

dr inż. KRZYSZTOF GRYZ
 dr inż. JOLANTA KARPOWICZ
 Centralny Instytut Ochrony Pracy
 – Państwowy Instytut Badawczy
 Kontakt: krgr@ciop.pl

Znaczenie pozapasmowej czułości aparatury pomiarowej przy ocenie narażenia na radiofalowe pola elektromagnetyczne w sąsiedztwie linii energetycznych wysokiego napięcia



Fot. Diro/Bigstockphoto

W artykule zaprezentowano wyniki laboratoryjnych badań pozapasmowej czułości mierników elektromagnetycznego promieniowania radiofalowego, o pasmach pomiarowości z zakresu częstotliwości 1 kHz – 38 GHz, na oddziaływanie sinusoidalnie zmiennego pola elektrycznego o częstotliwości przemysłowej 50 Hz i natężeniu w zakresie 5 – 30 kV/m. Wyniki badań przeanalizowano w kontekście wymagań ochrony pracowników i ludności przed oddziaływaniem pól elektromagnetycznych oraz charakterystyki złożonych środowiskowych pól, jakie mogą występować w otoczeniu elektroenergetycznych linii przesyłowych wysokiego napięcia.

Stwierdzono, że oddziaływanie pól elektrycznych 50 Hz na mierniki radiofalowego pola elektromagnetycznego może w otoczeniu linii wysokiego napięcia spowodować nieuprawnione zidentyfikowanie radiofalowych pól elektrycznych i magnetycznych o natężeniach przekraczających dopuszczalne dla narażenia ludności. W pobliżu linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia, lub w innych miejscach narażonych na silne pola elektryczne częstotliwości przemysłowej, konieczne jest używanie tylko mierników radiofalowych o ustalonej czułości na pole elektryczne 50 Hz i rozważenie jej wpływu na wyniki pomiarów, biorąc pod uwagę poziom pola elektrycznego 50 Hz w poszczególnych miejscach.

Słowa kluczowe: miernictwo, pole elektromagnetyczne, ocena ekspozycji, pracownicy, środowisko

The role of out-of-band sensitivity of measurement devices in the assessment of exposure to radiofrequency electromagnetic fields near high voltage power lines

The following article presents results of laboratory studies of out-of-band sensitivity of radiofrequency electromagnetic radiation measurement devices, of measurement ranges from the 1 kHz – 38 GHz range, to the influence of sinusoidal time varying electric field of power frequency 50 Hz and strength 5 – 30 kV/m. Results of studies were analyzed in the context of requirements on the workers and general public protection against the influence of the electromagnetic fields and the characteristic of environmental complex fields, which may exist in the vicinity of high voltage electric power lines. It was found, that in the vicinity of high voltage electric power lines, the influence of 50 Hz electric fields on the radiofrequency electromagnetic field measurement devices may caused unjustified identification of radiofrequency electric and magnetic fields of the strength exceeding general public exposure limits. Near high voltage power lines, and in other place highly exposed to power frequency electric field, it is required to use only radiofrequency measurement devices of known response to 50 Hz electric field and to consider its influence on the measurement results based on the level of 50 Hz electric field in particular location.

Keywords: metrology, electromagnetic fields, exposure assessment, workers, environment

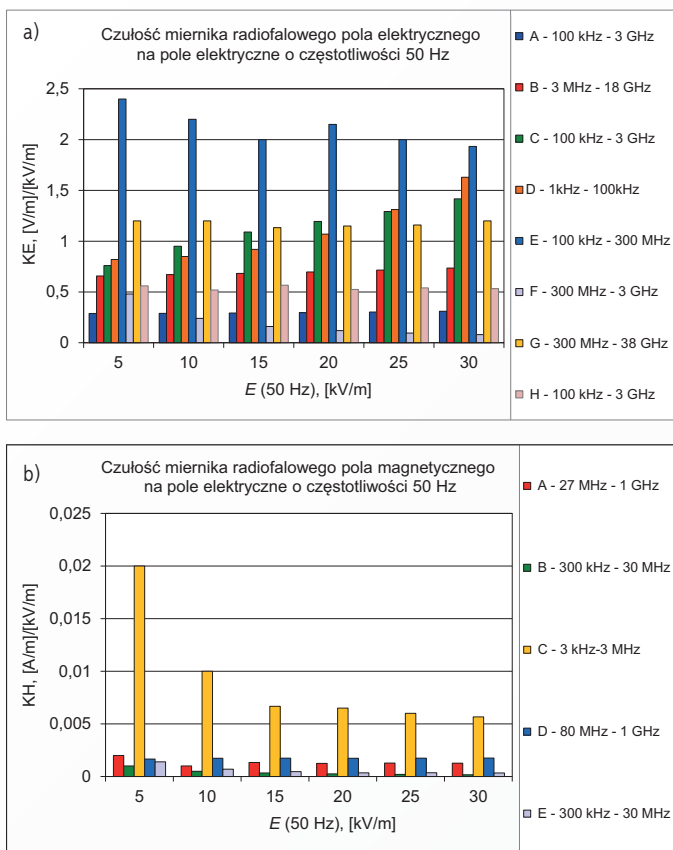
Wstęp

Na świecie od lat prowadzone są badania naukowe, w tym epidemiologiczne, mające na celu poszerzenie wiedzy na temat mechanizmów i skutków oddziaływania pól elektromagnetycznych na organizm człowieka, a także określenie, czy urządzenia i instalacje powszechnie wykorzystywane w życiu codziennym, takie jak telefony komórkowe, elektryczne instalacje zasilające w budynkach czy elektroenergetyczne napowietrzne urządzenia przesyłowo-rozdzielcze powodują zagrożenie bezpieczeństwa i zdrowia społeczeństwa [1-3]. Z uwagi na wykazane tymi badaniami zagrożenia ludzi, wynikające z niepożądanego oddziaływania pól elektromagnetycznych na urządzenia elektroniczne i organizmy żywe, określono wymagania prawne i zalecenia dotyczące ograniczania takiego narażenia pracowników i ogółu ludności [4,5].

Począwszy od 1972 r. została w Polsce wprowadzona prawna ochrona pracowników i środowiska przed zagrożeniami elektromagnetycznymi, stopniowo dla pól z różnych zakresów częstotliwości. System identyfikacji i oceny zagrożeń, będący zasadniczym elementem tej ochrony, bazuje m.in. na badaniach pól elektromagnetycznych wykonywanych w terenie i na ocenie wyników na podstawie kryteriów zdefiniowanych wymaganiami prawnymi [4-6].

Określono również metodykę wykonywania pomiarów i oceny pól elektromagnetycznych w celu ujednoczenia sposobu ich prowadzenia i zapewnienia wymaganej miarodajności wyników: środowiska pracy dotyczą wymagania Polskiej Normy (PN-T-06580:2002), a środowiska ogólnego – wymagania rozporządzenia Ministra Środowiska [5-7].

Miarodajność wyników wspomnianych pomiarów jest ważna, bowiem w przypadku środowiska pracy mogą one decydować np. o częstotliwości wykonywania badań okresowych czynników środowiska pracy, konieczności i zakresie modyfikacji organizacji pracy, czy o podjęciu działań technicznych w celu zmniejszenia poziomu pól działających na pracownika. W przypadku środowiska ogólnego mogą natomiast wpływać np. na decyzje administracyjne dotyczące lokalizacji instalacji emitujących pola elektromagnetyczne lub budynków mieszkalnych w ich otoczeniu [5]. Wyniki pomiarów mogą mieć zatem zarówno poważne skutki finansowe



Rys. 1. Czulość na pole elektryczne o częstotliwości 50 Hz mierników radiofalowego pola elektrycznego (a) i magnetycznego (b)

Fig. 1. The sensitivity to the 50 Hz frequency electric field of measurement devices of radiofrequency electric (a) and magnetic (b) fields

(kiedy konieczne są działania profilaktyczne lub modyfikacja planów inwestycyjnych), jak i zdrowotne (w przypadku błędnej oceny poziomu oddziaływania pól elektromagnetycznych w ocenianym środowisku i nierozpoznanie istniejących zagrożeń elektromagnetycznych).

Do prawidłowej oceny ekspozycji konieczna jest powtarzalność, jednoznaczność i wiarygodność wyników pomiarów pól elektromagnetycznych, dotyczących wielkości reprezentujące takie cechy pól elektromagnetycznych występujących w środowisku, dla których ustalono wymagania prawne. Szczególnie niepożądane jest, aby we wspomnianym procesie oceny pól elektromagnetycznych w środowisku dochodziło, wskutek błędnej metody pomiarów lub ich niewłaściwej interpretacji, do nieujawnienia nadmiernej ekspozycji, która może być niebezpieczna dla ludzi. Jednak niewskazane jest również identyfikowanie narażeń znacznie przekraczających rzeczywisty poziom, co może prowadzić do wywołania nieuzasadnionych obaw ludzi przebywających w ocenianym środowisku i kosztów zbyt głębokich działań profilaktycznych, podjętych celem redukcji nieistniejących narażeń (tj. wykrytych wskutek błędnej interpretacji wskazań przyrządów pomiarowych lub niewłaściwego wykonania pomiarów). Kluczowe zagadnienia metrologii pól elektromagnetycznych omówiono w załączniku 1.

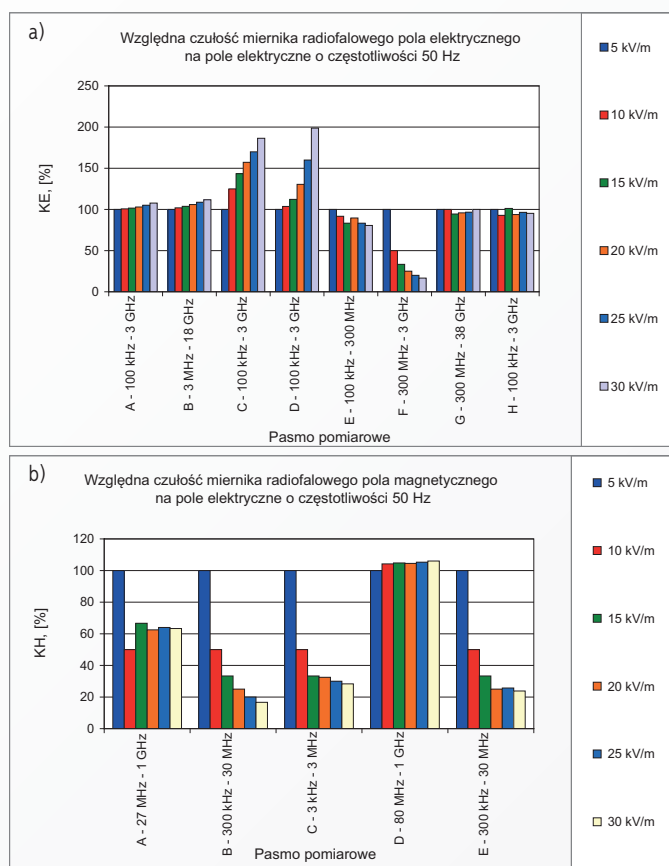
Celem prezentowanej pracy była analiza znaczenia dla procesu oceny narażeń środowiskowych, jakie ma pozapasmowa czulość mierników, przeznaczonych do pomiaru pól elektromagnetycznych o częstotliwościach radiofalowych, na oddziałujące

na nie pole elektryczne o częstotliwości przemysłowej 50 Hz. Na podstawie wyników laboratoryjnych badań metrologicznych właściwości takiej aparatury pomiarowej przeanalizowano praktyczne skutki stwierdzonej czulości pozapasmowej – przy założeniu spełnienia wymagań dotyczących ochrony ludności lub pracowników przed nadmiernym oddziaływaniem pól elektromagnetycznych.

Metoda badań

Za pasmo pomiarowe miernika przyjmuje się zwykle zakres częstotliwości, w którym względna czulość miernika zawiera się w przedziale 0,7-1,4 (czyli w skali logarytmicznej fluktuacje wskazań miernika wynoszą $-/+ 3$ dB). Czulość mierników pola elektromagnetycznego jest parametrem wyznaczanym we wzorcach odniesienia (odtwarzających natężenie pola elektrycznego lub magnetycznego) jako stosunek wskazań miernika do natężenia oddziałującego na sondę pomiarową pola wzorcowego.

Niedostateczne zmniejszenie czulości miernika poza deklarowanym przez producenta pasmem pomiarowym może być przyczyną uzyskania dużych wskazań miernika poddanego oddziaływaniu pola o częstotliwości spoza pasma pomiarowego, nawet wtedy, gdy brak oddziaływania pól z pasma pomiarowego. Może to być źródłem poważnych błędów w ocenie poziomu narażenia, szczególnie kiedy identyfikacja charakterystyki widmowej pól elektromagnetycznych oddziałujących na ludzi jest niekompletna.



Rys. 2. Względna czulość na pole elektryczne o częstotliwości 50 Hz mierników radiofalowego pola elektrycznego (a) i magnetycznego (b)

Fig. 2. The relative sensitivity to the 50 Hz frequency electric field of measurement devices of radiofrequency electric (a) and magnetic (b) fields

Opisywane badania dotyczyły wyznaczenia czulości mierników pola elektrycznego i magnetycznego z zakresu częstotliwości radiofalowych na pola elektryczne częstotliwości przemysłowej 50 Hz, które są istotnym czynnikiem środowiskowym, występującym np. w pobliżu linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia. Badane parametry metrologiczne mierników zostały zdefiniowane następująco:

$$KE = E(RF)/E(50Hz) \quad (1)$$

$$KH = H(RF)/E(50Hz) \quad (2)$$

gdzie: KE – czulość miernika radiofalowego pola elektrycznego na pole elektryczne częstotliwości przemysłowej, KH – czulość miernika radiofalowego pola magnetycznego na pole elektryczne częstotliwości przemysłowej, E(RF) – wskazania miernika radiofalowego pola elektrycznego, H(RF) – wskazania miernika radiofalowego pola magnetycznego, E(50Hz) – natężenie pola elektrycznego o częstotliwości 50 Hz, w którym umieszczono badane mierniki.

Badania wykonano z użyciem laboratoryjnego stanowiska wytwarzającego referencyjne pole elektryczne (certyfikat akredytacji Polskiego Centrum Akredytacji nr AP 061). Sondy mierników wraz z monitorami umieszczane były w środku kondensatora powietrznego, zasilanego sinusoidalnie zmiennym napięciem o częstotliwości 50 Hz, o stabilnym i kontrolowanym napięciu. Wewnątrz kondensatora wytwarzano pole elektryczne o natężeniu 5, 10, 15, 20, 25 lub 30 kV/m. Niepewność standardowa wyznaczenia wartości natężenia pola elektrycznego w źródle wynosi 1,1%. Przy zadanych natężeniach

pola elektrycznego odczytywano wskazania badanych mierników radiofalowych pól elektrycznych lub magnetycznych.

Wykorzystane laboratoryjne warunki ekspozycji badanych mierników radiofalowych pól elektrycznych i magnetycznych odpowiadają warunkom rzeczywistym, jakie występują w sąsiedztwie linii wysokiego napięcia (WN), zarówno pod względem przebiegu zmienności pola elektrycznego w czasie, jak i zakresu natężeń.

Wyniki badań

Wyznaczone czułości mierników pola elektrycznego i magnetycznego na pole elektryczne o częstotliwości 50 Hz (KE i KH) zestawiono na rys. 1. W badaniach wykorzystano analogowe i cyfrowe mierniki radiofalowego pola elektromagnetycznego, z sondami o różnych zakresach częstotliwości z pasma od 1 kHz do 38 GHz. Czułość pozapasmowa zbadanych mierników znacznie się różni. Mierniki pola elektrycznego charakteryzuje czułość z przedziału $KE = 0,08 \pm 2,4$ [V/m]/[kV/m], a mierników pola magnetycznego $KH = 0,0002 \pm 0,02$ [A/m]/[kV/m].

Natomiast zależność wartości czułości KE i KH poszczególnych mierników od natężenia pola elektrycznego oddziałującego na nie jest znacznie mniejsza. Przyjmując za 100% czułość poszczególnych mierników zmierzonych w polu elektrycznym o natężeniu 5 kV/m, w całym zakresie pola elektrycznego 5-30 kV/m otrzymujemy zakres względnej czułości poszczególnych mierników wynoszący: dla mierników pola elektrycznego 17-200%, a dla mierników pola magnetycznego 17-110% (rys. 2.).

Dyskusja

Przedmiotem dyskusji są praktyczne konsekwencje czułości mierników radiofalowego promieniowania elektromagnetycznego na pole elektryczne 50 Hz, występujące przy ocenie narażenia na pola radiofalowe w otoczeniu linii elektroenergetycznych.

Zaprezentowane wyniki badań laboratoryjnych czułości mierników radiofalowego promieniowania elektromagnetycznego na oddziałujące na nie pole elektryczne o częstotliwości przemysłowej 50 Hz, przeanalizowano w kontekście zagrożeń elektromagnetycznych, jakie występują w pobliżu linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia (WN). Analizowano też konsekwencje, jakie mogą wynikać przy ocenie narażenia ludności lub pracowników na radiofalowe promieniowanie elektromagnetyczne występujące zwykle również w otoczeniu takich linii.

W związku z zaprezentowaną w załączniku 2. charakterystyką pól elektromagnetycznych, jakie mogą występować w Polsce w otoczeniu elektroenergetycznych linii przesyłowych WN, może zachodzić konieczność zmiernienia w ich pobliżu zarówno radiofalowego pola elektrycznego, jak i pola magnetycznego. W usytuowanym na poziomie ziemi miejscu takich pomiarów może występować pole elektryczne o częstotliwości 50 Hz i natężeniu z zakresu 1-10 kV/m. Na dachach budynków, balkonach, rusztowaniach znajdujących się w sąsiedztwie linii lub na słupach wsporczych linii pole elektryczne może być znacznie silniejsze. Mierniki promieniowania radiofalowego, o pozapasmowej czułości na pole elektryczne 50 Hz, jaką uzyskano w opisywanych badaniach, mogą wskazywać natężenia pola odpowiadające wartościom granicznym, dotyczącym narażenia ludności lub pracowników na pola radiofalowe, jeśli

Tabela. Pole elektryczne o częstotliwości 50 Hz, w którym przyrządy do pomiaru radiofalowych pól elektrycznych i magnetycznych, o pozapasmowej czułości KE i KH, jakie stwierdzono w prezentowanych badaniach, wskazują pola o wartościach granicznych dla częstotliwości radiofalowych

Table. Electric field of 50 Hz frequency, in which devices for radiofrequency electric and magnetic fields measurements, of the out-of-band sensitivity KE and KH as in presented investigations, indicate fields of the values of limits for radiofrequencies

Wartości graniczne dla poszczególnych stref ochronnych radiofalowych pól elektrycznych i magnetycznych o częstotliwości z zakresu 150 MHz – 3 GHz [4]	Natężenie pola elektrycznego o częstotliwości 50 Hz, w którym przyrządy do pomiaru pól radiofalowych wskazują wartości graniczne stref ochronnych, przy podanych wartościach czułości KE i KH E_{50Hz} [kV/m]			
	KE [V/m]/[kV/m]		KH [A/m]/[kV/m]	
	Min: 0,08	Max: 2,4	Min: 0,0002	Max: 0,02
Granica między strefą bezpieczną i pośrednią: 7 V/m; 0,02 A/m	88	2,9	100	1
Granica między strefą pośrednią i zagrożenia: 20 V/m; 0,05 A/m	250	8,3	250	2,5
Granica między strefą zagrożenia i niebezpieczną: 200 V/m; 0,5 A/m	2500	83	2500	25
Rzeczywiste pole elektromagnetyczne radiofalowe z dala od źródeł pól zwykle charakteryzuje poziom: $E < 1$ V/m i $H < 0,003$ A/m W tabeli wytłuszczono wartości natężenia pola elektrycznego odpowiadające poziomom narażenia jakie mogą wystąpić w otoczeniu linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia				

w miejscu pomiarów występują pola o częstotliwości przemysłowej o natężeniach podanych w tabeli.

Przyjmując, że pomiary wykonano w miejscu, w którym natężenie radiofalowego pola elektrycznego nie przekracza 1 V/m, a natężenie radiofalowego pola magnetycznego 0,003 A/m, tj. w polach wielokrotnie poniżej granicy między strefą bezpieczną i pośrednią, wskazania mierników promieniowania radiofalowego (zafałszowane wskutek pozapasmowej czułości na pola o częstotliwości przemysłowej) mogą osiągać poziom strefy zagrożenia pola elektrycznego i nawet strefy niebezpiecznej pola magnetycznego – znacznie odbiegając od rzeczywistych poziomów pól radiofalowych (tabela).

Podsumowanie

Przeprowadzone badania laboratoryjne pozapasmowej czułości mierników elektromagnetycznego promieniowania radiofalowego, wykazały, że – w otoczeniu linii wysokiego napięcia – oddziaływanie to może spowodować błędną identyfikację radiofalowych pól elektrycznych (o natężeniach przekraczających wartości dopuszczalne dla ludności) i wskazać na nieprawdziwe występowanie tam pól radiofalowych stref ochronnych. Z tego powodu, w przypadku oceny narażenia na radiofalowe promieniowanie elektromagnetyczne w otoczeniu linii elektroenergetycznych WN (lub innych źródeł silnego pola elektrycznego małych częstotliwości, w tym przemysłowej 50 Hz) konieczne jest wykorzystywanie jedynie takich przyrządów pomiarowych, których czułość poza pasmem pomiarowym na oddziaływanie pola elektrycznego małych częstotliwości jest ustalona. W miejscach takich konieczna jest ocena obu składowych złożonego pola elektromagnetycznego (częstotliwości przemysłowej i radiofalowej) i ocena skutków oddziaływania pola elektrycznego częstotliwości przemysłowej na wskazania użytego miernika radiofalowego.

Prezentowane wyniki badań laboratoryjnych sygnalizują skalę możliwych zafałszowań w ocenie narażenia na pola radiofalowe, występujące w pobliżu linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia. Jednakże ograniczona skala przeprowadzonych badań aparatury pomiarowej nie pozwala na wnioskowanie, czy stwierdzona czułość pozapasmowa jest cechą indywidualną poszczególnych mierników, czy też cechą mierników określonego typu, a także,

czy ulega zmianom podczas wieloletniej eksploatacji mierników. W związku z tym laboratoria prowadzące badania środowiskowe w złożonych polach elektromagnetycznych, takich jak pola radiofalowe w otoczeniu linii elektroenergetycznych WN, powinny dysponować okresowo aktualizowanymi danymi na temat pozapasmowej czułości wykorzystywanych mierników. Badania takich parametrów metrologicznych powinny stanowić obowiązkowy element okresowych wzorcowań aparatury pomiarowej, w ramach zapewnienia kompetencji technicznych laboratoriów badawczych.

PÍSMIENICTWO

- [1] Ahlbom A., Feychting M., Green A., Kheifets L., Savitz D., Swerdlow A. *ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) Standing Committee on Epidemiology. Epidemiology evidence on mobile phones and tumor risk: a review.* "Epidemiology" 2009,20,5:639-652
- [2] *Report of Executive Agency for Health and Consumers (EAHC) – Promoting Healthy Environments with a Focus on the Impact of Action on Electromagnetic Fields.* August 2010
- [3] *WHO Environmental Health Criteria 238, Extremely Low Frequency Fields (ELF).* http://www.who.int/peh-emf/publications/elf_ehc/en/index.html, 2007
- [4] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU nr 217, poz. 1833 z późn. zm.
- [5] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów. DzU nr 192 poz. 1883
- [6] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 12 listopada 2007 r. w sprawie zakresu i sposobu prowadzenia okresowych badań poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku. DzU nr 221 poz. 1645
- [7] PN-T-06580-1:2002 Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym w zakresie częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz. Ark. 1. Terminologia. Ark. 3. Metody pomiaru i oceny pola na stanowisku pracy

Publikacja opracowana na podstawie wyników II etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2011-2013 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wzszego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy (projekt II.B.15).

Załącznik 1.

Metrologia pola elektromagnetycznego do oceny środowiska zawodowego i ogólnego

Ocena ekspozycji na pola elektromagnetyczne wymaga techniki pomiarowej umożliwiającej niezależny pomiar natężenia pola magnetycznego H , w A/m i natężenia pola elektrycznego, E , w V/m. Do oceny oddziaływania pól elektromagnetycznych na ludzi mierzone jest tzw. pole pierwotne czyli pole niezakłócone obecnością ludzi lub obiektami przewodzącymi, które nie są stałymi elementami środowiska [Z1-1].

Badania te prowadzi się według określonej metodyki. Szczególnie ważnym elementem procesu pomiarowego jest aparatura stosowana w badaniach terenowych – jej właściwości metrologiczne decydują o miarodajności i jednoznaczności wyników. Dlatego równoległe z uregulowaniami prawnymi dotyczącymi zasad dopuszczalnego narażenia pracowników na pola elektromagnetyczne opracowywano normy określające zarówno zasady prowadzenia ocen narażenia pracowników, jak również ściśle sprecyzowane wymagania metrologiczne dotyczące aparatury pomiarowej stosowanej w badaniach zagrożeń elektromagnetycznych. Na przykład wymagania norm PN-T-06581:1977 i PN-T-06580-2:1989 dotyczą takich parametrów mierników jak: nierównomierność charakterystyki częstotliwościowej w pasmie pomiarowym miernika, czułości mierników poza pasmem podstawowym, czułości na składową pola nie mierzoną intencjonalnie przez miernik (tj. np. czułość miernika pola magnetycznego na oddziaływanie pola elektrycznego) [Z1-2, Z1-3].

Aparatury do pomiaru pól elektromagnetycznych dotyczyły także obowiązujące w latach 90. wymagania krajowych przepisów metrologicznych związanych z ustawą „Prawo o miarach”, obligatoryjne dla wszystkich laboratoriów badawczych wykonujących pomiary. Wymagania te były związane z postanowieniami norm metrologicznych i regulowały m.in. zasady tzw. zatwierdzenia typu i dopuszczenia miernika do stosowania w kraju oraz okresowego sprawdzenia parametrów metrologicznych. Obecnie, pomimo formalnych zapisów obowiązującej ustawy „Prawo o miarach” [Z1-4], że „prawnej kontroli metrologicznej podlegają przyrządy pomiarowe, stosowane w ochronie zdrowia, życia i środowiska”, do których można bez wątpliwości zaliczyć przyrządy do pomiaru pola elektromagnetycznego, w odniesieniu do nich obligatoryjny jest jedynie wymóg okresowego wzorcowania. Dotyczy on przyrządów pomiarowych używanych przez laboratoria badawcze działające w systemie jakości, zgodnym z postanowieniami norm międzynarodowych dotyczących uznania kompetencji laboratoriów przez jednostkę akredytującą [Z1-5, Z1-6].

Konieczność stosowania odpowiedniej aparatury pomiarowej znalazła również odzwierciedlenie w normie PN-T-06580-3:2002, stanowiącej że mierniki pola powinny odpowiadać wymaganiom podanym w Polskich Normach, a ich właściwości metrologiczne powinny być dostosowane do charakteru i poziomu mierzonego pola oraz warunków środowiskowych występujących w czasie pomiarów [Z1-1]. Miernik powinien mieć aktualne świadectwo okresowej kontroli poprawności wskazań, a przed pomiarami powinno być przeprowadzone co najmniej uproszczone sprawdzenie poprawności wskazań oraz sprawdzenie, czy niepożądane oddziaływanie mierzonego pola na inne niż sonda pomiarowa elementy miernika lub oddziaływanie elementów otoczenia nie wpływa znacząco na wynik pomiaru. Do konieczności używania mierników o odpowiednich parametrach metrologicznych nawiązują ogólnie również niektóre normy europejskie [Z6-7].

Pomimo wspomnianych wymagań dotyczących parametrów metrologicznych przyrządów pomiarowych wykorzystywanych przy kontroli warunków narażenia ludzi na pola elektromagnetyczne, producenci mierników bardzo często prezentują w dokumentacji technicznej jedynie podstawowe parametry metrologiczne, takie jak czułość, zakres pomiarowy, pasmo pomiarowe i niepewność pomiaru. Nie udostępniają natomiast użytkownikom innych parametrów charakteryzujących zachowanie miernika w różnych warunkach, których znajomość pozwoliłaby zminimalizować błędy pomiarowe wynikające z niepożądanych cech mierników, które mogą ujawniać się na przykład w polach o złoonym widmie częstotliwości, polach o stosunkowo dużych natężeniach lub w ekstremalnych warunkach środowiskowych.

Metrologia pól elektromagnetycznych na stanowisku pracy oraz interpretacja wyników pozwalająca na poprawną ocenę higieniczną warunków pracy jest zagadnieniem złożonym. Obsługa współcześnie stosowanych elektronicznych przyrządów pomiarowych jest pozornie łatwa. Mierniki automatycznie

realizują wiele funkcji, które w przeszłości musiała wykonywać osoba wykonująca pomiary (np. równoczesne pomiary w 3 ortogonalnych kierunkach, przeliczanie kompatybilnych wielkości charakteryzujących mierzone pole jak natężenie pola magnetycznego i indukcja magnetyczna, archiwizowanie wyników w wewnętrznej pamięci). Jednak pomimo rozwoju technicznego, nadal wykonywanie pomiarów z lekceważeniem podstawowych zasad postępowania wypracowanych w celu ograniczenia niepewności wyników (wynikających m.in. z właściwości metrologicznych przyrządów pomiarowych i ich oddziaływania z mierzonym polem elektromagnetycznym) może prowadzić w wielu przypadkach do nawet wielokrotnego zawyżenia lub zaniżenia wyniku i oceny analizowanych zagrożeń dalece odbiegającej od stanu faktycznego. Dodatkowym elementem zwiększającym niepewność oceny może być także niewłaściwa identyfikacja właściwości mierzonego pola elektromagnetycznego (np. częstotliwości) oraz błędny wybór wielkości charakteryzujących pole (np. wartość skuteczna zamiast równoważnej) i kryteriów oceny tych wielkości (np. skutek nieuwzględnienia ich zależności od częstotliwości)

PIŚMIENICTWO

[Z1-1] PN-T-06580:2002 Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym w zakresie częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz. Ark. 1. Terminologia. Ark. Metody pomiaru i oceny pola na stanowisku pracy

[Z1-2] PN-T-06581:1977 Ochrona pracy w polach elektromagnetycznych wielkiej częstotliwości w zakresie 0,1–300 MHz. Przyrządy do pomiaru natężenia pola elektromagnetycznego. Ogólne wymagania i badania

[Z1-3] PN-T-06580-02:1989 Ochrona pracy w polach elektromagnetycznych częstotliwości 1 do 100 kHz. Przyrządy do pomiaru natężenia pola. Ogólne wymagania i badania

[Z1-4] Ustawa z dnia 11 maja 2001 r. Prawo o miarach. DzU nr 63 poz. 536 z późn. zm.

[Z1-5] PN-EN ISO/IEC 17025:2005. Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących

[Z1-6] PN-EN ISO 10012:2004. System zarządzania pomiarami. Wymagania dotyczące procesów pomiarowych i wyposażenia pomiarowego

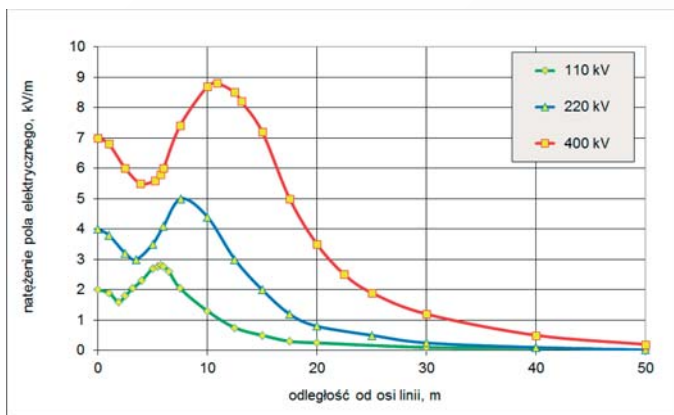
[Z1-7] PN-EN 50413:2009. Metody pomiaru i obliczeń ekspozycji ludzi w polach elektrycznych, magnetycznych i elektromagnetycznych (0 Hz – 300 GHz) – Norma podstawowa

Załącznik 2.

Pola elektromagnetyczne w otoczeniu linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia

W Polsce do dystrybucji energii elektrycznej do odbiorców wykorzystuje się prąd przemienny o częstotliwości 50 Hz, przesyłany liniami elektroenergetycznymi o różnych napięciach roboczych. Linie elektroenergetyczne wysokiego napięcia (WN) 110, 220 lub 400 tysięcy woltów (V) przesyłają prądy o natężeniu kilkuset amperów (A). W otoczeniu pracującej linii WN występują z tego powodu pola elektromagnetyczne o częstotliwości 50 Hz, z przeważającą składową elektryczną (czyli tzw. pola dużej impedancji), oddziałujące na przebywających w pobliżu pracowników i ludność, a także na znajdujące się w pobliżu urządzenia. W związku z tym, że są to pola, dla których długość fali wynosi 6 tys. km, ocena narażeń na pola w otoczeniu linii WN odbywa się w obszarze tzw. pola bliskiego. Składowe elektryczna i magnetyczna pola elektromagnetycznego w strefie bliskiej nie są jednoznacznie powiązane między sobą (tzn. impedancja jest różna od 377 omów (Ω)), natomiast zależą od stosunku napięć i prądów występujących w źródle pola. Ocena ekspozycji w polu bliskim wymaga niezależnego pomiaru natężenia pierwotnego pola magnetycznego i natężenia pierwotnego pola elektrycznego.

Bezpośrednio przy przewodach linii elektroenergetycznych WN natężenie pola elektrycznego osiąga poziom na tyle silny, że mogą tam przebywać jedynie pracownicy. Zgodnie z wymaganiami przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy, są to pola tzw. stref ochronnych [Z2-1]. Przekraczają one również poziom pól zdefiniowanych przepisami ochrony środowiska dla miejsc dostępnych dla ludności [Z2-2]. W związku z tym od wielu lat wykonywane są oceny i pomiary rozkładów przestrzennych pola elektrycznego i magnetycznego, zarówno ze względu na analizę spełnienia kryteriów dotyczących ochrony ludności, jak i ochrony pracowników. Natężenie pola elektrycznego w pobliżu linii WN zależy od napięcia roboczego i odległości przewodów fazowych od ziemi. Przykładowe rozkłady wartości E pod liniami 110, 220 i 400 kV przedstawiono na rys. Z2-1.



Rys. Z2-1. Typowy rozkład natężenia pola elektrycznego w otoczeniu linii WN o napięciach 110, 220 i 400 kV, na wysokości 2 m nad ziemią (wg danych publikowanych w [Z2-6])

Linie elektroenergetyczne zbudowano z przewagą typowych rozwiązań konstrukcyjnych, które zapewniają spełnienie wymagań dotyczących ochrony ludności – $E < 10$ kV/m pod liniami, licząc od poziomu ziemi do wysokości 2 m, oraz $E < 1$ kV/m w otoczeniu linii WN, w miejscach przeznaczonych na zabudowę mieszkaniową [Z2-2]. Przy typowych liniach WN natężenie pola elektrycznego w otoczeniu linii ma rozkład przestrzenny zbliżony do odpowiadającego danym zaprezentowanym w tabeli Z2-1.

Tabela Z2-1. Zasięgi pól elektrycznych o natężeniach 1 kV/m i 10 kV/m, w otoczeniu typowych linii WN [Z2-5]^{a)}

Napięcie znamionowe linii	Odległość od przewodów, w jakiej natężenie pola:	
	$E < 1$ kV/m	$E < 10$ kV/m
110 kV	14,5 m	4 m
220 kV	26 m	5,5 m
400 kV	33 m	8,5 m

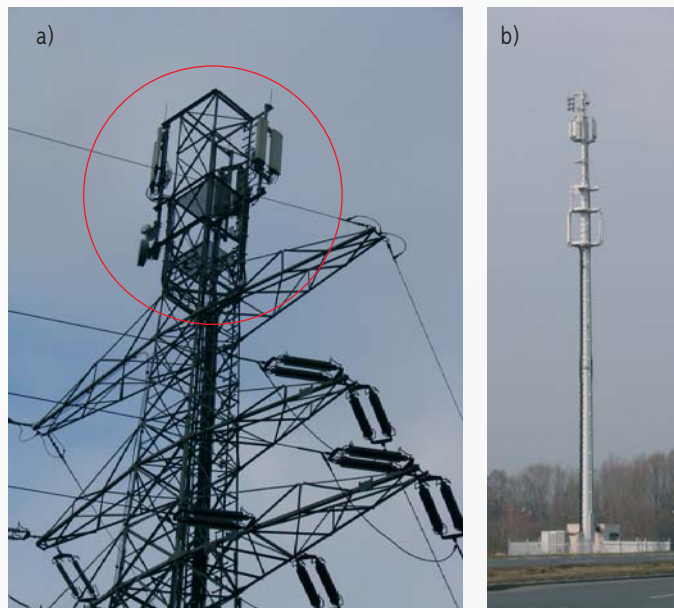
^{a)} zarządzenie przestało obowiązywać w 1998 r. w związku z nowelizacją ustawy o ochronie i kształtowaniu środowiska.

Z przytoczonych danych wynika, że silne oddziaływanie pola elektromagnetycznego linii WN ogranicza się do wąskiego pasa terenu położonego pod i w pobliżu przewodów linii. Przy modernizacji i budowie nowych linii elektroenergetycznych WN mogą być wprowadzane nieco inne rozwiązania konstrukcyjne, niż te stosowane tradycyjnie w kraju. Jednakże w wielu przypadkach są to rozwiązania ograniczające poziom pól występujących w otoczeniu linii, np. modyfikacja układu lub wysokości zawieszenia przewodów, stosowanie linii wielotorowych, rozszczepienie wiązkowych przewodów fazowych, dodatkowe przewody ekranujące, przewody izolowane. Powoduje to, że przy niektórych liniach zasięgi pól elektromagnetycznych mogą być mniejsze od omówionych powyżej. Na większych wysokościach, np. na dachach budynków zlokalizowanych w pobliżu linii, pole elektryczne i magnetyczne może mieć większe wartości, ponieważ odległość od przewodów linii jest mniejsza (rys. Z2-2).



Rys. Z2-2. Przykład usytuowania budynku biurowego w sąsiedztwie linii elektroenergetycznej 110 kV [fot. Autorzy]

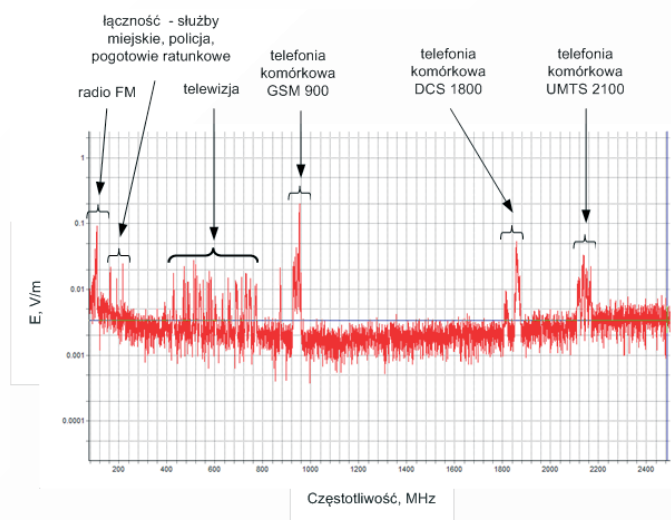
Stosunkowo nowym rodzajem zagrożeń elektromagnetycznych, jakie występują w otoczeniu elektroenergetycznych linii WN jest promieniowanie radiofalowe, wytwarzane przez nadajniki wykorzystywane do komunikacji bezprzewodowej, najczęściej stacji bazowych telefonii komórkowej lub bezprzewodowych łączy internetowych, które mogą być usytuowane zarówno na wsporczych masztach linii WN, jak i na zlokalizowanych nieopodal masztach wolnostojących (rys. Z2-3). W obu przypadkach pomiary promieniowania radiofalowego mogą dotyczyć zarówno oceny narażenia ludności zamieszkującej w pobliżu, jak i pracowników wykonujących czynności zawodowe związane z eksploatacją linii WN lub w miejscach pracy znajdujących się w sąsiedztwie nadajników.



Rys. Z2-3. Przykładowa lokalizacja anten nadawczych stacji bazowych telefonii komórkowej na słupie wsporczym elektroenergetycznej linii wysokiego 110 kV (a) i na wolnostojącym maszcie (b), (fot. Autorzy)

Wspomniane anteny nadawcze wytwarzają najczęściej radiofalowe promieniowanie elektromagnetyczne o częstotliwościach ok. 900, 1800 i 2100 MHz, zależnie od systemu telefonii. Największy poziom pola elektromagnetycznego występuje na wysokości zainstalowania anteny wzdłuż kierunku jej promieniowania (zbliżonego do poziomego). Obliczenia numeryczne rozkładu pola elektrycznego w otoczeniu anten systemu telefonii komórkowej GSM 900 i DCS 1800 dla maksymalnych mocy nadajników i zysków energetycznych anten (odpowiednio dla każdego z systemów 80 W i 20 dB oraz 20 W i 20 dB) wskazują, że pole elektryczne o wartości dopuszczalnej 7 V/m może występować w odległości do 57 m i 28 m od anten w osi wiązki głównej promieniowania oraz w odległości mniejszej niż 10 m w obszarze listków bocznych [Z2-3]. Narażenie przekraczające poziom dopuszczalny dla pracowników (strefa niebezpieczna) może wystąpić jedynie bezpośrednio przy antenach (w odległości rzędu jednego metra lub nawet mniejszej, zależnie od mocy nadajnika). W płaszczyźnie pionowej, w pobliżu masztu natężenie promieniowania szybko maleje w miarę oddalania się od anteny i narażenia istotne z punktu widzenia przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy może występować do kilku metrów od anten. Dlatego też każdorazowe zbliżanie się do anten przez pracowników wykonujących prace na słupie wsporczym lub linii może wiązać się z ich istotnym narażeniem. Problem ten nie dotyczy prac wykonywanych na poziomie ziemi.

Linie WN mogą przebiegać również w pobliżu ośrodków nadawczych radiowo-telewizyjnych, gdzie wśród składowych promieniowania elektromagnetycznego występującego w środowisku można wyróżnić również składowe o częstotliwości ok. 100 MHz emitowanych przez stacje radiowe i promieniowanie o częstotliwościach z pasma ok. 150-800 MHz emitowanych przez stacje telewizyjne, czy nadajników łączności wykorzystywanych przez takie służby jak policja, pogotowie ratunkowe i straż pożarna. W związku z tym w wielu miejscach, szczególnie na terenie dużych miast występują w środowisku pola elektromagnetyczne radiofalowe o bardzo złożonym widmie częstotliwości (rys. Z2-4).



Rys. Z2-4. Przykładowe widmo częstotliwości radiofali pól elektromagnetycznych z pasma częstotliwości 75 MHz – 3 GHz, zmierzone w centrum Warszawy

Dla promieniowania elektromagnetycznego o częstotliwościach przekraczających 100 MHz długość fali jest mniejsza od 3 m i w odległości przekraczającej 10 m od anten można zwykle przyjąć, że występuje tam promieniowanie strefy dalekiej, które charakteryzuje się stosunkiem wartości skutecznej natężenia pola elektrycznego do wartości skutecznej natężenia pola magnetycznego wynoszącym ok. 377Ω (tzw. impedancja falowa wolnej przestrzeni, Z_0). W związku z tym oceniając poziom narażenia ludności można ograniczyć badania do pomiaru pola elektrycznego (pole magnetyczne jest jednoznacznie określone jako E/Z_0). Postępowanie takie sankcjonują wymagania ministra środowiska dotyczące oceny narażenia ludności, w których ustalono limit narażenia jedynie dla pól elektromagnetycznych radiofali ($E = 7 \text{ V/m}$) w paśmie częstotliwości (3 MHz – 300 GHz). Odmienne zasady obowiązują przy ocenie narażenia pracowników – ponieważ mogą oni wykonywać czynności zawodowe zarówno w odległości dziesiątek metrów od anten, jak i w ich pobliżu, gdzie występuje promieniowanie strefy bliskiej – ocena narażenia dotyczy więc obu składowych pola (E i H) w paśmie częstotliwości do 3 GHz. Oszacowanie pola magnetycznego na podstawie pomiarów pola elektrycznego, lub odwrotnie, dopuszczalne jest jedynie po uprzednim wykazaniu, że w ocenianym miejscu występuje promieniowanie strefy dalekiej (PN-T-06580-3:2002, pkt. 2.1.4.1 [Z2-4]).

PIŚMIENNICTWO

- [Z2-1] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU nr 217, poz. 1833 z późn. zm.
- [Z2-2] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów. DzU nr 192 poz. 1883
- [Z2-3] Karwowski A. *Czy promieniowanie stacji bazowych telefonii komórkowej stanowi zagrożenie? Część III. Budowa i modele anten, pole w sąsiedztwie anten, bezpieczne odległości*. „Przegląd Telekomunikacyjny” 2002, 75, 4:224-231
- [Z2-4] PN-T-06580:2002 Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym w zakresie częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz. Ark. 1. Terminologia. Ark. 3. Metody pomiaru i oceny pola na stanowisku pracy
- [Z2-5] 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. M.P. nr 3, poz. 24, 1985 (przeszło obowiązywać w 1998 r. z uwagi na zmianę Ustawy o ochronie i kształtowaniu środowiska)
- [Z2-6] Różycki S. *Ochrona środowiska przed polami elektromagnetycznymi. Informator dla administracji samorządowej*. Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska, Warszawa 2011, s. 69. <http://www.gdos.gov.pl/Articles/view/3036/>