

# Badania nad narażeniem na pole elektromagnetyczne pochodzące od diatermii chirurgicznych pracujących na blokach operacyjnych

## Research on exposure to electromagnetic fields from surgical diathermy working in operating theaters

MICHAŁ RADCZUK, JERZY KASPRZAK, RAFAŁ NOWAK

Wojewódzka Stacja Sanitarно-Epidemiologiczna w Bydgoszczy

**Wprowadzenie.** Istnieją środki organizacyjne i techniczne pozwalające na optymalizację wielkości narażenia na działanie diatermii chirurgicznej. Do tego konieczna jest prawidłowa ocena wielkości narażenia na pole elektromagnetyczne.

**Cel pracy.** Ocena narażenia na pole elektromagnetyczne pochodzące od diatermii chirurgicznych pracujących na blokach operacyjnych szpitali województwa kujawsko-pomorskiego.

**Materiał i metoda.** Przeanalizowano wyniki pomiarów przeprowadzonych przez Oddział Badań Radiacyjnych Wojewódzkiej Stacji Sanitarно-Epidemiologicznej w Bydgoszczy w latach 2010-2012.

**Wyniki.** Na podstawie wyników z 239 protokółów pomiarowych i ocen 1241 stanowisk pracy wykazano zwiększenie narażenia personelu o 100% w ciągu 3 lat. Stwierdzono, że przyczynami zaobserwowanych trendów mogą być: zwiększenie obciążenia bloku operacyjnego pracą, a przede wszystkim malejąca świadomość personelu wynikająca z braku specjalistycznych szkoleń dotyczących ochrony przed polem elektromagnetycznym. Wielkość występującego na stanowisku pracy pola elektromagnetycznego zależy od: rodzaju stanowiska pracy, producenta i wieku sprzętu do diatermii.

**Wniosek.** Potwierdzono, że pomiary pola elektromagnetycznego na bloku operacyjnym dają powtarzalne wyniki dające podstawy do obiektywnej oceny narażenia.

**Słowa kluczowe:** elektrochirurgia, diatermia chirurgiczna, pole elektromagnetyczne, ochrona przed polem elektromagnetycznym, blok operacyjny

**Introduction.** There are organizational and technical measures to optimize the value of the exposure to electrosurgical units. In order to apply them, a correct estimation of the size of exposure to electromagnetic fields is necessary.

**Aim.** The assessment of exposure to electromagnetic fields coming from electrosurgical units working in operating theaters in hospitals of the Kuyavian-Pomeranian voivodeship.

**Materials & methods.** The results of the measurements carried out by the Division of Radiation Research of Provincial Sanitary-Epidemiological Station in Bydgoszcz in 2010-2012 were analyzed.

**Results.** On the basis of 239 measurement protocols and evaluations of 1241 workplaces an increase of personnel exposure by 100% was shown over three years. It was found that the observed trends may be caused by: increased staff workload of the operating theater, and above all, a decreasing awareness of workers due to the lack of specialized trainings about protection against electromagnetic fields. The value of electromagnetic field, occurring in the workplace, depends on: the type of job, manufacturer and age of diathermy.

**Conclusion.** It was confirmed that the measurements of the electromagnetic field in the operating room give reproducible results, which may be the basis for an objective assessment of exposure.

**Key words:** electrosurgery, surgical diathermy, electromagnetic field, electromagnetic field protection, operating theater

© Hygeia Public Health 2013, 48(4): 545-552

www.h-ph.pl

Nadano: 03.11.2013

Zakwalifikowano do druku: 15.11.2013

Adres do korespondencji / Address for correspondence

Michał Radczuk

Wojewódzka Stacja Sanitarно-Epidemiologiczna w Bydgoszczy

ul. Kujawska 4, 85-031 Bydgoszcz

e-mail: org@pwisbydgoszcz.pl, radczuk@op.pl

## Wprowadzenie

Diatermie chirurgiczne są urządzeniami powszechnie dziś używanymi na blokach operacyjnych. Ich stosowanie znakomicie usprawniło pracę operatora i daje wiele korzyści. W trakcie pracy diatermia jest silnym źródłem pola elektromagnetycznego. Wynika to z podstaw zjawisk fizycznych, na podstawie których, opiera się jej działanie. Silne pole elektromagnetyczne

może powodować niepożądane efekty, m.in. narażenie personelu wywołujące skutki biologiczne. Absorpcja nadmiernej ilości energii w tkankach prowadzi do ich przegrzania (skutki termiczne). Wnikające w organizm pole elektryczne i magnetyczne wpływa na procesy bioelektryczne (skutki nietermiczne). Przepływ prądów indukowanych i kontaktowych powoduje stymulacje komórek nerwowych na drodze przepływu tego prądu.

Narażenie na pole elektromagnetyczne powoduje nieswoiste objawy. Zaobserwowano m.in. różnego rodzaju zmiany w funkcjonowaniu układu sercowo-naczyniowego [1], nerwowego [2], immunologicznego, obciążanie mechanizmów adaptacyjnych ustroju. Badania potwierdzają negatywny wpływ skutków termicznych na zdrowie człowieka. Wpływ skutków nietermicznych nie został dotychczas jednoznacznie potwierdzony, ani obalony [3]. W 2011 r. Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem (*International Agency for Research on Cancer*) sklasyfikowała pole elektromagnetyczne częstotliwości radiowej, jako potencjalnie rakotwórcze dla ludzi (grupa 2B) [4].

Kontrolowanie niepożądanych skutków i ograniczanie potencjalnych zagrożeń powodowanych przez pole elektromagnetyczne nie jest łatwe (promieniowania nie widać). W środowisku sali operacyjnej nie ma możliwości osłony przed polem elektromagnetycznym. Dlatego ważne jest połączenie różnych środków organizacyjnych, technicznych i wiedzy, aby zminimalizować ryzyko zawodowe, związane z pracą w polu elektromagnetycznym. Jak wykazano w poniższym opracowaniu, narażenie osób zatrudnionych na bloku operacyjnym zwiększa się w ostatnich latach znacząco.

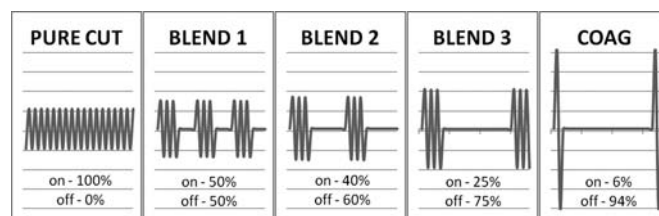
Diatermia chirurgiczna jest powszechnie stosowanym narzędziem do cięcia i koagulacji tkanek. Urządzenia te znajdują się na każdym bloku operacyjnym. W województwie kujawsko-pomorskim w latach 2010-2012 było użytkowanych średnio ok. 280 diatermii chirurgicznych – i w związku z tym ok. 1800 osób było zawodowo narażonych na działanie pola elektromagnetycznego [5, 6].

Stosowanie podczas zabiegu diatermii chirurgicznej ma szereg zalet. Dzięki koagulacji tkanek, udaje się uzyskać małą śródoperacyjną utratę krwi, co zapewnia dobrą widoczność pola operacyjnego i skraca czas zabiegu [7-10]. W porównaniu do zabiegów przy użyciu skalpela, występują mniejsze pooperacyjne dolegliwości bólowe [7, 11]. Cięcia wykonane przy użyciu elektrochirurgii charakteryzują się szybkim i prawidłowym gojeniem się ran pooperacyjnych, oraz większą odpornością ran na zakażenia [7, 11, 12].

Do głównych wad używania diatermii chirurgicznej można zaliczyć możliwość wystąpienia oparzeń [13, 17]. Istotnym problemem może być również oddziaływanie pola elektromagnetycznego i prądów przepływających przez ciało pacjenta na implanty [14]. Niektóre zabiegi muszą być wykonywane w osłonie argonu, gdyż istnieje ryzyko związane z zapłonem stosowanych środków łatwopalnych lub uwalnianych gazów [13, 17]. Podczas przeprowadzania zabiegu przy użyciu diatermii chirurgicznej emitowane jest pole elektromagnetyczne, a pracownicy mogą być narażeni na nadmierną ekspozycję na to pole [15].

W diatermiach chirurgicznych stosuje się częstotliwości od 200 kHz do 3,3 MHz. Jest to zakres częstotliwości dla którego prąd przepływający przez ciało nie powoduje bólu, nie powoduje skurczów mięśni, ani oparzeń na drodze przepływu wewnątrz organizmu. Górny zakres częstotliwości ograniczony jest przez prawną rezerwację widma dla innych zastosowań.

Efekt cięcia, koagulacji tkanki uzyskuje się poprzez szybkie dostarczenie dużej ilości ciepła na bardzo małym obszarze. W trybie monopolarnym przez ciało pacjenta przepływa prąd wysokiej częstotliwości. Przepływ prądu następuje między elektrodą czynną i bierną. Elektroda bierna ma potencjał zerowy i duże rozmiary (przykładowo 16×30 cm), co przy zachowaniu warunku dobrego przylegania do ciała pacjenta zapobiega powstawaniu oparzeń w miejscu kontaktu z elektrodą. Elektroda czynna ma rozmiary rzędu mm, a jej kształt jest zależny od zastosowania np. nóż, kulka, pętla. Małe rozmiary elektrody pozwalają używać narzędzia w sposób precyzyjny, oraz umożliwiają dostarczenie lokalnie do miejsca kontaktu narzędzia z tkanką dużej ilości energii. Do elektrody czynnej przykładane jest wysokie napięcie  $V_{pp}$  (napięcie peek-peek), które wynosi od kilkuset do kilku tysięcy woltów. W zależności od trybu pracy urządzenia wysokie napięcie może być dostarczane w sposób ciągły lub przerywany, co przy tym samym poziomie dostarczanej mocy powoduje wzrost napięcia  $V_{pp}$  dla trybów o dłuższych przerwach. Na rycinie 1 przedstawiono typowe charakterystyki napięcia dla różnych trybów pracy. W skrajnych przypadkach w trybie cięcia PURE CUT napięcie jest cały czas włączone (100% czasu), ale wartość napięcia jest niższa, a w trybie koagulacji COAG wysokie napięcie jest włączone jedynie przez 6% czasu, ale jest proporcjonalnie większe [18].



Ryc. 1. Typowe charakterystyki napięcia generatora diatermii chirurgicznej, przy różnych trybach pracy

Fig. 1. Typical characteristics of surgical diathermy generator voltage, in different working modes

Zgodnie z prawem Ohma przepływający przez pacjenta prąd jest dany wzorem:

$$I = \frac{U}{R}$$

Natężenie prądu  $I$  jest wprost proporcjonalne do przykładanego napięcia  $U$  i odwrotnie proporcjonalne do oporu  $R$ . Oznacza to, że przez tkanki o większej

oporności właściwej przy tym samym napięciu przepływie mniejszy prąd. Można zauważyć, że działanie diatermii chirurgicznej zmienia strukturę tkanki w miejscu kontaktu z elektrodą. Następuje odparowanie wody z tkanki i zwiększa się jej oporność właściwa.

Zgodnie z prawem Joula w miejscu kontaktu elektrody czynnej z tkanką dostarczana jest energia zgodnie ze wzorem:

$$Q = R I^2 t$$

Im większa energia jest dostarczana tym bardziej nagrzewa się tkanka w miejscu kontaktu z elektrodą.

Nagrzanie tkanki do temperatury 45°C powoduje skutki odwracalne, powyżej 45°C białka w tkance ulegają denaturacji i następują trwałe zmiany jej struktury. Powyżej 90°C płyny tkanki parują, co w zależności od szybkości dostarczania energii może objawiać się wysuszaniem lub gwałtownym odparowaniem. Powyżej 200°C pozostałe stałe składniki tkanki ulegają karbonizacji.

Dokonywane w tkance zmiany można generalnie podzielić na trzy grupy:

- CUT (cięcie) – w trybie PURE CUT do bardzo małej powierzchni tkanki jest dostarczona w krótkim czasie duża ilość energii, w wyniku czego następuje szybkie ogrzanie do 100°C i wyparowanie płynów międzykomórkowych. Elektroda czynna jest przesuwana wzdłuż ciętej tkanki w bliskiej odległości od ciętej powierzchni, ale nie dotyka jej,
- FULGURATION (wyżarzanie) – w trybie COAG do stosunkowo dużej powierzchni dostarczana jest mniejsza ilość energii. Elektroda czynna jest umieszczona nad wyżarzonym obszarem w większej odległości od powierzchni tkanki. Większe napięcie i impulsowa charakterystyka powodują, że następują wyładowania łukowe, które rozpraszają się na większym obszarze i powodują efekt koagulacji,
- DESICCATION (wysuszanie) – elektroda czynna dotyka tkanki. W efekcie gęstość prądu maleje, co skutkuje wysuszaniem tkanki i koagulacją.

W zależności od trybu pracy, ustawień urządzenia, kształtu elektrody czynnej, zachowania operatora, rodzaju tkanki, zastosowaniu lub nie przystawki argonowej, czasu aktywacji elektrody uzyskuje się różne efekty działania diatermii chirurgicznej.

Używanie diatermii chirurgicznej daje niekwestionowane korzyści m. in.:

- skrócenie czasu zabiegu,
- mniejsze krwawienie,
- lepsze gojenie,
- mniejsze ryzyko infekcji.

Oprócz korzyści, występują również pewne zagrożenia, o których należy pamiętać używając diatermii chirurgicznej. Są to m.in.:

- duże ryzyko zakłócenia pracy implantów elektronicznych np. rozruszników serca,
- ryzyko przegrzania tkanki i oparzeń w miejscach kontaktu implantów mechanicznych (przewodzących) z tkanką,
- ryzyko stworzenia drugiego obwodu i niekontrolowanego przepływu prądu poprzez ciało pacjenta lub chirurga i w związku z tym ryzyko oparzeń,
- ryzyko oparzeń w miejscu kontaktu elektrody biernej z ciałem pacjenta (przy nieprawidłowym przyleganiu),
- ryzyko pożaru, przy kontakcie z gazami lub cieczami palnymi,
- ryzyko nadmiernego przepływu prądu wysokiej częstotliwości poprzez kończyny chirurga,
- ryzyko związane z nadmierną ekspozycją personelu na pole elektromagnetyczne.

Fizyczne podstawy, na których oparte jest działanie diatermii chirurgicznej implikują zgodnie z równaniami Maxwella wytwarzanie pola elektromagnetycznego. Do elektrody dostarczane jest wysokie napięcie, a przepływający przez ciało pacjenta prąd jest stosunkowo mały, dlatego dominuje składowa elektryczna natężenia pola elektromagnetycznego, a składowa magnetyczna jest praktycznie pomijalna.

Źródłami pola elektromagnetycznego są elektroda czynna, przewody elektrod oraz generator. Wielkość natężenia pola wypływającego z generatora jest skutecznie ograniczana poprzez stosowanie ekranów w obudowie urządzenia. Możliwości ekranowania przewodów są mocno ograniczone ze względu na konieczność elastyczności w celu ułatwienia użytkowania. Natomiast nie ma możliwości ekranowania samej elektrody.

Zgodnie z rozporządzeniem [16] w zakresie częstotliwości 200 kHz – 3 MHz (typowy zakres dla diatermii chirurgicznych) określone są najwyższe dopuszczalne natężenia pola elektromagnetycznego. W tab. I przedstawiono zestawienie stref ochronnych, wartości natężeń oraz dopuszczalne czasy przebywania.

Diatermie chirurgiczne mogą wytwarzać pola o natężeniach ze wszystkich stref ochronnych. Pracownicy przebywają jednak przeważnie w strefach zagrożenia, pośredniej i bezpiecznej.

## Cele pracy

1. Przybliżenie zasad działania diatermii chirurgicznej i przedstawienie ryzyka związanego z emisją przez diatermię pola elektromagnetycznego wysokiej częstotliwości.

Tabela I. Zestawienie stref ochronnych składowej elektrycznej pola elektromagnetycznego dla zakresu częstotliwości 200 kHz-3 MHz  
Table I. Comparison of safety zones of electric component of electromagnetic field within the range of 200 kHz-3 MHz

Nazwa strefy	Wartości natężenia pola elektrycznego E [V/m]		Dopuszczalny czas przebywania t[h]
	od	do	
niebezpieczna	1000	–	zakaz przebywania
zagrożenia	100	1000	$t = \frac{80\ 000}{E^2}$ – dla E=100V/m t=8h – dla E=1000V/m t=4min 48s
pośrednia	33,3	100	8h
bezpieczna	0	33,3	bez ograniczeń

2. Przeprowadzenie analizy stopnia ryzyka zawodowego związanego z ekspozycją na pole elektromagnetyczne, jakie występuje na poszczególnych stanowiskach podczas zabiegu chirurgicznego na bloku operacyjnym – wraz z dokonaniem identyfikacji i analizy czynników technicznych i organizacyjnych wpływających na wielkość narażenia oraz analizy trendów.

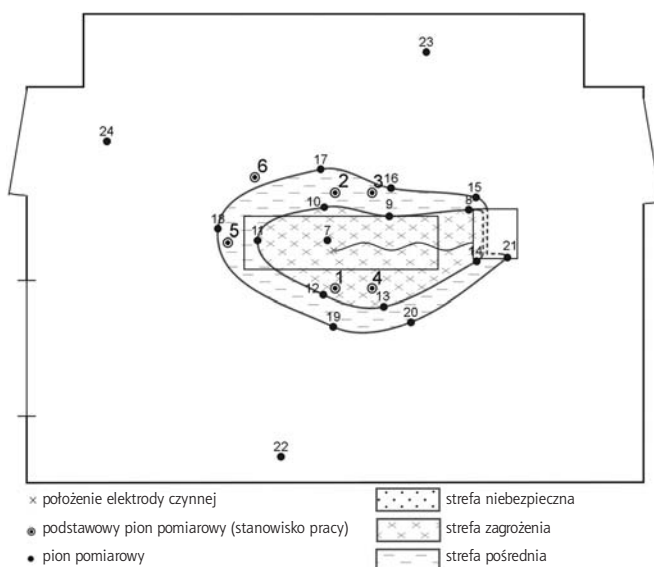
## Materiał i metoda

W związku z występującymi na stanowiskach pracy wartościami zgodnie z rozporządzeniem [19] na stanowiskach pracy wokół diatermii chirurgicznych wykonuje się cyklicznie pomiary natężenia pola elektromagnetycznego. Do wykonywania pomiarów uprawnione są laboratoria posiadające akredytację. Wojewódzka Stacja Sanitarno-Epidemiologiczna w Bydgoszczy posiada akredytację Nr AB 435 wydaną przez Polskie Centrum Akredytacji w zakresie pomiarów pola elektromagnetycznego zgodnie z normą PN-T-06580-3:2002 już od 2003 r.

Występujące na stanowiskach pracy wartości natężenia pola elektromagnetycznego, powodują konieczność przeprowadzania oceny ryzyka i cyklicznych pomiarów zgodnie z rozporządzeniem [19] (przeważnie raz na rok lub raz na dwa lata).

Poniżej przedstawiono typowe rozkłady pola elektromagnetycznego występujące wokół diatermii chirurgicznej na bloku operacyjnym. Przedstawiono dane statystyczne z lat 2010-2012, oraz analizę danych i wnioski dotyczące oceny ekspozycji na pola elektromagnetyczne, i sposobów zmniejszania tej ekspozycji.

Zgodnie z normą: PN-T-06580-3:2002 „Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym o częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz – Część 3: Metody pomiaru i oceny pola na stanowisku pracy” ocena ekspozycji na pole elektromagnetyczne polega m.in. na pomiarach występujących na stanowiskach pracy wartości natężenia pola elektromagnetycznego, obliczeniu współczynników ekspozycji oraz wyznacze-



Ryc. 2. Przykładowy rozkład pola elektromagnetycznego wytwarzanego przez diatermię chirurgiczną na sali operacyjnej

Fig. 2. Example of distribution of electromagnetic field produced by surgical diathermy in operating theater

niu zasięgu stref ochronnych. Na rycinie 2 przedstawiono przykładowy rozkład stref ochronnych na sali operacyjnej.

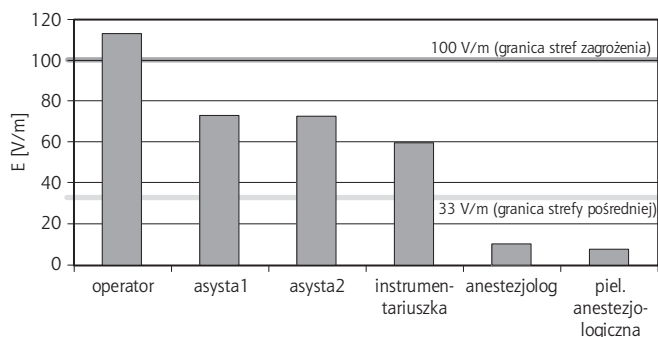
Widać, że występowanie stref zagrożenia i pośredniej koncentruje się wokół elektrody i przewodów doprowadzających prąd wysokiej częstotliwości z generatora. Strefa bezpieczna występuje w pozostałej części sali i poza nią. Sam generator jest dobrze ekranowany i pole wokół obudowy jest słabe. Ponieważ przewody są poważnym źródłem pola bardzo istotne jest położenie przewodów względem stanowisk pracy. Niekorzystna jest zatem sytuacja, gdy przewody oplatają pracownika lub pracownik stoi na przewodach. Najbardziej optymalnym położeniem wydaje się ustawienie urządzenia w „nogach” stołu operacyjnego i rozłożenie przewodów wzdłuż stołu. Przemysłane rozplanowanie położenia diatermii umożliwia kontrolowanie narażenia na pole elektromagnetyczne oraz daje komfort powtarzalności organizacji stanowiska pracy.

## Wyniki

W pracy przedstawiono wyniki pomiarów narażenia na pole elektromagnetyczne od diatermii chirurgicznych pracujących na blokach operacyjnych szpitali województwa kujawsko-pomorskiego. Dane pochodzą z pomiarów przeprowadzonych przez Oddział Badań Radiacyjnych Wojewódzkiej Stacji Sanitarno-Epidemiologicznej w Bydgoszczy, z 239 protokołów pomiarowych i oceny 1241 stanowisk pracy. Przeprowadzono analizę statystyczną wyników pomiarów wykonanych w latach 2010-2012.

Poniżej przedstawiono dane statystyczne uzyskane z 239 pomiarów i oceny 1241 stanowisk pracy.

Na ryc. 3 przedstawiono średnie natężenie pola elektromagnetycznego na poszczególnych stanowiskach pracy na sali operacyjnej.



Ryc. 3. Średnie wartości natężenia pola elektromagnetycznego na poszczególnych stanowiskach na sali operacyjnej. Dane z 239 pomiarów z lat 2010-2012

Fig. 3. Mean values of electromagnetic field intensity in individual working stations of operating theater. Data of 239 measurements made between 2010-2012

Z ryciny 3 wynika, że największe wartości pola elektromagnetycznego występują na stanowisku operatora, mniejsze na stanowiskach asysty, oraz instrumentariuszki. Stanowiska zespołu anesteziologicznego z reguły znajdują się w strefie bezpiecznej i narażenie jest pomijalne.

Analizy przedstawione poniżej dotyczą najbardziej ekspozowanego stanowiska pracy (czyli przede wszystkim stanowiska operatora).

Dla każdego stanowiska znajdującego się w strefie zagrożenia oblicza się współczynnik ekspozycji  $W$  i dopuszczalny czas przebywania  $T_d$  zgodnie ze wzorami:

$$W = \frac{E^2 \cdot t}{80\,000} \quad T_d = \frac{80\,000}{E^2}$$

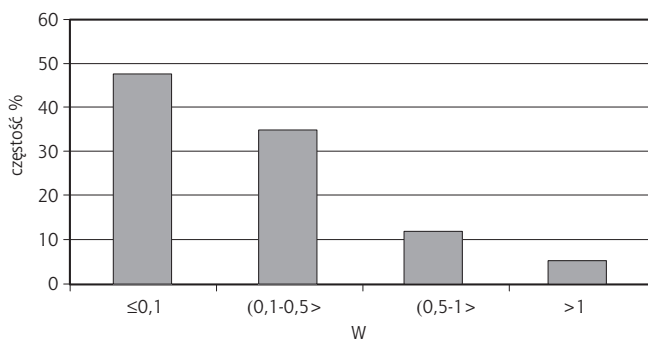
gdzie:

$E$  – natężenie pola elektromagnetycznego w [V/m]  
 $t$  – czas ekspozycji w [h]

Na rycinie 4 przedstawiono częstość występowania poszczególnych wartości współczynnika ekspozycji  $W$  dla najbardziej ekspozowanych stanowisk pracy.

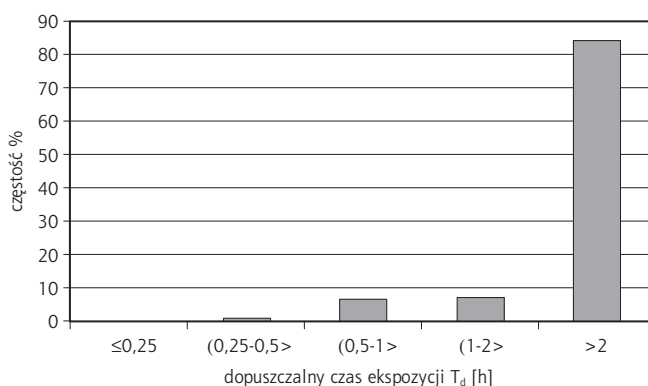
Najczęściej występuje względnie małe narażenie  $W < 0,1$ . Przy ok. 5% diatermii współczynnik ekspozycji  $W > 1$ , co oznacza ekspozycję nadmierną i przekroczenie normatyw. Dla 12% diatermii współczynnik  $W$  mieści się w granicach 0,5-1, w tej dużej licznej grupie niewielkie zwiększenie natężenia pola lub czasu ekspozycji może prowadzić do zwiększenia współczynnika powyżej 1 i ekspozycji nadmiernej.

Na rycinie 5 przedstawiono częstość występowania poszczególnych dopuszczalnych czasów  $T_d$  ekspozycji.



Ryc. 4. Częstość występowania poszczególnych wartości współczynników ekspozycji dla najbardziej narażonych stanowisk

Fig. 4. Frequency of individual values of exposure coefficients for the most exposed working stations

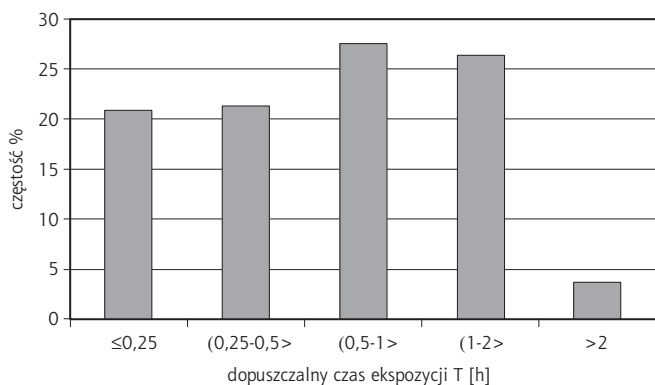


Ryc. 5. Częstość występowania poszczególnych dopuszczalnych czasów ekspozycji  $T_d$

Fig. 5. Frequency of individual permissible times of  $T_d$  exposure

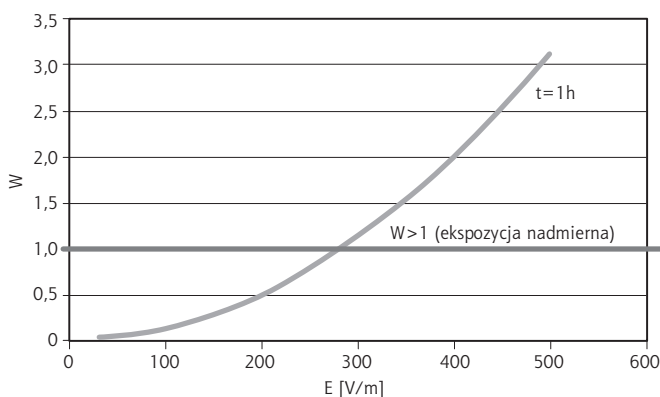
Ze względu na zmierzone na stanowiskach pracy wartości natężenia pola elektromagnetycznego jedynie w 16% przypadków czas dopuszczalny jest mniejszy od 2h. Ponieważ pole elektromagnetyczne jest wytwarzane w momencie cięcia lub koagulacji tkanki, sumaryczny czas ekspozycji w ciągu całego dnia oprócz sporadycznych przypadków nie przekracza 2 h. Podczas pomiaru pola elektromagnetycznego, użytkownicy urządzenia, na podstawie swojego doświadczenia, określają czas ekspozycji na pole. Jest to subiektywne odczucie użytkowników i szacowanie może być obciążone dużym błędem. Jeżeli na danej sali operacyjnej odbywają się zabiegi różnego typu, o różnej długości utrudnia to dodatkowo prawidłową ocenę czasu ekspozycji. Ekspozycja nadmierna jest spowodowana dużymi wartościami natężenia pola elektromagnetycznego i zbyt długim czasem ekspozycji. W tym kontekście jeszcze bardziej istotne jest prawidłowe oszacowanie tego czasu. Na ryc. 6 przedstawiono częstość deklarowanych przez użytkowników czasów ekspozycji  $t$ .

Na bloku operacyjnym czasy używania diatermii chirurgicznej wynoszą średnio ok 1h. Jest to spowodowane bardzo dużym obciążeniem bloku pracą i faktem, że na bloku przeważnie wykonywane są zabiegi długie i skomplikowane. Widoczne jest, że rozrzut deklaro-



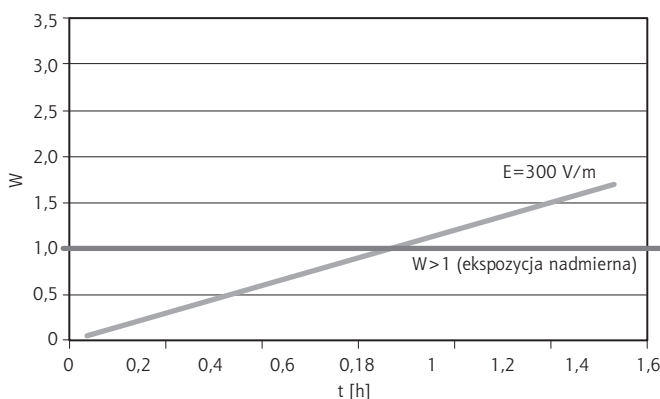
Ryc. 6. Częstość deklarowanych przez użytkowników czasów ekspozycji t na pole elektromagnetyczne

Fig. 6. Frequency of declared times of t exposure to electromagnetic field



Ryc. 7. Zależność współczynnika ekspozycji W od natężenia pola elektrycznego (dla czasu ekspozycji t=1h)

Fig. 7. Correlation between W exposure coefficient and electromagnetic field (t exposure time=1h)



Ryc. 8. Zależność współczynnika ekspozycji W od czasu ekspozycji t (dla natężenia pola elektrycznego E 300V/m)

Fig. 8. Correlation between W exposure coefficient and t exposure time (in electric field intensity of E 300V/m)

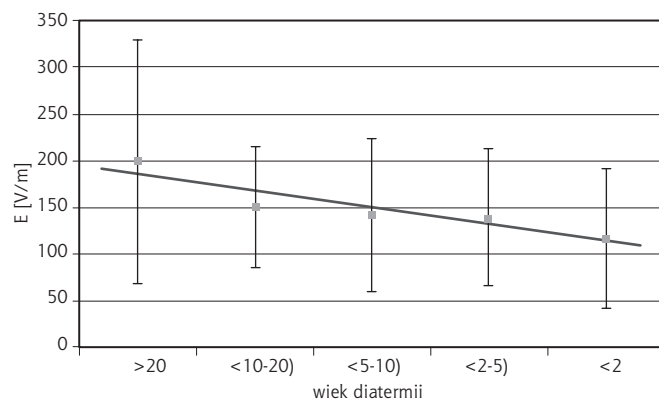
wanego czasu ekspozycji jest bardzo duży. Dzieje się tak dlatego, że w wielu szpitalach praktykuje się, aby na danej sali operacyjnej pracował konkretny zespół i wykonywał wyspecjalizowane procedury np. kardiologiczne, ortopedyczne, ginekologiczne, itd. Każdy rodzaj zabiegu implikuje długość używania diatermii,

a są one skrajnie różne np. dla procedur okulistycznych mogą wynosić sekundy, a dla urologicznych godziny.

Ponieważ czas ekspozycji jest niezależny od użytkownika, nie można ograniczać używania diatermii podczas zabiegu, musi być ona używana wg potrzeb. Częstym błędem przy zaleceniach ograniczania ekspozycji jest właśnie wskazówka ograniczania czasu ekspozycji. Najbardziej istotnym elementem wpływającym na wielkość ekspozycji jest tymczasem wartość natężenia pola. Zostało to zobrazowane na ryc. 7 i 8. Widać, że zmniejszenie wartości natężenia pola jest o wiele bardziej efektywnym sposobem zmniejszenia ekspozycji niż zmniejszenie czasu ekspozycji. Dodatkowo wartość pola jest wielkością zmierzoną, a więc obiektywną, a czas ekspozycji jest wielkością szacowaną przez użytkownika, więc subiektywną. Deklarowanie zmniejszenia czasu używania diatermii jest trudne do zweryfikowania, albo niemożliwe.

Zasada działania diatermii nie pozwala na wyeliminowanie pola elektromagnetycznego poprzez zmiany konstrukcyjne i technologiczne. Jednak wydaje się, że większość producentów stara się wprowadzać w kolejnych generacjach urządzeń rozwiązania, które zmniejszają wielkość pola na stanowisku pracy, przy jednoczesnym zapewnieniu takiej samej lub lepszej funkcjonalności diatermii. Na ryc. 9 przedstawiono średnią wartość natężenia pola na najbardziej narażonym stanowisku pracy w zależności od wieku diatermii. Widać wyraźną tendencję spadkową.

Wymiana starego, wyeksploatowanego sprzętu na nowy jest więc jednym ze sposobów ograniczenia ekspozycji. Wymiana ponad 20-letniego sprzętu na nowy może zmniejszyć wartość pola o 40%. Na wykresie zaznaczono pionowymi słupkami odchylenie standardowe. Jest ono względnie duże i spowodowane jest różnicami dla poszczególnych egzemplarzy i przede wszystkim różnicami w sposobie organizacji stanowisk pracy.



Ryc. 9. Średnia wielkość natężenia pola elektrycznego w zależności od wieku diatermii

Fig. 9. Mean value of electric field intensity according to diathermy age

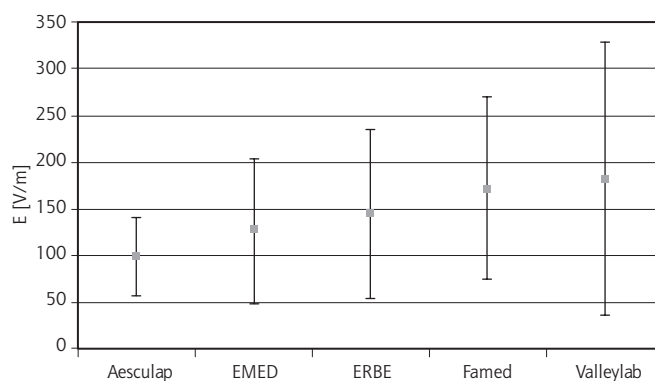
Z danych wynika, że w 2012 r. nastąpiła duża poprawa jeżeli chodzi o wiek używanego sprzętu. Średni wiek diatermii wynosił 4,7 lat w porównaniu do 6,1 lat w poprzednich w latach 2010-2011.

Na ryc. 10 przedstawiono zestawienie średnich mierzonych wartości natężenia pola elektromagnetycznego na stanowisku pracy dla najpopularniejszych producentów. Widać, że wielkości charakteryzują się bardzo dużym odchyleniem standardowym. Produkty dwóch najbardziej popularnych firm: EMED i ERBE charakteryzują się prawie identycznymi parametrami. Produkty firmy Aesculap miały głównie zastosowanie w specyficznych procedurach, dlatego zmierzone wartości są zdecydowanie niższe. Wyraźnie odstają starsze diatermie produkcji Famedu, oraz produkowane w USA diatermie Valleylab. Przyczyną może być fakt, że Stany Zjednoczone mają bardzo liberalne podejście do limitów ekspozycji na pole elektromagnetyczne.

Na ryc. 11 przedstawiono średnią wartość natężenia pola elektromagnetycznego w zależności od roku pomiaru. Widać, że istnieje tendencja wzrostowa. Pomiędzy latami 2010 i 2012 nastąpił wzrost o 28%. Jeszcze mniej korzystnie prezentuje się zmiana współczynnika ekspozycji  $W$ . Pomiędzy rokiem 2010 a 2012 nastąpił wzrost o 100%. Na ryc. 12 przedstawiono średnią wartość współczynnika ekspozycji w zależności od roku pomiaru.

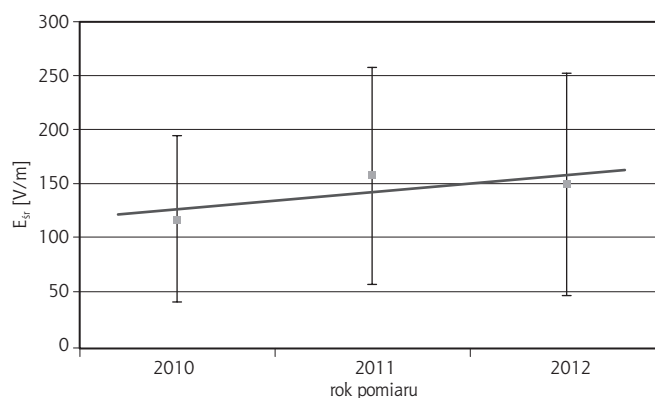
Tak duże niekorzystne tendencje wzrostowe powodowane są wzrostem czasu ekspozycji. Rośnie obciążenie bloku operacyjnego pracą. Jednak wzrost średniego natężenia pola świadczy m.in. o pogarszającym się sposobie organizacji stanowiska pracy. Pracownicy nie są właściwie przeszkoleni w zakresie ochrony przed polem elektromagnetycznym, nie stosują zasady ALARA. Można również domniemać, że jeżeli na stanowiskach nie występuje przekroczenie, to z wyników pomiarów nie są wyciągane żadne wnioski. Zrozumienie zagadnień związanych z ochroną przed polem elektromagnetycznym wymaga znajomości specyficznej terminologii i podstaw fizycznych generowania i rozchodzenia się fal elektromagnetycznych. Uzasadnione jest poszerzenie programu szkoleń bezpieczeństwa i higieny pracy osób pracujących ze źródłami pola elektromagnetycznego o odpowiednią ilość godzin wykładów prowadzonych przez ekspertów.

Na próbie 36 pomiarów z lat 2010 i 2012 (18 urządzeń) przeprowadzono analizę powtarzalności wyników. Wielkość zmierzonego pola różniła się przeciętnie w próbie o 29%. Największa różnica wynosiła 70%, a najmniejsza 0%. Przy czym najmniejsze różnice obserwowano dla jednostek o wysokiej kulturze pracy, pracujących zgodnie z systemem jakości np. Centrum Onkologii w Bydgoszczy. W jednostkach tych zarządzający starają się zoptymalizować stopień



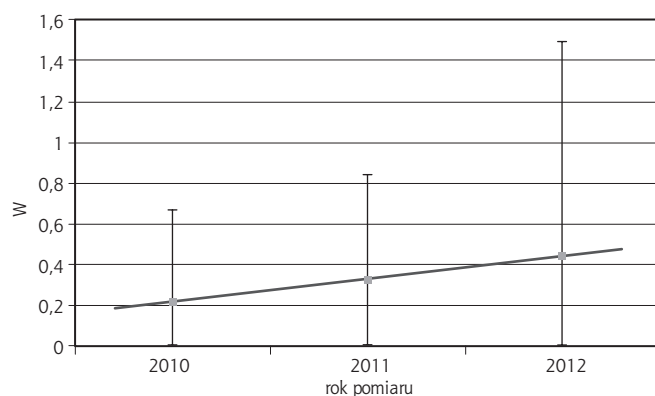
Ryc. 10. Zestawienie średnich wartości pola elektromagnetycznego dla najpopularniejszych producentów

Fig. 10. Comparison of mean values of electromagnetic field for most popular manufacturers



Ryc. 11. Średnia wartość natężenia pola elektromagnetycznego w zależności od roku pomiaru

Fig. 11. Mean value of electromagnetic field intensity according to year of measurement



Ryc. 12. Średnia wartość współczynnika ekspozycji  $W$  w zależności od roku pomiaru

Fig. 12. Mean value of  $W$  exposure coefficient according to year of measurement

narażenie m.in. poprzez powtarzalność organizacji stanowisk pracy i stosowanych procedur. Również świadomość użytkowników dotycząca bezpieczeństwa i higieny pracy jest na wysokim poziomie. Biorąc pod uwagę ogromną zmienność środowiska pomiarowego, niepewność pomiaru, która oscylowała w ok. 12%

zmienność na poziomie 29% pozwala na stwierdzenie, że pomiary pola elektromagnetycznego przy diatermiach chirurgicznych są powtarzalne i dają jedyną możliwość obiektywnej oceny wielkości narażenia pracowników na pole elektromagnetyczne.

### Podsumowanie wyników badań i wnioski

1. Zaobserwowano zwiększenie narażenia pracowników pracujących przy diatermiach chirurgicznych. W latach 2010-2012 nastąpił wzrost współczynnika ekspozycji  $W$  o 100%. Jednocześnie zaobserwowano zależność zmniejszenia mierzonych wielkości natężenia pola elektromagnetycznego wraz z coraz nowszymi generacjami diatermii chirurgicznych. Zwiększenie narażenia można tłumaczyć zwiększeniem obciążenia pracą oraz przede wszystkim pogarszającą się świadomością personelu. W momencie wejścia w życie przepisu umożliwiającego szkolenie pracownika z ochrony przed polem elektromagnetycznym przez wewnętrzne służby BHP wiele jednostek z tego korzysta i nie zaprasza zewnętrznych specjalistów do prowadzenia wykładów.
2. Diatermie chirurgiczne są wysmienitym narzędziem dla chirurga pracującego na bloku operacyjnym. Należy być jednak świadomym jakie ryzyka niesie ze sobą ich używanie i starać się je minimalizować, a do tego jest potrzebna wiedza zdobyta na specjalistycznych szkoleniach.
3. Ocena ekspozycji jest obciążona dodatkową niepewnością związaną z subiektywnym odczuciem czasu narażenia pracowników.
4. Ograniczenie ekspozycji można osiągnąć przede wszystkim zmniejszając wartość natężenia pola na stanowisku pracy, a można to osiągnąć poprzez odpowiednie zaplanowanie ustawienia diatermii, rozmieszczenie przewodów, optymalizację parametrów urządzenia i ustalenie reguł dzięki którym zaplanowane działania będą stosowane w codziennej praktyce.
5. Pomiary pola elektromagnetycznego dają możliwość obiektywnej oceny wielkości narażenia i są powtarzalne.

### Piśmiennictwo / References

1. Botkiewicz A, Gadzicka E. Zmiany w układzie krążenia u osób ekspozowanych na pola elektromagnetyczne o różnych częstotliwościach. Pola elektromagnetyczne źródła – oddziaływanie – ochrona. IMP, Łódź 2000.
2. Sińczuk-Walczak H. Wpływ pól elektromagnetycznych na układ nerwowy. Wybrane zagadnienia patomechanizmu, kliniki i orzecznictwa. Pola elektromagnetyczne źródła – oddziaływanie – ochrona. IMP, Łódź 2000.
3. Karpowicz J, Gryz K. Charakterystyka pól elektromagnetycznych i ich oddziaływania na ludzi i środowisko. Zagrożenia wypadkowe związane z wybranymi zastosowaniami pól elektromagnetycznych. CIOP-PIB, Warszawa 2008
4. International Agency for Research on Cancer (IARC). Press Release N° 208, 31 May 2011.
5. Kasprzak J i wsp. Stan bezpieczeństwa sanitarnego woj. kujawsko-pomorskiego w 2010 roku. WSSE, Bydgoszcz 2011.
6. Kasprzak J i wsp. Stan Bezpieczeństwa sanitarnego woj. kujawsko-pomorskiego w 2011 roku. WSSE, Bydgoszcz 2012.
7. Kearns SR i wsp. Randomized clinical trial of diathermy versus scalpel incision in elective midline laparotomy. Br J Surg 2001, 88, 1: 41-44.
8. Ussmueller JO, Jaehne M, Neumann BG. The use of diathermy scissors in parotid gland surgery. Arch Otolaryngol Head Neck Surg 2004; 130, 2: 187-189.
9. Chrysos E i wsp. A prospective study comparing diathermy and scalpel incisions in tension-free inguinal hernioplasty. Am Surg 2005, 71, 4: 326-329.
10. Owens D, Jaramillo M, Saunders M. Suction diathermy adenoid ablation. J Laryngol Otol 2005, 119, 2: 34-36.
11. Hill J i wsp. Pulsed short-wave diathermy effects on human fibroblast proliferation. Arch Phys Med Rehabil 2002, 83, 6: 832-836.
12. Ikeda T, Tayefeh F, Sessler DI. Local radiant heating increases subcutaneous oxygen tension. Am J Surg 1998, 175, 3: 33-37.
13. Aigner N i wsp. Complications in the use of diathermy. Burns 1997, 23, 6: 256-264.
14. El-Gamal HM, Dufresne RG, Saddler K. Electrosurgery, pacemakers and ICDs: A survey of precautions and complications experienced by cutaneous surgeons. Dermatol Surg 2001, 27, 3: 385-390.
15. Karpowicz J, Gryz K, Zradziński P. Zagrożenia elektromagnetyczne przy urządzeniach elektrochirurgicznych – Poradnik dla placówek służby zdrowia. Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2008.
16. Rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 roku w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Dz.U. z 2002 r. Nr 217, poz. 1833 ze zm. Dz.U. z 2005 r. Nr 112 poz. 1769, Dz. U. z 2007 r. Nr 161 poz. 1142. Dz. U. z 2010 r. Nr 141, poz. 950.
17. Bussiere RL. Principles of Electrosurgery. Tektran Incorporated Edmonds, Washington 98020-0665 U.S.A.
18. Massarweh NN, Cosgriff N, Slakey DP. Electrosurgery: History, Principles, and Current and Future Uses. Electrosurgery 2006, 202, 3.
19. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dn. 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Dz. U. 2011 nr 33 poz. 166.