

Narażenie na pole elektromagnetyczne w przestrzeni pracy podczas użytkowania urządzeń nadawczych systemów radiokomunikacyjnych. Metoda pomiaru pola elektromagnetycznego *in situ* – wymagania szczegółowe¹

Exposure to the electromagnetic field in the work space during the use of transmitting devices of radiocommunication systems. The method of *in situ* measurements of the electromagnetic field – specific requirements

dr hab. inż. PAWEŁ BIEŃKOWSKI ^{a)}

e-mail: pawel.bienkowski@pwr.edu.pl

dr HALINA ANIOŁCZYK ^{b)}

e-mail: h_aniol@imp.lodz.pl

dr inż. JOLANTA KARPOWICZ ^{c)}

e-mail: jokar@ciop.pl

dr inż. JAROSŁAW KIELISZEK ^{d)}

e-mail: jkieliszek@wihe.waw.pl

^{a)} Politechnika Wrocławska

50-370 Wrocław, Wybrzeże Wyspiańskiego 27

^{b)} Instytut Medycyny Pracy im. prof. dr. med. Jerzego Nofera

91-348 Łódź, ul. św. Teresy od Dzieciątka Jezus 8

^{c)} Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

00-701 Warszawa, ul. Czerniakowska 16

^{d)} Wojskowy Instytut Higieny i Epidemiologii

01-163 Warszawa, ul. Kozielska 4

Słowa kluczowe: radiokomunikacja, urządzenia nadawcze, anteny, pole elektromagnetyczne, pomiary, metoda rekomendowana, środowisko pracy, bezpieczeństwo i higiena pracy.

Keywords: radiocommunication, transmitting devices, antennas, electromagnetic field, measurements, recommended method, work environment, occupational safety and health.

¹ Publikacja opracowana w ramach realizacji III etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” (2014-2016), ustanowionego uchwałą nr 126/2013 Rady Ministrów z dnia 16.07.2013 r., w zakresie zadań służb państwowych ze środków będących w dyspozycji ministra właściwego do spraw pracy (zadanie 2.Z.30, realizowane w CIOP-PIB), 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.
Koordynator programu wieloletniego: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

* Terminologia i sposób zapisu przyjęty przez autorów artykułu.

Streszczenie

W prawie pracy określono obowiązek rozpoznania i oceny zagrożeń elektromagnetycznych w otoczeniu urządzeń i systemów radiokomunikacyjnych będących źródłami pola elektromagnetycznego (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 elektromagnetyczne, wśród typowych źródeł tego pola wymieniono „nadawcze systemy tele- i radiokomunikacyjne” oraz „stacje bazowe systemów telefonii komórkowej” (DzU 2016, poz. 950, zm. poz. 2284; zał. 1., poz. 4. i 5.). Do urządzeń radiokomunikacyjnych zalicza się również „telefony komórkowe, bezprzewodowe i urządzenia bezprzewodowe krótkiego zasięgu” (DzU 2016, poz. 950, zm. poz. 2284; zał. 1., poz. 3.), które jako sprzęt powszechnego użytku, niewymagający pozwolenia radiokomunikacyjnego, nie są przedmiotem niniejszego artykułu.

Urządzenia i systemy radiokomunikacyjne stanowią obecnie jedno z najliczniejszych źródeł pola-EM, a podczas emisji w otoczeniu anten i niektórych innych elementów systemu występuje pole-EM stref ochronnych. Systemy radiokomunikacyjne są najczęściej bezobsługowe, jednak wymagają okresowych kontroli, regulacji i konserwacji, a tym samym w ich otoczeniu można wyróżnić przestrzeń pracy. Warunki narażenia pracujących na pole-EM podczas użytkowania systemów radiokomunikacyjnych wymagają okresowej kontroli, wykonanej zgodnie z rekomendowanymi i zwalidowanymi metodami, celem rozpoznania zagrożeń elektromagnetycznych i podjęcia odpowiednich środków ochronnych (DzU 2011, poz. 166; 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 w niniejszym artykule pracy było opracowanie metody rekomendowanej do pomiaru parametrów pola-EM *in situ* w przestrzeni pracy, podczas użytkowania urządzeń radiokomunikacyjnych.

Rekomendowana metoda pomiarów została opracowana na podstawie szczegółowego rozpoznania charakterystyki narażenia na pole-EM w otoczeniu typowych urządzeń i systemów radiokomunikacyjnych eksploatowanych w Polsce: w otoczeniu systemów antenowych oraz nadajników stacji bazowych telefonii komórkowej, nadajników radiowych i telewizyjnych małych mocy oraz radiowo-telewizyjnych centrów nadawczych (RTCN). W pracy opierano się na pomiarach własnych autorów oraz opracowaniach literaturowych i protokołach z pomiarów kontrolnych pola-EM.

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań stwierdzono, że oprócz pierwotnych źródeł pola-EM w postaci anten (w niektórych przypadkach również nadajników oraz elementów toru antenowego), w przestrzeni pracy w ich otoczeniu występują również wtórne źródła pola-EM: metalowe konstrukcje (drabiny, barierki, ogrodzenia, elementy nośne anten, rynnny, zwody uziomów) oraz anteny odbiorcze lub nadawcze wyłączone z nadawania, ale będące w obszarze oddziaływania pola-EM anten nadawczych. W artykule przedstawiono opracowaną metodę pomiarów pola-EM w przestrzeni pracy w otoczeniu stacjonarnych, wymagających pozwoleń radiowych, nadawczych urządzeń i systemów radiokomunikacyjnych oraz omówiono najistotniejsze przyczyny niepewności wyników pomiaru pola-EM przy omawianych urządzeniach.

Summary

Labour law sets out the obligation to identify and evaluate electromagnetic hazards in the vicinity of radiocommunication equipment and installations emitting an electromagnetic field (EM-field). Following the regulation of the Ministry of Labour, which established provisions regarding health and safety regarding the EM-field, the "broadcasting tele- and radiocommunication systems" and "mobile phone base stations" have been mentioned among the typical sources of an EM-field (Regulation..., OJ 2016 item 950, amended by item 2284, Annex 1, items 4 and 5). Radiocommunication devices also include "mobile and cordless phones and wireless short distance devices (Regulation..., OJ 2016 item 950, amended by item 2284, Annex 1, item 3), which are devices in common use that do not require a radiocommunication permit, and so are not the subject of this article.

Today, radiocommunication devices and systems are among the most common sources of the EM-

-field, and while emissions the EM-field of protective zones exists in the vicinity of antennas and some other elements of such systems. The radiocommunication systems are usually operation-free, though they require adjusting and maintenance so workspaces may be identified in their vicinity. The conditions of the workers' exposure to the EM-field while using radiocommunication systems must undergo periodic inspections made according to the recommended and validated methods, in order to identify electromagnetic hazards and to take appropriate protective measures (Regulation..., Journal of Laws 2011, item 166; Regulation..., OJ 2016 item 950, amended by item 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 work presented in this article was to develop a recommended method for measuring the parameters of the EM-field *in situ* in the workspace, while using radiocommunication devices.

The recommended measurement method is based on a detailed investigation of the characteristics of exposure to the EM-field surrounding typical radio-communication devices and systems operated in Poland in the vicinity of systems of antennas and transmitters of mobile phone base stations, broadcasting transmitters of radio and low power television and radio-television broadcasting centres. The work is based on the own results of measurements, as well as published literature and reports from inspection measurements of the EM-field.

Based on the results of the study, it was shown that, besides the antennas, which create primary sources of EM-field (in some cases also transmitters and

elements of the antenna feeder), in the workspace in their vicinity there are also secondary sources of EM-field: metal structures (ladders, handrails, fences, antennas supports, pipes and groundings) and receiving or inactivated transmitting antennas exposed to the EM-field from active transmitting antennas. In the article, the worked out method is shown for measuring the EM-field in the work space in the vicinity of stationary transmitting radio-communication devices and systems, requiring a radiocommunication permit. The most important sources of uncertainty concerning EM-field measurements near these devices 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 odczuwaniem prądów kontaktowych podczas dotykania obiektów, na które oddziałuje pole-EM (Bieńkowski i in. 2016; Gryz, Karpowicz 2008). Wskutek oddziaływania pola-EM wysokich częstotliwości i mikrofal absorpcja energii elektromagnetycznej może skutkować wzrostem temperatury ciała lub lokalnym przegrzaniem. Do ochrony pracujących przed takimi zagrożeniami, w rozporządzeniu Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 27 czerwca 2016 r. 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.

Pomiary parametrów pola-EM związanych 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, oraz do planowania środków ochronnych dotyczących pracujących w polu-EM stref ochronnych
- odtwarzalnością wyników pomiarów, aby umożliwić monitorowanie skuteczności stosowania środków ochronnych
- odtwarzalnością wyników pomiarów realizowanych przez różne podmioty, aby umożliwić jednolitą w całym kraju realizację wspomnianych wymagań dotyczących ochrony pracujących.

Reprezentatywność, powtarzalność i odtwarzalność rozpoznania i oceny parametrów narażenia na pole-EM w przestrzeni pracy uzyskuje się dzięki dostosowaniu metod pomiaru do przestrzennych oraz częstotliwościowych parametrów pola-EM w otoczeniu jego różnych źródeł.

Warunki narażenia pracujących w pobliżu aktywnych źródeł pola-EM podczas ich użytkowania wymagają okresowych pomiarów, wykonanych „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 tych pomiarów jest rozpoznanie zagrożeń elektromagnetycznych i podjęcie 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. poz. 2284). Metody pomiarów pola-EM, w zakresie koniecznym do realizacji wspomnianych wymagań, nie są obecnie znormalizowane (pomimo że poprzednie rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych natężeń pola elektrycznego i magnetycznego wymagało wykorzystania znormalizowanej terminologii i zasad oceny ekspozycji w środowisku pracy). Dlatego w R-BHP-EM (zał. 3., cz. III) określono obowiązek wykorzystania (przez użytkowników) do oceny pola-EM rozpoznanego w przestrzeni pracy: „wyników 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 (DzU 2011, poz. 166)”.

Niniejszy artykuł należy do cyklu publikacji omawiających metody rekomendowane do pomiaru parametrów pola-EM *in situ*² w przestrzeni pracy, opracowane do realizacji omówionych wcześniej wymagań. Zaprezentowano w nim specyfikę oceny narażenia na pole-EM podczas użytkowania urządzeń i systemów radiokomunikacyjnych, które zostały wymienione wśród typowych źródeł pola-EM (R-BHP-EM, zał. 1., poz. 4. i 5.). 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 szczegółowa, w zakresie rekomendowanej metodyki ogólnej – opracowanej ze względu na wymagania wspomnianych rozporządzeń do oceny narażenia, uwzględniającej zróżnicowane parametry pola-EM emitowanego przez różnego typu źródła i zróżnicowane warunki ich użytkowania (Karpowicz i in. 2017).

Wprowadzie R-NDN-EM określa jednolicie limity narażenia na pole-EM o częstotliwości z pasma od 10 MHz ÷ 300 GHz, jednak ze względu na zakres częstotliwości pracy urządzeń radiokomunikacyjnych użytkowanych obecnie w Polsce, podczas opracowania niniejszego artykułu autorzy dysponowali danymi dotyczącymi charakterystyki narażenia na pole-EM w otoczeniu urządzeń radionadawczych oraz praktycznych problemów podczas realizacji pomiarów takiego pola-EM o częstotliwościach do ok. 90 GHz.

² Pomiary *in situ* – oznaczają pomiary wykonane „na miejscu” w przestrzeni pracy, np. tam, gdzie są użytkowane urządzenia radiokomunikacyjne.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ DOŚWIADCZALNYCH

Urządzenia nadawcze systemów radiokomunikacyjnych to głównie nadajniki i anteny stacji radiowych i telewizyjnych średniej lub dużej mocy oraz stacje bazowe systemów radiokomunikacji ruchomej (publiczna telefonia komórkowa i systemy niepubliczne) mniejszej mocy, ale bardzo liczne (Aniolczyk i in. 2015; 2016; Różycki 2011; 2015). W radiodyfuzji dominują stacje radiofoniczne UKF FM (UKF FM – *radiofonia analogowa w zakresie fal ultrakrótkich*), których liczba wynosiła w 2016 r. około 1000 i kilkadziesiąt w systemie cyfrowym DAB+ (liczba nadajników cyfrowych stale się zwiększa w związku ze stopniową cyfryzacją usług radiofonicznych) oraz stacje telewizyjne, których liczba w systemie cyfrowym DVBT wynosi 313 (Aniolczyk i in. 2015). Liczba stacji bazowych telefonii komórkowej GSM900, GSM1800 (GSM – *Global System for Mobile Communications*) i UMTS900 oraz UMTS2100 (UMTS – *Universal Mobile Telecommunications System*) wynosi ponad 109 tys. (Różycki 2015).

Badania pola-EM wykonano w otoczeniu reprezentatywnych urządzeń radiokomunikacyjnych, w tym stacji bazowych telefonii komórkowej oraz RTCN. Przeanalizowano również wyniki pomiarów pola-EM w otoczeniu ponad 320 nadajników i anten w obiektach radiokomunikacyjnych (obejmujących nadajniki i anteny stacji radiowych, telewizyjnych i linii radiowych) oraz kilkuset nadajników i anten stacji bazowych telefonii komórkowej (Aniolczyk i in. 2015; 2016).

Przeanalizowano pomiary rozkładu przestrzennego niezaburzonego pola-EM w radiodyfuzji, gdzie analizą szczegółową objęto 195 nadajników z 50 stacji nadawczych (30 stacji radiowych z zakresu UKF FM, wytwarzających pole-EM o częstotliwości z zakresu $(87,5 \div 108)$ MHz oraz 20 stacji telewizyjnych pracujących w różnych kanałach telewizyjnych o częstotliwości z zakresu $(470 \div 862)$ MHz). Najwyższe zmierzone wartości natężenia pola elektrycznego (pola-E) w przestrzeni obsługi 32 nadajników radiowych UKF FM, o mocy wyjściowej od 50 W

do 10 kW, wynosiły $(3,4 \div 38)$ V/m (mediana 5,8 V/m) w bezpośrednim otoczeniu urządzeń, a $(0,4 \div 9,6)$ V/m (mediana 3 V/m) w przestrzeni pracy poza przestrzenią obsługi. Najwyższe zmierzone wartości natężenia pola-E w przestrzeni obsługi 8 radiowych anten nadawczych UKF FM zainstalowanych na masztach posadowionych na dachach budynków wynosiły $(2,5 \div 83,0)$ V/m (mediana 5,8 V/m) w miejscu wykonywania prac konserwacyjnych, dostępnych z poziomu zadania budynku, nadbudówek czy podestów pod masztami (z wyjątkiem prac wykonywanych w bezpośrednim otoczeniu anten, na wysokości ich zainstalowania). Najwyższe zmierzone wartości natężenia pola-E w przestrzeni obsługi 38 nadajników telewizyjnych wynosiły $(1,9 \div 29,8)$ V/m (mediana 11,3 V/m) w bezpośrednim otoczeniu urządzeń, a $(2,1 \div 16,7)$ V/m (mediana 5 V/m) w przestrzeni pracy poza przestrzenią obsługi. Przeanalizowano także wyniki pomiarów dla 125 układów nadawczych zainstalowanych w 18 obiektach linii radiowych. Najwyższe zmierzone wartości natężenia pola-E w obszarze obsługi 125 nadajników/anten linii radiowych wynosiły $(3,8 \div 9,3)$ V/m (mediana 5,2 V/m), (tylko dla 8,3% analizowanych urządzeń, w pozostałych przypadkach w przestrzeni obsługi nie stwierdzano występowania pola-E o natężeniach przekraczających czułość mierników). W dostępnym obszarze obsługi 5 anten nadawczych ww. linii radiowych zmierzone wartości wynosiły $(6,1 \div 44,7)$ V/m (mediana 10,6 V/m). Analizą szczegółową objęto 20 obiektów stacji bazowych telefonii komórkowej (BTS), w których anteny były zainstalowane na masztach wsporczych posadowionych na dachach budynków. Anteny sektorowe BTS pracowały w zakresach częstotliwości z pasma 900 i 1800 MHz. Najwyższe zmierzone wartości natężenia pola-E w przestrzeni obsługi, dostępnej z poziomu dachu budynków, w otoczeniu ponad 60 anten sektorowych wynosiły $(1,1 \div 12,3)$ V/m (mediana 6,8 V/m).

MIARY NARAŻENIA NA POLE-EM NADAWCZYCH URZĄDZEŃ RADIOKOMUNIKACYJNYCH

Miarą poziomu oddziaływania pola-EM w przestrzeni pracy są:

- natężenia pola elektrycznego (pola-E) oznaczane symbolem E i wyrażane w woltach na metr (V/m)
- natężenie pola magnetycznego (pola-M) oznaczane symbolem H i wyrażane w amperach na metr (A/m).

Urządzenia radiokomunikacyjne wykorzystują pole-EM z różnych pasm częstotliwości, klasyfikowanych przez R-BHP-EM jako pole-EM wielkiej częstotliwości (PWCZ) lub promieniowanie mikrofalowe (PMF).

Do oceny narażenia na pole-EM wokół nadawczych urządzeń radiokomunikacyjnych 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 wyznaczające limity narażenia głowy i tułowia, tj. granicę strefy niebezpiecznej (IPNog), a także limit narażenia

pracowników niezwiązanych z użytkowaniem urządzeń wytwarzających pole-EM, tj. granicę strefy pośredniej (IPNp) dla pola-EM o częstotliwości z zakresu 10 MHz ÷ 300 GHz, który obejmuje większość użytkowanych obecnie urządzeń radiokomunikacyjnych.

Wartości IPNp wyznaczają również zasięg pola-EM stref ochronnych, czyli narażenia kontrolowanego. Narażenie kontrolowane pracującego lub osoby potencjalnie narażonej³ jest zgodne z wymaganiami określonymi w prawie pracy, jeśli: w wyniku badań lekarskich potwierdzono brak przeciwwskazań zdrowotnych do jego przebywania w polu-EM, a także został on przeszkolony na temat zagrożeń elektromagnetycznych i środków ochronnych podejmowanych z powodu takich zagrożeń, a poziom jego narażenia jest okresowo oceniany oraz zasięgi stref ochronnych zostały wyznaczone i oznakowane.

Tabela 1.

Limity narażenia w przestrzeni pracy na pole-M⁴ o częstotliwościach wykorzystywanych przez urządzenia radiokomunikacyjne (DzU 2016, poz. 952)

Limity narażenia	Natężenie pola-M o częstotliwości 10 MHz ÷ 300 GHz H w A/m
IPNog-H	0,320
IPNob-H	0,160
IPNod-H	0,053
IPNp-H	0,020

Objaśnienia:

IPNog-H – granica strefy niebezpiecznej; IPNod-H – granica strefy zagrożenia; IPNp-H – granica strefy pośredniej; IPNob-H – limit operacyjny bazowy.

³ 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.

⁴ Według R-BHP-EM: w zakresie częstotliwości powyżej 800 MHz natężenie pola-M wyznacza się na podstawie pomiaru pola-E i przeliczenia: $H [A/m] = E [V/m]/377 [\Omega]$

Tabela 2.

Limity narażenia w przestrzeni pracy na pole-E o częstotliwościach wykorzystywanych przez urządzenia radiokomunikacyjne (DzU 2016, poz. 952)

Limity narażenia	Natężenie pola-E o częstotliwości 10 MHz ÷ 300 GHz	
	E w V/m	
IPNog-E	240	
IPNob-E	60	
IPNod-E	20	
IPNp-E	7	

Objaśnienia:

IPNog-E – granica strefy niebezpiecznej; IPNod-E – granica strefy zagrożenia, IPNp-E – granica strefy pośredniej, IPNob-E – limit operacyjny bazowy.

Należy zwrócić uwagę, że wartości IPN określono do oceny wartości równoważnych (WR)⁵ natężenia pola-E lub pola-M, a pomiary są zwykle wykonywane miernikami wartości skutecznej (RMS). Wynik pomiaru typowym szerokopasmowym miernikiem wartości RMS natężenia pola-M lub pola-E (H_{RMS} lub E_{RMS}) zazwyczaj odbiega od wartości równoważnej dla pola-EM systemów radiokomunikacyjnych, w których stosuje się technikę TDMA (*Time Domain*

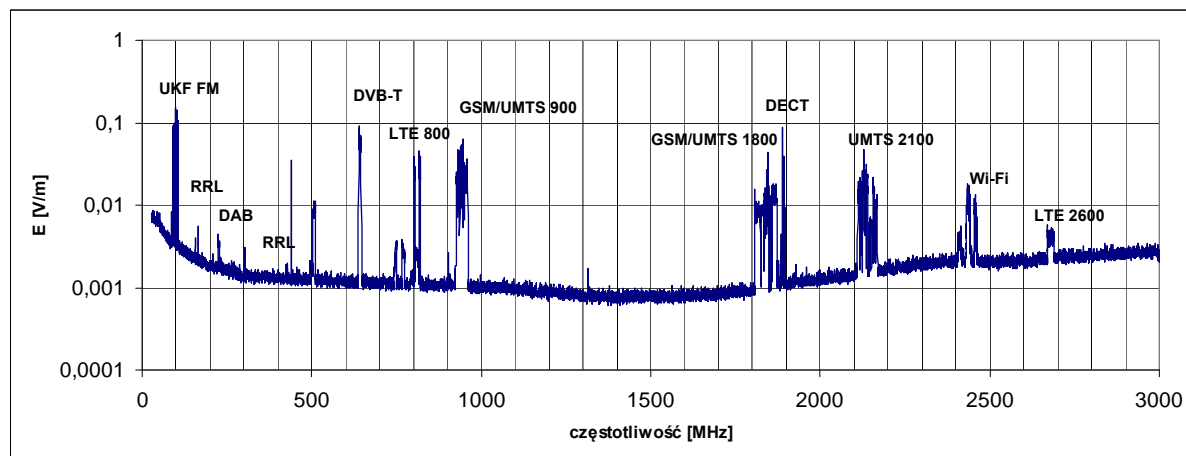
Multiple Access) i których emisja ma formę paczek impulsów radiowych. Wynik takiego pomiaru może być zarówno zaniżony, jak i zawyżony, w zależności od typu, a nawet indywidualnego egzemplarza użytego miernika. W przypadku tego typu systemów należy oszacować takie rozbieżności jako składnik niepewności pomiarów (Bieńkowski i in. 2016) w określonych warunkach.

TYPOWE SYSTEMY RADIOKOMUNIKACYJNE

W skład systemu radiokomunikacyjnego wchodzi zawsze segment nadawczy i odbiorczy. W systemach radiodifuzyjnych (radiofonia, telewizja) występuje komunikacja jednokierunkowa – od jednego nadajnika do wielu odbiorników. W systemach porozumiewawczych (w tym transmisji danych) komunikacja jest dwukierunkowa i segmenty nadawcze są zblokowane z segmentami odbiorczymi. Łączność w tych systemach odbywa się zwykle w układzie punkt-punkt. Łączność taka może być bezpośrednia (sygnał radiowy jest przesyłany wprost z nadajnika nadawcy do odbiornika odbiorcy i vice versa) lub pośrednia – z wykorzystaniem urządzeń pośredniczących (np. system trunkingowy czy telefonia komórkowa), kiedy sygnał z nadajnika nadawcy jest przesyłany

do stacji pośredniej, np. stacji bazowej, przemiennikowej czy przełącznikowej, i dalej wewnątrz systemu do stacji nadawczej, z której dociera do odbiorcy. Systemy radiokomunikacyjne mogą mieć różne zastosowania, ale dla ich kompatybilnego działania każdy system ma przydzielone zakresy częstotliwości wykorzystywanego pola-EM. Uregulowania takie w skali globalnej są określane przez ITU (*International Telecommunication Union*), a w skali kraju określone w Krajowej Tablicy Przeznaczeń Częstotliwości (DzU 2014, poz. 161). Na rysunku 1. pokazano widmo częstotliwości pola-EM z zakresu (30 ÷ 3000) MHz, z oznaczeniem pasm użytkowanych przez poszczególne systemy.

⁵ Według R-NDN-EM; ust. 5: wartość równoważna (WR) – wartość wynosząca około 35% różnicy między maksymalną a minimalną wartością chwilową wybranego parametru charakteryzującego pole-EM w ciągu określonego przedziału czasu, T .



Rys. 1. Przykładowe widmo częstotliwości pola-EM, wykorzystywanego przez systemy radiokomunikacyjne w paśmie (30 ÷ 3000) MHz, zarejestrowane w mieście wojewódzkim

W opisie parametrów urządzeń i systemów radiokomunikacyjnych wykorzystuje się typowe pojęcia techniki antenowej:

- charakterystyka promieniowania anteny – graficzna lub liczbowa prezentacja zdolności anteny do wypromieniowania energii elektromagnetycznej w różnych kierunkach
- zysk energetyczny anteny – miara zdolności anteny do skupiania energii w określonym kierunku. Zysk energetyczny jako parametr anteny podaje się dla kierunku maksymalnego promieniowania (kierunku, dla którego charakterystyka promieniowania osiąga maksimum). Zysk energetyczny wyraża się w jednostkach niemianowanych, liniowo w watach na wat (W/W) lub logarytmicznie w decybelach (dB)
- EIRP – zastępcza moc promieniowana izotropowo, wyrażona jako iloczyn mocy sygnału wielkiej częstotliwości lub mikrofalowego doprowadzonego do anteny (wyrażonej w watach) i wartości jej zysku energetycznego (wyrażonego w watach na wat (W/W)) albo sumy mocy wyrażonej w decybelach względem miliwata (dBmW) i zysku energetycznego wyrażonego w decybelach (dB), (przykład liczbowy: moc doprowadzona do anteny $P = 10$ W (tj. 40 dBmW) i zysk energetyczny anteny $G = 10$ W/W (tj. 10 dB), $EIRP = 100$ W (tj. 50 dBmW))

- modulacja sygnału radiowego – jest to pojęcie radiotechniczne odmienne od pojęcia: „*pole-EM modulowane*”, zdefiniowanego w R-BHP-EM (par. 3. ust. 4.3., gdzie: „pole-EM traktowane jest jako modulowane, gdy wynik wyznaczania wartości miar narażenia odpowiadających limitom IPN uzależniony jest, co najmniej w 50%, od jednego lub więcej parametrów modulacji pola-EM, w szczególności: zakresu zmian amplitudy, częstotliwości, fazy lub czasu trwania impulsów i częstotliwości ich powtarzania”) – przykłady:
 - emisja sygnału modulowanego częstotliwościowo (FM) przez źródło nie powoduje powstania pola-EM modulowanego w rozumieniu R-BHP-EM, gdyż chwilowa moc (a tym samym wartość równoważna pola-EM) są stałe i nie zależą w żaden sposób od sygnału modulującego
 - stosowanie techniki TDMA (zmiana liczby szczelin czasowych w kanale radiowym, np. od 1 do 8 szczelin wykorzystywanych przez stację telefonii mobilnej GSM), może powodować traktowanie pola-EM jako pola modulowanego w rozumieniu R-BHP-EM – zależnie od zakresu zmienności lub metody interpretacji wyniku pomiaru

wartości skutecznej (RMS), w stosunku do stałej dla takiego sygnału wartości równoważnej (WR)

- emisja sygnału o modulacji AM przy stacji radiofonicznej lub stacji radiowej związanej z zarządzaniem ruchem lotniczym może, w zależności od parametrów modulacji (głębokości) sygnału oraz przyjętej interpretacji wyników pomiaru wartości RMS, spełniać definicję pola-EM modulowanego w rozumieniu R-BHP-EM
- źródło pola-EM emitujące sygnały impulsowe, stanowi zazwyczaj źródło pola-EM modulowanego w rozumieniu R-BHP-EM.

W każdym przypadku rozpoznania pola modulowanego należy oszacować niepewność wyznaczenia WR na podstawie pomiarów, których wyniki zwykle są zbliżone do wartości RMS. Jeżeli czynnik niepewności pomiaru określonego pola-EM związanej z tym parametrem aparatury pomiarowej spowoduje wzrost niepewności ponad dopuszczalną wartość, niezbędne jest korzystanie ze współczynników korekcyjnych uzyskanych, np. na podstawie odpowiedniego wzorcowania aparatury pomiarowej.

Krótkie opisy typowych systemów radiokomunikacyjnych do oceny narażenia pracujących przedstawiono poniżej:

a) radiodyfuzyjna stacja nadawcza (radiofonia i telewizja) – zespół urządzeń radiowych połączonych z antenami (stanowiącymi źródło pola-EM z pasma PWCZ lub PMF) umieszczonymi na obiekcie budowlanym w postaci wieży, masztu lub innej konstrukcji wsporczej, charakteryzuje się następującymi cechami:

- stosowaniem pojedynczych anten (zwykle dipoli półfalowych) lub układów antenowych składających się z pojedynczych anten, służących do uzyskania ukształtowania charakterystyki promieniowania układu w celu zapewnienia optymalnego pokrycia terenu sygnałem radiowym

- dookólnym (lub zbliżonym do dookólnego) promieniowaniem sumarycznym instalacji wieloantenowej rozpatrywanej z oddali jako całość, przy lokalnym rozdzieleniu źródeł, które pod względem narażenia w przestrzeni pracy w ich pobliżu muszą być rozpatrywane niezależnie
- wykorzystywaniem linii radiowych, których anteny stanowią źródła PMF o wartości EIRP dochodzącej do kilkuset wat, W, a nawet przekraczającej 1 kW, silnie kierunkowe (o szerokości wiązki głównej typowo wynoszącej we wszystkich płaszczyznach pojedyncze stopnie kątowe);

b) radiowa stacja bazowa (BTS) telefonii mobilnej w sieciach o przeznaczeniu publicznym – zespół urządzeń radiowych połączonych z antenami (stanowiącymi źródło pola-EM z pasma PMF) umieszczonymi na obiekcie budowlanym w postaci: wieży, masztu lub innej konstrukcji wsporczej, charakteryzuje się następującymi cechami:

- stosowaniem anten o dużym zysku energetycznym (typowo rzędu $10 \div 20$ dB) i charakterystyce promieniowania opisaną zwykle jedną główną wiązką promieniowania oraz kilkoma, tzw. listkami bocznymi i wstecznymi, przez co w niektórych przypadkach osoby pracujące w ich pobliżu mogą zostać narażone na pole-EM (czyli podlegać oddziaływaniu pola-EM stref ochronnych) pochodzące zarówno od wiązki głównej, jak i od listków bocznych, a zmienność pola nie musi być monotoniczna przy oddalaniu się od źródła
- dookólnym (lub zbliżonym do dookólnego) promieniowaniem sumarycznym instalacji wieloantenowej rozpatrywanej z oddali jako całość, przy lokalnym rozdzieleniu źródeł, które muszą być rozpatrywane niezależnie

- ze względu na narażenia w przestrzeni pracy w ich pobliżu
- emisją użytecznych sygnałów radiowych w więcej niż jednym paśmie leżącym w zakresie PMF, za pośrednictwem zespołu anten obsługujących poszczególne pasma lub anten wielopasmowych przy całkowitej EIRP, mogącej przekraczać 1 kW na antenę, a EIRP całej stacji bazowej może przekraczać 10 kW
 - wykorzystywaniem linii radiowych, których anteny stanowią źródła PMF o wartości EIRP rzędu kilkuset wat (a nawet przekraczającej 1 kW), silnie kierunkowe (o szerokości wiązki głównej typowo wynoszącej we wszystkich płaszczyznach pojedyncze stopnie kątowe)
 - możliwą lokalizacją urządzeń różnych operatorów na tym samym antenowym obiekcie wysokościowym lub z wykorzystaniem wspólnych anten, co zwiększa wartości EIRP dla pojedynczego źródła pola-EM
 - możliwą lokalizacją wraz z antenami innych operatorów telekomunikacyjnych, których pasmo pracy leży w zakresie innym niż PMF, co skutkuje narażeniem wieloczęstotliwościowym i jako takie musi być rozważane jako łączne oddziaływanie wszystkich źródeł (zgodnie z zał. 3., cz. III, pkt. 6.)
 - lokalizacją urządzeń nadawczych najczęściej w pomieszczeniu technicznym (wyjątek: stacje w wykonaniu zewnętrznym, tzn. *outdoor*) w zamkniętych i uszczelnianych elektromagnetycznie szafach aparaturowych; w zakresie użytkowania takich urządzeń mogą być czynności obsługowe przy pracujących urządzeniach, wykonywane przy otwartych drzwiach/obudowie
 - zlokalizowaniem w pobliżu anten licznych elementów metalowych, mogących stanowić wtórne źródła pola-EM,
- w szczególności w przypadku wykorzystywania metalowej wieży antenowej – szczególnie istotnymi źródłami wtórnymi są barierki ochronne oraz drabinki włazowe;
- c) radiowa stacja bazowa radiokomunikacji ruchomej lądowej o przeznaczeniu innym niż publiczne – zespół urządzeń radiowych nieprzeznaczonych do eksploatacji w sieciach publicznych, połączonych z antenami (stanowiącymi pierwotne źródło pola-EM) umieszczonymi na obiekcie budowlanym w postaci: wieży, masztu lub innej konstrukcji wsporczej. Typowe, główne różnice względem radiowej BTS telefonii mobilnej w sieciach o przeznaczeniu publicznym:
- pasmo pracy najczęściej w zakresie PWCZ
 - mniejsza liczba anten
 - częstsze wykorzystywanie anten o charakterystyce dookólnej w płaszczyźnie poziomej, co zwiększa prawdopodobieństwo pojawienia się pola-EM stref ochronnych w pobliżu anteny nadawczej
 - suma EIRP w antenach znacznie mniejsza (np. < 500 W)
 - niektóre z anten użytkowane wyłącznie jako anteny odbiorcze, ale jako potencjalne wtórne źródła pola-EM wymagające uwzględnienia przy rozpoznaniu zagrożeń elektromagnetycznych;
- d) instalacja radiokomunikacyjna związana z urządzeniami radiowymi innymi niż stacje bazowe – prosta instalacja związana z urządzeniami radiowymi o małej mocy (zwykle moc nadajnika w zakresie 10 ÷ 50 W), jak terminale (radiotelefony) stacjonarne, stacje przemiennikowe (retransmisyjne) występujące w niektórych sieciach radiokomunikacyjnych i ich anteny zainstalowane na stałe. Systemy takie najczęściej pracują w zakresie PWCZ,

korzystając zwykle z anten o charakterystyce dookólnej i małym zysku energetycznym, a tym samym szerokiej wiązce promieniowania. W otoczeniu tego typu anten narażenie na pole-EM może wystąpić we wszystkich kierunkach, silne oddziaływanie pola-EM bywa więc rozleglejsze, niż przy antenach emitujących promieniowanie w węższych wiązkach (kierunkowo). W konsekwencji przy antenach dookólnych, zainstalowanych w pobliżu terminala (np. bezpośrednio za oknem, na balustradzie, niskim wsporniku

itp.) mogą występować pola-EM stref ochronnych. Ze względu na charakter pracy takich systemów narażenie na pole-EM może występować głównie podczas prac konserwacyjnych w pobliżu anten (anten terminali stacjonarnych lub stacji przemiennikowych) lub narażenia okazjonalne podczas eksploatacji.

W tabeli 3. omówiono charakterystyki najpopularniejszych systemów radiokomunikacyjnych, stosowanych obecnie w Polsce.

Tabela 3.
Zestawienie parametrów najpopularniejszych stacjonarnych nadawczych urządzeń i instalacji radiokomunikacyjnych, wytwarzających pole-EM w zakresie częstotliwości 225 kHz ÷ 100 GHz

Zakres częstotliwości	Urządzenia i instalacje	Zastosowanie	Opis źródła i czynności obsługowe
225 kHz	stacje radiofoniczne AM (tj. z modulacją amplitudy) fale długie	radiodyfuzja analogowa: stacje radiowe emitujące programy radiowe (EIRP do 1 MW)	– głównym źródłem pola-EM są: nadajniki, fidery, anteny nadawcze – narażeni na pole-EM są przede wszystkim pracownicy zatrudnieni przy kontroli i dozorze pracy urządzeń, pomiarach parametrów ich pracy, a także podczas obchodów terenu stacji, koszeniu traw i odśnieżaniu dróg komunikacyjnych
(526,5 ÷ 1606,5) kHz	stacje radiofoniczne AM fale średnie	radiodyfuzja analogowa: stacje radiowe emitujące programy radiowe (EIRP do 100 kW)	– najbardziej narażone części ciała: całe ciało
(5,95 ÷ 6,20) MHz (7,10 ÷ 7,35) MHz (9,40 ÷ 9,90) MHz (11,60 ÷ 12,10) MHz (13,57 ÷ 13,87) MHz	stacje radiofoniczne AM fale krótkie	radiodyfuzja analogowa: stacje radiowe emitujące programy radiowe radiokomunikacja (EIRP do 100 kW)	
(87,5 ÷ 108) MHz	radiofonia UKF FM (radiofonia analogowa z modulacją częstotliwości)	radiodyfuzja analogowa: stacje radiowe emitujące programy radiowe (EIRP rzędu (1 ÷ 120) kW dla pojedynczego nadajnika)	– głównym źródłem pola-EM są: nadajniki, łączenia kabli koncentrycznych, anteny nadawcze
(174 ÷ 230) MHz	radio cyfrowe DAB+ i telewizja cyfrowa DVB-T (kanały 6-10)	radiodyfuzja cyfrowa: stacje radiowe emitujące programy radiowe (EIRP rzędu (1 ÷ 10) kW dla pojedynczego nadajnika DAB+ i do 40 kW dla DVBT)	– narażeni na pole-EM są przede wszystkim pracownicy zatrudnieni przy montażu, demontażu anten, pracach konserwacyjnych i kontrolnych, remontowych i przy usuwaniu awarii oraz dozorze pracy urządzeń i pomiarach parametrów ich pracy
(470 ÷ 790) MHz	telewizja cyfrowa DVB-T (kanały 21-69)	radiodyfuzja cyfrowa: stacje telewizyjne emitujące programy telewizyjne (EIRP rzędu (1 ÷ 100) kW dla pojedynczego nadajnika)	– najbardziej narażone części ciała: ręce, głowa, całe ciało

cd. tab. 3.

Zakres częstotliwości	Urządzenia i instalacje	Zastosowanie	Opis źródła i czynności obsługowe
(380 ÷ 430) MHz	RRL/TETRA radiotelefoniczna sieć trunkingowa (stacje bazowe)	łączność: służby państwowe cywilne i mundurowe (bezpieczeństwa i porządku publicznego, bezpieczeństwa państwa, krajowego systemu ratownictwa gaśniczego, medycznego i ochrony granic) (EIRP do 1 kW)	<ul style="list-style-type: none"> – głównym źródłem pola-EM są anteny nadawcze stacji bazowych są: zespoły nadawczo-odbiorcze, łączenia kabli koncentrycznych, anteny nadawcze radiotelefonów montowanych na stałe – narażeni na pole-EM są przede wszystkim pracownicy zatrudnieni przy czynnościach obsługowych, prowadzeniu łączności, konserwacji lub remontach urządzeń lub ich otoczenia i przy usuwaniu awarii – najbardziej narażone części ciała: ręce, głowa, całe ciało.
(136 ÷ 174) MHz (403 ÷ 515) MHz (806 ÷ 870) MHz	RRL radiokomunikacja ruchoma (stacje bazowe)	łączność: cyfrowa transmisja danych, cyfrowa i analogowa transmisja sygnałów mowy z zastosowaniem w prywatnych systemach łączności w policji, straży pożarowej, energetyce, gazownictwie czy w służbach miejskich (transport publiczny, radio-taxi) (EIRP do 1 kW)	<p>Radiotelefony to szeroki termin obejmujący systemy radiotelefoniczne, zarówno przenośne (terminale użytkowane ręcznie), jak i systemy przewoźne i stacjonarne. Prezentowana charakterystyka dotyczy stacji bazowych użytkowanych w systemach radiokomunikacji ruchomej, tj. anteny montowane na stałe na obiektach budowlanych, które są objęte omawianą metodą pomiaru pola-EM <i>in situ</i> w przestrzeni pracy w ich otoczeniu</p>
(420 ÷ 450) MHz	Systemy transmisji danych CDMA (stacje bazowe)	łączność: łączność bezprzewodowa (EIRP do 20 kW)	
pasma: 800 MHz 900 MHz	szybki Internet LTE800 (LTE – ang. Long Term Evolution); telefonia komórkowa GSM900; telefonia komórkowa UMTS900 (stacje bazowe)	łączność: łączność (rozmowa w systemie GSM, WCDMA, przesyłanie danych, transmisje multimedialne); (EIRP do 20 kW)	<ul style="list-style-type: none"> – głównym źródłem pola-EM są anteny stacji bazowych – narażeni na pole-EM są przede wszystkim pracownicy zatrudnieni przy montażu/demontażu anten, konserwacji lub remontach urządzeń lub ich otoczenia i przy usuwaniu awarii – najbardziej narażone części ciała: ręce, głowa, całe ciało
pasmo: 1800 MHz	szybki Internet LTE1800 telefonia komórkowa GSM1800 (stacje bazowe)	łączność: łączność (rozmowa w systemie GSM, WCDMA, przesyłanie danych, transmisje multimedialne) (EIRP do 20 kW)	

cd. tab. 3.

Zakres częstotliwości	Urządzenia i instalacje	Zastosowanie	Opis źródła i czynności obsługowe
pasmo: 2100 MHz	szybki internet LTE2100 telefonii komórkowa UMTS2100 (stacje bazowe)	łączość: rozmowa w systemie GSM, WCDMA, rozmowa, przesyłanie danych, transmisje multimedialne) (EIRP do 10 kW)	
(5,9 ÷ 13) GHz (13 ÷ 39) GHz (39 ÷ 40) GHz (70 ÷ 76) GHz (1,0 ÷ 86) GHz (143 ÷ 150) GHz	linie radiowe	łączość punkt-punkt, w tym teletransmisja (EIRP (1 ÷ 5) kW)	<ul style="list-style-type: none"> – urządzenia obecnie stosowanych linii radiowych są zwykle zintegrowanymi układami nadawczo-odbiorczymi z antenami parabolicznymi, montowanymi do konstrukcji wsporczej anteny – urządzenia pracują bezobsługowo – narażenia na pole-EM są przede wszystkim pracownicy zatrudnieni przy montażu, demontażu anten, pracach konserwacyjnych, remontowych i przy usuwaniu awarii – najbardziej narażone części ciała: ręce, głowa i całe ciało

CHARAKTERYSTYKA NARAŻENIA NA POLE-EM PODCZAS UŻYTKOWANIA NADAWCZYCH URZĄDZEŃ RADIOKOMUNIKACYJNYCH

Radiokomunikacja to jedna z nielicznych dziedzin, gdzie emisja pola-EM do otoczenia jest działaniem intencjonalnym i podstawą działania sieci radiokomunikacyjnych. Dlatego w przestrzeni obsługi w otoczeniu anten nie ma możliwości ograniczania narażenia na pole-EM, np. przez ekranowanie czy zmianę konfiguracji przestrzennej źródeł pola-EM. Nie dotyczy to jednak innych elementów systemu: nadajników, układów dopasowania czy złącz. W otaczającej je przestrzeni obsługi można stosować środki ochronne w postaci np. ekranów elektromagnetycznych (szczelne elektromagnetycznie obudowy metalowe), ale specyfika obsługi wymaga czasami pracy przy zdemontowanych ekranach i takie tryby pracy powinny być również uwzględnione w ocenie narażenia.

Intencjonalność emisji pola-EM i stosowanie anten o znanych parametrach pozwalają na zgrubne oszacowanie natężenia pola-EM w ich otoczeniu. Do wstępnego oszacowania można zastosować zależność natężenia pola-E od odległości od źródła i mocy emitowanej w kierunku maksymalnego promieniowania (1):

$$E = \frac{30 \cdot \sqrt{EIRP}}{r} \quad [1]$$

gdzie:

EIRP – zastępcza moc promieniowana izotropowo przez antenę w watach, r – odległość od anteny w metrach.

Zależność ta jest prawdziwa dla pola-EM dalekiego, dlatego w polu-EM bliskim i na innych kierunkach, niż kierunek maksymalnego pro-

mieniowania, wyniki oszacowania będą zawyżone, nawet bardzo znacznie (zależnie od charakterystyki przestrzennej promieniowania anten). Takie zgrubne szacowanie jest zalecane do wstępnego rozpoznania źródeł, które powinny być brane pod uwagę przy ocenie narażenia na pole-EM. Przykładem może być oszacowanie, czy konieczna jest ocena narażenia na pole-EM emitowane przez antenę BTS telefonii mobilnej zlokalizowaną na dachu budynku odległego o 300 m od określonej przestrzeni pracy. Przyjmując, że sumaryczne EIRP dla anten skierowanych w stronę analizowanej przestrzeni obsługi wynosi 2 kW, to szacunkowe natężenie pola-E w odległości 300 m nie przekroczy 4,5 V/m, czyli może spowodować jedynie ekspozycję pomijalną, która nie wymaga oceny w kontekście wymagań prawa pracy.

Przy rozpoznaniu nadawczych urządzeń radiokomunikacyjnych jako źródeł pola-EM w przestrzeni pracy należy rozpoznać, które urządzenia z technicznego punktu widzenia mogą emitować pole-EM powodujące narażenie pracujących na pole-EM stref ochronnych. Do wstępnych analiz można posłużyć się zależnością [1] oraz klasyfikacją urządzeń radiowych.

Urządzenia, które są zaliczane do urządzeń powszechnego użytku, to m.in. takie urządzenia radiokomunikacyjne niewymagające pozwoleń radiowych, jak: urządzenia nadawcze systemów krótkiego zasięgu (np. wewnętrzne routery Wi-Fi, urządzenia Bluetooth, radiowe piloty zdalnego sterowania, amatorskie radiotelefony Walkie-Talkie, terminale (aparaty) telefonii komórkowej publicznej, modemy WiFi wbudowane w urządzenia komputerowe). Dokładny wykaz takich urządzeń i systemów wraz z ich parametrami jest określony w rozporządzeniach ministra cyfryzacji. Podczas opracowywania niniejszego artykułu obowiązywały rozporządzenie Ministra Administracji i Cyfryzacji z dnia 12 grudnia 2014 r. w sprawie urządzeń radiowych nadawczych lub nadawczo-odbiorczych, które mogą być używane bez pozwolenia radiowego (DzU 2014, poz. 1843) oraz rozporządzenie Ministra

Cyfryzacji z dnia 26 listopada 2015 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie urządzeń radiowych nadawczych lub nadawczo-odbiorczych, które mogą być używane bez pozwolenia radiowego (DzU 2015, poz. 2174). Narażenie na pole-EM emitowane przez tego typu urządzenia nie wymaga oceny w przestrzeni pracy podczas ich użytkowania zgodnie z przeznaczeniem (R-BHP-EM, par. 5. ust. 2. i zał. 1.).

Ze względu na specyfikę pracy systemów radiokomunikacyjnych konieczne są różne metody pomiarów parametrów niezbędnych do oceny narażenia na pole-EM, różne są też czynności obsługowe, np.:

- stacje bazowe telefonii mobilnej sieci publicznych charakteryzują się zmienną w czasie mocą doprowadzaną do anten, a tym samym zmiennością poziomu PMF w otoczeniu źródła. Zgodnie z wymaganiami R-BHP-EM oceniając narażenie należy uwzględniać różnicowane warunki użytkowania, w tym narażenie w przestrzeni pracy podczas eksploatacji źródeł pola-EM w trybie pracy z maksymalną mocą. Na podstawie wyników badań dotyczących rzeczywistych źródeł można określić specyficzne dla poszczególnych urządzeń warunki, tzw. normalnej eksploatacji, kiedy stacja bazowa obsługuje ruch telekomunikacyjny w godzinach statystycznie największego obciążenia, lub współczynniki korekcyjne dla wyników pomiarów wartości RMS natężenia pola-E wykonanych w innych warunkach. Typowe czynności obsługowe przy stacjach bazowych to serwis i kontrola nadajników oraz anten nadawczych (sprawdzenie i korekta ustawienia kierunku i pochylenia anten, sprawdzanie złącz antenowych i mocowania mechanicznego) oraz konserwacja konstrukcji mechanicznych. Uwzględnić należy również inne prace w otoczeniu anten, w tym prace konserwacyjne czy modernizacyjne, np. anten lub dachu czy przeglądy kominiarskie

- stacje bazowe radiokomunikacji ruchomej lądowej o przeznaczeniu innym niż publiczne to, między innymi wszelkie systemy dyspozytorskie, w tym trunkingowe. Stacje takie pracują w trybie ciągłym (często ze zmieniającą się liczbą aktywnych kanałów radiowych) lub „na żądanie” tylko wtedy, kiedy prowadzona jest łączność. Rolą użytkownika jest określenie zakresu obsługi podczas pracy urządzeń nadawczych, który determinuje potrzebę ewentualnych pomiarów i ich zakres
- radiodyfuzyjne stacje nadawcze to głównie wspomniane radiowo telewizyjne centra nadawcze (RTCN-y), telewizyjne stacje retransmisyjne (TSR-y) oraz systemy nadawcze pojedynczych rozgłośni radiowych lub telewizyjnych. Anteny RTCN-ów i TST-ów są zwykle instalowane na wydzielonych masztach lub wieżach, a nadawcy lokalni mogą korzystać z dachów budynków, kominów itp. W każdym przypadku, ze względu na charakter pracy, można przyjąć, że moc nadajników, a tym samym poziom pola-EM w przestrzeni pracy i obsługi nie zmienia się w czasie, jeżeli systemy pracują w warunkach normalnej eksploatacji
- instalacje nadawcze związane z urządzeniami radiowymi innymi niż stacje bazowe, w szczególności terminale stacjonarne w niepublicznych sieciach radiokomunikacyjnych to, tak zwane radiotelefony. Jeżeli instalacja jest stacjonarna, to zwykle antena jest umieszczona na: maszcie, dachu czy kominie, ale spotyka się w praktyce również umieszczenie anten na parapetach czy uchwytach bezpośrednio za oknem, czy na wspornikach na niewielkich wysokościach ponad dachem. W każdym przypadku użytkownik określa zakres prac w otoczeniu aktywnego źródła pola-EM i tym samym obszar obsługi. Jeżeli antena zamontowana na stałe na

obiekcie budowlanym znajduje się w niewielkiej odległości od radiotelefonu stacjonarnego (np. bliżej niż 20 m od anteny o EIRP wynoszącym 25 W), sam radiotelefon oraz jego oprzyrządowanie (np. mikrofon) mogą być wtórnymi źródłami pola-EM. W takim przypadku konieczne jest objęcie pomiarami przestrzeni pracy operatora radiotelefonu stacjonarnego

- linie radiowe punkt-punkt (tzw. radiolinie) pracują zwykle w paśmie PMF i są wyposażone w anteny aperturowe (np. paraboliczne lub tubowe) o stosunkowo wąskiej przestrzennie (skupionej) charakterystyce promieniowania. Dla typowych radiolinii stacjonarnych przyjmuje się, że obszary stref ochronnych występują tylko w wiązce głównej anteny, ale założenie to nie jest prawdziwe dla anten o nierównomiernej aperturze, gdzie mogą występować listki boczne i tylne o znacznych poziomach, wymagających oceny zagrożeń elektromagnetycznych w przestrzeni pracy.

W każdym przypadku należy zidentyfikować, oprócz pierwotnych źródeł pola-EM, potencjalne wtórne źródła pola-EM. Będą to w szczególności metalowe elementy konstrukcji, np.: maszty, wsporniki, podesty, wyłazy lub drabinki, ale także metalowe elementy niezwiązane z konstrukcją systemów antenowych, np.: rynny, systemy odgromowe, obróbki blacharskie, metalowe ramy drzwi, kraty czy szafy metalowe.

W elementach takich umieszczonych w polu-EM indukują się prądy wielkiej częstotliwości, co powoduje wtórną emisję pola-EM. W zależności od geometrii wtórnych źródeł pola-EM mogą występować również zjawiska rezonansowego pochłaniania energii pola-EM, skutkujące pojawianiem się znacznego natężenia pola-E w otoczeniu tych elementów, bądź zjawiska związane z niedopasowaniem impedancyjnym i pojawianiem się fali stojącej w obiektach, których długość jest zbliżona lub większa od

długości fali indukowanego pola-E oraz cyklicznymi zmianami natężenia pola wzdłuż całego elementu metalowego. Podobne zjawisko wystąpi w przypadku wielodrogowej propagacji – np. sumowania się fali bezpośredniej z anteny i odbitej od powierzchni dachu, na którym występuje przestrzeń obsługi. W tym przypadku natężenie pola-E będzie malało i rosło cyklicznie przy zmianie wysokości punktu pomiarowego nad powierzchnią dachu.

Na podstawie badań i pomiarów (Bieńkowski 2009a; 2009b; Bieńkowski, Trzaska 2012; Bieńkowski i in. 2016) można przyjąć, że pole-EM stref ochronnych w otoczeniu źródeł wtórnych wymaga oceny co najmniej w obszarze, gdzie natężenie pola-E w swobodnej przestrzeni przekracza połowę wartości odpowiedniego IPNp (tj. 3,5 V/m w przypadku oceny narażenia na pole-EM o częstotliwości z zakresu 10 MHz ÷ 300 GHz).

Na podstawie przedstawionych wcześniej analiz i wyników badań miar narażenia na pole-EM emitowane przez nadawcze urządzenia radiokomunikacyjne, przyjęto następujące wnioski dotyczące koniecznego zakresu pomiaru pola-EM w przestrzeni pracy w otoczeniu tych urządzeń:

- 1) podstawowym źródłem pola-EM stref ochronnych są anteny i nieekranowane fidery,
- 2) w otoczeniu nadajników, układów dopasowania i sumowania mocy oraz złącz ekranowanych fiderów może również wystąpić pole-EM stref ochronnych,
- 3) wtórnymi źródłami pola-EM stref ochronnych mogą być elementy metalowe, przy których konieczna jest ocena narażenia, co najmniej w przypadkach kiedy w swobodnej przestrzeni w ich otoczeniu występuje pole-EM o natężeniu przekraczającym połowę odpowiedniego IPNp,
- 4) powierzchniami dostępu są wszystkie elementy, do których dostęp dla pracujących lub osób potencjalnie narażonych jest konieczny (np. drabinki, balustrady, wylazy), bądź możliwy (np. elementy

konstrukcji, obudowy anten, rynny, opierzenia metalowe, instalacja odgromowa czy korytka kablowe),

- 5) ocenie podlega natężenie pola-E i pola-M, przy czym dla częstotliwości poniżej 800 MHz (rozpoznanej z dokładnością $\pm 10\%$) natężenie pola-M podlega pomiarom, a dla częstotliwości wyższych ocenę pola-M przeprowadza się na podstawie wartości przeliczonej z wyniku pomiaru pola-E, tj. przyjmuje się, że natężenie pola-M (wyrażone w amperach na metr, A/m), ma wartość liczbową $H=E/377$, co w przybliżeniu można oszacować jako: 0,25% wartości natężenia pola-E (wyrażonego w woltach na metr, V/m),
- 6) w przypadku urządzeń nadawczych emitujących pole-EM modulowane o takich parametrach, że rozbieżność wartości równoważnej od wartości wskazywanej przez stosowane mierniki przekracza 50%, konieczne jest uwzględnienie tego faktu w ocenie niepewności pomiaru, a jeżeli zachodzi taka potrzeba, to stosowanie współczynników korekcyjnych na podstawie charakterystyk metrologicznych użytych przyrządów pomiarowych i charakteru rozpoznanego pola-EM (Bieńkowski i in. 2016).

W przestrzeni obsługi w otoczeniu anten urządzeń i systemów radiokomunikacyjnych występują zazwyczaj znaczne gradienty poziomu natężenia pola-E i pracownicy obsługujący te urządzenia podlegają narażeniu miejscowemu na pole-EM. R-BHP-EM stanowi, że należy wówczas dokonać oceny rozkładu przestrzennego miejscowych wartości natężenia pola-E i pola-M w przestrzeni pola-EM strefy zagrożenia, z rozdzielczością nie gorszą niż około ± 20 cm. Narażenie pracowników na pole-EM przy antenach urządzeń radiokomunikacyjnych jest zazwyczaj stosunkowo krótkotrwałe, a poziom narażenia podlega istotnym zmianom podczas przemieszczania się.

Do oceny narażenia w takich sytuacjach, autorzy niniejszego artykułu opracowali scenariusz pomiarowy stosowany w razie rozpoznania przestrzeni pracy w przestrzeni objętej występowaniem pola-EM stref ochronnych, tj. pola-EM o natężeniach przekraczających poziom dopuszczalny podczas narażenia w miejscach dostępnych dla ludności. Rozpoznanie przestrzeni występowania pola-EM stref ochronnych, tj. zasięgów pola-EM strefy pośredniej, prowadzone jest z zasady na podstawie wyników udokumentowanej oceny zagrożeń elektromagnetycznych przy urządzeniach radiokomunikacyjnych, wykonywanej dla celów ochrony środowiska. Jeżeli wyniki takiej oceny nie są dostępne, to zasięgi pola-EM strefy pośredniej wyznacza się zgodnie z metodyką określoną w rozporządzeniu Ministra Środowiska (DzU 2003, poz. 1833), tzn. dla pola-EM o częstotliwości przekraczającej 3 MHz tylko na podstawie pomiaru pola-E zarówno w pomieszczeniach, jak i na zewnątrz budynku. W przestrzeni pracy, w której rozpoznano występowanie pola-EM stref ochronnych w opisany sposób (do celów realizacji wymagań dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy zasięgi pola-EM stref ochronnych są wyznaczane z dokładnością ± 50 cm) oraz są tam wykonywane jakiegokolwiek czynności podczas pracy urządzeń nadawczych, pomiary parametrów pola-EM koniecznych do oceny narażenia w przestrzeni pracy polegają na:

- wyznaczeniu maksimum natężenia pola-E i pola-M przy powierzchniach dostępu do pierwotnych i wtórnych źródeł, w celu rozpoznania maksymalnego poziomu ekspozycji i określenia zakresu dalszych pomiarów – stwierdzenie w tych miejscach narażenia nie przekraczającego poziomu górnej granicy strefy pośredniej ($E < \text{IPNod-E}$ i $H < \text{IPNod-H}$) kończy pomiary
- wyznaczeniu zasięgów przestrzeni pola-EM strefy zagrożenia i strefy niebezpiecznej

– w tym celu w polu-EM o częstotliwości do 800 MHz przeprowadza się niezależne pomiary natężenia pola-E i pola-M, a dla częstotliwości powyżej 800 MHz – tylko pomiarów natężenia pola-E (uwzględniając, że ze względu na limit IPNog-H, poziom narażenia odpowiadający granicy strefy niebezpiecznej rozpoznaje się przy natężeniu pola-E wynoszącym 50% odpowiedniej wartości granicznej IPNog-E, tj. w polu-EM o natężeniu $E = 120$ V/m)

- określeniu poziomu największego narażenia głowy i tułowia w obszarze obsługi urządzeń, jeśli znajduje się on w strefie zagrożenia – stwierdzenie tych wartości nie przekraczających IPNob-E (oraz IPNob-H dla częstotliwości poniżej 800 MHz) kończy pomiary
- wykonaniu pomiarów w przestrzeni obsługi z rozdzielczością przestrzenną lokalizacji pionów pomiarowych nie gorszą niż około ± 20 cm, jeżeli przestrzeń obsługi zidentyfikowano w przestrzeni pola-EM, gdzie miejscowe natężenia pola-E lub pola-M przekraczają wartości IPNob
- jeżeli zidentyfikowano powierzchnie dostępu, przy których natężenie pola-E lub pola-M przekracza odpowiednie wartości IPNob, to pomiary natężenia pola nie są wystarczającym narzędziem do oceny narażenia i należy postępować zgodnie z R-BHP-EM (zał. 3., część II).

Opisany scenariusz pomiarowy zweryfikowano doświadczalnie pod kątem powtarzalności wyników na przykładach dotyczących dwóch scenariuszy narażenia w przestrzeni obsługi:

- pomiary w otoczeniu anteny nadawczej BTS telefonii mobilnej
- pomiary w celu oceny narażenia przy powierzchni dostępu – drzwiach metalowej szafy z urządzeniami nadawczymi.

W pierwszym przypadku wyznaczono przestrzeń obsługi jako obszar przy antenie, przy wykonywaniu przeglądu wzrokowego mocowania anten i przewodów antenowych. Zadaniem mierzących był pomiar wartości maksymalnego narażenia tułowia i głowy pracującego w wyznaczonej przestrzeni obsługi. Pomiary wykonało

14 osób – pracowników akredytowanych laboratoriów badawczych. Wszyscy wykonywali pomiary tym samym miernikiem – przyjęto więc, że różnice w wynikach odpowiadają tylko powtarzalności pomiarów. Uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4.

Powtarzalność wyników pomiarów maksymalnego narażenia głowy i tułowia w przestrzeni obsługi anteny nadawczej stacji bazowej telefonii mobilnej

Uczestnik	Wyniki pomiarów natężenia pola-E, V/m	
	charakteryzujące narażenie głowy	charakteryzujące narażenie tułowia
1	39	19
2	39,	23
3	37	17
4	39	22
5	39	24
6	37	23
7	36	21
8	42	23
9	39	23
10	40	24
11	33	20
12	35	22
13	39	24
14	40	24
Średnia, V/m	38	22
Odchylenie standardowe, V/m	2,32	2,13
Odchylenie standardowe, %	6,1	9,6

Pomiary narażenia przy powierzchni dostępu przeprowadzono zgodnie z wymaganiami R-BHP-EM, dotyczącymi metalowych powierzchni dostępu – wynikiem pomiaru było natężenie pola-E wyznaczone z zależności:

$$E = 3E_1 - 2E_2 \quad [2]$$

gdzie:

E_1 i E_2 to miejscowe wartości natężenia pola zmierzone przy lokalizacji środka sondy pomiarowej w odległości wynoszącej odpowiednio: 10 i 20 cm od powierzchni metalowych drzwi.

Miejsce pomiaru każdy z uczestników wybierał samodzielnie, wyszukując wartość maksymalną przy całej powierzchni dostępu. Pomiary wykonało 8 uczestników – rozrzut wyznaczonej wartości E nie przekroczył $\pm 15\%$ przy odchyleniu standardowym nie przekraczającym 12%.

Przeprowadzone pomiary pozytywnie zweryfikowały opracowany scenariusz pomiarów. Należy zwrócić uwagę na fakt, że ponieważ R-BHP-EM wymaga oceny narażenia w kontekście zróżnicowanego użytkowania źródła

pola-EM, w przypadku oceny narażenia w przestrzeni pracy przy urządzeniach radiokomunikacyjnych należy uwzględnić różne scenariusze

obsługi, w tym z otwartymi osłonami ekranującymi, jeżeli takie prace są dopuszczalne przy danych urządzeniach radiokomunikacyjnych.

NIEPEWNOŚĆ I ODTWARZALNOŚĆ WYNIKU POMIARÓW POLA-EM W PRZESTRZENI PRACY

Prezentowane w niniejszym artykule zasady wykonywania pomiarów, charakteryzujących warunki narażenia na pole-EM przy nadawczych urządzeniach radiokomunikacyjnych, opracowano w celu uzyskania odpowiedniej jakości pomiarów, koniecznych do realizacji wymagań określonych przez prawo pracy. Opracowane zasady zapewniają odpowiednią jakość pomiarów przez ograniczanie niepewności wyników, wynikającej m.in. z właściwości metrologicznych przyrządów pomiarowych i ich oddziaływanie ze źródłem mierzonego pola-EM i oddziaływaniem na jego rozkład przestrzenny. Zjawiska te utrudniają uzyskanie miarodajnych danych pomiarowych, charakteryzujących pole-EM niezależnie od obecności człowieka (*Bieńkowski i in. 2016*). W wypadku pomiarów w przestrzeni pracy, a szczególnie w przestrzeni obsługi – odstępstwa od ustalonych metod pomiarowych skutkują nawet wielokrotnym zawyżeniem lub zaniżeniem wyniku pomiaru i wyniki oceny analizowanych zagrożeń w znacznym stopniu odbiegającej od stanu faktycznego. Dodatkowym elementem zwiększającym niepewność oceny parametrów pola-EM w przestrzeni pracy może być także niepoprawne rozpoznanie właściwości mierzonego pola-EM (np. rodzaju modulacji lub pracy impulsowej) i błędny wybór wielkości charakteryzujących oceniane narażenie, niedostosowanym do limitów natężenia pola-E i pola-M określonych przez prawo pracy. Ścisłe przestrzeganie sformalizowanych zasad wykonywania pomiarów pola-EM w przestrzeni pracy zapewnia również jednoznaczność wyników tej oceny.

W R-BHP-EM określono, że 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 pomiaru (bez jego niepewności), pod warunkiem zastosowania metod pomiaru, dla których naukowo sprawdzono i zwalidowano doświadczalnie oraz udokumentowano niepewność standardową wyników nie gorszą niż $\pm 30\%$. 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 pomiarów i wyposażenia), a także potwierdzone poprzez pozytywne wyniki udziału w odpowiednich badaniach 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 PT, dla których wartość przypisana wyznaczana jest przez odpowiednie badania z udziałem ekspertów, niezależnie od wyników pomiarów uzyskiwanych przez indywidualnych uczestników PT, a wyniki oceniane zgodnie z zaleceniami określonymi w normie ISO 13528:2015 z wykorzystaniem 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 pomiary i użytego przyrządu do pomiaru
- 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
- izotropowość.

Takie właściwości metrologiczne aparatury stosowanej w pomiarach 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 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 wymagań prawa pracy dotyczących ocenianych parametrów pola-EM w dziedzinie: częstotliwości, czasu i przestrzeni (takich jak np.: wielkość sondy pomiarowej, izotropowość lub czułość na inny parametr przebiegu niesinusoidalnego niż wartość równoważna), warunki klimatyczne w przestrzeni pracy, odtwarzalność położenia punktów pomiarowych.

Często anteny systemów radiokomunikacyjnych pracują na jednym obiekcie w różnych pasmach częstotliwości i pomiary pola-EM, z oczywistych względów techniczno-organizacyjnych, są wykonywane podczas jednoczesnej pracy wszystkich systemów. Powoduje to, że częstotliwości pola-EM rozpoznanego w przestrzeni pracy mogą obejmować szerokie zakresy częstotliwości. Konieczne jest rozważenie przypadku, w którym zakres częstotliwości rozpoznawanego pola-EM jest szerszy niż pasmo pracy pojedynczej sondy pomiarowej. W takim przypadku, pomiary wykonuje się dwiema sondami lub ich większą liczbą. Jako natężenie pola-E lub pola-M w punkcie pomiarowym wykorzystuje się wtedy wartość wypadkowego natężenia pola oszacowaną według zależności [3] dla pola-E, a zależności [4] dla pola-M:

$$E_{\text{wypadkowe}} = \sqrt{E_{\text{sondy1}}^2 + E_{\text{sondy2}}^2} \quad [3]$$

$$H_{\text{wypadkowe}} = \sqrt{H_{\text{sondy1}}^2 + H_{\text{sondy2}}^2} \quad [4]$$

Zależności te są prawdziwe dla pomiaru wartości skutecznych (RMS) natężenia pola składowych E i H . Natomiast dla wartości równoważnych, które mogą różnić się od wartości skutecznych, stosowanie tych zależności może być obarczone dodatkowymi błędami, które powinny być uwzględnione w niepewności pomiaru lub strategii interpretacji wyników pomiaru. Przykładowo, jeżeli pasma pracy użytych sond częściowo się pokrywają i jeżeli w zakresie częstotliwości objętych przez obie sondy pomiarowe występują pola-EM emitowane przez rozpoznane źródła, to wynik oszacowany wg zależności [3] i [4] będzie zawyżony, w skrajnym przypadku nawet o 50% – kiedy wszystkie składowe mierzonego pola-EM zostają z jednakową czułością zmierzone przez obie sondy pomiarowe.

Przegląd dostępnych obecnie komercyjnie i używanych w kraju mierników i sond pomiarowych wskazuje, że nie ma obecnie dostępnych sond o pasmie pracy obejmującym tylko częstotliwości pracy linii radiowych (np. (6 ÷ 90) GHz) – dostępne sondy pracują zwykle również w paśmie niższych częstotliwości, np. już od 100 lub 300 MHz. Pomiar taką sondą obejmuje więc zarówno sygnały emitowane przez radiolinie, jak i przez anteny systemów radiodyfuzyjnych i telefonii mobilnej. W takich sytuacjach ocenę rozkładu przestrzennego narażenia na pole-EM w przestrzeni pracy można ograniczyć do pomiarów wykonanych jedynie sondą nieobejmującą pasma radiolinii, jeśli w wyniku pomiaru dwiema sondami – jedną obejmującą pełny zakres częstotliwości i drugą o paśmie pracy ograniczonym tylko do częstotliwości pracy radiodyfuzji i łączności (czyli np. do 3 lub 6 GHz, zależnie od użytkowanych w danym miejscu systemów radiokomunikacyjnych) – można wykazać, że pole-EM emitowane przez radiolinie nie sta-

nowi w tej przestrzeni istotnego składnika narażenia (Bieńkowski i in. 2015). Rozpoznanie pola-EM rozpoczyna się w takim przypadku od pomiaru porównawczego wspomnianymi dwiema sondami. Jeżeli wynik pomiaru sondą obejmującą pełny zakres jest większy niż sondą o udokumentowanej czułości ograniczonej do pola-EM o częstotliwości mniejszej od 3 (lub 6) GHz, to przyjmuje się, że w przestrzeni pomiarowej występuje pole-EM linii radiowych i ocenę narażenia przeprowadza się w pełnym paśmie częstotliwości metodą dwóch sond. Jeżeli wskazania obu sond są takie same, wówczas przyjmuje się, że w obszarze pomiarowym nie występuje pole-EM od anten linii radiowych i do oceny narażenia wykorzystuje się tylko wyniki pomiaru sondą o niższym paśmie częstotliwości (Bieńkowski i in. 2013, Bieńkowski i in. 2015). Zastosowanie takiej metody wymaga wcześniejszego udokumentowania czułości użytych sond pomiarowych w zakresach częstotliwości pola-EM emitowanego przez rozpoznane źródła.

PODSUMOWANIE

1. W celu zapewnienia wszystkim pracującym (w skali całego kraju) koniecznego poziomu ochrony przed elektromagnetycznymi zagrożeniami bezpieczeństwa i zdrowia (a nawet ochrony życia), pomiary pola-EM w przestrzeni pracy muszą być wykonywane zgodnie z ujednoliconymi i poprawnie realizowanymi metodami.
2. Dla urządzeń nadawczych systemów radiokomunikacyjnych, pierwotnymi źródłami pola-EM są: anteny, nieekranowane fidery, układy dopasowania i sumowania mocy i nadajniki. Źródła wtórne to, między innymi: metalowe elementy konstrukcyjne w otoczeniu anten, ekranowane fidery o długościach porównywalnych lub większych od długości fali pola-EM urządzeń radiokomunikacyjnych, anteny odbiorcze lub anteny nadawcze wyłączone z nadawania.
3. Wokół urządzeń nadawczych sieci radiokomunikacyjnych występuje przestrzeń pola-EM stref ochronnych.
4. Zasięgi pola-EM stref ochronnych zależą zarówno od mocy emitowanej przez urządzenia, jak też od charakterystyk kierunkowości promieniowania anten, co należy uwzględnić podczas pomiarów pola-EM w przestrzeni pracy i oceny ich wyników.

Szczegółowe wymagania dotyczące metody pomiaru pola-EM *in situ* w przestrzeni pracy podczas użytkowania nadawczych urządzeń

radiokomunikacyjnych przedstawiono w załączniku 1. W metodzie określono również: zasady wyboru punktów pomiarowych, wyznaczania zasięgu pola-EM stref ochronnych oraz dokumentowania wyników pomiarów. Omówiono

w niej również najistotniejsze źródła błędów pomiaru pola-EM.

PIŚMIENNICTWO

Aniołczyk H., Mariańska M., Mamrot P. (2015) Ocena ekspozycji zawodowej na pola elektromagnetyczne częstotliwości radiowych. *Medycyna Pracy* 66(2), 199–212.

Aniołczyk H., Bieńkowski P., Kieliszek J. (2016) Narażenie pracowników na pola elektromagnetyczne na podstawie badań krajowych [W:] *Warsztaty IMP Łódź 2016–Ochrona przed PEM: nowe przepisy krajowe o polach elektromagnetycznych 0 Hz – 300 GHz: nowe źródła pól elektromagnetycznych: porównania międzylaboratoryjne (ILC/PT)*. Łódź, 12-14.10. 2016/Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera 49–67.

Bieńkowski P. (2009a) Charakterystyki metrologiczne mierników natężenia pola elektromagnetycznego. *Przegląd Elektrotechniczny*. 85(12), 33–36.

Bieńkowski P. (2009b) Wzorcowanie aparatury pomiarowej uwagi techniczne na przykładzie mierników pola elektromagnetycznego. *Przegląd Telekomunikacyjny, Wiadomości Telekomunikacyjne* 82(7), 270–273.

Bieńkowski P. (2015) Bilans niepewności oceny ekspozycji na pole elektromagnetyczne [W:] *Ochrona przed promieniowaniem jonizującym i niejonizującym. Nowe uregulowania prawne, źródła, problemy pomiarowe*. [Red:] M. Zmysłony, E.M. Nowosielska. Warszawa, Wojskowa Akademia Techniczna. 191–212.

Bieńkowski P., Trzaska H. (2012) *Electromagnetic measurements in the near field, Second edition*. Raleigh, NC. SciTech Publishing.

Bieńkowski P., Cała P., Zubrzak B. (2013) Pole elektromagnetyczne wytwarzane przez systemy radiokomunikacyjne pracujące w Paśmie E (60-90 GHz). *Bezpieczeństwo Pracy*, 504(9), 19-23.

Bieńkowski P., Cała P., Zubrzak B. (2015) Optymalizacja metodyki pomiaru wieloczęstotliwościowego pola elektromagnetycznego stacji bazowych telefonii komórkowej *Medycyna Pracy* 66, 5, 701–712 [dostęp: <http://dx.doi.org/10.13075/mp.5893.00206>].

Bieńkowski P., Zubrzak B. (2015) Electromagnetic fields from mobile phone base station – variability analysis. *Electromagnetic Biology and Medicine* 34, 3, 257–261 [dostęp: <http://dx.doi.org/10.3109/15368378.2015.1076441>].

Bieńkowski P., Karpowicz J., Kieliszek J. (2016) Przegląd miar skutków narażenia na zmienne w czasie pole elektromagnetyczne i właściwości metrologiczne mierników, istotnych podczas oceny narażenia w środowisku pracy. *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy* 4, 7–40.

Gryz K., Karpowicz J. (2008) Zasady oceny zagrożeń elektromagnetycznych związanych z występowaniem prądów indukowanych i kontaktowych. *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy*. 4(58), 137–171.

Karpowicz J., Gryz K. (2015) Harmonizacja najwyższych dopuszczalnych natężeń pola elektrycznego i magnetycznego z wymaganiami dyrektywy 2013/35/UE. *Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka*. 8, 2427.

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*.

Karpowicz J., Aniołczyk H., Bieńkowski P., Gryz K., Kieliszek J., Politański P., Zmysłony M., Zradziński P. (2017) *Metodyka oceny parametrów pola elektromagnetycznego charakteryzujących narażenie w przestrzeni pracy – wymagania ogólne. Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy*(w druku).

Rozporządzenie ministra administracji i cyfryzacji z dnia 12.12. 2014 r. w sprawie urządzeń radiowych nadawczych lub nadawczo-odbiorczych, które mogą być używane bez pozwolenia radiowego. *DzU* 2014, poz. 1843.

Rozporządzenie ministra cyfryzacji z dnia 26.11.2015 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie urządzeń radiowych nadawczych lub nadawczo-odbiorczych, które mogą być używane bez pozwolenia radiowego. DzU 2015, poz. 2174.

Rozporządzenie ministra rodziny, pracy i polityki społecznej z dnia 29.06.2016 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 27.06.2016 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU 2016, poz. 952.

Rozporządzenie ministra środowiska z dnia 30.10.2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów. DzU 2003, nr 192, poz. 1883.

Rozporządzenie ministra zdrowia i opieki społecznej z dnia 30.05.1996 r. w sprawie przeprowadzania badań lekarskich pracowników, zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydawanych do celów przewidzianych w Kodeksie pracy. DzU 1996, poz. 332; z późn. zm.

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10.09.1996 r. w sprawie wykazu prac szczególnie uciążliwych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet. DzU 1996, poz. 545; zm. DzU 2002, poz. 1092; z późn. zm.

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 24.08.2004 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym

i warunków ich i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac. DzU 2004, poz. 2047.

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 27.12.2013 r. w sprawie Krajowej Tablicy Przeznaczeń Częstotliwości. DzU 2014, poz. 161.

Różycki S. (2011) Ochrona środowiska przed polami elektromagnetycznymi. Informator dla administracji samorządowej. Warszawa, Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska 69 [dostęp: <http://www.gdos.gov.pl/Articles/view/3036/>].

Różycki S. (2015) Zestawienie liczb wydanych pozwoleń radiowych przez Prezesa UKE dla: stacji bazowych radiokomunikacji ruchomej (E-GSM, GSM900, GSM1800, UMTS, LTE), oraz stacji wykorzystujących technologię CDMA oraz linii radiowych na podstawie: Uke.gov.pl [Internet] Urząd Komunikacji Elektronicznej [cytowany 25 listopada 2015]. Adres: <http://www.uke.gov.pl>

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

PN-T-06260:1974 (PN-74/T-06260) Źródła promieniowania elektromagnetycznego. Znaki ostrzegawcze.

PN-ISO 7010:2012 Symbole graficzne. Barwy bezpieczeństwa i znaki bezpieczeństwa. Zarejestrowane znaki bezpieczeństwa.

PN-EN ISO/IEC 17025:2005. Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących.

METODA POMIARU *IN-SITU*⁶ PARAMETRÓW POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO CHARAKTERYZUJĄCYCH NARAŻENIE W PRZESTRZENI PRACY PODCZAS UŻYTKOWANIA NADAWCZYCH URZĄDZEŃ SYSTEMÓW RADIOKOMUNIKACYJNYCH - WYMAGANIA SZCZEGÓŁOWE

1. Cel stosowania metody

Pomiar parametrów narażenia na pole elektryczne (pole-E) i pole magnetyczne (pole-M) określony niniejszą metodą wykonuje się, aby scharakteryzować warunki narażenia na pole elektromagnetyczne (pole-EM) w przestrzeni pracy podczas użytkowania nadawczych urządzeń systemów radiokomunikacyjnych, 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 elektromagnetyczne (DzU 2016, poz. 950, zm. poz. 2284),
- 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 Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie

dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów (DzU 2003, poz.1883),

- 5) 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.),
- 6) 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.),
- 7) 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 w zakresie koniecznym do poprawnej realizacji wymienionych wymagań prawnych i wymagań ogólnych określonych w metodyce oceny parametrów pola-EM, charakteryzujących narażenie w przestrzeni pracy (Karpowicz i in. 2017) podczas użytkowania nadawczych urządzeń sieci radiokomunikacyjnych.

⁶ Pomiary *in situ* – oznaczają pomiary wykonane „na miejscu” w przestrzeni pracy, np. tam gdzie użytkowane są urządzenia systemów radiokomunikacyjnych emitujące pole elektromagnetyczne.

Metoda nie dotyczy pomiarów pola-EM występującego w przestrzeni pracy podczas użytkowania innych źródeł pola-EM, eksploatowanych w przestrzeni pracy lub zlokalizowanych w pobliżu urządzeń nadawczych systemów radiokomunikacyjnych, takich jak: infrastruktura elektroenergetyczna, narzędzia elektryczne czy inne urządzenia emitujące pola-EM.

2. Definicje i oznaczenia

Następujące terminy przyjęto zgodnie z wymaganiami R-BHP-EM: pole elektromagnetyczne, pole bliskie, pole niezaburzone, przestrzeń obsługi, przestrzeń pracy, powierzchnia dostępu, pion pomiarowy, punkt pomiarowy, narażenie, narażenie ogólne, narażenie miejscowe, narażenie quasi-stacjonarne, limity IPN, limity GPO, odporność elektromagnetyczna, strefy ochronne, pracujący, osoba potencjalnie narażona, użytkowanie, użytkownik, źródło pola-EM, pierwotne źródło pola-EM, wtórne źródło pola-EM.

Przyjęto również następujące oznaczenia:

- pole-EM – pole elektromagnetyczne
- pole-E – pole elektryczne
- pole-M – pole magnetyczne
- PWCZ – pole-EM wielkiej częstotliwości
- PMF – promieniowanie mikrofalowe
- IPN – Interwencyjny Poziom Narażenia
- WR – wartość równoważna natężenia pola-E lub pola-M
- RMS – wartość skuteczna natężenia pola-E lub pola-M
- R-BHP-EM – rozporządzenie MRPiPS w sprawie BHP przy pracach związanych z narażeniem na pole-EM (DzU 2016, poz. 950, zm. poz. 2284)
- R-NDN-EM – rozporządzenie MRPiPS zmieniające rozporządzenie w sprawie NDSiN czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (DzU 2016, poz. 952)

- RMS – rozporządzenie MŚ w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów (DzU 2003, poz.1883).

Dodatkowo przyjęto następujące definicje szczegółowe:

- EIRP – zastępcza moc promieniowana izotropowo, wyrażona jako iloczyn mocy sygnału wielkiej częstotliwości lub mikrofalowego doprowadzonego do anteny (wyrażonej w watach, W) i wartości jej zysku energetycznego (wyrażonego w watach na wat, W/W), który jest miarą zdolności anteny do skupiania energii w określonym kierunku
- radiowa stacja bazowa telefonii mobilnej w sieciach o przeznaczeniu publicznym – zespół urządzeń radiowych połączonych z antenami (stanowiącymi pierwotne źródło pola-EM), trwale umieszczonymi na obiekcie budowlanym w postaci: wieży, masztu lub innej konstrukcji wsporczej
- radiowa stacja bazowa radiokomunikacji ruchomej lądowej o przeznaczeniu innym niż publiczne – zespół urządzeń radiowych nieprzeznaczonych do eksploatacji w sieciach publicznych, połączonych z antenami (stanowiącymi pierwotne źródło pola-EM), trwale umieszczonymi na obiekcie budowlanym w postaci: wieży, masztu lub innej konstrukcji wsporczej
- modulacja sygnału radiowego – w radiotechnice oznacza zmienność co najmniej jednego z parametrów charakteryzujących zmienność sygnału w czasie, w szczególności: amplitudy, częstotliwości, fazy lub czasu trwania impulsów i częstotliwości ich powtarzania, niezależnie od zakresu takiej zmienności (co różni ten termin od pojęcia „pole-EM modulowane” zgodnie z wymaganiami R-BHP-EM)⁷.

⁷ Pole-EM modulowane – pole-EM traktowane jest jako modulowane, gdy wynik wyznaczania wartości miar narażenia odpowiadających limitom IPN uzależniony jest, co najmniej w 50% od jednego lub więcej parametrów modulacji pola-EM, w szczególności: zakresu zmian amplitudy, częstotliwości, fazy lub czasu trwania impulsów i częstotliwości ich powtarzania (R-BHP-EM; ust. 1.4.3).

3. Zakres stosowania metody

Metoda ma zastosowanie do pomiaru parametrów pola-EM, charakteryzujących narażenie pracujących lub osób potencjalnie narażonych podczas użytkowania nadawczych urządzeń systemów radiokomunikacyjnych, z uwzględnieniem zróżnicowanych warunków ich użytkowania⁸.

Nadawcze urządzenia systemów radiokomunikacyjnych zostały wymienione w R-BHP-EM wśród typowych źródeł pola-EM (w tabeli w załączniku nr 1 - pozycja 4.: stacje bazowe systemów telefonii komórkowej; pozycja 5.: nadawcze systemy tele- i radiokomunikacyjne - radio, telewizja itp.).

W zakresie stosowania omawianej metody pomiaru pola-EM w przestrzeni pracy, do nadawczych urządzeń systemów radiokomunikacyjnych zaliczono stałe (zamontowane na obiektach budowlanych) instalacje wykorzystywane do komunikacji lub transmisji danych – z wyłą-

eniem urządzeń radiokomunikacyjnych nie-wymagających pozwoleń radiowych⁹:

- radiowe stacje bazowe telefonii komórkowej w sieciach o przeznaczeniu publicznym
- radiowe stacje bazowe radiokomunikacji ruchomej o przeznaczeniu innym niż publiczne, w szczególności radiotelefoniczne stacje bazowe i przemiennikowe
- radiodifuzyjne stacje nadawcze (radiofonia i telewizja – RTV)
- linie radiowe punkt-punkt (tzw. radiolinie) oraz systemy punkt-wiele punktów
- inne urządzenia radionadawcze, których użytkowanie wymaga pozwoleń radiowych.

Typowe systemy radiokomunikacyjne pracują w zarezerwowanych dla nich pasmach częstotliwości z zakresu częstotliwości 0,1 MHz ÷ 100 GHz, obejmującym zakres PWCZ i częściowo PMF (tab. 1., 2.).

⁸ Użytkowanie źródła pola-EM – wszystkie prace wykonywane przy obiekcie lub w jego otoczeniu, podczas których może on stać się pierwotnym lub wtórnym źródłem pola-EM o parametrach zależnych od rodzaju tych prac, obejmujące w szczególności (R-BHP-EM; ust. 3.10):

- a) regulację parametrów roboczych, kontrolę techniczną lub inne czynności przy produkcji źródła pola-EM,
- b) prace badawczo-rozwojowe dotyczące źródła lub wykorzystania pola-EM,
- c) prace eksploatacyjne przy źródle pola-EM, wykonywane w zakresie:
 - obsługi związanej ze zmianą parametrów działania podczas zamierzonego stosowania źródła pola-EM, w granicach nominalnych parametrów roboczych
 - konserwacji, przeglądów serwisowych, regulacji lub innych prac, polegających na utrzymaniu odpowiedniej zdolności użytkowej i bezpieczeństwa funkcjonalnego
 - remontów polegających na: wykrywaniu niesprawności, usuwaniu usterek, naprawie uszkodzeń lub wymianie zużytych elementów, w celu osiągnięcia wymaganego stanu technicznego
 - montażu związanego z: instalowaniem, przyłączaniem, rozbudową lub przebudową źródła pola-EM
 - prac kontrolno-pomiarowych dotyczących prób i pomiarów kontrolnych do oceny stanu technicznego, parametrów eksploatacyjnych, sprawności i funkcjonowania układów regulacji źródła pola-EM,
- d) transport źródła pola-EM,
- e) zamierzone wykorzystywanie pola-EM w różnych celach użytkowych,
- f) prace renowacyjne dotyczące utrzymania odpowiedniego stanu obiektów technicznych związanych z użytkowanym źródłem pola-EM, takich jak: słupy, maszty i inne konstrukcje wsporcze, ogrodzenia, pomieszczenia i obiekty budowlane,
- g) prace dotyczące utrzymania porządku lub czystości przy źródle pola-EM i w jego otoczeniu,
- h) prace podczas pomiarów parametrów pola-EM w przestrzeni pracy.

⁹ Należy odnieść się do aktualnych wymagań dotyczących pozwoleń radiowych. Podczas opracowywania niniejszej metody urządzenia radiokomunikacyjne, niewymagające pozwoleń radiowych, były określane przez rozporządzenie Ministra Administracji i Cyfryzacji z dnia 12 grudnia 2014 r. w sprawie urządzeń radiowych nadawczych lub nadawczo-odbiorczych, które mogą być używane bez pozwolenia radiowego (DzU 2014, poz. 1843) oraz rozporządzenie Ministra Cyfryzacji z dnia 26 listopada 2015 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie urządzeń radiowych nadawczych lub nadawczo-odbiorczych, które mogą być używane bez pozwolenia radiowego (DzU 2015, poz. 2174).

Tabela 1.
Zakresy częstotliwości pola-EM urządzeń sieci radiokomunikacyjnych wyróżnione w R-BHP-EM

Rodzaj pola	Zakres częstotliwości	Długość fali	Oznaczenie
Pole-EM wielkiej częstotliwości	$100 \times 10^3 \text{ Hz} < f \leq 300 \times 10^6 \text{ Hz}$ [100 kHz < f ≤ 300 MHz]	3 km – 1m	PWCZ
Promieniowanie mikrofalowe	$300 \times 10^6 \text{ Hz} < f < 300 \times 10^9 \text{ Hz}$ [300 MHz < f < 300 GHz]	1 m – 1mm	PMF

Tabela 2.
Pasma częstotliwości przykładowych systemów sieci radiokomunikacyjnych użytkowanych w Polsce

System	Pasmo częstotliwości	Uwagi
Radiofonia AM	(0,18 ÷ 30) MHz	0,225 MHz – częstotliwość pracy nadajnika I programu Polskiego Radia
RTV (radiofonia FM, DAB i telewizja)	(87,5 ÷ 108) MHz (174 ÷ 230) MHz (470 ÷ 790) MHz	Radio FM Radio DAB Telewizja DVB-T
Telefonia komórkowa (CDMA, GSM, UMTS, LTE)	450 MHz i (800 ÷ 2600) MHz – wybrane pasma	
Niepubliczne sieci radiokomunikacyjne	(40 ÷ 470) MHz – wybrane pasma	
Linie radiowe, systemy punkt-wiele punktów	(5 ÷ 90) GHz – wybrane pasma	

Objaśnienia:

AM – modulacja amplitudowa sygnału radiowego; FM – modulacja częstotliwościowa sygnału radiowego; DAB – naziemna radiofonia cyfrowa; DVB-T – cyfrowa telewizja naziemna; CDMA (Code Division Multiple Access); GSM (Global System for Mobile Communications); UMTS (Universal Mobile Telecommunications System); LTE (Long Term Evolution).

Zakres wykonanych pomiarów powinien umożliwiać ocenę pola-EM w przestrzeni pracy, uwzględniając (zgodnie z wymaganiami określonymi w R-BHP-EM: zał. 3., cz. III, pkt. 4.):

1. Ocenę odpowiednich (ze względu na miary narażenia, dla których określono w R-NDN-EM limity IPN oraz ze względu na rozpoznane charakterystyki pola-EM) parametrów natężenia pola-E i pola-M w dziedzinie czasu. Systemy radiokomunikacyjne generują modulowane sygnały harmoniczne, dla których wartość równoważna bywa zbliżona do wartości skutecznej. W specyficznych przypadkach (np. dostęp do kanału w trybie TDMA –

Time Domain Multiple Access) sygnały te mają obwiednię w formie paczek impulsów radiowych. W takim przypadku może być konieczna analiza istotności składowej niepewności pomiarów wartości równoważnej natężenia pola-E i pola-M, z uwzględnieniem właściwości metrologicznych stosowanych mierników oraz rozbieżności między wartością równoważną sygnału i wartością wskazywaną przez miernik, bądź zastosowanie współczynników korekcyjnych, aby na podstawie wykonanych w dowolnych warunkach wyników pomiarów wartości skutecznej określić wartość równoważną

- odpowiadającą warunkom najsilniejszego narażenia. Rozbieżności takie wynikają m.in. z uśredniania przez miernik mierzonego sygnału ze stałą czasową charakterystyczną dla konstrukcji danego miernika i są funkcją stosunku tej stałej czasowej do długości cyklu modulacji mierzonego sygnału (np. pełnego cyklu nadawania ramki sygnału TDMA).
2. Określenie odpowiednio dokładnie zasięgów pola-EM stref ochronnych celem opracowania i wdrożenia programu stosowania środków ochronnych w przestrzeni pracy, gdzie jest rozpoznane narażenie na pole-EM.
 3. Określenie odpowiednio dokładnie rozkładu przestrzennego miejscowych wartości natężenia pola-E i pola-M w przestrzeni obsługi rozpoznanej w przestrzeni pola-EM stref ochronnych, celem oceny poziomu narażenia miejscowego części ciała, dla których określono zróżnicowane wartości limitów IPN lub GPO.
 4. W razie rozpoznania warunków użytkowania przestrzeni pracy wymagających od użytkownika oceny tymczasowości narażenia pracujących lub osób potencjalnie narażonych, określenie odpowiednio dokładnie rozkładu przestrzennego miejscowych wartości natężenia pola-E i pola-M celem umożliwienia mu wykonania oceny tymczasowości narażenia na pole-EM. Tymczasowość narażenia została określona w R-BHP-EM w zależności od wartości wskaźnika narażenia, który jest funkcją rozkładu narażeń quasi-stacjonarnych i dziennego czasu ich trwania. W polu-EM o częstotliwościach używanych przez sieci radiokomunikacyjne, wprowadzenia środków ochronnych dla zapewnienia tymczasowości narażenia lub szczegółowa ocena spełnienia kryterium tymczasowości narażenia na pole-EM wymagane są np. w przypadkach,

gdzie w polu-EM o częstotliwości przekraczającej 3 MHz:

- narażenie dłuższe od 1 godziny może wystąpić w przestrzeni pola-EM o natężeniu $E > 120$ V/m
- narażenie dłuższe od 2 godzin może wystąpić w przestrzeni pola-EM o natężeniu $E > 85$ V/m
- narażenie dłuższe od 4 godzin może wystąpić w przestrzeni pola-EM o natężeniu $E > 60$ V/m
- narażenie dłuższe od 8 godzin może wystąpić w przestrzeni pola-EM o natężeniu $E > 40$ V/m).

Niniejsza metoda ma zastosowanie w miejscach, w których rozpoznano pole-EM stref ochronnych, tj. ustalono zasięg pola-EM strefy pośredniej na podstawie dokumentacji sporządzonych zgodnie z RMŚ. Do realizacji wymagań prawa pracy zasięgi pola-EM strefy pośredniej, tj. przestrzeni w której występuje narażenie na pole-EM stref ochronnych, rozpoznaje się z rozdzielczością ± 50 cm.

W razie braku, nieaktualności lub niedostatecznej precyzji tej dokumentacji, w ramach przygotowania do pomiarów realizowanych zgodnie z opisaną tu metodą, przeprowadza się zgodnie z wymaganiami określonymi w RMŚ rozpoznanie zasięgów pola-E o natężeniu przekraczającym określony tam poziom ekspozycji dopuszczalny w miejscach dostępnych dla ludności ($E > 7$ V/m w polu-EM o częstotliwości przekraczającej 3 MHz lub $E > 20$ V/m dla wykorzystywanych w radiokomunikacji niższych częstotliwości).

4. Pomiary pola-EM

4.1. Przygotowanie 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 użytkownik określa na podstawie wyników przeprowadzonego i udokumentowanego rozpoznania pierwotnych 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 pracy¹⁰. Dla zapewnienia miarodajności wyników planowanych pomiarów, jako minimalne informacje charakteryzujące źródła pola-EM w przestrzeni pracy objętej tymi pomiarami (tj. charakteryzujące urządzenia systemów radiokomunikacyjnych), przyjmuje się co najmniej: określenie typu systemu radiokomunikacyjnego (np. zgodnie z tab. 2.), częstotliwościowe pasmo pracy z rozdzielczością nie gorszą niż $\pm 10\%$ oraz tryb pracy uwzględniający możliwą zmienność poziomu pola-EM w przestrzeni pracy i ustalenie warunków oceny narażenia. W razie braku wystarczających danych do pełnego rozpoznania źródeł pola-EM co do ich mocy, zakresu częstotliwości pracy, stosowanej modulacji itp., użytkownik przekazuje dostępne informacje wykonawcy pomiarów, który rozpoznaje źródła pola-EM podczas przygotowania do pomiarów pola-EM podczas wizji lokalnej przestrzeni pracy oraz odpowiednimi metodami pomiarowymi. W sprawozdaniu z pomiarów dokumentuje się sposób i zakres przeprowadzenia

rozpoznania, o którym mowa, jego wyniki oraz stwierdzone ograniczenia reprezentatywności wyników pomiarów¹¹, o ile wystąpiły z powodu braku pełnego rozpoznania parametrów źródeł pola-EM.

UWAGA I

Jeżeli istnieje taka możliwość przed przystąpieniem do pomiarów zaleca się oszacowanie mocy nadajników lub mocy EIRP, dla całego obiektu lub poszczególnych instalacji.

UWAGA II

Anteny wyłączone z nadawania lub anteny odbiorcze mogą stać się wtórnymi źródłami pola-EM, jeżeli znajdują się w polu-EM emitowanym przez sąsiednie aktywne anteny nadawcze.

UWAGA III

Pasma częstotliwości, użytkowane przez poszczególne systemy radiokomunikacyjne na podstawie odpowiednich decyzji administracyjnych¹², podlegają administracyjnej i technicznej kontroli znacznie dokładniejszej niż wymagane do celów oceny narażenia pracujących rozpoznanie częstotliwości z dokładnością $\pm 10\%$, dlatego doświadczone potwierdzenie rozpoznania częstotliwości mierzonego pola-EM nie jest konieczne w przypadku rozpoznania źródeł pola-EM pracujących w takich systemach radiokomunikacyjnych, których częstotliwości pracy obejmują pasma częstotliwości, w których wartości odpowiednich IPN, jak i czułości stosowanej aparatury pomiarowej mogą być uznane za niezależne od częstotliwości.

W przypadku nadawczych urządzeń sieci radiokomunikacyjnych, jako pierwotne źródła

¹⁰ Rozpoznanie źródeł pola-EM przez użytkownika dotyczy (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.

¹¹ 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 pomiarami, uniemożliwiającego wykonanie ich zgodnie z przeznaczeniem (tj. do realizacji wymagań prawa pracy) lub istotnie wpływającego na niepewność wyników planowanych pomiarów, ich wykonawca powinien poinformować użytkownika o ograniczeniach z tym związanych (dotyczących reprezentatywności wyniku pomiaru do zamierzonego zastosowania w ocenie pola-EM), a w sprawozdaniu z pomiarów przedstawić informacje o zakresie niedostępnych danych lub ograniczonego zakresu pomiarów i ich przyczynach.

¹² Podczas opracowywania niniejszej metody pasma częstotliwości dla poszczególnych systemów radiokomunikacyjnych były określane na podstawie rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 27 grudnia 2013 r. w sprawie Krajowej Tablicy Przenaczeń Częstotliwości (DzU 2013, poz. 161).

pola-EM, rozpoznaje się: nadajnik (układ generacji fali nośnej, modulator i wzmacniacz mocy), linię transmisyjną (tzw. fider zwykle w formie kabla koncentrycznego lub falowodu) oraz antenę. W niektórych urządzeniach (np. liniach radiowych) wyjście nadajnika połączone jest bezpośrednio z anteną. W prawidłowo zaprojektowanym i użytkowanym systemie radiokomunikacyjnym pierwotnymi źródłami pola-EM są tylko anteny nadawcze, w szczególnych przypadkach również układy nadajnika i złącza w układach mocy wielkiej częstotliwości. Natomiast, ze względu na wymiary geometryczne, fidery mogą stać się wtórnymi źródłami pola-EM, szczególnie jeżeli ich długość jest porównywalna lub przekracza długość fali oddziałującego na nie pola-EM.

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. Do miejsc takich zalicza się w szczególności: drogi dojścia do anten i nadajników, drabinki, podesty, miejsca wykonywania prac niezwiązanych bezpośrednio z obsługą instalacji radiokomunikacyjnych, ale znajdujących się w obszarze oddziaływania pola-EM, np.: podesty przy kominach, instalacje wentylacyjne, instalacje odgromowe, opierzenia dachu, rynny a nawet całe otoczenie anteny (np.: teren, taras, dach, zadaszenie, pomieszczenia sąsiadujące z antenami lub nadajnikami itp.). Rozpoznanie powinno obejmować przestrzeń, w której jest spodziewane wystąpienie pola-EM stref ochronnych oraz otoczenie potencjalnych wtórnych źródeł pola-EM, nawet jeżeli są poza tą przestrzenią. Na podstawie pomiarów testowych oraz doświadczenia przyjmuje się, że pola-EM stref ochronnych przy źródłach wtórnych można spodziewać się, jeżeli w swobodnej przestrzeni w otoczeniu tych źródeł natężenie pola-E przekracza połowę wartości IP_{Np-E} .

W każdym przypadku użytkownik powinien określić przestrzeń obsługi i czynności obsługowe w niej wykonywane oraz powierzchnie dostępu m.in. pierwotnych i wtórnych źródeł pola-EM. Powierzchnie dostępu źródeł pola-EM w otoczeniu urządzeń radiokomunikacyjnych zwykle stanowią: metalowe konstrukcje nośne do mocowania anten, drabinki, podesty, barierki, tory kablowe, a także złącza anten; często także metalowe drzwi szaf telekomunikacyjnych i elementy obudów anten, a także krańce dostępnych miejsc na dachach, tarasach czy terenu będącego w dyspozycji użytkownika.

UWAGA IV

Stacje bazowe oraz inne systemy radiokomunikacyjne są instalowane albo na wieżach należących do operatorów i wtedy użytkownikiem ich otoczenia jest tylko operator, albo na innych obiektach (np. dachach budynków, kominach itp.) i wtedy grono użytkowników obejmuje zarówno operatora, jak również właściciela i użytkowników obiektu, a jako osoby narażone lub potencjalnie narażone traktuje się wszystkich wykonujących prace na rzecz tych użytkowników. Przy obiektach nadawczych dużej mocy przestrzeń pracy, w której rozpoznano pole-EM stref ochronnych, może wystąpić również w sąsiednich obiektach budowlanych (np. na dachach, tarasach lub w pomieszczeniach), rozszerzając grono użytkowników, o których mowa.

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 określenia, m.in.: warunków pracy rozpoznanych źródeł pola-EM podczas pomiarów, parametrów wymaganej aparatury pomiarowej i lokalizacji punktów pomiarowych. Na tej podstawie określa się: warunki dostępności niezbędnych danych technicznych dotyczących nadawczych urządzeń systemów radiokomunikacyjnych i obiektów technicznych, zlokalizowanych w przestrzeni pracy objętej planowanymi pomiarami

oraz ich termin a także parametry pracy tych źródeł podczas pomiarów i warunki ich obsługi przez przedstawicieli użytkowników (o ile taka jest wymagana) – z zachowaniem wymagań określonych w punktach 4.2. – 4.4. (o ile te źródła pola-EM umożliwiają regulację parametrów ich pracy).

Do zapewnienia poprawnej pracy aparatury pomiarowej podczas pomiarów na zewnątrz budynków konieczne jest wybranie terminu pomiarów tak, aby warunki środowiskowe spełniały następujące wymagania: temperatura powietrza powyżej 0 °C, wilgotność względna powietrza nie więcej niż 75%, dodatkowo – brak opadów atmosferycznych. Warunki te powinny być kontrolowane podczas pomiarów i udokumentowane w sprawozdaniu.

4.2. Miary narażenia na pole-EM

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

- 1) ocenę wartości równoważnej natężenia pola-E i pola-M w dziedzinie czasu, niezależnie od rozpoznanych charakterystyk zmienności pola-EM, a w razie rozpoznania przestrzeni pola-EM narażenia niebezpiecznego również wartości skutecznej natężenia pola-E i pola-M obliczonej w okresie dowolnych 6 min.,
- 2) określenie odpowiednio dokładnie zasięgów pola-E i pola-M stref ochronnych,
- 3) w razie rozpoznania pola-EM strefy zagrożenia w przestrzeni obsługi, określe-

nie odpowiednio dokładnie rozkładu przestrzennego miejscowych wartości natężenia niezaburzonego pola-E i pola-M w punktach pomiarowych¹³ charakteryzujących narażenie: głowy, tułowia i kończyn,

- 4) w razie rozpoznania okoliczności wymagających od użytkownika oceny tymczasowości narażenia na pole-EM, określenie odpowiednio dokładnie rozkładu przestrzennego narażeń quasi-stacjonarnych, wymagających uwzględnienia podczas tej oceny.

Zasięgi pola-EM stref ochronnych określa się w odniesieniu do limitów IPN zgodnie z wymaganiami określonymi w R-NDN-EM. W tabeli 2. przedstawiono limity IPN pola-E i pola-M dotyczące zakresu częstotliwości wykorzystywanych przez typowe urządzenia radiokomunikacyjne pracujące w pasmach częstotliwości powyżej 10 MHz. Dla nielicznych systemów o niższych częstotliwościach pracy – limity są wyższe (zależne od częstotliwości) i w takim przypadku należy wyznaczyć je zgodnie z wymaganiami określonymi w R-NDN-EM. W przypadku zidentyfikowania w przestrzeni pracy źródeł o pasmach pracy, gdzie występują różne limity IPN i braku technicznej możliwości oceny oddzielnie pola-EM poszczególnych źródeł, zasięgi stref ochronnych wyznacza się na podstawie najniższych limitów z całego rozpoznanego pasma częstotliwości (ocena najgorszego przypadku), o ile taka ocena będzie wystarczająca do określenia zakresu stosowania środków ochronnych, koniecznych ze względu na oddziaływanie pola-EM w przestrzeni pracy.

W zakresie częstotliwości przekraczających 800 MHz (rozpoznanym z rozdzielczością nie gorszą niż $\pm 10\%$) przyjmuje się war-

¹³ Punkt pomiarowy – punkt w przestrzeni pracy reprezentujący rozkład przestrzenny poziomu miejscowych wartości natężenia pola-E lub pola-M, uśrednionego w przestrzeni o kształcie sześciangu i o długości krawędzi 10 cm, której środek reprezentuje położenie referencyjnej bezkierunkowej sondy niezaburzonego pola-EM bliskiego [wg: R-BHP-EM; zał. nr 3, cz. III, pkt. 1.2.].

tości natężenia pola-M wyznaczone na podstawie pomiaru natężenia pola-E i zależności $E [V/m] / H [A/m] = 377 [\Omega]$ (odnoszącej się np. do wartości skutecznych natężenia pola-E i pola-M – zgodnie z wymaganiami określonymi w R-BHP-EM §2.4.1), tj. wynoszące

liczbowo ok. 0,25% wartości zmierzonego natężenia pola-E. Dla częstotliwości niższych ocenia się pomiarowo niezależnie pole-E i pole-M.

Tabela 3.

Limity narażenia w przestrzeni pracy na pole-EM wytwarzane podczas użytkowania urządzeń sieci radiokomunikacyjnych pracujących w paśmie 10 MHz ÷ 100 GHz (R-NDN-EM)

Strefy ochronne pola-EM lub parametry metrologiczne aparatury pomiarowej	Wartości Interwencyjnych Poziomów Narażenia (IPN) dotyczących pola-EM o częstotliwościach 10 MHz ÷ 100 GHz lub zakres pracy aparatury pomiarowej		Uwagi
	natężenie pola-E, E w V/m	natężenie pola-M, H w A/m	
Strefa bezpieczna $E < IPNp-E$ $H < IPNp-H$	$E < 7$ –	– –	ze względu na stosowanie danych charakteryzujących pole-EM, opracowanych do wymagań rozporządzenia ministra środowiska (RMŚ), (DzU 2013, poz. 1883) zasięg strefy pośredniej wyznacza się na podstawie pomiaru tylko pola-E
Strefa pośrednia $IPNp-E \leq E < IPNod-E$ $IPNp-H \leq H < IPNod-H$	$7 \leq E < 20$ –	– –	
Strefa zagrożenia $IPNod-E \leq E < IPNog-E$ $IPNod-H \leq H < IPNog-H$	$20 \leq E < 240$ –	– $0,053 \leq H < 0,32$	jeśli $f > 800$ MHz to zasięg strefy wyznacza natężenie pola-E: $20 \text{ V/m} \leq E < 120 \text{ V/m}$
Strefa niebezpieczna $E \geq IPNog-E$ $H \geq IPNog-H$	$E \geq 240$ –	– $H \geq 0,32$	jeśli $f > 800$ MHz to zasięg strefy wyznacza natężenie pola-E: $E \geq 120 \text{ V/m}$
Limit bazowy $IPNob-E$ $IPNob-H$	60 –	– 0,16	jeśli $f > 800$ MHz to limit bazowy pola-M wyznacza natężenie pola-E: $E = 60 \text{ V/m}$
Minimalna czułość pomiarów pola-EM	7	0,05	ze względu na wyznaczanie granicy strefy pośredniej pola-M na podstawie pomiarów ograniczonych do pola-E, określonych wg RMŚ, minimalna czułość pomiaru pola-M wynosi $IPNod-H$
Sugerowany zakres pomiarów pola-EM	3 ÷ 240	0,025 ÷ 0,32	

Objaśnienia:

f – częstotliwość; $IPNp-E$, $IPNp-H$ – dolna granica strefy pośredniej; $IPNod-E$, $IPNod-H$ – dolna granica strefy zagrożenia; $IPNog-E$, $IPNog-H$ – górna granica strefy zagrożenia (tj. granica strefy niebezpiecznej); $IPNob-E$, $IPNob-H$ – limit operacyjny bazowy.

UWAGA V

Na podstawie analizy wartości IPNog-E i IPNog-H, podczas pomiarów pola-EM o częstotliwości powyżej 800 MHz, kiedy do oceny pola-M jest stosowany stały współczynnik E/H i wyniki pomiarów pola-E, granica strefy niebezpiecznej rozpoznana powinna być przy natężeniu pola-E wynoszącym 50% IPNog-E podanego w tabeli 3. (patrz komentarze podane w tabeli 3.).

Ze względu na zmienność poziomu pola-EM w zależności od warunków użytkowania urządzeń nadawczych systemów radiokomunikacyjnych, zaleca się korzystanie z mierników o dolnym progu detekcji (czułości) poniżej najniższego IPNp, np. w zakresie, jaki określono w ostatnim wierszu tabeli 3.

4.3. Zakres oceny narażenia na pole-EM

Ocena narażenia na pole-EM podczas użytkowania urządzeń radiokomunikacyjnych jest dostosowywana, zgodnie z wymaganiami określonymi w R-BHP-EM (zał. 3., cz. III, pkt. 3.), do wyników rozpoznania dotyczących¹⁴:

- 1) charakterystyki przestrzeni pracy i obiektów, 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 podczas emisji pola-EM (tj. nadawania sygnałów radiokomunikacyjnych), o których mowa w punkcie 1. i 2.,
- 4) przestrzeni obsługi, określonej zgodnie z wymaganiami zawartymi w rozporządzeniu R-BHP-EM, o ile ona występuje, również zróżnicowanego użytkowania tej przestrzeni, z uwzględnieniem różnych parametrów emisji pola-EM,

- 5) rodzaju i częstotliwości pola-EM (ze względu na pomiary pola-EM w przestrzeni pracy rozpoznane to obejmuje częstotliwość pola-EM z rozdzielczością nie gorszą niż $\pm 10\%$ i jego modulację, z uwzględnieniem różnych trybów pracy nadajników, o ile takie występują).

Podczas pomiarów należy kontrolować zmienność poziomu miar pola-EM w przestrzeni pracy (np. zmienność poziomu wartości RMS). Zaleca się wykonanie pomiarów kontrolnych w wybranych punktach referencyjnych w przestrzeni pracy co najmniej dwukrotnie (a jeżeli pomiary trwają dłużej niż pół godziny i jest techniczna możliwość ich powtarzania – to co pół godziny). Punkt referencyjny należy wybrać w przestrzeni pola-EM co najmniej strefy pośredniej. Na dużych obiektach lub na obiektach, gdzie zainstalowane jest kilka instalacji radiokomunikacyjnych, zaleca się wybranie co najmniej dwóch punktów referencyjnych. Zmienność poziomu pola-EM w punktach referencyjnych powinna być udokumentowana w sprawozdaniu z pomiarów i uwzględniona podczas szacowania niepewności oceny narażenia, a jeżeli wyznaczona z uwzględnieniem tej zmienności niepewność przekroczy 30% – pomiary należy uznać za niemiarodajne, chyba że zostaną zastosowane odpowiednie współczynniki korekcyjne na podstawie udokumentowanych parametrów zmienności pracy źródła.

Rozpoznane w przestrzeni pracy miejsca lub powierzchnie, do których podczas pomiarów dostęp jest zabroniony lub niemożliwy bez użycia sprzętu technicznego innego niż typowy przewidziany do zapewnienia dostępu do tej przestrzeni pracy (np. systemy asekuracyjne), wyłączają się z oceny narażenia na pole-EM. Zakres i uzasad-

¹⁴ 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 źródeł pola-EM w przestrzeni pracy objętej pomiarami lub innego niż rozpoznano charakteru ich zmienności w czasie).

nienie takich wyłączeń dokumentuje się w sprawozdaniu z pomiarów.

UWAGA VI

W razie konieczności wykonania pomiarów pola-EM w obszarach wyłączonych, ze względu na konieczność prowadzenia w nich prac specjalistycznych, pomiary takie wykonuje się z zachowaniem koniecznych środków ochronnych oraz pod warunkiem dostępności odpowiedniej aparatury pomiarowej, a w sprawozdaniu dokumentuje się ograniczenia dotyczące reprezentatywności i dokładności wyników takich pomiarów.

4.5. Aparatura pomiarowa

Aparatura pomiarowa stosowana do pomiarów pola-EM w przestrzeni pracy urządzeń radiokomunikacyjnych powinna umożliwiać pomiar:

- 1) natężenia pola-E w pełnym paśmie częstotliwości rozpoznanych w przestrzeni pracy składowych pola-EM,
- 2) natężenia pola-M w paśmie częstotliwości składowych pola-EM rozpoznanych w przestrzeni pracy do częstotliwości 800 MHz (rozpoznanych z rozdzielczością częstotliwości nie gorszą niż $\pm 10\%$), dla częstotliwości wyższych wartość natężenie pola-M wyznacza się na podstawie przeliczenia z wyniku pomiaru wartości natężenia pola-E,
- 3) wartości równoważnej natężenia pola-M i pola-E w dziedzinie czasu (jak określono w R-NDN-EM),
- 4) w razie rozpoznania przestrzeni pola-EM narażenia niebezpiecznego również wartości skutecznej natężenia pola-E i pola-M obliczonej w okresie dowolnych 6 min.,
- 5) w zakresie dynamiki odpowiednim do oceny poziomu ekspozycji pomijalnej, narażenia kontrolowanego i narażenia niebezpiecznego na pole-EM o częstotliwości jak określono w pkt. (1), tj. co najmniej

w zakresie od najmniejszej wartości limitu IPNp do największej wartości limitu IPNog (tab. 3.: zaleca się wykorzystanie aparatury umożliwiającej pomiary z czułością obejmującą wartości niższe niż IPNp – co najmniej jak określono w jej ostatnim wierszu),

- 6) rozkładu przestrzennego poziomu miejscowych wartości natężenia pola-E i pola-M, tj. uśrednionych w przestrzeni o kształcie sześciianu i o długości krawędzi 10 cm, której środek reprezentuje położenie referencyjnej bezkierunkowej sondy niezaburzonego pola-EM bliskiego,
- 7) niezaburzonego pola-EM bliskiego, umożliwiając odseparowanie osób wykonujących badania na odległość co najmniej 1 metra od sondy pomiarowej,
- 8) którego wynik w co najmniej 90% jest skutkiem oddziaływania pola-EM na sondę pomiarową, tj. pomiar z wykorzystaniem sondy pomiarowej o możliwych do zdefiniowania podczas pomiarów lokalizacji i wymiarach, umożliwiający ocenę miejscowych wartości natężenia pola-M lub pola-E (jak określono w punkcie 6.),
- 9) przy którym pośrednie oddziaływanie pola-EM (tj. niezwiązane z jego oddziaływaniem na sondę pomiarową) ma pomijalny wpływ na wynik pomiaru (w granicach jego akceptowalnej niepewności), tzn. odporność elektromagnetyczna aparatury pomiarowej wystarczająco ogranicza zakłócenia wyników pomiaru, wynikające ze skutków pośredniego oddziaływania pola-EM na inne niż sonda elementy zestawu pomiarowego¹⁵.

UWAGA VII

Pomiar należy wykonywać aparaturą pomiarową wzorcowaną okresowo w zakresie odpowiednim do rozpoznanego w przestrzeni pracy pola-EM, pod względem:

¹⁵ Charakterystyki metrologiczne aparatury pomiarowej i zasady ich sprawdzania lub wzorcowania w zakresie koniecznym do zapewnienia jakości pomiarów parametrów narażenia na pole-EM, wymaganej przez R-BHP-EM, omówiono w publikacji przeglądowej: 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), 41–74.

częstotliwości, dynamiki i modulacji pola-EM wykorzystanego podczas wzorcowania. Zakres wzorcowania powinien zapewnić spełnienie wymagań określonych w R-BHP-EM (zał. 3., cz. III, p.11.3. i 12.4.). Aparatura pomiarowa powinna również podlegać sprawdzeniom charakterystyk metrologicznych – w szczególności w zakresie odporności elektromagnetycznej zgodnie z wymaganiami dotyczącymi jakości pomiarów, koniecznej do realizacji wymagań określonych w R-BHP-EM. Ponadto do realizacji poszczególnych badań w okresie między wzorcowaniami aparatura powinna przechodzić bieżące testy sprawności w ramach przygotowania do pomiarów, np. przez monitorowanie wyników pomiarów w polu-EM wybranego źródła.

Wymagania dotyczące charakterystyki częstotliwościowej i dynamicznej dla pomiarów pola-EM zależą od zidentyfikowanych w przestrzeni pracy źródeł pola-EM, np. dla nadajników radiofonii UKF spełnienie wymagań zapewnia jeden z przykładowych zakresów wzorcowania w polu-E lub polu-M sinusoidalnie zmiennym:

Zakres I (badania miernika o udokumentowanej linio-wości)

- charakterystyka częstotliwościowa przy: 80; 100 i 200 MHz
- charakterystyka dynamiczna, przy częstotliwości 100 MHz, co najmniej w zakresie natężenia pola-E ($3 \div 60$) V/m, a pola-M ($0,025 \div 0,16$) A/m.

Zakres II

- charakterystyka częstotliwościowa przy: 10; 27; 80; 100 i 200 MHz
- charakterystyka dynamiczna, przy częstotliwości 27 MHz, co najmniej w zakresie natężenia pola-E ($3 \div 240$) V/m, a pola-M ($0,025 \div 0,32$) A/m.

UWAGA VIII

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

UWAGA IX

Doboru zakresów częstotliwości pracy aparatury pomiarowej dokonuje się na podstawie rozpoznania źródeł pola-EM w przestrzeni pracy. Przykładowo przy pomiarach pojedynczego nadajnika UKF FM jest niezbędne pasmo pomiarowe pokrywające co najmniej ($80 \div 110$) MHz, dla pomiarów np. na podeście, na którym są zainstalowane tylko anteny sektorowe telefonii mobilnej (LTE, GSM, UMTS), pasmo pomiarowe powinno pokrywać co najmniej ($800 \div 2600$) MHz, ale jeżeli na tym podeście zainstalowane są także linie radiowe – pomiar powinien obejmować zarówno pasmo pracy telefonii mobilnej, jak również linii radiowych. Ogólnie, dla obiektów wielosystemowych aparatura

pomiarowa (sonda lub sondy pomiarowe) powinna obejmować wszystkie zakresy częstotliwości pracy rozpoznanych systemów radiokomunikacyjnych.

Jeżeli w przestrzeni pracy zidentyfikowano częstotliwości źródeł pola-EM z zakresów, dla których pomiary trzeba wykonać różnymi miernikami/sondami (np. ze względu na ograniczone pasma pracy sond pomiarowych), to jako natężenie pola w punkcie pomiarowym wykorzystuje się wartość równoważną wypadkowego natężenia pola oszacowaną według zależności (1) i (2):

$$E_{wypadkowe} = \sqrt{E_{sondy1}^2 + E_{sondy2}^2} \quad (1)$$

$$H_{wypadkowe} = \sqrt{H_{sondy1}^2 + H_{sondy2}^2} \quad (2)$$

UWAGA X

Stosowanie zależności (1) i (2) może powodować znaczne zawyżenie wyniku pomiaru (max do 50%), jeżeli pasma pracy poszczególnych sond częściowo się pokrywają i jeżeli w miejscu pomiarów występuje pole-EM o częstotliwościach, w częściach wspólnych pasm sond pomiarowych.

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. przez wybór właściwej sondy pomiarowej lub ustawień trybu pracy aparatury pomiarowej). Przygotowanie aparatury powinno również obejmować realizację bieżących testów, o których mowa w uwadze VI.

4.6.2. Wyznaczenie zasięgów pola-EM stref ochronnych

Definicję pola-EM poszczególnych stref ochronnych (niebezpiecznej, zagrożenia i pośredniej)

oraz strefy bezpiecznej, a także limity IPN wyznaczające ich zasięgi, określono w R-BHP-EM (tab. 3.). Pole-EM stref ochronnych, zgodnie z wymaganiami określonymi w R-NDN-EM jest ustalane w danym miejscu na podstawie maksymalnych miejscowych wartości natężenia pola-E i pola-M (zmierzonych lub obliczonych na podstawie pomiaru natężenia pola-E o częstotliwości $f > 800$ MHz) w pionach pomiarowych, zlokalizowanych od powierzchni podłoża do wysokości co najmniej 2 metrów nad powierzchniami płaskimi, a jeżeli przestrzeń pracy obejmuje drabinki lub inny osprzęt umożliwiający przemieszczanie się w pionie – to na całej wysokości tych dróg komunikacyjnych.

W przestrzeni obsługi, rozpoznanej na podstawie dokumentacji przekazanej przez użytkownika oraz wizji lokalnej, należy zidentyfikować powierzchnie dostępu, w tym wymagające zbadania jako możliwe źródła wtórne: drabinki, balustrady i barierki, elementy konstrukcyjne, instalacje odgromowe, rynny, tory kablowe, obudowy szaf, nadajników, a także krańce dostępnych miejsc na dachach, tarasach czy terenu będącego w dyspozycji użytkownika.

Jeżeli powierzchnie dostępu są metalowe, to za wartość natężenia pola-EM bezpośrednio przy powierzchni dostępu należy przyjąć wartość: $E = 3E_1 - 2E_2$, wyznaczoną na podstawie pomiarów miejscowych wartości E_1 i E_2 , określonych przy odległości środka referencyjnej sondy od tego obiektu wynoszącej odpowiednio 10 i 20 cm (i analogicznie przy metalowym podłożu), (zgodnie z R-BHP-EM: zał. 3., cz. III, p. 1.2). Analogicznie dla pola-M o częstotliwości $f < 800$ MHz. Jeżeli przy powierzchni dostępu poziom pola-EM przekracza granicę strefy niebezpiecznej, tzn. $E > \text{IPNog-E}$ lub $H > \text{IPNog-H}$, 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.

Zasięgi pola-EM stref ochronnych należy wyznaczyć tak, aby zlokalizowanie przestrzeni pracy w polu-EM poszczególnych stref było możliwe z rozdzielczością przestrzenną nie gorszą niż ± 50 cm.

W celu wyznaczenia wartości maksymalnych natężenia pola-E lub pola-M w wybranej przestrzeni lub pionie pomiarowym obserwuje się wskazania miernika w trakcie jego przemieszczania od powierzchni podłoża do wysokości 2 m, rozpoznając lokalne gradienty natężenia pola. Do prawidłowego odczytu wartości natężenia pola-E lub pola-M w określonym miejscu należy chwilowo zatrzymać ruch sondy na czas odpowiednio długi do uzyskania stabilnego wskazania miernika. Lokalne zmiany natężenia pola-E lub pola-M mogą wynikać z oddziaływania pierwotnych źródeł (anten) lub być skutkiem występowania fal stojących powstałych z sumowania pola-EM docierającego do określonego miejsca bezpośrednio ze źródła pierwotnego i odbitego od podłoża lub źródeł wtórnych.

Podczas wyznaczania zasięgów pola-EM stref ochronnych sondę pomiarową przemieszcza się w pionach pomiarowych. Za zasięgi pola-EM odpowiednich stref ochronnych należy przyjmować odległości od źródła lokalizacji pionów pomiarowych, w których maksymalne wyniki pomiarów nie przekraczają odpowiednich limitów IPN pola-E i pola-M, wybierając większy z tych zasięgów.

Pomiary pola-EM emitowanego przez nadawcze urządzenia radiokomunikacyjne podejmuje się w przestrzeni pracy, gdzie rozpoznano zasięg pola-EM strefy pośredniej, wyznaczony jako udokumentowany zasięg występowania pola-E o wartościach większych od dopuszczalnych zgodnie z RMŚ (tj. o natężeniu przekraczającym 7 V/m w przypadku pola-EM o częstotliwości $f \geq 3$ MHz, lub o natężeniu przekraczającym 20 V/m w przypadku pola-EM o mniejszych częstotliwościach). Jeżeli brak danych o zasięgu pola-EM strefy pośredniej na podstawie realizacji wymagań określonych w RMŚ

(wcześniejsza ocena pola-EM wg wymagań tego rozporządzenia), należy rozpocząć pomiary od zewnętrznej granicy przestrzeni pracy (np. od wejścia na teren użytkownika, wjazdu czy drzwi wejściowych na dach, podstawy drabinki, wejścia do pomieszczenia itp.) aż do wyznaczenia zasięgu pola-EM strefy pośredniej.

Wyznaczenie zasięgu pola-EM strefy zagrożenia i niebezpiecznej prowadzi się następująco:

- 1) bezpośrednio przy powierzchni dostępu rozpoznanych w przestrzeni pracy pierwotnych i wtórnych źródeł pola-EM, ocenia się maksymalne wartości natężenia pola-E i pola-M dla łącznego oddziaływania wszystkich źródeł, w celu rozpoznania maksymalnego poziomu ekspozycji i określenia zakresu dalszych pomiarów – stwierdzenie w tych miejscach poziomu narażenia nie przekraczającego górnej granicy strefy pośredniej ($E < IPN_{od-E}$ i $H < IPN_{od-H}$) kończy pomiary,
- 2) dalsze pomiary zaczyna się od granicy przestrzeni pola-EM strefy pośredniej, przemieszczając się w kierunku źródła, aż do rozpoznania granicy strefy zagrożenia lub osiągnięcia powierzchni dostępu. Procedurę należy powtórzyć na innych kierunkach pomiarowych tak, żeby wyznaczyć zasięgi pola-EM strefy zagrożenia w całej przestrzeni pracy z wymaganą rozdzielczością. Po wyznaczeniu pierwszego pionu określającego zasięg strefy zagrożenia, następny pion wybiera się w kierunku najbliższych źródeł pierwotnych lub wtórnych – w takiej odległości od poprzedniego pionu, aby biorąc pod uwagę charakterystykę zmienności przestrzennej poziomu pola-EM w przestrzeni pracy objętej pomiarami było możliwe określenie zasięgu pola-EM strefy zagrożenia z rozdzielczością przestrzenną nie gorszą niż ± 50 cm. Powtarzając powyższe czynności należy wyznaczyć zasięg pola-EM strefy zagrożenia ograniczony powierzchniami dostępu albo zasięgiem pola-

EM strefy niebezpiecznej. Lokalizacja pionów oznaczających zasięgi pola-EM stref ochronnych (zagrożenia i niebezpiecznej) powinna być jednoznacznie zidentyfikowana i udokumentowana w sprawozdaniu. W tym celu w polu-EM o częstotliwości do 800 MHz przeprowadza się niezależne pomiary natężenia pola-E i pola-M, natomiast dla częstotliwości powyżej 800 MHz – tylko pomiary natężenia pola-E (uwzględniając, że ze względu na limit IPNog-H, poziom narażenia odpowiadający granicy strefy niebezpiecznej rozpoznaje się przy natężeniu pola-E wynoszącym 50% odpowiedniej wartości granicznej IPNog-E, tj. w polu-EM o natężeniu $E = 120$ V/m),

- 3) jeżeli w przestrzeni pracy, poza wyznaczonym zasięgiem pola-EM stref ochronnych, zidentyfikowano obiekty metalowe mogące stać się wtórnymi źródłami pola-EM, w ich otoczeniu należy przeprowadzić dodatkowe pomiary dla rozpoznania czy nie występuje tam pole-EM stref ochronnych,
- 4) pomiary przy metalowych powierzchniach dostępu należy wykonywać następująco:
 - a) przemieszczając sondę pomiarową wzdłuż powierzchni dostępu znaleźć wartość maksymalną natężenia pola (dopuszcza się w tym przypadku nawet przemieszczanie sondy w styczności z powierzchnią dostępu, ponieważ celem takiego rozpoznania jest zidentyfikowanie miejsca, gdzie występuje maksymalne natężenie pola a nie pomiar jego wartości). Jeżeli elementy metalowe mają długość przekraczającą $\frac{1}{4}$ długości fali emitowanej przez źródło, należy się spodziewać występowania na tych elementach fali stojącej i tym samym okresowej zmiany natężenia pola wzdłuż takich elementów
 - b) w miejscu, gdzie zidentyfikowano maksimum należy wykonać pomiar w odległości środka sondy 10 cm od powierzchni. Jeżeli powierzchnia dostępu

jest płaska – 10 cm odmierza się prostopadle do tej powierzchni. Jeżeli powierzchnia dostępu nie jest płaszczyzną (np. szczebel drabinki, rynna, zwód uziemiający itp.) należy wyznaczyć kierunek, na którym wynik pomiaru w odległości 10 cm jest największy. Następnie na tym samym kierunku wykonać pomiar w odległości 20 cm.

Jeżeli pomiar w odległości 10 cm nie wykazał wartości większej od 1/3 wybranego limitu IPN, można pominąć pomiar w odległości 20 cm, przyjmując, że przy powierzchni dostępu natężenie pola nie przekracza tego limitu IPN. Jeżeli pomiar $E1 \approx E2$, to należy przyjąć, że zidentyfikowana powierzchnia dostępu nie jest wtórnym źródłem pola-EM, jednak może znajdować się w przestrzeni pola-EM stref ochronnych, jeżeli $E1$ przekracza wartość IPNp.

UWAGA XII

Oddziaływanie pola-EM stref ochronnych określono w R-BHP-EM jako narażenie ogólne, tj. takie oddziaływanie pola-EM, podczas którego maksymalne miejscowe natężenie pola-M lub natężenie pola-E oddziałującego na głowę lub tułów przekracza wartości odpowiedniego limitu IPNp-E lub IPNp-H.

UWAGA XIII

Jako narażenie miejscowe określono w R-BHP-EM 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 IPNp-E lub IPNp-H.

Urządzenia nadawcze wielu systemów radiokomunikacyjnych charakteryzują się zmienną w czasie mocą doprowadzaną do anten, a tym samym zmiennością poziomu PWCZ lub PMF w otoczeniu źródła (np. radiowe stacje bazowe telefonii komórkowej sieci publicznych). Zgodnie z wymaganiami określonymi w R-BHP-EM ocena narażenia powinna uwzględniać zróżnicowane warunki użytkowania, w tym narażenie w przestrzeni pracy podczas eksploatacji źródeł pola-EM w trybie pracy z maksymalną mocą emitowaną podczas ich użytkowania. Jeżeli na

podstawie dostępnych danych można określić tzw. warunki normalnej eksploatacji, kiedy urządzenie nadawcze emituje PWCZ lub PMF z maksymalną mocą, pomiary powinny zostać wykonane w takich warunkach. Alternatywnie należy określić reprezentatywność wyników pomiarów wykonanych w określonym czasie w stosunku do wartości spodziewanych podczas pracy źródła pola-EM z maksymalną mocą. Wyniki pomiarów wykonanych w warunkach, w których wyników pomiarów nie można powiązać ze zmiennością poziomu pola-EM w przestrzeni pracy traktuje się jako niemiarodajne, chyba że zostaną zastosowane współczynniki korekcyjne zapewniające uwzględnienie maksymalnego zakresu zmienności poziomu narażenia. Przykładowo, wynik pomiaru wartości RMS natężenia pola-E przy pojedynczej antenie stacji bazowej GSM 900, ze względu na zróżnicowane wykorzystanie 8 szczelin czasowych (sygnał TDMA), może zmieniać się w zakresie ok. $1 \div 2,8$. Wynik pomiaru wykonanego przy takiej antenie w dowolnym trybie emisji, pomnożony przez 2,8 stanowi wartość natężenia pola-E, która pozwala oszacować najsilniejsze narażenie przy omawianej antenie wg zasady tzw. najgorszego przypadku. Stosowanie wspomnianych współczynników oraz względy techniczne uzasadniające ich wartości dokumentuje się jednoznacznie w sprawozdaniu z pomiarów.

4.6.3. Pomiar pola-EM w przestrzeni obsługi

Po wyznaczeniu zasięgów pola-EM stref ochronnych należy określić, w jakiej strefie znajduje się przestrzeń obsługi (lub oddzielone od siebie przestrzenie obsługi).

Jeżeli w przestrzeni obsługi zidentyfikowano pole-EM strefy zagrożenia lub niebezpiecznej, należy rozpoznać w niej rozkład przestrzenny poziomu miejscowych wartości natężenia pola-E i pola-M (lub jeśli to ma zastosowanie, podać informację, że: $E < IPN_{od-E}$ lub $H < IPN_{od-H}$):

- 1) w przestrzeni obsługi przy powierzchni dostępu pierwotnych lub wtórnych źródeł pola-

- EM jako maksymalne narażenie należy przyjąć:
- a) dla oceny narażenia kończyn – wartości maksymalne natężenia pola-E i natężenia pola-M, wyznaczone podczas realizacji wymagań punktu 4.6.2.
 - b) dla oceny narażenia głowy i tułowia – wartości natężenia pola-E i natężenia pola-M zmierzone (lub wyznaczone na podstawie pomiaru natężenia pola-E) w pionie zlokalizowanym w odległości 40 cm od powierzchni dostępu (w kierunku, jak określono podczas pomiarów w odległości od niej 10 i 20 cm, podczas realizacji wymagań punktu 4.6.2.; a w razie potrzeby scharakteryzowania zróżnicowanych warunków narażenia również w innych kierunkach – uzasadniając takie lokalizacje w sprawozdaniu), dokumentując jako rozkład miejscowych wartości poziomu narażenia głowy i tułowia następujące wyniki pomiarów (wraz w wysokością od podłoża poszczególnych punktów pomiarowych): wartość maksymalna zmierzona w pionie pomiarowym oraz wartości zmierzone na wysokościach: 0,8 m; 1,4 m i 2,0 m – stwierdzenie w tych miejscach wartości nie przekraczających IPNob-E (oraz IPNob-H dla częstotliwości poniżej 800 MHz) kończy pomiary
- 2) w przestrzeni obsługi, podczas wyznaczania zasięgu pola-EM strefy zagrożenia lub niebezpiecznej, w pionach pomiarowych dokumentuje się następujące wyniki pomiarów natężenia pola-E lub pola-M charakteryzujące rozkład przestrzenny narażenia różnych części ciała (wraz w wysokością od podłoża poszczególnych punktów pomiarowych):
- a) wartość maksymalną zmierzoną w pionie pomiarowym,
 - b) wartości zmierzone na wysokościach: 0,8; 1,4 i 2,0 m; pomiary, o których mowa wykonuje się:
 - jeśli rozpoznano przestrzeń pole-EM strefy zagrożenia lub niebezpiecznej sięgającą dalej niż 1 metr od rozpoznanych powierzchni dostępu przy źródłach pola-EM
 - jeżeli przestrzeń obsługi rozpoznano w przestrzeni pola-EM gdzie miejscowe natężenia pola-E lub pola-M przekraczają wartości IPNob – w pionach zlokalizowanych z rozdzielczością przestrzenną nie gorszą niż ok. ± 20 cm.

Uwaga XIV

W uzgodnieniu z użytkownikiem, analogicznie do opisanego sposobu wyznaczania zasięgów pola-EM stref ochronnych, wyznacza się (ze względu np. na ułatwienie oceny tymczasowości narażenia) zasięg pola-EM o innych poziomach natężenia pola-E lub pola-M niż wartości IPNog, IPNod i IPNp, lub rozkład przestrzenny wartości natężenia pola-E lub pola-M w dodatkowych miejscach.

UWAGA XV

Jeżeli prace przy źródle pola-EM wymagają dotykania obiektów, które są pierwotnym albo wtórnym źródłem pola-EM strefy niebezpiecznej lub zagrożenia, przy miejscowym natężeniu pola-E lub pola-M przekraczającym wartość limitu IPNob, pomiary natężeń pola-E i pola-M nie mogą być jedynym kryterium oceny bezpośrednich skutków oddziaływania pola-EM (R-BHP-EM; zał. 3., cz. II). Na podstawie wyników pomiarów i oceny narażenia miejscowego, od użytkownika jest wymagana w takich przypadkach dodatkowa ocena zagrożeń i stosowanie koniecznych środków ochronnych. O wystąpieniu takiej sytuacji pomiarowej należy poinformować użytkownika i udokumentować to w sprawozdaniu z pomiarów.

4.7. Niepewność pomiarów

Do wykazania wymaganej przy realizacji wymagań R-BHP-EM dokładności pomiarów pola-EM¹⁶ w przestrzeni pracy konieczne jest prze-

¹⁶ Ze względu na powiązanie środków ochronnych z rozpoznanymi zasięgami pola-EM stref ochronnych, jako 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 $\pm 30\%$ [wg: R-BHP-EM; zał. nr 3, cz. 1.].

prorowadzenie analizy niepewności dla wykorzystywanej metody i wyposażenia pomiarowego, uwzględniającej m.in. charakterystyki metrologiczne aparatury pomiarowej (takie jak: częstotliwościowe i dynamiczne oraz odporność elektromagnetyczna) oraz ograniczenia wynikające z różnic parametrów pola-EM, którym odpowiadają wskazania aparatury pomiarowej w stosunku do wymagań prawa pracy dotyczących ocenianych parametrów pola-EM w dziedzinie: częstotliwości, czasu i przestrzeni (takich jak: wielkość użytej sondy pomiarowej w stosunku do określonych w R-BHP-EM wymiarów sondy referencyjnej i jej rzeczywista izotropowość lub czułość miernika na inny parametr przebiegu modulowanego niż wartość równoważna), warunki klimatyczne, 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 poprzez 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 PT, dla których wartość przypisana jest wyznaczana przez odpowiednie badania z udziałem ekspertów, niezależnie od wyników uzyskiwanych przez indywidualnych uczestników PT, 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 pomiarów 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), powiązane jednoznacznie z ich lokalizacją oraz warunkami użytkowania źródeł pola-EM (obejmującymi, co najmniej: tryb pracy źródła oraz warunki pomiaru (np. adnotacja, że pomiary wykonano przy otwartej szafie nadajnika) lub określenie na podstawie przeprowadzonego rozpoznania, że w takich okolicznościach $E < IPNp-E$ lub $H < IPNp-H$). Lokalizację punktów pomiarowych dokumentuje się np. przez opis w tabeli z wynikami pomiarów identyfikujący ich położenie w stosunku do źródła pola-EM – opisowo lub przez zaznaczanie ich lokalizacji na szkicu lub fotografii z opisem odległości lub skalowaną siatką współrzędnych ortogonalnych lub biegunowych.

5.2. Sprawozdanie z pomiarów

Wyniki pomiarów pola-EM przy urządzeniach radiokomunikacyjnych dokumentuje się w postaci sprawozdania, które powinno zawierać co najmniej:

- 1) charakterystykę rozpoznanych pierwotnych i wtórnych źródeł pola-EM,
- 2) charakterystykę przestrzeni pracy i przestrzeni obsługi, których dotyczyły pomiary i warunki użytkowania urządzeń, którym odpowiadają charakterystyki pola-EM – w szczególności przez określenie trybu pracy źródeł pola-EM,
- 3) zestawienie rozpoznanych zasięgów pola-EM stref ochronnych:
 - określonych z wymaganą przez R-BHP-EM dokładnością, umożliwiającą rozpoznanie w przestrzeni pracy zasięgów

- pola-EM stref ochronnych z rozdzielczością ± 50 cm,
- zaprezentowanych co najmniej w formie opisowej (np. stwierdzenie, że: narażenie na pole-EM strefy zagrożenia dotyczy całego podestu antenowego), lub tabelaryczne zestawienia odległości od charakterystycznych obiektów (np. od słupka antenowego czy barierki), a dla lepszego scharakteryzowania wyników pomiarów dopuszczonych dodatkowo również w formie graficznej (np. zwymiarowany rzut dachu, podestu czy fotografia z naniesionymi zasięgami stref),
- 4) tabelaryczne zestawienie wyników pomiarów pola-EM, podanych z odpowiednią do zastosowanej metody badań precyzją (co najwyżej 2 miejsc znaczących, bez zakresu ich niepewności), powiązanych jednoznacznie z lokalizacją punktów pomiarowych (przez charakterystykę opisową podaną w tabeli, naniesione informacje o lokalizacji punktów pomiarowych na szkice lub fotografii z danymi charakteryzującymi lokalizację punktów pomiarowych, np. przez naniesione ponumerowane punkty, wymiary prezentowanej przestrzeni, skalowaną siatkę współrzędnych ortogonalnych lub biegunowych), lub wyniki rozpoznania pola-EM w takich okolicznościach, obejmujące:
- maksymalne miejscowe wartości natężenia pola-E i natężenia pola-M przy rozpoznanych powierzchniach dostępu źródeł pola-EM (lub określenie, że $E > \text{IPNog-E}$ lub $H > \text{IPNog-H}$, bądź określenia że: $E < \text{IPNp-E}$ lub $H < \text{IPNp-H}$)
 - w razie stwierdzenia pola-EM stref ochronnych, maksymalne miejscowe wartości natężenia pola-M i natężenia pola-E w przestrzeni pola-EM stref ochronnych powiązane jednoznacznie z lokalizacją pionów wyznaczających zasięgi pola-EM stref ochronnych – co najmniej strefy zagrożenia i niebezpiecznej, jeśli zasięg pola-EM strefy pośredniej został wyznaczony na podstawie innych danych
 - w razie stwierdzenia przestrzeni obsługi w przestrzeni pola-EM strefy zagrożenia lub niebezpiecznej, wyniki pomiarów miejscowych wartości natężenia pola-M i natężenia pola-E charakteryzujące rozkład przestrzenny narażenia różnych części ciała, w pionach pomiarowych i w punktach - powiązane jednoznacznie z lokalizacją pionów pomiarowych (jak określono w pkt. 3.) oraz lokalizacją punktów pomiarowych (poprzez podanie wysokości pomiarowej i określenia, czy narażenia dotyczy głowy, tułowia lub kończyn – jeśli pion charakteryzuje narażenie w przestrzeni obsługi przy powierzchni dostępu źródła pola-EM)
- 5) ograniczenia dotyczące reprezentatywności wyników pomiarów prezentowanych w sprawozdaniu wynikające w szczególności z: niepełnego rozpoznania źródeł pola-EM w przestrzeni pracy, zróżnicowanego zakresu użytkowania, właściwości metrologicznych użytej aparatury pomiarowej (np. w konsekwencji pomiaru jedną sondą pomiarową w pełnym zakresie częstotliwości rozpoznanego pola-EM, czy sumowania wyników pomiaru pola-EM w różnych zakresach częstotliwości),
- 6) identyfikację wykorzystanego wyposażenia pomiarowego i aktualnego statusu jego kontroli metrologicznej, identyfikację wykonawcy pomiarów, datę i godziny wykonania pomiarów.
- ## 6. Zapewnienie bezpieczeństwa i kompetencji podczas pomiarów
- 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. Realizując wymagania określone w R-BHP-EM w sto-

sunku do obowiązku zapewnienia bezpieczeństwa podczas użytkowania źródeł pola-EM (określonego w R-BHP-EM: §12; zał. 3., cz. I, pkt. 10.), użytkownik źródeł pola-EM jest obowiązany dostarczyć osobom wykonującym pomiary pola-EM¹⁷ wszelkich niezbędnych informacji z zakresu bezpieczeństwa i higieny pracy (również dotyczące zagrożeń elektromagnetycznych), które dotyczą przestrzeni pracy, gdzie planowane są pomiary pola-EM:

- środków ochronnych oraz zasad ograniczania poziomu narażenia lub ograniczania zagrożeń, jakie należy stosować, na podstawie wymagań określonych w R-BHP-EM, z uwagi na rozpoznane zagrożenia elektromagnetyczne (tj. występowanie pola-EM stref ochronnych) oraz potencjalnych skutków dla bezpieczeństwa i higieny pracy, wynikających z poziomów pola-E i pola-M rozpoznanych w przestrzeni pracy
- limitów IPN i limitów GPO oraz możliwych bezpośrednich skutków oddziaływania pola-EM na organizm człowieka, w tym objawów przejściowych, a także sposobów wykrywania i zgłaszania niekorzystnych dla zdrowia skutków narażenia oraz zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej (o której mowa w R-BHP-EM; ust. 13.)
- możliwych skutków pośrednich oddziaływania pola-EM oraz stwarzanych przez nie zagrożeń dla bezpieczeństwa i higieny pracy, a także ograniczeń dotyczących oddziaływania pola-EM na osoby szczególnie chronione
- bezpiecznych sposobów pracy ograniczających zagrożenia wynikające z oddziaływania pola-EM oraz prawidłowego stosowania odpowiednio dobranych środków ochronnych.

Należy uwzględnić również złożone zagrożenia występujące w przestrzeni pracy objętej pomiarami bądź w drodze do tej przestrzeni, takie jak: narażenie na pole-EM stref ochronnych (w tym narażenie niebezpieczne wymagające stosowania ubiorów ochronnych (barierowych względem pola-EM)), zmienne warunki atmosferyczne i ich skutki (takie jak odmrożenia lub przegrzanie), promieniowanie nadfioletowe i ośnienia promieniowaniem słonecznym (np. skutek odbić od metalowych elementów konstrukcyjnych obiektów, na których zlokalizowane są anteny nadawcze), śliskie powierzchnie, wyziewy z kominów, gorące elementy obiektów zlokalizowanych w przestrzeni objętej pomiarami, elementy instalacji elektrycznych lub elektronarzędzia zagrażające porażeniem prądem elektrycznym, urazy mechaniczne (spowodowane np. przez spadające przedmioty, ostre krawędzie, narzędzia i ciężkie elementy), szlaki komunikacyjne stwarzające zagrożenia (powierzchnie śliskie, schody, drabiny, itd.) lub wymagające asekuracji i stosowania specjalistycznego wyposażenia (np. liny, bloczki, wciągarki), zagrożenia biologiczne związane z pracą na zewnątrz budynków (takie jak ukąszenia przez owady i zwierzęta, choroby odzwierzęce – np. borelioza).

Uwzględniając warunki wykonania pomiarów – rozpoznane i uzgodnione, jak określono w punkcie 4.1.3., pomiary pola-EM w przestrzeni pracy przy urządzeniach radiokomunikacyjnych wykonują osoby:

- 1) o odpowiednich, udokumentowanych kompetencjach w zakresie pomiaru pola-EM źródeł rozpoznanych w przestrzeni pracy, obejmujących pole-EM urządzeń radiokomunikacyjnych,

¹⁷ Zgodnie z wymaganiami określonymi w R-BHP-EM (ust. 12.3.) użytkownik, u którego prace wykonują pracownicy zatrudnieni przez różnych pracodawców, osoby fizyczne wykonujące prace na innej podstawie niż stosunek pracy lub osoby prowadzące na własny rachunek działalność gospodarczą, którzy mają dostęp do pola-EM stref ochronnych (tj. których przebywanie w polu-EM rozpoznanych stref ochronnych nie zostało wykluczone), w tym osoby wykonujące pomiary pola-EM, jest obowiązany dostarczyć tym pracodawcom lub osobom wszelkich niezbędnych informacji, o których mowa w art. 207¹ ustawy z dnia 26 czerwca 1974 r. Kodeksu pracy oraz informacji z zakresu bezpieczeństwa i higieny pracy dotyczące wyników oceny zagrożeń elektromagnetycznych.



- 2) dla których potwierdzono brak przeciwwskazań zdrowotnych do przebywania w PWCZ i PMF 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 (w szczególności ze względu na: zagrożenie porażeniem przez prąd elektryczny,

inne zagrożenia środowiskowe w przestrzeni pracy, pracę na wysokości, użytkowanie systemów asekuracyjnych, zachowanie szczególnych warunków poufności).

Do oznakowania zasięgów stref ochronnych pola-EM i zagrożeń elektromagnetycznych najczęściej są stosowane znormalizowane znaki (tab. 4.).

Tabela 4.

Przykładowe znaki bezpieczeństwa stosowane ze względu na zagrożenia elektromagnetyczne w przestrzeni pracy

Znaczenie	Znak graficzny
Zagrożenie dla użytkowników stymulatorów serca lub innych implantów elektronicznych [PN-ISO 7010:2012]	
Promieniowanie niejonizujące [PN-ISO 7010:2012]	
Strefa zagrożenia pola-EM [PN-T-06260]	