

Paweł Mamrot
Magda Mariańska
Halina Aniołczyk
Piotr Politański

POLA ELEKTROMAGNETYCZNE W OTOCZENIU TELEFONÓW BEZPRZEWODOWYCH I KOMÓRKOWYCH

ELECTROMAGNETIC FIELDS IN THE VICINITY OF DECT CORDLESS TELEPHONES AND MOBILE PHONES

Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera / Nofer Institute of Occupational Medicine, Łódź, Poland
Zakład Ochrony Radiologicznej / Department of Radiation Protection

STRESZCZENIE

Wstęp: Telefony komórkowe należą do najczęściej stosowanych urządzeń użytku osobistego. Urządzenia te wytwarzają w swoim otoczeniu pole elektromagnetyczne (PEM), w którego zasięgu oprócz ich użytkownika znajdują się także przebywające w pobliżu osoby postronne. Celem niniejszego badania i pomiarów PEM w otoczeniu ww. urządzeń było poznanie poziomu natężenia pola elektrycznego z uwzględnieniem różnego trybu pracy (rozmowa głosowa GSM (global system for mobile communications), WCDMA (wideband code division multiple access), przesyłanie danych). **Materiał i metody:** Zbadano 12 zestawów (w tym 12 stacji bazowych i 15 słuchawek) telefonów bezprzewodowych systemu DECT (digital enhanced cordless telecommunications), 21 telefonów komórkowych różnych producentów, 16 smartfonów podczas różnych zastosowań, w tym multimedialnych, w warunkach codziennego stosowania, w pomieszczeniach mieszkalnych. Pomiary realizowano metodą punktową w ustalonych odległościach (0,05–1 m) od wolnostojącej obudowy badanego urządzenia, bez obecności użytkownika. **Wyniki:** W otoczeniu słuchawek telefonów bezprzewodowych DECT natężenie pola elektrycznego wynosiło 0,26–2,3 V/m w odległości 0,05 m do 0,18–0,26 V/m w odległości 1 m, natomiast w otoczeniu ich stacji bazowych – 1,78–5,44 V/m w odległości 0,05 m do 0,19–0,41 V/m w odległości 1 m. W otoczeniu telefonów komórkowych pracujących w trybie GSM w warunkach rozmowy natężenie pola wynosiło 2,34–9,14 V/m w odległości 0,05 m do 0,18–0,47 V/m w odległości 1 m. Z kolei w trybie WCDMA w warunkach rozmowy natężenie pola wynosiło 0,22–1,83 V/m w odległości 0,05 m do 0,18–0,20 V/m w odległości 1 m. **Wnioski:** Średnie natężenie pola elektrycznego dla poszczególnych grup urządzeń telefonów komórkowych i bezprzewodowych systemu DECT nie przekraczało wartości odniesienia – 7 V/m, przyjętej jako graniczna dla ekspozycji ludności. Med. Pr. 2015;66(6):803–814

Słowa kluczowe: pole elektromagnetyczne, telefony bezprzewodowe systemu DECT, telefony komórkowe, smartfony, ekspozycja komunalna, ekspozycja osób postronnych

ABSTRACT

Background: Mobile telephones belong to the most frequently used personal devices. In their surroundings they produce the electromagnetic field (EMF), in which exposure range there are not only users but also nearby bystanders. The aim of the investigations and EMF measurements in the vicinity of phones was to identify the electric field levels with regard to various working modes. **Material and Methods:** Twelve sets of DECT (digital enhanced cordless telecommunications) cordless phones (12 base units and 15 handsets), 21 mobile telephones produced by different manufactures, and 16 smartphones in various applications, (including multimedia) in the conditions of daily use in living rooms were measured. Measurements were taken using the point method in predetermined distances of 0.05–1 m from the devices without the presence of users. **Results:** In the vicinity of DECT cordless phone handsets, electric field strength ranged from 0.26 to 2.30 V/m in the distance of 0.05 m – 0.18–0.26 V/m (1 m). In surroundings of DECT cordless telephones base units the values of EMF were from 1.78–5.44 V/m (0.05 m) to 0.19–0.41 V/m (1 m). In the vicinity of mobile phones working in GSM mode with voice transmission, the electric field strength ranged from 2.34–9.14 V/m (0.05 m) to 0.18–0.47 V/m (1 m) while in the vicinity of mobile phones working in WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) mode the electric field strength ranged from 0.22–1.83 V/m (0.05 m) to 0.18–0.20 V/m (1 m). **Conclusions:** The mean values of the electric field strength for each group of devices, mobile phones and DECT wireless phones sets do not exceed the reference value of 7 V/m, adopted as the limit for general public exposure. Med Pr 2015;66(6):803–814

Key words: electromagnetic field, cordless DECT phones, mobile phones, smartphones, general public exposure, bystanders exposure

Autor do korespondencji / Corresponding author: Paweł Mamrot, Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera, Zakład Ochrony Radiologicznej, Pracownia Zagrożeń Elektromagnetycznych, ul. św. Teresy 8, 91-348 Łódź, e-mail: pawrot@tlen.pl
Nadesłano: 27 sierpnia 2015, zatwierdzono: 22 października 2015

WSTĘP

Postęp techniczny sprawił, że w otoczeniu człowieka znalazło się wiele nowoczesnych urządzeń elektronicznych, szczególnie telekomunikacyjnych. Telefon bezprzewodowy, telefon komórkowy i jego nowsze wersje (smartfon czy tablet z wbudowanym modemem) są najczęściej stosowanymi urządzeniami użytkownika osobistego przez współczesnego człowieka. W wyniku badań dotyczących ilościowego i jakościowego korzystania z ww. urządzeń, przeprowadzonych techniką wywiadu kwestionariuszowego na terenie wielkiego miasta stwierdzono, że najliczniejsze wśród 119 ankietowanych użytkowników urządzeń nowych technologii są osoby w wieku 25–44 lat (ponad 46%) [1]. Ponad 80% ogółu badanych korzysta z telefonu komórkowego (w tym bardzo często – 47%, często – 26% osób), a w 25% gospodarstw domowych używany jest telefon bezprzewodowy systemu DECT (digital enhanced cordless telecommunications – system cyfrowej łączności bezprzewodowej na niewielkich odległościach).

Telefony bezprzewodowe DECT należą do systemu cyfrowej łączności bezprzewodowej, umożliwiającej łączność na niewielkich odległościach (50–300 m). W wersji podstawowej wykorzystuje się 10 kanałów radiowych o częstotliwości 1880–1900 MHz. Moc szczytowa nadajnika telefonu wynosi 250 mW w impulsie, a średnia wartość mocy promieniowanej – 10 mW. Telefon systemu DECT składa się z części stałej (stacji bazowej) i ruchomej (stacji ruchomej), popularnie zwanej słuchawką.

Telefony komórkowe pracują w różnych zakresach częstotliwości w zależności od technologii. Technologia GSM (global system for mobile communications – standard telefonii komórkowej), czyli telefonia komórkowa drugiej generacji (2G), działa w paśmie o częstotliwości 900 MHz i 1800 MHz. Moc szczytowa telefonu emitowana w sieci GSM wynosi 2 W. W optymalnych warunkach odbioru (blisko stacji bazowej) może zmniejszyć się nawet tysiąckrotnie (do ok. 0,001 W). Technologia UMTS (universal mobile telecommunications system – uniwersalny system telekomunikacji ruchomej), czyli telefonia komórkowa trzeciej generacji (3G), działa w pasmach o częstotliwości 900 MHz i 2 GHz. Moc szczytowa wynosi 1 W, a w optymalnych warunkach może być znacząco niższa.

W sieciach komórkowych standardu UMTS korzysta się ze standardu WCDMA (wideband code division multiple access – technika związana z dostępem do sieci radiowej stosowana w sieciach komórkowych budo-

wanych w standardzie UMTS), czyli szybkiego przesyłu danych w jednym kanale dzięki równoległemu prowadzeniu wielu jednoczesnych transmisji. Najnowszą technologią dającą dalsze zwiększenie możliwości przesyłu danych jest standard LTE (long term evolution) czwartej generacji (4G), który działa w pasmach o częstotliwości: 800 MHz, 1800 MHz i 2600 MHz. Docelowo ma on zastąpić standard UMTS.

Podstawową zaletą telefonów bezprzewodowych (DECT i komórkowych) są ich niewielkie rozmiary i brak kabli utrudniających poruszanie się użytkownikowi. Smartfony jako połączenie telefonu komórkowego i nowoczesnego komputera multimedialnego umożliwiają nie tylko prowadzenie rozmów, ale także transmisję danych, słuchanie muzyki, oglądanie filmów bezpośrednio z sieci 3G/4G i z lokalnej sieci Wi-Fi.

W trakcie używania telefonów bezprzewodowych i komórkowych w zasięgu pól elektromagnetycznych (PEM) wytwarzanych przez te urządzenia oprócz osoby prowadzącej rozmowę przebywają także znajdujące się w pobliżu osoby postronne (np. domownicy, pasażerowie samochodu czy środków transportu publicznego). Z uwagi na poziom natężenia PEM wytwarzanego przez ww. urządzenia pola te zalicza się do słabych w porównaniu z występującymi w bliskim otoczeniu anten nadawczych stacji radiowych czy telewizyjnych [2]. Zmieniają one jednak tło elektromagnetyczne, w którym żyje człowiek, a potencjalne efekty biologiczne i skutki zdrowotne oddziaływania tych pól są przedmiotem licznych badań i analiz, m.in. Interphone [3], BioInitiative Working Group oraz Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR) [4–5].

Hipotezy dotyczące wzrostu zachorowalności na nowotwory zlokalizowane w obrębie głowy (guzy mózgu, w tym glejaki) i szyi (nerwiaki przewodu słuchowego) nie zostały niepodważalnie udokumentowane, ale uwzględniając zasadę ostrożności, telefony komórkowe umieszczono na liście Międzynarodowej Agencji Badań nad Rakiem (International Agency for Research on Cancer – IARC) w grupie 2B [6]. W publikacjach z zachodniej Europy szacuje się, że telefony komórkowe i telefony bezprzewodowe DECT mają odpowiednio 37,5% i 31,7% udziału w środowiskowej ekspozycji człowieka na PEM [np. 7]. Badania długookresowego wpływu telefonów bezprzewodowych na zdrowie ich użytkowników trwają, a ich wyniki są niejednoznaczne. Użytkownicy telefonów komórkowych mogą doświadczać subiektywnych odczuć, takich jak ból głowy, pogorszone samopoczucie, zmęczenie, problemy

z koncentracją i uczucie ciepła w okolicy tej części głowy, przy której trzymany jest telefon podczas prowadzenia rozmowy [8]. Efekty te nasilają się w zależności od intensywności korzystania z telefonu komórkowego.

Natężenie PEM wytwarzanego przez urządzenia użytku osobistego w ich bezpośrednim otoczeniu – w tym w środowisku mieszkalnym czy w miejscach publicznych, a także w środkach komunikacji – nie jest regulowane żadnymi przepisami w odniesieniu do bezpieczeństwa i ochrony człowieka. Wielkości PEM można ewentualnie porównywać z wartościami normatywnymi dla urządzeń i instalacji w środowisku komunalnym, dla których w zakresie częstotliwości radiowych obowiązuje dopuszczalna wartość 7 V/m dla składowej elektrycznej tego pola [9].

Celem badań i pomiarów PEM w otoczeniu telefonów bezprzewodowych i komórkowych, opisanych w niniejszym artykule, było poznanie poziomu natężenia pola elektrycznego, w jakim przebywa zarówno użytkownik tych urządzeń, jak i osoby znajdujące się w pobliżu. Badania prowadzono podczas różnego trybu pracy ww. urządzeń (rozmowa w systemie GSM, WCDMA, przesyłanie danych, transmisje multimedialne itp.). Wiedza z tego zakresu jest potrzebna do oceny krótkotrwałej i długookresowej ekspozycji współczesnego człowieka na PEM wytwarzane przez urządzenia nowych technologii. Ze wzrostem liczby urządzeń rośnie także ekspozycja na pola elektromagnetyczne wytwarzane przez te urządzenia.

Niniejsze badania nie dotyczą określenia poziomu absorpcji w głowie użytkownika energii pochodzącej od PEM wytwarzanego przez telefon komórkowy. Miarą absorpcji jest współczynnik szybkości pochłaniania właściwego energii (specific absorption rate – SAR), wyrażany w W/kg. W Europie limit SAR dla głowy wynosi 2 W/kg [10]. Wartości SAR dla konkretnych telefonów komórkowych można znaleźć w instrukcjach obsługi oraz na stronach internetowych producentów i firm wprowadzających telefony do handlu. Dane wartości SAR są obliczane na podstawie pomiarów laboratoryjnych i symulacji komputerowych.

MATERIAŁ I METODY

Badania poziomu natężenia pola elektrycznego w otoczeniu telefonów bezprzewodowych systemu DECT i telefonów komórkowych, za zgodą Komisji Bioetycznej Instytutu Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera w Łodzi (decyzja nr 11/2014 z dnia 12 sierpnia 2014 r.), prowadzono w mieszkaniach osób, które w przekazanej

im ankiecie wyraziły chęć uczestnictwa w takich badaniach. Wykonano pomiary natężenia pola elektrycznego w otoczeniu 12 zestawów telefonów bezprzewodowych systemu DECT (12 stacji bazowych i 15 słuchawek), 21 telefonów komórkowych różnych producentów, które nadają sygnał w warunkach rozmowy (13 w systemie transmisji GSM i 8 w systemie transmisji WCDMA), 16 smartfonów (4 pracujące w trybie GSM i 14 trybie WCDMA).

Dla jednego modelu smartfonu wykonano szczegółowe pomiary PEM podczas różnych zastosowań multimedialnych, takich jak oglądanie filmu z Internetu, rozmowy wideo poprzez Skype'a, oraz pracy urządzenia w trybie modemu bezprzewodowego Wi-Fi (przekazującego film do laptopa połączonego z siecią Wi-Fi oraz przesyłającego dane z serwera Dropbox do laptopa połączonego z siecią Wi-Fi). Wykonano także pomiary natężenia pola elektrycznego w otoczeniu wybranego smartfonu podczas rozmowy w trybie GSM z uwzględnieniem różnych warunków zasięgu sieci komórkowej.

Pomiary wykonywano bez obecności użytkownika telefonu w celu wyeliminowania jego wpływu na rozkład natężenia pola. Emisję PEM zapewniano przez transmisję głosu do słuchawki, umieszczając w pobliżu badanego urządzenia źródło dźwięku – dyktafon z nagraniami głosu.

W otoczeniu badanego urządzenia przeszukiwano sondą pomiarową obszar w stałej odległości (0,15 m) od obudowy w celu znalezienia wartości maksymalnej natężenia pola, a następnie wykonywano pomiary wzdłuż prostej przechodzącej przez ten punkt i najbliższy element urządzenia. Pomiary realizowano metodą punktową w wybranych odległościach: 0,05 m; 0,1 m; 0,15 m; 0,3 m; 0,5 m i 1 m od wolnostojącej obudowy, odpowiednio: słuchawki telefonu DECT, stacji bazowej DECT, telefonu komórkowego i smartfonu.

Badania i pomiary prowadzono w miejscu użytkowania telefonów bezprzewodowych systemu DECT, telefonów komórkowych i smartfonów w warunkach środowiska mieszkalnego wielkiego miasta, z rozbudowaną strukturą sieci stacji bazowych telefonii komórkowej.

Do pomiarów zastosowano:

1. Miernik-sondę pola elektrycznego typ EP-600 firmy Narda, zakres częstotliwości: 100 kHz – 9,25 GHz, zakres dynamiczny: 0,18–140 V/m) – ze względu na niewielkie wymiary sondy pomiarowej nadaje się on do pomiarów małych urządzeń, źródeł PEM.
2. Miernik typ SRM 3000 firmy Narda, zakres częstotliwości pomiarowych: 75 MHz – 3 GHz, zakres

dynamiczny dla pola elektrycznego: 0,25 mV/m – 200 V/m) – przyrząd zastosowano do pomiarów tła elektromagnetycznego w pomieszczeniach i analizie widma w pasmach: 900 MHz, 1800–1900 MHz i 2100 MHz, w jakim pracują telefony komórkowe i telefony bezprzewodowe systemu DECT.

3. Miernik typ NBM 550 z sondą pomiarową EF 1891 firmy Narda, zakres częstotliwości pomiarowych: 3 MHz – 18 GHz, zakres dynamiczny dla pola elektrycznego: 0,6–1000 V/m).

Wszystkie wymienione mierniki mają certyfikaty kalibracji dostarczone przez producentów. Miernik wymieniony wyżej w pkt 3. ma także świadectwo wzorcowania nr LWiMP/W/026/15 z 5 lutego 2015 r., wystawione przez Politechnikę Wrocławską.

Za wynik pomiaru przyjmowano średnią wartość pola elektrycznego mierzonego przez 30 s, z próbkowaniem co 1 s w warunkach stabilnej pracy telefonu.

Względna niepewność rozszerzona, obliczona ze współczynnikiem 2 ww. aparatury pomiarowej, wynosi 15%. Z uwagi na minimalną odległość pomiarową (0,05 m) przy pomiarach pola elektrycznego miernikiem-sondą EP-600 uwzględniono dodatkową poprawkę na błąd pomiarowy, który wynika z pomiarów w polu bliskim, na podstawie opracowania Bieńkowskiego [11]. Błąd ten wynosi 30% dla odległości 0,05 m i 15% dla 0,1 m.

WYNIKI

Telefon bezprzewodowy DECT – słuchawka

W otoczeniu słuchawek telefonów bezprzewodowych DECT stwierdzono występowanie PEM o natężeniu pola elektrycznego wynoszącym odpowiednio do odległości: od 0,26–2,30 V/m (średnia (mean – M) = 1,13 V/m) w odległości 0,05 m do 0,18–0,26 V/m (M = 0,21 V/m) w odległości 1 m. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 1.

Telefon bezprzewodowy DECT – stacja bazowa

W otoczeniu stacji bazowych telefonów bezprzewodowych DECT stwierdzono występowanie PEM o natężeniu pola elektrycznego wynoszącym od 1,78–5,44 V/m (M = 2,74 V/m) w odległości 0,05 m do 0,19–0,41 V/m (M = 0,26 V/m) w odległości 1 m. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 2.

Telefon komórkowy – tryb rozmowy GSM

W otoczeniu telefonów komórkowych pracujących w trybie GSM w warunkach rozmowy stwierdzono

występowanie PEM o natężeniu pola elektrycznego od 2,34–9,14 V/m (M = 4,20 V/m) w odległości 0,05 m do 0,18–0,47 V/m (M = 0,28 V/m) w odległości 1 m. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 3.

Telefon komórkowy – tryb rozmowy WCDMA

W otoczeniu telefonów komórkowych pracujących w trybie WCDMA w warunkach rozmowy stwierdzono występowanie PEM o natężeniu pola elektrycznego od 0,22–1,83 V/m (M = 0,81 V/m) w odległości 0,05 m do < 0,18–0,20 V/m (M < 0,18 V/m) w odległości 1 m; Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 4.

Smartfon – tryb rozmowy GSM

W otoczeniu smartfonów pracujących w trybie GSM w warunkach rozmowy stwierdzono występowanie PEM o natężeniu pola elektrycznego od 1,87–9,15 V/m (M = 4,15 V/m) w odległości 0,05 m do 0,26–0,40 V/m (M = 0,30 V/m) w odległości 1 m. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 5.

Smartfon – tryb rozmowy WCDMA

W otoczeniu smartfonów pracujących w trybie WCDMA w warunkach rozmowy stwierdzono występowanie PEM o natężeniu pola elektrycznego od 0,18–1,10 V/m (M = 0,43 V/m) w odległości 0,05 m do < 0,18–0,23 V/m (M < 0,18 V/m) w odległości 1 m. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 6.

Smartfon – inne zastosowania

W otoczeniu smartfonu pracującego w warunkach rozmowy i podczas innych jego zastosowań multimedialnych (oglądanie filmu z Internetu, rozmowa przez Skype'a, tryb routera bezprzewodowego – przesyłanie danych w lokalnej sieci Wi-Fi) stwierdzono występowanie PEM o natężeniu pola elektrycznego od 0,62–2,32 V/m w odległości 0,05 m do 0,18–0,35 V/m w odległości 1 m. Wyniki pomiarów przedstawiono na rycinie 1.

Telefon komórkowy z uwzględnieniem „wskaźnika mocy” stacji bazowej

W otoczeniu telefonu komórkowego pracującego w trybie GSM w warunkach rozmowy przy wskazywanej na ekranie 25–50-procentowej mocy stwierdzono występowanie natężenia pola elektrycznego o wielkościach od 2,7 razy wyższych (w odległości 0,05 m) do 1,9 razy wyższych (w odległości 1 m) niż przy wskazaniu mocy na ekranie wynoszącej 75–100%. Wyniki pomiarów przedstawiono na rycinie 2.

Tabela 1. Natężenie pola elektrycznego w otoczeniu słuchawek telefonów bezprzewodowych DECT
Table 1. Electric field strength in the vicinity of DECT cordless telephone handsets

Producent, typ urządzenia Producer, type of device	Natężenie pola elektrycznego (E) w różnych odległościach Electric field strength (E) at different distances [V/m]					
	0,05 m	0,10 m	0,15 m	0,30 m	0,50 m	1,00 m
	Avena 135	2,30	1,86	1,22	0,84	0,38
Maxcom MC5500, słuchawka 1 / handset 1	1,63	1,59	1,22	1,10	0,40	0,23
Maxcom MC5500, słuchawka 2 / handset 2	1,21	0,93	0,46	0,41	0,26	0,25
Maxcom MC5500, słuchawka 3 / handset 3	1,55	1,20	1,11	0,50	0,39	0,20
Maxcom MC5500, słuchawka 4 / handset 4	1,12	0,94	0,78	0,67	0,42	0,24
Olympia Telecom 6321	1,57	0,94	0,64	0,28	0,25	0,18
Panasonic KX-TCD-70XPD	1,39	0,79	0,80	0,34	0,20	0,19
Panasonic KX-TG1391PD	0,80	0,54	0,35	0,22	0,18	< 0,18
Panasonic KX-TG1711PD	0,67	0,53	0,50	0,29	0,26	0,25
Panasonic KX-TG2511PD	0,45	0,42	0,39	0,26	0,22	0,23
Philips D150 DUO	0,26	0,19	< 0,18	< 0,18	< 0,18	< 0,18
Philips SE 15001	0,41	0,27	0,21	0,18	< 0,18	< 0,18
Philips SE 445 TRIO	1,13	0,81	0,57	0,39	0,30	0,23
Siemens Gigaset 3015	0,64	0,43	0,38	0,27	0,23	0,18
Swissvoice Avena 127	1,84	1,01	0,60	0,41	0,34	0,26
Ogółem / Total						
min.–maks. dla odległości / min.–max for distance	0,26–2,30	0,19–1,86	< 0,18–1,22	< 0,18–1,10	< 0,18–0,42	< 0,18–0,26
M	1,13	0,83	0,63	0,42	0,28	0,21

DECT – system cyfrowej łączności bezprzewodowej na niewielkich odległościach / digital European cordless telecommunications.

Min. – wartość minimalna / minimal value, maks. – wartość maksymalna / max – maximal value, M – średnia / mean.

Tabela 2. Natężenie pola elektrycznego w otoczeniu stacji bazowych telefonów bezprzewodowych systemów DECT
Table 2. Electric field strength in the vicinity of DECT cordless telephone base units

Producent, typ urządzenia Producer, type of device	Natężenie pola elektrycznego (E) w różnych odległościach Electric field strength (E) at different distances [V/m]					
	0,05 m	0,10 m	0,15 m	0,30 m	0,50 m	1,00 m
	Swissvoice Avena 135	1,81	1,48	1,36	0,48	0,36
Maxcom MC5500	1,93	1,18	1,01	0,61	0,34	0,27
Olympia Telecom 6321	3,10	2,00	1,35	1,15	0,54	0,32
Panasonic KX-TCD-70XPD	1,78	1,71	1,43	0,97	0,60	0,35
Panasonic KX-TG1391PD	2,62	1,60	1,21	0,75	0,42	0,23
Panasonic KX-TG1711PD	2,70	2,23	1,36	0,73	0,22	0,22
Panasonic KX-TG2511PD	3,95	2,10	0,95	0,69	0,72	0,33
Philips D150 DUO	2,10	0,84	0,28	0,29	0,26	0,20
Philips SE 15001	2,47	1,84	1,05	0,74	0,49	0,41
Philips SE 445 TRIO	2,40	1,45	0,84	0,26	0,40	0,24
Siemens Gigaset 3015	5,44	2,15	1,71	0,85	0,34	0,19
Swissvoice Avena 127	2,53	1,50	0,99	0,46	0,42	0,21
Ogółem / Total						
min.–maks. dla odległości / min.–max for distance	1,78–5,44	0,84–2,23	0,28–1,71	0,26–1,15	0,22–0,72	0,19–0,41
M	2,74	1,67	1,13	0,67	0,43	0,26

Skróty jak w tabeli 1 / Abbreviations as in Table 1.

Tabela 3. Natężenie pola elektrycznego w otoczeniu telefonów komórkowych pracujących w trybie GSM w warunkach rozmowy
Table 3. Electric field strength in the vicinity of mobile phones working in GSM mode with voice transmission

Producent, typ urządzenia Producer, type of device	Natężenie pola elektrycznego (E) w różnych odległościach Electric field strength (E) at different distances [V/m]					
	0,05 m	0,10 m	0,15 m	0,30 m	0,50 m	1,00 m
Motorola PEBL	6,72	4,20	2,39	1,41	0,74	0,31
myPhone Simple One	3,11	1,00	0,60	0,47	0,23	0,18
Nokia 105	3,96	2,78	2,15	1,44	0,79	0,25
Nokia 1110	2,83	3,32	2,02	1,89	0,92	0,36
Nokia 225	3,86	1,82	1,33	0,44	0,32	0,25
Nokia 3310	4,01	1,34	1,20	1,10	0,52	0,47
Nokia Asha 206 DS	4,17	2,35	1,57	0,73	0,33	0,26
Nokia Asha 300	4,57	3,20	2,50	1,70	0,91	0,30
Nokia X2	3,07	2,95	2,09	0,87	0,56	0,18
Samsung Avilla	4,50	2,63	1,43	0,52	0,29	0,21
Samsung C3200	2,34	1,05	0,78	0,40	0,39	0,34
Siemens A70	2,34	1,15	0,78	0,52	0,35	0,18
Sony Ericsson G902	9,14	3,74	2,37	0,61	0,51	0,30
Ogółem / Total						
min.–maks. dla odległości / min.–max for distance	2,34–9,14	1,00–4,20	0,60–2,50	0,40–1,89	0,23–0,92	0,18–0,47
M	4,20	2,43	1,63	0,93	0,53	0,28

GSM – standard telefonii komórkowej / global system for mobile communications.

Inne skróty jak w tabeli 1 / Other abbreviations as in Table 1.

Tabela 4. Natężenie pola elektrycznego w otoczeniu telefonów komórkowych pracujących w trybie WCDMA w warunkach rozmowy
Table 4. Electric field strength in the vicinity of mobile phones working in WCDMA mode with voice transmission

Producent, typ urządzenia Producer, type of device	Natężenie pola elektrycznego (E) w różnych odległościach Electric field strength (E) at different distances [V/m]					
	0,05 m	0,10 m	0,15 m	0,30 m	0,50 m	1,00 m
LG L70	0,37	0,19	0,18	< 0,18	< 0,18	< 0,18
Nokia Asha 300	1,34	0,90	0,73	0,48	0,27	0,19
Nokia N95	0,81	0,60	0,50	< 0,18	< 0,18	< 0,18
Nokia X3	1,83	1,26	0,94	0,30	0,25	0,18
Samsung GALAXY S3 MINI	0,33	0,18	< 0,18	< 0,18	< 0,18	< 0,18
Samsung SGH-I600	0,98	0,66	0,46	0,27	0,21	0,20
Samsung SGH-U700	0,57	0,43	0,23	0,18	< 0,18	< 0,18
Samsung Z400	0,22	0,18	< 0,18	< 0,18	< 0,18	< 0,18
Ogółem / Total						
min.–maks. dla odległości / min.–max for distance	0,22–1,83	0,18–1,26	< 0,18–0,94	< 0,18–0,48	< 0,18–0,27	< 0,18–0,20
M	0,81	0,55	0,40	0,21	< 0,18	< 0,18

WCDMA – technika związana z dostępem do sieci radiowej stosowana w sieciach komórkowych / wideband code division multiple access.

Inne skróty jak w tabeli 1 / Other abbreviations as in Table 1.

Tabela 5. Natężenie pola elektrycznego w otoczeniu smartfonów pracujących w trybie GSM w warunkach rozmowy
Table 5. Electric field strength in the vicinity of smartphones working in GSM mode with voice transmission

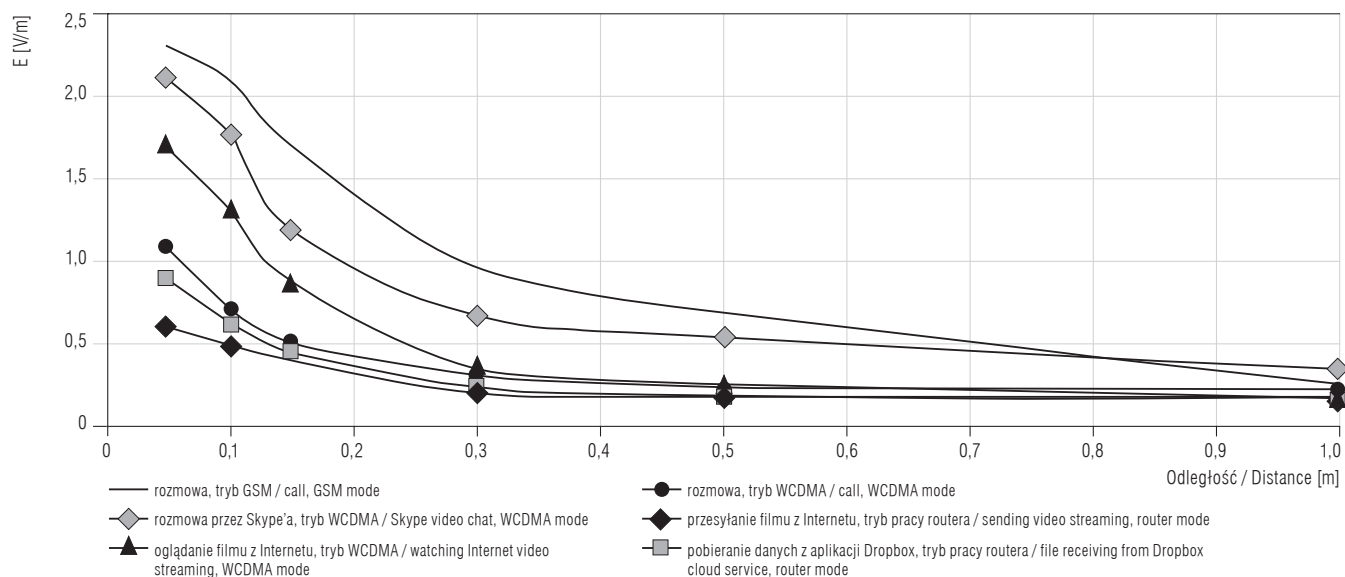
Producent, typ urządzenia Producer, type of device	Natężenie pola elektrycznego (E) w różnych odległościach Electric field strength (E) at different distances [V/m]					
	0,05 m	0,10 m	0,15 m	0,30 m	0,50 m	1,00 m
Iphone 3G	9,15	5,60	3,10	0,96	0,93	0,40
Kruger & Matz Live2 LTE	2,32	2,12	1,72	0,98	0,70	0,26
Nokia Lumia	1,87	1,24	0,76	0,56	0,40	0,29
Sony Xperia Z2	3,26	2,64	1,92	0,75	0,35	0,26
Ogółem / Total						
min.–maks. dla odległości / min.–max for distance	1,87–9,15	1,24–5,60	0,76–3,10	0,56–0,98	0,35–0,93	0,26–0,40
M	4,15	2,90	1,88	0,81	0,60	0,30

Skróty jak w tabeli 1 i 3 / Abbreviations as in Tables 1 and 3.

Tabela 6. Natężenie pola elektrycznego w otoczeniu smartfonów pracujących w trybie WCDMA w warunkach rozmowy
Table 6. Electric field strength in the vicinity of smartphones working in WCDMA mode with voice transmission

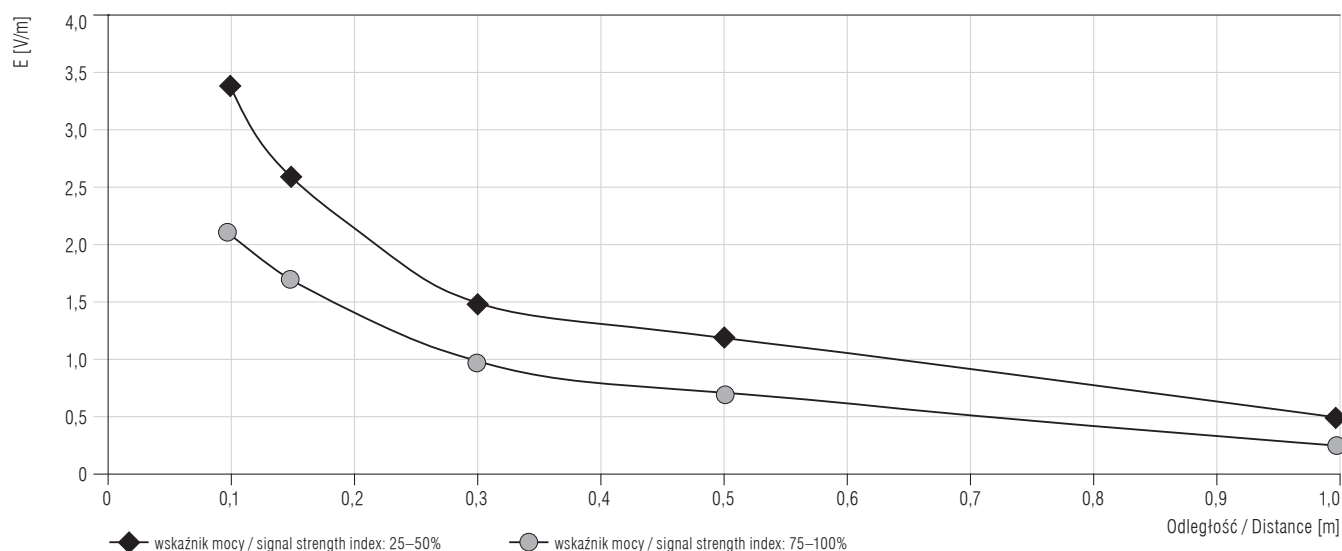
Producent, typ urządzenia Producer, type of device	Natężenie pola elektrycznego (E) w różnych odległościach Electric field strength (E) at different distances [V/m]					
	0,05 m	0,10 m	0,15 m	0,30 m	0,50 m	1,00 m
Iphone	0,23	0,20	0,18	< 0,18	< 0,18	< 0,18
Iphone 4	0,90	0,58	0,36	0,20	0,18	< 0,18
Iphone 5	0,49	0,32	0,21	0,18	< 0,18	< 0,18
Kruger & Matz Live2 LTE	1,10	0,73	0,52	0,32	0,24	0,23
LG L3	0,84	0,80	0,72	0,25	0,18	< 0,18
myPhone Next	0,41	0,26	0,26	0,25	0,25	0,18
Samsung B7610	0,18	< 0,18	< 0,18	< 0,18	< 0,18	< 0,18
Samsung Galaxy Note	0,19	0,19	0,18	< 0,18	< 0,18	< 0,18
Samsung Galaxy S2	0,18	< 0,18	< 0,18	< 0,18	< 0,18	< 0,18
Sony Xperia	0,24	0,20	0,18	< 0,18	< 0,18	< 0,18
Sony Xperia Z2	0,44	0,37	0,28	0,20	0,19	0,18
Sony Xperia Z2 4G	0,39	0,36	0,33	0,22	0,21	0,18
Sony Xperia Z3	0,20	0,18	< 0,18	< 0,18	< 0,18	< 0,18
ZTN (brak danych o typie) / (unknown device type)	0,20	0,18	< 0,18	< 0,18	< 0,18	< 0,18
Ogółem / Total						
min.–maks. dla odległości / min.–max for distance	0,18–1,10	< 0,18–0,80	< 0,18–0,72	< 0,18–0,32	< 0,18–0,25	< 0,18–0,23
M	0,43	0,33	0,26	< 0,18	< 0,18	< 0,18

Skróty jak w tabeli 1 i 4 / Abbreviations as in Tables 1 and 4.



Skróty jak w tabeli 3 i 4 / Abbreviations as in Table 3 and 4.

Ryc. 1. Natężenie pola elektrycznego (E) w otoczeniu smartfonu podczas różnych trybów jego pracy
Fig. 1. Electric field strength (E) in the vicinity of smartphone in different working modes



Ryc. 2. Natężenie pola elektrycznego (E) w otoczeniu smartfonu Kruger & Matz Live2 pracującego przy różnych wskazaniach mocy w trybie GSM w warunkach rozmowy

Fig. 2. Electric field strength (E) in the vicinity of Kruger & Matz Live2 smartphone working at different signal strength index operating in GSM mode with voice transmission

OMÓWIENIE

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki pomiarów natężenia pola elektrycznego w otoczeniu telefonów bezprzewodowych systemu DECT, telefonów komórkowych i smartfonów przeprowadzonych podczas ich najczęstszych zastosowań, w tym multimedialnych.

Odległości pomiarowe od badanych urządzeń dobrano w sposób umożliwiający określenie poziomu

pola elektrycznego w otoczeniu telefonów komórkowych niezależnie od sposobu ich używania, tj. trzymania przy głowie (normalna rozmowa), przed głową (tryb głośnomówiący), przechowywania w torbie, w kieszeni i plecaku (połączonego ze słuchawką przewodową lub bezprzewodową), a w przypadku smartfonów dodatkowo podczas oglądania filmu, połączenia wideo i wykorzystywania innych możliwości multimedialnych urządzenia.

W rzeczywistych warunkach użytkowania telefonu rozmówca trzyma go najczęściej przy uchu. Szacowana odległość od głowy wynosi wówczas 0,03–0,05 m. Podczas rozmowy w trybie głośnomówiącym telefon może znajdować się w odległości 0,15–0,30 m od twarzy/głowy użytkownika. Kiedy telefon schowany jest w kieszeni, torbie lub plecaku, znajduje się w odległości 0,40–0,70 m od głowy i 0,05–0,30 m od innych części ciała. Pozostałe odległości mają znaczenie dla osób mogących znaleźć się w bliskim otoczeniu osoby korzystającej z telefonu komórkowego, w pomieszczeniu mieszkalnym, miejscu publicznym lub w środkach komunikacji publicznej. W odległościach powyżej 1 m wielkość pola elektrycznego jest praktycznie porównywalna z tłem elektromagnetycznym.

Wyniki badań i pomiarów natężenia pola elektrycznego wykonane w otoczeniu telefonów komórkowych bez obecności użytkownika telefonu nie odzwierciedlają rzeczywistych warunków ekspozycji człowieka na PEM podczas korzystania z telefonu. Z uwagi na różne lokalizacje pomieszczeń, w których badano telefony w stosunku do stacji bazowych, pomiary opisane w niniejszym artykule uwzględniają wpływ zasięgu stacji bazowej na wynik pomiaru, a także tłumienia ścian i okien pomieszczeń, w których stosowany był telefon komórkowy na jego najważniejszy parametr, jakim jest moc wyjściowa.

Telefony bezprzewodowe systemu DECT są źródłem PEM o natężeniu pola elektrycznego nieprzekraczającym 7 V/m, czyli poziomu dopuszczalnego w Polsce w miejscach dostępnych dla ludności [9]. Wartości tego pola w otoczeniu stacji bazowych telefonu DECT są wyższe niż przy słuchawkach. Średnia wartość natężenia pola dla 12 stacji bazowych wynosiła w niniejszych badaniach od 2,74 V/m (w odległości 0,05 m) do 0,26 V/m (w odległości 1 m), a dla 15 słuchawek ww. telefonów DECT – od 1,13 V/m (w odległości 0,05 m) do 0,26 V/m (w odległości 1 m).

Lokalizacja stacji bazowych DECT jest zwykle niezmienna w danym mieszkaniu. Stwierdzono, że w badanych mieszkaniach stacje najczęściej znajdowały się w odległości powyżej 0,5 m od miejsc wypoczynku (kanapy, fotela, krzesła). W takiej odległości od badanego urządzenia wartości pola elektrycznego są porównywalne z wartościami tła, które pochodzi od zewnętrznych źródeł PEM, takich jak urządzenia sieci bezprzewodowych, w tym stacji bazowych telefonii komórkowej. W najbliższym otoczeniu stacji bazowej DECT człowiek może znaleźć się chwilowo podczas odbierania telefonu ładującego akumulator w sta-

cji bazowej. W każdym miejscu wykonywania pomiarów przeprowadzono analizę widma PEM i na tej podstawie stwierdzono, że wartości tła PEM zawierały się w granicach od poniżej 0,18 V/m do 0,4 V/m.

W przypadku rozmowy za pomocą słuchawki telefonu bezprzewodowego DECT, która jest trzymana bezpośrednio przy uchu (bardzo rzadko, w trybie głośnomówiącym, w nieco większej odległości: 0,10–0,50 m), użytkownik i osoby znajdujące się w jego pobliżu mogą podlegać chwilowej ekspozycji na pole elektryczne o wartościach od 2,3 V/m w odległości 0,1 m do 0,42 V/m w odległości 1 m. Średnia wartość natężenia pola elektrycznego dla 12 zmierzonych telefonów DECT wynosiła 1,13 V/m w odległości 0,05 m i 0,28 V/m w odległości 0,5 m.

Telefony komórkowe czy smartfony mogą pracować w podczas rozmowy w trybie GSM (2G) lub WCDMA (3G). Zależnie od stopnia technicznego zaawansowania danego urządzenia ten tryb może być ustawiany automatycznie przez system operacyjny telefonu lub przez użytkownika z wykorzystaniem opcji wyboru. Z wywiadu z respondentami przeprowadzonego podczas niniejszych badań wynika, że większość użytkowników nie była świadoma ustawień w swoich telefonach komórkowych czy smartfonach, ich trybu pracy, wskaźnika zasięgu, włączonych dodatkowych modułów Wi-Fi czy Bluetooth.

Dwa spośród 13 telefonów komórkowych pracujące w trybie GSM były źródłem pola elektrycznego o natężeniu, które przekraczało wartości normatywne dla celów ochrony populacji generalnej (7 V/m) lub było zbliżone do nich. W najbliższym otoczeniu tych telefonów stwierdzono występowanie pola elektrycznego o natężeniu pola elektrycznego (odpowiednio dla każdego telefonu) o wartości 6,72 V/m i 9,14 V/m w odległości 0,05 m oraz 0,74 V/m i 0,51 V/m w odległości 0,5 m. Oznacza to również, że osoba przypadkowo znajdująca się w pobliżu użytkownika tych telefonów komórkowych podlega oddziaływaniu PEM o natężeniu pola elektrycznego wynoszącym 0,7–0,5 V/m (w odległości 0,5 m) do około 0,3 V/m (w odległości 1 m).

Wysokie wartości PEM mogą świadczyć o wpływie technicznej konstrukcji urządzeń albo słabym zasięgu sieci (czasami trudno to jednoznacznie stwierdzić, ponieważ podczas połączenia głosowego automatyka telefonu może przełączać telefon między różnymi stacjami bazowymi). Automatyka telefonów komórkowych i orientacyjne „wskaźniki zasięgu” sieci ustalanego na podstawie liczby wyświetlanych na ekranie kresk nie

są niestety miarą mocy nadawczej urządzenia w danej chwili. Średnie natężenie pola w otoczeniu telefonów komórkowych pracujących w trybie GSM dla 13 modeli analizowanych w niniejszym badaniu wynosiło od 4,2 V/m (w odległości 0,05 m) do 0,28 V/m (w odległości 1 m) i było w najgorszym przypadku 1,5 raza niższe od wartości odniesienia (7 V/m).

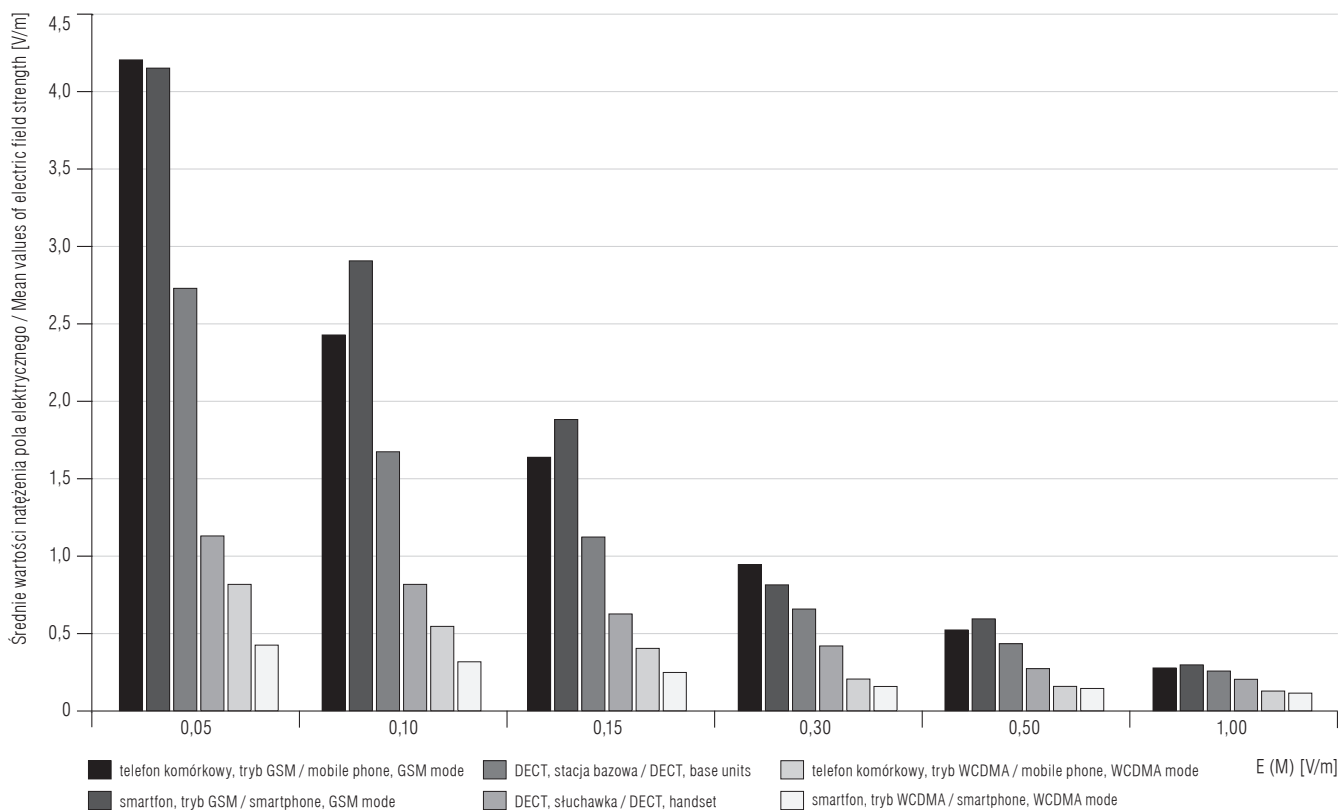
W otoczeniu 8 telefonów komórkowych pracujących w warunkach rozmowy telefonicznej w trybie WCDMA (nowszy system) nie stwierdzono występowania pola elektrycznego o natężeniu wyższym od 1,9 V/m (w odległości 0,05 m) ani porównywalnego z wartościami dla tła w odległościach powyżej 0,3 m (< 0,18–0,48 V/m). Średnie natężenie pola elektrycznego dla zmierzonych 8 modeli telefonów komórkowych, pracujących w warunkach rozmowy w trybie WCDMA wynosiły od 0,81 V/m (w odległości 0,05 m) do poniżej 0,18 V/m (w odległości 1 m).

W przypadku smartfonów pracujących w warunkach rozmowy w trybie GSM w jednym przypadku stwierdzono występowanie pola elektrycznego o wartości 9,15 V/m (w odległości 0,05 m), tj. przekraczającej

wartość odniesienia. Mogło to wynikać z wykonywania połączenia w warunkach słabego zasięgu sieci telefonii komórkowej. Średnie natężenie pola elektrycznego dla 4 modeli smartfonów pracujących w warunkach rozmowy wynosiło od 4,15 V/m (w odległości 0,05 m) do 0,30 V/m (w odległości 1 m) i było porównywalne z wartością średnią dla telefonów komórkowych pracujących w tym samym trybie, odpowiednio: 4,2 V/m (w odległości 0,05 m) i 0,28 V/m (w odległości 1 m).

W otoczeniu 14 smartfonów pracujących w warunkach rozmowy w trybie WCDMA stwierdzono występowanie PEM o wartościach natężenia pola elektrycznego co najwyżej 1,1 V/m (w odległości 0,05 m) i 0,23 V/m (w odległości 1 m). Wartość średnia dla 14 modeli wynosiła od 0,43 V/m (w odległości 0,05 m) do powyżej 0,18 V/m (w odległości 1 m) i była niższa niż wartość średnia obliczona dla telefonów komórkowych pracujących w tych samych warunkach.

Na rycinie 3. zestawiono wartości natężenia pola elektrycznego dla wszystkich zbadanych urządzeń telefonów bezprzewodowych z uwzględnieniem trybu ich pracy.



Skróty jak w tabeli 1, 3 i 4 / Abbreviations as in Tables 1, 3 and 4.

Ryc. 3. Średnie natężenie pola elektrycznego (E) w otoczeniu telefonów bezprzewodowych pracujących w różnych trybach w warunkach rozmowy

Fig. 3. Mean electric field strength (E) in the vicinity of wireless phones working in different modes with voice transmission

W wyniku przeprowadzonych pomiarów, uwzględniając średnie natężenie pola elektrycznego dla poszczególnych grup urządzeń telefonów bezprzewodowych, stwierdzono, że najwyższe natężenie pola elektrycznego występuje w otoczeniu telefonów komórkowych i smartfonów pracujących w trybie GSM. Niższe natężenie pola elektrycznego dotyczyło otoczenia telefonów bezprzewodowych DECT, przy czym wyższe wartości natężenia pola występowały w otoczeniu stacji bazowych telefonów systemu DECT niż słuchawek systemów DECT. Najmniejsze natężenie pola elektrycznego występuje natomiast w otoczeniu telefonów komórkowych i smartfonów pracujących w trybie WCDMA.

W niniejszej publikacji przedstawiono wyniki pomiarów natężenia pola elektrycznego w otoczeniu wybranych telefonów bezprzewodowych systemu DECT, telefonów komórkowych i smartfonów. Wszystkie wymienione urządzenia badano w rzeczywistych warunkach ich użytkowania – w pomieszczeniach mieszkalnych budynków zlokalizowanych w różnych dzielnicach wielkiego miasta. Uzyskane dane dają bogatą wiedzę o wpływie nie tylko odległości i zasięgu stacji bazowej, ale także trybu pracy telefonu i jego konfiguracji na poziom natężenia pola elektrycznego emitowanego przez ten telefon. Są one też pośrednio miarą ekspozycji na PEM, jakiej mogą podlegać osoby przebywające w pobliżu użytkownika telefonu bezprzewodowego.

WNIOSKI

Mimo że w większości przypadków dla badanych urządzeń w najbliższych odległościach od nich nie stwierdzono przekroczenia wartości odniesienia (7 V/m – wartości normatywnej dla środowiska ogólnego), możliwe jest jej niewielkie przekroczenie w szczególnych warunkach pracy telefonu komórkowego (np. pracującego w trybie GSM w słabych warunkach zasięgu sieci telefonii komórkowej). Monitorowanie wielkości PEM w otoczeniu tych urządzeń (stale rozwijających się) jest konieczne w celu określenia zarówno doraźnej, jak i długoterminowej ekspozycji człowieka w środowisku mieszkalnym i komunalnym.

Omówione pomiary wykonano w dużym mieście, o bogatej strukturze stacji telefonii komórkowych. W miejscach o słabszym zasięgu sygnału GSM i WCDMA wartości PEM w otoczeniu urządzeń abonenckich mogą być wyższe.

Telefony bezprzewodowe mają znaczący udział w podwyższonym tle elektromagnetycznym w środo-

wisku życia i pracy współczesnego człowieka. Poziom tego tła powinien być obserwowany na przestrzeni dłuższego czasu. Znajomość charakteru (składu widmowego) i poziomu natężenia tego tła może stanowić przyczynek do badań odległych skutków zdrowotnych (przewlekłej ekspozycji na niskie wartości PEM). Należy też zwrócić uwagę, że coraz częściej oddziaływaniom pola elektromagnetycznego od telefonów bezprzewodowych, komórkowych i smartfonów podlegają także dzieci.

PIŚMIENNICTWO

1. Mariańska M., Aniołczyk H., Mamrot P.: Urządzenia nowych technologii w życiu mieszkańca wielkiego miasta. *Przegl. Telekomunikacyjny Wiad. Telekomunikacyjne* 2015;1(4):515–518, <http://dx.doi.org/10.15199/59.2015.4.101>
2. Aniołczyk H., Mariańska M.: Urządzenia radiokomunikacji i radiodyfuzji w świetle nowej dyrektywy o ochronie zdrowia i bezpieczeństwa pracowników. *Przegl. Telekomunikacyjny Wiad. Telekomunikacyjne* 2015;4:205–208, <http://dx.doi.org/10.15199/59.2015.4.23>
3. Wild C., International Agency for Research on Cancer, World Health Organization: IARC report to the Union for International Cancer Control (UICC) on the interphone study. Agency, Lyon 2011
4. Sage C.: Summary for the public (2014 Supplement). BioInitiative, Santa Barbara (Kalifornia) 2014
5. Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks: Preliminary opinion on potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF). European Commission, Luksemburg 2013, <http://dx.doi.org/10.2772/75635>
6. Baan R., Grosse Y., Lauby-Secretan B., El Ghissassi F., Bouvard V., Benbrahim-Tallaa L. i wsp.: Carcinogenicity of radiofrequency electromagnetic fields. *Lancet Oncol.* 2011;12(7):624–626, [http://dx.doi.org/10.1016/S1470-2045\(11\)70147-4](http://dx.doi.org/10.1016/S1470-2045(11)70147-4)
7. Bolte J.F.B., Eikelboom T.: Personal radiofrequency electromagnetic field measurements in the Netherlands: Exposure level and variability for everyday activities, times of day and types of area. *Environ. Int.* 2012;48:133–142, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2012.07.006>
8. Szykowska A., Gadzicka E., Szymczak W., Bortkiewicz A.: The risk of subjective symptoms in mobile phone users in Poland – An epidemiology study. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health* 2014;27(2):293–303, <http://dx.doi.org/10.2478/s13382-014-0260-1>

9. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania tych poziomów. DzU z 2003 r. nr 192, poz. 1883
10. Dyrektywa UE – Council Recommendation 1999/519/EC of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz). Off. J. Eur. Commun. L 199/59 (30 lipca 1999)
11. Bienkowski P.: Electromagnetic fields measurements – Methods and accuracy estimation. W: Krawczyk A., Kubacki R., Wiak S., Antunes C.L. [red.]. Electromagnetic field, health and environment. Studies in applied electromagnetics and mechanics. Tom 29. IOS Press, Amsterdam 2008, ss. 229–237