

Narażenie na pole elektromagnetyczne w przestrzeni pracy podczas użytkowania systemów elektroenergetycznych i elektrycznych instalacji zasilających prądu przemiennego w energetyce. Metoda pomiaru pola elektromagnetycznego *in situ* – wymagania szczegółowe ¹

Exposure to the electromagnetic field in the work space during the use of electricity and electric installations of alternating current in power engineering. The method of *in situ* measurements of electromagnetic field – specific requirements

dr inż. MAREK SZUBA ¹⁾ e-mail: marek.szuba@pwr.edu.pl
mgr inż. IRENEUSZ HASIEC ²⁾ e-mail: ireneusz.hasiec@elektryka.com.pl
mgr inż. PIOTR PAPLIŃSKI ³⁾ e-mail: piotr.paplinski@ien.com.pl
mgr inż. HUBERT ŚMIETANKA ³⁾ e-mail: hubert.smietanka@ien.com.pl
mgr inż. KAROL ZAJDLER ⁴⁾ e-mail: karol.zajdler@pse.pl
prof. dr hab. MAREK ZMYŚLONY ⁵⁾ e-mail: zmyslmar@imp.lodz.pl
dr inż. KRZYSZTOF GRYZ ⁶⁾ e-mail: krgrzy@ciop.pl
dr inż. JOLANTA KARPOWICZ ⁶⁾ e-mail: jokar@ciop.pl

¹⁾ Politechnika Wrocławska

50-370 Wrocław, Wybrzeże Wyspiańskiego 27

²⁾ Zakład Pomiarowo-Badawczy Energetyki

"ENERGOPOMIAR-ELEKTRYKA" Spółka z o.o.

44-101 Gliwice, ul. Świętokrzyska 2

³⁾ Instytut Energetyki – Instytut Badawczy

01-330 Warszawa, ul. Mory 8

⁴⁾ Polskie Sieci Elektroenergetyczne S.A. Oddział w Radomiu

26-600 Radom, ul. Żeromskiego 75

⁵⁾ Instytut Medycyny Pracy im. prof. dr. med. J. Nofera

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

⁶⁾ Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

00-701 Warszawa, ul. Czerniakowska 16

Słowa kluczowe: elektroenergetyczne linie wysokiego napięcia, rozdzielnie elektroenergetyczne, instalacje elektroenergetyczne, pole elektryczne, pole magnetyczne, pomiary pola elektromagnetycznego, metoda rekomendowana, środowisko pracy, bezpieczeństwo i higiena pracy.

Keywords: high voltage power lines, high voltage switchyards, electric power installations, electric field, magnetic field, electromagnetic field measurements, recommended method, working environment, occupational safety and health.

¹ Publikacja opracowana z wykorzystaniem wyników realizacji prac statutowych Politechniki Wrocławskiej i Instytutu Medycyny Pracy ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, wyników prac badawczych Instytutu Energetyki oraz wyników badań narażenia na pole elektromagnetyczne realizowanych przez autorów na potrzeby przedsiębiorstw; we współpracy Grupy Ekspertów ds. Pól Elektromagnetycznych przy Międzyresortowej Komisji ds. Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynniki Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy w ramach realizacji III etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” (2014-2016), ustanowionego uchwałą Nr 126/2013 Rady Ministrów z dnia 16 lipca 2013 r., w zakresie zadań służb państwowych ze środków będących w dyspozycji ministra właściwego do spraw pracy (zadanie 2.Z.30 realizowane w CIOP-PIB).
Koordynator programu wieloletniego: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

Streszczenie

Pole elektromagnetyczne (pole-EM) występuje w otoczeniu wszystkich instalacji i urządzeń zasilanych energią elektryczną, jest więc również nierozzerwalnie związane z przesyłaniem energii elektrycznej przez sieć elektroenergetyczną, tworzoną głównie przez linie i rozdzielnie elektroenergetyczne: najwyższych, wysokich, średnich i niskich napięć, w których otoczeniu może występować pole-EM stref ochronnych. Obiekty takie zostały wymienione wśród typowych źródeł pola-EM jako „systemy elektroenergetyczne i elektryczna instalacja zasilająca” 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 (DzU 2016, poz. 950, zm. poz. 2284; zał. 1., poz. 2.). W związku z tym, warunki narażenia pracujących w otoczeniu urządzeń lub instalacji sieci elektroenergetycznych wymagają okresowej kontroli, 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, w którym określono, że powinna być ona wykonana „zgodnie z metodami określonymi w Polskich Normach, a w przypadku braku takich norm, metodami rekomendowanymi i zwalidowanymi” (DzU 2011, poz. 166). Celem takiej kontroli jest rozpoznanie zagrożeń elektromagnetycznych w przestrzeni pracy i podjęcie odpowiednich środków ochronnych (DzU 2016, poz. 950, zm. 2284). Ponieważ metody pomiarów pola-EM odpowiednie do realizacji tych wymagań prawa pracy nie są obecnie znormalizowane, celem przeprowadzonych badań było opracowanie metody rekomendowanej do pomiaru parametrów pola-EM *in situ* w przestrzeni pracy, podczas użytkowania sieci elektroenergetycznych. Rekomendowana metoda pomiarów została opracowana na podstawie przeglądu: parametrów konstrukcyjnych i elektrycznych infrastruktury energetycznej użytkowanej w Polsce, przeglądu danych literaturowych oraz wyników badań własnych wykonanych przez autorów w kilkuset obiektach elektroenergetycznych (najwyższych, wysokich, średnich i niskich napięć) o zróżnicowanej strukturze geometrycznej i funkcjonalnej, użytko-

wanych na terenie całego kraju. Przeprowadzone pomiary obejmowały pomiary wartości skutecznych natężenia pola elektrycznego i natężenia pola magnetycznego w przestrzeni pracy, z wyłączeniem narażeń występujących podczas prac wykonywanych wg procedur określanych jako praca na potencjale. Przeprowadzone badania obejmowały pomiary wartości skutecznej (RMS) natężenia pola elektrycznego i natężenia pola magnetycznego w przestrzeni pracy, z wyłączeniem narażeń występujących podczas prac wykonywanych według procedur określanych jako praca na potencjale. Pomiary obejmowały następujące obiekty prądu przemiennego użytkowane w ramach krajowego systemu elektroenergetycznego: napowietrzne i wnetrzowe rozdzielnie elektroenergetyczne o napięciach znamionowych (110 ÷ 750) kV oraz linie elektroenergetyczne o napięciach znamionowych (110 ÷ 400) kV, określanych jako wysokie lub najwyższe napięcia (WN lub NN); linie elektroenergetyczne niskiego lub średniego napięcia (nn lub SN) o napięciach znamionowych (0,4 ÷ 110) kV (z wyłączeniem 110 kV); rozdzielnie i transformatory nn lub SN; generatory prądu wraz z torami prądowymi oraz aparaturą łączeniową i pomiarową o mocach powyżej 1 MW; instalacje potrzeb własnych na stacjach elektroenergetycznych; trójfazowe instalacje przemysłowe.

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań wykazano, że podczas użytkowania wspomnianych elementów sieci elektroenergetycznej są wykorzystywane prądy przemiennie o częstotliwości 50 Hz i o stabilnym napięciu charakterystycznym dla jej poszczególnych obiektów, a obciążeniach prądowych zmieniających się w znacznym stopniu (o kilkaset procent), zależnie od zapotrzebowania odbiorców na energię elektryczną.

W związku z tym, zarekomendowano metodę pomiarów, która obejmuje pomiar wartości RMS natężenia pola elektrycznego i natężenia pola magnetycznego, których wyniki są oceniane bezpośrednio w odniesieniu do limitów narażenia, które określono w prawie pracy w stosunku do wartości równoważnych takich parametrów narażenia. W metodzie określono również zasady: przygotowania pomiarów

i aparatury pomiarowej, wyboru punktów pomiarowych, wyznaczania zasięgu stref ochronnych oraz dokumentowania wyników pomiarów, a także warunki klimatyczne wykonywania pomiarów. Omówiono również

najistotniejsze źródła niepewności wyników pomiaru pola-EM przy omawianych urządzeniach elektroenergetycznych.

Summary

Electromagnetic field (EMF) occurs around all the installations and equipment powered by electricity, so it is also inextricably linked to the transmission of electricity through the power grid, created mainly by the power lines and switchyards of the highest, high, medium and low voltage. In their vicinity EMF of protection zones may occur.

Such installations have been listed among the common sources of EMF as a "power systems and electrical power supply installation" in the Regulation of the Minister of Family, Labour and Social Policy on health and safety at work related to exposure to EMF (OJ 2016 item. 950, est. 1, pos. 2).

Therefore, the exposure conditions of workers in the vicinity of equipment or installation of power grids require periodic inspections in accordance with the requirements of the Regulation of the Minister of Health on the tests and measurements of health hazard factors in the working environment (Regulation ..., OJ 2011, pos. 166), which should be done "in accordance with the methods set out in Polish standards, in the absence of such standards, using recommended and validated methods".

The purpose of such inspection is to identify the electromagnetic hazards in work space and take appropriate protective measures (OJ 2016 pos. 950). Because the methods of EMF measurement adequate to meet the requirements of labour law are currently not standardized, the objective of conducted research was to develop a method recommended for measuring parameters of the EMF in situ in the work space during the use of electricity networks.

The recommended method of measurement was developed on the basis of the review of design and electrical parameters of energy infrastructure in Poland, the review of literature and own research performed by the authors in hundreds of power facilities (the highest, high, medium and low voltage) and installations of various geometrical and functional structures used in the whole country.

The performed research included measurements of RMS value of electric field and magnetic field strength in the work space, with the exception of exposures occurring during the work performed according to procedures known as live-line work. The measurements included the following objects used in the national electricity grid: electrical switchyards with nominal voltage from 110 kV to 750 kV (outdoor and indoor); power lines of high voltage (HV) with nominal voltage from 110 kV to 400 kV; power lines of low or medium voltage (LV or MV) with rated voltage of 0.4 kV to 110 kV (with the exception of 110 kV); switchyards, LV or MV switchboards and transformers; generators with busbars, cables etc., current transformers, switchgear and measuring equipment with capacity exceeding 1 MW, installations of own needs on electrical substations, three-phase alternating current industrial installations.

On the basis of the results of the research it was demonstrated that during the use of these elements of the power grid alternating currents with a frequency of 50 Hz are used, with a stable voltage characteristic of the individual objects and the load current changing significantly (by several hundred percent), depending on customers' demand for electricity.

The measurement method was recommended which involves measuring the RMS value of electric field strength and magnetic field strength, which results are evaluated immediately with respect to the exposure limits set in the labour law, to the equivalent value of such exposure parameters. The method also describes principles: measurements and measurement devices preparation, choice of measurement points, determining the ranges protection zones and document measurement results, as well as climatic conditions of measurements. It also discusses the most important sources of uncertainty of results of EMF measurement near discussed power devices.

WPROWADZENIE

Pole elektromagnetyczne (pole-EM) występuje w otoczeniu wszystkich instalacji i urządzeń zasilanych energią elektryczną, jest więc również nierozdzielnie związane z przesyłaniem energii elektrycznej przez sieć elektroenergetyczną, tworzoną głównie przez linie i rozdzielnie elektroenergetyczne: najwyższych, wysokich, średnich i niskich napięć. Wskutek oddziaływania zmiennego w czasie pola-EM w obiektach elektroprzewodzących, m.in. w organizmie człowieka i strukturach metalowych, powstaje indukowane pole elektryczne i magnetyczne. Ich oddziaływanie na procesy biofizyczne może spowodować niekorzystne skutki zdrowotne u narażonych, a w układzie człowiek-objekty materialne pośrednie skutki oddziaływania pola-EM, związane np. z zakłóceniami pracy urządzeń elektrycznych i elektronicznych lub skutkami odczuwalnego przepływu prądu kontaktowego między ciałem człowieka a dotykany obiekt.

Obiekty takie zostały wymienione wśród typowych źródeł pola-EM jako „systemy elektroenergetyczne i elektryczna instalacja zasilająca” w rozporządzeniu Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 czerwca w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na pole elektromagnetyczne (R-BHP-EM), (DzU 2016, poz. 950, zm. poz. 2284; zał. nr 1, poz. 2.). W związku z tym, warunki narażenia pracujących w otoczeniu urządzeń lub instalacji sieci elektroenergetycznych wymagają okresowej kontroli, zgodnie z wymaganiami rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, w którym określono, że powinna być ona wykonana „zgodnie z metodami określonymi w Polskich Normach, a w przypadku braku takich

norm, metodami rekomendowanymi i zwalidowanymi” (DzU 2011, poz. 166). Celem takiej kontroli jest rozpoznanie zagrożeń elektromagnetycznych w przestrzeni pracy i podjęcie środków ochronnych określonych przez R-BHP-EM. Ponieważ metody pomiarów pola-EM odpowiednie do realizacji tych wymagań prawa pracy nie są obecnie znormalizowane, celem relacjonowanej pracy było opracowanie metody rekomendowanej do pomiaru parametrów pola-EM *in situ*² w przestrzeni pracy, podczas użytkowania sieci elektroenergetycznych.

Do ochrony pracujących przed takimi zagrożeniami w prawie pracy określono limity narażenia w przestrzeni pracy. W rozporządzeniu Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 27 czerwca 2016 r. zmieniającym rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i najwyższych dopuszczalnych natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w miejscu pracy (R-NDN-EM) określono Interwencyjne Poziomy Narażenia (IPN), które oznaczają 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 określono jako narażeniem kontrolowane. 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 parametrów narażenia na pole-EM w przestrzeni pracy i skuteczności podjętych działań.

Pomiary parametrów pola-EM w celu zapewnienia bezpiecznych i higienicznych warunków pracy powinny się cechować m.in:

² Pomiary *in situ* oznaczają pomiary wykonane „na miejscu” w przestrzeni pracy, tj. na obiektach elektroenergetycznych.

reprezentatywnością w stosunku do narażenia pracujących i odtwarzalnością wyników pomiarów konieczną ze względu na procesy planowania i monitorowania skuteczności stosowania środków ochronnych, a miary pola-EM oceniane w wyniku pomiarów powinny odpowiadać miarom, dla których określono limity narażenia pracujących. W tym celu, a także dla odtwarzalności wyników pomiarów realizowanych przez różne podmioty, koniecznej do ujednoczenia w całym państwie sposobu realizacji wspomnianych wymagań dotyczących ochrony pracujących, ocena zagrożeń elektromagnetycznych powinna więc przebiegać zgodnie z ujednoliconymi i rygorystycznie realizowanymi metodami. Dla właściwej realizacji tych celów konieczne jest również dostosowanie metod pomiaru do przestrzennych i częstotliwościowych parametrów pola-EM w otoczeniu jego różnych źródeł.

Warunki narażenia pracujących w pobliżu aktywnych źródeł pola-EM podczas ich użytkowania wymagają okresowej kontroli, wykonanej „zgodnie z metodami określonymi w Polskich Normach, a w przypadku braku takich norm, metodami rekomendowanymi i zwalidowanymi” zgodnie z wymaganiami rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (DzU 2011, poz. 166), celem rozpoznania zagrożeń elektromagnetycznych i podjęcia odpowiednich środków ochronnych określonych w R-BHP-EM. Ponieważ nie są obecnie znormalizowane metody pomiarów pola-EM, w zakresie koniecznym do realizacji wspomnianych nowych wymagań, w R-BHP-EM (zał. nr 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”. W związku z tym, niniejsza praca należy do cyklu publikacji prezentujących metody rekomendowane do pomiaru parametrów pola-EM *in situ* w przestrzeni pracy, odpowiednie do realizacji wspomnianych wymagań. Zaprezentowano w niej specyfikę oceny narażenia na pole-EM podczas użytkowania elementów sieci i instalacji elektroenergetycznych prądu przemiennego, które zostały wymienione wśród typowych źródeł pola-EM (R-BHP-EM, zał. nr 1, poz. 2. – Systemy elektroenergetyczne i elektryczna instalacja zasilająca). Rekomendowana, w wyniku przeprowadzonych prac doświadczalnych i analitycznych, metoda pomiarów parametrów narażenia na pole-EM, koniecznych do właściwego wykonania wymagań określonych głównie w R-BHP-EM i R-NDN-EM, została opracowana jako metoda odpowiednio uszczegółowiona i uproszczona, w zakresie rekomendowanej metodyki ogólnej – opracowanej ze względu na wymagania wspomnianych rozporządzeń do oceny narażenia, uwzględniającej zróżnicowane parametry pola-EM emitowanego przez różnego typu źródła i zróżnicowane warunki ich użytkowania (Karpowicz i in. 2017).

Specyficzne warunki użytkowania elementów sieci i instalacji elektroenergetycznych prądu przemiennego wynikają z rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego (DzU 2007, poz. 623), które określa rygorystyczne wymagania dotyczące parametrów jakościowych energii elektrycznej i standardy jakościowe obsługi odbiorców. Wymagania tego

rozporządzenia (§ 38.1.) określają, że dla podmiotów zaliczanych do grup przyłączeniowych I i II obowiązują następujące parametry jakościowe energii elektrycznej w przypadku sieci funkcjonującej bez zakłóceń wartość średnia częstotliwości mierzonej przez 10 sekund w miejscach przyłączenia powinna być zawarta w przedziale:

- a) 50 Hz $\pm 1\%$ (od 49,5 ÷ 50,5 Hz) przez 99,5% tygodnia,
- b) 50 Hz +4% / -6% (od 47 ÷ 52 Hz) przez 100% tygodnia.

W związku z tak rygorystycznymi wymaganiami dotyczącymi jakości energii elektrycznej dostarczanej odbiorcom, rozpoznanie częstotliwości pola-EM w przestrzeni pracy podczas

użytkowania elementów sieci i instalacji elektroenergetycznych prądu przemiennego z wymaganą do oceny narażenia dokładnością $\pm 10\%$ nie wymaga wykorzystania metod pomiarowych. Rozporządzenie to określa również rygorystyczne wymagania dotyczące ograniczonych zniekształceń nieharmonicznych w przebiegu zmienności napięcia i prądu elektrycznego w sieci elektroenergetycznej, co łącznie pozwala na rozpoznanie pola-EM sinusoidalnie zmiennego o częstotliwości 50 Hz podczas oceny narażenia na pole-EM w przestrzeni pracy przy obiektach sieci elektroenergetycznych bez potwierdzania tego rozpoznania metodami pomiarowymi.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Rekomendowana metoda pomiarów została opracowana na podstawie: przeglądu parametrów konstrukcyjnych i elektrycznych infrastruktury energetycznej użytkowanej w Polsce, przeglądu danych literaturowych oraz wyników badań własnych wykonanych przez autorów w kilkuset obiektach elektroenergetycznych (najwyższych, wysokich, średnich i niskich napięć) o zróżnicowanej strukturze geometrycznej i funkcjonalnej, użytkowanych na terenie całego kraju. Przeprowadzone badania obejmowały pomiary wartości skutecznych natężenia pola elektrycznego i natężenia pola magnetycznego w przestrzeni pracy, z wyłączeniem narażeń występujących podczas prac wykonywanych wg procedur określanych jako prace na potencjale. Przeprowadzone badania obejmowały następujące obiekty prądu przemiennego użytkowane w ramach krajowy system elektroenergetyczny (KSE): napowietrzne

i wewnętrzne rozdzielnie elektroenergetyczne o napięciach znamionowych (110 ÷ 750) kV oraz linie elektroenergetyczne o napięciach znamionowych (110 ÷ 400) kV, określanych jako wysokie lub najwyższe napięcia (WN lub NN); linie elektroenergetyczne niskiego lub średniego napięcia (nn lub SN) o napięciach znamionowych (0,4 ÷ 110) kV (z wyłączeniem obiektów o napięciu 110 kV, zaliczanych do WN); rozdzielnie i transformatory nn lub SN o napięciach znamionowych (0,4 ÷ 110) kV (z wyłączeniem obiektów o napięciu 110 kV, zaliczanych do WN); generatory prądu wraz z torami prądowymi oraz aparaturą łączeniową i pomiarową o mocach powyżej 1 MW; instalacje potrzeb własnych na stacjach elektroenergetycznych; trójfazowe instalacje przemysłowe.

WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

Elementy sieci i instalacji elektroenergetycznych, jako źródła pola-EM

Linie napowietrzne i kablowe

Powszechność dostępu do energii elektrycznej wymaga rozbudowanego systemu urządzeń do jej wytwarzania, przesyłania i rozdziału. Dostarczanie energii elektrycznej ze źródeł wytwórczych (elektrowni konwencjonalnych, farm wiatrowych itd.) do odbiorców realizowane jest przy wykorzystaniu prądu przemiennego o częstotliwości 50 Hz³ (ze względu na angielski termin *alternating current*, określane skrótkowo 50 Hz/AC), który jest przesyłany przez rozległą sieć linii i stacji elektroenergetycznych, które pracują na różnych poziomach napięć, tj.:

- 220 i 400 kV (tzw. najwyższe napięcia, NN), w przypadku przesyłania energii na duże odległości
- 110 kV (tzw. wysokie napięcie, WN), w przypadku przesyłania energii na odległości nie przekraczające kilkudziesięciu kilometrów
- od 10 do 30 kV (tzw. średnie napięcia, SN), stosowane w lokalnych liniach rozdzielczych, których długość nie przekracza na ogół kilku kilometrów.

Podnoszenie napięcia w instalacjach przesyłających energię elektryczną, a następnie obniżanie go do poziomu wymaganego do poprawnej pracy elektrycznych urządzeń eksploatowanych u odbiorców końcowych (230 lub 400 V), w tym tzw. elektrycznego sprzętu powszechnego użytku⁴, wymaga korzystania

z systemowych stacji elektroenergetycznych najwyższych napięć (NN/WN), wielu stacji rozdzielczych wysokiego napięcia (tzw. główne punkty zasilające – GPZ, WN/SN) oraz rozlicznych stacji transformatorowych (SN/nn), zamieniających średnie napięcie (rozdzielcze) na powszechnie stosowane w instalacjach odbiorczych niskiego napięcia (230/400 V). Wszystkie te obiekty – linie i stacje elektroenergetyczne – składają się na system elektroenergetyczny, w którym rozróżnia się dwa rodzaje sieci elektroenergetycznych:

- sieci przesyłowe, 220 i 400 kV, których elementami są linie i stacje elektroenergetyczne, łączące centra wytwarzania energii elektrycznej z systemowymi stacjami elektroenergetycznymi (NN/WN), tworzące sieć połączeń międzyregionalnych, które zapewniają dostarczenie wymaganych ilości energii elektrycznej do poszczególnych regionów w kraju
- sieci rozdzielcze: wysokiego (110 kV), średniego (6; 10; 15; 20 i 30 kV) i niskiego (0,4/0,23 kV) napięcia, których zadaniem jest doprowadzenie energii elektrycznej do odbiorców końcowych (przemysł, odbiorcy bytowo-komunalni).

Sieć linii i stacji elektroenergetycznych tworzy krajowy system elektroenergetyczny, obejmujący (wg danych z 2013 r.):

- 241 linii o łącznej długości 13 224 km, w tym:
 - 73 linie o napięciu 400 kV o łącznej długości 5303 km

³ Sieć elektroenergetyczna prądu przemiennego jest uzupełniona przez podmorskie połączenie Polska-Szwecja wykonane linią kablową prądu stałego (ze względu na angielski termin *direct current*, określane skrótkowo DC) o napięciu 450 kV i całkowitej długości 254 km. Przez system przekształtników prądu stałego (DC) na prąd przemienny (AC) w stacji elektroenergetycznej Słupsk, linia ta włączona jest do KSE.

⁴ Elektryczny sprzęt powszechnego użytku, rozumiany jako sprzęt o znamionowym napięciu zasilania nie przekraczającym 250 V (dla sprzętu jednofazowego) lub 480 V (dla innego sprzętu), przeznaczony do użytkowania w gospodarstwach domowych lub w warunkach podobnych, w szczególności w biurach, sklepach lub hotelach [R-BHP-EM; §5.2.2.].

- 167 linii o napięciu 220 kV o łącznej długości 7921 km
- 106 stacji najwyższych napięć (NN/WN).

Łączna długość linii elektroenergetycznych o napięciu 110 kV wynosi około 33 000 km.

Stacje elektroenergetyczne

Jednym z niezwykle ważnych elementów KSE (50 Hz/AC) są stacje elektroenergetyczne – obiekty, w których skład wchodzi jedna, dwie lub kilka rozdzielni napowietrznych i/lub wewnętrznych – oddzielone od środowiska ogólnego trwałym ogrodzeniem. Oznacza to, że wstępu na ogrodzony teren stacji oraz dostępu do pomieszczeń stacji, nie mają osoby postronne (ludność), natomiast dostęp ten mają wyłącznie osoby upoważnione.

Stacje elektroenergetyczne, to obiekty których poszczególne elementy funkcjonalne mogą pracować na różnych poziomach napięć. Ze względu na zróżnicowane warunki użytkowania i czynności eksploatacyjne można wyróżnić następujące elementy funkcjonalne stacji elektroenergetycznych:

- 1) rozdzielnia napowietrzna – zespół urządzeń łączeniowo-rozdzielczych i pomiarowych oraz połączeń między nimi, a także obszar ich zainstalowania na wolnym powietrzu, wydzielony z ogólnodostępnej części środowiska za pomocą solidnego ogrodzenia, stanowiącego granicę stacji elektroenergetycznej, o następujących cechach:
 - rozdzielnie napowietrzne pracują przede wszystkim na napięciu: 400; 220 lub 110 kV i zawierają tory prądowe (oszynowanie linkowe lub rurowe), przez które płynie prąd o natężeniu od kilkudziesięciu do kilku tysięcy amperów (A)
 - elementy załączone do wysokich lub najwyższych napięć są źródłami pola-E stref ochronnych i najczęściej

równocześnie pola-M strefy bezpiecznej, natomiast elementy wiążące silne prądy są źródłami pola-M stref ochronnych i najczęściej równocześnie pola-E strefy bezpiecznej

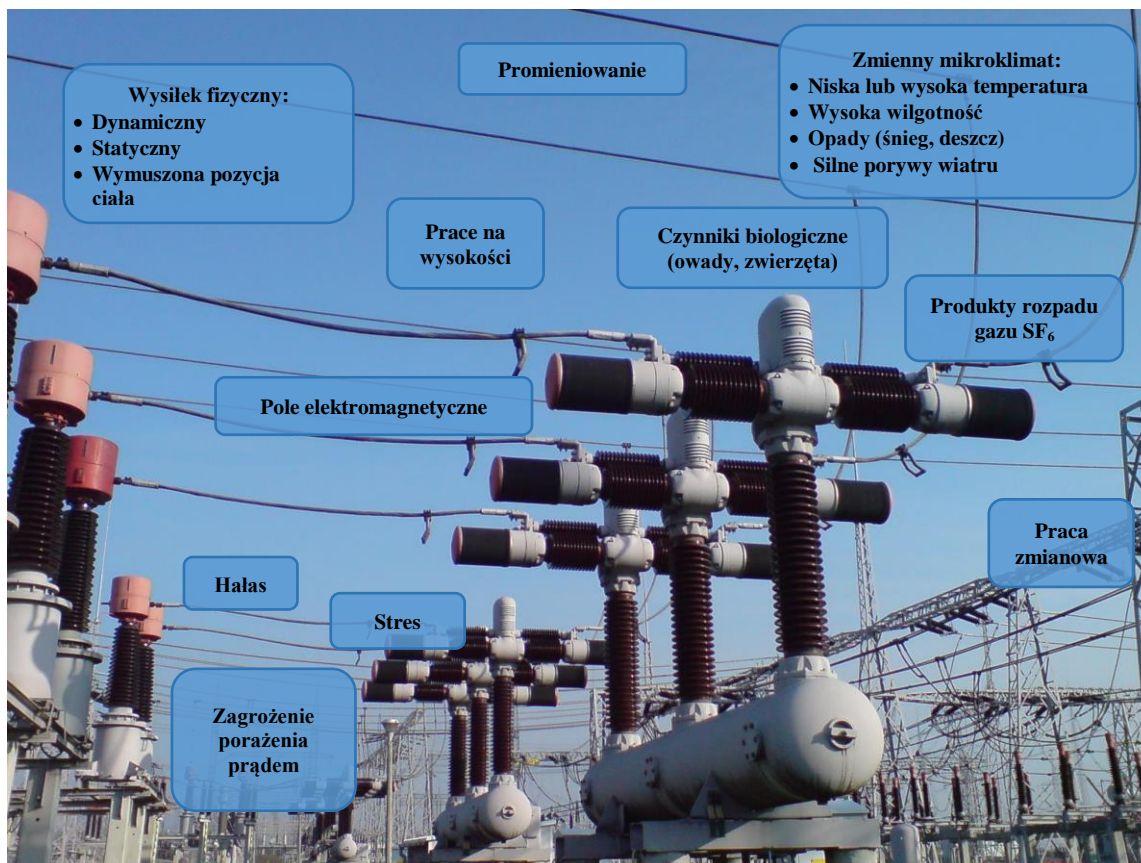
- w rozdzielniach napowietrznych – z konieczności zachowania bezpiecznego dystansu – źródła pola-E znajdują się ponad głowami ludzi (do rzadkości należą przypadki umieszczenia w rozdzielniach starego typu wygradzonej barierkami aparatury pod napięciem na poziomie ziemi),
- 2) rozdzielnia wewnętrzna – zespół urządzeń łączeniowo-rozdzielczych i pomiarowych oraz połączeń między nimi, a także obszar ich zainstalowania wewnątrz budynku, zlokalizowanego na terenie stacji elektroenergetycznej lub jako budynek wolno stojący o następujących cechach:
 - rozdzielnie wewnętrzne pracują najczęściej na napięciu: 0,4; 6; 10; 15; 20 lub 30 kV (PN-EN 60038: 2012), klasyfikowanym jako niskie (nn) lub średnie (SN) oraz zawierają tory (szyny zbiorcze), przez które płynie prąd o natężeniu nie przekraczającym zwykle kilku tysięcy amperów
 - są one lokalnymi źródłami silnego pola-M i słabego pola-E (ze względu na niewielki poziom napięć oraz fakt, że pole-E jest skutecznie ekranowane przez metalowe elementy konstrukcyjne rozdzielni)
 - wyjątkiem są rozdzielnie wewnętrzne o napięciu znamionowym 110 lub 220 kV (zazwyczaj jest to starsza infrastruktura), w których ze względu na znaczny poziom napięć oraz inne niż w rozdzielniach nn i SN rozwiązania konstrukcyjne (np. umieszczenie wygradzonej aparatury wprost na podłożu), występują również źródła

- silnego pola-E, o rozkładach przestrzennych odmiennych niż w przypadku większości rozdzielni napowietrznych
- nowoczesne rozdzielnie wewnętrzne o napięciach znamionowych: 110; 220 lub 400 kV, są budowane w technologii GIS – w tym przypadku brak jest źródeł pola-E (wszystkie elementy pod napięciem są izolowane gazem SF₆ i zamknięte w ekranujących metalowych rurach); występują źródła pola-M, szczególnie przy kablach wysoko-napięciowych
 - elementem towarzyszącym rozdzielni wewnętrznej jest tzw. kablownia, czyli miejsce doprowadzeń i wyprowadzeń zasilania z rozdzielni (zwykle pod rozdzielnią wewnętrzną). W przypadku niektórych obiektów mogą to być miejsca dostępne dla obsługi, bez konieczności wyłączenia obiektu z ruchu,
- 3) pole rozdzielni – jednostka organizacji przestrzennej i funkcjonalnej urządzeń w obrębie rozdzielni napowietrznej lub wewnętrznej, zawierająca zazwyczaj kompletną aparaturę łączeniowo-rozdzielczą i pomiarową. Pole rozdzielni, ze względu na swoją spójność przestrzenną i całościowe wyodrębnienie w strukturze stacji, stanowi osobną część przestrzeni pracy i może być traktowane jako jedno wielkogabarytowe źródło pola-EM o zróżnicowanych lokalnie poziomach natężeń i zasięgach oddziaływania,
- 4) urządzenia łączeniowo-rozdzielcze i po-

miarowe – urządzenia elektroenergetyczne, służące do okresowego załączania i wyłączania spod napięcia oraz przerywania torów prądowych w obrębie pola rozdzielni (wyłączniki, odłączniki) lub służące do pomiaru napięcia i prądu (przekładniki prądowe i napięciowe), a także służące do ograniczania skutków przepięć (ograniczniki przepięć).

Narażenia na pole-EM podczas użytkowania elementów sieci elektroenergetycznych WN

Korzystanie z urządzeń zasilanych prądem elektrycznym wymaga doprowadzenia do odbiorców energii elektrycznej za pośrednictwem omówionego systemu elektroenergetycznego. Typowa jest złożoność czynników obciążających w środowisku pracy podczas ich użytkowania, np. przy budowie linii elektroenergetycznej, trakcyjnej lub telekomunikacyjnej, w pogotowiu energetycznym, a także przy oględzinach, przeglądach, remontach, konserwacji i naprawach różnego typu linii. Prace te mogą odbywać się zarówno w terenie zabudowanym, np. w mieście wzdłuż ulic i w sąsiedztwie ruchu ulicznego, jak również w terenie otwartym, gdzie trasa linii przebiega przez pola i łąki lub w obszarze leśnym (Barańska 1998). Różnorodność czynności roboczych, pór dnia i roku, a także miejsc ich wykonywania determinują wieloczynnikowy charakter obciążenia pracownika zobrazowany symbolicznie na rys. 1. na podstawie opracowań tematycznych (Gryz, Karpowicz 2008; Instrukcja BHP... 2013; Karpowicz i in. 2013; Karpowicz i in. 2016a; Dudek 2016).



Rys. 1. Wieloczynnikowy charakter narażenia pracowników podczas obsługi sieci elektroenergetycznych wysokiego napięcia (fot. Karol Zajdler)

Ze względu na zagrożenie życia związane z porażeniem prądem elektrycznym, prace przy obsłudze sieci elektroenergetycznych: NN, WN i SN, są wykonywane z zachowaniem rygorystycznych procedur bezpieczeństwa przeciwporażeniowego, a także procedur bezpiecznego wykonywania pracy na wysokości na konstrukcjach wsporczych, na których są montowane przewody oraz oszynowanie. Dzięki temu, wypadki śmiertelnego porażenia prądem elektrycznym lub upadku z wysokości podczas obsługi sieci elektroenergetycznych należą do rzadkości. Jednakże, towarzyszący tym pracom zespół innych zagrożeń, wynikających z fizycznych uwarunkowań środowiska i psychospołecznej charakterystyki warunków pracy, jest również nieobojętny dla bezpieczeństwa i zdrowia pracowników.

Prace przy eksploatacji takich obiektów WN, jak: linie i stacje elektroenergetyczne, można zdefiniować jako prace wykonywane przy urządzeniach energetycznych w zakresie ich obsługi, konserwacji, remontów, montażu oraz w zakresie kontrolno-pomiarowym (DzU 2013, poz. 492).

Charakterystyka wybranych prac eksploatacyjnych przy obsłudze sieci elektroenergetycznych

Operator systemu elektroenergetycznego przesyłowego lub dystrybucyjnego, który stosuje obiektywne i przejrzyste zasady zapewniające równe traktowanie użytkowników tych systemów oraz uwzględnia wymagania ochrony środowiska, jest odpowiedzialny, między innymi za:

- bezpieczeństwo dostarczania energii elektrycznej przez zapewnienie bezpieczeństwa funkcjonowania systemu elektroenergetycznego i odpowiedniej zdolności przesyłowej w sieci przesyłowej
- prowadzenie ruchu w sieci przesyłowej w sposób efektywny, przy zachowaniu wymaganej niezawodności dostarczania energii elektrycznej i jakości jej dostarczania oraz – we współpracy operatorów systemów przesyłowych i dystrybucyjnych – nadzór ruchu sieciowego w koordynowanej sieci 110 kV
- eksploatację, konserwację i remonty: sieci, instalacji i urządzeń, wraz z połączeniami z innymi systemami elektroenergetycznymi, w sposób gwarantujący niezawodność funkcjonowania systemu elektroenergetycznego (DzU 1997, poz. 348).

W związku z tymi wymaganiami prawnymi, firmy energetyczne zarządzające infrastrukturą elektroenergetyczną są zobligowane do zapewnienia: ciągłego, niezawodnego i bezpiecznego działania systemu energetycznego. Jednym z etapów prac eksploatacyjnych jest dbanie o dobry stan istniejącej sieci elektroenergetycznej. Prace konserwacyjne, drobne remonty na obiektach nn, SN, WN lub NN często są wykonywane przez ekipy pogotowia energetycznego, składające się z pracowników poszczególnych zakładów energetycznych. Prace takie są wykonywane przez co najmniej dwuosobowe zespoły pracowników, wyposażone najczęściej w samochód technologiczny i mające do dyspozycji podstawowe narzędzia niezbędne do wykonywania nieskomplikowanych prac. Do zadań pogotowia należy: wykonywanie drobnych napraw, oględziny urządzeń elektroenergetycznych i wykonywanie konserwacji urządzeń. Prace konserwacyjne przy obiektach WN i NN są wykonywane przez wyspecjalizowane firmy energetyczne.

Natomiast prace remontowe i usuwanie skutków awarii, polegające na rozbudowie lub naprawie uszkodzonego elementu systemu, które wykonują brygady stosujące specjalistyczne narzędzia i maszyny. Podobnie modernizacja i rozbudowa infrastruktury elektroenergetycznej, są wykonywane wyłącznie przez wyspecjalizowane firmy dysponujące takimi specjalistycznymi narzędziami i maszynami, jak: koparki, dźwigi, podnośniki, hamowniki do bębnow z przewodami, wciągarki do przewodów, konieczne do wykonania m.in.: fundamentów, montażu i stawiania konstrukcji słupów i konstrukcji pod aparaturę, montażu aparatury i kabli sterowniczych lub przewodów roboczych (przeznaczonych do przesyłu energii elektrycznej) i odgromowych.

Pracownicy wykonujący prace eksploatacyjne przy urządzeniach elektroenergetycznych powinni mieć ważne świadectwa kwalifikacyjne z zakresu eksploatacji urządzeń elektrycznych bez ograniczenia napięcia „E” lub „D” (dozór), (DzU 1997, poz. 348).

Złożony charakter zagrożeń środowiskowych podczas użytkowania sieci elektroenergetycznych może ilustrować, np. charakterystyka zagrożeń podczas montażu, demontażu izolacji i przewodów urządzeń elektroenergetycznych. Pracujący są narażeni przy tych pracach na takie szkodliwe lub niebezpieczne czynniki środowiskowe, jak:

- rażenie prądem elektrycznym, które zagraża pracującym w pobliżu czynnych obiektów energetycznych, narażonym na kontakt z urządzeniami znajdującymi się pod napięciem. Sytuacją, w której może dojść do porażenia prądem elektrycznym, jest praca na instalacji pod napięciem, np. na jednym torze linii wielotorowej, gdzie pozostałe znajdują się pod napięciem. Rażenie prądem elektrycznym może nastąpić nawet bez dotknięcia urządzenia będącego pod napięciem, ale wskutek kontaktu z urządzeniem znajdującym się

- w sąsiedztwie i wystąpienia zjawiska indukcji elektromagnetycznej
 - długotrwałe przebywanie w polu-EM, które towarzyszy np. pracom naciągowym, często odbywającym się na istniejących obiektach elektroenergetycznych. Ze względu na warunki pracy systemu elektroenergetycznego wyłączenie wszystkich torów prądowych linii nie zawsze jest możliwe, w związku z czym prace odbywają się w polu-EM pochodzącym od źródeł sąsiadujących z miejscem pracy
 - udar cieplny lub odmrożenia, podczas prac na otwartej przestrzeni, gdzie brak naturalnych barier ochronnych od promieni słonecznych, a także od mroźnego powietrza
 - promieniowanie optyczne, które podczas prac na wysokości od kilkunastu do kilkudziesięciu metrów nad ziemią może powodować oparzenia słoneczne, ponieważ wiejący tam wiatr powoduje złudne wrażenie chłodu, osłabiające subiektywne odczucia skutków działania promieni słonecznych, a ponadto odbicia światła od konstrukcji elektroenergetycznych mogą powodować oślnienia u pracowników przemieszczających się po kratownicy słupa
 - urazy i obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego, podczas prac wymagających aktywności fizycznej.
- długotrwałe przebywanie w polu-EM, podczas rozwieszania i naciągania przewodów na istniejących obiektach elektroenergetycznych, gdzie wyłączenie wszystkich torów prądowych linii nie zawsze jest możliwe ze względów ruchowych systemu energetycznego, w związku z czym prace te odbywają się w polu-EM pochodzącym od źródeł sąsiadujących z miejscem pracy
 - urazy i obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego, podczas prac łączeniowych, kiedy pracujący nie mają swobody ruchu i pracują w nienaturalnych pozycjach w kanałach kablowych, kucając podczas łączenia obwodów w szafach sterowniczych lub przebywając na drabinach
 - niewłaściwe oświetlenie przy sztucznym oświetleniu miejsca pracy przez lampy przenośne
 - takie niebezpieczne substancje chemiczne i ich mieszaniny, jak: sześćiofluorek siarki (SF_6) stosowany jako izolacyjny czynnik roboczy w wyłącznikach wysokiego napięcia, rozpuszczalniki organiczne emitowane z farb stosowanych do zabezpieczania konstrukcji stalowych, chlorowódz, kwas siarkowy, cynk i tlenek cynku emitowane w procesie cynkowania ogniowego konstrukcji stalowych.

Podczas montażu aparatury stacji elektroenergetycznych i kabli elektroenergetycznych pracujący są natomiast narażeni na nieco inne zagrożenia środowiskowe, jak np.:

- rażenie prądem elektrycznym, które zagraża pracującym w pobliżu czynnych obiektów energetycznych wskutek kontaktu z urządzeniami znajdującymi się pod napięciem

Podkreślenia wymaga, że sześćiofluorek siarki (SF_6) jest 6-krotnie cięższym od powietrza, przez co możliwe jest jego zaleganie, np. w takich wgłębieniach, jak kanały kablowe.

Zagrożenia elektromagnetyczne przy elementach sieci i instalacji elektroenergetycznych w przepisach prawa pracy

Przesyłaniu i użytkowaniu energii elektrycznej towarzyszy powstawanie w otoczeniu instalacji

i urządzeń pola-EM o częstotliwości 50 Hz. Metody pomiarów takiego pola-EM w przestrzeni pracy powinny być zharmonizowane z wymaganiami prawa pracy, dotyczącymi ochrony pracujących, jakie mają być realizowane za pomocą wyników tych pomiarów. Ze względu na zakres rozpoznania zagrożeń elektromagnetycznych w przestrzeni pracy wyróżnia się [R-BHP-EM]:

- pierwotne źródła pola-EM, którymi są obiekty techniczne zasilane energią elektryczną, które mogą być źródłami zamierzonymi (emitującymi pole-EM, w różnych celach użytkowych w skutek przewidywanego działania obiektu technicznego) lub źródłami niezamierzonymi, w otoczeniu których powstają pola-EM towarzyszące procesom zachodzącym w obiekcie technicznym, w szczególności przepływowi prądu elektrycznego
- wtórne źródła pola-EM, którymi są niezasilane elektrycznie obiekty metalowe, podlegające oddziaływaniom zewnętrznego pola-EM, emitowanego z innego źródła.

Obiekty elektroenergetyczne należy więc traktować jako niezamierzone pierwotne źródła pola-EM, a obiekty metalowe znajdujące się w ich pobliżu należy rozpatrywać jako możliwe wtórne źródła pola-EM.

Pole-EM zaliczono do fizycznych (niebezpiecznych i szkodliwych) czynników występujących w procesie pracy (PN-80/Z-08052), których oddziaływanie w środowisku pracy powinno być ograniczone, aby podczas wieloletniej aktywności zawodowej nie spowodowało negatywnych skutków zdrowotnych u pracownika, jak również u jego potomstwa. W świetle przeglądowych opracowań: Międzynarodowej Agencji Badań nad Rakiem (IARC), Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) oraz Komitetu Naukowego ds. Pojawiających się i Nowo Rozpoznanych Zagrożeń

dla Zdrowia (SCENIHR), oddziaływanie pola-EM należy traktować jako nieobojętne dla zdrowia. Związek zachorowań z oddziaływaniem pola-EM jest identyfikowany w statystycznych danych epidemiologicznych – nawet w świetle wyników badań naukowych dotyczących skutków zdrowotnych oddziaływania słabego pola magnetycznego wśród ludności zamieszkującej bezpośrednio w sąsiedztwie linii NN i WN. Biorąc pod uwagę ustalone w badaniach epidemiologicznych zależności między poziomem ekspozycji na pole-EM a częstotliwością diagnozowanych chorób nowotworowych (bez konkluzji dotyczących indywidualnych osób, w tym pracowników), w opracowaniach IARC zaklasyfikowano pola magnetyczne małej częstotliwości oraz promieniowanie elektromagnetyczne radiofalowe do czynników przypuszczalnie rakotwórczych dla ludzi (IARC 2002; IARC 2013). Oddziaływanie pola-EM może również powodować zagrożenia bezpieczeństwa wynikające np. z rażenia prądami kontaktowymi lub zakłócenia funkcjonowania urządzeń elektronicznych, w tym implantów medycznych.

Ponadto, ochrona pracowników powinna uwzględniać przeciwdziałanie natychmiastowym i ostrym, bezpośrednim biofizycznym skutkom oddziaływania pola-EM. Pole-EM o częstotliwości 50 Hz może być przyczyną wyłącznie oddziaływania pozatermicznego. Jest ono określone w R-BHP-EM jako pobudzenie: mięśni, nerwów lub narządów zmysłów, które może mieć szkodliwy wpływ na zdrowie psychiczne i fizyczne, wywołać takie przejściowe objawy, jak zawroty głowy czy wrażenia wzrokowe oraz wynikające z nich przejściowe uciążliwości lub wpływać na funkcje poznawcze czy inne funkcje mózgu lub mięśni, ograniczając zdolność do bezpiecznego wykonywania pracy. Ponadto, w rozpoznaniu i ocenie oddziaływania pola-EM w przestrzeni pracy są rozpatrywane elektromagnetyczne zagrożenia pośrednie wynikające

z oddziaływania pola-EM na obiekty, które może spowodować zagrożenie bezpieczeństwa lub zdrowia, włączając w to m.in.:

- wrażliwość urządzeń elektronicznych na oddziaływanie pola-EM, w szczególności powodującą zakłócenie działania elektronicznych aktywnych implantów medycznych
- zapłon materiałów łatwopalnych lub atmosfer wybuchowych na skutek iskrzenia w obiektach technicznych, które może być spowodowane prądem indukowanym w tych obiektach lub prądem kontaktowym stanu przejściowego
- prądy kończynowe kontaktowe, tj. prądy przepływające w kończynach podczas dotykania obiektów, kiedy na osoby i obiekty oddziałuje pole-EM.

Cele te są realizowane obecnie przez wymagania określone w R-BHP-EM i R-NDN-EM. Celem ułatwienia procesu rozpoznania źródeł i skali zagrożeń elektromagnetycznych w przestrzeni pracy, charakterystyki wybranych, często występujących w środowisku pracy źródeł pola-EM podano w załączniku do R-BHP-EM, w którym uwzględniono również systemy elektroenergetyczne i elektryczną instalację zasilającą (zał. nr 3., cz. I, tab. 1., poz. 2.).

Duże znaczenie praktyczne ma fakt, że w Polsce obowiązuje również prawna ochrona środowiska ogólnego przed zagrożeniami elektromagnetycznymi, także o częstotliwości 50 Hz (wytwarzanymi przez elementy infrastruktury elektroenergetycznej), określona rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. (DzU 2003, poz. 1833; *Różycki* 2011; Zarządzenie Ministra Górnictwa i Energetyki 1985). Limity narażenia ogółu ludności są niższe niż dotyczące pracowników (tab. 1.). Natomiast zasady bezpieczeństwa i higieny pracy,

ze względu na zagrożenia wynikające z oddziaływania pola-EM o poziomach przekraczających dopuszczalne dla ludności, określono w R-BHP-EM, jako zasady przebywania w polu-EM stref ochronnych, rozumianych jako przestrzeń pracy, w której natężenie pola-E lub natężenie pola-M przekracza limit dolnej granicy strefy pośredniej, tzw. Interwencyjny Poziom Narażenia pomocniczy (IPN_p), odpowiednio IPN_p-E lub IPN_p-H, w której się wyróżnia:

- przestrzeń pola-EM strefy niebezpiecznej – w której przebywanie w ramach codziennej praktyki jest zabronione
- przestrzeń pola-EM strefy zagrożenia – w której przebywanie jest dopuszczane, pod warunkiem stosowania środków ochronnych, określonych ze względu na rozpoznane zagrożenia elektromagnetyczne wynikające z bezpośrednich lub pośrednich skutków oddziaływania pola-EM
- przestrzeń pola-EM strefy pośredniej – w której przebywanie jest dopuszczane, pod warunkiem stosowania środków ochronnych ze względu na rozpoznane zagrożenia elektromagnetyczne wynikające z pośrednich skutków oddziaływania pola-EM.

Przebywanie w przestrzeni pola-EM strefy zagrożenia lub pośredniej jest określane jako narażenie kontrolowane, a przebywanie w przestrzeni pola-EM strefy niebezpiecznej jako narażenie niebezpieczne. Natomiast przestrzeń pola-EM strefy bezpiecznej jest określona jako przestrzeń poza strefami ochronnymi, do której nie określono warunków ograniczających ekspozycję, a przebywanie w niej jest określane jako ekspozycja pomijalna.

W przestrzeni pola-EM stref ochronnych narażenie kontrolowane pracującego lub osoby

potencjalnie narażone⁵ jest zgodne z wymaganiami określonymi w prawie pracy, jeśli:

- dotyczy osób, u których w wyniku badań profilaktycznych nie stwierdzono przeciwwskazań do narażenia na pole-EM
- rozpoznano i oceniono zagrożenia elektromagnetyczne w przestrzeni pracy, a zagrożenia te zostały wyeliminowane lub ograniczone przez stosowanie środków ochronnych; odpowiednio oznakowano zasięgi przestrzeni pola-EM stref ochronnych oraz rodzaje występujących tam zagrożeń elektromagnetycznych, a ponadto rozmieszczono stanowiska pracy w sposób ograniczający narażenie
- narażenie na pole-EM jest okresowo oceniane, a pracujący i osoby potencjalnie narażone zostali poinformowani o rozpoznanych zagrożeniach elektromagnetycznych i zapoznani z zastosowanymi środkami ochronnymi, które uwzględniają m.in. specyficzne ograniczenia dotyczące oddziaływania pola-EM na osoby szczególnie chronione
- warunki wykonywania pracy zapewniają, że dziennie narażenie jest tymczasowe.

Miarą poziomu oddziaływania pola-EM w przestrzeni pracy przy systemach elektroenergetycznych i elektrycznych instalacjach zasilających w energetyce są:

- natężenie pola elektrycznego (pola-E) oznaczane symbolem E i wyrażane w voltach na metr lub w kilowoltach na metr (V/m lub kV/m)
- natężenie pola magnetycznego⁶ (pola-M) oznaczane symbolem H i wyrażane

w amperach na metr lub kiloamperach na metr (A/m lub kA/m).

Należy zwrócić uwagę, że wartości IPN określono do oceny wartości równoważnych (WR)⁷ natężenia pola-E lub pola-M, a pomiary są wykonywane zwykle miernikami wartości skutecznej (RMS). Wynik pomiaru typowym szerokopasmowym miernikiem wartości RMS natężenia pola-M lub pola-E (H_{RMS} lub E_{RMS}) odzwierciedla widmowy skład mierzonego pola wg zależności [1], podanej przykładowo dla pola-M, która może znacznie odbiegać od WR (Bieńkowski i in. 2016; Karpowicz, Gryz 2001; 2013):

$$H_{RMS} \approx \sqrt{\sum_i (H_{RMS}(f_i))^2} \quad [1]$$

gdzie:

$H_{RMS}(f_i)$ – wartość skuteczna natężenia składowej pola-M o częstotliwości f_i .

Jedynie w przypadku jednego okresu przebiegu sinusoidalnie zmiennego w czasie wartość skuteczna jest równa wartości równoważnej, przy czym dla pola-EM wytwarzanego przez obiekty elektroenergetyczne jest to sytuacja typowa.

Reasumując, do oceny narażenia na pole-EM podczas użytkowania obiektów systemów elektroenergetycznych i elektrycznych instalacji zasilających prądu przemiennego w energetyce wykorzystuje się wyniki pomiaru wartości skutecznej (RMS) wykonane w określonych warunkach, z bezpośrednim zastosowaniem odpowiednich wartości IPN-E i IPN-H określonych w R-NDN-EM dla pola-EM o częstotliwości 50 Hz (tab. 1.), pomimo tego, że limity IPN odnoszą się do wartości równoważnych.

⁵ 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 [R-BHP-EM].

⁶ Alternatywnie do natężenia pola-M dopuszcza się stosowanie indukcji magnetycznej, oznaczanej symbolem B i wyrażanej w teslach (T), w jednostkach podwielokrotnych: mili- lub mikroteslach (mT, μ T). W powietrzu pole o indukcji 1 μ T charakteryzuje również natężenie pola-M wynoszące około 0,8 A/m.

⁷ Wartość równoważna (WR) – wartość międzyszczytowa wybranego parametru charakteryzującego pole-EM, czyli różnica między maksymalną a minimalną wartością chwilową tego parametru w ciągu określonego przedziału czasu (T), podzielona przez $2\sqrt{2}$ [R-BHP-EM].

Tabela 1.

Limity narażenia na przemienne sinusoidalnie zmienne pole-E i pole-M o częstotliwości 50 Hz
(DzU 2016, poz. 952; DzU 2003, poz. 1833)

Ograniczenia dotyczące oddziaływania pola-EM	Natężenie pola-M		Natężenie pola-E	
	rodzaj limitu	H w kA/m	rodzaj limitu	E w kV/m
Limity narażenia pracowników	IPNk-H	8,0	–	–
	IPNog-H	3,2	IPNog-E	20
	IPNob-H	1,6	IPNob-E	10
	IPNod-H	0,53	IPNod-E	3,3
	IPNp-H	0,06	IPNp-E	1,0
Limity ekspozycji ogółu ludności	–	0,06	miejsca zabudowy mieszkaniowej	1,0
			miejsca dostępne dla ludności	10

Objaśnienia:

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 bazowy; IPNk-H – limit narażenia kończyn.

Narażenie tymczasowe zostało zdefiniowane jako oddziaływanie pola-EM, podczas którego wskaźnik narażenia nie przekracza wartości równej jeden ($W < 1$). Wskaźnikiem narażenia jest parametr dziennego narażenia ogólnego, wyznaczany jako suma wskaźników narażenia wynikających z narażenia quasi-stacjonarnego, zgodnie z zależnością:

$$W = T_g(E/IPNob-E)^2 + T_g(H/IPNob-H)^2 \quad [2]$$

gdzie:

T_g – bezwymiarowy współczynnik krotności czasu narażenia ogólnego w stosunku do 8 godzin

E i H – wartości natężenia pola-E i pola-M, maksymalne w punktach pomiarowych odpowiadających narażeniu głowy i tułowia podczas narażenia quasi-stacjonarnego.

Biorąc pod uwagę specyfikę prac wykonywanych w obiektach elektroenergetycznych, polegających w znacznej mierze na oglądziach (obchody) i kontroli funkcjonowania urządzeń pod napięciem, przy wykonywaniu innych prac w znacznym stopniu po odłączeniu zasilania, do oszacowania tymczasowości narażenia na pole-EM stref ochronnych można wykorzystać podane w tabeli 2. zależności, wskazujące warunki występowania narażenia tymczasowego (jak określono w R-BHP-EM), niezależnie od szczegółowego chronometrażu dziennej aktywności pracującego.

Tabela 2.

Zależności do szacowania tymczasowości narażenia na pole-EM o częstotliwości 50 Hz stref ochronnych [R-BHP-EM]

Lp.	Warunki zapewniające tymczasowość narażenia na pole-EM stref ochronnych (spełnione łącznie)	
	dzienny czas narażenia	maksymalny poziom narażenia
1.	krócej od 1 godziny	$E < IPNog-E$ i $H < IPNog-H$
2.	krócej od 2 godzin	$E < IPNog-E$ i $H < IPNod-H$ lub: $H < IPNog-H$ i $E < IPNod-E$
3.	krócej od 4 godzin	$E < IPNob-E$ i $H < IPNob-H$
4.	krócej od 8 godzin	$E < IPNob-E$ i $H < IPNod-H$ lub: $H < IPNob-H$ i $E < IPNod-E$

Zakres pomiarów wykonanych z zastosowaniem określonych metod i aparatury pomiarowej – uwzględniający (zgodnie z R-BHP-EM: zał. nr 3, cz. III, pkt. 4.) zróżnicowany rozkład przestrzenny miejscowych wartości natężenia pola-E i natężenia pola-M – powinien umożliwić wszechstronną ocenę pola-EM w przestrzeni pracy, a w szczególności:

- udokumentowanie rozpoznania źródeł pola-EM w przestrzeni pracy
- ocenę odpowiednich do rozpoznanych charakterystyk pola-EM parametrów natężenia pola-E i pola-M w dziedzinie czasu (ocenę wartości skutecznej)
- określenie, w przestrzeni pracy, przy obiektach energetycznych stanowiących pierwotne źródło pola-EM oraz przy rozpoznanych w tej przestrzeni wtórnych źródłach pola-EM, odpowiednio dokładnie zasięgów stref ochronnych pola-EM celem opracowania i wdrożenia programu stosowania środków ochronnych
- określenie, w wyznaczonej przez użytkownika (np. prowadzącego eksploatację obiektu elektroenergetycznego) przestrzeni obsługi⁸, w której rozpoznano
- pole-EM strefy zagrożenia, odpowiednio dokładnie rozkładu przestrzennego miejscowych wartości natężenia niezaburzonego pola-E i pola-M w punktach pomiarowych⁹ w celu oceny poziomu narażenia miejscowego różnych części ciała (głowy, tułowia, kończyn) oraz oceny narażeń quasi-stacjonarnych i tymczasowości narażenia na pole-EM w przestrzeni obsługi w strefie zagrożenia.

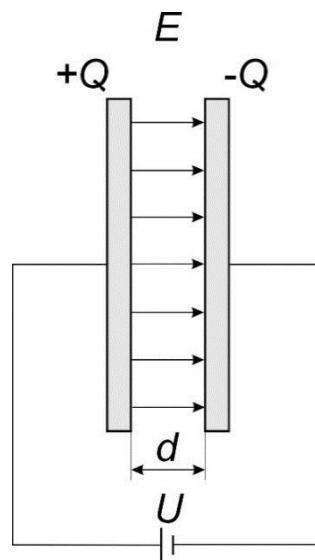
⁸ Przechylenie obsługi – w przestrzeni pracy wyróżnia się przestrzeń obsługi, w której pracujący przebywają podczas wykonywania dowolnego typu obowiązków, w szczególności w zakresie: użytkownika źródła pola-EM, podczas dojścia do miejsc wykonywania pracy, przygotowania do pracy lub przerw w pracy [wg R-BHP-EM].

⁹ Punkt pomiarowy – punkt w przestrzeni pracy reprezentujący rozkład przestrzenny poziomu miejscowych wartości natężenia pola-E lub pola-M, uśrednionego w przestrzeni o kształcie sześcianu i o długości krawędzi 10 cm, której środek reprezentuje położenie referencyjnej bezkierunkowej sondy niezaburzonego pola-EM bliskiego. Za wartość natężenia pola-M bezpośrednio przy metalowych obiektach przyjmuje się wartość: $H = 3H1 - 2H2$, wyznaczoną na podstawie miejscowych wartości $H1$ i $H2$, określonych w odległości od obiektu odpowiednio: 10 i 20 cm [wg R-BHP-EM; zał. nr 3, cz. III, pkt. 1.2.].

Charakterystyka narażenia na pole-EM podczas użytkowania sieci elektroenergetycznych i elektrycznych instalacji w energetyce

Zależności determinujące wartości natężenia pola-E i pola-M w otoczeniu elementów sieci i instalacji elektroenergetycznych

Oszacowanie poziomów pola-E w otoczeniu elementów sieci i instalacji elektroenergetycznych jest na ogół zagadnieniem bardzo złożonym, a wyznaczenie natężenia pola-E jest nieskomplikowane wyłącznie w środku powietrznego kondensatora płaskiego (rys. 2.), tj. w układzie stosowanym powszechnie do wzorcowania mierników pola-E (PN-EN 61786-1: 2014-05).



Rys. 2. Pole-E w kondensatorze płaskim zasilanym napięciem U (Rawa 2001)

W takim układzie, jeśli na okładkach kondensatora płaskiego o odległości między okładkami równej d występuje napięcie U , natężenie pola-E, praktycznie jednorodne w przestrzeni między okładzinami kondensatora, wynosi:

$$E = U/d \quad [3]$$

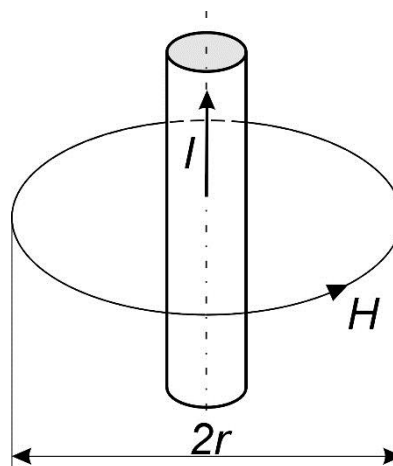
W innych przypadkach, w szczególności przy wyznaczaniu natężenia pola-E wytwarzanego przez elementy sieci i instalacji elektroenergetycznych, zasilanych prawie zawsze napięciem trójfazowym, konieczne jest korzystanie z metod numerycznych. Przyjmując szereg założeń upraszczających, w większości przypadków pozwalają one na wyznaczenie rozkładu pola-E w pobliżu jego źródła, ale bez uwzględnienia znajdujących się tam obiektów ekranujących, tj. uziemionych obiektów metalowych. Przykładem są dostępne algorytmy obliczeniowe pozwalające na wyznaczenie rozkładu pola-E pod linią napowietrzną, które jednak nie umożliwiają dokładnego zobrazowania rozkładu pola-E w sąsiedztwie stalowej konstrukcji słupa (Papliński, Śmietanka 2011).

Nieco łatwiejsze wydaje się oszacowanie poziomów pola-M, którego źródłem są elementy sieci i instalacji elektroenergetycznych, szczególnie przy zasilaniu jednofazowym. Właściwości pola-M powodują, że nie jest ono odkształcane przez obiekty przewodzące umiejscowione blisko źródła, tak jak dzieje się to w przypadku pola-E. Jednak zależności uproszczone są wystarczające jedynie do analizy rozkładu pola-EM przy pojedynczych źródłach o nieskomplikowanej geometrii, np. natężenie pola-M wokół pojedynczego nieskończenie długiego prostoliniowego przewodu z prądem wyrażone jest zależnością [4], (rys. 3.). W praktyce, zależność tę można wykorzystać do szacowania natężenia pola-M gdy długość przewodu z prądem jest co najmniej 5 razy większa niż r .

$$H = I / (2\pi r) \quad [4]$$

w której:

I – natężenie prądu w przewodzie, A
 r – odległość od przewodu, m.



Rys. 3. Natężenie pola-M w odległości $2r/2$ od przewodu z prądem o natężeniu I (Rawra 2001)

Problem komplikuje się, gdy przewód z prądem ma skończoną długość (jak np. szyny zbiorcze w stacji elektroenergetycznej). Można np. wykazać, że jeśli natężenie pola-M w odległości 15 cm od prostoliniowego przewodu z prądem o nieskończonej długości i natężeniu $I = 2500$ A wynosi $H = 2654$ A/m, to w przypadku przewodu o długości 30 cm, wynosi tylko $H = 1887$ A/m, tj. około 70% wartości jaka występuje przy przewodzie nieskończenie długim.

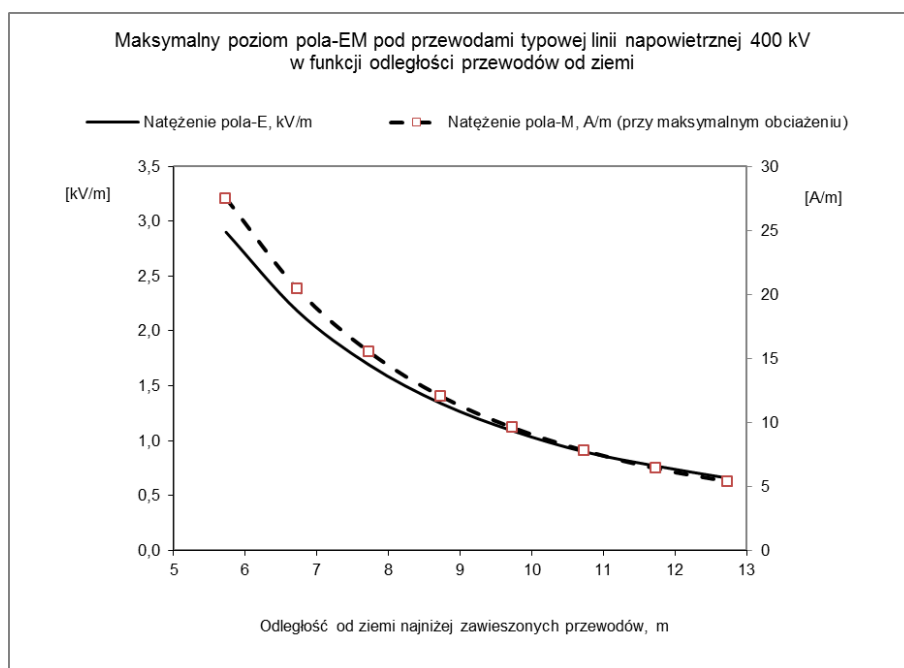
Zagadnienie rozpoznania poziomu pola-M nieco się komplikuje, gdy jego źródłem jest kilka równoległych przewodów (torów prądowych), a staje się już bardzo złożone, gdy przewody te nie są do siebie równoległe, co jest typową sytuacją dla konfiguracji oszynowania na stacjach elektroenergetycznych.

Stopień złożoności problemu wzrasta jeszcze bardziej, gdy źródłem pola-M jest układ przewodów o różnych fazach, najczęściej 3 przewodów (szyn) zasilanych prądem trójfazowym, a staje się już bardzo poważnym problem obliczeniowym, w przypadku gdy prądy płynące w poszczególnych torach nie są sobie równe. Chociaż w przypadku gdy w przewodach płyną równe prądy (w kablu dwużyłowym lub wiązce przewodów 3-fazowych

o zrównoważonym obciążeniu) w ich otoczeniu występuje jedynie bardzo słabe pole-M wskutek kompensacji składowych od poszczególnych kabli.

Wobec takich okoliczności, szacowanie poziomu pola-M na podstawie obliczeń jedynie w specyficznych okolicznościach można rozważać jako alternatywę do oceny poziomu narażenia przez pomiary natężenia pola-M w przestrzeni pracy (Arciszewski i in. 1995).

Z przytoczonych zależności wynika, że natężenie pola-E jest proporcjonalne do różnicy potencjału elektrycznego występującego w jego źródle, a natężenie pola-M – proporcjonalne do natężenia prądu. Natężenie pola-M i natężenie pola-E zmniejszają się w miarę oddalania od źródła, co najmniej proporcjonalnie do odległości, co w przypadku linii napowietrznych ilustruje rysunek 4., opracowany na podstawie danych literaturowych (Szuba 2008).



Rys. 4. Zależność maksymalnej wartości natężenia pola-E i natężenia pola-M pod typową linią napowietrzną 400 kV w funkcji odległości przewodów od ziemi

Pole-EM w otoczeniu napowietrznych linii elektroenergetycznych

W Polsce eksploatowane są obecnie napowietrzne linie elektroenergetyczne NN, stanowiące najpoważniejsze źródło pola-EM częstotliwości przemysłowej 50 Hz w środowisku. Natężenie pola-E i pola-M w otoczeniu tych linii jest uzależnione odpowiednio od napięcia roboczego (pole-E) i natężenia przepływającego przez linie prądu (pole-M). Wartości tych wielkości zależą także od geometrycznego układu przewodów w przestrzeni, a także od geometrycznego układu faz w liniach wielotorowych (Pilatowicz i in. 1991). Przy określonej

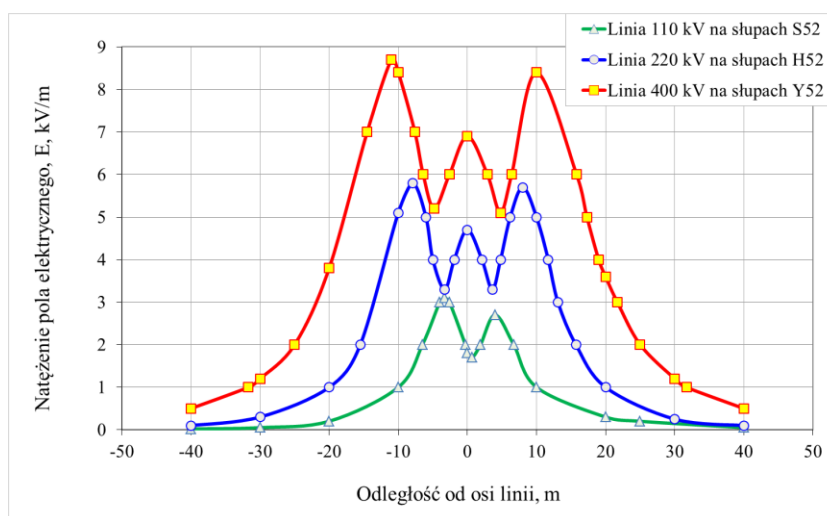
odległości przewodów fazowych od ziemi rozkład pola-E w otoczeniu napowietrznych linii elektroenergetycznych jest w przybliżeniu stabilny w czasie, jednak lokalnie może się znacznie różnić od teoretycznego, ponieważ zależy on istotnie od elementów przewodzących znajdujących się blisko linii, np. drzew, stalowej konstrukcji słupów i innych konstrukcji przewodzących.

Rozkład przestrzenny pola-M w otoczeniu napowietrznych linii elektroenergetycznych w przeciwieństwie do pola-E nie podlega takim lokalnym deformacjom, natomiast wartość natężenia pola-M zmienia się w czasie, zależnie

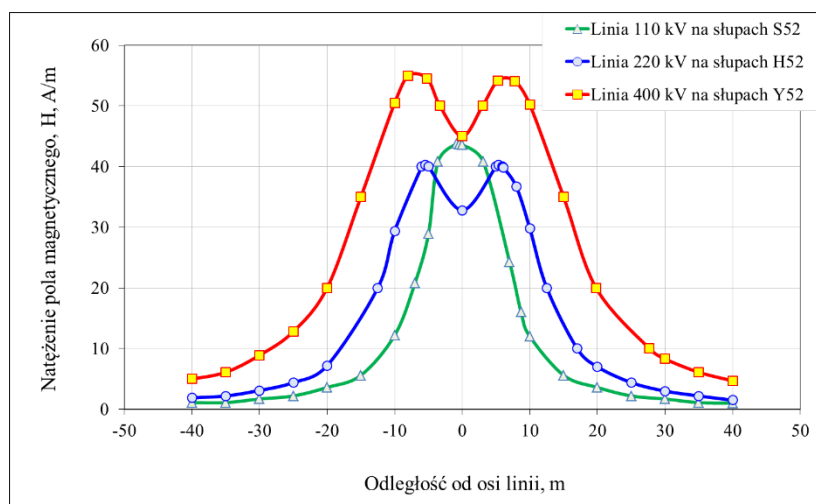
od obciążenia linii, które w typowych warunkach zawiera się w przedziale (100 ÷ 500) A, osiągając w warunkach ekstremalnych wartość 2000 A (w przypadku linii 400 kV łączących systemowe stacje elektroenergetyczne zlokalizowane w pobliżu dużych elektrowni).

Należy podkreślić, że przy określonych warunkach pracy konkretnej linii napowietrznej, charakteryzowanych przez: napięcie robocze, natężenie prądu roboczego, ustalony zwis przewodów zależny m.in. od obciążenia i temperatury otoczenia, największe wartości natężenia

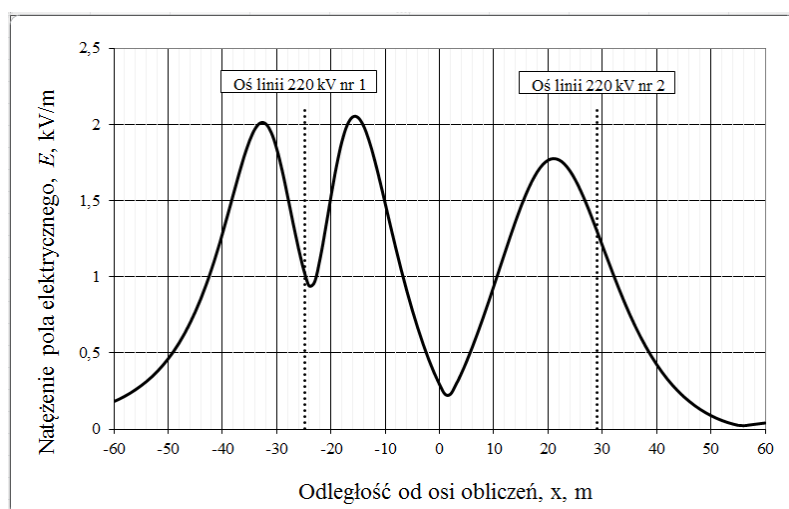
pola-E i pola-M występują w okolicach środka przęsła, a dokładniej w miejscu, w którym odległość przewodów fazowych od ziemi jest najmniejsza (Arciszewski i in. 1994; Szuba 2006). Przykładowe rozkłady natężenia pola-E i natężenia pola-M w otoczeniu typowych jednotorowych linii napowietrznych o napięciu: 110; 220 i 400 kV, wyznaczone w miejscu największego zwisu przewodów, zaprezentowano na rysunkach 5. i 6., opracowane na podstawie danych literaturowych (Szuba 2008).



Rys. 5. Przykładowe rozkłady pola-E w otoczeniu jednotorowych linii napowietrznych WN i NN wyznaczone w miejscu największego zwisu przewodów, przy minimalnej dopuszczalnej przepisami wysokości zawieszenia przewodów nad ziemią: dla linii 110 kV, h = 6 m; dla linii 400 kV, h = 9 m



Rys. 6. Przykładowe rozkłady pola-M w otoczeniu jednotorowych linii napowietrznych WN i NN wyznaczone w miejscu największego zwisu przewodów, przy minimalnej dopuszczalnej przepisami wysokości zawieszenia przewodów nad ziemią: dla linii 110 kV, h = 6 m; dla linii 400 kV, h = 9 m (prąd linii 110 kV I = 1220 A, prąd linii 400 kV, I = 2440 A)



Rys. 7. Wyniki obliczeń rozkładu natężenia pola-E w sąsiedztwie dwóch równoległych linii napowietrznych 220 kV (Szuba 2011)

Znacznie bardziej skomplikowane i odbiegające od zaprezentowanych na rysunkach 5. i 6. są rozkłady obu składowych pola-EM w przypadku linii wielotorowych, w tym bardzo rozpowszechnionych w KSE, linii dwutorowych (Papliński i in. 2012). Jeszcze bardziej złożone są rozkłady poszczególnych składowych pola-EM w przypadku, gdy są one wyznaczone w otoczeniu kilku linii napowietrznych biegnących w niewielkiej odległości od siebie, co dla składowej elektrycznej pokazano na rysunku 7.

W każdym indywidualnym przypadku, przy oszacowaniu poziomów poszczególnych składowych pola-EM, zarówno metodami analitycznymi, jak i pomiarowymi, niezbędne jest posługiwanie się odpowiednią dokumentacją linii (charakteryzującą m.in. aktualne zestawienie montażowe, profile linii).

Bezpośrednio przy przewodach napowietrznych linii elektroenergetycznych WN natężenie pola-E i pola-M osiągają poziomy na tyle wysokie, że mogą tam przebywać jedynie pracownicy (jest to pole-EM stref ochronnych), (Gryz, Karpowicz 2013b; Komorowska, Papliński 1998). Natężenie pola-E oraz natężenie pola-M zazwyczaj przekraczają tam wartości dopusz-

czalne w miejscach dostępnych dla ludności, natomiast od wielu lat napowietrzne linie elektroenergetyczne, w tym linie WN i NN, są tak budowane, aby w miejscach dostępnych dla ludności pod linią i w jej otoczeniu (do wysokości 2 m nad ziemią) zapewnić spełnienie wymagań dotyczących ochrony środowiska (tab. 1.).

W związku z tym, że przepisy dotyczące ochrony przed polem-EM obowiązują zarówno w środowisku, jak i w środowisku pracy (bhp), od wielu lat wykonuje się zarówno analizy obliczeniowe (na etapie projektowania linii), jak i pomiarową identyfikację rozkładu poszczególnych składowych pola-EM, w celu sprawdzenia dotrzymania poziomów dopuszczalnych ustalonych w celu ochrony zarówno środowiska, jak i ochrony pracowników. Istniejące obiekty elektroenergetyczne z reguły już mają odpowiednią dokumentację charakteryzującą rozkład przestrzenny i poziom pola-EM w ich otoczeniu.

Pole-EM w otoczeniu elementów rozdzielni elektroenergetycznych

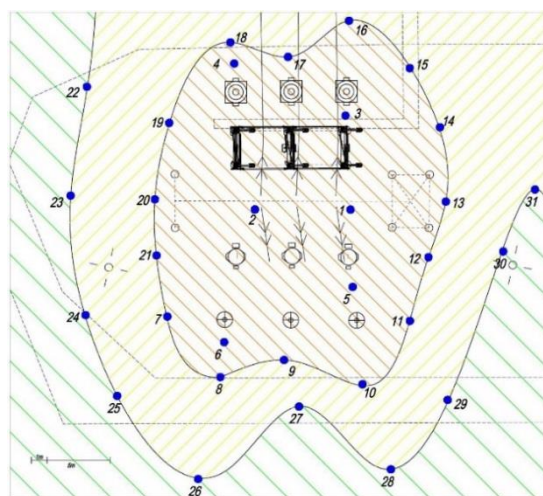
Z punktu widzenia zagadnień ochrony pracowników energetyki przed oddziaływaniem pola-EM, istotne wydaje się oszacowanie poziomów

poszczególnych składowych na terenie rozdzielni, będących ważnym elementem stacji elektroenergetycznych. Na podstawie wyników badań pokazano, że na terenie rozdzielni o różnych poziomach napięć, lokalnie, zależnie od konfiguracji geometrycznej torów prądowych, napięcia roboczego i aktualnego obciążenia szyn zbiorczych, może występować pole-EM o poziomach wyższych niż dopuszczalne dla środowiska, nawet o poziomach niebezpiecznego narażenia pracowników, które jest zabronione w ramach codziennej praktyki (Czaplak, Papliński 1988; Korniewicz, Gryz 1998; Korniewicz i in. 1998, Zmysłony, Borkiewicz 1999).

Wyniki badań własnych autorów, dotyczących rozkładów poszczególnych składowych pola-EM w rozdzielniach o napięciu: 6; 15; 30; 110; 220 i 400 kV, zarówno napowietrznych, jak i wewnętrznych, pozwalają na stwierdzenie, że w miejscach wykonywania takich typowych czynności zawodowych, jak: kontrola poprawności pracy urządzeń elektroenergetycznych i obchody w sąsiedztwie urządzeń elektroenergetycznych oraz niezbędne naprawy i konserwacja przy wyłączonym zasilaniu urządzeń poddawanych naprawom, a przy pracujących urządzeniach sąsiednich, występuje narażenie na pole-E i pole-M, co najwyżej ze strefy zagrożenia. Narażenie pracowników na najsilniejsze pole-M jest krótkotrwałe i występuje w rozdzielniach, gdzie prąd szyn zbiorczych osiąga wartości kilkuset A. Największe poziomy pola-M i narażenie pracowników występuje w pobliżu torów wieloprądowych, w sąsiedztwie pojedynczych kabli, odsuniętych od innych torów prądowych, a także przy urządzeniach kompensujących (np. dławikach) (Owsiński i in. 2016). Stosunkowo słabe pole-M, pomimo dużych natężeń prądów, występują w kablowniach, gdzie z uwagi na zgrupowanie zazwyczaj większej ilości kabli 3-fazowych biegnących blisko siebie, występuje zjawisko kompensacji pola-M pochodzącego od prądów przesyłanych poszczególnymi kablami. W miejscach

przebywania pracowników natężenie pola-M zwykle nie przekracza tam kilku A/m. Przy nowoczesnych rozwiązaniach rozdzielnic (sukcesywnie wprowadzanych do stosowania zamkniętych kompaktowych celkach rozdzielczych nn i SN) uzyskuje się ograniczenie poziomu pola-M w miejscach przebywania pracowników (osiągającego $20 \div 30$ A/m w odległości 15 cm od obudowy celki).

Na terenie napowietrznych rozdzielni WN i NN, w miejscach przebywania pracowników, możliwe jest narażenie na pole strefy pośredniej i zagrożenia. W rozdzielniach wewnętrznych SN, także w sąsiedztwie szyn zbiorczych, które nadciągami komunikacyjnymi są zazwyczaj osłonięte ekranującymi elementami metalowymi, występuje słabe pole-E (do kilkuset V/m). Przykładowe wyniki pomiarów natężenia pola-E w postaci linii prezentujących granicę strefy zagrożenia oraz strefy pośredniej przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Wyniki pomiarów natężenia pola-E przeprowadzonych na terenie rozdzielni 220 kV, w postaci linii prezentujących granicę strefy zagrożenia oraz strefy pośredniej

W przypadku nowoczesnych rozwiązań stosowanych w energetyce w ostatnich latach, polegających na budowie kompaktowych, zamkniętych rozdzielnic WN i SN z zabudowanymi układami szyn zbiorczych izolowanymi

sześciofluorkiem siarki SF₆, natężenie pola-E w sąsiedztwie tego rodzaju konstrukcji nie odbiega od poziomów występujących w mieszkaniach czy biurach. Natomiast lokalnie możliwy jest wtedy dostęp do przestrzeni pola-M strefy pośredniej (ze względu na mniejsze odległości od torów prądowych).

Najbardziej narażeni na oddziaływanie pola-EM są pracownicy zatrudnieni na stanowiskach: elektromonter, monter linii WN wykonujący pracę w pobliżu czynnych linii elektroenergetycznych (pod napięciem) oraz elektromonter pracujący w pobliżu urządzeń będących pod napięciem. Narażenia te występują przede wszystkim podczas remontu lub przebudowy linii WN, szczególnie w sytuacji, gdy prace odbywają się przy czynnej innej linii WN biegnącej w niewielkiej odległości od linii remontowanej lub przebudowywanej. Istotną grupą czynności powodujących narażenie są prace eksploatacyjne prowadzone na czynnych obiektach obejmujące: oględziny, czynności łączeniowe oraz prace kontrolno-pomiarowe. Kolejną czynnością rutynowo wykonywaną w sąsiedztwie źródeł pola-EM na terenie rozdzielni napowietrznych są czynności porządkowe, tj. koszenie trawy czy odśnieżanie, często wykonywane przez wiele godzin w przestrzeni pola-EM stref ochronnych. Bezpośrednio przy czynnych urządzeniach elektroenergetycznych WN (zwłaszcza stacyjnych, gdzie oszynowanie i przewody znajdują się na małej wysokości nad poziomem gruntu) natężenie pola-E osiąga na tyle wysokie poziomy, że mogą tam przebywać tylko pracownicy wyznaczeni przez kierującego zespołem – przy najsilniejszych narażeniach w ograniczonym czasie.

Pole-EM w otoczeniu generatorów

Oddzielną grupą obiektów są takie urządzenia związane z wytwarzaniem energii elektrycznej, jak generatory i ich tory prądowe. W związku z rosnącą popularnością energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych, generatory o małych mocach można spotkać głównie

w elektrowniach wodnych i wiatrowych, natomiast o większej mocy w energetyce zawodowej – w elektrowniach konwencjonalnych (opalanych węglem lub paliwem ciekłym), (Gryz, Karpowicz 2016; Połoczanin i in. 2014). Eksploatacja takich obiektów jest związana z narażeniem pracowników na oddziaływanie pola-EM – są to czynności serwisowe lub rutynowe obchody połączone z kontrolą stanu technicznego urządzeń. Wśród innych narażeń takich pracowników można także wymienić: hałas i drgania, zapylenie i wysoką temperaturę. Dlatego, przykładowo w elektrowni, obsługa bloków energetycznych ma zazwyczaj wydzielone pomieszczenie, oddalone od generatora i jego torów prądowych, często dodatkowo akustycznie wyciszone.

Ekipa nadzorująca blok energetyczny dokonuje obchodu bloku, podobnie jak na stacjach energetycznych i porusza się drogami komunikacyjnymi. W przypadku generatora zwykle jest fizyczny dostęp do jego obudowy i pracownik może znaleźć się przy zaciskach generatora i kablach wyprowadzenia z niego mocy elektrycznej – w tych miejscach przy generatorach blokowych w elektrowniach można się spodziewać pola-M stref ochronnych, pośredniej i zagrożenia. Zwykle najsilniejsze narażenie dotyczy jedynie kończyn. W niektórych elektrowniach moc z bloku wyprowadzona jest linią napowietrzną, przy której można spodziewać się pola-E strefy pośredniej i zagrożenia.

Rekomendowana metoda pomiaru pola-E i pola-M w przestrzeni pracy podczas użytkowania sieci i instalacji elektroenergetycznych

W wyniku przeprowadzonej analizy struktury obiektów i instalacji sieci elektroenergetycznej prądu przemiennego zarekomendowano metodę pomiarów natężenia pola-E i pola-M, występującego w przestrzeni pracy podczas użytkowania następujących obiektów:

- stacje elektroenergetyczne WN z rozdzielniami o napięciu znamionowym (110 ÷ 750) kV
- linie elektroenergetyczne WN, o napięciu znamionowym (110 ÷ 400) kV
- linie elektroenergetyczne nn lub SN, o napięciu znamionowym (0,4 ÷ 110) kV (z wyłączeniem obiektów o napięciu 110 kV, zaliczanym do WN)
- rozdzielnie i transformatory nn lub SN, o napięciach znamionowych (0,4 ÷ 110) kV (z wyłączeniem obiektów o napięciu 110 kV, zaliczanym do WN)
- generatory prądu o mocach powyżej 1 MW (wraz z torami prądowymi i aparaturą łączeniową i pomiarową)
- instalacje potrzeb własnych na stacjach elektroenergetycznych, trójfazowe instalacje przemysłowe.

Omawiana, opracowana rekomendowana metoda pomiaru nie dotyczy pola-EM w przestrzeni obsługi, w której są wykonywane prace pod napięciem, ponieważ w bezpośrednim otoczeniu torów prądowych pod napięciem, natężenia niezaburzonego pola-E i pola-M nie stanowią w takim przypadku adekwatnych miar do oceny bezpośredniego oddziaływania pola-EM na pracownika.

Oceną narażenia na pole-EM w przestrzeni pracy w otoczeniu linii elektroenergetycznych metodami pomiarowymi są objęte tylko przypadki szczególne, tj. miejsca pod liniami, dla których dokonanie oceny narażenia pracowników lub osób potencjalnie narażonych nie jest możliwe na podstawie danych opracowanych ze względu na wymagania RMS, dotyczące pola-EM w miejscach dostępnych dla ludności (dane takie wykorzystuje się do realizacji wymagań prawa pracy zgodnie z R-BHP-EM: § 5.1.3.).

Miary narażenia na pole-EM o częstotliwości 50 Hz, które podlegają pomiarom, to:

- miejscowe wartości natężenia pola-E
- miejscowe wartości natężenia pola-M.

Pomiarom tym podlegają wartości skuteczne niezaburzonego pola-EM.

Zakres wykonanych badań – uwzględniający (zgodnie z R-BHP-EM: zał. nr 3, cz. III, pkt.4.) zróżnicowany podczas użytkowania sieci elektroenergetycznych rozkład przestrzenny miejscowych wartości natężenia pola-E i natężenia pola-M – powinien umożliwić, w szczególności:

- udokumentowanie rozpoznania źródeł pola-EM w przestrzeni pracy
- ocenę odpowiednich do rozpoznanych charakterystyk pola-EM parametrów natężenia pola-E i pola-M w dziedzinie czasu (wartość skuteczną), z wyznaczeniem lokalnych wartości maksymalnych natężeń pola-E i pola-M
- określenie odpowiednio dokładnie zasięgów stref ochronnych pola-EM, celem opracowania i wdrożenia programu stosowania środków ochronnych
- w razie rozpoznania pola-EM strefy zagrożenia w przestrzeni obsługi, określenie odpowiednio dokładnie rozkładu przestrzennego miejscowych wartości natężenia pola-E i pola-M w punktach pomiarowych charakteryzujących quasi-stacjonarne narażenie: głowy, tułowia i kończyn, celem oceny poziomu narażenia miejscowego głowy, tułowia i kończyn, dla których określono zróżnicowane wartości limitów IPN i GPO
- w razie rozpoznania okoliczności wymagających od użytkownika oceny tymczasowości narażenia na pole-EM, określenie odpowiednio dokładnie rozkładu przestrzennego narażeń quasi-stacjonarnych
- pomiary okresowe wymagane przez RMZ-BIP.

W odniesieniu do elementów sieci elektroenergetycznych i elektrycznych instalacji zasilających pojęcie przestrzeni obsługi dotyczy wszystkich urządzeń, w tym: rozdzielczych, łączeniowych, (auto) transformatorów, generatorów, przewodów, kabli itp., które często w dużej liczbie występują na terenie: rozdzielni, elektrowni lub innego obiektu. W trakcie normalnej eksploatacji, w ich sąsiedztwie brak jest miejsc obsługi o charakterze stałym, ale zachowany musi być dostęp personelu – w celu wykonania okresowych prac eksploatacyjnych oraz działań nadzwyczajnych w razie awarii.

Wszystkie elementy sieci elektroenergetycznych i elektrycznych instalacji zasilających wymagają okresowego wykonywania takich prac eksploatacyjnych, jak:

- oględziny (wizualna ocena stanu instalacji i urządzeń, odczyt wskaźników i liczników zadań)
- czynności łączeniowe (wyłączanie, załączanie, uzimianie)
- prace remontowo-modernizacyjne
- pomiary i diagnostyka.

W obiektach elektroenergetycznych są również wykonywane prace porządkowe (w tym koszenie trawy i odśnieżanie).

Ze względu na zagrożenie porażeniowe w otoczeniu wspomnianych elementów sieci elektroenergetycznych i elektrycznych instalacji zasilających mogą występować obszary wydzielone i wygradzone, do których dostęp podczas normalnej pracy obiektu jest zabroniony. Przestrzeń pracy, do której podczas pomiarów dostęp jest zabroniony lub niemożliwy bez użycia sprzętu technicznego (rys. 9.), wyłącza się z oceny pola-EM i dokumentuje się takie przypadki w sprawozdaniu.



Rys. 9. Wyłączenie transformatora 15/0,4 kV z przestrzeni pracy w pobliżu napięcia – oznakowane ogrodzenie (fot. Karol Zajdler)

Prace eksploatacyjne mogą być wykonywane w całej przestrzeni pracy, w związku z tym wybór punktów pomiarowych powinien zapewnić:

- zidentyfikowanie miejsc o najwyższych poziomach pola-EM
- ocenę zasięgu pola-EM stref ochronnych
- ocenę narażenia w miejscach istotnych dla realizacji prac eksploatacyjnych, tj. w przestrzeni obsługi
- ocenę narażenia w obszarach ciągów komunikacyjnych.

Jako pierwotne źródła pola-EM rozpoznaje się elementy sieci elektroenergetycznej pod napięciem. Za wtórne źródła pola elektromagnetycznego przyjmuje się wszelkie konstrukcje i elementy metalowe będące w obszarze narażenia. Należy zwrócić uwagę, że w obszarze narażenia możliwe jest oddziaływanie źródeł pola-EM wielkiej częstotliwości spoza przestrzeni pracy, jednak ich wpływ jest pomijalny ze względu na spełnienie przez te instalacje wymagań dla terenów dostępnych dla ludności w rozumieniu przepisów dotyczących ochrony środowiska (RMŚ).

Ze względu na fakt, że stan maksymalnego obciążenia poszczególnych urządzeń i instalacji elektroenergetycznych oraz ich elementów

występuje sporadycznie, a przy realizacji pomiarów pola-EM nie jest możliwe wpływanie na wartości napięć i prądów w sieci czy instalacji elektroenergetycznej. Przyjęto więc, że badanie pola-EM w stacji odbywa się przy obciążeniach w stanie zastanym, w tzw. układzie normalnym, czyli w takim stanie urządzeń, położeniu łączników i obciążeń, jaki występuje podczas przeciętnych warunków eksploatacyjnych.

Rekomendowana metoda pomiarów została szczegółowo omówiona w załączniku.

Niepewność pomiarów pola-EM w przestrzeni pracy

Ogólne wymagania dotyczące zasad wykonywania pomiarów zapewniające uzyskanie wyników o zadowalającej dokładności

Oddziaływanie mierników pola-EM ze źródłem mierzonego pola-EM i ich oddziaływanie na jego rozkład przestrzenny utrudnia uzyskanie danych pomiarowych, charakteryzujących pole-EM niezakłócone obecnością człowieka (Bieńkowski i in. 2016; Gryz, Karpowicz 2013b). W wypadku pomiarów w przestrzeni pracy, a szczególnie w przestrzeni obsługi, odstępstwa od ustalonych metod pomiarowych mogą prowadzić nawet do wielokrotnego zawyżenia lub zaniżenia wyniku oceny analizowanych zagrożeń, w porównaniu do stanu faktycznego. Dodatkowym elementem zwiększającym niepewność oceny narażenia na pole-EM w środowisku pracy może być także niepoprawne rozpoznanie ocenianego pola-EM i wybór wielkości charakteryzujących takie narażenie, błędny ze względu na limity narażenia określone w prawie pracy. W celu jednoznaczności wyników badań należy więc ściśle przestrzegać sformalizowanych zasad wykonywania badań pola-EM w przestrzeni

pracy. W niniejszym opracowaniu omówiono zasady wykonywania pomiarów wypracowane w celu uzyskania ich odpowiedniej jakości przez ograniczanie niepewności wyników, związanej m.in. z właściwościami metrologicznymi przyrządów pomiarowych oraz wspomnianymi rozbieżnościami wyników pomiarów i wielkości charakteryzujących narażenie w środowisku pracy.

Do oceny ekspozycji lub narażenia na pole-EM, rozpoznane w przestrzeni pracy, użytkownik powinien wykorzystać wyniki pomiarów wykonanych metodami, naukowo sprawdzonymi i zwalidowanymi doświadczalnie przez kompetentne laboratoria instytutów naukowo-badawczych lub uniwersytetów technicznych (R-BHP-EM). Walidacja ta powinna wykazać i udokumentować, że metoda pomiaru pola-EM o takiej charakterystyce jak rozpoznano w środowisku pracy zapewnia niepewność standardową ich wyników nie gorszą od $\pm 30\%$, rozumianą jako matematyczna miara zmienności wyników pomiaru natężenia pola-E lub pola-M w przestrzeni pracy. W R-BHP-EM określono, że ze względu na powiązanie środków ochronnych z rozpoznanymi zasięgami pola-EM stref ochronnych, za wartość miejscowego natężenia pola-E i pola-M przyjmuje się wynik takiego pomiaru (bez jego niepewności). Potencjał techniczny i umiejętności (w kontekście wykorzystywanej procedury realizacji odpowiedniej metody badań i aparatury pomiarowej) konieczne do spełnienia tych wymagań powinny być odzwierciedlone w budżecie niepewności wykonawcy pomiarów i potwierdzone podczas odpowiednich badań biegłości (PT). Uwzględniając stosunkowo małą precyzję pomiaru pola-EM na potrzeby oceny narażenia w przestrzeni pracy, rekomendowane jest uczestniczenie w tym celu w ogólnie dostępnych badaniach biegłości,

dla których wartość przypisana jest wyznaczana przez odpowiednie badania z udziałem ekspertów, niezależnie od wyników uzyskiwanych przez indywidualnych uczestników badań, a wyniki oceniane z wykorzystaniem miar *z-score* lub *zeta-score* (Karpowicz i in. 2016b; ISO/IEC 17043; ISO 13528:2015; PN-EN ISO/IEC 17025:2005). W tym celu w potwierdzonym doświadczalnie szacowaniu niepewności uwzględnia się, co najmniej najistotniejsze dla pomiaru pola-EM w środowisku pracy właściwości metrologiczne mierników (Bieńkowski i in 2016):

- zaburzenia pola-EM powodowane obecnością osób wykonujących badania i użytego miernika
- powtarzalność wyników pomiarów wybranych parametrów ekspozycji lub narażenia
- odpowiedź miernika w zakresie jego wzorcowania w funkcji częstotliwości (z równomierną rozdzielczością co najmniej 3 punktów na dekadę częstotliwości), natężenia (z rozdzielczością co najmniej 3 punktów na dekadę, przy co najmniej jednej częstotliwości) oraz polaryzacji i modulacji pola
- niepewność wzorcowania miernika
- czynniki środowiskowe podczas pomiarów (temperatura i wilgotność)
- odporność elektromagnetyczną miernika.

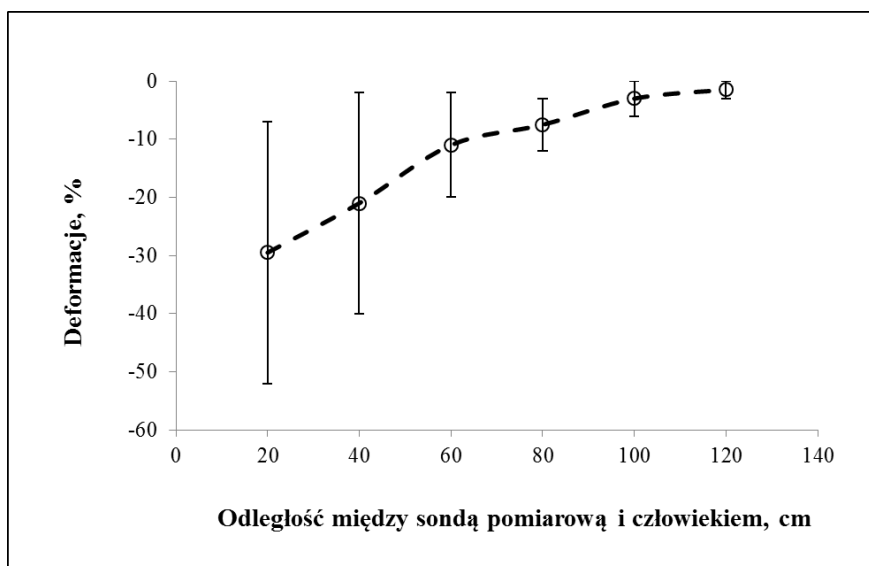
Uwagi wymagają również ograniczenia wynikające z różnic parametrów pola-EM, na które aparatura pomiarowa wykazuje największą czułość, w stosunku do zawartych w prawie wymagań dotyczących ocenianych parametrów pola-EM w dziedzinie: częstotliwości, czasu i przestrzeni (takich jak np.: wielkość sondy pomiarowej, izotropowość lub czułość na inny parametr przebiegu niesinusoidalnego niż wartość równoważna), warunki klimatyczne w przestrzeni pracy,

odtwarzalność położenia punktów pomiarowych. Ze względu na konieczność oceny stopnia różnicowania poziomu narażenia różnych części ciała człowieka (głowy, tułowia, kończyn, dla których limity narażenia są zróżnicowane z powodu ich odmiennej wrażliwości na oddziaływanie pola-EM), a także konieczność oceny zróżnicowania poziomu narażenia w miejscu pracy (koniecznej podczas określania możliwych działań profilaktycznych i monitorowania ich skuteczności) do oceny narażenia na pola-EM wykorzystuje się miejscowe wartości natężenia pola-E i pola-M, zmierzone uśredniającymi przestrzennie sondami o wymiarach nieprzekraczających kilkunastu centymetrów.

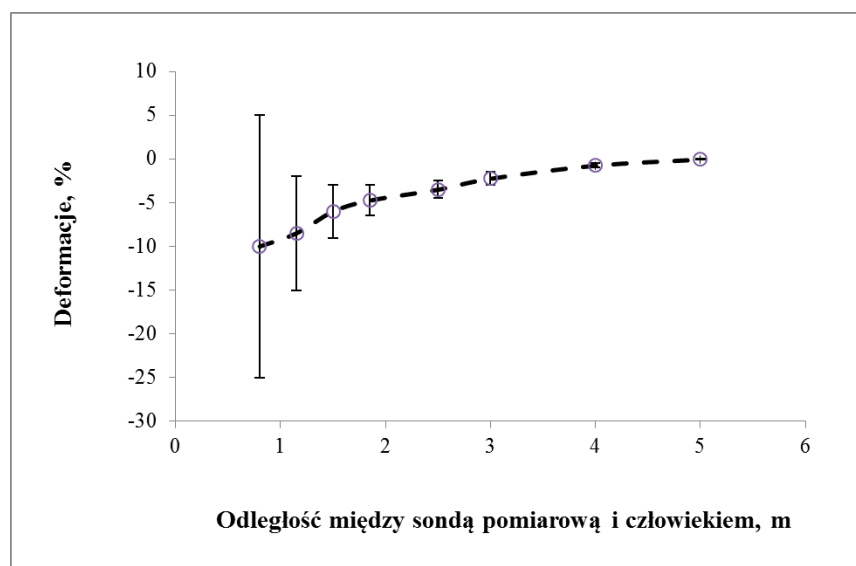
Obecność człowieka, podobnie jak i innych obiektów przewodzących, wpływa na rozkład pola-E, natomiast rozkład przestrzenny pola-M jest praktycznie niezależny od obecności takich obiektów, jak np.: drzewa, budynki, człowiek, w tym także większości obiektów technicznych. W przypadku pomiarów pola-E zarówno pracownik, którego narażenie podlega ocenie, jak i osoba wykonująca pomiary, wpływają istotnie na rozkład przestrzenny tego pola. Na skutek większej przewodności ciała w stosunku do powietrza następuje zagęszczenie linii sił pola-E w otoczeniu człowieka. Zależnie od konfiguracji geometrycznej „człowiek – miernik – źródło pola”, w miejscu umieszczenia miernika zjawisko to może wywołać zwiększenie lub zmniejszenie niezaburzonego natężenia pola-E. Deformacje rozkładu przestrzennego pola-E o zróżnicowanej polaryzacji przez osobę przebywającą w otoczeniu sondy pomiarowej zilustrowano na rysunkach 11. i 12. Zmiany natężenia elektrycznego PQS, wynikające z obecności pracownika lub osoby wykonującej pomiary w pobliżu sondy pomiarowej, mogą być zarówno dodatnie, jak i ujemne, i dlatego są

niemożliwe do oszacowania przy interpretacji wyników pomiarów lub skorygowania przez wprowadzenie odpowiednich współczynników korekcyjnych przy niewielkiej odległości ludzi od sondy pomiarowej. Dlatego też dla jednoznaczności wyników badań dotyczących narażenia pracowników na

pole-E należy ściśle przestrzegać sformalizowanych (w wymaganiach prawnych lub normalizacyjnych) zasad wykonywania badań, aby uzyskać wyniki pomiarów odpowiadające w założonym stopniu natężeniu pola-E niezaburzonego.



Rys. 11. Deformacje rozkładu pola-E o częstotliwości 50 Hz powodowane przez obecność człowieka w otoczeniu separowanej optycznie pojemnościowej sondy pomiarowej – wyniki badań laboratoryjnych, łącznie dla różnych odległości od sondy człowieka znajdującego się: z boku ($20 \div 120$ cm), z tyłu ($20 \div 80$ cm) lub przed ($20 \div 40$ cm) sondą pomiarową ustawioną w odległości 100 cm od kondensatora powietrznego stanowiącego źródło pola-E (Gryz, Karpowicz 2013b)



Rys. 12. Deformacje rozkładu pola-E o częstotliwości 50 Hz pod linią 500 kV wynikające z obecności uziemionego człowieka o wzroście 1,8 m – wyniki łącznie dla pomiarów sondą na wysokościach $1,0 \div 1,6$ m (opracowano na podstawie danych wg norm: PN-IEC 833 i IEC 61786-2)

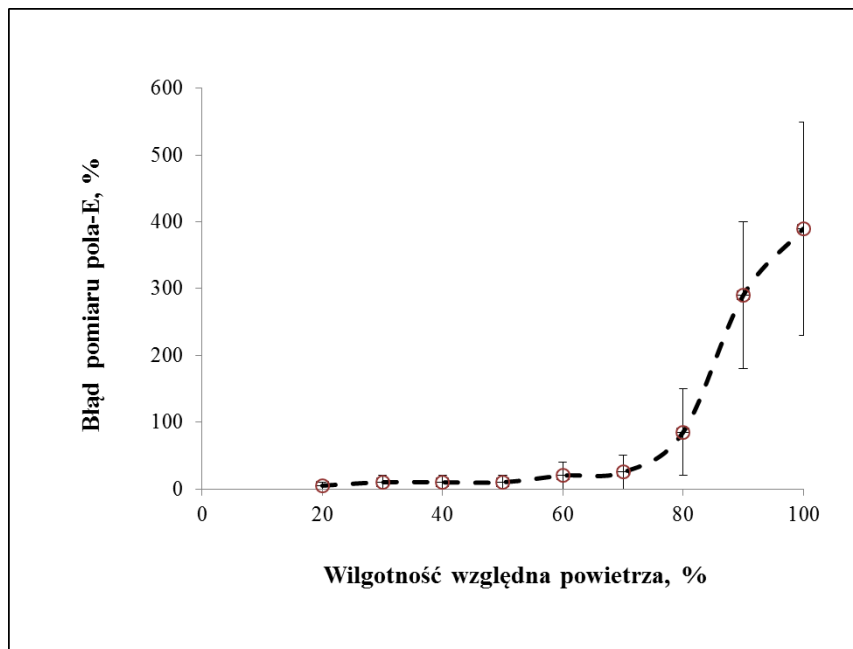
Z tego względu w ogólnych wymaganiach, dotyczących aparatury pomiarowej i procedury jej użycia w miejscu pracy, zakłada się konieczność odseparowania przestrzennego i elektrycznego mierników pola-E od osoby wykonującej pomiary (Papliński, Śmietanka 2011). Najczęściej są w tym celu stosowane dielektryczne i hydrofobowe statywy i separacja elektrooptyczna (światłowodowa) sondy pomiarowej od monitora lub odpowiednio duże wymiary wyświetlaczy wyniku pomiaru, które umożliwiają zdalne wykonanie pomiarów.

W przypadku pomiarów wykonywanych ze względu na konieczność oceny narażenia w stosunku do wymagań określonych prawnie, parametry metrologiczne użytej aparatury powinny spełniać wymagania określone w tych przepisach.

Wrażliwość na warunki środowiskowe i odporność elektromagnetyczna

Również warunki środowiskowe (temperatura, wilgotność, nasłonecznienie czy wiatr) mogą istotnie zmodyfikować wyniki pomiarów pola-EM. Przykładowo, pod wpływem

wilgoci zawartej w powietrzu atmosferycznym impedancja drążków separujących miernik pola elektrycznego PQS od osoby wykonującej pomiary lub dielektrycznego statywu, na którym jest ustawiony miernik (lub sonda pomiarowa), może znacznie się zmniejszyć. Ponadto, przy podwyższonej wilgotności względnej powietrza pogarszają się właściwości izolacyjne elementów miernika, co również może prowadzić do błędów pomiarowych (rys. 13.). Zwykle do szacowania niepewności pomiarów wynikającej z czynników atmosferycznych wykorzystuje się dane producenta, który badania takie powinien wykonać podczas konstruowania i przygotowywania komercyjnej wersji przyrządu pomiarowego. W razie ich braku, na podstawie np. danych literaturowych przyjmuje się ograniczenia środowiskowe do stosowania określonej procedury wykonywania pomiarów, dotyczące np. maksymalnej wilgotności powietrza lub zakresu temperatur otoczenia w miejscu pomiarów.

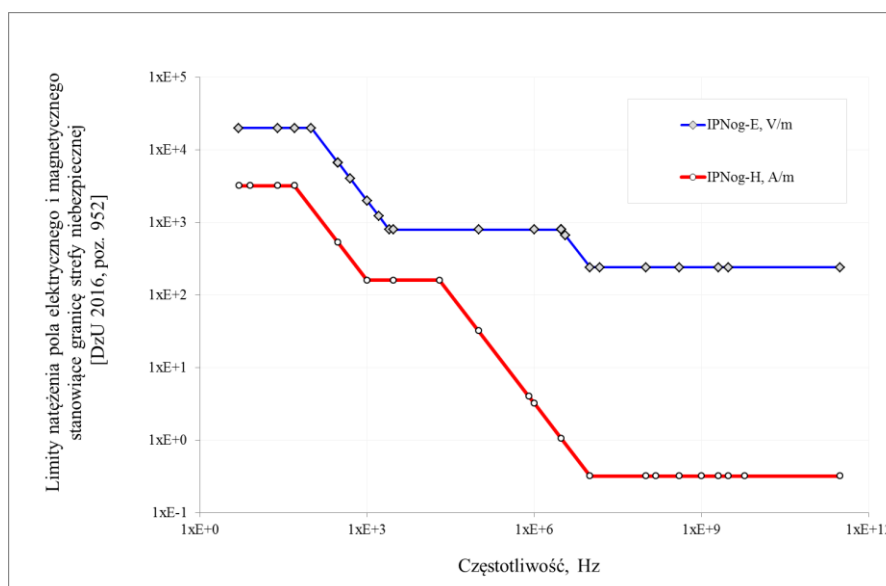


Rys. 13. Wpływ wilgotności względnej powietrza na wynik pomiaru pola-E o częstotliwości 50 Hz (pomiary miernikami różnej konstrukcji, opracowano na podstawie danych wg normy PN-IEC 61786-1)

Podczas pomiarów względna wilgotność powietrza nie powinna przekraczać ani dopuszczalnego poziomu wskazanego przez producenta miernika, ani określonego w odpowiednich wymaganiach prawnych. Przykładowo, dla metod oceny pola-EM w środowisku ogólnym określono maksymalną wilgotność powietrza na poziomie 75% (RMŚ 2003).

Istotnym zagadnieniem związanym również z warunkami środowiskowymi, w jakich są wykonywane pomiary ze względu na ocenę narażenia pracujących, jest odporność elektromagnetyczna mierników pola-EM, czyli odporność na pośrednie oddziaływanie pola-EM, związane z indukowaniem w urządzeniu sygnałów elektrycznych powodujących wskazania, które nie są związane z oddziaływaniem mierzonej składowej pola-EM na jej sondę pomiarową, a są związane z wpływem na wynik pomiaru oddziaływania pola-EM spoza pomiarowego pasma częstotliwości (R-BHP-EM, załącznik nr 3, cz. III, p. 11.). Ocena skutków oddziaływania pola-EM na urządzenia elektroniczne jest jednym z podstawowych badań w ramach testów kompatybilności elektroma-

gnetycznej, z tym, że dla różnych grup urządzeń stosuje się różne poziomy ekspozycji podczas testów, przy których urządzenie wykazuje wymaganą odporność na destrukcyjne oddziaływanie pola-EM (Więckowski 2001). Odporność elektromagnetyczna mierników pola-EM jest więc parametrem z pogranicza metrologii pola-EM i kompatybilności elektromagnetycznej, uwzględniającym szczególne wymagania wynikające z tego, że mierniki takie mogą być poddawane oddziaływaniu pola-EM o bardzo wysokich natężeniach – nawet przekraczających poziomy limitów określonych w prawie pracy (rys. 14.), i to zarówno z pasma pracy miernika, jak też o częstotliwościach z poza tego pasma. Badania odporności elektromagnetycznej mają na celu zapewnienie, że aparatura stosowana do oceny narażenia pracujących na pola-EM pracuje prawidłowo nawet w tak trudnych warunkach, a podczas analizy wyników pomiarów prawidłowo są interpretowane możliwe skutki oddziaływania mierzonego pola-EM, które nie są związane z oddziaływaniem na sondę mierzonej składowej pola-EM.



Rys. 14. Limity natężenia pola-E i pola-M, określające granicę pola-EM strefy niebezpiecznej w środowisku pracy

Wnikanie pola-EM do układów miernika powoduje indukowanie w nich potencjałów elektrycznych, co może powodować błędne wskazania bądź inne dysfunkcje miernika, dlatego mierniki pola-EM są konstruowane tak, aby układy ich elektroniczne i elektryczne były odseparowane od oddziaływania mierzonego pola-EM, a wskazanie miernika wynikało jedynie z oddziaływania pola-E lub pola-M na sondę/czujnik pomiarowy, szczególnie w warunkach narażenia na silne pole-EM w środowisku pracy (Bieńkowski, Zubrzak 2012; Trzaska 1998). Właściwe ekranowanie urządzeń może zapewnić wymagana odporność miernika – dzięki zastosowaniu metalowych obudów, a w razie stosowania materiałów z tworzywa sztucznego – powłok ekranujących, takich jak wewnętrzna metalizacja, a w miejscach rozłącznych – specjalistycznych uszczelkach elektromagnetycznych. Stosowane są również układy filtrów eliminujące pasożytnicze sygnały w układzie zasilania, na wejściach pomiarowych czy interfejsach. Należy przy tym zwrócić uwagę, że badaniu odporności elektromagnetycznej powinien być poddany cały zestaw aparatury stanowiący tor pomiarowy – sonda pola-E lub pola-M oraz monitor i łączące je przewody czy w innej konfiguracji np. czujnik pola-EM, przewody połączeniowe, interfejs i terminal graficzny – oscyloskop, analizator widma lub komputer.

Badanie odporności elektromagnetycznej aparatury wykorzystywanej w pomiarach pola-EM do oceny warunków narażenia pracujących powinno być przeprowadzone w taki sposób, aby były spełnione wymagania określone w prawie pracy. R-BHP-EM określa, że: *odporność elektromagnetyczna aparatury pomiarowej jest miarą jej odporności na pośrednie oddziaływanie pola-EM, polegające na indukowaniu w urządzeniu sygnałów elektrycznych powodujących wskazania niezwiązane z oddziaływaniem mierzonej*

składowej pola elektromagnetycznego na sondę pomiarową (do pomiaru tej składowej), która zapewnia pomijalną odpowiedź miernika w polu o poziomie zbliżonym do wartości IPNob dla wybranej częstotliwości, tj. jego wskazanie mniejsze od najmniejszej wartości limitu IPNp określonego dla częstotliwości z zakresu stosowania miernika. Na potrzeby oceny pola elektromagnetycznego w przestrzeni pracy odporność elektromagnetyczna miernika wyznaczana jest doświadczalnie w polu elektrycznym i polu magnetycznym, co najmniej przy częstotliwościach pola elektromagnetycznego typowych źródeł, tj. ok.: 50 Hz, (0,001; 0,5; 27; 450; 900 i 2500) × 10⁶ Hz, o ile są poza zakresem częstotliwości stosowania miernika, a przy częstotliwościach z zakresu stosowania miernika pola elektrycznego jedynie w polu magnetycznym lub w polu elektrycznym w przypadku miernika pola magnetycznego.

Oznacza to konieczność zbadania skutków oddziaływania pola-EM na cały miernik z sondą pomiarową – co najmniej dla wymienionych w cytowanym rozporządzeniu częstotliwości – w paśmie pomiarowym sondy jedynie dla drugiej składowej pola-EM (np. pola-E w przypadku sondy pola-M), a poza pasmem dla obu składowych pola-EM, elektrycznej i magnetycznej. Może to zostać zrealizowane przez umieszczenie całego miernika w polu o zadanych parametrach. Badanie takie można traktować jako pewne rozszerzenie oceny wrażliwości miernika na pola-EM o częstotliwościach spoza jego deklarowanego pasma pracy. Ze względów technicznych nie ma możliwości całkowitego wyeliminowania wpływu pola-EM spoza zakresu pomiarowego na wynik pomiaru, ale ze względów praktycznych na potrzeby oceny narażenia pracowników przyjmuje się, że czułość miernika poza pasmem pomiarowym powinna być na tyle mała, aby w żadnym wypadku jego wskazania nie spowodowały

nieuzasadnionego rozpoznania pola-EM strefy ochronnej o częstotliwościach z pasma pracy miernika (tj. wskazanie powinno być mniejsze od najniższego limitu IPNp określonego dla częstotliwości z pasma pracy miernika).

Przykładem praktycznych konsekwencji niedoskonałej odporności elektromagnetycznej mierników pola-EM może być problem oceny narażenia na złożone pola-EM w otoczeniu linii wysokiego napięcia, gdzie znajduje się również nadajnik radiowo-telewizyjny lub antena stacji bazowej telefonii komórkowej – czyli oceny narażenia na pole-EM w miejscu, które znajduje się zarówno w pobliżu anten telekomunikacyjnych, jak i w otoczeniu linii napowietrznych wysokiego napięcia, czyli źródła pola o częstotliwości 50 Hz. Jeżeli występuje tam pole-E o częstotliwości 50 Hz i o natężeniu $E < 10$ kV/m (tj. pole o natężeniu poniżej limitu IPNob określonego dla takiego pola), to miernik pola-E o częstotliwościowym zakresie pomiarowym odpowiednim dla pomiaru pola-EM wielkiej częstotliwości (PWCZ) i mikrofalowych (PMF) nie powinien w tym miejscu pokazać wyniku pomiaru przekraczającego 7 V/m, kiedy wspomniane źródła telekomunikacyjne są nieaktywne (tj. $E <$ limitu IPNp, określającego granicę strefy pośredniej, dla zakresu częstotliwości wykorzystywanych przez wspomniane źródła, tj. 88 MHz ÷ 2,2 GHz). Omawiane parametry metrologiczne mierników można zdefiniować następująco:

$$KE(MF/E50Hz) = E(MF)/E(50Hz) \quad [5]$$

gdzie:

- KE(MF/E50Hz) – wrażliwość miernika elektrycznego PWCZ/PMF,
- E(MF) – wskazania miernika pola-E z zakresu PWCZ/PMF,
- E(50Hz) – natężenie pola-E o częstotliwości 50 Hz.

Wyniki badań czułości na pole-E 50 Hz wykonane w laboratorium CIOP-PIB dla różnych analogowych i cyfrowych mierników PWCZ i PMF, z izotropowymi sondami o różnych zakresach częstotliwości z pasma od 3 kHz do 38 GHz, wykazały, że dla mierników pola-E czułość ta osiąga poziom $KE(MF/E50Hz) = 0,08 \div 2,4$ (V/m)/(kV/m), (Gryz, Karpowicz 2013a). Wskazania takich mierników będące jedynie artefaktami wynikającymi z oddziaływań na układ pomiarowy pola-EM o częstotliwości 50 Hz występującego w przestrzeni pracy, może spowodować nieuprawnione zidentyfikowanie silnego narażenia na PMF (pola stref ochronnych) w otoczeniu elektroenergetycznych linii WN. W spotykanych pod liniami WN polach o natężeniach dochodzących do 10 kV/m, wskazania różnych mierników PWCZ i PMF spowodowane czułością pozapasmową mogą osiągać wartości z zakresu (0,8-24) V/m. Nieoczekiwane zachowanie mierników może więc spowodować błędne rozpoznanie narażenia na PWCZ lub PMF strefy pośredniej lub nawet zagrożenia, a w konsekwencji zagrożenie dla pracowników wynikające z podjęcia nieodpowiednich środków ochronnych, ponieważ zasady ochrony przed zagrożeniami wynikającymi z oddziaływania PWCZ i PMF są odmienne niż w przypadku narażenia na pole-EM o częstotliwości 50 Hz.

PODSUMOWANIE

1. W celu ujednoczenia w całym kraju sposobu realizacji obowiązku zapewnienia bezpiecznych i higienicznych warunków pracy przy narażeniu na pole-EM, pomiary parametrów narażenia muszą być wykonywane zgodnie z ujednoczonymi i poprawnie realizowanymi metodami opartymi na bieżącym stanie prawnym oraz zgodnie z aktualnymi zasadami wiedzy technicznej.
2. W artykule zamieszczono wiedzę rozszerzoną w stosunku do zaproponowanej metodyki badań, popartą literaturą tematu. W związku z tym, że praca w polu-EM jest zgodnie z polskim prawem objęta nadzorem od wielu lat (pierwotnie ochronie podlegała praca w polach mikrofalowych, a dopiero później została rozszerzona o pracę w polach wolnozmennych np. 50 Hz), piśmiennictwo oraz wyniki badań obejmują dość szeroki przedział czasu. Z uwagi na fakt, że R-BHP-EM oraz R-NDN-EM wprowadzają nowe wartości graniczne i definicje, wskazane jest racjonalne podejście do wyników wcześniejszych badań. Zdecydowanie ma to znaczenie przy rozpatrywaniu zasięgów stref ochronnych.
3. Omówiona metoda badań dotyczy urządzeń i elektroenergetycznych sieci przesyłowych prądu przemiennego (AC) i nie uwzględnia układów prądu stałego (DC) oraz urządzeń związanych z przekształcaniem energii.
4. Oprócz narażeń na pola-EM z opisanego zakresu na obiektach elektroenergetycznych mogą się znajdować źródła pola-EM z innych zakresów częstotliwości i należy je uwzględnić, oceniając narażenia pracownika (stacje bazowe telefonii komórkowej jako wieże wolno stojące na terenie rozdzielni, maszty na budynkach bloków energetycznych w elektrowniach, instalacje antenowe na kominach elektrowni oraz słupach linii napowietrznych itp.)
5. Dodatkowym źródłem pola-EM związanym z elektroenergetyką nieobjętym omawianą metodą badań są układy przekształcające energię występujące w takich typach obiektów, jak podmorskie połączenie Polska–Szwecja wykonane linią kablową prądu stałego o napięciu 450 kV o całkowitej długości 254 km podłączone do krajowego systemu energetycznego przez system przekształtników DC/AC w stacji elektroenergetycznej Słupsk. Podobnie jest w podstacjach trakcyjnych, gdzie prąd przemienny jest przekształcany na stały w prostownikach AC/DC, ale dodatkowo coraz częściej jest stosowany odzysk energii przy hamowaniu i podstacje trakcyjne oprócz pobierania energii, także ją oddają do sieci dystrybucyjnej po przekształceniu w falownikach DC/AC. Stacje te połączone są kablami DC z odcinkami sieci trakcyjnej oraz liniami lub kablami AC do sieci dystrybucyjnej.
6. Występowanie pola-EM o częstotliwościach innych niż 50 Hz może również wpływać na wyniki pomiarów, zależnie od omówionej odporności = elektromagnetycznej mierników.
7. W elektroenergetyce wiele czynności związanych z dostępem do źródeł pola-EM jest wykonywane w ramach różnych stanowisk pracy, z których najlepiej jest opisana praca elektromontera. Większość prac, z wyjątkiem pracy dyżurnych stacji, ma charakter zadaniowy i nie ma charakteru stałego (określona praca wykonywana jest w terminie wynikającym z bieżących potrzeb. Poważniejsze prace konserwacyjne są wykonywane przy wyłączonym napięciu, ale z uwagi na bliskość

- pól rozdzielni, ekipa taka nadal jest narażona na pole-EM od sąsiedniej aparatury pod napięciem.
8. Pewnym utrudnieniem przy ocenie narażenia pracujących i osób potencjalnie narażonych jest fakt, że wiele prac wykonywanych jest przez firmy zewnętrzne na różnych obiektach niebędących ich własnością. Wskazana jest tu ścisła organizacyjna współpraca w dziedzinie bhp między wieloma stronami – jak określają wymagania prawa pracy. Dodatkowym utrudnieniem mogą być obiekty należące do kilku właścicieli, np. rozdzielnie 220 kV i 110 kV, należące do różnych podmiotów, ale ze wspólnymi drogami komunikacyjnymi.
 9. Ze względu na rozległość przestrzeni pola-EM stref ochronnych, dominującym czynnikiem w polu-EM o częstotliwości 50 Hz przy liniach i na rozdzielniach napowietrznych jest jego składowa elektryczna. Pole-M, choć obszarowo znacznie mniej wpływające na ograniczenia związane z narażeniem pracowników, jest związane głównie z miejscami przesyłu energii oraz jej przekształcania (transformatory). Mechanizm powstawania obydwu składowych omówiono w niniejszym artykule.
 10. Zarówno w metodzie badań jak i w artykule położono znaczny nacisk na kompetencje personelu pomiarowego wykonującego badania pola-EM na obiektach elektroenergetycznych. Z uwagi na wykonywanie prac pod napięciem i w pobliżu napięcia, realne jest wystąpienie wypadku związanego zarówno z zagrożeniem życia, jak i niebezpieczeństwem przerwania ciągłości dostaw energii elektrycznej będącej strategicznym elementem związanym z bezpieczeństwem energetycznym kraju.
 11. W artykule przedstawiono także przykładowy rysunek stanowiący element sprawozdania z badań służący do naniesienia obszarów stref ochronnych i pionów pomiarowych. Dodatkowo ten sposób prezentacji wyników badań przedstawiono w aneksie 1. do metody.

Autorzy dziękują za cenne uwagi i sugestie przekazane podczas konsultowania projektu metody w środowisku praktyków, w szczególności pracownikom laboratoriów pomiarowych oraz służbom BHP Polskich Sieci Elektroenergetycznych.

PIŚMIENNICTWO

- Arciszewski J., Komorowska I., Papliński P., Czarnecki Z. (1994) Natężenie pola elektrycznego i magnetycznego w otoczeniu linii 220-750 kV. Katalog parametrów charakterystyk i stref ochronnych. Warszawa.
- Arciszewski J., Komorowska I., Papliński P., Czarnecki Z. (1995) Natężenie pola magnetycznego w stacjach 110-750 kV. Zasady wyznaczania i prognozowania rozkładów natężenia pola magnetycznego, Warszawa.
- Barańska A. (1998) Elektromonter linii elektrycznych. [W:] Przewodnik po zawodach. [Red.] M. Widerszal i in. T. 4. Warszawa, Krajowy Urząd Pracy, Ministerstwo Pracy i Polityki Socjalnej, 205–208.
- Bieńkowski P., Zubrzak B. (2012) Analiza wpływu wybranych charakterystyk i parametrów mierników PEM używanych do pomiarów ochronnych na niepewność pomiarów. Przegląd Elektrotechniczny 88(12b), 171–174.
- 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, 7–40.
- Czaplak W., Papliński P. (1988) Pole elektryczne pod liniami i w stacjach 110 – 750 kV. Energetyka 3, 107–110.
- Dudek A. (2016) Ekranowanie przed wpływem pola elektromagnetycznego 50 Hz przy obsłudze sieci przesyłowej. Elektroenergetyka 1(15), 57-68.
- 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.
- Gryz K., Karpowicz J. (2013a) Znaczenie pozapasmowej czułości aparatury pomiarowej przy ocenie narażenia na radiofale pola elektromagnetyczne w sąsiedztwie linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia. Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka 9, 5–7.
- Gryz K., Karpowicz J. (2013b) Pole elektryczne i magnetyczne sieci elektroenergetycznych wysokiego napięcia. [W:] Środowiskowe narażenia zawodowe przy obsłudze sieci elektroenergetycznych wysokiego napięcia w Polsce. [Red.] J. Karpowicz, J. Bugajska. Warszawa, CIOP-PIB, 149–182.
- Gryz K., Karpowicz J. (2016) Ekspozycja na pole elektromagnetyczne w elektrowniach wiatrowych, Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka 7, 10–3. DOI:10.5604/01377043. 1210089.
- IARC, International Agency for Research on Cancer (2002) Non-ionizing radiation, part 1: Static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields. Volume 80. Lyon, IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans.
- IARC, International Agency for Research on Cancer (2013) Non-ionizing radiation, part 2: Radiofrequency electromagnetic fields. Volume 102. Lyon, IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans.
- IEC 61786-2: 2014 Measurement of DC magnetic, AC magnetic and AC electric fields from 1 Hz to 100 kHz with regard to exposure of human beings. Part 2: Basic standard for measurements.
- Instrukcja BHP przy urządzeniach i instalacjach elektroenergetycznych (2013) Instrukcja BHP nr 13.003/ZB/2013. Konstancin-Jeziorna, Polskie Sieci Elektroenergetyczne (wrzesień 2013) [<http://www.pse.pl>].
- ISO 13528: 2015 Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparison. ISO 2015.
- Karpowicz J., Gryz K. (2001) Specyfika pomiarów i oceny wolnozmiennych pól magnetycznych w środowisku pracy. Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy 2(28), 239–249.
- Karpowicz J., Bugajska J., Bogdan A., Gryz K., Łuczak A., Morzyński L., Pleban D., Tokarski T., Wolska A., Młynarczyk M., Zapadka S., Kozłowski A., Grabarczyk Z., Pachocki K., Mikulski W. (2013) Środowiskowe narażenia zawodowe przy obsłudze sieci elektroenergetycznych wysokiego napięcia w Polsce. [Red.] J. Karpowicz, J. Bugajska. Warszawa, CIOP-PIB.
- Karpowicz J., Gryz K. (2013). Praktyczna implementacja międzynarodowych zasad oceny zagrożeń zawodowych związanych z elektrodynamicznym oddziaływaniem pól magnetycznych małej częstotliwości na pracownika. Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy 3(77), 129–149.
- Karpowicz J., Bugajska J., Bogdan A., Bartkowiak G., Gryz K., Łuczak A., Morzyński L., Pleban D., Tokarski T., Wolska A., Młynarczyk M., Zapadka S., Kozłowski A. (2016a) Środowiskowe zagrożenia zawodowe przy obsłudze sieci elektroenergetycznych – profilaktyka. Warszawa, CIOP-PIB.

- Karpowicz J., Kieliszek J., Sobiech J., Gryz K., Puta R. (2016b) 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., Aniolczyk H., Biętkowski P., Gryz K., Kieliszek J., Politański P., Zmyślony M., Zradziński P. (2017) Metodyka pomiaru in situ parametrów pola elektromagnetycznego charakteryzujących narażenie w przestrzeni pracy – wymagania ogólne (artykuł przeznaczony do opublikowania w kolejnym numerze Podstaw i Metod Oceny Środowiska Pracy).
- Komorowska I., Papliński P. (1998) Metody pomiarów i mierniki do badania rozkładów pola elektrycznego w którym pracują monterzy na słupach linii przesyłowych 220-750 kV. Wyd. SEP. Konferencja Naukowo-Techniczna. Prace pod napięciem w sieciach elektroenergetycznych. Wpływ pól elektromagnetycznych 50 Hz na organizmy żywe. T. IV. Bielsko Biała, 66–71.
- Korniewicz H., Gryz K. (1998) Ocena narażenia na pola magnetyczne 50 Hz. *Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka* 9, 6–13.
- Korniewicz H., Gryz K., Karpowicz J. (1998) Pola magnetyczne 50 Hz w rozdzielniach elektroenergetycznych, pomieszczeniach biurowych i mieszkalnych. Materiały IV Konferencji Naukowo-Technicznej; Pola elektromagnetyczne 50 Hz a energetyka i środowisko. Szczyrk, 4-6 listopad, 145–160.
- Owsiński M., Papliński P., Sul P., Śmietanka H. (2016) Narażenia na pole elektromagnetyczne personelu Laboratorium Wieloprądowego. *Przegląd Elektrotechniczny* 92, 10, 179–182.
- Papliński P., Śmietanka H. (2011) Metrologia pól wolnozmiennych w środowisku ogólnie dostępnym dla ludności na podstawie obowiązujących przepisów i rozporządzeń. Warsztaty „Ochrona Przed PEM”. Łódź, Instytut Medycyny Pracy (8-10 października).
- Papliński P., Połozanin P., Wielonek A., Wańkowicz J., (2012) Pola magnetyczne w otoczeniu wielotorowych linii elektroenergetycznych przy różnych wartościach i kierunkach przepływu prądu. *Przegląd Elektrotechniczny* 88, 5a, 132–134.
- Pilatowicz A., Arciszewski J., Papliński P. (1991) Influence of design parameters of HV overhead lines on electromagnetic and interference. Dresden: Technische Universität Engineering, ref. 93-03.
- Połozanin P., Papliński P., Śmietanka H. (2014) Wybrane aspekty oddziaływania farm wiatrowych na środowisko. *Przegląd Elektrotechniczny* 90(10), 50–52.
- PN-EN 60038: 2012 Napięcia znormalizowane CENELEC.
- PN-EN 61786-1: 2014-05 Pomiary pola magnetycznego DC oraz magnetycznego i elektrycznego AC w zakresie częstotliwości od 1 Hz do 100 kHz ze względu na ekspozycję człowieka. Część 1: Wymagania dla aparatury pomiarowej.
- PN-EN ISO/IEC 17025: 2005 Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących.
- PN-EN ISO/IEC 17043: 2011 Ocena zgodności – ogólne wymagania dotyczące badania biegłości. PKN 2011.
- PN-ISO 7010: 2012 Symbole graficzne. Barwy bezpieczeństwa i znaki bezpieczeństwa. Zarejestrowane znaki bezpieczeństwa.
- PN-T-06260: 1974 (PN-74/T-06260) Źródła promieniowania elektromagnetycznego. Znaki ostrzegawcze.
- Rawa H. (2001) Elektryczność i magnetyzm w technice. Warszawa, PWN.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 17 września 1999 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach i instalacjach energetycznych. Dz U, poz. 912. (zastąpione rozporządzeniem DzU 2013, poz. 492)
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego (DzU 2007, poz. 623, z późn. zm.)
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 marca 2013 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach energetycznych. DzU 2013, poz. 492.
- Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 27 czerwca 2016 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU 2016, poz. 952.
- Rozporządzenie Ministra 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.

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.

Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 30 maja 1996 r. w sprawie przeprowadzania badań lekarskich pracowników, zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydawanych do celów przewidzianych w Kodeksie pracy. DzU 1997, poz. 332, z późn. zm.

Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU 2011, poz. 166.

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 września 1996 r. w sprawie wykazu prac szczególnie uciążliwych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet. DzU 2002, poz. 545, z późn. zm.

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 24 sierpnia 2004 r. w sprawie wykazu prac wzbudzonych młodocianym i warunków ich zatrudnienia przy niektórych z tych prac. DzU 2005, poz. 2047, z późn. zm.

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

Szuba M. (2006) Oddziaływanie pól elektromagnetycznych. [W:] Sieci, instalacje i urządzenia elektroenergetyczne o napięciu powyżej 1 kV. Poradnik inżyniera elektryka, projektanta i

inwestora. [Red.] W. Jabłoński. Warszawa, Verlag Dashofer.

Szuba M. (2008) Linie i stacje elektroenergetyczne w środowisku człowieka. Informator. Wrocław-Warszawa.

Szuba M. (2011) Możliwości budowy linii napowietrznych najwyższych napięć prowadzonych równoległe do siebie w aspekcie oddziaływania na środowisko pól elektromagnetycznych. [W:] XVIII Konferencja Naukowo-Techniczna Bezpieczeństwo Elektryczne: VIII Szkoła Ochrony Przeciwporażeniowej. ELSAF 2011. Szklarska Poręba, 21-23 września.

Trzaska H. (1998) Pomiary pól elektromagnetycznych w polu bliskim. Warszawa, PWN.

Więckowski T.W. (2001) Badania kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń elektrycznych i elektronicznych. Wrocław, Biblioteka KEM.

Zarządzenie Ministra Górnictwa i Energetyki z dnia 28 stycznia 1985 r. w sprawie szczegółowych wytycznych projektowania i eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych w zakresie ochrony ludzi i środowiska przed oddziaływaniem pola elektromagnetycznego. MP 1985, poz. 24. (uchylone w 1998 r. z uwagi na zmianę Ustawy o ochronie i kształtowaniu środowiska).

Zmyślony M., Bortkiewicz A. (1999) Wytyczne do przeprowadzania pomiarów pól elektromagnetycznych o częstotliwościach 50 Hz w stacjach elektroenergetycznych wysokich i najwyższych napięć. Łódź, Instytut Medycyny Pracy.

**METODA POMIARU *in situ*¹⁰ PARAMETRÓW
POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO CHARAKTERYZUJĄCYCH
NARAŻENIE W PRZESTRZENI PRACY PODCZAS UŻYTKOWANIA SIECI
ELEKTROENERGETYCZNYCH I ELEKTRYCZNYCH
INSTALACJI ZASILAJĄCYCH PRĄDU PRZEMIENNEGO
W ENERGETYCE - WYMAGANIA SZCZEGÓŁOWE**

1. Cel stosowania metody

Pomiar parametrów narażenia na pole elektryczne (**pole-E**) i pole magnetyczne (**pole-M**) określony w niniejszej metodzie wykonuje się do scharakteryzowania warunków narażenia na pole elektromagnetyczne (**pole-EM**) w przestrzeni pracy podczas użytkowania systemów elektroenergetycznych i elektrycznych instalacji zasilających prądu przemiennego w energetyce (w terenie otwartym lub w budynkach), celem realizacji wymagań dotyczących ochrony przed bezpośrednimi lub pośrednimi zagrożeniami elektromagnetycznymi w środowisku pracy, określonych w poniższych aktach prawnych i normach (lub ich późniejsze zmiany):

- rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 czerwca 2016 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na pole elektromagnetyczne (DzU 2016, poz. 950, zm. poz. 2284)
- rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 27 czerwca 2016 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (DzU 2016, poz. 952)
- rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 marca 2013 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach energetycznych (DzU 2013, poz. 492)
- rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (DzU 2011, poz. 166)
- rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 30 maja 1996 r. w sprawie przeprowadzania badań lekarskich pracowników, zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydawanych do celów przewidzianych w kodeksie pracy (DzU 1997, poz. 332, z późn. zm.)
- rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 września 1996 r. w sprawie wykazu prac szczególnie uciążliwych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet (DzU 2002, poz. 545, z późn. zm.)
- rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 24 sierpnia 2004 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac (DzU 2005, poz. 2047, z późn. zm.)
- 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)

¹⁰ Pomiary *in situ* - oznaczają pomiary wykonane „na miejscu” w przestrzeni pracy, np. tam gdzie użytkowane są sieci elektroenergetyczne.

- PN-EN 50341-1:2012. Elektroenergetyczne linie prądu przemiennego powyżej 1 kV – część 1: Wymagania ogólne – Specyfikacje wspólne
- PN-EN 50341-3-22:2010. Elektroenergetyczne linie prądu przemiennego powyżej 45 kV – część 3: Zbiór normatywnych warunków krajowych.

Sieci elektroenergetyczne i elektryczna instalacja zasilająca są przeznaczone do przesyłania prądu przemiennego (sinusoidalnego) o częstotliwości 50 Hz, dalej w skrócie jako sieć elektroenergetyczna prądu przemiennego (SE(AC)) ponieważ prąd przemienny jest oznaczany skrótem AC (*alternating current*).

W metodzie określono szczegółowe wymagania w zakresie: przygotowania, przeprowadzenia i udokumentowania wyników pomiaru pola-EM w przestrzeni pracy podczas użytkowania SE(AC), w terenie otwartym lub w budynkach, w zakresie koniecznym do poprawnej realizacji wymienionych wymagań prawnych i wymagań ogólnych określonych przez *Metodykę pomiaru in situ parametrów pola elektromagnetycznego charakteryzujących narażenie w przestrzeni pracy – wymagania ogólne*, przeznaczoną do opublikowania w kolejnym numerze kwartalnika Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy.

Metoda nie dotyczy pomiarów pola-EM występującego w przestrzeni pracy podczas użytkowania elementów stałoprądowych sieci elektroenergetycznej lub innych źródeł pola-EM eksploatowanych w przestrzeni pracy lub zlokalizowanych w pobliżu obiektów SE(AC), takich jak infrastruktura telekomunikacyjna czy narzędzia elektryczne.

2. Definicje i oznaczenia

Dla metody pomiaru pola-EM w przestrzeni pracy podczas użytkowania sieci elektroenergetycznych i elektrycznych instalacji zasilających

prądu przemiennego w energetyce, przyjęto następujące terminy zgodnie z ich określeniami w R-BHP-EM: pole elektromagnetyczne, pole quasi-statyczne, 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, przestrzeń pola-EM stref ochronnych, pracujący, osoba potencjalnie narażona, użytkowanie, użytkownik, pierwotne źródło pola-EM, wtórne źródło pola-EM.

Przyjęto następujące oznaczenia:

- bhp – bezpieczeństwo i higiena pracy
- pole-EM – pole elektromagnetyczne
- pole-E – pole elektryczne
- pole-M – pole magnetyczne
- PQS – pole quasi-statyczne
- AC – prąd przemienny (*alternating current*)
- SE(AC) – sieć elektroenergetyczna prądu przemiennego
- nn – niskie napięcie
- SN – średnie napięcie
- WN – wysokie napięcie
- NN – najwyższe napięcie
- IPN – Interwencyjny Poziom Narażenia
- R-BHP-EM – rozporządzenie MRPiPS w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na pole-EM (DzU 2016, poz. 950, zm. poz. 2284)
- R-NDN-EM – rozporządzenie MRPiPS zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (DzU 2016, poz. 952)
- RMG-BHP – rozporządzenie MG w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach energetycznych (DzU 2013, poz. 492)

- RMZ-BIP – rozporządzenie MZ w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (DzU 2011, poz. 166)
- RMS – rozporządzenie MŚ w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów (DzU 2003, poz.1883).
- generatory prądu, o mocach powyżej 1 MW
- instalacje potrzeb własnych na stacjach elektroenergetycznych, trójfazowe instalacje przemysłowe prądu przemiennego.

3. Zakres stosowania metody

Metoda ma zastosowanie do pomiaru parametrów pola-EM, charakteryzujących narażenie pracujących lub osób potencjalnie narażonych podczas użytkowania SE(AC), w terenie otwartym lub w budynkach, z uwzględnieniem zróżnicowanych warunków ich użytkowania.

SE(AC) zaliczają się do typowych źródeł pola-EM, wymienionych w tabeli załącznika nr 1 w R-BHP-EM (należą do źródeł wymienionych w pozycji 2: systemy elektroenergetyczne i elektryczna instalacja zasilająca).

Niniejsza metoda pomiaru jest stosowana do następujących obiektów elektroenergetycznych prądu przemiennego:

- stacje elektroenergetyczne z rozdzielnicami o napięciu znamionowym (110 ÷ 750) kV
- linie elektroenergetyczne wysokiego napięcia (WN), o napięciu znamionowym (110 ÷ 400) kV
- linie elektroenergetyczne niskiego lub średniego napięcia (nn lub SN), o napięciu znamionowym (0,4 ÷ 110) kV (z wyłączeniem obiektów o napięciu 110 kV, zaliczanym do WN)
- rozdzielnie i transformatory nn lub SN, o napięciach znamionowych (0,4 ÷ 110) kV (z wyłączeniem obiektów o napięciu 110 kV, zaliczanym do WN)

Pole-EM oceniane w przestrzeni pracy podczas użytkowania SE(AC) jest charakteryzowane przez:

- natężenie pola-E (oznaczone E i wyrażone w kV/m)
- natężenie pola-M¹¹ (oznaczone H i wyrażone w A/m)
- zmienność w czasie (częstotliwość, kształt przebiegu).

Elementy robocze SE(AC) emitują pole-EM o częstotliwości 50 Hz (zaliczone przez R-BHP-EM do pola-EM quasi-statycznego (PQS)), zmienne w czasie sinusoidalnie, z reguły bez zniekształceń harmonicznym wymagających uwzględnienia podczas oceny narażenia na pole-EM w przestrzeni pracy. Na potrzeby stosowania niniejszej metody przyjęto, że SE(AC) są źródłem ciągłego PQS, sinusoidalnie zmiennego w czasie, o częstotliwości 50 Hz (w ramach wymaganej przez R-BHP-EM niepewności rozpoznania częstotliwości nie przekraczającej ±10%).

U W A G A I

Niniejsza metoda pomiaru nie dotyczy pomiarów pola-EM w przestrzeni obsługi, w której są wykonywane prace pod napięciem, ponieważ ze względu na konieczność stosowania specjalistycznych procedur pracy i środków ochronnych, umożliwiających wykonanie prac pod napięciem (tj. w bezpośrednim otoczeniu torów prądowych załączonych do zasilania), natężenia niezaburzonego pola-E i pola-M nie stanowią w takim przypadku adekwatnych miar do oceny bezpośredniego oddziaływania pola-EM na pracownika.

¹¹ Alternatywnie do natężenia pola-M dopuszcza się stosowanie indukcji magnetycznej, oznaczanej symbolem *B* i wyrażanej w teslach (T) lub w jednostkach podwielokrotnych: mili- lub mikroteslach (mT, μT). W powietrzu pole o indukcji 1 μT charakteryzuje również natężenie pola-M wynoszące około 0,8 A/m.

4. Pomiary pola-EM

4.1. Przygotowanie do pomiarów pola-EM przez użytkownika

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

Miejsce, warunki wykonania i zakres pomiarów pola-EM w przestrzeni pracy podczas użytkowania SE(AC), 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 lub narażenia pracujących i osób potencjalnie narażonych w przestrzeni pracy. W odniesieniu do SE(AC), emitujących pole-EM będące przedmiotem oceny, rozpoznanie obejmuje zróżnicowanie warunków i zakresu użytkowania tych obiektów i przestrzeni pracy w ich otoczeniu.

W razie braku wystarczających danych do pełnego rozpoznania źródeł pola-EM podczas przygotowania do pomiarów użytkownik przekazuje dostępne informacje wykonawcy pomiarów, który rozpoznaje źródła pola-EM - podczas wizji lokalnej przestrzeni pracy dostępnymi metodami pomiarowymi. W sprawozdaniu z pomiarów dokumentuje się sposób i zakres tego rozpoznania, jego wyniki oraz stwierdzone ograniczenia reprezentatywności wyników pomiarów¹², wynikające z braku odpowiedniej dokumentacji lub właściwości danych pomiarowych. W każdym przypadku należy udokumentować w sprawozdaniu podstawę do przyjęcia, że ocenie podlega pole-EM emitowane przez źródła zasilane prądem przemiennym.

W odniesieniu do oceny pola-EM podczas użytkowania SE(AC) stosuje się następujące założenia:

- jako pierwotne źródła pola-EM w stacjach elektroenergetycznych rozpoznaje się takie urządzenia i instalacje WN, jak: transformatory, przekładniki prądowe i napięciowe, wyłączniki, odłączniki, ograniczniki przepięć (odgromniki), przewody szynowe i liniowe oraz urządzenia i wszelkie przewody elektryczne instalacji zasilających SN (potrzeby własne) i nn
- jako wtórne źródła pola-EM rozpoznaje się wszelkie konstrukcje i elementy metalowe będące w przestrzeni pracy.

4.1.2. Miejsce pomiaru pola-EM

Na podstawie działań wg punktu 4.1.1. użytkownik wyznacza miejsca w przestrzeni pracy oraz pracujących i osoby potencjalnie narażone, których może dotyczyć oddziaływanie pola-EM stref ochronnych podczas użytkowania SE(AC).

Prace eksploatacyjne przy urządzeniach elektroenergetycznych, w zależności od zastosowanych metod i środków ochronnych zapewniających bezpieczeństwo pracy, mogą być wykonywane:

- 1) pod napięciem (przestrzeń obsługi, w której takie prace są wykonywane, nie jest objęta pomiarami pola-EM, o których mowa w niniejszej metodzie – patrz Uwaga I),
- 2) w pobliżu napięcia,
- 3) przy wyłączonym napięciu (podczas takich prac nie występuje ekspozycja lub

¹² Warunki wykonania planowanych pomiarów pola-EM powinny zapewnić reprezentatywność wyników ze względu na ocenę pola-EM w zróżnicowanych warunkach użytkowania pierwotnych i wtórnych źródeł pola-EM. W przypadku niedostatecznie dokładnego rozpoznania parametrów technicznych źródeł pola-EM rozpoznanego w przestrzeni pracy objętej planowanymi badaniami, uniemożliwiającego wykonanie pomiarów zgodnie z przeznaczeniem (tj. do realizacji wymagań prawa pracy) lub istotnie wpływającego na niepewność wyników planowanych badań, wykonawca pomiarów powinien poinformować użytkownika o ograniczeniach z tym związanych (dotyczących reprezentatywności wyniku pomiaru do zamierzonego zastosowania w ocenie pola-EM), a w przypadku akceptacji tych ograniczeń w sprawozdaniu z pomiarów przedstawić informacje o zakresie niedostępnych danych lub ograniczonego zakresu pomiarów i ich przyczynach.

narażenie na pole-EM emitowane przez obiekty SE(AC), w związku z tym przestrzeń pracy, w której są wykonywane tylko takie prace nie jest objęta pomiarami pola-EM).

Za przestrzeń pracy w otoczeniu SE(AC) należy uznać całą przestrzeń, w której są wykonywane prace eksploatacyjne lub porządkowe przy załączonym zasilaniu infrastruktury (w zakresie określonym jako użytkowanie w R-BHP-EM¹³), z wyłączeniem miejsc, do których dostęp jest zabroniony lub niemożliwy bez użycia sprzętu technicznego. Miejsca te powinny być objęte pomiarami natężenia pola-E i pola-M celem udokumentowania parametrów narażenia na pole-EM źródeł pierwotnych i wtórnych.

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 określonych w prawie pracy, dotyczące:

- 1) przestrzeni pracy oraz pracujących i osób potencjalnie narażonych, których może dotyczyć oddziaływanie pola-EM stref ochronnych,

- 2) zróżnicowanych warunków i zakresu użytkowania pierwotnych i wtórnych źródeł pola-EM,
- 3) charakterystyk pola-EM w przestrzeni pracy.

Na tej podstawie określa się: parametry stosowanej aparatury pomiarowej i lokalizację miejsca pomiarów, warunki dostępności niezbędnych danych technicznych dotyczących SE(AC) i obiektów technicznych, zlokalizowanych w przestrzeni pracy objętej planowanymi badaniami, termin planowanych badań i warunki obsługi przez przedstawicieli użytkownika obiektów SE(AC) oraz innych źródeł pola-EM, a także parametry pracy tych źródeł podczas pomiarów – z zachowaniem wymagań określonych w punktach 4.2. ÷ 4.4.

Przed przystąpieniem do badań należy uzyskać od przedstawicieli użytkownika (np. od obsługi badanej stacji) informacje o parametrach pracy urządzeń zainstalowanych i będących źródłem pola-EM w badanym obiekcie. Uzyskane dane należy udokumentować w sprawozdaniu. W przypadku urządzeń elektroenergetycznych, które nie pracują w trybie ciągłym (np. baterie kondensatorów statycznych lub dławiki kompensacyjne), wskazane jest wcześniejsze ustalenie terminu załączenia tych urządzeń w celu wykonania pomiarów

¹³ [R-BHP-EM, § 2.4.10.]: 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:

- 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.

pola-EM, którego źródłem jest ten zespół urządzeń.

Za powierzchnię dostępu przy źródłach pola-EM mogą zostać przyjęte odgrodzenia lub przegrody ograniczające dostęp do wydzielonej części obiektów, ze względu na zagrożenie porażeniowe. W razie dostępności takiej wygrozonej przestrzeni dla osób upoważnionych, jeśli wykonują one czynności obsługowe w pobliżu napięcia, przestrzeń takiej obsługi wymaga pomiarów pola-EM z zachowaniem odpowiednich środków ochronnych. Natomiast jeśli jest to przestrzeń obsługi pod napięciem, pomiaru pola-EM określonego niniejszą metodą nie wykonuje się w takim miejscu (patrz Uwaga I). Rozpoznanie podczas pomiarów wygrozonych części obiektów, o których mowa, dokumentuje się w sprawozdaniu (np. z wykorzystaniem dokumentacji fotograficznej).

Zaleca się dokumentowanie fotograficzne miejsc wykonywania pomiarów, w szczególności tych, w których stwierdzono występowanie wartości natężenia pola-E lub pola-M strefy niebezpiecznej.

Przedmiotem badania jest obiekt w rzeczywistych warunkach pracy, występujących podczas normalnej pracy wszystkich elementów instalacji (praca bez wyłączeń). Należy kontrolować i dokumentować podczas pomiarów parametry obciążeniowe badanego obiektu i odnotować je w sprawozdaniu z badań, tak aby możliwe było odtworzenie warunków, w jakich dokonano pomiarów, a także przeprowadzenie oceny maksymalnych narażeń na podstawie wyników pomiarów.

U W A G A II

Ze względu na warunki pracy systemu elektroenergetycznego, podczas realizacji pomiaru pola-EM nie jest możliwe wpływanie na wartości napięć i prądów w sieci elektroenergetycznej, przyjmuje się więc, że badania są realizowane przy napięciach (determinujących pole-E) i obciążeniach (determinujących pole-M) w stanie zastanym w tzw. układzie normalnym, czyli w takim stanie urządzeń, położeniu łączników i obciążeń, jaki występuje podczas normalnej eksploatacji. Z tego powodu mogą one

ograniczać reprezentatywność wyników pomiarów w odniesieniu do poziomu pola-EM i zasięgów stref ochronnych w miejscu pomiaru, co wymaga omówienia w sprawozdaniu. W praktyce jedynie wyniki omawianych pomiarów natężenia pola-M mogą mieć ograniczoną reprezentatywność ze względu na różnicowane warunki pracy SE(AC).

UWAGA III

Do zapewnienia poprawnej pracy aparatury pomiarowej konieczne jest wybranie terminu pomiarów tak, aby warunki środowiskowe wykonywania pomiarów spełniały następujące wymagania: temperatura powietrza powyżej 0°C i wilgotność względna powietrza nie więcej niż 75%, dodatkowo brak opadów atmosferycznych (w przypadku pomiarów dla napowietrznych źródeł pola-EM). Warunki te powinny być kontrolowane podczas pomiarów i udokumentowane w sprawozdaniu.

4.1.4. 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 w R-BHP-EM do użytkowania źródła pola-EM. Realizując wymagania określone w tym rozporządzeniu, użytkownik źródeł pola-EM jest obowiązany dostarczyć osobom wykonującym pomiary pola-EM wszelkich niezbędnych informacji z zakresu bezpieczeństwa i higieny pracy, które dotyczą przestrzeni pracy, gdzie planowane są pomiary pola-EM. Podstawowe zasady bezpieczeństwa podczas takich prac omówiono w aneksie 2.

4.2. Miary narażenia na pole-EM

Zakres pomiarów wykonanych z zastosowaniem określonych metod i aparatury pomiarowej – uwzględniający zróżnicowany podczas użytkowania SE(AC) rozkład przestrzenny miejscowych wartości natężenia pola-E i natężenia pola-M – powinien umożliwić wszechstronną ocenę pola-EM w przestrzeni pracy, a w szczególności:

- 1) udokumentowanie rozpoznania źródeł pola-EM w przestrzeni pracy,
- 2) ocenę odpowiednich do rozpoznanych charakterystyk pola-EM parametrów natężenia pola-E i pola-M w dziedzinie czasu (ocenę wartości równoważnej), z wyznaczeniem lokalnych wartości natężeń pola-E i pola-M,
- 3) określenie odpowiednio dokładnie zasięgów stref ochronnych pola-EM w przestrzeni pracy, przy obiektach elektroenergetycznych rozpoznanych jako pierwotne źródło pola-EM oraz przy rozpoznanych w tej przestrzeni wtórnych źródłach pola-EM, celem opracowania i wdrożenia programu stosowania środków ochronnych, jakie określono wymaganiami R-BHP-EM i RMG,
- 4) określenie we wskazanej przez użytkownika (np. prowadzącego eksploatację obiektu elektroenergetycznego) przestrzeni obsługi, w której rozpoznano pole-EM strefy zagrożenia podczas realizacji dowolnego typu obowiązków, odpowiednio dokładnie rozkładu przestrzennego miejscowych wartości natężenia niezaburzonego pola-E i pola-M w punktach pomiarowych w celu oceny poziomu narażenia miejscowego różnych części ciała (głowy, tułowia, kończyn),
- 5) w razie rozpoznania okoliczności wymagających od użytkownika oceny narażeń quasi-stacjonarnych i tymczasowości narażenia na pole-EM w przestrzeni obsługi, określenie odpowiednio dokładnie rozkładu przestrzennego narażeń quasi-stacjonarnych,
- 6) pomiary okresowe wymagane przez RMZ-BIP.

Zasięgi stref ochronnych określa się w odniesieniu do limitów IPN. W tabeli 1. przedstawiono limity IPN pola-E i pola-M dotyczące częstotliwości 50 Hz.

U W A G A I V

Strefy ochronne pola-E i pola-M wyznaczone są niezależnie, a za zasięg stref ochronnych pola-EM przyjmuje się większy z rozpoznanych zasięgów pola-E i pola-M. W danym miejscu pole-EM strefy bezpiecznej występuje jeżeli: $E < IPN_p\text{-E}$ i $H < IPN_p\text{-H}$.

Definicje poszczególnych stref ochronnych pola-EM (niebezpiecznej, zagrożenia i pośredniej) oraz strefy bezpiecznej określono w R-BHP-EM.

Wartości IPN określono w R-NDN-EM w odniesieniu do wartości równoważnej (WR) natężenia pola-E lub pola-M, która dla przebiegu przemiennego, sinusoidalnie zmiennego w czasie jest równa wartości skutecznej (RMS) natężenia pola ($WR=RMS$).

Reasumując, do oceny narażenia na pole-EM podczas użytkowania obiektów SE(AC) wykorzystuje się wyniki pomiaru wartości skutecznej (RMS) wykonane w warunkach określonych w punkcie 4.1., z bezpośrednim zastosowaniem odpowiednich wartości IPN-E i IPN-H określonych w R-NDN-EM dla pola-EM o częstotliwości 50 Hz (tab. 1.). W związku ze strukturą wartości IPN przyjęto, że miarami narażenia na pole-EM są:

- wartości RMS natężenia pola-E, wyrażone w kV/m
- wartości RMS natężenia pola-M, wyrażone w A/m (alternatywnie pole-M charakteryzują wartości indukcji magnetycznej, wyrażone w μT).

Tabela 1.
Limity narażenia w przestrzeni pracy na pole-EM o częstotliwości 50 Hz wytwarzane podczas użytkowania SE(AC), (R-NDN-EM)

Zakres limitów IPN	Limity dotyczące pola-EM o częstotliwości 50 Hz		
	pole elektryczne natężenie pola-E, E, kV/m	pole magnetyczne (alternatywnie):	
		natężenie pola-M, H, A/m	indukcja magnetyczna, B, μ T
Strefa bezpieczna $E < IPN_p-E$ $H < IPN_p-H$ $B < IPN_p-B$	$E < 1$	$H < 60$	$B < 75$
Strefa pośrednia $IPN_p-E \leq E < IPN_{od}-E$ $IPN_p-H \leq H < IPN_{od}-H$ $IPN_p-B \leq B < IPN_{od}-B$	$1 \leq E < 3,3$	$60 \leq H < 530$	$75 \leq B < 670$
Strefa zagrożenia $IPN_{od}-E \leq E < IPN_{og}-E$ $IPN_{od}-H \leq H < IPN_{og}-H$ $IPN_{od}-B \leq B < IPN_{og}-B$	$3,3 \leq E < 20$	$530 \leq H < 3\ 200$	$670 \leq B < 4\ 000$
Strefa niebezpieczna $E \geq IPN_{og}-E$ $H \geq IPN_{og}-H$ $B \geq IPN_{og}-B$	$E \geq 20$	$H \geq 3\ 200$	$B \geq 4\ 000$
Limit bazowy IPN _{ob} -E IPN _{ob} -H IPN _{ob} -B	10	1 600	2 000
Limit narażenia kończyny IPN _k -H IPN _k -B	–	8 000	10 000
Minimalna czułość pomiarów natężenia pola-E i pola-M	1	60	75
Minimalny zakres pomiarów natężenia pola-E i pola-M	1 ÷ 20	60 ÷ 3 200	75 ÷ 4 000

Objaśnienia:

IPN_p-E, IPN_p-H, IPN_p-B – dolna granica strefy pośredniej; IPN_{od}-E, IPN_{od}-H, IPN_{od}-B – dolna granica strefy zagrożenia; IPN_{og}-E, IPN_{og}-H, IPN_{og}-B – górna granica strefy zagrożenia (tj. granica strefy niebezpiecznej); IPN_{ob}-E, IPN_{ob}-H, IPN_{ob}-B – limit bazowy; IPN_k-H, IPN_k-B – limit narażenia kończyny.

U W A G A V

Wobec przytoczonych w tab. 1. danych, jako wymaganą czułość aparatury pomiarowej należy przyjąć wartości nie przekraczające: 1 kV/m i 60 A/m. Do celów bhp użyteczne mogą być szersze zakresy pomiarowe niż wspomniane zakresy minimalne wynikające z wymagań prawa. Zrealizowanie i udokumentowanie pomiarów w szerszych zakresach może być wartością dodaną, pozwalającą na lepsze rozpoznanie parametrów pola-EM w przestrzeni pracy, gdzie są wprowadzane lub monitorowane środki ochronne, odpowiednie do rozpoznanych zagrożeń elektromagnetycznych. Jednakże ze względów bezpieczeństwa zaleca się

ograniczenie przestrzeni objętej pomiarami do miejsc, w których $E < 25$ kV/m. Natomiast w razie wykonywania pomiarów przy napięciach lub obciążeniach istotnie mniejszych od maksymalnych, do lepszej reprezentatywności wyników pomiarów oraz zapewnienia możliwości przeanalizowania poziomów narażenia przy zróżnicowanych warunkach użytkowania obiektów SE(AC) zaleca się użycie aparatury bardziej czulej od podanej w tab. 1.

4.3. Zakres oceny narażenia na pole-EM

Ocena narażenia na pole-EM o częstotliwości 50 Hz podczas użytkowania SE(AC) jest dostosowywana, zgodnie z wymaganiami określonymi w R-BHP-EM (zał. nr 3, cz. III, pkt. 3.), do wyników rozpoznania dotyczących¹⁴:

- 1) charakterystyki przestrzeni pracy i urządzeń, jakie są tam eksploatowane – wg punktu 4.1.2.,
- 2) pierwotnych i wtórnych źródeł pola-EM w przestrzeni pracy, o której mowa w punkcie 1. lub poza nią – wg punktu 4.1.1.,
- 3) zakresu użytkowania źródeł pola-EM i przestrzeni pracy, o których mowa w punkcie 1. i 2., uwzględniając w szczególności zróżnicowanie warunków ekspozycji, określone przez rodzaj i stan urządzeń elektroenergetycznych, położenie łączników i obciążeń, jaki występuje podczas normalnej ich eksploatacji,
- 4) przestrzeni obsługi, o ile ona występuje, również rodzaju wykonywanej w niej pracy przy załączonym zasilaniu urządzeń elektroenergetycznych.

4.4. Aparatura pomiarowa

Pomiary pola-EM wykonuje się aparaturą pomiarową umożliwiającą spełnienie wymagań dotyczących miar narażenia, określonych w R-BHP-EM (zał. nr 3, cz. III), tj. umożliwiającej pomiar:

- 1) pola-EM bliskiego, charakteryzowanego przez dwie niezależne wielkości, natężenie pola-E i natężenie pola-M,
- 2) natężenia pola-E i natężenia pola-M przy częstotliwości 50 Hz ($\pm 10\%$) lub w szerszym paśmie częstotliwości,
- 3) wartości skutecznej (RMS) natężenia

pola-E i natężenia pola-M w dziedzinie czasu,

- 4) rozkładów przestrzennych miejscowych wartości natężenia pola-E lub pola-M, uśrednionego w przestrzeni o kształcie sześcianu o długości krawędzi 10 cm, której środek reprezentuje położenie referencyjnej bezkierunkowej sondy niezaburzonego pola-E lub pola-M,
- 5) wartości natężenia pola-E lub pola-M, w zakresie odpowiednim do oceny poziomu ekspozycji pomijalnej, narażenia kontrolowanego i narażenia niebezpiecznego na pole-EM o częstotliwości 50 Hz (tab. 1),
- 6) niezaburzonego pola-EM bliskiego, umożliwiając odseparowanie czujnika od podłoża i osób wykonujących badania – za pomocą, np.: nieprzewodzącego drążka, statywu czy łącza optycznego,
- 7) którego wynik w co najmniej 90% jest skutkiem oddziaływania pola-EM na sondę pomiarową, tj. pomiar z sondą pomiarową o możliwych do zdefiniowania podczas pomiarów lokalizacji i wymiarach, umożliwiający ocenę miejscowych wartości natężenia pola-M lub pola-E (jak określono w punkcie 4.),
- 8) która zapewnia pomijalny wpływ na wynik pomiaru pośredniego oddziaływania pola-EM (niezwiązanego z jego oddziaływaniem na sondę pomiarową), tzn. wykonany aparaturą o odpowiedniej odporności elektromagnetycznej, w szczególności ze względu na oddziaływanie pola-E na miernik pola-M lub pola-M na miernik pola-E, bądź pola-EM na inne niż sonda pomiarowa elementy aparatury pomiarowej.

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

Minimalna odległość wymagana między sondą pomiarową i osobą mierzącą (wraz z ręką) to 1,0 m, natomiast podczas pomiaru natężenia pola-E zaleca się zachowanie odległości co najmniej 1,6 m – w celu odpowiedniego ograniczenia niepewności pomiaru, powodowanej obecnością osoby wykonującej pomiar.

W celu prawidłowego wyznaczenia zasięgu stref oraz lokalizacji pionów pomiarowych niezbędny jest miernik odległości, np. dalmierz laserowy lub sztywny niemetalowy przymiar. Stosowanie metalowych taśm mierniczych nie jest zalecane ze względów bezpieczeństwa. W celu kontrolowania warunków pogodowych niezbędny jest termometr i wilgotnościomierz, np. termohigrometr.

U W A G A VI

Pomiar należy wykonywać aparaturą pomiarową, wzorcowaną okresowo w zakresie odpowiednim do rozpoznanego w przestrzeni pracy pola-EM, pod względem: częstotliwości i dynamiki pola-EM wykorzystanego podczas wzorcowania. Aparatura pomiarowa powinna również podlegać sprawdzeniom charakterystyk metrologicznych – w szczególności w zakresie odporności elektromagnetycznej, zgodnie z wymaganiami dotyczącymi jakości pomiarów, koniecznej do realizacji wymagań określonych w R-BHP-EM. Ponadto, w okresie między wzorcowniami aparatura powinna przechodzić bieżące testy sprawności, celem podtrzymania zaufania do statusu jej parametrów metrologicznych, np. przez monitorowanie wyników pomiarów w polu-EM wybranego źródła w regularnych odstępach czasu lub w ramach przygotowania do pomiarów, o którym mowa w 4.5.1. W przypadku stwierdzenia rozbieżności wyników testów sprawności, pomiary wykonane w okresie od poprzedniego testu uznaje się za niemiarodajne. Wymagania dotyczące charakterystyki częstotliwościowej i dynamicznej spełnia przykładowo następujący zakres badań w polu-E lub polu-M sinusoidalnie zmiennym:

- charakterystyka częstotliwościowa przy częstotliwościach: 40; 50; 100 Hz
- charakterystyka dynamiczna przy częstotliwości 50 Hz, w zakresie pomiaru pola-E co najmniej $(1 \div 20)$ kV/m, a w zakresie pomiaru pola-M co najmniej $(60 \div 3\ 200)$ A/m.

U W A G A VII

W razie wykorzystywania do pomiarów aparatury wyposażonej w sondę pomiarową o wymiarach różnych od określonych wg punktu 4.1.1., do oceny wyników pomiaru w odległości mniejszej

od 50 cm od pierwotnych i wtórnych źródeł pola-EM konieczne jest wprowadzenie odpowiednich strategii pomiarów lub współczynników korekcyjnych dostosowanych do parametrów rozkładu przestrzennego mierzonego pola-EM, celem określenia miejscowych wartości natężenia pola-M, zgodnie ze wspomnianymi wymaganiami.

U W A G A VIII

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

4.5. Wykonanie pomiarów

4.5.1. Przygotowanie aparatury pomiarowej

Wykonanie pomiarów poprzedzają następujące czynności, o ile mają zastosowanie w odniesieniu do właściwości konstrukcyjnych i użytkowych stosowanej aparatury pomiarowej:

- 1) zestawienie układu pomiarowego i sprawdzenie jego stanu technicznego – w szczególności stanu układu zasilania,
- 2) ustawienie wielkości mierzonej i pomiarowego pasma częstotliwości – pomiar bieżącej wartości RMS w paśmie częstotliwości obejmującym co najmniej zakres $(45 \div 55)$ Hz,
- 3) test sprawności układu pomiarowego za pomocą zewnętrznego źródła pola-EM.

Po zakończeniu pomiarów ponowne przeprowadza się test układu pomiarowego.

4.5.2. Wyznaczenie zasięgów pola-EM stref ochronnych

Wyznaczenie zasięgów pola-EM stref ochronnych powinno obejmować ustalone warunki użytkowania źródeł pola-EM i przestrzeni pracy, a także złożone oddziaływanie wielu źródeł pola-EM, o ile występują. Pomiary należy poprzedzić rozpoznaniem lokalizacji

pierwotnych i wtórnych źródeł pola-EM oraz ich powierzchni dostępu.

W przypadku rozpoznania w przestrzeni pracy powierzchni dostępu pierwotnego lub wtórnego źródła pola-EM pomiary, należy rozpocząć od określenia poziomu pola-EM przy tej powierzchni:

- 1) za wartość natężenia pola-E bezpośrednio przy powierzchni dostępu będącej obiektem metalowym należy przyjąć wartość: $E=3E1-2E2$, wyznaczoną na podstawie miejscowych wartości $E1$ i $E2$, określonych w odległości od obiektu odpowiednio: 10 i 20 cm, oraz analogicznie dla wartości natężenia pola-M,
- 2) przy powierzchni dostępu nie będącej obiektem metalowym należy przyjąć wartość zmierzoną bezpośrednio przy powierzchni obiektu za wartość natężenia pola-E lub pola-M,
- 3) jeżeli przy powierzchni dostępu poziom pola-EM przekracza granicę strefy niebezpiecznej, tzn. $E > 20$ kV/m, to ze względów bezpieczeństwa zaleca się ograniczyć pomiary do przestrzeni pola-EM strefy zagrożenia i pośredniej. Takie ograniczenie zakresu pomiarów oraz jego uzasadnienie dokumentuje się w sprawozdaniu z pomiarów. Pomiary w strefie niebezpiecznej, o ile są konieczne i zostały pisemnie uzgodnione z przedstawicielem użytkownika, należy realizować tak, aby narażeniu podlegał jedynie miernik na dielektrycznym wysięgniku, a nie wykonujący pomiary.

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

W celu wyznaczenia wartości maksymalnych natężenia pola-E lub pola-M w wybranej przestrzeni lub pionie pomiarowym obserwuje się wskazania miernika 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.

U W A G A I X

W przypadku oceny narażenia na pole-EM pod liniami wysokiego napięcia, w przestrzeni pracy która jest obszarem dostępnym dla ludności, zasięgi stref ochronnych określa się na podstawie danych sporządzonych ze względu na wymagania RMS (zgodnie z wymaganiami określonymi w R-BHP-EM: §5.1.3.).

Pole-EM stref ochronnych jest określane w danym miejscu na podstawie maksymalnych miejscowych wartości natężenia pola-E i natężenia pola-M, zmierzonych w pionach pomiarowych i zlokalizowanych od dostępnej powierzchni (powierzchni terenu lub podłogi pomieszczenia) do wysokości co najmniej 2 metrów. Jeżeli przy powierzchni dostępu występuje pole-EM stref ochronnych należy w przestrzeni pracy określić zasięgi pola-EM stref ochronnych.

W przypadku zastosowania ujednoczonych środków ochronnych dla różnych grup pracowniczych, dla których jest dostępny obszar ruchu elektrycznego, można w porozumieniu z użytkownikiem zastąpić wyznaczanie zasięgu stref ochronnych na podstawie szczegółowych pomiarów pola-EM przyjęciem zasięgu strefy pośredniej, lub zarówno strefy pośredniej jak i strefy zagrożenia, zgodnie z granicą obszaru ruchu elektrycznego. Jednak warunkiem koniecznym takiego rozpoznania zasięgu stref ochronnych jest potwierdzenie pomiarami, wykonanymi w miejscach gdzie należy spodziewać się najsilniejszych natężeń pola-E lub pola-M, że poza obszarem ruchu elektrycznego występuje jedynie pole-EM strefy bezpiecznej.

Jednakże w każdym przypadku konieczne jest pomiarowe wyznaczenie co najmniej zasięgu pola-EM strefy niebezpiecznej, o ile ona występuje (tzn. jeśli przy powierzchni dostępu stwierdzono możliwość występowania pola-EM strefy niebezpiecznej: $E > \text{INPog-E}$ lub $H > \text{IPNog-H}$). W celu wyznaczenia zasięgów pola-EM określonej strefy ochronnej wybiera się punkty w takich miejscach i w takiej ilości, aby możliwe było wyznaczanie jej zasięgów przez interpolację między sąsiednimi punktami.

Wyznaczenie zasięgów pola-EM stref ochronnych (o ile nie zostały one przyjęte na granicy ruchu elektrycznego) rozpoczyna się od wyznaczenia zasięgu strefy pośredniej, aby ograniczyć zakres pomiarów do wyznaczenia tylko tej strefy, jeśli nie zostanie stwierdzone występowanie przestrzeni obsługi w polu-EM stref ochronnych (wyznaczonym przez zasięg strefy pośredniej). Specyfiką obiektów SE(AC) WN, w których w rozległej przestrzeni pola-EM stref ochronnych są wykonywane zróżnicowane prace eksploatacyjne dotyczące urządzeń będących źródłem pola-EM, jest występowanie wielu lokalnych przestrzeni ich obsługi. Z reguły w takich obiektach jest konieczne więc wyznaczenie zasięgów wszystkich stref ochronnych w otoczeniu pierwotnych i wtórnych źródeł pola-EM, zatem kolejność ich wyznaczania nie wpływa na zakres koniecznych pomiarów.

W rozległych obiektach SE(AC) obszar pomiarowy dzieli się zgodnie z podziałem terenu na tzw. pola rozdzielni WN – z reguły o jednokowej podziałce przestrzennej dla określonego poziomu napięć.

Źródła pola-E na terenie rozdzielni napowietrznych i wewnątrzowych są rozmieszczone w większości ponad głowami pracowników i tam też występują najsilniejsze pola-EM. Do

określenia zasięgów stref ochronnych na podstawie maksymalnych wartości natężenia pola-E w pionach pomiarowych można zatem, w takim wypadku, wykorzystać wyniki pomiarów wykonanych na wysokości 2,0 m nad poziomem terenu lub podłogi pomieszczenia. W przypadku stwierdzenia takiej lokalizacji źródeł pola-E, podczas ustalania zasięgu stref ochronnych sondę pomiarową przesuwa się na stałej wysokości w taki sposób, aby w momencie pojawienia się wskazania miernika odpowiadającego wartości granicznej danej strefy było możliwe określenie położenia tego punktu, np. przez pomiar odległości od innych charakterystycznych punktów w przestrzeni pracy.

Wyznaczanie zasięgu stref ochronnych pola-M w każdym przypadku powinno obejmować pomiary wzdłuż pionu pomiarowego od podłoża do wysokości 2,0 m, ze względu na możliwość rozmieszczenia źródeł pola-M w sposób niewidoczny (np. linii kablowych).

Ze względu na charakter prac wykonywanych w przestrzeni obsługi urządzeń elektroenergetycznych, w większości przypadków nie zachodzi potrzeba przyjmowania punktów pomiarowych na większej wysokości niż 2 m. Dodatkowym uzasadnieniem są tu względy bezpieczeństwa pracy, które zalecają prewencyjne dystansowanie osób wraz z narzędziami (także sondami pomiarowymi) od elementów będących pod napięciem (o ile nie jest niezbędne przeprowadzenie czynności obsługi w ich pobliżu)¹⁵. W związku z tym, pomiary na wyższych wysokościach należy traktować jako wyjątkowe przypadki wymagające uzasadnienia i pisemnego uzgodnienia z użytkownikiem oraz zachowania odpowiednich środków ostrożności podczas pomiarów.

Wszystkie piony pomiarowe muszą być: ponumerowane, opisane i przyporządkowane do

¹⁵ Na wysokości pomiarowej 2,0 m nad poziomem terenu była realizowana zdecydowana większość pomiarów pola-EM wykonanych przed 2016 rokiem w rozdzielniach elektroenergetycznych. Podczas porównania nowszych wyników z wynikami otrzymanymi wcześniej – w tych samych lub podobnych warunkach eksploatacji urządzeń – dla ich miarodajności należy zwrócić uwagę na wysokość punktów pomiarowych.

konkretnego urządzenia (np. rozdzielczego) oraz naniezione na plan sytuacyjny obszaru pomiarowego (np. rysunek lub szkic rozdzielni WN).

U W A G A X

W uzasadnionych przypadkach uzgodnionych z użytkownikiem wyznacza się zasięg pola-EM, w którym ze względu na charakter sposobu użytkowania przestrzeni pracy mają zastosowania środki ochronne, aby narażenie było tymczasowe.

Po wyznaczeniu zasięgów pola-EM stref ochronnych w otoczeniu SE(AC) należy określić w jakiej strefie znajduje się przestrzeń obsługi.

Jeżeli w przestrzeni pola-EM strefy zagrożenia rozpoznano przestrzeń obsługi, to wyznacza się w niej rozkład poziomu narażenia quasi-stacjonarnego z rozdzielczością przestrzenną miejscowych wartości natężenia pola-E i pola-M odpowiednią do przeprowadzenia przez użytkownika oceny dotyczącej¹⁶:

- 1) zasięgów pola-EM strefy zagrożenia i niebezpiecznej przy rozpoznanych źródłach,
- 2) poziomu największego narażenia głowy i tułowia, typowo na wysokości odpowiednio (140 ÷ 180) cm i (80 ÷ 120) cm,
- 3) poziomu narażenia kończyn,
- 4) wskaźnika narażenia.

Jako przestrzeni obsługi można nie rozpoznać tej części przestrzeni pracy, która jest wykorzystywana jedynie podczas przechodzenia między urządzeniami (tj. podczas czynności obchodowych) i jest poza zasięgiem pola-EM strefy niebezpiecznej oraz lokalne gradienty natężenia pola-E i pola-M w strefie zagrożenia nie przekraczają 50% zmienności wzdłuż poziomych i pionowych przekrojów przestrzeni pracy o długości 1 metra. W takich warunkach

krótkotrwałe narażenie podczas czynności obchodowych nie stanowi istotnego wkładu do wartości wskaźnika narażenia, natomiast narażenie różnych części ciała może być oszacowane jako narażenie quasi-stacjonarne na pole-EM o poziomie takim, jak wartości maksymalne natężenia pola-E i natężenia pola-M w pionach charakteryzujących rozkład pola w przestrzeni pracy. Warunki te są zwykle spełnione, jeśli czynności obchodowe są wykonywane w odległości co najmniej 2 metrów od źródeł pola-EM na terenie rozdzielni WN. Natomiast w miejscach, gdzie rozpoznano w strefie zagrożenia lokalizację miejsc obsługi w otoczeniu urządzeń SE(AC), w których wykonywane są czynności eksploatacyjne przy takich urządzeniach elektroenergetycznych, jak: transformatory i podejścia kablowe, dławiki kompensacyjne, obudowane urządzenia rozdzielni wewnętrznych, elementy kontrolno-sterujące, należy rozpoznać w niej rozkład przestrzenny narażenia miejscowego na pole-EM (w szczególności narażenia: kończyn, głowy lub tułowia), tj. rozkład przestrzenny miejscowych wartości natężenia pola-E lub natężenia pola-M, z rozdzielczością nie gorszą niż ok. ±20 cm. Pomiary takie nie są konieczne, jeśli w ocenianej przestrzeni obsługi występuje narażenie quasi-stacjonarne, które można w związku z tym scharakteryzować przez wartości maksymalne natężenia pola-E i natężenia pola-M, które zostały zmierzone podczas wyznaczania zasięgów stref ochronnych.

Pomiary rozkładu przestrzennego narażenia miejscowego (o których mowa) dotyczą jedynie tej składowej pola-EM, dla której rozpoznano poziom strefy zagrożenia.

Do scharakteryzowania narażenia miejscowego w przestrzeni obsługi w strefie zagrożenia, wyniki pomiarów natężenia pola-E (jeśli

¹⁶ Oddziaływanie pola-EM stref ochronnych określono w R-BHP-EM jako narażenie ogólne, jeśli maksymalne miejscowe natężenie pola-M lub natężenie pola-E oddziałującego na głowę lub tułów przekracza wartości odpowiedniego limitu IPNp-E lub IPNp-H. Narażeniem miejscowym określono oddziaływanie niejednorodnego pola-EM, podczas którego maksymalne miejscowe natężenie pola-M lub pola-E oddziałującego miejscowo, w szczególności na: kończyny, głowę lub tułów, przekracza wartości odpowiedniego limitu IPNp-E lub IPNp-H.

rozpoznano $E > \text{IPNod-E}$ i tak samo dla natężenia pola-M jeśli rozpoznano $H > \text{IPNod-H}$), powinny obejmować:

- 1) jeśli rozpoznano tam pole-EM quasi-stacjonarne - maksymalne natężenia pola-E w ocenianej przestrzeni obsługi, typowo w przestrzeni od powierzchni dostępu do obsługiwanego tam urządzenia SE(AC) do odległości do 1 metra od niej, przy wysokości od podłoża do 2 metrów,
- 2) jeśli rozpoznano tam pole-EM niebędące polem quasi-stacjonarnym – maksymalne natężenie pola-E przy powierzchni dostępu traktowane jako poziom narażenia kończyn lub tułowia w przypadku kontaktu ciała z powierzchnią dostępu podczas wykonywania czynności obsługowych, oraz natężenie pola-E charakteryzujące największe narażenie głowy i tułowia zmierzone w miejscach odpowiednich ze względu na pozycje ciała podczas wykonywania czynności obsługowych, np. zmierzone w pionie oddalonym o 0,5 metra od powierzchni dostępu, na wysokości odpowiednio (140 ÷ 180) cm (narażenia głowy) i (80 ÷ 120) cm (narażenia tułowia), w przypadku oceny narażenia w przestrzeni obsługi polegającej na wizualnej kontroli stanu urządzeń.

4.6. Niepewność pomiarów

Do wykazania wymaganej przy realizacji wymagań R-BHP-EM dokładności pomiarów pola-EM¹⁷ w przestrzeni pracy konieczne jest przeprowadzenie analizy niepewności dla wy-

korzystywanej metody i wyposażenia pomiarowego, uwzględniającej m.in. charakterystyki metrologiczne aparatury pomiarowej (częstotliwościowe i dynamiczne oraz odporność elektromagnetyczną) oraz ograniczenia wynikające z różnic parametrów aparatury w stosunku do wymagań prawa pracy dotyczących ocenianych parametrów pola-EM w dziedzinie częstotliwości, czasu i przestrzeni (jak wielkość sondy pomiarowej w stosunku do wymiarów sondy referencyjnej i jej rzeczywista izotropowość), warunki klimatyczne, powtarzalność lokalizacji punktów pomiarowych, niepewność wzorcowania miernika, jak również niepewności spowodowanej zaburzeniami pola-EM wskutek obecności osoby wykonującej pomiar¹⁸.

Potencjał techniczny oraz umiejętności konieczne do realizacji pomiarów w granicach niepewności wyznaczonej na podstawie wspomnianej analizy czynników wpływających (odzwierciedlonej w budżecie niepewności tych pomiarów) powinny zostać potwierdzone przez wyniki udziału w odpowiednich badaniach biegłości (PT). Uwzględniając stosunkowo małą dokładność pomiaru pola-EM na potrzeby oceny narażenia w przestrzeni pracy, rekomendowane jest uczestniczenie w tym celu w ogólnie dostępnych badaniach biegłości realizowanych zgodnie z wymaganiami normy ISO/IEC 17043, dla których wartość przypisana jest wyznaczana poprzez odpowiednie badania z udziałem ekspertów, niezależnie od wyników uzyskiwanych przez indywidualnych uczestników badań, a wyniki są oceniane zgodnie z zaleceniami normy ISO 13528:2015 z wykorzystaniem miar *z-score* lub *zeta-score*.

¹⁷ R-BHP-EM (Załącznik 3, cz. 1): Ze względu na powiązanie środków ochronnych z rozpoznaniem 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 $\pm 30\%$.

¹⁸ Wymagania dotyczące wykonania pomiaru pola-EM w warunkach ograniczających niepewność wyników spowodowaną zaburzeniami pola-EM wskutek obecności osoby wykonującej na pomiar omówiono szczegółowo w publikacji metodycznej pt. Przegląd miar skutków narażenia na zmienne w czasie pole elektromagnetyczne i właściwości metrologicznych mierników, istotnych podczas oceny narażenia w środowisku pracy, opublikowanej w kwartalniku Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy, nr 4/2016, oraz w normie IEC 61786-2:2014.

5. Dokumentowanie wyników pomiarów

5.1. Zapisy z badań

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

W zapisach należy dokumentować miejscowe wartości natężenia pola-M i natężenia pola-E (na podstawie wykonanego pomiaru lub przeprowadzonego rozpoznania, że $E < \text{IPNp-E}$ lub $H < \text{IPNp-H}$), powiązane jednoznacznie z ich lokalizacją oraz warunkami użytkowania.

UWAGA XI

Zaleca się, aby zapisy były prowadzone w postaci tabel dostosowanych do zakresu pomiaru pola-EM.

UWAGA XII

Dopuszcza się dokumentowanie lokalizacji punktów pomiarowych na szkicu wykonanym w skali (z pominięciem siatki współrzędnych), jeżeli wyniki pomiarów udokumentowano wraz z opisem lokalizacji punktów pomiarowych w odniesieniu do położenia źródła pola-EM.

UWAGA XIII

Nie wymaga się wykonywania szkiców w przypadku rozpoznania w przestrzeni pracy tylko pola-EM strefy bezpiecznej, a lokalizację punktów pomiarowych scharakteryzowano opisowo.

5.2. Sprawozdanie z pomiarów

Wyniki pomiarów dotyczące pola-EM w przestrzeni pracy podczas użytkowania SE(AC) dokumentuje się w postaci sprawozdania, które powinno zawierać co najmniej:

1) zidentyfikowaną metodykę przeprowadzonego pomiaru,

- 2) charakterystykę przestrzeni pracy i przestrzeni obsługi, której dotyczy badanie i warunki użytkowania źródeł, którym odpowiadają charakterystyki pola-EM, w szczególności przez określenie trybu pracy, obciążenia, konfiguracji,
- 3) zestawienie rozpoznanych zasięgów pola-EM stref ochronnych powiązane z warunkami użytkowania źródeł, np. w zestawieniu tabelarycznym, opisowym lub zaprezentowane odpowiednio dokładnie graficznie,
- 4) zestawienie wyników pomiarów obejmujące:
 - miejscowe wartości natężenia pola-E i natężenia pola-M w przestrzeni pola-EM stref ochronnych (bądź określenie że: $E < \text{IPNp-E}$ lub $H < \text{IPNp-H}$)
 - wyniki powiązane jednoznacznie z lokalizacją punktów pomiarowych w przestrzeni obsługi i przestrzeni pracy, w odniesieniu do takich stałych, charakterystycznych elementów przestrzeni pracy, jak: elementy konstrukcyjne sieci i instalacji elektroenergetycznych, ściany pomieszczeń, ogrodzenia itp.
 - wyniki zaprezentowane w zestawieniach opisowych, tabelarycznych lub w formie graficznej; w szczególności: szkice lub fotografie przestrzeni pomiarowej, z naniesionymi odpowiednio dokładnie i jednoznacznie danymi charakteryzującymi lokalizację punktów pomiarowych, np. w postaci ponumerowanych punktów, wymiarów prezentowanej na nich przestrzeni pracy, pomieszczenia, urządzeń, bądź podanie skali lub podziałki liniowej – szczególnie dokładne dane powinny charakteryzować wyniki pomiarów pola-EM strefy zagrożenia lub niebezpiecznej w przestrzeni obsługi

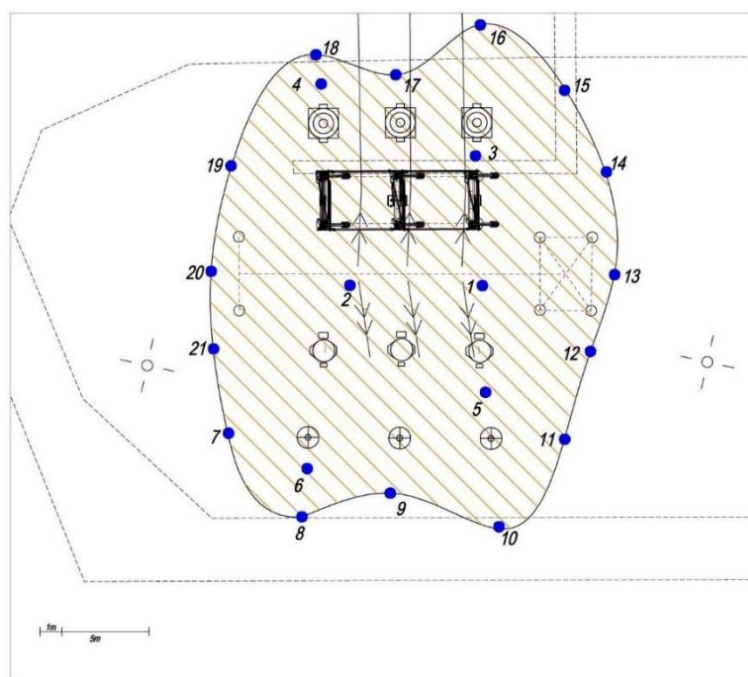
- wyniki podane z odpowiednią do zastosowanej metody badań precyzją, co najwyżej 2 miejsc znaczących, bez zakresu ich niepewności
 - wyniki kontroli warunków meteorologicznych,
- 5) charakterystykę ograniczeń, dotyczących reprezentatywności wyników pomiarów prezentowanych w sprawozdaniu, wynikających w szczególności z: niepełnego rozpoznania źródeł pola-EM w przestrzeni pracy i parametrów tego pola, zróżnicowanego zakresu użytko-
- wania (w tym zróżnicowanego obciążenia oraz spodziewanej z tego powodu zmienności poziomów pola-M i zasięgów stref ochronnych przy obciążeniach maksymalnych), właściwości metrologicznych użytej aparatury pomiarowej, rozbieżności wcześniejszego rozpoznania i rozpoznania podczas pomiarów itp.,
- 6) identyfikację wykorzystanego wyposażenia pomiarowego i aktualnego statusu jego kontroli metrologicznej oraz wykonawcy pomiarów, datę i godziny wykonania pomiarów.

PRZYKŁAD WYZNACZENIA ZASIĘGU STREF OCHRONNYCH

Wyznaczenie zasięgu stref ochronnych (o ile nie zostały one przyjęte na granicy ruchu elektrycznego) rozpoczyna się od wyznaczenia zasięgu strefy pośredniej, aby ograniczyć zakres pomiarów do wyznaczenia tej strefy, jeśli nie zostanie stwierdzone występowanie przestrzeni obsługi w polu-EM stref ochronnych (wyznaczonym przez zasięg strefy pośredniej). Specyfiką obiektów SE(AC) WN, w których w rozległej przestrzeni pola-EM stref ochronnych są wykonywane zróżnicowane prace eksploatacyjne, dotyczące urządzeń będących źródłem pola-EM, jest występowanie wielu lokalnych przestrzeni ich obsługi. W takich obiektach może więc być uzasadnione wyznaczenie zasięgów wszystkich stref ochronnych w otoczeniu pierwotnych i wtórnych źródeł pola-EM. W takich okolicznościach kolejność wyznaczania zasięgów poszczególnych stref nie wpływa na zakres koniecznych pomiarów.

W rozległych obiektach SE(AC) obszar pomiarowy dzieli się zgodnie z funkcjonalnym podziałem terenu na tzw. pola rozdzielni WN – z reguły o jednakowej podziałce przestrzennej dla określonego poziomu napięcia. Wobec omówionej specyfiki obiektów SE(AC), omówione przykładowo wyznaczenie zasięgów stref ochronnych, przedstawiono rozpoczynając od wyznaczenia zasięgów strefy zagrożenia – po wyznaczeniu wartości maksymalnej w badanym wycinku przestrzeni pracy – patrz pion pomiarowy 1. na rysunku 1. Następnie poszukiwany jest zasięg strefy zagrożenia (piony 7 ÷ 21).

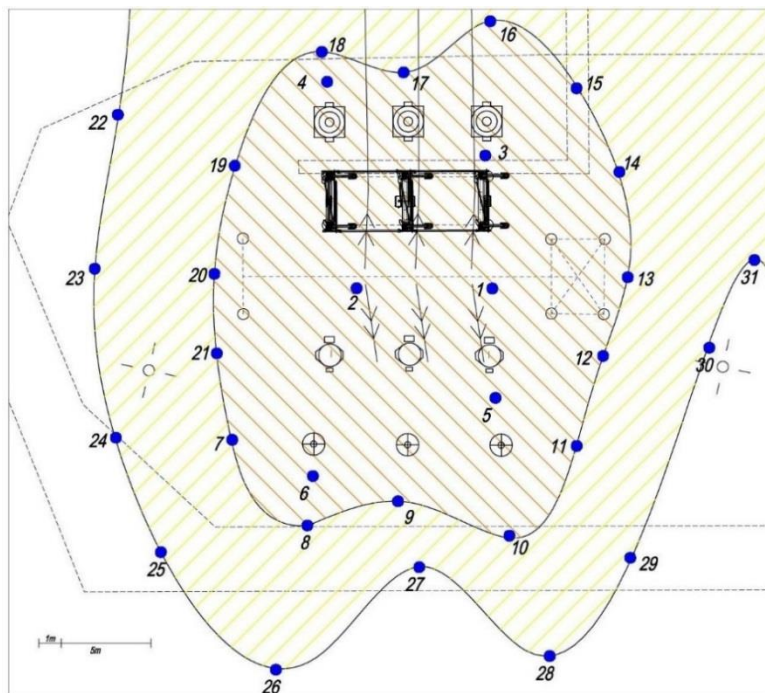
W razie realizacji pomiarów w warunkach istotnie odbiegających od warunków użytkowania obiektu, przy których są spodziewane maksymalne zasięgi pola-EM stref ochronnych zalecane jest wykonanie pomiarów również w dodatkowych punktach pomiarowych.



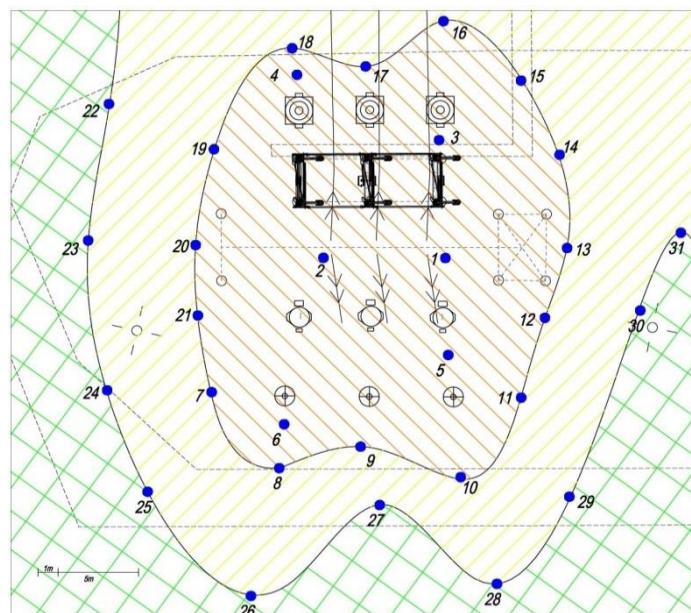
Rys. 1. Przykładowe wyznaczenie zasięgu strefy zagrożenia; 1 ÷ 21 – numeracja pionów pomiarowych

Jeśli nie przyjęto granicy ruchu elektrycznego jako zasięgu stref ochronnych, następnie wyznaczany jest zasięg strefy pośredniej – na podstawie pionów pomiarowych 22 ÷ 31 (rys. 2.). Pozostały obszar rozdzielni WN będący przestrzenią ekspozycji na pole-EM (tj. obszar

poza strefami ochronnymi niebędący miejscem narażenia na pole-EM) został oznaczony na rysunku 3. kolorem zielonym.



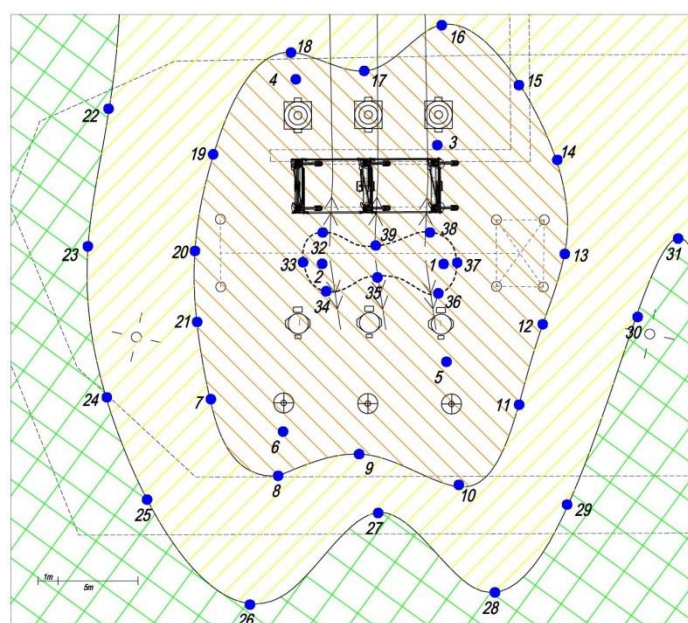
Rys. 2. Przykładowe wyznaczenie zasięgu strefy pośredniej; 1 ÷ 31 – numeracja pionów pomiarowych



Rys. 3. Przykładowe oznaczenie przestrzeni ekspozycji na pole-EM (kolor zielony, wypełnienie konturu deseniem w kratę); 1 ÷ 31 – numeracja pionów pomiarowych

W uzasadnionych przypadkach uzgodnionych z użytkownikiem wyznacza się zasięg pola-EM, w którym ze względu na charakter sposobu użytkowania przestrzeni pracy mają zastosowanie środki ochronne celem zapewnienia narażenia tymczasowego) określone zgodnie z R-BHP-EM), np. zasięg pola-E lub pola-M o natężeniu przekraczającym IPNoB (linia przerywana na rys. 4.), wyznaczające przestrzeń, na zewnątrz której narażenie tymczasowe nie występuje podczas przebywania

tam krócej niż 4 godziny dziennie. Należy podkreślić, że w przypadku prac eksploatacyjnych w energetyce zastosowanie organizacji pracy zapewniającej kontrolę dziennego czasu narażenia (zapewnienie narażenia tymczasowego) może być jedynym z niewielu dostępnych środków ochronnych przed oddziaływaniem pola-E-M wytwarzanego przez elementy sieci elektroenergetycznej i elektryczne instalacje zasilające.



Rys. 4. Przykładowe wyznaczenie zasięgu pola-EM o poziomie przekraczającym limit bazowy – linia przerywana (piony 32 ÷ 39) – na zewnątrz przestrzeni, w której limit bazowy jest przekroczony, narażenie tymczasowe występuje podczas krótszego niż 4 godziny przebywania pracujących lub osób potencjalnie narażonych; 1 ÷ 39 – numeracja pionów pomiarowych

ZAPEWNIENIE BEZPIECZEŃSTWA I KOMPETENCJI PODCZAS POMIARÓW

Prace podczas pomiarów pola-EM w przestrzeni pracy zostały zaliczone do prac związanych z użytkowaniem źródła pola-EM. Użytkownik – u którego prace wykonują pracownicy zatrudniani 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 – 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 bhp dotyczące wyników oceny zagrożeń elektromagnetycznych (R-BHP-EM, §2.3. i RMZ, §17.2), w szczególności dotyczące:

- środków ochronnych oraz zasad ograniczania poziomu narażenia lub ograniczania zagrożeń, jakie należy stosować z uwagi na rozpoznane zagrożenia elektromagnetyczne
- limitów IPN i limitów GPO oraz możliwych bezpośrednich skutków oddziaływania pola-EM na organizm człowieka, w tym objawów przejściowych
- możliwych skutków pośrednich oraz stwarzanych przez nie zagrożeń dla bezpieczeństwa i higieny pracy
- występowania pola-EM stref ochronnych oraz potencjalnych skutków dla bezpieczeństwa i higieny pracy wynikających z poziomów pola-E i pola-M rozpoznanych w przestrzeni pracy
- sposobów wykrywania i zgłaszania niekorzystnych dla zdrowia skutków narażenia oraz zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej (o której mowa w R-BHP-EM ust. 13.)

- bezpiecznych sposobów pracy ograniczających zagrożenia wynikające z oddziaływania pola-EM
- prawidłowego stosowania odpowiednio dobranych środków ochronnych
- ograniczeń dotyczących oddziaływania pola-EM na osoby szczególnie chronione.

Ponadto, w przestrzeni pracy w polu-EM stref ochronnych stosowane środki ochronne dostosowuje się do specyfiki złożonych zagrożeń zawodowych, w szczególności do rozpoznanych prac szczególnie niebezpiecznych (w rozumieniu przepisów w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy, wydanych na podstawie art. 237¹⁵ § 1 ustawy z dnia 26 czerwca 1974 r. – Kodeks pracy) lub prac stwarzających możliwość wystąpienia szczególnego zagrożenia dla zdrowia lub życia ludzkiego, które powinny być wykonywane przez co najmniej dwie osoby w celu zapewnienia asekuracji (określonych na podstawie art. 225 ustawy z dnia 26 czerwca 1974 r. – Kodeksu pracy), (R-BHP-EM, zał. nr 3, cz. I, pkt. 10.).

Uwzględniając omówione warunki wykonywania pomiarów, pomiary pola-EM w przestrzeni pracy przy elementach sieci elektroenergetycznej i elektrycznych instalacjach zasilających w energetyce wykonują osoby:

- 1) o odpowiednich, udokumentowanych kompetencjach w zakresie pomiaru pola-EM w przestrzeni pracy przy obiektach systemów elektroenergetycznych,
- 2) dla których potwierdzono brak przeciwwskazań zdrowotnych do przebywania w PQS stref ochronnych,

- 3) które mają udokumentowane inne istotne kompetencje lub cechy, zapewniające bezpieczne wykonanie pomiaru pola-EM w specyficznych warunkach rozpoznanych w przestrzeni pracy objętej planowanymi pomiarami,
- 4) osoby uprawnione i upoważnione w rozumieniu RMG-BHP.

W RMG-BHP określono znaczenie poniższych pojęć:

- prace eksploatacyjne – prace wykonywane przy urządzeniach energetycznych w zakresie ich obsługi, konserwacji, remontów, montażu i kontrolno-pomiarowym
- osoba uprawniona – osoba posiadająca kwalifikacje uzyskane na podstawie przepisów prawa energetycznego
- osoba upoważniona – osoba wyznaczoną przez prowadzącego eksploatację do wykonywania określonych czynności lub prac eksploatacyjnych.

Ze względu na występujące zagrożenie porażeniowe, w szczególności na elementach SN,

WN lub NN, obiekty z zainstalowanymi urządzeniami elektroenergetycznymi są oznakowane w sposób umożliwiający ich identyfikację. Urządzenia elektroenergetyczne stwarzające zagrożenie dla zdrowia i życia ludzkiego są zabezpieczane przed dostępem osób nieupoważnionych. Wykonywanie prac eksploatacyjnych (w tym pomiarowych) wymaga uzyskania upoważnienia do wykonywania prac na danym obiekcie od jego użytkownika (np. od prowadzącego eksploatację) oraz pisemnego polecenia na pracę (o ile prowadzący eksploatację nie zadecyduje inaczej)¹⁹. Zespół pomiarowy pracujący na polecenie pisemne musi liczyć minimum dwie uprawnione osoby, spośród których jest wyłaniany kierujący zespołem. Przykładowo do obowiązków kierującego zespołem należy (wg Instrukcji BHP PSE S.A., która realizuje wymagania określone w RMG-BHP):

- dobór członków zespołu o umiejętnościach zawodowych odpowiednich do wykonania polecenia pracy
- sprawdzenie przygotowania strefy pracy i przyjęcie jej od osoby dopuszczającej do pracy (jeżeli została właściwie przygotowana)

¹⁹ Omawiane zasady organizacji prac eksploatacyjnych w obiektach elektroenergetycznych są tradycyjnie stosowane ze względu na wymagania określone w rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 17 września 1999 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach i instalacjach energetycznych (DzU 1999, poz. 912), definiującym następujące terminy:

- dopuszczający – wyznaczony przez polecniodawcę pracownik, posiadający ważne świadectwo kwalifikacyjne na stanowisku eksploatacji i upoważniony pisemnie przez prowadzącego eksploatację urządzeń i instalacji energetycznych do wykonywania czynności łączeniowych w celu przygotowania miejsca pracy
- nadzorujący – wyznaczony przez polecniodawcę pracownik posiadający ważne świadectwo kwalifikacyjne na stanowisku dozoru lub eksploatacji, wykonującego wyłącznie czynności nadzoru
- kierujący zespołem pracowników – wyznaczony przez polecniodawcę pracownik posiadający ważne świadectwo kwalifikacyjne na stanowisku eksploatacji, kierujący zespołem pracowników
- kierownik robót – wyznaczony przez polecniodawcę pracownik posiadający ważne świadectwo kwalifikacyjne na stanowisku dozoru, do koordynacji prac, gdy w jednym obiekcie energetycznym jednocześnie pracuje więcej niż jeden zespół pracowników.

Ponadto organizacja pracy przy urządzeniach i instalacjach energetycznych została określona przez wymagania tego rozporządzenia następująco (§ 64.):

1. Prace na czynnych urządzeniach i instalacjach energetycznych mogą być wykonywane na polecenie pisemne, ustne lub bez polecenia.
2. Polecenia, o których mowa w ust. 1., wydaje polecniodawca.
3. Prace w warunkach szczególnego zagrożenia dla zdrowia i życia ludzkiego należy wykonywać na podstawie polecenia pisemnego, przy zastosowaniu odpowiednich środków zabezpieczających zdrowie i życie ludzkie.
4. Pracownicy nie będący pracownikami zakładu prowadzącego eksploatację danego urządzenia i instalacji powinni wykonywać prace wyłącznie na podstawie polecenia pisemnego, z wyjątkiem prac, dla których czynności związane z dopuszczeniem do pracy ustalono odrębnie na piśmie.

(...)

- zaznajomienie podległych członków zespołu ze sposobem przygotowania strefy pracy, występującymi zagrożeniami w strefie pracy i w bezpośrednim jej sąsiedztwie oraz warunkami i metodami bezpiecznego wykonywania pracy
- podjęcie decyzji o rozpoczęciu i zakończeniu pracy
- zapewnienie wykonania pracy przy zastosowaniu: właściwej technologii, środków i narzędzi gwarantujących bezpieczeństwo, zarówno zespołowi wykonującemu pracę, jak i urządzeniom, na których jest ona wykonywana
- egzekwowanie od członków zespołu: stosowania właściwych środków ochrony indywidualnej, kasków, odzieży i obuwia roboczego oraz właściwych narzędzi i sprzętu
- nadzorowanie przestrzegania przez podległych członków zespołu przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy
- powiadomienie dopuszczającego o zakończeniu lub potrzebie przerwania pracy.

Ze względu na zagrożenie porażeniem prądem elektrycznym określono minimalne odstęp w powietrzu od nieostłoniętych urządzeń i instalacji elektrycznych lub ich części znajdujących się pod napięciem, wyznaczające zewnętrzne granice strefy pracy (uwzględniające odstęp ergonomiczny) związanej z ich eksploatacją (tab. 3.).

Tabela 3.

Minimalne odstęp w powietrzu wyznaczające zewnętrzne granice strefy pracy (uwzględniające odstęp ergonomiczny, rozumiany jako odległość w powietrzu, w której uwzględniono wykonywanie mimowolnych ruchów oraz błędy w ocenie odległości podczas wykonywania pracy) przy urządzeniach elektroenergetycznych – w zależności od napięcia znamionowego [RG-BHP]

Napięcia znamionowe urządzenia lub instalacji elektrycznej, kV	Minimalny odstęp w powietrzu (m), wyznaczający zewnętrzną granicę strefy pracy	
	pod napięciem	w pobliżu napięcia
≤1	bez dotyku	0,3
3	0,06	1,12
6	0,09	1,12
10	0,12	1,15
15	0,16	1,16
20	0,22	1,22
30	0,32	1,32
110	1,0	2,0
220	1,6	3,0
400	2,5	4,0
750	5,3	8,4

U W A G A I

Podczas użytkowania poszczególnych elementów sieci elektroenergetycznej i elektrycznych instalacji zasilających w energetyce dostęp do pierwotnego źródła pola-EM jest możliwy tylko w przypadku stosowania technologii prac pod napięciem metodą „na potencjale”. Wykonanie takich prac jest opisane szczegółowo w karcie technologicznej zawierającej dokładny opis jej realizacji i wymaga użycia specjalistycznego sprzętu ochronnego, ograniczającego możliwość porażenia prądem elektrycznym. Ocena




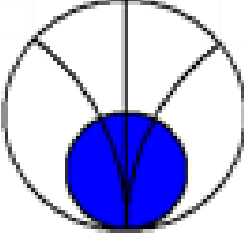
zagrożeń elektromagnetycznych podczas wykonywania takich prac nie jest objęta niniejszą metodą pomiaru pola-EM.

U W A G A II

Obiekty elektroenergetyczne mają znaczenie strategiczne dla bezpieczeństwa energetycznego w skali regionu i państwa, stąd też należy zachować szczególną ostrożność podczas wykonywania prac, tak aby nie doprowadzić do niekontrolowanych czynności łączeniowych, np. przez przypadkowy lub nieuprawniony dostęp do elementów sterujących.

Oznakowanie zasięgów stref ochronnych nie jest wymagane, jeżeli dostęp do źródeł i miejsc narażenia został ograniczony ze względu na inne zagrożenia (R-BHP-EM: § 10.3.4.). Szczególnym przypadkiem takich okoliczności są środki ochronne wdrożone ze względu na zagrożenie porażeniowe, a ograniczenie dostępu może być ustanowione np. na granicy ruchu elektrycznego. Zaleca się jednak pozostawienie oznakowania dotyczącego za-

grożeń elektromagnetycznych na granicy z obszarem dostępnym dla ludności w rozumieniu „Prawa ochrony środowiska”. Stosowane znaki graficzne powinny być zrozumiałe również dla osób postronnych (niepolegających wymaganiom RMG-BHP), a więc przykładowo najczęściej stosowane znaki bezpieczeństwa dotyczące zagrożeń elektromagnetycznych, w tym miejsc, gdzie występuje silne pole-EM (PN-EN ISO 7010 lub PN-T-06260) przedstawiono na rys.1.

Opis znaku bezpieczeństwa	Znak graficzny
Zakaz wstępu osobom ze stymulatorem serca [PN-ISO 7010:2012] (czerwono-czarne symbole na białym tle)	
Ostrzeżenie przed promieniowaniem niejonizującym [PN-ISO 7010:2012] (czarne symbole na żółtym tle)	
Ostrzeżenie przed silnym polem magnetycznym [PN-ISO 7010:2012] (czarne symbole na żółtym tle)	
Oznakowanie źródeł pola-EM i stref ochronnych [PN-T-06260:1974] Zależnie od kolorystyki (środek-tło) oznacza: źródło pola-EM (niebiesko-biały), strefę niebezpieczną (czerwono-czerwony), strefę zagrożenia (czerwono-żółty), strefę pośrednią (żółto-biały), strefę bezpieczną (zielono-biały)	

Rys. 1. Znormalizowane znaki bezpieczeństwa mające zastosowanie do oznaczenia miejsc, w których występuje silne pole-EM i zagrożenia elektromagnetyczne