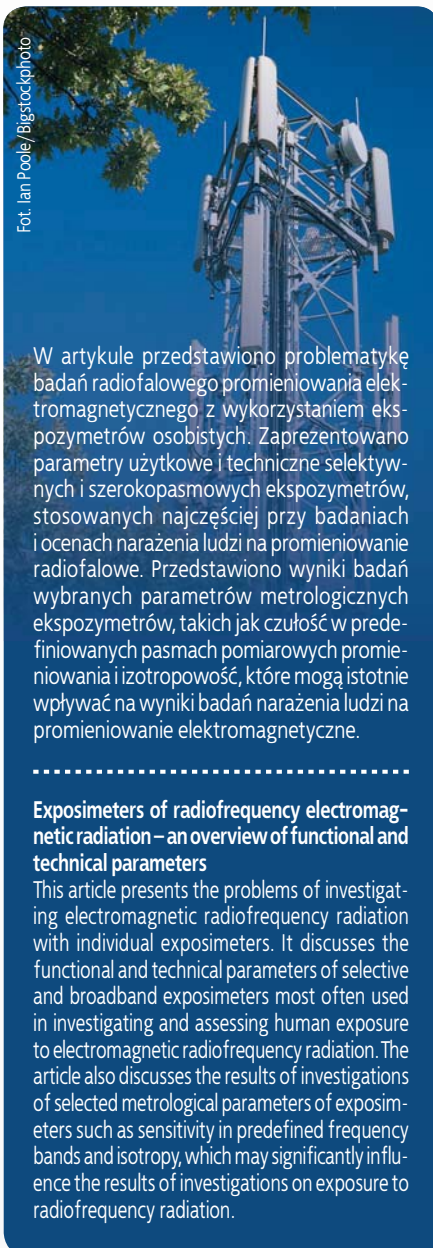


dr inż. KRZYSZTOF GRYZ
 dr inż. JOLANTA KARPOWICZ
 mgr inż. WIESŁAW LESZKO
 Centralny Instytut Ochrony Pracy
 – Państwowy Instytut Badawczy

Ekspozymetry radiofalowego promieniowania elektromagnetycznego – przegląd parametrów użytkowych i technicznych



Fot. Ian Poole / Bigstockphoto

W artykule przedstawiono problematykę badań radiofalowego promieniowania elektromagnetycznego z wykorzystaniem ekspozymetrów osobistych. Zaprezentowano parametry użytkowe i techniczne selektywnych i szerokopasmowych ekspozymetrów, stosowanych najczęściej przy badaniach i ocenach narażenia ludzi na promieniowanie radiofalowe. Przedstawiono wyniki badań wybranych parametrów metrologicznych ekspozymetrów, takich jak czułość w predefiniowanych pasmach pomiarowych promieniowania i izotropowość, które mogą istotnie wpływać na wyniki badań narażenia ludzi na promieniowanie elektromagnetyczne.

Exposimeters of radiofrequency electromagnetic radiation – an overview of functional and technical parameters

This article presents the problems of investigating electromagnetic radiofrequency radiation with individual exposimeters. It discusses the functional and technical parameters of selective and broadband exposimeters most often used in investigating and assessing human exposure to electromagnetic radiofrequency radiation. The article also discusses the results of investigations of selected metrological parameters of exposimeters such as sensitivity in predefined frequency bands and isotropy, which may significantly influence the results of investigations on exposure to radiofrequency radiation.

Wprowadzenie

W związku z wykorzystywaniem systemów łączności bezprzewodowej promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu radiofalowego (PRF), tj. o częstotliwości z pasma megaherców lub gigaherców, powszechnie występuje w środowisku pracy (będącym bardzo często równocześnie środowiskiem ogólnodostępnym gdzie przebywają zarówno pracownicy, jak i ludność) oraz w środowisku pozazawodowego życia człowieka. Jego źródłami są głównie: nadajniki radiowe (88-108 MHz), telewizyjne (174-862 MHz) i łączności specjalnej (140-170 MHz) oraz stacje bazowe telefonii komórkowej (GSM: 935-960 MHz, DCS: 1810-1880 MHz i UMTS: 2110-2170 MHz), a także systemy bezprzewodowej łączności lokalnej (WLAN) i Bluetooth do łączenia np. komputerów i drukarek lub dostępu do Internetu (2,4 GHz i 5,2-5,7 GHz) oraz telefony bezprzewodowe DECT (1900 MHz). Źródłem PRF urządzeń łączności bezprzewodowej są anteny nadawcze (umieszczone np. na masztach, dachach budynków lub w ich wnętrzach) o dookólnej lub sektorowej (kierunkowej) charakterystyce promieniowania, zależnie od przeznaczenia i mocy stosowanych nadajników emitujące energię na duże odległości setek lub tysięcy metrów, bądź przeznaczone do emisji znacznie słabszego promieniowania na niewielkie odległości, często w obrębie jednego lub kilku pomieszczeń (np. routery, modemy).

Promieniowanie radiofalowe może powodować zagrożenia zdrowia, a także oddziaływać niekorzystnie na infrastrukturę techniczną, np. zakłócać funkcjonowanie urządzeń elektronicznych, stwarzając tym samym zagrożenia wypadkowe. Wymagane są zatem kompleksowe działania zmierzające do identyfikacji źródeł i charakterystyki wytwarzanego przez nie promieniowania, oceny ich istotności dla bezpieczeństwa i higieny pracy oraz zdrowia społeczeństwa, a także ograniczania zidentyfi-

kowanych zagrożeń. Wiąże się z tym potrzeba monitorowania parametrów zagrożeń elektromagnetycznych w środowisku pracy, szczególnie w nowych obszarach ich wykorzystania, gdzie rośnie liczba eksploatowanych źródeł.

W ostatnich latach pojawiły się nowe narzędzia pomiarowe: specjalizowane, przenośne, zasilane bateryjnie mierniki do długoterminowych rejestracji zmienności poziomu pola elektromagnetycznego, oddziałującego na ludzi w czasie ich aktywności zawodowej lub pozazawodowej – tzw. ekspozymetry. Umożliwiają one powiązanie oceny parametrów narażenia na promieniowanie elektromagnetyczne poszczególnych osób z rodzajami ich aktywności.

Zagrożenia zdrowia związane z PRF

Szeroko znana jest możliwość niekorzystnego oddziaływania PRF na zdrowie ludzi [1-5], które może powodować np. oparzenia radiofalowe na skutek bezpośredniego działania na organizm człowieka lub przepływu tzw. prądu kontaktowego przez ciało człowieka dotykającego do konstrukcji metalowej, odbierającej energię promieniowania [6, 7, 8]. W ostatnich latach na całym świecie gwałtownie wzrosła liczba użytkowników telefonii komórkowej oraz łączności bezprzewodowej, czasu rozmów z użyciem takiego sprzętu i narażenia użytkowników na PRF, co spowodowało zainteresowanie naukowców ich bezpieczeństwem [3, 4, 9, 10]. Aspekty zdrowotne skutków oddziaływania PRF telefonów komórkowych były w ostatnich latach najczęstszym przedmiotem badań biomedycznych dotyczących zagrożeń elektromagnetycznych.

Przegląd najnowszych publikowanych wyników badań i raportów przeglądowych wskazuje, że narażenie na PRF może być coraz częstszą przyczyną chorób nowotworowych [4, 11]. W 2011 r. Międzynarodowa Agencja

Badań Nad Rakiem (IARC) zaklasyfikowała PRF do czynników prawdopodobnie rakotwórczych dla ludzi (grupa 2B), [11]. Stwierdzono, że istnieją powiązania między oddziaływaniem PRF emitowanych m.in. przez telefony a występowaniem chorób nowotworowych. Jednak, ze względu na długotrwały okres latencji takich chorób (> 20 lat), ocena rzeczywistego związku PRF z powstawaniem i rozwojem różnego rodzaju nowotworów nie jest jeszcze możliwa i wymaga dalszej obserwacji.

Badania naukowe wskazują również na innego rodzaju zagrożenia zdrowia. Na przykład badania pracowników stacji nadawczych telewizyjnych i radiowych (narażonych na PRF o częstotliwościach powyżej 88 MHz), przeprowadzone w celu oceny czynników ryzyka chorób układu krążenia wykazały, że ciśnienie tętnicze, stężenie całkowitego cholesterolu oraz frakcji LDL były istotnie większe w grupach narażonych, oraz że skurczowe ciśnienie krwi jest uzależnione od poziomu narażenia [2, 12].

Metody badań i oceny PRF

Wobec wyników wspomnianych badań epidemiologicznych i biomedycznych dotyczących skutków zdrowotnych oddziaływania PRF niezbędna jest miarodajna wiedza o poziomach narażenia. Obecnie, zgodnie z normami międzynarodowymi i z wymaganiami krajowych przepisów, zagrożenia elektromagnetyczne występujące w środowisku pracy i w środowisku ogólnym oceniane są na podstawie pomiarów pola (promieniowania) pierwotnego, tzn. występującego w danym obszarze pod nieobecność w nim ludzi – najczęściej wartości skutecznej natężenia pola elektrycznego i magnetycznego [13, 14, 15]. Z początkiem XXI w. pojawiło się wyposażenie umożliwiające badania ekspozymetryczne zagrożeń PRF, a zainteresowanie środowiska naukowego takimi badaniami systematycznie wzrasta.

Wykorzystanie ekspozymetrów osobistych pozwala na znaczne zobiektywizowanie oceny zależności poziomu narażenia na PRF od czasu i rodzaju aktywności pracowników, w porównaniu z obecnie stosowaną techniką oceny pól elektromagnetycznych pierwotnych [16]. W przypadku PRF w środowisku ogólnodostępnym ocena narażenia z wykorzystaniem ekspozymetrów selektywnych pozwala również na wyróżnienie udziału różnych źródeł promieniowania w narażeniu indywidualnym danej osoby i monitorowanie trendu jego zmian wskutek zmian technologicznych, polegających na wprowadzaniu do środowiska nowych systemów łączności [16]. Wśród nieporozumień w tym zakresie funkcjonuje obiegowa opinia, że liczba anten nadawczych tych systemów, zainstalowanych w danym obszarze jest dodatnio skorelowana z poziomem zagrożeń dla pracowników i ludności, co wywołuje niechęć

społeczeństwa do lokalizacji nowych urządzeń. Wyniki tego typu monitoringu zagrożeń środowiskowych powinny być jednym z narzędzi kształtowania polityki państwa dotyczącej ochrony ludzi przed niepożądanymi następstwami eksploatacji systemów łączności, przy równoczesnym zapewnieniu warunków do ich technicznego rozwoju.

Trzeba również pamiętać, że pomiary ekspozymetryczne natężenia pola rejestrowanego bezpośrednio przy ciele osoby, której narażenie poddawane jest ocenie, mogą wiązać się z istotnie innym rozkładem pola w obszarze pomiarowym w porównaniu z tym, jaki występuje podczas klasycznych pomiarów pola pierwotnego. Metodyka badań ekspozymetrycznych i kryteria oceny powinny zatem uwzględniać czynniki wpływające na wyniki pomiarów i różnicze je od wyników pomiarów pola pierwotnego, do których tworzono aktualne zalecenia dotyczące dopuszczalnych poziomów narażeń [13, 14, 15].

Ekspozymetry PRF

Do pomiarów pola elektromagnetycznego na potrzeby oceny narażenia ludzi i środowiska wykorzystuje się mierniki szerokopasmowe (najczęściej) lub selektywne. Wynikiem pomiaru jest natężenie składowej elektrycznej lub magnetycznej pola elektromagnetycznego, w zdefiniowanym przez charakterystykę częstotliwościową miernika paśmie częstotliwości.

Pasma pomiarowe mierników szerokopasmowych pokrywa zakres co najmniej kilku dekad częstotliwości, natomiast mierniki selektywne charakteryzują się kilkoma zdefiniowanymi przez producenta węższymi pomiarowymi pasmami częstotliwości, odpowiadającymi

częstotliwościom pól elektromagnetycznych wytwarzanych przez typowe źródła. Tego typu mierniki selektywne umożliwiają więc jednoczesną ocenę narażeń od poszczególnych źródeł pracujących w danym obszarze.

Typowe nowoczesne mierniki pola elektromagnetycznego pozwalają na pomiar wraz z jednoczesną archiwizacją danych, jednak niewystarczającą pojemność pamięci, stosunkowo duży pobór energii z wewnętrznych źródeł zasilania np. przez wyświetlacze wyników, nie pozwalają na prowadzenie długotrwałych (np. całodobowych) rejestracji mierzonego pola – typowy okres ciągłej rejestracji wynosi od kilkudziesięciu minut do kilku godzin. W celu długotrwałego monitoringu wykorzystuje się specjalizowane rozwiązania konstrukcyjne, ukierunkowane na możliwość nieprzerwanej pracy mierników w znacznie dłuższym przedziale czasu. Również ich małe wymiary i masa ułatwiają noszenie przez osoby, których narażenie podlega ocenie. Mierniki te, z racji swoich funkcji zwane ekspozymetrami, umożliwiają monitoring i ocenę indywidualnego narażenia ludzi. Tego rodzaju badania zostały zapoczątkowane stosunkowo niedawno (półowa I dekady XXI w.). Liczba ekspozymetrów dostępnych na rynku jest zdecydowanie mniejsza niż liczba mierników tradycyjnych. Przegląd publikacji wskazuje, że najczęściej w badaniach naukowych dotyczących badań i oceny narażenia ludzi na PRF wykorzystuje się ekspozymetry selektywne typu: EME SPY 121 i EME SPY 140 (produkcji Antennesa, Satimo, Francja) oraz ESM-140 (Maschek, Niemcy). Na potrzeby kontroli poziomów narażenia pracowników, bez konieczności szczegółowego analizowania źródeł narażenia, stosuje się ekspozymetry szerokopasmowe, np. typu:

Tabela 1. Zestawienie pasm częstotliwości selektywnych ekspozymetrów PRF

Table 1. Frequency bands of selective RF-EMF exposimeters

Pasma	Częstotliwość [MHz]	Przeznaczenie pasma częstotliwości	Typ ekspozymetru		
			ESM-140	EME SPY 121	EME SPY 140
FM	88 – 108	radiowe stacje nadawcze FM	nie	tak	tak
TV3	174 – 233	telewizyjne stacje nadawcze VHF	nie	tak	tak
Tetra	380 – 400	łączność trunkingowa	nie	tak	tak
TV4/5	470 – 830	telewizyjne stacje nadawcze UHF	nie	tak	tak
GSM 900	880 – 915 i 925 – 960	cyfrowa telefonia komórkowa – (pasmo Tx i Rx)	tak	tak	tak
DCS 1800	1710 – 1785 i 1805 – 1880	cyfrowa telefonia komórkowa – (pasmo Tx i Rx)	tak	tak	tak
DECT	1880 – 1900	cyfrowa telefonia bezprzewodowa niewielkiego zasięgu	tak	tak	tak
UMTS	1920 – 1980 i 2110 – 2170	cyfrowa telefonia komórkowa – (pasmo Tx i Rx)	tak	tak	tak
WLAN/WiFi 2G	2400 – 2500	beprzewodowa sieć lokalna, np. dostępu do internetu	tak	tak	tak
WiMAX	3400 – 3800	szerokopasmowa radiowa transmisja danych	nie	nie	tak
WLAN (hyperlan)/WiFi 5G	5150 – 5850	beprzewodowe sieci komputerowe	nie	nie	tak

Uwagi: tak – pasmo PRF mierzone przez ekspozymetr; nie – pasmo PRF nie mierzone przez ekspozymetr; pasmo Tx – transmisja z telefonu do stacji nadawczej (uplink); pasmo Rx – transmisja ze stacji nadawczej do telefonu (downlink)

Tabela 2. Podstawowe parametry metrologiczne i użytkowe selektywnych ekspozymetrów PRF
 Table 2. Basic metrological and functional parameters of selective RF-EMF exposimeters

Parametr	Typ ekspozymetru		
	ESM-140	EME SPY 121	EME SPY 140
Zakres pomiarowy [V/m]	0,001 – 70	0,05 – 10	0,005 – 5
Cykl pomiarowy [s]/Ilość komórek pamięci	0,5 – 10/260000	4 – 255/12540	4 – 255/80000
Wymiary [mm]/Masa [g]	115x45x29/87	193x96x70/450	169x79x46/400
Znacznik zdarzeń	tak	tak	tak

Tabela 3. Podstawowe parametry metrologiczne i użytkowe szerokopasmowych ekspozymetrów PRF
 Table 3. Basic metrological and functional parameters of broadband RF-EMF exposimeters

Parametr	Typ ekspozymetru	
	RadmanXT	EME Guard
Pasma częstotliwości dla pola elektrycznego	1 MHz – 40 GHz	27 MHz – 40 GHz
Zakres pomiarowy pola elektrycznego	max 150% wartości dopuszczalnych dla ekspozycji zawodowej wg ICNIRP'1998	5 – 200 V/m
Pasma częstotliwości dla pola magnetycznego	27 MHz – 1 GHz	nie mierzy
Zakres pomiarowy pola magnetycznego	max 150% wartości dopuszczalnych dla ekspozycji zawodowej wg ICNIRP'1998	nie mierzy
Cykl pomiarowy/Ilość komórek pamięci	1 s, 2 s, 5 s, 10 s, 1 min, 3 min/1500	od 1 do 255 s co 1s/30000
Wymiary [mm]/Masa [g]	37x41x163/130	172x60x35/300
Znacznik zdarzeń	nie	tak

EME Guard (Antennesa, Satimo, Francja) i RadmanXT (Narda, Niemcy).

W tab. 1 na podstawie danych producentów przedstawiono pasma częstotliwości mierzonego PRF dla ekspozymetrów selektywnych, a w tab. 2. ich podstawowe parametry metrologiczne i użytkowe. W tab. 3. przedstawiono wybrane parametry ekspozymetrów szerokopasmowych.

Badania wybranych parametrów metrologicznych ekspozymetrów PRF

Badania laboratoryjne parametrów metrologicznych ekspozymetrów przeprowadzono z wykorzystaniem źródła wzorcowego pola elektrycznego, stanowiącego wyposażenie la-

boratorium wzorcującego CLOP-PIB (certyfikat Polskiego Centrum Akredytacji AP 061). Źródło umożliwia wytworzenie pola elektrycznego w paśmie częstotliwości od 100 kHz do 6 GHz, o natężeniu co najmniej 45 V/m. Pasma częstotliwości generowanego pola elektrycznego pokrywa zatem pasmo częstotliwości pracy źródeł PRF, eksploatowanych w środowisku pracy i ogólnym oraz badanych ekspozymetrów selektywnych.

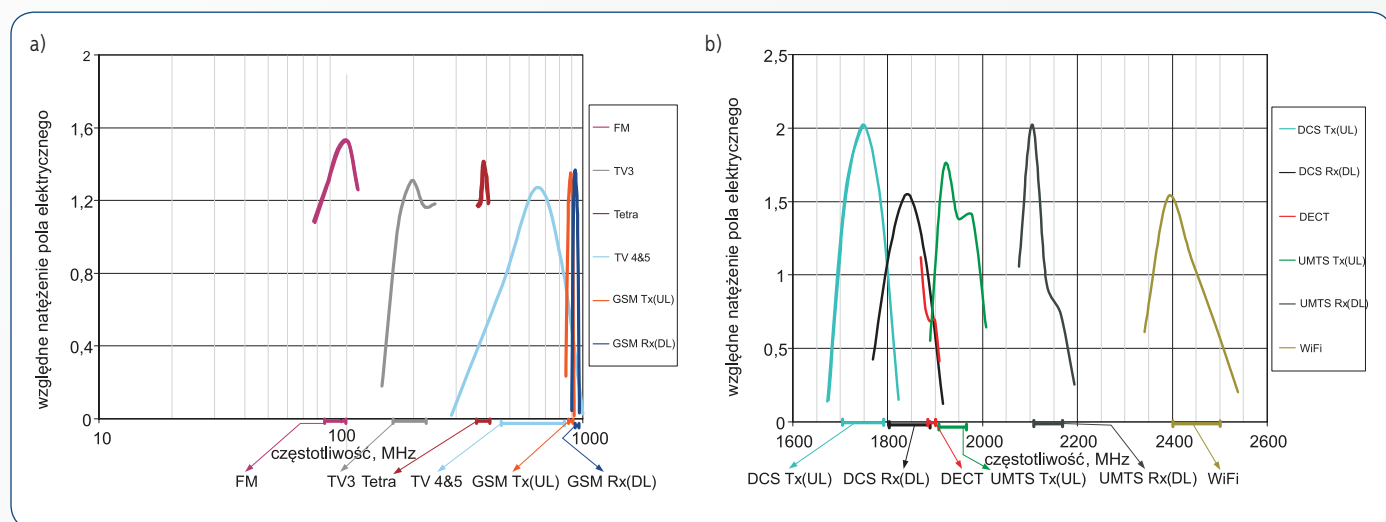
Na rys. 1. zaprezentowano przykładowe wyniki pomiarów charakterystyk częstotliwościowych jednego z ekspozymetrów selektywnych. Na osi rzędnych (pionowej) wykresu podano względne wartości skuteczne natężenia pola elektrycznego z predefiniowanych pasm

częstotliwości odniesione do wartości referencyjnej wytwarzanej w źródle wzorcowego pola elektrycznego.

Na rys. 2. zaprezentowano przykładowe wyniki pomiarów ekspozymetrem selektywnym natężenia pola elektrycznego w rzeczywistych warunkach środowiskowych. Pozwalają one na określenie istotności narażenia na PRF pochodzące od poszczególnych jego źródeł.

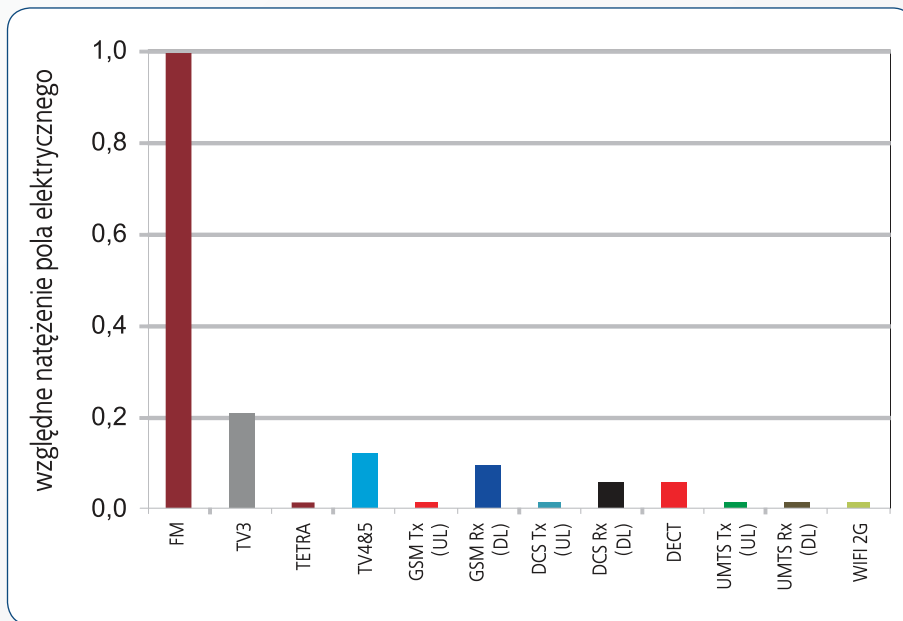
Parametry metrologiczne ekspozymetrów, takie jak czułość w poszczególnych pasmach pomiarowych i relacje tych pasm do częstotliwości pracy źródeł ocenianego promieniowania oraz przestrzenna czułość ekspozymetru powinny być uwzględniane przy ocenie narażenia ludzi na PRF. Stwierdzono, że w przypadku pomiaru sygnału o częstotliwości z określonego predefiniowanego pasma, ale zbliżonej do pasma sąsiedniego, mogą wystąpić błędy pomiarowe związane z niewłaściwym rozpoznanem składowych mierzonego PRF, utrudniając interpretację wyników badań. Ilustruje to rys. 2., gdzie sygnał z pasma DCS Rx (UL) został rozpoznany również jako sygnał DECT, pomimo braku tego rodzaju źródeł w miejscu wykonywania badań (otwarty teren w otoczeniu anten nadawczych RTV i telefonii komórkowej). W związku z tym uzupełnieniem badań ekspozymetrycznych powinna być identyfikacja składowych widma częstotliwości PRF w obszarze aktywności osoby, której narażenie jest oceniane, na podstawie analizy parametrów technicznych eksploatowanych tam źródeł promieniowania lub z wykorzystaniem klasycznych analizatorów widma.

Wyniki badań czułości 3 ekspozymetrów selektywnych tego samego typu wskazują, że różnica czułości poszczególnych egzemplarzy w poszczególnych pasmach nie przekracza 30%. Również różnice kierunkowości mierników (zależność wyniku pomiaru od ustawienia



Rys. 1. Charakterystyki częstotliwościowe pasm pomiarowych przykładowego ekspozymetru selektywnego: a) FM, TV3, Tetra, TV4/5, GSM 900 Tx, GSM 900 Rx b) DCS 1800 Tx, DCS 1800 Rx, DECT, UMTS Tx, UMTS Rx, WLAN/WiFi

Fig. 1. An example of the frequency response of selective exposimeter in measurement bands: a) FM, TV3, Tetra, TV4/5, GSM 900 Tx, GSM 900 Rx; b) GSM/DCS 1800 Rx, DECT, UMTS Tx, UMTS Rx, WLAN/WiFi



Rys. 2. Przykładowe wyniki pomiarów natężenia pola elektrycznego ekspozymetrem selektywnym – identyfikacja składowych w predefiniowanych pasmach pomiarowych

Fig. 2. An example of measurements results of the electric field strength by selective exposimeter – identification of components in predefined frequency bands

miernika względem źródła promieniowania) dochodzą do 30%. Podobne wnioski są prezentowane w publikacjach zagranicznych, w których również zamieszczane są dane mówiące o istotnej zmianie parametrów metrologicznych w miarę użytkowania ekspozymetrów, co może świadczyć o wrażliwości miernika na proces starzenia lub o podatności na uszkodzenia w wyniku eksploatacji w trudnych warunkach terenowych (przenoszenie przez osoby, których narażenie jest oceniane) [17]. Mierniki takiego typu z uwagi na specyfikę ich wykorzystania powinny podlegać zatem regularnemu i odpowiednio częstemu nadzorowi metrologicznemu.

Podsumowanie

W Polsce technika badań ekspozymetrycznych jest obecnie stosowana sporadycznie przez ośrodki naukowe. Brak jest sformalizowanych zasad jej wykorzystania w systemie nadzoru higienicznego nad zagrożeniami środowiskowymi w miejscu pracy i w środowisku komunalnym.

Do najistotniejszych zalet wykorzystania ekspozymetrów osobistych należy:

- bardziej miarodajna ocena narażenia poszczególnych osób niż umożliwiła to ocena pola pierwotnego
- redukcja kosztów prowadzenia nadzoru, ponieważ badania ekspozymetryczne można wykonywać bez zakłócania procesów pracy (przy normalnej aktywności pracownika), co może stwarzać istotne oszczędności w skali gospodarki narodowej, bez pogarszania

nadzoru nad warunkami pracy i bezpieczeństwa pracowników

- możliwość oceny udziału różnych źródeł w całkowitym narażeniu człowieka i lepsze zrozumienie natury zagrożeń oraz oceny zapotrzebowania na działania prewencyjne
- możliwość monitorowania trendu zmian narażenia wybranych podmiotów w perspektywie wieloletniej.

Nowa technika badawcza wymaga jednak zastosowania specyficznej metodyki, uwzględniającej zależność wyników badań od takich czynników jak: parametry metrologiczne aparatury pomiarowej i zaburzenia rozkładu PRF w obszarze pomiarowym, powodowane przez obecność osoby, której narażenie podlega pomiarom i ocenie. Dla przeprowadzenia miarodajnej oceny narażenia ludzi na PRF z wykorzystaniem badań ekspozymetrycznych należy ograniczać czynniki wpływające na wynik pomiaru poprzez zastosowanie standaryzacji procesu pomiaru, odpowiednich współczynników korekcyjnych dla wyników pomiarów lub kryteriów oceny poziomu narażenia pracownika oraz regularnego nadzoru metrologicznego przyrządów pomiarowych.

PIŚMIENNICTWO

- [1] A. Ahlbom i in. *ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) Standing Committee on Epidemiology. Epidemiology evidence on mobile phones and tumor risk: a review.* "Epidemiology" 20 (5)2009
- [2] A. Bortkiewicz *Skutki zdrowotne działania pól elektromagnetycznych – przegląd badań.* „Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy” 4 (58)2008
- [3] ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) *Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz-300 GHz). Review of the scientific evidence on dosimetry, biological effects, epidemiological*

observations, and health consequences concerning exposure to high frequency electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz), 16/2009

[4] INTERPHONE Study Group *Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study.* "International Journal of Epidemiology" 39/2010, s. 675-694 (doi: 10.1093/ije/dyq079)

[5] SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks) *Health Effects of Exposure to EMF, Opinion adopted at the 28th plenary on 19 January 2009, Brussels* http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihr/docs/scenihr_o_022.pdf

[6] WHO (World Health Organization) *Environmental Health Criteria 137, Electromagnetic Fields (300 Hz – 300 GHz), 1993,* <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc137.htm> [Tłumaczenie – *Pola elektromagnetyczne, t. 137, IMP, 1995, Kryteria zdrowotne środowiska*]

[7] K. Gryz, J. Karpowicz *Zasady oceny zagrożeń elektromagnetycznych związanych z występowaniem prądów indukowanych i kontaktowych.* „Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy” nr 4 (58)2008

[8] J. Karpowicz, K. Gryz *Pola elektromagnetyczne jako zagrożenia wypadkowe.* „Atest – Ochrona Pracy” 3/2008

[9] L. Hardell i in. *Meta-analysis of long-term mobile phone use and the association with brain tumours.* "International Journal of Oncology" 32 (5)2008

[10] H. Mild, L. Hardell, M. Carlberg *Użytkowanie telefonów komórkowych i bezprzewodowych a ryzyko występowania guzów mózgu zdiagnozowanych w latach 1997-2003.* „Bezpieczeństwo Pracy” 4(427)2007

[11] IARC (International Agency for Research on Cancer) *Classifies Radiofrequency Electromagnetic Fields As Possibly Carcinogenic To Humans.* Lyon, France, May 31, 2011, The WHO/International Agency for Research on Cancer (IARC), Press Release nr 208

[12] K. Vangelova, C. Deyanov, M. Israel M. *Cardiovascular risk in operators under radiofrequency electromagnetic radiation.* "Int. J. Hyg. Environ. Health" 209/2006

[13] 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. Załącznik 2, Część E. Pola i promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu częstotliwości 0 Hz – 300 GHz. DzU 2002, nr 217, poz. 1833

[14] PN-T-06580: 2002 *Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym w zakresie częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz. Arkusz 01. Terminologia. Arkusz 03. Metody pomiaru i oceny pola na stanowisku pracy*

[15] J. Karpowicz i wsp. *Pola i promieniowanie elektromagnetyczne o częstotliwości z zakresu 0 Hz – 300 GHz. Dokumentacja nowelizacji harmonizującej dopuszczalny poziom ekspozycji pracowników z wymaganiami dyrektywy 2004/40/WE.* „Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy” nr 4(58)2008

[16] G. Neubauer, S. Cecil, W. Giczi, B. Petric, P. Preiner, J. Frohlich, M. Rössli *The Association Between Exposure Determined by Radiofrequency Personal Exposimeters and Human Exposure; A Simulation Study.* "Bioelectromagnetics" 31/2010

[17] M. Rössli, P. Frei, J. Bolte, G. Neubauer, E. Cardis, M. Feychting, P. Gajsek, S. Heinrich, J. Wout, S. Mann, L. Martens, E. Mohler, R. Parslow, A. Harbo Poulsen, K. Radon, J. Schüz, G. Thuroczy, J-F Viel, M. Vrijheid *Conduct of a personal radiofrequency electromagnetic field measurement study: proposed study protocol.* "Environmental Health" 9:23/2010, strona 14

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