

Narażenie na pole elektromagnetyczne w przestrzeni pracy podczas użytkowania urządzeń do magnetoterapii lub magnetostymulacji. Metoda pomiaru pola elektromagnetycznego *in situ* – wymagania szczegółowe¹

Exposure to the electromagnetic field in the work space during the use of magnetotherapy or magnetostimulation devices. The method of *in situ* measurements of electromagnetic field – specific requirements

dr inż. JOLANTA KARPOWICZ¹⁾ e-mail: jokar@ciop.pl
dr HALINA ANIOŁCZYK²⁾ e-mail: h_aniol@imp.lodz.pl
dr hab. inż. PAWEŁ BIENKOWSKI³⁾ e-mail: pawel.bienkowski@pwr.edu.pl
dr inż. KRZYSZTOF GRYZ¹⁾ e-mail: krgry@ciop.pl
dr inż. JAROSŁAW KIELISZEK⁴⁾ e-mail: jkieliszek@wihe.waw.pl
dr PIOTR POLITAŃSKI²⁾ e-mail: piopolit@imp.lodz.pl
prof. dr hab. MAREK ZMYŚLONY²⁾ e-mail: zmymar@imp.lodz.pl
dr inż. PATRYK ZRADZIŃSKI¹⁾ e-mail: pazra@ciop.pl
¹⁾ Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
00-701 Warszawa, ul. Czerniakowska 16
²⁾ Instytut Medycyny Pracy im. prof. dr. med. Jerzego Nofera
91-348 Łódź, ul. św. Teresy od Dzieciątka Jezus 8
³⁾ Politechnika Wrocławska
50-370 Wrocław, Wybrzeże Wyspiańskiego 27
⁴⁾ Wojskowy Instytut Higieny i Epidemiologii
01-163 Warszawa, ul. Kozielska 4

Słowa kluczowe: magnetoterapia, magnetostymulacja, pole magnetyczne, pomiary pola elektromagnetycznego, metoda rekomendowana, środowisko pracy, bezpieczeństwo i higiena pracy, zdrowie publiczne.

Keywords: magnetotherapy, magnethostimulation, magnetic field, electromagnetic field measurements, recommended method, work environment, occupational safety and health, public health.

¹ Publikacja opracowana w ramach realizacji III etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” (2014-2016), ustanowionego uchwałą nr 126/2013 Rady Ministrów z dnia 16 lipca 2013 r., w zakresie zadań służb państwowych ze środków będących w dyspozycji ministra właściwego do spraw pracy (zadanie 2.Z.30 realizowane w CIOP-PIB), (Koordynator programu wieloletniego: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy), z wykorzystaniem wyników realizacji prac statutowych Politechniki Wrocławskiej i Instytutu Medycyny Pracy ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, a także wyników badań realizowanych zgodnie z planem finansowym wydatków Departamentu Wojskowej Służby Zdrowia na 2016 r., w ramach realizacji tematu: „Opracowanie wytycznych do nowelizacji resortowych przepisów w zakresie ochrony żołnierzy przed promieniowaniem elektromagnetycznym w świetle nowo wprowadzanych przepisów Ministerstwa Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej”; we współpracy Grupy Ekspertów ds. Pól Elektromagnetycznych przy Międzyresortowej Komisji ds. Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynników Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy.

Streszczenie

W prawie pracy określono obowiązek rozpoznania i oceny zagrożeń elektromagnetycznych w otoczeniu urządzeń i instalacji emitujących pole elektromagnetyczne (**pole-EM**). W rozporządzeniu 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-EM wśród typowych źródeł pola-EM wymieniono „urządzenia do magnetoterapii” (DzU 2016, poz. 950, zał. 1., poz. 10., zm. poz. 2284).

Urządzania do magnetoterapii są wykorzystywane do łagodzenia różnych dolegliwości, z wykorzystaniem oddziaływania quasi-statycznego pola-EM. Podczas zabiegu w pobliżu aktywnych aplikatorów występuje pole-EM stref ochronnych. W związku z tym, warunki narażenia pracujących podczas użytkowania aplikatorów wymagają okresowej kontroli, wykonanej „zgodnie z metodami określonymi w Polskich Normach, a w przypadku braku takich norm, metodami rekomendowanymi i zwalidowanymi” zgodnie z wymaganiami zawartymi w rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (DzU 2011, poz. 166), celem rozpoznania zagrożeń elektromagnetycznych i podjęcia odpowiednich środków ochronnych (DzU 2016, poz. 950, zm. poz. 2284). Metody pomiarów pola-EM w zakresie koniecznym do realizacji wspomnianych wymagań nie są obecnie znormalizowane, w związku z tym, celem relacjonowanej pracy było opracowanie metody rekomendowanej do pomiaru parametrów pola-EM *in situ* w przestrzeni pracy, podczas użytkowania urządzeń do magnetoterapii lub magnetostymulacji.

Rekomendowana metoda pomiarów została opracowana na podstawie szczegółowego rozpoznania charakterystyki narażenia na pole-EM w otoczeniu typowych urządzeń do magnetoterapii eksploatowanych w Polsce: w otoczeniu około 700 aplikatorów 500 urządzeń (takich jak: Magnetronic (serie: MF-10, MF-12, MF-20 i BTL), Magnetus (serie: 2 i 2.26), Magnoter (serie: D-56, D56A BL), Magner LT, Magner Plus, Magneris, MAG magnetic, Magnetic i Astar ABR).

Wykonano oscyloskopowe rozpoznanie charakterystyk zmienności w czasie pola-EM emitowanego przez urządzenia do magnetoterapii

i magnetostymulacji oraz pomiary rozkładu przestrzennego pola-EM w przestrzeni pracy przy tych urządzeniach.

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań wykazano, że podczas zabiegu fizykoterapeutycznego źródłem pola-EM jest jedynie aplikator do magnetoterapii lub magnetostymulacji. W przypadku wykorzystywania pola-EM o częstotliwości podstawowej do 100 Hz o sinusoidalnym lub niesinusoidalnym przebiegu ciągłym – przemiennym lub prostowanym (tj. ze składową stałą), zasięg pola-EM stref ochronnych jest determinowany przez rozkład przestrzenny quasi-statycznego pola magnetycznego (pola-M). Ponieważ tego typu urządzenia przeważają w polskich placówkach fizykoterapeutycznych, do oceny zagrożeń elektromagnetycznych w przestrzeni pracy rekomendowano użycie uproszczonej metody pomiarów. Polega ona na pomiarze wartości skutecznej (RMS) natężenia pola-M w sinusoidalnym trybie pracy urządzenia. W ocenie wyników w takim przypadku uwzględnia się limity narażenia określone w prawie pracy w stosunku do wartości równoważnych natężenia pola-M przez użycie odpowiedniego współczynnika korekcyjnego, odzwierciedlającego konieczność zaostrożonej oceny narażenia przy niesinusoidalnym trybie pracy urządzenia (tj. użycie limitów określonych dla pola-EM o częstotliwości 100 Hz). W przypadku urządzeń emitujących pole-EM o częstotliwościach z zakresu kiloherców (kHz) lub pola-EM o impulsowej charakterystyce zarekomendowano stosowanie bardziej złożonych pomiarów, obejmujących indywidualne rozpoznanie charakterystyk mierzonoego pola-EM i określenie współczynników korekcyjnych do interpretacji wyników pomiarów wartości skutecznej na podstawie charakterystyk metrologicznych stosowanych przyrządów pomiarowych. W metodzie określono również zasady: przygotowania pomiarów i aparatury pomiarowej, wyboru punktów pomiarowych, wyznaczenia zasięgu stref ochronnych oraz dokumentowania wyników pomiarów. Omówiono również najistotniejsze źródła niepewności wyników pomiaru pola-EM w przestrzeni pracy przy omawianych urządzeniach.

Summary

Labour law defines the obligation to identify and evaluate electromagnetic hazards in the vicinity of equipment and installations emitting an electromagnetic field (EM-field). Following the regulation of ministry of labour which set the provisions regarding the safety and health in EM-field, the "devices for magnetotherapy" have been mentioned among the typical sources of an EM-field (OJ 2016 items 950 and 2284, Annex 1, item 10).

Magnetotherapy devices are used to alleviate various diseases, using the influence of a quasi-static EM-field. The protective zones of the EM-field are present near the active applicators during the treatment, so the conditions of exposure of personnel present nearby during the use of the applicators require a periodic inspection made "according to the methods specified in the Polish Standards, and in the absence of such standards, by recommended and validated methods" according to the provisions of regulation of ministry of health (Regulation..., Journal of Laws 2011, item 166), in order to identify electromagnetic hazards and to take appropriate protective measures (OJ 2016 item 950 and 2284).

The methods of measuring the EM-field to the extent necessary to meet these requirements are currently not standardised; therefore, the aim of the presented work was to develop a recommended method for measuring the parameters of the EM-field *in-situ* in the workspace while using magnetotherapy or magnetostimulation devices.

The recommended measurement method is based on detailed investigations on the characteristics of exposure to the EM-field surrounding typical magnetotherapy devices operated in Poland: by approx. 700 applicators of 500 devices (such as Magnetronic (series MF-10, MF-12, MF 20 and BTL), Magnetus (series 2 and 2.26), Magnoter (series D-56, D56A BL), Magner LT, Magner Plus, Magneris, MAG magnetic, Magnetic, Astar ABR).

The oscilloscopic identification, the characteristics of variability in the time of the EM-field emitted by devices for magnetotherapy and magnetostimulation, and the measurements of the spatial distribution of the EM-field in the workspace by devices have been worked out.

Based on the results of the study, it was shown that, during physiotherapy treatment, only the applicator for magnetotherapy or magnetostimulation is the source of the EM-field. When using an EM-field with a frequency of up to 100 Hz and a continuous sinusoidal or non-sinusoidal waveform – alternating or rectified (i.e. with a constant component) – the range of protective zones of EM-field is determined by the spatial distribution of the quasi-static magnetic field (M-field). Because this type of device predominates in Polish physiotherapy centres, to assess electromagnetic hazards in the workspace, it was recommended to use a simplified method of measurement, involving the measurement of the root-mean-square (RMS) value of the M-field strength in sinusoidal operation mode and an evaluation of results, taking into account the limits reflecting the measures of exposure specified in the labour law in relation to the equivalent value of the M-field strength, but using an appropriate correction factor reflecting the need to strengthen the exposure evaluation at non-sinusoidal modes of operation (i.e. by the use of limits set for EM-field of 100 Hz frequency). In the case of devices emitting an EM-field with frequencies in the kilohertz (kHz) range or a pulsed EM-field, it was recommended to use more complex measurements, including an individual analysis of the characteristics of the measured EM-field and a determination of correction factors to the interpretation of the measured RMS value (based on the metrological characteristics of measuring devices used). The method also sets out principles for: measurements and measurement devices preparation, locating the measurement points, determining the range of protection zones and documenting the measurement results. The most important sources of uncertainty concerning EM-field measurements in the workspace near magnetotherapy or magnetic stimulation applicators were also discussed.

WPROWADZENIE

Oddziaływanie pola elektromagnetycznego (pola-EM) na ludzi i obiekty materialne skutkuje indukowaniem w nich pola elektrycznego, co może spowodować niekorzystne skutki zdrowotne u narażonych lub zagrożenia pośrednie, związane np. z zakłóceniami pracy urządzeń czy kontaktem ciała z obiektami, na które pole oddziałuje (określane jako prądy kontaktowe). Do ochrony pracujących przed takimi zagrożeniami w prawie pracy określono limity narażenia w przestrzeni pracy. W znowelizowanym w lipcu 2016 r. rozporządzeniu Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i najwyższych dopuszczalnych natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w miejscu pracy (**R-NDN-EM**) zdefiniowano Interwencyjne Poziomy Narażenia (IPN), które określają poziomy pola-EM tworzące górne i dolne granice stref ochronnych – pośredniej, zagrożenia i niebezpiecznej (DzU 2016, poz. 952). Oddziaływanie na pracujących pola-EM stref ochronnych jest tzw. narażeniem kontrolowanym. Ponadto, w prawie pracy określono obowiązek: rozpoznania i oceny zagrożeń elektromagnetycznych w otoczeniu urządzeń i instalacji emitujących pole-EM, wprowadzenia odpowiednich środków ochronnych celem ograniczenia lub wyeliminowania zagrożeń, okresowej kontroli (monitorowania) skuteczności podjętych działań oraz parametrów narażenia na pole-EM w przestrzeni pracy.

Biorąc pod uwagę zakres wymagań prawa pracy, dotyczących ochrony przed zagrożeniami elektromagnetycznymi w środowisku pracy, pomiary parametrów pola-EM podjęte w związku z realizacją obowiązku zapewnienia bezpiecznych i higienicznych warunków pracy powinny cechować się m.in.: reprezentatywnością w stosunku do narażenia pracujących; adekwatnością miar pola-EM w odniesieniu do parametrów ocenianego pola-EM i parametrów, dla których określono limity narażenia pracujących; odtwarzalnością wyników pomiarów

konieczną ze względu na procesy monitorowania skuteczności stosowania środków ochronnych; odtwarzalnością wyników pomiarów realizowanych przez różne podmioty, konieczną do ujednoczenia w całym kraju sposobu realizacji wspomnianych wymagań dotyczących ochrony pracujących. Ocena zagrożeń elektromagnetycznych powinna więc przebiegać zgodnie z ujednoczonymi i rygorystycznie realizowanymi metodami. Celem zapewnienia: niezbędnej reprezentatywności, powtarzalności i odtwarzalności rozpoznania i oceny parametrów narażenia na pole-EM w przestrzeni pracy, a także do planowania środków ochronnych dotyczących pracujących w polu-EM stref ochronnych i monitorowania skuteczności ich stosowania, konieczne jest również dostosowanie metod pomiaru do przestrzennych i częstotliwościowych parametrów pola-EM w otoczeniu jego różnych źródeł.

Warunki narażenia pracujących w pobliżu aktywnych źródeł pola-EM podczas ich użytkowania wymagają okresowej kontroli, wykonanej „zgodnie z metodami określonymi w Polskich Normach, a w przypadku braku takich norm, metodami rekomendowanymi i zwalidowanymi”, zgodnie z wymaganiami określonymi w rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (DzU 2011, poz. 166), celem rozpoznania zagrożeń elektromagnetycznych i podjęcia odpowiednich środków ochronnych, określonych w rozporządzeniu 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-EM (**R-BHP-EM**), (DzU 2016, poz. 950, zm. 2284). Metody pomiarów pola-EM, w zakresie koniecznym do realizacji wspomnianych nowych wymagań, nie są obecnie znormalizowane (w poprzednim

rozporządzeniu w sprawie najwyższych dopuszczalnych natężeń pola elektrycznego i magnetycznego wymagano wykorzystania znormalizowanej terminologii i zasad oceny ekspozycji w środowisku pracy). Dlatego w R-BHP-EM (zał. nr 3, cz. III) określono obowiązek wykorzystania (przez użytkowników) do oceny pola-EM rozpoznanego w przestrzeni pracy: „wyniki pomiarów wykonanych odpowiednimi dla tego pola metodami, opublikowanymi w czasopiśmie *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy*, naukowo sprawdzonymi i zwalidowanymi doświadczalnie przez co najmniej dwa współpracujące ze sobą podmioty, które łącznie mają udokumentowany dorobek naukowy w zakresie pomiarów i oceny pola-EM w przestrzeni pracy i doświadczenie praktyczne w tym zakresie, będące laboratoriami instytutów badawczych lub instytutów naukowych Polskiej Akademii Nauk lub uniwersytetów technicznych, które są metodami rekomendowanymi w rozumieniu rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (DzU poz. 166)”. W związku z tym, podjęto prace, których ce-

lem było opracowanie metod rekomendowanych do pomiaru parametrów pola-EM *in situ*² w przestrzeni pracy, odpowiednich do realizacji wspomnianych wymagań. Niniejsza praca należy do cyklu publikacji omawiających te metody. Zaprezentowano w niej specyfikę oceny narażenia na pole-EM podczas użytkowania urządzeń do magnetoterapii lub magnetostymulacji, które zostały wymienione wśród typowych źródeł pola-EM (R-BHP-EM, zał. 1., poz. 10.). Rekomendowana, w wyniku przeprowadzonych prac doświadczalnych i analitycznych, metoda pomiarów parametrów narażenia na pole-EM, koniecznych do właściwego wykonania wymagań określonych głównie w R-BHP-EM i R-NDN-EM, została opracowana jako metoda odpowiednio uszczegółowiona i uproszczona, w zakresie rekomendowanej metodyki ogólnej – opracowanej ze względu na wymagania określone we wspomnianych rozporządzeniach do oceny narażenia, uwzględniającej zróżnicowane parametry pola-EM emitowanego przez różnego typu źródła i zróżnicowane warunki ich użytkowania (Karpowicz i in. 2017).

MATERIAŁ I METODY BADAŃ DOŚWIADCZALNYCH

Badania pola-EM wykonano w otoczeniu około 700 aplikatorów 500 urządzeń (takich jak: Magnetronic (serie: MF-10, MF-12, MF-20 i BTL), Magnetus (serie: 2 i 2.26), Magnoter (serie: D-56, D56A BL), Magner LT, Magner Plus, Magneris, MAG magnetic, Magnetic, Astar ABR).

Wykonano pomiary rozkładu przestrzennego niezaburzonego pola-EM przy aplikatorach, przy maksymalnych nastawach w trybie

pracy z emisją pola sinusoidalnie zmiennego w czasie i oceniono dla niego zasięgi wspomnianych stref ochronnych. Dokonano również analizy parametrów widmowych (amplitudowo-częstotliwościowych) i poziomu pola-EM podczas pracy urządzeń w trybach emisji pola-EM niesinusoidalnego, o różnych przebiegach w czasie.

² Pomiary *in situ* – oznaczają pomiary wykonane w miejscu, gdzie urządzenie jest użytkowane, np. w przestrzeni pracy, gdzie jest użytkowane urządzenie do magnetoterapii lub elektrostymulacji.

WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

Charakterystyka pola-EM urządzeń do magnetoterapii lub magnetostymulacji

W medycznych zabiegach fizykoterapeutycznych jest stosowane m.in. pole-EM z różnych pasm częstotliwości – od pola magnetostatycznego (PMS), przez pole-EM małej częstotliwości, określone na potrzeby prawa pracy jako pole quasi-statyczne (PQS), do pola-EM wielkiej częstotliwości (PWCZ) i promieniowania mikrofalowego (PMF)), (Robertson i in. 2009; Sieroń 2010). Celem takich zabiegów jest wywołanie w organizmie pacjenta przepływu prądu elektrycznego, zaindukowanego przez zewnętrzne pole-EM. Zależnie od ich częstotliwości, prądy te przy odpowiednio dużych natężeniach wywołują w organizmie skutki termiczne bądź elektrostymulację tkanek. Urządzenia fizykoterapeutyczne pracujące w zakresie częstotliwości wywołujących skutki termiczne (PWCZ lub PMF) są nazywane diatermiami fizykoterapeutycznymi, a urządzenia emitujące PMS lub PQS – urządzeniami do magnetoterapii bądź urządzeniami do magnetostymulacji, jako że wykorzystują aplikatory indukcyjne emitujące pole-EM o relatywnie dużych natężeniach składowej magnetycznej. Zabiegi magnetoterapii i magnetostymulacji są wykorzystywane do łagodzenia różnych dolegliwości przez oddziaływanie pola quasi-statycznego (PQS).

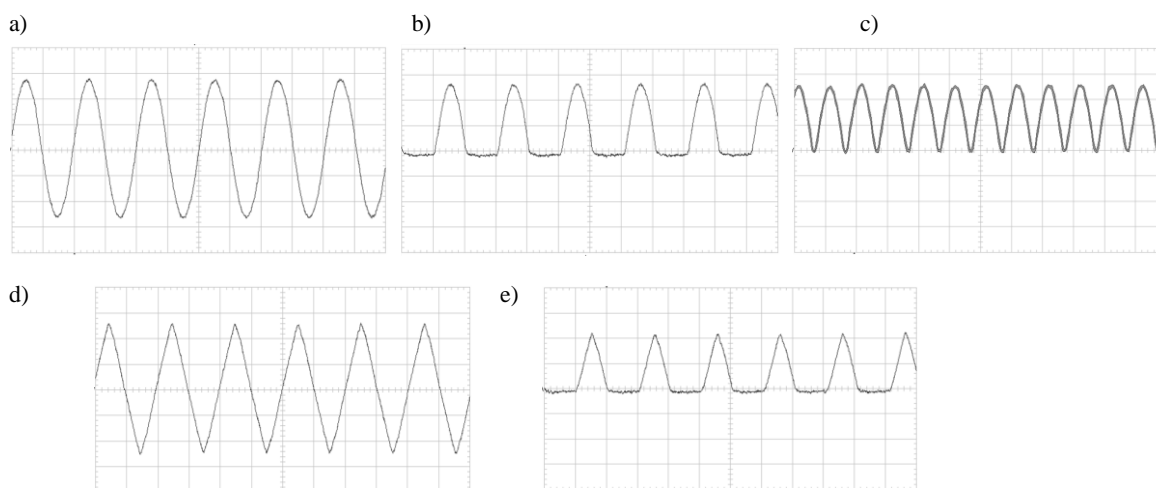
Ze względów związanych z techniką pomiaru pola-EM na potrzeby oceny zagrożeń elektromagnetycznych w przestrzeni pracy, w dalszej części opracowania zastosowano następujące rozróżnienie:

- magnetoterapia (MT) – zabiegi fizykoterapeutyczne z wykorzystaniem PQS o częstotliwości podstawowej do 100 Hz (o przebiegu przemiennym lub prostowanym, tj. ze składową stałą)
 - magnetostymulacja (MS) – zabiegi fizykoterapeutyczne z wykorzystaniem PQS o częstotliwości podstawowej z zakresu (1 ÷ 100) kHz (o przebiegu przemiennym lub prostowanym).
- Na podstawie wyników przeprowadzonych badań wykazano, że w Polsce najczęściej do magnetoterapii są stosowane aplikatory MT szpulowe o średnicach od około 20 do 70 cm i szerokości około (20 ÷ 30) cm. Aplikatory mogą być również płaskie (MT lub MS), utworzone z pojedynczej cewki lub wielu cewek o różnych wymiarach, montowanych np. w materacu lub poduszkach przykładanych do wybranych części ciała pacjenta (Gryz, Karpowicz 2013; Gryz i in. 2015; Karpowicz i in. 2008; 2009). Najczęściej fizykoterapeuta ma możliwość ustawienia wybranej częstotliwości i kształtu zmienności w czasie przebiegu pola-EM emitowanego przez aplikator, a wykorzystywane są pola-EM o przebiegach:
- sinusoidalnym: pełnym, z prostowaniem jedno- lub dwupołówkowym
 - prostokątnym lub trójkątnym: pełnym lub z prostowaniem jednapołówkowym.
- Przebiegi pełne bywają oznaczane jako bipolarne, z prostowaniem jednapołówkowym – jako unipolarne, a z prostowaniem dwupołówkowym – jako prąd stały. Maksymalna amplituda przebiegu prostowanego jest najczęściej o połowę mniejsza od amplitudy przebiegu przemiennego wytwarzanego przez poszczególne urządzenia (rys. 1.). Urządzenia do terapii polem magnetycznym mogą również wytwarzać pola-EM o parametrach zmieniających się podczas zabiegu – przy stałej częstotliwości (np. z modulacją amplitudową) lub z jednoczesną zmianą częstotliwości. Ponadto, kształt przebiegów pola-EM emitowanego

przez różne urządzenia bywa odmienny, pomimo takiej samej nazwy trybu pracy (rys. 2.). Natomiast w magnetostymulacji popularne jest stosowanie płaskich aplikatorów i impulsowego pola-EM.

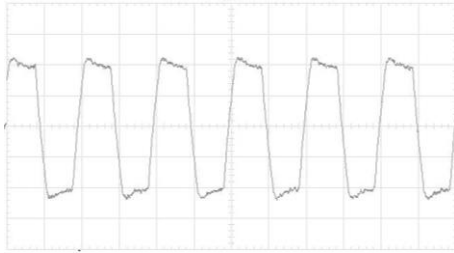
Udostępnione autorom, na potrzeby prac przygotowujących transpozycję dyrektywy 2013/35/UE, dane Państwowej Inspekcji Sanitarnej za 2014 r. (gromadzone w ramach Programu Badań Statystyki Publicznej w formularzu MZ-52 – Sprawozdanie z zakresu higieny radiacyjnej), wskazują na eksploatację w kraju około 2 tys. urządzeń do magnetoterapii, przy których pracuje około 8 tys. osób. Z kolei, według danych Instytutu Medycyny Pracy w Łodzi, w 2007 r. przy stosowaniu urządzeń medycznych wytwarzających PWCZ zatrudnionych było około 27 tys. pracowników (Aniołczyk 2013). Znaczny odsetek takich urządzeń stanowią diatermie krótkofalowe wykorzystywane w zabiegach fizykoterapeutycznych, a osoby obsługujące je obsługują również urządzenia do magnetoterapii, eksploatowane w tych samych placówkach fizykoterapeutycznych. Podobne szacunki wynikają z przeanalizowanych danych Narodowego Funduszu Zdrowia nt. zakontraktowanych świadczeń fizykoterapeutycznych, wg których co najmniej 15 tys. pracowników jest zatrudnionych w tym sektorze usług medycznych (<http://www.nfz.gov.pl/new/index.php?katnr=3&dzialnr=19&artnr=1483>).

Pracownik (fizjoterapeuta) podchodzący do aktywnego aplikatora, ułożonego przy ciele pacjenta lub założonego na wybraną część jego ciała, jest narażony na pole-EM o poziomie zbliżonym do terapeutycznego narażenia pacjenta. Podczas zabiegu przy aktywnych aplikatorach występują pola-EM stref ochronnych, w związku z czym warunki narażenia pracujących w ich pobliżu wymagają okresowej kontroli w zakresie określonym w rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2016 r. w sprawie badań i pomiarów (DzU 2011, poz. 166), celem rozpoznania zagrożeń elektromagnetycznych i podjęcia, określonych w R-BHP-EM, adekwatnych środków ochronnych w celu ograniczenia bezpośrednich lub pośrednich zagrożeń dla bezpieczeństwa lub zdrowia pracowników.

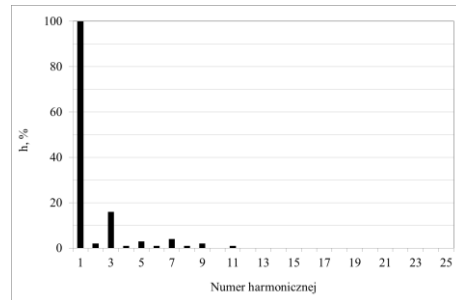


Rys. 1. Przykładowe przebiegi pola magnetycznego zarejestrowane oscyloskopowo przy aplikatorach do magnetoterapii: a) sinusoidalny; b) sinusoidalny prostowany jednopółkowo; c) sinusoidalny prostowany dwupółkowo; d) trójkątny; e) trójkątny prostowany jednopółkowo (oś pionowa – unormowana amplituda, oś pozioma – podstawa czasu: 10 ms/dz)

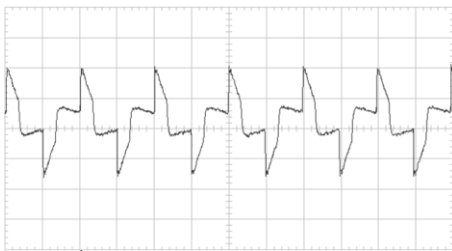
a)



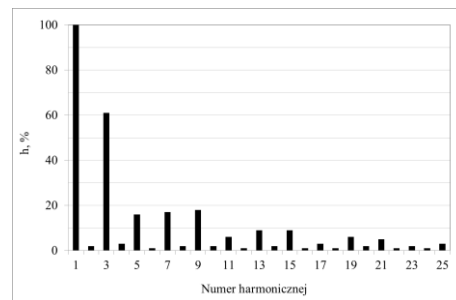
b)



c)



d)



Rys. 2. Przykładowe przebiegi pola magnetycznego zarejestrowane oscyloskopowo przy aplikatorach do magnetoterapii, wytwarzane przy nastawach urządzenia: przebieg prostokątny o częstotliwości 50 Hz (a i c – podstawa czasu: 10 ms/dz) i jego widmo amplitudowo-częstotliwościowe³ (b i d)

Miary narażenia na pole-EM urządzeń do magnetoterapii lub magnetostymulacji

Miarą poziomu oddziaływania pola-EM w przestrzeni pracy są: natężenie pola elektrycznego (pole-E) oznaczane symbolem E i wyrażane w woltach na metr (V/m) oraz natężenie pola magnetycznego⁴ (pole-M) oznaczane symbolem H i wyrażane w amperach na metr (A/m). Poziom natężenia pola-M zmniejsza się wraz z odległością od aplikatora. Na

przykład, w osi cewki płaskiej zmienność natężenia pola M z odległością może być szacowana na podstawie poniższej zależności (rys. 3.), (Rawa 2001):

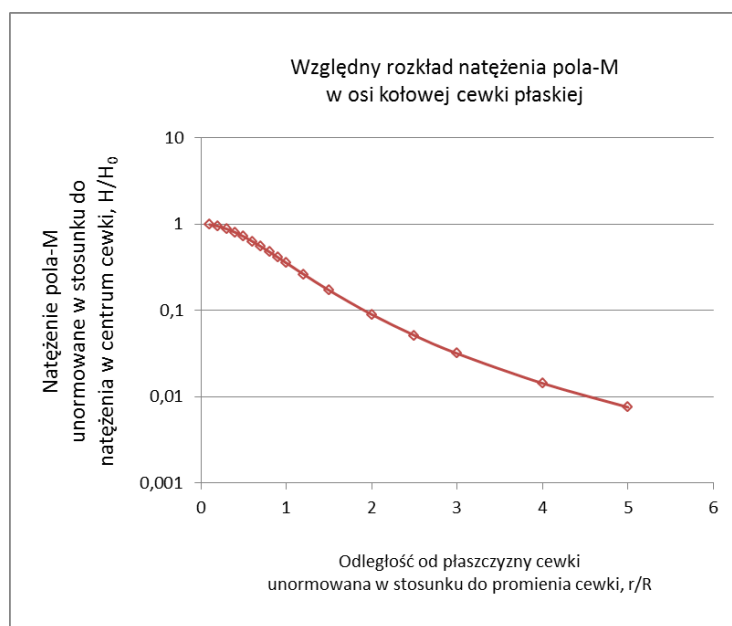
$$H = H_0 \left[\frac{R^2}{R^2 + r^2} \right]^{3/2} \quad [1]$$

gdzie:

- H_0 – natężenie pola-M w środku geometrycznym cewki płaskiej,
- r – odległość od płaszczyzny uzwojenia cewki,
- R – promień uzwojenia.

³ Widmo amplitudowo-częstotliwościowe reprezentuje amplitudy składowych harmonicznych, którymi są przebiegi sinusoidalnie zmienne w czasie, o różnych amplitudach i częstotliwościach (najczęściej będących wielokrotnościami częstotliwości podstawowej, np. 50 Hz jak na rys. 2.), których suma odtwarza rozpatrywany przebieg niesinusoidalny.

⁴ Alternatywnie do natężenia pola-M dopuszcza się stosowanie indukcji magnetycznej, oznaczanej symbolem B i wyrażanej w teslach (T), w jednostkach podwielokrotnych: mili- lub mikroteslach (mT, μ T), lub w gausach (Gs). W powietrzu pole o indukcji 1 μ T lub 10 mGs charakteryzuje również natężenie pola-M wynoszące około 0,8 A/m.



Rys. 3. Natężenie pola-M w osi kołowej cewki płaskiej, w funkcji odległości od płaszczyzny uzwojenia

Do oceny narażenia na pole-EM wokół aplikatorów urządzeń MT lub MS mają zastosowanie wymagania podane w R-NDN-EM i R-BHP-EM. W tabelach 1. i 2. zestawiono wartości natężenia pola-M i pola-E o częstotliwości $(5 \div 1000)$ Hz, wyznaczające limity narażenia kończyn (IPNk) oraz głowy i tułowia, tj. granicę strefy niebezpiecznej (IPNog), a także limit narażenia pracowników niezwiązanych z obsługą urządzeń wytwarzających pole-EM, tj. granicę strefy pośredniej (IPNp). Wartości IPNp wyznaczają również zasięg pola-EM stref ochronnych, czyli narażenia kontrolowanego.

Narażenie kontrolowane pracującego lub osoby potencjalnie narażonej⁵ jest zgodne z wymaganiami określonymi w prawie pracy, jeśli w wyniku badań lekarskich potwierdzono brak przeciwwskazań zdrowotnych do jego przebywania w polu-EM oraz został on przeszkolony na temat zagrożeń elektromagnetycznych i środków ochronnych podejmowanych celem ochrony przed takimi zagrożeniami, poziom

jego narażenia jest okresowo kontrolowany, a zasięgi przestrzeni pola-EM stref ochronnych zostały wyznaczone i oznakowane.

Pole-EM o przebiegu innym niż sinusoidalny charakteryzuje widmo częstotliwości zawierające, oprócz składowej podstawowej, także wyższe harmoniczne (jak pokazano na rys. 2.), które powinny być uwzględnione podczas oceny narażenia pracujących – ponieważ limity narażenia są zależne od częstotliwości. Zgodnie z wymaganiami określonymi w R-BHP-EM (zał. nr 3, cz. III) w ocenie pola-EM w przestrzeni pracy mogą być pominięte składowe o natężeniach mniejszych od 30% dominującej składowej – odpowiednio natężenia pola-M lub natężenia pola-E, jeżeli wartości odpowiednich dla nich limitów IPN są większe od 30% wartości limitów IPN dotyczących składowej dominującej. Dominująca w tym przypadku jest składowa, której natężenie osiąga największą wartość względem wartości dotyczącego jej limitu IPN. W innych

⁵ Według R-BHP-EM: **pracujący** – osoba wykonująca prace przy użytkowaniu źródła pola-EM: pracownik, osoba fizyczna wykonująca te prace na innej podstawie niż stosunek pracy albo osoba prowadząca na własny rachunek działalność gospodarczą; **osoba potencjalnie narażona** – każda osoba mająca dostęp do miejsca narażenia, mimo że nie wykonuje prac przy użytkowaniu źródła pola-EM.

przypadkach należy uwzględnić składowe harmoniczne w ocenianym polu-EM. W przypadkach zaprezentowanych na rysunku 2., w przebiegu o widmie z rysunku (b) składową dominującą jest częstotliwość podstawowa (1. harmoniczna o częstotliwości $f = 50$ Hz), a kolejne składowe harmoniczne mogą zostać pominięte

w dalszej analizie. Natomiast w widmie z rysunku (c) składową dominującą jest 3. harmoniczna ($f = 150$ Hz), a jednocześnie 1., 7. i 9. składowe nie powinny zostać pominięte podczas oceny narażenia.

Tabela 1.
Limity narażenia w przestrzeni pracy na pole-M o częstotliwościach wykorzystywanych przez urządzenia do terapii polem magnetycznym (DzU 2016, poz. 952)

Limity narażenia	Natężenie pola-M, H w A/m, przy częstotliwości:		
	(5 ÷ 50) Hz	50 Hz	(50 ÷ 1000) Hz
IPNk-H(f)	8 000	8 000	8 000 x (50/ f)
IPNog-H(f)	3 200	3 200	3 200 x (50/ f)
IPNp-H(f)	60	60	60 x (50/ f)

Objaśnienia:
 f – częstotliwość, w Hz; IPNk-H – limit narażenia kończyn; IPNog-H – granica strefy niebezpiecznej; IPNp-H – granica strefy pośredniej.

Tabela 2.
Limity narażenia w przestrzeni pracy na pole-E o częstotliwościach wykorzystywanych przez urządzenia do terapii polem magnetycznym (DzU 2016, poz. 952)

Limity narażenia	Natężenie pola-E, E w V/m, przy częstotliwości			
	(5 ÷ 50) Hz	50 Hz	(50 ÷ 100) Hz	(100 ÷ 1000) Hz
IPNog-E(f)	20 000	20 000	20 000	20 000 x (50/ f)
IPNp-E(f)	1000	1000	1000 x (50/ f)	1000 x (50/ f)

Objaśnienia:
 f – częstotliwość, w Hz; IPNog-E – granica strefy niebezpiecznej; IPNp-E – granica strefy pośredniej.

Należy zwrócić uwagę, że wartości IPN określono do oceny wartości równoważnych (WR)⁶ natężenia pola-E lub pola-M, a pomiary są wykonywane zwykle miernikami wartości skutecznej (RMS). Wynik pomiaru typowym szerokopasmowym miernikiem wartości RMS natężenia pola-M lub pola-E (H_{RMS} lub E_{RMS}) odzwierciedla widmowy skład mierzonego pola wg zależności [2], która może znacznie odbiegać od WR (Bieńkowski i in. 2016):

$$H_{RMS} \approx \sqrt{\sum_i (H_{RMS}(f_i))^2} \approx H_{RMS}(f_M) \quad [2]$$

gdzie:

- $H_{RMS}(f_i)$ – wartość skuteczna natężenia składowej pola-M o częstotliwości f_i ,
- $H_{RMS}(f_M)$ – wartość skuteczna natężenia składowej pola-M o częstotliwości f_M , przy której rozpoznano składową widmową o największej amplitudzie.

⁶ Według R-BHP-EM: **wartość równoważna (WR)** – wartość międzyszczytowa wybranego parametru charakteryzującego pole-EM, czyli różnica między maksymalną a minimalną wartością chwilową tego parametru w ciągu określonego przedziału czasu (T), podzielona przez $2\sqrt{2}$.

Jedynie w przypadku jednego okresu przebiegu sinusoidalnie zmiennego w czasie wartość skuteczna, wyrażona zależnością [2], jest równa wartości równoważnej.

Z zależności [2] wynika ponadto, że jeżeli dla wszystkich składowych oprócz $H_{RMS}(f_M)$, jest spełniony warunek: $H(f_M) > 3H(f_i)$, to wynik szerokopasmowego pomiaru wartości RMS jest zbliżony do wartości skutecznej składowej widmowej o częstotliwości f_M i nie odzwierciedla udziału innych składowych tego pola, niezależnie od ich częstotliwości. Natomiast w zakresie częstotliwości, w którym wartości graniczne stref ochronnych są odwrotnie proporcjonalne do częstotliwości, tj. np. (50 ÷ 1000) Hz, kolejne harmoniczne o jednakowych amplitudach są coraz istotniejszym składnikiem oceny narażenia pracujących na pole-EM, ponieważ wraz ze wzrostem częstotliwości stanowią coraz większy odsetek w stosunku do wartości IPN. Skutkiem tego, w miarę narastania zawartości składowych o wyższych częstotliwościach narastają również rozbieżności między wartościami RMS i WR. W przykładzie z rysunku 2d. WR jest około 2-krotnie większa od wartości RMS. W przypadku najbardziej typowych przebiegów niesinusoidalnych wykorzystywanych w urządzeniach MT i MS rozbieżności między wartościami RMS i WR nie przekraczają 50%. Wspomniana analiza dotycząca zależności wyników oceny narażenia na pole-EM, emitowane przez aplikatory MT i MS, a także omówione poniżej charakterystyki narażenia na pole-EM podczas użytkowania aplikatorów, stały się punktem wyjścia do opracowania uproszczonej metody pomiaru pola-EM, rekomendowanej jeśli celem badań jest ocena narażenia na ciągłe pole-EM aplikatorów MT. Wyniki tych prac przedstawiono w załączniku do niniejszej publikacji.

Charakterystyka narażenia na pole-EM podczas użytkowania urządzeń MT lub MS

Na podstawie wyników z przeprowadzonych badań wykazano, że ze względu na zasilanie aplikatorów MT i MS z generatora elektronicznego o napięciu zasilania 230 V oraz prądach wyjściowych nieprzekraczających kilku amperów, wokół obudowy generatora i kabli zasilających aplikatory występuje pole-EM strefy bezpiecznej ($E < IPN_p-E$; $H < IPN_p-H$). W związku z tym, podczas zabiegu fizykoterapeutycznego źródłem pola-EM jest jedynie aplikator do magnetoterapii lub magnetostymulacji MT lub MS, który jest źródłem znacznie silniejszego pola-EM w związku z wykorzystaniem właściwości indukcyjnych cewki wielozwojowej.

Ze względu na niskie częstotliwości pracy aplikatorów MT, ich uzwojenia mają stosunkowo niskie impedancje, a ponadto aplikatory są pokryte metalową uziemioną obudową w celu zapewnienia pacjentom bezpieczeństwa przeciwporażeniowego podczas zabiegów. Skutkiem tego, podczas oceny parametrów pola-EM w otoczeniu aplikatora MT można *a priori* przyjąć, że występuje tam pole-E strefy bezpiecznej ($E < IPN_p-E$). W związku z tym, w przypadku wykorzystywania pola-EM o częstotliwości do 100 Hz, sinusoidalnego lub niesinusoidalnego przebiegu ciągłego – przemiennego lub prostowanego (tj. ze składową stałą), zasięg pola-EM stref ochronnych przy aplikatorze MT jest determinowany przez zasięg quasi-statycznego pola-M. Natomiast w otoczeniu aplikatorów MS ocena zasięgu stref ochronnych wymaga pomiaru obu składowych – pola-M i pola-E.

Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, że w typowych warunkach eksploatacji urządzeń MT, maksymalne zasięgi pola-EM strefy pośredniej (narażenia kontrolowanego), niezależnie od kształtu przebiegu

zmienności pola-EM w czasie i zawartości harmonicznych, nie sięgają od obudowy aplikatora dalej niż około 150 cm wzdłuż osi i do około 90 cm wzdłuż promienia (zasięgi stref ochronnych przy sinusoidalnym trybie pracy bywają o kilkadziesiąt procent mniejsze). Zasięg stref ochronnych PQS przy aplikatorach MS bywa rozleglejszy.

Podczas zasilania aplikatorów MT prądem prostowanym pole magnetostatyczne w odległości > 10 cm od obudowy aplikatorów jest polem strefy bezpiecznej.

Rekomendowane metody pomiaru i oceny parametrów narażenia na pole-EM podczas użytkowania urządzeń do terapii polem magnetycznym

Ponieważ w krajowych placówkach fizykoterapeutycznych przeważają urządzenia MT z możliwością wybrania pracy w trybie niemodulowanego pola sinusoidalnego, do oceny zagrożeń elektromagnetycznych w przestrzeni pracy przy tych urządzeniach opracowano i zarekomendowano użycie uproszczonej metody pomiarów. Polega ona na pomiarze wartości skutecznej natężenia pola-M emitowanego w sinusoidalnym trybie pracy urządzenia i oceny wyników z uwzględnieniem limitów narażenia określonych w prawie pracy w stosunku do wartości równoważnych natężenia pola-M poprzez użycie odpowiedniego współczynnika korekcyjnego, odzwierciedlającego konieczność zaostrzonej oceny narażenia przy niesinusoidalnym trybie pracy urządzenia (tj. użycie limitów określonych dla pola-EM o częstotliwości 100 Hz). W przypadku urządzeń MS emitujących pole-EM o częstotliwościach z zakresu kiloherców (kHz) lub urządzeń MT o impulsowej charakterystyce emitowanego pola-EM, jest konieczne stosowanie bardziej złożonych pomiarów, obejmujących indywidualne rozpoznanie charakterystyk mierzonego pola-EM i określenie współczynni-

ków korekcyjnych (uwzględniających wspomniane rozbieżności wartości RMS i WR przebiegów niesinusoidalnych) na podstawie charakterystyk metrologicznych użytych przyrządów pomiarowych i rozpoznanego kształtu przebiegów terapeutycznego pola-EM (Bieńkowski i in. 2016; Kubacki i in. 2007).

W związku z omówionymi wynikami badań parametrów pola-EM emitowanego przez urządzenia MT i MS, przyjęto następujące wnioski dotyczące koniecznego zakresu pomiaru pola-EM w przestrzeni pracy w otoczeniu urządzeń MT i MS:

- 1) w stosunku do pola-EM w otoczeniu generatorów i kabli zasilających aplikatory urządzeń MT i MS przyjmuje się, że jest to pole-EM strefy bezpiecznej, tzn. $E < IPNp-E$; $H < IPNp-H$,
- 2) w stosunku do pola-E w otoczeniu aplikatorów MT emitujących pole-EM ciągle przyjmuje się, że jest to pole-E strefy bezpiecznej, tzn. $E < IPNp-E$,
- 3) w otoczeniu aplikatorów MS (lub MT emitujących pole-EM impulsowe) ocena obejmuje pomiar natężenia pola-M i natężenia pola-E,
- 4) w otoczeniu aplikatorów MT emitujących pole-EM ciągle ocena obejmuje tylko pomiar natężenia pola-M.

Ponieważ urządzenia MT przeważają w polskich placówkach fizykoterapeutycznych, a charakterystyki emitowanego przez nie pola-EM są bardzo dobrze rozpoznane, do oceny zagrożeń elektromagnetycznych w przestrzeni pracy podczas ich użytkowania, opracowano i zarekomendowano uproszczoną metodę polegającą na pomiarze:

- wartości skutecznej natężenia pola-M
- przy sinusoidalnym trybie pracy generatora
- przy maksymalnym poziomie mocy wyjściowej

- przy częstotliwości pola-EM 50 Hz (lub mniejszej, jeśli przy $f < 50$ Hz urządzenie emituje silniejsze pole-EM niż przy $f = 50$ Hz).

W metodzie uproszczonej przyjmuje się, że do oceny narażenia podczas użytkowania urządzenia w trybie emisji ciągłego w czasie pola-EM o przebiegu niesinusoidalnym, wpływ wyższych harmonicznych na wartość równoważną natężenia pola-EM uwzględnia się, wykorzystując wyniki pomiaru wartości RMS przy $f \leq 50$ Hz, ale odniesione do wartości IPN-H, określonych w R-BHP-EM dla pola-EM o częstotliwości 100 Hz (tab. 1.). W ten sposób są stosowane zastrzone kryteria oceny, co równoważy fakt, że wartość równoważna może znacznie przewyższać wartość RMS podczas korzystania z trybów pracy urządzenia z emisją pola-EM niesinusoidalnego. Podejście takie spowoduje zawyżenie zasięgu stref ochronnych rozpoznanych dla pracy urządzenia w trybie sinusoidalnym, ale dla innych przebiegów ocena narażenia będzie poprawna w granicach akceptowalnej niepewności.

Warunki narażenia podczas wszystkich trybów pracy urządzenia należy uwzględnić ponieważ R-BHP-EM określa wymóg oceny narażenia w kontekście zróżnicowanego użytkowania źródła pola-EM. Pomiaru wykonane w warunkach określonych dla metody uproszczonej i ich rekomendowana metoda oceny umożliwiają więc poprawne rozpoznanie zagrożeń elektromagnetycznych w przestrzeni pracy (zgodnie z zasadą, tzw. oceny najgorszego przypadku) i poprawną realizację wymagań prawa pracy. Wobec tego, ze względu na lepszą powtarzalność wyników uzyskanych metodą uproszczoną i mniejsze wymagania techniczne jej realizacji, rekomenduje się jej stosowanie podczas oceny narażenia na pole-EM popularnych w kraju urządzeń MT. Stosowanie takiej metody pomiarów należy jednoznacznie udokumentować w sprawozdaniu

z badań, aby kolejna ocena mogła być wykonana w tych samych okolicznościach.

Niepewność i odtwarzalność wyniku pomiarów pola-EM w przestrzeni pracy

Prezentowane w niniejszym opracowaniu zasady wykonywania pomiarów wypracowano w celu uzyskania odpowiedniej jakości pomiarów przez ograniczanie niepewności wyników, związanej m.in. z: właściwościami metrologicznymi przyrządów pomiarowych, ich oddziaływaniem ze źródłem mierzonego pola-EM i oddziaływaniem na jego rozkład przestrzenny, co utrudnia uzyskanie danych pomiarowych charakteryzujących pole-EM niezakłócone obecnością człowieka (Bieńkowski i in. 2016).

W wypadku pomiarów w przestrzeni pracy, a szczególnie w przestrzeni obsługi – odstępstwa od ustalonych metod pomiarowych mogą prowadzić nawet do wielokrotnego zawyżenia lub zaniżenia wyniku i oceny analizowanych zagrożeń w znacznym stopniu odbiegającej od stanu faktycznego. Dodatkowym elementem zwiększającym niepewność oceny może być także niepoprawne rozpoznanie właściwości mierzonego pola-EM i błędny wybór wielkości charakteryzujących takie narażenie, które wymagają oceny ze względu na limity narażenia określone w prawie pracy. W celu jednoznaczności wyników badań należy więc ściśle przestrzegać sformalizowanych zasad wykonywania badań pola-EM w przestrzeni pracy.

Do oceny ekspozycji lub narażenia na pole-EM rozpoznane w przestrzeni pracy przy aplikatorach MT lub MS użytkownik powinien wykorzystać wyniki pomiarów wykonanych dopasowanymi do jego charakterystyki wspomnianymi metodami rekomendowanymi, naukowo sprawdzonymi i zwalidowanymi doświadczalnie (R-BHP-EM). Walidacja ta powinna objąć

m.in.: szacowanie niepewności pomiaru, rozumianej jako matematyczna miara zmienności wyników pomiaru natężenia pola-E lub pola-M w przestrzeni pracy. W R-BHP-EM określono, że ze względu na powiązanie środków ochronnych z rozpoznanymi zasięgami pola-EM stref ochronnych, za wartość miejscowego natężenia pola-E i pola-M przyjmuje się wynik jego pomiaru (bez jego niepewności), pod warunkiem zastosowania metod pomiaru, dla których naukowo sprawdzono i zwalidowano doświadczalnie oraz udokumentowano niepewność standardową wyników nie gorszą od $\pm 30\%$. Potencjał techniczny i umiejętności konieczne do spełnienia tych wymagań przez wykonawcę badań powinny być odzwierciedlone w budżecie niepewności jego pomiarów (opracowanym w kontekście wykorzystywanej przez niego procedury realizacji odpowiedniej metody badań i wyposażenia), a także potwierdzone podczas odpowiednich badań biegłości (PT). Uwzględniając stosunkowo małą precyzję pomiaru pola-EM na potrzeby oceny narażenia w przestrzeni pracy, rekomendowane jest uczestniczenie w tym celu w ogólnie dostępnych badaniach biegłości realizowanych zgodnie z wymaganiami określonymi w normie ISO/IEC 17043, dla których wartość przypisana jest wyznaczana przez odpowiednie badania z udziałem ekspertów, niezależnie od wyników uzyskiwanych przez indywidualnych uczestników badań. Miarodajna ocena wyników takich biegłości wymaga, zgodnie z zaleceniami normy ISO 13528:2015, wykorzystania miar *z-score* lub *zeta-score* (Karpowicz i in. 2016). W ogólnych wymaganiach dotyczących szacowania niepewności pomiarów pola-EM określono, że w potwierdzonym doświadczalnie szacowaniu niepewności uwzględnia się, co najmniej:

- zaburzenia pola-EM powodowane obecnością osób wykonujących badania i użytego do pomiaru miernika
- powtarzalność wyników pomiarów wybranych parametrów ekspozycji lub narażenia

- odpowiedź miernika w zakresie jego wzorcowania w funkcji częstotliwości (z równomierną rozdzielczością co najmniej 3 punktów na dekadę częstotliwości), natężenia (z rozdzielczością co najmniej 3 punktów na dekadę, przy co najmniej jednej częstotliwości) oraz polaryzacji i modulacji pola
- niepewność wzorcowania miernika
- czynniki środowiskowe podczas pomiarów (temperatura i wilgotność)
- odporność elektromagnetyczną miernika.

Takie właściwości metrologiczne aparatury pomiarowej stosowanej w badaniach pola-EM w środowisku pracy, jak np.: charakterystyki częstotliwościowe, dynamiczne, odporność elektromagnetyczna na pośrednie oddziaływanie pola-EM, wrażliwość na warunki klimatyczne, a także ich znaczenie dla niepewności i odtwarzalności wyników pomiarów – zostały szczegółowo omówione w innej publikacji (Bieńkowski i in. 2016).

Do wykazania wymaganej dokładności pomiarów, konieczne jest przeprowadzenie analizy niepewności dla procedury realizacji wybranej metody i stosowanego wyposażenia pomiarowego, z uwzględnieniem wspomnianych czynników. Jednak uwagi wymagają również ograniczenia wynikające z różnic parametrów pola-EM, na które aparatura pomiarowa wykazuje największą czułość, w stosunku do określonych przez prawo wymagań dotyczących ocenianych parametrów pola-EM w dziedzinie: częstotliwości, czasu i przestrzeni (takich jak np.: wielkość referencyjnej sondy pomiarowej (Zradziński i in. 2017) i jej izotropowość oraz czułość na inny parametr przebiegu niesinusoidalnego niż wartość równoważna), warunki klimatyczne w przestrzeni pracy, odtwarzalność położenia punktów pomiarowych.

PODSUMOWANIE

1. W celu ujednoczenia w całym kraju sposobu realizacji obowiązku zapewnienia bezpiecznych i higienicznych warunków pracy przy narażeniu na pole-EM, pomiary parametrów narażenia muszą być wykonywane zgodnie z ujednoczonymi i poprawnie realizowanymi metodami.
2. W urządzeniach do magnetoterapii lub magnetostymulacji pierwotnymi źródłami pola-EM są aplikatory.
3. Wokół tych aplikatorów występuje pole-EM stref ochronnych, a w przypadku urządzeń do magnetoterapii – strefy ochronne powstają tylko ze względu na występowanie pola-M.
4. Zasięgi stref ochronnych zależą od przebiegu zmienności pola-EM w czasie (różnego kształtu przebiegów prądów pobudzających aplikator), co należy uwzględnić podczas pomiarów pola-EM w przestrzeni pracy i oceny ich wyników.

Szczegółowe wymagania dotyczące metody pomiaru parametrów pola-EM *in situ* w przestrzeni pracy, podczas użytkowania medycznych urządzeń do magnetoterapii lub magnetostymulacji, przedstawiono w załączniku. Do pomiarów i oceny ciągłego w czasie pola-EM podczas użytkowania urządzeń do magnetoterapii rekomenduje się stosowanie omówionej metody uproszczonej. Ocena impulsowego pola-EM urządzeń do magnetoterapii lub pola-EM urządzeń do magnetostymulacji wymaga, omówionych w metodzie, bardziej złożonych pomiarów. W metodzie określono również: zasady przygotowania pomiarów i aparatury pomiarowej, wyboru punktów pomiarowych, wyznaczania zasięgu stref ochronnych oraz dokumentowania wyników pomiarów. Omówiono w niej również najistotniejsze źródła niepewności wyników pomiaru pola-EM.

Podziękowania

Autorzy dziękują za cenne uwagi i sugestie przekazane podczas konsultowania projektu metody w środowisku praktyków, w szczególności pracownikom laboratoriów pomiarowych oraz pracownikom Państwowej Inspekcji Sanitarnej i Państwowej Inspekcji Pracy.

PIŚMIENNICTWO

Aniolczyk H. (2013) Ocena poziomu pola elektrycznego od urządzeń pracujących w zakresie częstotliwości radiowych i ich wpływ na środowisko pracy. Bezpieczeństwo Pracy 9, 29–31.

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. Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy 4(90), 37–70.

Gedliczka A. (2001) Atlas miar człowieka – Dane do projektowania i oceny ergonomicznej. Centralny Instytut Ochrony Pracy, Warszawa 2001.

Gryz K., Karpowicz J. (2013) Ograniczanie zagrożeń elektromagnetycznych przy urządzeniach fizyoterapeutycznych. Poradnik. Warszawa, CIOP-PIB.

Gryz K., Leszko W., Karpowicz J. (2015) Narażenie na pole elektromagnetyczne w otoczeniu aplikatorów urządzeń magnetoterapeutycznych. Problemy Higieny i Epidemiologii 96(3), 578–585.

- Karpowicz J., Gryz K., Zradziński P. (2008) Pola elektromagnetyczne przy urządzeniach do magnetoterapii – ocena ryzyka zawodowego. *Bezpieczeństwo Pracy* 9, 21–25.
- Karpowicz J., Gryz K., Zradziński P. (2009) Pola elektromagnetyczne w otoczeniu urządzeń fizykoterapeutycznych – aplikatory do terapii zmiennym polem magnetycznym. *Inżynieria Biomedyczna. Acta Bio-Optica et Informatica Medica* 15(1), 60–63.
- Karpowicz J., Kieliszek J., Sobiech J., Gryz K., Puta R. (2016) Sensitivity of the performance statistics provided by ISO 13528:2015 to malfunctions of participants assessing workers' electromagnetic field exposure during interlaboratory comparison – Experimental study [W:] *Proc. of the 2016 International Symposium on Electromagnetic Compatibility – EMC EUROPE 2016, Wrocław, Poland, September 5-9, 760–764. IEEE Conference Publications. DOI: 10.1109/EMCEurope.2016.7739278*
- Karpowicz J., Aniołczyk H., Bieńkowski P., Gryz K., Kieliszek J., Politański P., Zmyślony M., Zradziński P. (2017) Metodyka pomiaru *in situ* parametrów pola elektromagnetycznego charakteryzujących narażenie w przestrzeni pracy – wymagania ogólne (artykuł przeznaczony do opublikowania w kolejnym numerze *Podstaw i Metod Oceny Środowiska Pracy*).
- Kubacki R., Kieliszek J., Sobiech J., Puta R. (2007) Metrologia pól elektromagnetycznych modulowanych impulsowo miernikami diodowymi. *Medycyna Pracy* 58(1), 57–62.
- Rawa H. (2001) *Elektryczność i magnetyzm w technice*. Warszawa, PWN.
- Robertson V., Ward A., Low J., Reed A. (2009) *Fizykoterapia. Aspekty kliniczne i biofizyczne*. [Red.] M. Łukowicz. Wrocław, Elsevier Urban & Partner.
- Sieroń A. (2010) *Zastosowanie pól magnetycznych w medycynie*. Bielsko-Biała, Wydawnictwo Medyczne Alfa Medica Press.
- Zradziński P., Karpowicz J., Gryz K., Leszko W. (2017) Ocena zagrożeń dla użytkowników protez słuchu wykorzystujących przewodnictwo kostne podczas oddziaływania pola magnetycznego przy aplikatorze magnetoterapeutycznym, *Medycyna Pracy* (artykuł przeznaczony do opublikowania w kolejnym numerze *Medycyny Pracy*).
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. *DzU* 2011, poz. 166.
- 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* 2016, poz. 950, zm. poz. 2284.
- Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 27 czerwca 2016 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. *DzU* 2016, poz. 952.
- 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* 1997, poz. 332, z późn. zm.
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 września 1996 r. w sprawie wykazu prac szczególnie uciążliwych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet. *DzU* 2002, poz. 545, z późn. zm.
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 24 sierpnia 2004 r. w sprawie wykazu prac wzbudzonych młodością i warunków ich zatrudnienia przy niektórych z tych prac. *DzU* 2005, poz. 2047, z późn. zm.
- ISO 13528: 2015 Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparison. ISO 2015.
- PN-EN ISO/IEC 17043:2011 Ocena zgodności – ogólne wymagania dotyczące badania biegłości. PKN 2011.
- [<http://www.nfz.gov.pl/new/index.php?katnr=3&dzialnr=19&artnr=1483>].

**METODA POMIARU *in situ* PARAMETRÓW
POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO CHARAKTERYZUJĄCYCH
NARAŻENIE W PRZESTRZENI PRACY PODCZAS UŻYTKOWANIA
MEDYCZNYCH URZĄDZEŃ DO MAGNETOTERAPII LUB
MAGNETOSTYMULACJI - WYMAGANIA SZCZEGÓŁOWE**

1. Cel stosowania metody

Pomiar parametrów narażenia na pole elektryczne (**pole-E**) i pole magnetyczne (**pole-M**) określony niniejszą metodą wykonuje się w zakresie koniecznym do scharakteryzowania parametrów narażenia na pole elektromagnetyczne (**pole-EM**) w przestrzeni pracy podczas użytkowania medycznych urządzeń do magnetoterapii (**urządzenia MT**) lub magnetostymulacji (**urządzenia MS**), celem realizacji wymagań dotyczących ochrony przed bezpośrednimi lub pośrednimi zagrożeniami elektromagnetycznymi w środowisku pracy, określonych przez (lub przepisy zastępujące je):

- 1) 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-EM (DzU 2016, poz. 950, z późn. zm.),
- 2) rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 27 czerwca 2016 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (DzU 2016, poz. 952),
- 3) rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (DzU 2011, poz. 166),
- 4) rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 30 maja 1996 r. w sprawie przeprowadzania badań lekar-

skich pracowników, zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydawanych do celów przewidzianych w kodeksie pracy (DzU 1997, poz. 332, z późn. zm.),

- 5) rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 września 1996 r. w sprawie wykazu prac szczególnie uciążliwych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet (DzU 2002, poz. 545, z późn. zm.),
- 6) rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 24 sierpnia 2004 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac (DzU 2005, poz. 2047, z późn. zm.).

W metodzie określono szczegółowe wymagania w zakresie: przygotowania, przeprowadzenia i udokumentowania wyników pomiaru pola-EM w przestrzeni pracy podczas użytkowania urządzeń MT lub MS, w zakresie koniecznym do poprawnej realizacji wymienionych wymagań prawnych i wymagań ogólnych określonych przez metodykę pomiaru *in situ* parametrów pola-EM charakteryzujących narażenie w przestrzeni pracy (Karpowicz i in. 2017).

2. Definicje i oznaczenia

Następujące terminy przyjęto zgodnie z ich określeniami w R-BHP-EM: pole elektromagnetyczne, pole quasi-statyczne, pole bliskie, pole niezaburzone, przestrzeń obsługi, prze-

strzeń pracy, powierzchnia dostępu, pion pomiarowy, punkt pomiarowy, narażenie, narażenie ogólne, narażenie miejscowe, narażenie quasi-stacjonarne, limity IPN, limity GPO, odporność elektromagnetyczna, pole-EM stref ochronnych, pracujący, osoba potencjalnie narażona, użytkownik, użytkownik, pierwotne źródło pola-EM, wtórne źródło pola-EM.

Przyjęto również następujące oznaczenia:

- pole-EM – pole elektromagnetyczne
- pole-E – pole elektryczne
- pole-M – pole magnetyczne
- urządzenie MT – urządzenie do magnetoterapii
- urządzenia MS – urządzenie do magnetostymulacji
- PQS – pole quasi-statyczne
- IPN – Interwencyjny Poziom Narażenia
- R-BHP-EM – rozporządzenie MRPiPS w sprawie BHP przy pracach związanych z narażeniem na pole-EM (DzU 2016, poz. 950, z późn. zm.)
- R-NDN-EM – rozporządzenie MRPiPS zmieniające rozporządzenie w sprawie NDSiN czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (DzU 2016, poz. 952).

3. Zakres stosowania metody

Metoda ma zastosowanie do pomiaru parametrów pola-EM, charakteryzujących narażenie pracujących lub osób potencjalnie narażonych podczas użytkowania urządzenia MT lub MS, z uwzględnieniem zróżnicowanych warunków ich użytkowania.

Urządzenia MT i MS składają się z generatora i aplikatora lub aplikatorów (**aplikator MT**, **aplikator MS**) emitujących pole-EM quasi-statyczne (**PQS**) zmienne w czasie sinusoidalnie lub niesinusoidalnie (przemienne lub prostowane, tj. ze składową stałą przebiegu). Na potrzeby stosowania niniejszej metody przyjęto, że:

- 1) w magnetoterapii są wykorzystywane ciągle PQS o częstotliwości z zakresu (5 ÷ 100) Hz,
- 2) w magnetostymulacji są wykorzystywane PQS o częstotliwości z zakresu (1 ÷ 100) kHz – o różnej modulacji, najczęściej impulsowe.

U W A G A I

Jeżeli w szczególnym przypadku urządzenie MT emituje tylko impulsowe pole-EM to należy zastosować zasady pomiaru i oceny określone dla urządzeń MS.

Pole-EM jest charakteryzowane przez:

- 1) natężenie pola elektrycznego (oznaczone E i wyrażone w V/m),
- 2) natężenie pola magnetycznego (oznaczone H i wyrażone w A/m),
- 3) zmienność w czasie (częstotliwość, modulację, kształt przebiegu).

Ze względu na zdecydowaną przewagę urządzeń MT w krajowych placówkach fizyko-terapeutycznych, dalsze wymagania sformułowano w odniesieniu do pomiaru pola-EM w przestrzeni pracy podczas użytkowania takich urządzeń. Jeżeli nie podano inaczej, należy stosować analogiczne wymagania również do pomiarów pola-EM emitowanego przez urządzenia MS. W każdym przypadku należy udokumentować podstawę do przyjęcia, że ocenie podlega pole-EM emitowane przez urządzenie MT lub MS.

4. Pomiary pola-EM

4.1. Przygotowanie do pomiarów pola-EM przez użytkownika

4.1.1. Rozpoznanie źródeł pola-EM w przestrzeni pracy lub poza nią

Miejsce, warunki wykonania i zakres pomiarów pola-EM w przestrzeni pracy użytkownika określa na podstawie wyników przeprowadzonego i udokumentowanego rozpoznania pier-

wotnych i wtórnych źródeł pola-EM, znajdujących się w przestrzeni pracy lub poza nią, a także charakterystyki pola-EM oraz poziomu ekspozycji pracujących i osób potencjalnie narażonych w przestrzeni pracy⁷.

W razie braku wystarczających danych do pełnego rozpoznania źródeł pola-EM użytkownik przekazuje dostępne informacje wykonawcy pomiarów, który rozpoznaje źródła pola-EM podczas przygotowania do pomiarów pola-EM, a także wizji lokalnej przestrzeni pracy oraz dostępnymi metodami pomiarowymi. W sprawozdaniu z pomiarów dokumentuje się sposób i zakres przeprowadzenia rozpoznania, o którym mowa, jego wyniki oraz stwierdzone ograniczenia reprezentatywności wyników pomiarów⁸, wynikające z braku odpowiedniej dokumentacji lub stosowania do pomiarów uproszczonych metod i aparatury.

W odniesieniu do urządzeń MT rozpoznanie obejmuje co najmniej: rodzaj urządzenia emitującego pole-EM będące przedmiotem oceny oraz zróżnicowanie warunków i zakresu użytkowania tego urządzenia i przestrzeni pracy w jego otoczeniu.

U W A G A II

Jeżeli ocenie podlega pole-EM podczas użytkowania urządzenia MS, rozpoznanie obejmuje również charakterystykę zmienności w czasie emitowanego przez nie pola-EM.

W odniesieniu do oceny pola-EM urządzeń MT stosuje się następujące założenia:

- 1) w otoczeniu generatorów i kabli zasilających aplikatory MT występuje pole-EM strefy bezpiecznej,
- 2) w otoczeniu aplikatorów MT występuje pole-E strefy bezpiecznej.

W konsekwencji jako pierwotne źródła pola-M należy rozpoznać tylko aplikatory MT.

U W A G A III

Jeżeli ocenie podlega pole-EM podczas użytkowania urządzenia MS, jako pierwotne źródła pola-EM należy rozpoznać aplikatory MS (źródło pola-E i pola-M).

U W A G A IV

Charakterystyka pola-EM emitowanego przez aplikatory MT pozwala przyjąć, że nie powoduje ono powstawania w otoczeniu wtórnych źródeł pola-EM, jednak inne rodzaje urządzeń, jakie mogą być eksploatowane w placówkach medycznych w sąsiedztwie aplikatorów, mogą stanowić zarówno pierwotne źródła pola-EM, jak i powodować indukowanie wtórnego pola-EM w otoczeniu aplikatorów MT⁹.

4.1.2. Miejsce pomiaru pola-EM

Na podstawie działań wg punktu 4.1.1. użytkownik wskazuje miejsca w przestrzeni pracy oraz pracujących i osoby potencjalnie narażone, których może dotyczyć oddziaływanie pola-EM stref ochronnych przy aplikatorach MT. Miejsca

⁷ Rozpoznanie źródeł pola-EM przez użytkownika dotyczy [wg R-BHP-EM; ust. 5.1.]:

- 1) parametrów technicznych źródła pola-EM określonych przez producenta w instrukcji eksploatacji lub innej dokumentacji technicznej,
- 2) środków ochronnych zastosowanych w celu ograniczania emisji ze źródła pola-EM stanowiących jego stałe wyposażenie, w szczególności: blokad, obudów, osłon lub ekranów,
- 3) poziomu emisji ze źródła pola-EM do środowiska lub poziomu pola-EM w jego otoczeniu, dostępnych na podstawie wymagań określonych w odrębnych przepisach,
- 4) charakterystyki ekspozycji na pole-EM, w szczególności przedstawionych w załączniku nr 1 do R-BHP-EM,
- 5) zakresu użytkowania źródła pola-EM oraz wpływu wykonywanych prac na poziom emisji lub poziom ekspozycji.

⁸ Warunki wykonania planowanych pomiarów pola-EM powinny zapewnić reprezentatywność wyników ze względu na ocenę pola-EM w zróżnicowanych warunkach użytkowania pierwotnych i wtórnych źródeł pola-EM. W przypadku niedostatecznie dokładnego rozpoznania parametrów technicznych źródeł pola-EM rozpoznanego w przestrzeni pracy objętej planowanymi badaniami, uniemożliwiającego wykonanie pomiarów zgodnie z przeznaczeniem (tj. do realizacji wymagań prawa pracy) lub istotnie wpływającego na niepewność wyników planowanych badań, wykonawca pomiarów powinien poinformować użytkownika o ograniczeniach z tym związanych (dotyczących reprezentatywności wyniku pomiaru do zamierzonego zastosowania w ocenie pola-EM), a w przypadku akceptacji tych ograniczeń w sprawozdaniu z pomiarów przedstawić informacje o zakresie niedostępnych danych lub ograniczonego zakresu pomiarów i ich przyczynach.

⁹ Ze względu na zróżnicowanie kompetencji niezbędnych do pomiaru pola-EM o zróżnicowanych charakterystykach w dziedzinie: częstotliwości, czasu i przestrzeni pracy, jeśli rozpoznano pole-EM pochodzące od różnych źródeł zlokalizowanych w przestrzeni pracy lub poza nią, do przeprowadzenia przez użytkownika pełnej oceny pola-EM może być konieczne wykorzystanie wyników badań wykonanych różnymi metodami i zróżnicowaną aparaturą, wykorzystywanymi przez różnych wykonawców badań.

te powinny być objęte pomiarami natężenia pola-M, celem udokumentowania parametrów narażenia na pole-EM źródeł pierwotnych i wtórnych. Ze względu na użytkowanie urządzeń MT rozpoznanie powinno dotyczyć przestrzeni w otoczeniu aplikatorów do odległości około 2 m od ich powierzchni.

U W A G A V

Ze względu na użytkowanie innych źródeł pola-EM w pobliżu urządzenia MT, może być konieczne rozpoznanie obejmujące rozleglejszą przestrzeń pracy – zależnie od parametrów takich źródeł pola-EM.

4.1.3. Warunki wykonania pomiarów

Użytkownik przekazuje wykonawcy pomiarów udokumentowane wyniki rozpoznania, przeprowadzonego wg punktów 4.1.1. i 4.1.2., konieczne do przygotowania pomiarów pola-EM o zakresie odpowiednim do realizacji wymagań prawa pracy (R-BHP-EM i R-NDN-EM).

Dane te stanowią podstawę do wybrania m.in.: warunków pracy rozpoznanych źródeł pola-EM podczas pomiarów, parametrów koniecznej aparatury pomiarowej i lokalizacji punktów pomiarowych. Na tej podstawie określa się: warunki dostępności niezbędnych danych technicznych dotyczących urządzenia MT i obiektów technicznych, zlokalizowanych w przestrzeni pracy objętej planowanymi badaniami, termin planowanych badań i warunki obsługi przez przedstawicieli użytkownika urządzenia MT oraz innych źródeł pola-EM, a także parametry pracy tych źródeł podczas pomiarów – z zachowaniem wymagań określonych w punktach 4.2. – 4.4. (o ile te źródła pola-EM wymagają obsługi i regulacji parametrów pracy).

Ze względu na użytkowanie urządzeń MT i MS w pomieszczeniach przeznaczonych na prowadzenie zabiegów medycznych, warunki klimatyczne podczas pomiarów nie wymagają kontroli podczas pomiarów i oceny ze względu na niepewność pomiarów.

4.1.4. Zapewnienie bezpieczeństwa i kompetencji podczas pomiarów

Realizując wymagania R-BHP-EM w stosunku do zapewnienia bezpieczeństwa podczas użytkowania źródeł pola-EM przytoczone w Aneksie załączonym do metodyki ogólnej (Karpowicz i in. 2017), użytkownik jest obowiązany dostarczyć osobom wykonującym pomiary pola-EM wszelkich niezbędnych informacji z zakresu bezpieczeństwa i higieny pracy, które dotyczą przestrzeni pracy, gdzie planowane są pomiary pola-EM. Dostosowując środki ochronne do specyfiki złożonych zagrożeń zawodowych w polu-EM stref ochronnych, uwzględnia się, że prace podczas pomiarów pola-EM w przestrzeni pracy zaliczono do użytkowania źródła pola-EM.

Uwzględniając warunki wykonania pomiarów, rozpoznane i uzgodnione zgodnie z wymaganiami określonymi w punkcie 4.1.3., pomiary pola-EM w przestrzeni pracy przy aplikatorach MT wykonują osoby:

- 1) o odpowiednich, udokumentowanych kompetencjach w zakresie pomiaru pola-EM źródeł rozpoznanych w przestrzeni pracy, obejmujących pole-EM urządzeń MT,
- 2) dla których potwierdzono brak przeciwwskazań zdrowotnych do przebywania w PQS stref ochronnych,
- 3) które mają udokumentowane inne istotne kompetencje lub cechy, zapewniające bezpieczne wykonanie pomiaru pola-EM w specyficznych warunkach rozpoznanych w przestrzeni pracy objętej planowanymi pomiarami (m.in. ze względu na: bezpieczeństwo przeciwpożarzeniowe, inne zagrożenia środowiskowe w przestrzeni pracy (np. chemiczne i biologiczne), zachowanie szczególnych warunków poufności).

4.2. Miary narażenia na pole-EM

Zakres pomiarów powinien umożliwiać scharakteryzowanie pola-EM w przestrzeni pracy, uwzględniając (zgodnie z R-BHP-EM: zał. nr 3., cz. III, pkt. 4.) zróżnicowane podczas użytkowania urządzeń MT parametry pola-M, na podstawie wyników badań wykonanych z zastosowaniem metod i aparatury pomiarowej, umożliwiających:

- 1) ocenę wartości równoważnej¹⁰ natężenia pola-M w dziedzinie czasu, niezależnie od rozpoznanych charakterystyk zmienności pola-EM,
- 2) określenie przy aplikatorach MT odpowiednio dokładnie zasięgów pola-M stref ochronnych celem opracowania i wdrożenia programu stosowania środków ochronnych,
- 3) określenie przy aplikatorach MT odpowiednio dokładnie rozkładu przestrzennego miejscowych wartości natężenia

niezaburzonego pola-M w punktach pomiarowych¹¹ w celu oceny poziomu narażenia miejscowego: głowy, tułowia i kończyn oraz oceny narażeń quasi-stacjonarnych i tymczasowości narażenia na pole-EM.

Zasięgi stref ochronnych określa się w odniesieniu do limitów IPN¹² zgodnie z R-NDN-EM. W tabeli 1. przedstawiono limity IPN pola-M dotyczące zakresu częstotliwości wykorzystywanych przez urządzenia MT. W tabeli wyszczególniono częstotliwość 100 Hz, jako odniesienie do omówionej dalej metody uproszczonej.

U W A G A VI

Jeżeli ocenie podlega pole-EM podczas użytkowania urządzenia MS, dodatkowo konieczne jest przeprowadzenie w analogicznym zakresie pomiaru i oceny natężenia pola-E.

¹⁰ **Wartość równoważna (WR)** – wartość międzyszczytowa wybranego parametru charakteryzującego pole-EM, czyli różnica między maksymalną a minimalną wartością chwilową tego parametru w ciągu określonego przedziału czasu (T), podzieloną przez $2\sqrt{2}$; przy ocenie np. natężenia pola-M jest to wartość stanowiąca ok. 35% różnicy między maksymalną a minimalną wartością natężenia pola-M w czasie T. [wg R-NDN-EM; ust. 5]

¹¹ Według R-BHP-EM [zał. III, pkt. 1.2.]: **punkt pomiarowy** – punkt w przestrzeni pracy reprezentujący rozkład przestrzenny poziomu **miejscowych wartości natężenia** pola-E lub pola-M, uśrednionego w przestrzeni o kształcie sześcianu i o długości krawędzi 10 cm, której środek reprezentuje położenie referencyjnej bezkierunkowej sondy niezaburzonego pola-EM bliskiego.

¹² W ogólności, do limitów IPN określonych w R-NDN-EM i oznaczających wartości równoważne (WR) odnoszące się do przedziału czasu $T = 1/f$, zastosowano oznaczenia:

- 1) IPNog-E, IPNog-H – limity operacyjne górne, rozumiane jako poziom natężenia, odpowiednio pola-E i pola-M, określające górny limit pola-EM strefy zagrożenia,
- 2) IPNod-E, IPNod-H – limity operacyjne dolne, rozumiane jako poziom natężenia, odpowiednio pola-E i pola-M, określające dolny limit pola-EM strefy zagrożenia,
- 3) IPNp-E, IPNp-H – limity pomocnicze, rozumiane jako poziom natężenia, odpowiednio pola-E i pola-M, określające dolny limit pola-EM strefy pośredniej,
- 4) IPNk-H – limity miejscowe, rozumiane jako poziom natężenia pola-M, określający limit miejscowego narażenia kończyn.

Tabela 1.
Limity narażenia w przestrzeni pracy na pole-M o częstotliwościach wykorzystywanych przez urządzenia MT (DzU 2016, poz. 952)

Limity narażenia na pole-EM lub parametry metrologiczne aparatury pomiarowej	Wartości Interwencyjnych Poziomów Narażenia (IPN) dotyczących pola-EM o częstotliwości z zakresu (5 ÷ 1000) Hz lub zakres pracy aparatury pomiarowej Natężenie pola-M, H w A/m, przy częstotliwości:			
	(5 ÷ 50) Hz	50 Hz	(50 ÷ 1000) Hz (dotyczy metody ogólnej oceny narażenia przy urządzeniach MT)	100 Hz (dotyczy metody uproszczonej oceny narażenia przy urządzeniach MT)
Limit narażenia kończyn IPN _k -H(f)	8 000	8 000	8 000 x (50/f) (f = 1000 Hz: 400)	4 000
Strefa niebezpieczna H ≥ IPN _{og} -H(f)	H ≥ 3 200	H ≥ 3 200	3 200 x (50/f) (f = 1000 Hz: 160)	H ≥ 1 600
Strefa zagrożenia IPN _{od} -H > H ≥ IPN _{og} -H(f)	530 ≤ H < 3 200	530 ≤ H < 3 200	530 x (50/f) ≤ H < 3 200 x (50/f)	270 ≤ H < 1 600
Strefa pośrednia IPN _p -H(f) > H ≥ IPN _{od} -H(f)	60 ≤ H < 530	60 ≤ H < 530	60 x (50/f) ≤ H < 530 x (50/f)	30 ≤ H < 270
Strefa bezpieczna H < IPN _p -H(f)	H < 60	H < 60	H < 60 x (50/f) (f = 1000 Hz: 3)	H < 30
Limit bazowy IPN _{ob} -H(f)	1 600	1 600	3 200 x (50/f)	800
Minimalna czułość	---	---	3	30
Sugerowany dynamiczny zakres pomiaru	---	---	1,5 ÷ 3 200	15 ÷ 1 600

Objaśnienia:

f – częstotliwość, w Hz; IPN_k-H – limit narażenia kończyn; IPN_{og}-H – granica strefy niebezpiecznej; IPN_p-H – granica strefy pośredniej.

4.3. Zakres oceny narażenia na pole-EM

Ocena narażenia na pole-EM podczas użytkowania aplikatorów MT jest dostosowywana, zgodnie z wymaganiami określonymi w R-BHP-EM (zał. nr 3., cz. III, pkt. 3.), do wyników rozpoznania, dotyczących¹³:

- 1) charakterystyki przestrzeni pracy i urządzeń, jakie są tam eksploatowane – wg punktu 4.1.2.,
- 2) pierwotnych i wtórnych źródeł pola-EM w przestrzeni pracy, o której mowa

w punkcie 1. lub poza nią – wg punktu 4.1.1.,

- 3) zakresu użytkowania źródeł pola-EM i przestrzeni pracy, o których mowa w punkcie 1. i 2., uwzględniając w szczególności lokalizację aplikatora, nastawy parametrów generatora, czynności wykonywane w przestrzeni pracy (kiedy aplikator MT jest aktywny),
- 4) przestrzeni obsługi, określonej zgodnie z wymaganiami zawartymi w rozporządzeniu R-BHP-EM, o ile ona występuje,

¹³ W przypadku ujawnienia podczas pomiarów rozbieżności między stanem faktycznym a przekazanymi wykonawcy pomiarów udokumentowanymi wynikami rozpoznania, użytkownik powinien zostać poinformowany o nich, a charakterystyka rozbieżności i ich wpływu na reprezentatywność wyników pomiarów pola-EM powinny zostać udokumentowane w sprawozdaniu z pomiarów (np. w przypadku ujawnienia nierozpoznanych wcześniej źródeł pola-EM w przestrzeni pracy objętej pomiarami lub innego niż wcześniej rozpoznano charakteru ich zmienności w czasie).

również rodzaju wykonywanej w niej pracy (kiedy aplikator MT jest aktywny),
5) rodzaju i częstotliwości pola-EM (ze względu na pomiary pola-EM w przestrzeni pracy rozpoznanie to obejmuje częstotliwość pola-EM z rozdzielczością nie gorszą niż $\pm 10\%$ i jego modulację, z uwzględnieniem różnych trybów pracy generatora urządzenia MT).

Rozpoczynając pomiary, należy sprawdzić zależność poziomu pola-EM w otoczeniu aplikatora od trybu pracy generatora. Do pomiarów powinien być wybrany tryb pracy i nastawy generatora, przy których występuje najwyższa wartość równoważna natężenia pola-M. Wyniki sprawdzenia, o których mowa, oraz wybrane do pomiarów tryb(y) pracy i nastawy generatora zasilającego aplikator MT dokumentuje się w sprawozdaniu z badań.

Rozpoznane w przestrzeni pracy miejsca, do których podczas pomiarów dostęp jest zabroniony lub niemożliwy bez użycia sprzętu technicznego, wyłączają się z oceny narażenia na pole-EM. Zakres i uzasadnienie takich wyłączeń dokumentuje się w sprawozdaniu z badań.

U W A G A VII

Udokumentowanie rozpoznania charakterystyki ocenianego pola-EM w dziedzinie czasu (częstotliwości) metodami pomiarowymi, niezależnie od wcześniejszego rozpoznania innymi metodami jest rekomendowane przez R-BHP-EM. Jeżeli rozpoznanie nie jest jednoznaczne, to ocenę wyników pomiarów wykonuje się stosując zasadę domniemanego najgorszego przypadku, tzn. przyjmuje się domyślnie taką częstotliwość (z pasma częstotliwości pola-EM rozpoznanego w przestrzeni pracy), której odpowiadają najmniejsze limity IPN.

4.4. Uproszczona metoda pomiaru i oceny narażenia na pole-EM urządzeń MT

W przypadku oceny narażenia na pole-EM podczas użytkowania urządzeń MT rekomendowane jest wykorzystanie metody uproszczonej, polegającej na wykonaniu pomiarów pola-M przy sinusoidalnym trybie pracy generatora

i przy nastawach mocy wyjściowej wynoszącej co najmniej 90% wartości maksymalnej oraz częstotliwości emitowanego pola-EM 50 Hz (lub mniejszej, jeśli przy $f < 50$ Hz urządzenie emituje przy maksymalnych nastawach mocy wyjściowej silniejsze pole-EM niż przy $f = 50$ Hz).

Do oceny narażenia na pole-EM wykorzystuje się wyniki pomiaru wartości skutecznej (RMS) wykonane w takich warunkach, z bezpośrednim zastosowaniem wartości IPN-H określonych w R-BHP-EM dla pola-M o częstotliwości 100 Hz (tab. 1.). Natomiast do oceny pola-E przyjmuje się, że stwierdzono $E < IPNpE$.

U W A G A VIII

Pomiary wykonane w takich warunkach i ich rekomendowana metoda oceny umożliwiają poprawne rozpoznanie zagrożeń elektromagnetycznych w przestrzeni pracy (patrz: Uwaga VII) i poprawną realizację wymagań prawa pracy dotyczących stosowania koniecznych środków ochronnych. Wobec tego, ze względu na lepszą powtarzalność wyników uzyskanych metodą uproszczoną i mniejsze wymagania techniczne jej realizacji, rekomenduje się jej stosowanie podczas oceny narażenia na pole-EM popularnych w kraju urządzeń MT. Stosowanie takiej metody pomiarów należy jednoznacznie udokumentować w sprawozdaniu z badań, aby kolejna ocena mogła być wykonana w tych samych okolicznościach.

4.5. Aparatura pomiarowa

4.5.1. Aparatura pomiarowa – metoda uproszczona dotycząca pomiaru pola-EM podczas użytkowania aplikatorów MT

W przypadku stosowania metody uproszczonej pomiaru dotyczącego pola-EM podczas użytkowania aplikatorach MT, o której mowa w punkcie 4.4., aparatura pomiarowa powinna umożliwiać pomiar:

- 1) natężenia pola-M przy częstotliwości co najmniej (20 ÷ 50) Hz,
- 2) wartości skutecznej (RMS) natężenia pola-M w dziedzinie czasu (jak określono w R-NDN-EM),

- 3) w zakresie dynamiki odpowiednim do oceny poziomu ekspozycji pomijalnej, narażenia kontrolowanego i narażenia niebezpiecznego na pole-EM o częstotliwości jak określono w (1), tj. co najmniej w zakresie określonym w tabeli 1.,
- 4) rozkładu przestrzennego poziomu miejscowych wartości natężenia pola-M, tj. uśrednionych w przestrzeni o kształcie sześciangu i o długości krawędzi 10 cm, której środek reprezentuje położenie referencyjnej bezkierunkowej sondy niezaburzonego pola-EM bliskiego,
- 5) niezaburzonego pola-EM bliskiego, umożliwiając odseparowanie osób wykonujących badania na odległość co najmniej 1 metra od sondy pomiarowej,
- 6) którego wynik co najmniej w 90% jest skutkiem oddziaływania pola-EM na sondę pomiarową, tj. pomiar z sondą pomiarową o możliwych do zdefiniowania podczas pomiarów lokalizacji i wymiarach, umożliwiającą ocenę miejscowych wartości natężenia pola-M (jak określono w punkcie 4.),
- 7) przy którym pośrednie oddziaływanie pola-EM (tj. niezwiązane z jego oddziaływaniem na sondę pomiarową) ma pomijalny wpływ na wynik pomiaru, tzn. odporność elektromagnetyczna aparatury pomiarowej jest odpowiednia co najmniej na tyle, aby ograniczyć zakłócające wyniki pomiaru skutki pośredniego oddziaływania pola-EM na inne niż sonda elementy zestawu pomiarowego.

U W A G A IX

Pomiar należy wykonywać aparaturą pomiarową, wzorcowaną okresowo w zakresie odpowiednim do rozpoznanego w przestrzeni pracy pola-EM, pod względem: częstotliwości, dynamiki i modulacji pola-EM wykorzystanego podczas wzorcowania. Aparatura pomiarowa powinna również podlegać sprawdzeniom charakterystyk metrologicznych – w szczególności w zakresie odporności elektromagnetycznej, zgodnie z wymaganiami dotyczącymi jakości pomiarów, koniecznej

do realizacji wymagań R-BHP-EM (Bieńkowski i in. 2016). Ponadto, do realizacji poszczególnych badań w okresie między wzorcowniami aparatura powinna przechodzić bieżące testy sprawności przed pomiarami i po pomiarach, celem podtrzymania zaufania do statusu jej parametrów metrologicznych, np. poprzez monitorowanie wyników pomiarów w polu-EM wybranego źródła.

W przypadku stosowania metody uproszczonej pomiaru i oceny pola-EM aplikatorów MT (określonej wg punktu 4.4.) wymagania te spełnia np. następujący zakres badań miernika o udokumentowanej liniowości w polu-M sinusoidalnie zmiennym:

- charakterystyka częstotliwościowa przy częstotliwościach: 30; 50; 100 i 500 Hz
- charakterystyka dynamiczna przy częstotliwości 50 Hz, w zakresie co najmniej $(30 \div 800)$ A/m.

U W A G A X

W razie wykorzystywania do pomiarów aparatury wyposażonej w sondę pomiarową o wymiarach różnych od określonych wg punktu 4.5.1.4), konieczne jest wprowadzenie odpowiednich strategii pomiarów lub współczynników korekcyjnych dostosowanych do parametrów rozkładu przestrzennego mierzonego pola-EM, celem określenia miejscowych wartości natężenia pola-M, zgodnie ze wspomnianymi wymaganiami.

U W A G A XI

W razie stosowania aparatury pomiarowej o górnej wartości dynamicznego zakresu pomiarowego mniejszej od limitu narażenia kończyn IPNk-H, w sprawozdaniu z badań należy podać tę informację oraz wskazać, czy w przestrzeni pracy objętej badaniami stwierdzono występowanie pola-EM o poziomach przekraczających zakres pomiarowy aparatury i ich lokalizację.

4.5.2. Aparatura pomiarowa – wymagania ogólne dotyczące pomiaru pola-EM podczas użytkowania aplikatorów MT

W razie rezygnacji ze stosowania metody uproszczonej, pomiary pola-EM związane z oceną narażenia podczas użytkowania aplikatorów MT wykonuje się aparaturą pomiarową umożliwiającą spełnienie ogólnych wymagań dotyczących miar narażenia, określonych w R-BHP-EM (zał. nr 3, cz. III). Aparatura pomiarowa powinna spełniać wymagania określone w pkt. 4.5.1., a jednocześnie umożliwiać pomiar:

- 1) natężenia pola-M przy częstotliwości co najmniej (20 ÷ 1000) Hz,
- 2) wartości równoważnej natężenia pola-M w dziedzinie czasu (jak określono w R-NDN-EM),
- 3) w zakresie dynamiki odpowiednim do oceny poziomu ekspozycji pomijalnej, narażenia kontrolowanego i narażenia niebezpiecznego na pole-EM o częstotliwości jak określono w (1), tj. co najmniej w zakresie określonym w tabeli 1.

U W A G A XII

Do oceny wartości równoważnych natężenia pola-M niesinusoidalnego, konieczne jest doświadczalne wyznaczenie charakterystyki częstotliwościowej w szerszym zakresie niż wskazano w Uwadze IX oraz uzupełniających charakterystyk metrologicznych stosowanej aparatury pomiarowej, aby umożliwić podczas pomiaru pola-EM niesinusoidalnego wykorzystanie udokumentowanych współczynników korekcyjnych do wyznaczenia wartości równoważnych na podstawie pomiaru, np. wartości skutecznej. Wykorzystanie takich współczynników korekcyjnych jest możliwe pod warunkiem stosowania obiektywnych metod kontroli parametrów mierzonego pola-EM, aby udokumentować, że mierzone pole-EM odpowiada parametrom pola-EM, dla których wyznaczono te współczynniki.

U W A G A XIII

Jeżeli ocenie podlega pole-EM podczas użytkowania urządzenia MS, aparatura pomiarowa powinna umożliwiać pomiar:

- 1) natężenia pola-E i pola-M przy częstotliwości (1 ÷ 100) kHz,
- 2) w zakresie dynamiki odpowiednim do oceny poziomu ekspozycji pomijalnej, narażenia kontrolowanego i narażenia niebezpiecznego na pole-EM o częstotliwości jak określono w (1), tj. co najmniej w zakresie od najmniejszej wartości limitu IPNp określonego w R-NDN-EM (tj. ze względu na limity IPN dla pola-EM o częstotliwości 100 kHz: IPNp-E = 20 V/m; IPNp-H = 0,6 A/m) do największej wartości IPNog (tj. ze względu na limity IPN dla pola-EM o częstotliwości 1 kHz: PNog-E = 800 V/m; IPNog-H = 400 A/m).

4.6. Wykonanie pomiarów

4.6.1. Przygotowanie aparatury pomiarowej

Wykonanie pomiarów poprzedzają następujące czynności, o ile mają zastosowanie w odniesieniu do właściwości konstrukcyjnych i użytkowych stosowanej aparatury pomiarowej: zestawienie układu pomiarowego i sprawdzenie jego stanu technicznego – w szczególności stanu układu zasilania, zerowanie układu pomiarowego, ustawienie wielkości mierzonej i pomiarowego pasma częstotliwości (np. w przypadku stosowania metody uproszczonej pomiaru pola-EM aplikatorów MT – pomiar bieżącej wartości RMS w paśmie częstotliwości obejmującym co najmniej zakres (20 ÷ 50) Hz). Przygotowanie aparatury powinno również obejmować realizację bieżących testów o których mowa w uwadze IX.

4.6.2. Wyznaczenie zasięgów pola-EM stref ochronnych

Wyznaczenie zasięgów pola-EM stref ochronnych powinno obejmować zróżnicowane warunki użytkowania aplikatorów MT lub MS i przestrzeni pracy, a także złożone oddziaływanie wielu źródeł pola-EM (w szczególności gdy są aktywne równocześnie różne aplikatory MT lub MS), o ile występują, w szczególności zróżnicowane tryby pracy generatora zasilającego aplikator lub przebywania w pobliżu aktywnego aplikatora pracujących lub osób potencjalnie narażonych, zarówno w związku z użytkowaniem aplikatora, jak i wykonywania innych aktywności zawodowych.

Pomiary należy wykonać w trybie pracy urządzenia MT określonym w punkcie 4.3. lub 4.4., stosownie do wybranej metody pomiaru i oceny pola-EM.

Definicje poszczególnych stref ochronnych pola-EM (niebezpiecznej, zagrożenia i pośredniej) oraz strefy bezpiecznej, a także limity wyznaczające ich zasięgi, określono w R-NDN-EM (tabela 1.). Pole-EM stref ochronnych,

zgodnie z R-NDN-EM określone jest w danym miejscu, na podstawie maksymalnych miejscowych wartości natężenia pola-M, zmierzonych w pionach pomiarowych zlokalizowanych od podłogi pomieszczenia, w którym eksploatowany jest aplikator, do wysokości co najmniej 2 metrów oraz odpowiednich dla częstotliwości pola-EM limitów IPN.

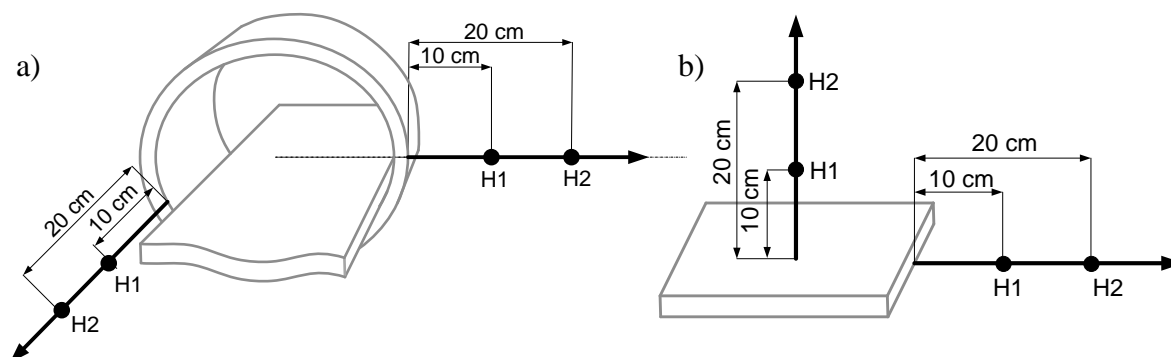
Zasięg pola-EM stref ochronnych przy aplikatorach MT wyznacza się na podstawie wyników pomiaru miejscowych wartości natężenia pola-M:

- 1) reprezentujących wartości skuteczne natężenia pola-M sinusoidalnie zmiennego, odniesionych do wartości IPN określonych dla pola-M o częstotliwości 100 Hz – w razie stosowania metody uproszczonej, określonej wg punktu 4.4.,
- 2) reprezentujących wartości równoważne

natężenia pola-M, odniesionych do limitów IPN określonych dla pola-M o rozpoznanej częstotliwości – w razie stosowania metody ogólnej, określonej wg punktu 4.5.

Do pomiaru pola-EM przy aplikatorach MT jako powierzchnię dostępu pierwotnego źródła pola-EM przyjmuje się zewnętrzną powierzchnię obudowy aplikatora, a kierunki pomiaru wartości miejscowych natężenia pola-M należy dookoła aplikatora przyjąć (rys. 1.):

- 1) przy aplikatorach szpulowych – wzdłuż promienia aplikatora (przy krawędzi obudowy) oraz prostopadle do jego promienia (wzdłuż powierzchni obudowy),
- 2) przy aplikatorach płaskich – prostopadle do płaszczyzny aplikatora i prostopadle do krawędzi aplikatora.



Rys. 1. Szkic kierunków pomiarowych rekomendowanych podczas pomiaru i oceny pola-EM przy aplikatorach MT lub MS: a) szpulowym, b) płaskim

Zgodnie z wymaganiami określonymi w R-BHP-EM, pomiary należy rozpocząć od określenia poziomu pola-EM przy powierzchni dostępu (tj. powierzchni obudowy aplikatora MT), pod warunkiem, że poziom pola-EM przy tej powierzchni nie przekracza wartości IPNog (górnej granicy strefy zagrożenia) lub w silniejszym polu górnej granicy dynamicznego

zakresu pomiarowego stosowanej aparatury:

- 1) za wartość natężenia pola-M bezpośrednio przy obudowie aplikatora należy przyjąć wartość: $H = 3H1 - 2H2$, wyznaczoną na podstawie miejscowych wartości $H1$ i $H2$, określonych przy odległości środka referencyjnej sondy od obiektu odpowiednio: 10 i 20 cm,

2) jeżeli przy powierzchni obudowy aplikatora poziom pola-EM przekracza granicę strefy niebezpiecznej, tzn. $H > IPN_{og-H}$, to w razie braku możliwości technicznych można ograniczyć pomiary do przestrzeni pola-EM strefy zagrożenia i pośredniej. Takie ograniczenie zakresu pomiarów oraz jego uzasadnienie dokumentuje się w sprawozdaniu z pomiarów.

Jeżeli wyniki pomiarów pola-EM przy powierzchni dostępu aplikatora MT wykazują symetrię rozkładu wartości jego natężenia, można odpowiednio ograniczyć pomiary w odległościach większych od 10 cm do reprezentatywnych kierunków.

Za zasięgi odpowiednich stref ochronnych (strefy pośredniej, zagrożenia lub niebezpiecznej) należy przyjmować odległości miejscowych wartości natężenia pola-M od powierzchni obudowy aplikatora, w których wyniki pomiarów w pionach pomiarowych odpowiadają odpowiednim limitom IPN pola-M.

Zasięgi pola-EM stref ochronnych należy wyznaczyć tak, aby zlokalizowanie przestrzeni pracy w poszczególnych strefach było możliwe z rozdzielczością przestrzenną nie gorszą niż $\pm 0,5$ m. W przypadku pomiarów przy aplikatorze MT należy wykonać pomiary wzdłuż wspomnianych reprezentatywnych kierunków pomiarowych w odległościach 10 i 20 cm od obudowy aplikatora (celem określenia poziomu pola-M przy obudowie aplikatora). W razie stwierdzenia na podstawie tych pomiarów pola-

-EM stref ochronnych, kolejne punkty pomiarowe należy wybrać w odległości co 50 cm od obudowy aplikatora lub w odległości mniejszej, odpowiadającej zasięgowi pola-EM strefy ochronnej – aż do rozpoznania odległości, w jakiej występuje pole-EM strefy bezpiecznej.

U W A G A XIV

Jeżeli ocenie podlega pole-EM podczas użytkowania urządzenia MS, to wyznaczanie zasięgów stref ochronnych obejmuje również pomiary pola-E, przeprowadzone analogicznie do omówionych pomiarów pola-M. Za zasięg poszczególnych stref ochronnych należy przyjąć większy z rozpoznanych zasięgów pola-M i pola-E.

4.6.3. Pomiar pola-EM w przestrzeni obsługi zlokalizowanej w strefie zagrożenia¹⁴

Po wyznaczeniu zasięgów pola-EM stref ochronnych w otoczeniu aplikatora MT należy określić, w jakiej strefie znajduje się przestrzeń obsługi.

W przypadku występowania strefy zagrożenia w przestrzeni obsługi w otoczeniu aplikatora MT, należy rozpoznać w niej rozkład przestrzenny narażenia miejscowego¹⁵ na niejednorodne pole-EM (w szczególności narażenia: kończyn, głowy lub tułowia), tj. rozkład przestrzenny miejscowych wartości natężenia pola-M, z rozdzielczością nie gorszą niż około ± 20 cm. Oznacza to wykonanie pomiarów wzdłuż wspomnianych reprezentatywnych kierunków pomiarowych (określonych wg punktu 4.5.2.), w odległościach kolejno: 40; 60 cm i dalszych.

Ze względu na możliwość użytkowania aplikatorów MT w różnych położeniach,

¹⁴ Podczas realizacji wymagań prawa pracy zależnych od „lokalizacji miejsca pracy w przestrzeni pracy pola-EM odpowiednich stref ochronnych”, zgodnie z wymaganiami określonymi w R-BHP-EM, jako poziom narażenia w miejscu pracy należy przyjąć maksymalne miejscowe wartości natężenia pola-E i natężenia pola-M w pionie pomiarowym odpowiadającym położeniu osi głównej ciała.

¹⁵ Oddziaływanie pola-EM stref ochronnych określono jako **narażenie ogólne**, jeśli maksymalne miejscowe natężenie pola-M lub natężenie pola-E oddziałującego na głowę lub tułów przekracza wartości odpowiedniego limitu IPN_{p-E} lub IPN_{p-H}. Natomiast **narażeniem miejscowym** określono oddziaływanie niejednorodnego pola-EM, podczas którego maksymalne miejscowe natężenie pola-M lub pola-E oddziałującego miejscowo, w szczególności na: kończyny, głowę lub tułów, przekracza wartości odpowiedniego limitu IPN_{p-E} lub IPN_{p-H}. [wg R-BHP-EM]

a także biorąc pod uwagę dane antropometryczne populacji Polaków, za typowe odległości od aplikatorów, dla których należy określić natężenia pola-M odpowiadające maksymalnemu narażeniu miejscowemu różnych części ciała, należy przyjąć (o ile nie wprowadzono rozwiązań ograniczających możliwość zbliżania się do aplikatorów):

- a) narażenie kończyn – natężenia pola bezpośrednio przy obudowie aplikatora,
- b) narażenie głowy:
 - dla osoby pochylającej się przy aktywnym aplikatorze ustawionym na stole lub leżance – natężenie pola w odległości 10 cm od obudowy aplikatora
 - dla osoby stojącej w pozycji wyprostowanej przy aplikatorze – natężenie pola w odległości: 10 cm od obudowy aplikatora zamontowanego na stojaku i przesuwanego w pionie; 60 cm od obudowy aplikatora ustawionego na stole; 80 cm od obudowy aplikatora ustawionego na leżance; 140 cm od obudowy aplikatora ustawionego na podłodze,
- c) narażenie tułowia:
 - osoby pochylającej się nad aktywnym aplikatorem ustawionym na stole lub leżance – natężenie pola w odległości 40 cm od obudowy aplikatora
 - osoby stojącej w pozycji wyprostowanej przy aplikatorze – natężenie pola bezpośrednio przy obudowie aplikatora ustawionego na stole lub leżance lub zamontowanego na stojaku i przesuwanego w pionie; 80 cm od obudowy aplikatora ustawionego na podłodze.

U W A G A XV

Jeżeli ocenie podlega pole-EM podczas użytkowania urządzenia MS to wyznaczanie zasięgów stref ochronnych oraz rozkładu narażenia w przestrzeni obsługi obejmuje również pomiary pola-E, przeprowadzone analogicznie do omówionych pomiarów pola-M.

4.7. Niepewność pomiarów

Do wykazania wymaganej przy realizacji wymagań R-BHP-EM dokładności pomiarów pola-EM¹⁶ w przestrzeni pracy konieczne jest przeprowadzenie analizy niepewności dla wykorzystywanej metody i wyposażenia pomiarowego, uwzględniającej m.in. charakterystyki metrologiczne aparatury pomiarowej (częstotliwościowe i dynamiczne oraz odporność elektromagnetyczną) oraz ograniczenia wynikające z różnic parametrów aparatury w stosunku do wymagań prawa pracy dotyczących ocenianych parametrów pola-EM w dziedzinie: częstotliwości, czasu i przestrzeni (takich jak: wielkość sondy pomiarowej w stosunku do określonych w R-BHP-EM wymiarów sondy referencyjnej i jej rzeczywistą izotropowość lub czułość miernika na inny parametr przebiegu niesinusoidalnego niż wartość równoważna), powtarzalność lokalizacji punktów pomiarowych, niepewność wzorcowania miernika. Potencjał techniczny i umiejętności konieczne do realizacji pomiarów w granicach niepewności wyznaczonej na podstawie wspomnianej analizy czynników wpływających (odzwierciedlonej w budżecie niepewności tych pomiarów) powinny zostać potwierdzone przez wyniki udziału w odpowiednich badaniach biegłości (PT). Uwzględniając stosunkowo małą precyzję pomiaru pola-EM, do oceny narażenia w przestrzeni pracy jest rekomendowane uczestniczenie w tym celu w ogólnie dostępnych badaniach biegłości, realizowanych zgodnie z wymaganiami określonymi

¹⁶ R-BHP-EM (zał. 3., cz. 1.): ze względu na powiązanie środków ochronnych z rozpoznaniem zasięgami pola-EM stref ochronnych za wartość miejscowego natężenia pola-E i pola-M przyjmuje się wynik jego oceny (bez jego niepewności), pod warunkiem zastosowania procedur oceny, dla których naukowo sprawdzono i zwalidowano doświadczalnie oraz udokumentowano niepewność standardową wyników nie gorszą od $\pm 30\%$.

w normie ISO/IEC 17043, dla których wartość przypisana jest wyznaczana przez odpowiednie badania z udziałem ekspertów, niezależnie od wyników uzyskiwanych przez indywidualnych uczestników badań, a wyniki oceniane zgodnie z zaleceniami normy ISO 13528:2015 z wykorzystaniem miar *z-score* lub *zeta-score*.

5. Dokumentowanie wyników Pomiarów

5.1. Zapisy z badań

Zapisy dokumentujące pomiary pola-EM w przestrzeni pracy należy sporządzać w taki sposób, aby umożliwiały powtórzenie badania w warunkach, w jakich zrealizowano je pierwotnie na potrzeby oceny: zastosowanych środków ochronnych, aktualności rozpoznania źródeł pola-EM w przestrzeni pracy i aktualności wyników oceny narażenia oraz rozpoznania czynników wpływających na niepewność tej oceny narażenia.

W zapisach należy dokumentować miejscowe wartości natężenia pola-M i natężenia pola-E (na podstawie wykonanego pomiaru lub przeprowadzonego rozpoznania, że $E < \text{IPNp-E}$ lub $H < \text{IPNp-H}$), powiązane jednoznacznie z ich lokalizacją oraz warunkami użytkowania aplikatorów MT lub MS (obejmującymi, co najmniej: lokalizację aplikatora, tryb pracy i nastawy generatora zasilającego). Lokalizację ponumerowanych punktów pomiarowych dokumentuje się, np. przez opis w tabeli z wynikami pomiarów identyfikujący kierunki pomiarowe i odległości od obudowy aplikatora lub na szkicu (bądź fotografii) z opisem odległości lub skalowaną siatką współrzędnych ortogonalnych.

5.2. Sprawozdanie z pomiarów

Wyniki pomiarów pola-EM przy aplikatorze MT lub MS dokumentuje się w postaci sprawozdania, które powinno zawierać co najmniej:

- 1) identyfikację metody przeprowadzonego pomiaru,
- 2) charakterystykę przestrzeni pracy i przestrzeni obsługi, których dotyczy badanie i warunki użytkowania urządzeń, którym odpowiadają charakterystyki pola-EM – w szczególności przez określenie trybu pracy i nastaw generatora zasilającego oraz konfiguracji aplikatora (obejmujące zróżnicowane podczas użytkowania miejsca ustawienia aplikatora i jego położenia względem podłoża, jakie rozpoznano),
- 3) zestawienie rozpoznanych zasięgów pola-EM stref ochronnych powiązane z warunkami użytkowania aplikatora, np. w zestawieniu tabelarycznym lub opisowym – w odniesieniu do zasięgów stref wyznaczonych w stosunku do zewnętrznej powierzchni obudowy aplikatora (ze względu na możliwość zmiany jego położenia),
- 4) zestawienie wyników pomiarów (lub rozpoznania) obejmujące:
 - miejscowe wartości natężenia pola-M i natężenia pola-E w przestrzeni pola-EM stref ochronnych (bądź określenia, że: $E < \text{IPNp-E}$ lub $H < \text{IPNp-H}$)
 - wyniki powiązane jednoznacznie z lokalizacją punktów pomiarowych w przestrzeni obsługi i przestrzeni pracy, w odniesieniu do zewnętrznej powierzchni obudowy aplikatora (ze względu na możliwość zmiany jego położenia)
 - wyniki zaprezentowane w zestawieniach tabelarycznych lub opisowych, takich jak: szkice lub fotografie z naniesionymi danymi charakteryzującymi lokalizację punktów pomiarowych (np. ponumerowane punkty, wymiary prezentowanej przestrzeni, opis odległości, skalowana siatka

- współrzędnych ortogonalnych)
- wyniki podane z odpowiednią do zastosowanej metody badań precyzją, co najwyżej 2 miejsc znaczących, bez zakresu ich niepewności,
- 5) ograniczenia dotyczące reprezentatywności wyników pomiarów prezentowanych w sprawozdaniu, wynikające w szczególności z: niepełnego rozpoznania źródeł pola-EM w przestrzeni
- pracy i parametrów tego pola-EM, zróznicowanego zakresu użytkowania, właściwości metrologicznych użytej aparatury pomiarowej, rozbieżności wcześniejszego rozpoznania i rozpoznania podczas pomiarów,
- 6) identyfikację wykorzystanego wyposażenia pomiarowego i aktualnego statusu jego kontroli metrologicznej, wykonawcę pomiarów i datę wykonania pomiarów.