Hum.* 80, 1–395.
- IARC, Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans (2013). Non-ionizing radiation. Part 2: Radiofrequency electromagnetic fields. *IARC, Monogr Eval Carcinog Risks Hum.* 102(Pt 2), 1–460.
- Karpowicz J., Gryz K., Zradziński P. (2008). Zasady wykorzystania symulacji komputerowych do oceny zgodności z wymaganiami dyrektywy 2004/40/WE dotyczącej bezpieczeństwa i higieny pracy w polach elektromagnetycznych. *Podst. Metod. Ocen. Srod. Pr.* 4(58), 103–135.
- Karpowicz J., Gryz K., Leszko W. i in. (2013a). Zobiektywizowana ocena narażenia chirurgów na radiofaloowe pole elektromagnetyczne – w kontekście czasu narażenia oraz polskich i znowelizowanych międzynarodowych wymagań dotyczących ochrony pracowników. *Med. Pr.* 64(4), 487–501.
- Karpowicz J., Gryz K., Leszko W. i in. (2013b). Profilaktyka zagrożeń elektromagnetycznych podczas korzystania z diatermii chirurgicznych. *Inżynier i Fizyk Medyczny* 2(5), 269–274.
- Karpowicz J. (2015). Environmental and Safety Aspects of the use of EMF in Medical Environment. [W:] *Electromagnetic Fields in Biology and Medicine*. [Red.] M. Markov, CRC Pres – Taylor & Francis Group, 341–362.
- Karpowicz J., Gryz K. (2015). Ocena zagrożeń elektromagnetycznych w placówkach medycznych w kontekście wymagań polskiego prawa pracy i dyrektywy 2013/35/UE. [W:] *Ochrona przed promieniowaniem jonizującym i niejonizującym. Nowe uregulowania prawne, źródła, problemy pomiarowe*. [Red.] M. Zmysłony, E. M. Nowosielska, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa, 227–247.
- Karpowicz J., Zradziński P., Gryz K. (2020). Elektromagnetyczne aspekty użytkowania diatermii chirurgicznych – pilotażowe badania modelowe ekspozycji pracowników. *Inżynier i Fizyk Medyczny* 6(9), 445–455.
- Karpowicz J., Zradziński P., Gryz K. (2021). Diatermia chirurgiczna – pierwotne źródło narażenia pracowników ochrony zdrowia na pole elektromagnetyczne. *Inżynier i Fizyk Medyczny* 3(10), 253–258.
- Karpowicz J., Gryz K. (2022). Pole elektromagnetyczne. [W:] *Czynniki szkodliwe w środowisku pracy – wartości dopuszczalne*. [Red.] M. Pośniak, J. Skowroń. CIOP-PIB, Warszawa, 219–245.
- Karpowicz J., Gryz K., Zradziński P. (2023). Evaluating Current Induced in Limb when Managing Electromagnetic Hazards caused by Operating Electrosurgical Units. [W:] *Electromagnetic Ergonomics* [Red.] J. Karpowicz, CRC Pres – Taylor & Francis Group (w druku).
- Radczyk M., Kasprzak J., Nowak R. (2013). Badania nad narażeniem na pole elektromagnetyczne pochodzące od diatermii chirurgicznych pracujących na blokach operacyjnych. *Hygeia Public Health* 48(4), 545–552.
- Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 czerwca 2016 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na pole elektromagnetyczne. *DzU* 2018, poz. 331. (tekst jednolity)
- Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Załącznik 2. Część E „Pole elektromagnetyczne”. *DzU* 2018, poz. 1286.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 30 maja 1996 r. w sprawie przeprowadzania badań lekarskich pracowników, zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydawanych do celów przewidzianych w Kodeksie pracy. *DzU* 2016, poz. 2067, ze zm. *DzU* 2020, poz. 2131.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. *DzU* 2011 r. poz. 166.
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 3 kwietnia 2017 r. w sprawie wykazu prac uciążliwych, niebezpiecznych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet w ciąży i kobiet karmiących dziecko piersią. *DzU* 2017, poz. 796.
- Ustawa o statystyce publicznej. *DzU* 2020, poz. 443. (tekst jednolity)
- Wilen J. (2010). Exposure Assessment of Electromagnetic Fields Near Electrosurgical Units. *Bioelectromagnetics* 31, 513–518.
- Zradziński P. (2016). Uwarunkowania wykorzystania numerycznych modeli pracowników do oceny zagrożeń bezpośrednich wynikających z narażenia na pole elektromagnetyczne. *Podst. Metod. Ocen. Srod. Pr.* 4(90), 75–89.
- Zradziński P., Karpowicz J., Gryz K. i in. (2018). Evaluation of the safety of users of active implantable medical devices (AIMD) in the working environment in terms of exposure to electromagnetic fields – Practical approach to the requirements of European Directive 2013/35/EU. *Int J Occup Med Environ Health* 31(6), 795–808.

Adres do korespondencji/Contact details:

dr hab. inż. JOLANTA KARPOWICZ
e-mail: jokar@ciop.pl
Centralny Instytut Ochrony Pracy –
Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa
POLAND

OCENA ZAGROŻEŃ ELEKTROMAGNETYCZNYCH
PODCZAS UŻYTKOWANIA DIATERMII CHIRURGICZNYCH
(Z WYKORZYSTANIEM DANYCH POZA-POMIAROWYCH) /
EVALUATION OF ELECTROMAGNETIC HAZARDS WHILE USING SURGICAL
DIATHERMY DEVICES (INCLUDING THE USE OF NON-MEASURING-SOURCED DATA)

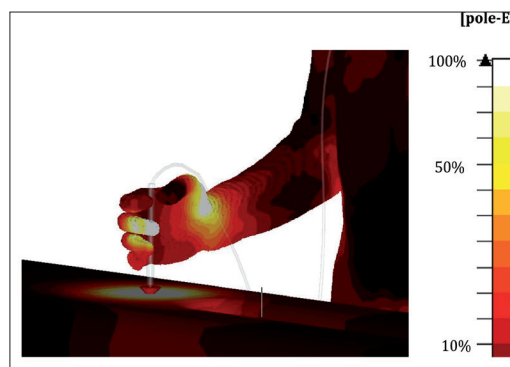


Rycina Z1. Wykorzystanie diatermii chirurgicznej podczas zabiegu medycznego – na zdjęciu wyróżniono uchwyt elektrody zabiegowej w ręku operatora [zdjęcie ilustracyjne: bigstock-A-Team-Of-Surgeons-With-Surgic-455130169_fot_e.a.nekrasov]

Figure Z1. An example of using surgical diathermy device during medical treatment – in the photo, the handle of an active electrode in the operator's hand is marked (illustrative photo: bigstock-A-Team-Of-Surgeons-With-Surgic-455130169_fot_e.a.nekrasov)

1. Korzystanie z takich możliwości użytkowania technologii elektromagnetycznych, jak cięcie i koagulacja tkanek pacjenta z użyciem prądów wielkiej częstotliwości, wytwarzanych między elektrodami zasilanymi wysokim napięciem z generatora diatermii chirurgicznej (DCH), (ryc. Z1), w uzasadnionych okolicznościach pomimo narażenia pracujących na silne pole elektromagnetyczne (pole-EM), nie zwalnia z obowiązku takiego zorganizowania ich pracy, aby narażenie to i związane z nim zagrożenia bezpieczeństwa i zdrowia (ryc. Z2) ograniczać w racjonalnie możliwym zakresie poprzez zastosowanie odpowiednich środków ochronnych, określonych wymaganiami prawa pracy (tabela Z1 i Z2).

2. Przeprowadzone badania omówione wcześniej w artykule wykazały, że podczas użytkowania typowych DCH w zabiegach medycznych urządzenia te emitują pole-EM wielkiej częstotliwości (PWCZ), zależnie od trybu pracy *quasi*-sinusoidalnie zmienne



Rycina Z2. Wizualizacja oddziaływania pola-EM w otoczeniu kabla diatermii chirurgicznej na dłoń osoby trzymającej uchwyt elektrody zabiegowej (model komputerowy)

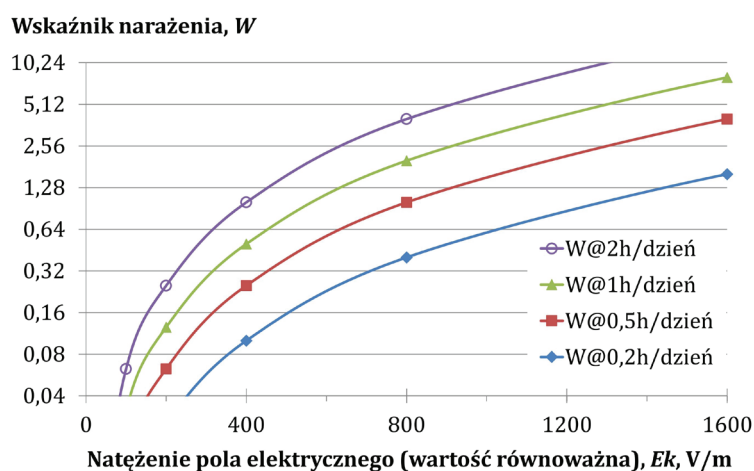
Figure Z2. The visualization of the influence of the electromagnetic field near the cable of a surgical diathermy device on the hand of a person grasping the handle of the active electrode (computer model)

w czasie lub głęboko zmodulowane, o częstotliwości z pasma 0,3–3 MHz (pomimo, że dokumentacja techniczna DCH określa ją najczęściej w zakresie 0,3–0,5 MHz). Pierwotnym źródłem PWCZ są głównie kable łączące elektrody i generator DCH (K-DCH) oraz elektroda zabiegowa DCH (EZ-DCH). PWCZ emitowane przez DCH charakteryzuje niejednorodność rozkładu przestrzennego rzędu 2-krotnego osłabienia przy 2-krotnym zwiększeniu odległości od kabla (tzn. poziom PWCZ w odległości 50 cm można oszacować jako 10% wartości w odległości 5 cm od K-DCH). Poziom PWCZ emitowanego przez DCH istotnie zależy od trybu pracy i mocy wyjściowej DCH. Natężenie pola elektrycznego bezpośrednio przy K-DCH (E_k) może przekraczać 2000 V/m, a w odległości 100 cm od kabli – 20 V/m. Zasięgi PWCZ stref ochronnych dochodzą do: 20 cm – zasięg PWCZ strefy niebezpiecznej, 120 cm – zasięg PWCZ strefy pośredniej (inaczej określanej jako zasięg pola-EM stref ochronnych).

3. Pomimo tak wysokiego poziomu PWCZ przy K-DCH, w pewnych okolicznościach podczas pracy zespołu zabiegowego wykorzystującego DCH w procedurach medycznych, mogą być spełnione kryteria dotyczące warunkowości prac w narażeniu niebezpiecznym na pole-EM, jakie określono w rozporządzeniu ministra ds. pracy (tab. Z2). W razie narażenia pracownika na pole-EM stref ochronnych jest oceniana również tymczasowość jego narażenia poprzez oszacowanie wskaźnika narażenia (W), zależnego zarówno od poziomu narażenia, jak i czasu jego trwania (ryc. Z3). Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że podczas zabiegów z użyciem DCH emisja PWCZ (aktywacja DCH) występuje podczas dowolnych 6-minutowych okresów zabiegu w zakresie 0–12% (mediana) / 7–43% (wartość maksymalna), [Medycyna Pracy 2013, nr 64(4), s. 487–501].

4. Wymagania prawa pracy wskazują jednoznacznie, że pomiary pola-EM organizowane ze względu na realizację obowiązku okresowej oceny zagrożeń elektromagnetycznych związanych z użytkowaniem DCH w środowisku pracy (jak scharakteryzowano w Tabeli Z3) powinny być zorganizowane w taki sposób, aby miarodajnie ocenić parametry narażenia zespołu zabiegowego na PWCZ stref ochronnych i jego tymczasowość oraz środki ochronne zastosowane ze względu na zagrożenia elektromagnetyczne występujące podczas zabiegów z użyciem DCH (w zakresie jak określono w tabeli Z2).

5. Jednak jednocześnie, wymagania prawa pracy wskazują jednoznacznie, że w stosunku do zespołu pomiarowego nie można ograniczyć stosowanych środków ochronnych ze względu na zagrożenia elektromagnetyczne do takich wymagań, jakie dotyczą zespołu zabiegowego, ponieważ prace pomiarowe nie mogą być traktowane jako uzasadnienie do niebezpiecznego lub nadmiernego narażenia pracujących (nie są więc spełnione kryteria dotyczące warunkowej dopuszczalności prac w narażeniu niebezpiecznym na pole-EM, jakie określono w rozporządzeniu ministra ds. pracy – tabela Z2). Ze względu na obowiązek zapewnienia zespołowi pomiarowemu odpowiedniej ochrony przed zagrożeniami elektromagnetycznymi, przy organizacji i wykonaniu pomiarów PWCZ przy DCH konieczne jest zapewnienie takich środków ochronnych, aby ich narażenie było bezwarunkowo tymczasowe (tzn. wykonanie pomiarów odbywało się poza przestrzenią PWCZ strefy niebezpiecznej i strefy zagrożenia, w której $E_k > IP_{Nob}$, gdzie: IP_{Nob} – limit operacyjny bazowy Interwencyjnego Poziomu Narażenia [DzU 2018, poz. 1286]). Ramowe zasady organizacji pomiarów w celu oceny zagrożeń elektromagnetycznych podczas użytkowania DCH, zapewniającej konieczną ochronę zespołu pomiarowego przed takimi zagrożeniami oraz oceny zagrożeń z wykorzystaniem danych poza-pomiarowych, scharakteryzowano w Tabeli Z3.



Rycina Z3. Zależność wartości wskaźnika narażenia (W) od poziomu narażenia pracownika (tj. maksymalnego poziomu narażenia głowy i tułowia – w omawianym przypadku wartości E_k) oraz łącznego czasu trwania takiego narażenia w ciągu dnia pracy

Figure Z3. The relation of the exposure factor (W) from the worker exposure level (i.e. the maximum level of the head and torso exposure – in the presented case the values of E_k) and the total duration of exposure during the working day

Tabela Z1.

Warunki, w jakich dopuszcza się tymczasowe narażenie w przestrzeni pola-EM stref ochronnych określono następująco

[DzU 2018, poz. 331 (t.j.), par. 5-10, 12-14, załącznik 3., część I]:

- Źródła pola-EM i poziom ekspozycji na pole-EM w przestrzeni pracy zostały rozpoznane, ocenione i oznakowane.
- Wyznaczono i oznakowano zasięgi przestrzeni pola-EM stref ochronnych w otoczeniu jego źródeł.
- Rozpoznano i oceniono zagrożenia elektromagnetyczne, a rozpoznane zagrożenia zostały wyeliminowane lub ograniczone przez stosowanie środków ochronnych.
- W przypadku stwierdzonego narażenia na pole-EM stref ochronnych opracowano i wprowadzano w życie program stosowania środków ochronnych.
- Pracownicy uczestniczyli w szkoleniu (powtarzanym okresowo) dotyczącym zasad bezpiecznego wykonywania pracy w polu-EM oraz zostali poinformowani o rozpoznanych zagrożeniach i zapoznani z zastosowanymi środkami ochronnymi.
- U pracowników w wyniku profilaktycznych badań lekarskich nie stwierdzono przeciwwskazań do narażenia na pole-EM stref ochronnych.
- Warunki narażenia pracowników podlegają okresowej ocenie (narażenie jest tymczasowe pod warunkiem, że wskaźnik dziennego narażenia pracownika $W < 1$).

Wymagania mogą dotyczyć narażenia na PWCZ emitowane przez DCH – zarówno podczas ich wykorzystania w zabiegach medycznych, jak i podczas pomiarów PWCZ w środowisku pracy.

Indywidualna ocena zagrożeń elektromagnetycznych jest wymagana ze względu na bezpieczeństwo i higienę pracy osób szczególnie chronionych (tj. osób, które mogą podlegać takim indywidualnym ograniczeniom dotyczącym przebywania w polu-EM stref ochronnych, jak: kobieta w ciąży, młodociany, użytkownik aktywnych lub pasywnych implantów medycznych oraz osoba, u której stwierdzono przeciwwskazania do wykonywania pracy w narażeniu na pole-EM).

Tabela Z2.

Okoliczności, jakie mogą uzasadniać tymczasowe narażenie w przestrzeni pola-EM strefy niebezpiecznej oraz środki ochronne podejmowane w takim przypadku ze względu na zagrożenia elektromagnetyczne

[DzU 2018, poz. 331 (t.j.), Załącznik 3., Część I, pkt. 11]:

- Udokumentowano okoliczności przemawiające za koniecznością wykonania prac związanych z narażeniem w przestrzeni pola-EM strefy niebezpiecznej.
- Skutki oddziaływania pola-EM w organizmie nie przekroczą górnego limitu bezpośredniego oddziaływania pola-EM, tzn. limitu Granicznego Poziomu Oddziaływania (GPO).
- Ocena poziomu narażenia na pole-EM i zagrożeń elektromagnetycznych przeprowadzona zgodnie z odpowiednimi wymaganiami prawa pracy [DzU 2018, poz. 331 (t.j.), art. 6-8] wykazała, że zostały przekroczone górne limity IPN lub dolne limity GPO.
- Zastosowano wszystkie techniczne i organizacyjne środki ochronne (z uwzględnieniem najnowszego stanu wiedzy) w szczególności dotyczące prac szczególnie niebezpiecznych i stwarzających możliwość wystąpienia szczególnego zagrożenia dla zdrowia lub życia ludzkiego (w rozumieniu § 225 i 237 kodeksu pracy).
- Uwzględniono charakterystykę miejsca pracy, sprzętu roboczego lub praktyk roboczych.
- W ramach profilaktycznej opieki medycznej lekarz medycyny pracy jest informowany, że pracownika dotyczy narażenie w przestrzeni pola-EM strefy niebezpiecznej.
- Użytkownik wykaże, że pracujący lub osoby potencjalnie narażone są w dalszym ciągu chronieni przed niekorzystnymi skutkami dla zdrowia i zagrożeniami bezpieczeństwa, a ich narażenie jest tymczasowe (tutaj warunkiem tymczasowości jest wskaźnik ich dziennego narażenia $W < 5$).

Wymagania nie mogą dotyczyć narażenia na PWCZ emitowane przez DCH podczas pomiarów PWCZ w środowisku pracy; mogą być zastosowane warunkowo jedynie podczas wykorzystania DCH w zabiegach medycznych.

Tabela Z3. Ramowe zasady oceny zagrożeń elektromagnetycznych podczas użytkowania diatermii chirurgicznych (DCH) oraz oceny takich zagrożeń z wykorzystaniem danych poza-pomiarowych lub organizacji odpowiednich pomiarów

<p>Wymagania ogólne dotyczące oceny zagrożeń elektromagnetycznych podczas użytkowania DCH: Dla uzyskania reprezentatywnych danych o poziomie narażenia pracowników ochrony zdrowia, pomiary PWCZ emitowanego przez DCH powinny dotyczyć:</p> <ul style="list-style-type: none"> – parametrów narażenia w przestrzeni pracy przy DCH przy nastawach zasilania EZ-DCH sięgających co najmniej 70% wartości maksymalnych dla poszczególnych trybów pracy DCH, – wartości równoważnej natężenia pola elektrycznego (WRE) niezaburzonego PWCZ, aby ocenić czy narażenie spełnia w odniesieniu do limitów IPNx warunek: $WRE < IPNx$ na podstawie: <ul style="list-style-type: none"> (a) WRE zmierzonej przy najbardziej zmodulowanym przebiegu trybu pracy Koagulacja, np. Spray (jeśli dostępna jest aparatura umożliwiająca miarodajny pomiar WRE); (b) wartości skutecznej natężenia pola elektrycznego (WSE) zmierzonej przy trybie pracy Cięcie (jeśli nie jest dostępna aparatura do miarodajnego pomiaru WRE) – ale z zastosowaniem współczynnika korekcyjnego do odpowiedniego zwiększenia wyników pomiarów WSE, do oszacowania na ich podstawie WRE (tzn. należy przyjąć: $WRE = 3 \times WSE$). 					
<p> [#1] Operator i osoby asystujące operatorowi (osoby z zespołu zabiegowego mające bezpośredni kontakt z uchwytem EZ-DCH lub K-DCH)</p>		<p> [#2] Osoby asystujące zabiegowi (osoby z zespołu zabiegowego przebywające bliżej niż 50 cm od operatora, K-DCH, stołu zabiegowego lub pacjenta)</p>		<p> [#3] Osoby prowadzące pomiary (zespół pomiarowy)</p>	
<p>Ocena zagrożeń elektromagnetycznych podczas użytkowania DCH, tj. narażenia pracowników na PWCZ emitowane przez DCH – o ile brak dokładniejszych danych pomiarowych (na podstawie danych poza-pomiarowych): <i>Ek</i> – natężenie pola elektrycznego bezpośrednio przy K-DCH; IPNob – limit IPN operacyjny bazowy; <i>lkk</i> – natężenie prądu końcowego, szacowane wg zależności: $lkk \text{ (mA)} = 0,01 Ek \text{ (V/m)}$</p>					
<p>1 – narażenie na PWCZ: a) przy użyciu trybu „Koagulacja” b) przy użyciu trybu „Cięcie”</p>	<p>Ek > IPNob PPSN ($Ek < 2400 \text{ V/m}$) PPSZ ($Ek < 800 \text{ V/m}$)</p>	<p>1 – narażenie na PWCZ: a) przy użyciu trybu „Koagulacja” b) przy użyciu trybu „Cięcie”</p>	<p>PPSZ ($Ek < 240 \text{ V/m}$) PPSZ ($Ek < 80 \text{ V/m}$)</p>	<p>1 – podczas nieprawidłowego przebiegu pomiarów – charakterystyka jak w przypadku narażenia operatora i asystujących mu osób [#1] 2 – przy zastosowaniu odpowiednich środków ochronnych – charakterystyka narażenia jak w przypadku osób asystujących zabiegowi [#2] lub słabsze oddziaływanie PWCZ</p>	
<p>2 – natężenie prądu końcowego: a) przy użyciu trybu „Koagulacja” b) przy użyciu trybu „Cięcie”</p>	<p>$lkk < 24 \text{ mA}$ $lkk < 8 \text{ mA}$</p>	<p>2 – natężenie prądu końcowego: a) przy użyciu trybu „Koagulacja” b) przy użyciu trybu „Cięcie”</p>	<p>$lkk < 2,4 \text{ mA}$ $lkk < 0,8 \text{ mA}$</p>		
<p>3 – tymczasowość narażenia, $W < 5$ (zapewniona, nie wymaga oceny, jeśli czas udziału w zabiegach $T < 0,5$ godziny dziennie) [**]</p>		<p>3 – tymczasowość narażenia, $W < 1$ (zapewniona, nie wymaga oceny, jeśli czas udziału w zabiegach $T < 5$ godzin dziennie) [**]</p>			
<p>[**] Przy założeniu, że efektywny czas aktywacji DCH nie przekracza 40% czasu trwania zabiegu [wg: Medycyna Pracy 2013, nr 64(4), s. 487-501]</p>					
<p>Okoliczności sprzyjające osłabieniu narażenia na PWCZ podczas zabiegu/pomiarów [poziom narażenia na PWCZ osób uczestniczących w zabiegach może się różnić kilkudziesięciokrotnie – zależnie od wskazanych poniżej okoliczności]</p>					
<ul style="list-style-type: none"> – użycie elektrody bipolarnej – praca DCH w trybie „Cięcie” – praca DCH przy niższej mocy wyjściowej – praca DCH przy słabiej zmodulowanym zasilaniu EZ-DCH (typowo słabsza modulacja oznaczona jest w nastawach trybu pracy DCH jako niższy „efekt”) – większa odległość K-DCH od ludzi i innych obiektów materialnych – uziemienie stołu zabiegowego (ekwipotencjalnie z generatorem DCH) – izolacja ograniczająca przepływ indukowanych prądów wielkiej częstotliwości między osobami uczestniczącymi w zabiegu i uziemionymi obiektami 		<ul style="list-style-type: none"> – ułożenie K-DCH i elektrod tak, aby zmniejszyć powierzchnię obwodu tworzonego przez generator K-DCH, elektrody i ciało pacjenta – unikanie przytrzymywania K-DCH bezpośrednio w dłoni – krótsze przebywanie bezpośrednio przy pacjencie – przebywanie w większej odległości od pacjenta – „mniej zagęszczony” zespół zabiegowy w otoczeniu pacjenta (w wieloosobowym zespole zabiegowym poziom narażenia osób przebywających bezpośrednio przy pacjencie bywa porównywalny z narażeniem operatora) 		<p>Ze względu na obowiązek zapewnienia zespołowi pomiarowemu ochrony przed zagrożeniami elektromagnetycznymi, należy zapewnić odpowiednie środki ochronne, aby ich narażenie było bezwarunkowo tymczasowe (tzn. poza przestrzenią PWCZ strefy niebezpiecznej i tam gdzie $Ek < IPNob$), poprzez m.in.:</p> <ul style="list-style-type: none"> – stosowanie fantomu pacjenta (obciążenia DCH) i stelaża na akcesoria wykorzystywane podczas pomiarów, aby uruchomienie DCH (emisja PWCZ) nie wymagało ręcznego przytrzymywania K-DCH i uchwytu EZ-DCH – uruchamianie DCH nożnym pedałem z odległości co najmniej 100 cm od K-DCH i EZ-DCH (o ile możliwe technicznie) 	

Objaśnienia:

EZ-DCH – elektroda zabiegowa DCH;

K-DCH – kabel łączący elektrodę z generatorem DCH;

PPSN – przestrzeń pola-EM strefy niebezpiecznej;

PPSZ – przestrzeń pola-EM strefy zagrożenia;

PWCZ – pole elektromagnetyczne wielkiej częstotliwości.