



Empiryczna ocena elektromagnetycznych skutków rozwoju miejskich sieci radiokomunikacyjnych z perspektywy szpitala klinicznego (2014-2021)

Empirical assessment of the electromagnetic effects of the development of urban radiocommunication networks from the perspective of a clinical hospital (2014-2021)

Krzysztof Gryz, Jolanta Karpowicz, Patryk Zradziński

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy (CIOP-PIB), ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, tel. +48 22 623 46 49, e-mail: krgr@ciop.pl

Wprowadzenie

Systemy radiokomunikacyjne rozwijają się w Polsce dynamicznie z uwagi na wprowadzanie nowych technologii, szczególnie łączności mobilnej – od analogowego standardu komunikacji głosowej 1G (pierwszej generacji), zapoczątkowanego w 1992 roku, do stosowanego obecnie powszechnie standardu 4G (LTE), pozwalającego na efektywne korzystanie z Internetu

i różnorodnych aplikacji oraz wdrażanego stopniowo standardu 5G, który ma zwiększyć pojemność sieci i zapewnić jednoczesną obsługę znacznie większej liczby użytkowników oraz bardziej niezawodną, masową komunikację, np. urządzeń tak zwanego Internetu Rzeczy (ang. *Internet of Things*, IoT), inteligentnych instalacji przemysłowych (tzw. przemysłu 4.0) czy autonomicznych pojazdów. Ewolucja dotyczy także systemów radiowo-telewizyjnych – od analogowych sieci radiowych i telewizyjnych

424

Streszczenie

Wyniki rozpoznania i oceny porównawczej oddziaływania promieniowania elektromagnetycznego (mikrofal), występującego na terenie przykładowego szpitala klinicznego w związku z użytkowaniem na terenie miasta publicznych systemów radiokomunikacyjnych, przedstawiono na podstawie badań empirycznych w latach 2014 i 2021. Pomimo istotnego rozwoju systemów radiokomunikacyjnych oraz zmian ich parametrów emisyjnych i warunków użytkowania, analiza porównawcza nie wykazała w tym czasie istotnych różnic w poziomie łącznego oddziaływania takich systemów na środowisko elektromagnetyczne. Zaobserwowano głównie stopniowe zwiększanie ilości użytkowanych systemów radiokomunikacyjnych, skutkujące bardziej złożonym widmem częstotliwości rozpoznanego promieniowania, a także zmiany względnych poziomów mikrofal pochodzących od poszczególnych systemów, odpowiadające zmianom struktury świadczonych usług radiokomunikacyjnych (głównie: komunikacji głosowej, Internetu bezprzewodowego, naziemnej rozsiewczej radiofonii i telewizji).

Słowa kluczowe: pole elektromagnetyczne, ekspozycja, bezpieczeństwo i higiena pracy, inżynieria środowiska

Abstract

The recognize and comparative assessment of the impact of electromagnetic radiation (microwaves) in the exemplary clinical hospital, existed in relation to the use of public radiocommunication systems in the city, were shown based on the results of empirical studies in 2014 and 2021. Despite the significant development of radiocommunication systems and changes in their emission parameters and conditions of use, the comparative analysis has not showed significant differences in the levels of overall impact on electromagnetic environment from such systems. A gradual increase in the number of radiocommunication systems used was mainly observed, resulting in a more complex frequency spectrum of the recognized radiation, as well as changes in the relative levels of microwaves from particular systems, corresponding to changes in the structure of radiocommunication services provided (mainly: voice communication, wireless Internet, terrestrial broadcast radio and television).

Key words: electromagnetic field, exposure, occupational health and safety, environmental engineering

otrzymano / received:

08.10.2021

poprawiono / corrected:

19.10.2021

zaakceptowano / accepted:

27.10.2021

(stopniowo wycofywanych z użytkowania) do cyfrowych, które umożliwiają m.in. transmisję lepszej jakości dźwięku i obrazu telewizyjnego oraz zwiększenie liczby nadawanych kanałów.

Różnorodne urządzenia wyposażane są w nowe funkcje bazujące na wymianie informacji – bezpośrednio między sobą (np. w systemie Bluetooth) lub poprzez sieci pośredniczące, np. publiczną sieć stacji bazowych telefonii mobilnej czy punkty dostępowe lokalnej sieci Wi-Fi.

Funkcjonowanie systemów radiokomunikacyjnych i bezprzewodowy transfer danych między urządzeniami odbywają się dzięki propagacji zmodulowanej energii promieniowania elektromagnetycznego, najczęściej z pasma częstotliwości określanego jako mikrofałe (tabela 1). Rozwojowi technologii wykorzystujących emisje elektromagnetyczne towarzyszy więc monitorowanie ich oddziaływania na środowisko: przede wszystkim ze względu na ocenę skutków elektromagnetycznego oddziaływania na zdrowie ludzi (w ramach badań dotyczących zdrowia publicznego lub inżynierii środowiska), ale także na urządzenia elektroniczne (w ramach badań dotyczących kompatybilności elektromagnetycznej, ang. *Electromagnetic Compatibility*, EMC). Oba problemy dotyczą placówek medycznych, ze względu na obecność pracowników, pacjentów oraz różnorodnych urządzeń medycznych, m.in. wspomagających funkcje życiowe pacjentów.

Tabela 1 Najistotniejsze systemy radiokomunikacyjne użytkowane obecnie w Polsce

Źródło pola-EM	Pasma częstotliwości [MHz]
Nadajniki radiowe: – analogowe FM (<i>Frequency Modulation</i>) i cyfrowe DAB+ (<i>Digital Audio Broadcasting</i>)	88-108 i 176-225
Nadajniki naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T (<i>Digital Video Broadcasting – Terrestrial</i>)	174-694
Systemy telefonii mobilnej i dostępu do Internetu:	
– LTE (<i>Long Term Evolution</i>) 800 – DL i UL (*)	791-821 i 832-862
– GSM (<i>Global System for Mobile Communications</i>) 900 – UL i DL	876-915 i 921-960
– DCS (<i>Digital Communication System</i>)/LTE 1800 – UL i DL	1710-1785 i 1805-1880
– UMTS (<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>)/LTE 2100 – UL i DL	1920-1980 i 2110-2170
– LTE 2600 – UL i DL	2500-2570 i 2620-2690
– LTE 2600 (**)	2570-2620
Systemy szerokopasmowego dostępu do Internetu (WiMAX – <i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>)	3600-3800
Sieci lokalnej łączności między urządzeniami i dostępu do Internetu:	
– Wi-Fi (<i>Wireless Fidelity</i>) 2,4 GHz i Bluetooth	2400-2483
– Wi-Fi 5GHz	5150-5350 i 5470-5725

(*) w systemach pracujących w trybie FDD (*Frequency Division Duplex*) – rozdzielone częstotliwości transmisji sygnału ze stacji bazowej do terminalu (DL – *downlink*) oraz z terminalu do stacji bazowej (UL – *uplink*)

(**) w systemach pracujących w trybie TDD (*Time Division Duplex*) – pojedyncze pasmo częstotliwości rozdzielone w czasie transmisji sygnału do i ze stacji bazowej

Źródło: [1, 2].

Użytkowanie systemów radiokomunikacyjnych powoduje ciągłą ekspozycję na mikrofałe, emitowane przez anteny nadawcze, o parametrach technicznych (takich jak: charakterystyki częstotliwościowe i przestrzenne promieniowania, emitowana moc i uzyskiwane dzięki nim zasięgi niezakłóconej łączności bezprzewodowej) odpowiadających konfiguracji poszczególnych

systemów. Również lokalizacja anten nadawczych jest dostosowana do względów użytkowo-technicznych, w tym do zapotrzebowania użytkowników sieci mobilnych na dostęp do infrastruktury pośredniczącej w transferze danych (obecnie przeważnie dostęp do zasobów internetowych). Emisja mikrofał z systemów radiowo-telewizyjnych i telefonii mobilnej na znaczne odległości z reguły realizowana jest z anten umieszczanych na wolno stojących masztach i dachach budynków (Ryc. 1), a z systemów łączności bliskiego zasięgu (na niewielkie odległości, np. Bluetooth, Wi-Fi), z anten umieszczanych bezpośrednio w urządzeniach łączących się ze sobą (np. urządzenia peryferyjne sprzętu komputerowego) lub wewnątrz pomieszczeń (np. routery Wi-Fi pełniące rolę węzła komunikacyjnego, bezpośrednio między urządzeniami lub urządzeniami a siecią źródłową) (Ryc. 2).



Ryc. 1 Typowe anteny systemów radiokomunikacyjnych na dachu budynku
Źródło: Archiwum własne.



Ryc. 2 Routery Wi-Fi
Źródło: Archiwum własne.

Największe zagęszczenie anten nadawczych występuje w centralnych rejonach miast, z uwagi na największą liczbę przebywających tam użytkowników sieci radiokomunikacyjnych. Mikrofałe w środowisku miejskim charakteryzuje w związku z tym



najbardziej złożone widmo częstotliwościowe. Charakterystykę oddziaływania mikrofal, emitowanych przez systemy radiokomunikacyjne, na pracowników medycznych i bezpieczeństwo użytkowanej na terenie szpitala aparatury medycznej (ze względu na wymagania techniczne EMC) omówiono we wcześniejszej publikacji [3]. Użytkowane w Polsce systemy radiokomunikacyjne stale rozwijają się (np. do użytkowania włączane są nowe pasma częstotliwości przeznaczone dla systemów telefonii mobilnej i cyfrowe nadajniki radiowo-telewizyjne), umożliwiając rozwój usług telekomunikacyjnych, np. [4]:

- przyrost liczby użytkowników mobilnego dostępu do Internetu z 7,4 mln w roku 2016 do 9,0 mln w 2020;
- wzrost ilości danych przesłanych z wykorzystaniem sieci mobilnych z 2,8 mln TB w roku 2018 do 5,0 mln TB w 2020 (w tym ok. 50% w technologii LTE);
- wydłużenie połączeń głosowych o ok. 18% od roku 2016 do 2020;
- ponad dwukrotne zwiększenie liczby wysłanych wiadomości MMS przy zmniejszeniu liczby wysłanych wiadomości SMS o ok. 18% w okresie 2016-2020.

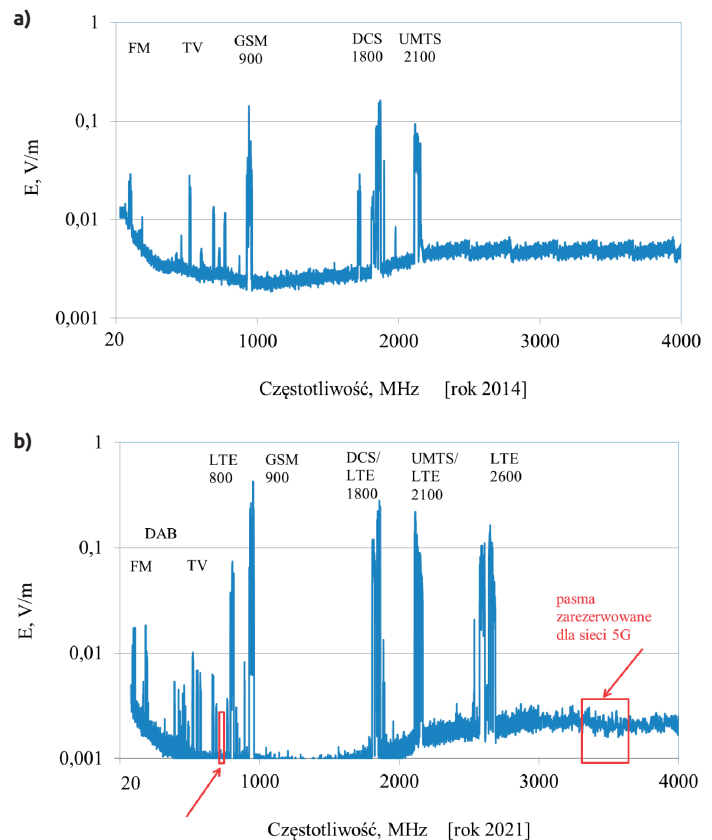
W związku z tym w lecie 2021 roku w jednym ze szpitali klinicznych w Warszawie (zlokalizowanym w odległości ok. 3 km od Pałacu Kultury i Nauki) przeprowadzono ocenę empiryczną, jak rozwój publicznych systemów radiokomunikacyjnych zlokalizowanych na terenie miasta (poza terenem szpitala) wpłynął w ostatnich latach na parametry ekspozycji na mikrofałe w takim środowisku medycznym. Ocenę przeprowadzono poprzez badania porównawcze parametrów rozpoznanych obecnie na terenie szpitala mikrofał, pochodzących od zewnętrznych sieci radiokomunikacyjnych (niezależnych od szpitala), w stosunku do stanu z roku 2014 [3].

Metoda badań i rozpoznanie badanego promieniowania

Wyniki przeprowadzonych latem 2021 roku badań widma częstotliwości mikrofał na terenie szpitala zaprezentowano na rycinie 3. Rozpoznanie to wykazało obecność dominujących składowych pochodzących od systemów telefonii mobilnej (pasma: LTE 800, GSM 900, DCS/LTE 1800, UMTS/LTE 2100, LTE 2600) i nadajników radiowo-telewizyjnych. Jest to typowa dla środowiska wielkomiejskiego złożona charakterystyka ekspozycji na mikrofałe [5]. W widmie promieniowania nie zaobserwowano składowych zarezerwowanych dla sieci wdrażanego standardu 5G – z budowanych stopniowo sieci korzystających z tzw. pasma niskiego (694-790 MHz) i pasma średniego (3400-3800 MHz).

Wyniki badań i ich omówienie

W porównaniu do 2014 roku zaobserwowano udział nowych składowych, pochodzących od wdrażanych dopiero później nadajników radiowych DAB oraz sieci telefonii mobilnej LTE (800 i 2600). Podobnie jak w roku 2014, w analizowanym widmie



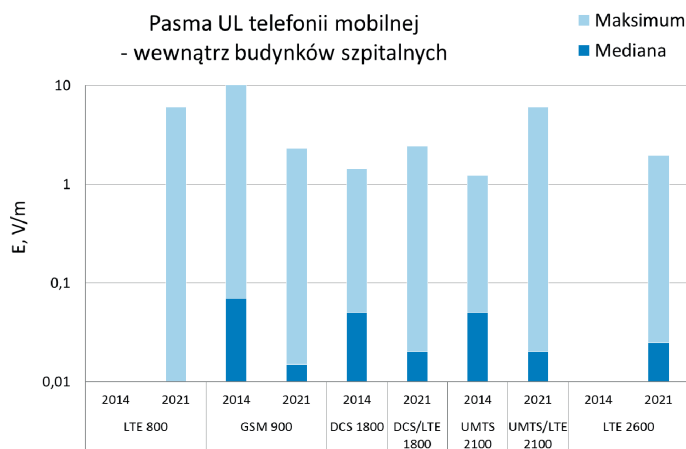
Ryc. 3 Widmo częstotliwości mikrofał, zarejestrowane w szpitalu na terenie Warszawy w roku 2014 (a) i latem 2021 (b)

Źródło: Opracowanie własne.

częstotliwości stwierdzono dominujący udział emisji związanych z użytkowaniem stacji bazowych telefonii mobilnej, zlokalizowanych w pobliżu szpitala, oraz mniejszy udział składowych od emisji z nadajników RTV zlokalizowanych w otoczeniu Pałacu Kultury i Nauki lub poza miastem.

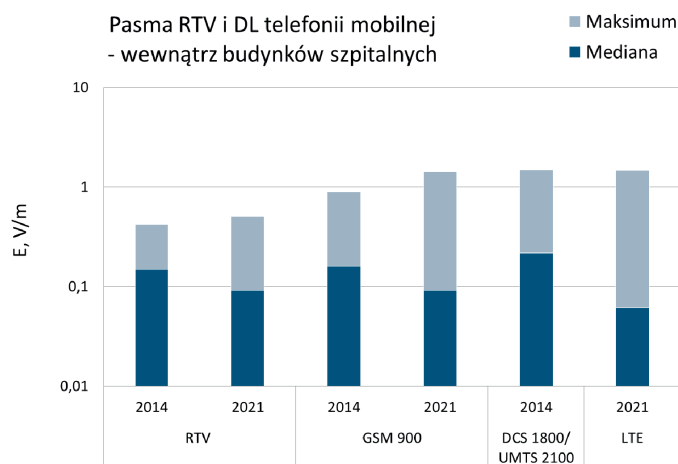
Badania ekspozycji na mikrofałe przeprowadzono m.in. z zastosowaniem omówionej w [3] techniki pomiarów ekspozymetrycznych, tzn. wielogodzinnych autonomicznych, jednoczesnych rejestracji wartości skutecznych natężenia pola elektrycznego (E_{RMS} , V/m) w wąskich pasmach częstotliwości, zharmonizowanych z częstotliwościami sygnałów poszczególnych systemów radiokomunikacyjnych – z rozróżnieniem pasm *uplink* (terminali) i *downlink* (stacji bazowych) systemów telefonii mobilnej. Pomiarów wykonano w pomieszczeniach szpitalnych oraz na zewnątrz budynków (łącznie ponad 250 godzin pomiarów).

Na rycinie 4 zaprezentowano zestawienie porównawcze parametrów statystycznych (mediany i wartości maksymalne) wyników pomiarów w latach 2014 i 2021, dla pasm częstotliwości systemów radiokomunikacyjnych, rozpoznanych jako najistotniejsze składowe ekspozycji na mikrofałe emitowane przez mobilne terminale systemów: LTE 800 niedziałającego jeszcze w 2014 roku; GSM 900; DCS 1800 przekształconego później w DCS/LTE 1800; UMTS 2100 przekształconego później w UMTS/LTE; LTE 2600 niedziałającego jeszcze w 2014 roku. Na rycinach 5 i 6 zaprezentowano zestawienie dotyczące mikrofał



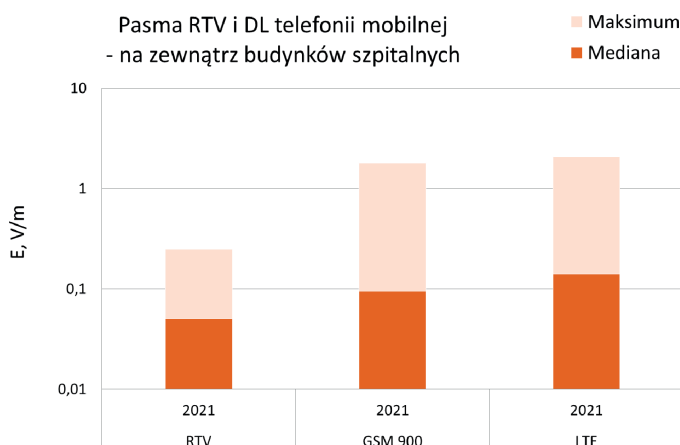
Ryc. 4 Parametry statystyczne wartości skutecznych natężenia pola elektrycznego (E), zarejestrowanego wewnątrz budynków szpitalnych w Warszawie, w latach 2014 i 2021, w pasmach częstotliwości terminali telefonii mobilnej – uplink (UL)

Źródło: Opracowanie własne.



Ryc. 5 Parametry statystyczne wartości skutecznych natężenia pola elektrycznego (E), zarejestrowanego wewnątrz budynków szpitalnych w Warszawie, w latach 2014 i 2021, w pasmach częstotliwości nadajników radiowo-telewizyjnych (RTV) i nadajników stacji bazowych systemu telefonii mobilnej – downlink (DL)

Źródło: Opracowanie własne.



Ryc. 6 Parametry statystyczne wartości skutecznych natężenia pola elektrycznego (E), zarejestrowanego na zewnątrz budynków szpitalnych w Warszawie, w latach 2014 i 2021, w pasmach częstotliwości nadajników radiowo-telewizyjnych (RTV) i nadajników stacji bazowych systemu telefonii mobilnej – downlink (DL)

Źródło: Opracowanie własne.

emitowanych przez nadajniki stacji bazowych telefonii mobilnej (GSM 900, łącznie DCS 1800 i UMTS 2100 w roku 2014 i wszystkie ww. pasma LTE w roku 2021), a także nadajniki radiowo-telewizyjne (RTV).

Wyniki przeprowadzonych badań na terenie szpitala w Warszawie latem 2021 i analiza porównawcza z wynikami badań przeprowadzonymi w tej placówce w roku 2014 [3] nie wykazały istotnych różnic w poziomie całkowitego oddziaływania mikrofal (to jest oddziaływania, którego miarą jest wynik szerokopasmowego pomiaru wartości skutecznej, RMS^1 , natężenia pola elektrycznego), pomimo dynamicznego rozwoju infrastruktury technicznej i zmian w sposobie użytkowania publicznych systemów radiokomunikacyjnych. Analizując wyniki badań empirycznych, stwierdzono nawet nieznaczne zmniejszenie poziomu całkowitej ekspozycji na mikrofałę w omawianym miejscu – wartość mediany natężenia pola elektrycznego obniżona z poziomu 0,34 V/m do 0,18 V/m. Zaobserwowano również słabsze oddziaływanie mikrofal pochodzących od systemów RTV (z poziomu ok. 0,15 V/m do poniżej 0,10 V/m). Jest to konsekwencją zakończenia emisji sygnałów telewizyjnych analogowych i zastąpienia ich cyfrowymi, zmniejszenia mocy nadajników RTV w centrum Warszawy i przeniesienia niektórych nadajników z centrum Warszawy poza miasto. W przypadku systemów radiokomunikacyjnych telefonii mobilnej stwierdzono relatywnie większy udział składowych związanych z transmisją danych (pasma LTE) w porównaniu ze składowymi związanymi z prowadzeniem rozmów (pasmo GSM 900). Wyniki te korelują ze wspomnianymi informacjami o zmianach struktury świadczonych usług telekomunikacyjnych [4].

W roku 2021, podobnie jak w 2014, stwierdzono, że najsilniejsze chwilowe oddziaływanie mikrofal w środowisku związane jest z użytkowaniem przez pracowników i pacjentów szpitala terminali telefonii mobilnej (maksymalne wartości natężenia pola elektrycznego zarejestrowane w pasmach pracy terminali (UL) są większe od maksymalnych wartości zarejestrowanych w pasmach pracy stacji bazowych (DL) – Ryc. 4 i 5). Jednak są to oddziaływania krótkotrwałe, o niewielkim udziale w skumulowanym, długotrwałym oddziaływaniu mikrofal na ludzi (mediany wartości natężenia pola elektrycznego z pasma UL są wielokrotnie mniejsze od median wartości zarejestrowanych w pasmach DL).

Ocena oddziaływania mikrofal w szpitalu, w typowych warunkach elektromagnetycznego środowiska wielkomiejskiego, gdzie promieniowanie pochodzi z zewnętrznych anten systemów radiokomunikacyjnych, nie wykazała poziomu oddziaływania na tyle silnego, aby było wymagane traktowanie z jego powodu pracowników jako narażonych na pole elektromagnetyczne w środowisku pracy i stosowania odpowiednich wymagań prawa pracy [7-9].

Jak wspomniano, pole elektromagnetyczne może zakłócać funkcjonowanie urządzeń medycznych (m.in. diagnostycznych,

¹ Wartość skuteczna natężenia pola elektrycznego, E_{RMS} , przy pomiarach szerokopasmowych jest obliczana jako pierwiastek kwadratowy z sumy kwadratów natężeń pola E_i zmierzonych w poszczególnych pasmach (i).



terapeutycznych i elektronicznych implantów medycznych). Prawo pracy wymaga ograniczania zagrożeń związanych z niepożądanymi skutkami takiego oddziaływania promieniowania elektromagnetycznego na urządzenia elektroniczne (określanych jako zagrożenia elektromagnetyczne związane z pośrednim oddziaływaniem pola elektromagnetycznego na obiekty materialne w przestrzeni pracy). Według wymagań dotyczących odporności urządzeń medycznych na oddziaływanie promieniowania elektromagnetycznego o częstotliwości z pasma 80-2700 MHz, urządzenia takie funkcjonujące w środowisku profesjonalnej opieki medycznej powinny działać w sposób niezakłócony w polu elektrycznym o natężeniu do 3 V/m, a urządzenie funkcjonujące w środowisku domowej opieki medycznej w polu elektrycznym o natężeniu do 10 V/m [6]. Zmierzone w szpitalu promieniowanie, emitowane przez zewnętrzne nadajniki systemów radiokomunikacyjnych, nie powinno zatem wywoływać niepożądanych zakłóceń w pracy elektronicznych urządzeń medycznych (Ryc. 5). Problematyczne może być jednak użytkowanie blisko urządzeń medycznych terminali telefonii mobilnej i telefonów bezprzewodowych DECT, ponieważ poziom wytwarzanego przez nie promieniowania może chwilowo osiągać poziom kilku V/m (Ryc. 4).

W tym kontekście należy również wspomnieć, że pracownicy szpitala użytkują lokalnie typowe urządzenia medyczne będące źródłami silnego pola elektromagnetycznego (np. diatermie chirurgiczne czy urządzenia fizykoterapeutyczne). Jednak takie źródła pola elektromagnetycznego są całkowicie kontrolowane przez pracowników i najczęściej oddziałują głównie na osoby, które je świadomie używają do celów medycznych w warunkach spełniających wymagania prawa pracy dotyczące zapewnienia bezpiecznych i higienicznych warunków pracy [7-9], podczas gdy promieniowanie emitowane przez sieci radiokomunikacyjne dotyczy całej placówki medycznej, a jej pracownicy, na których to promieniowanie oddziałuje, nie mają wpływu na parametry emisji i oddziaływania tego promieniowania na ludzi i urządzenia medyczne.

Omawiane wyniki są zbieżne z wynikami podobnego typu badań przeprowadzonych na terenie Warszawy w innych miejscach [1]. Podkreślenia wymaga jednak, że na terenach pozamiejskich charakterystyka środowiska elektromagnetycznego i jego zmienności w omawianym okresie może znacznie odbiegać od jej parametrów typowych dla środowiska wielkomiejskiego. Ponadto, z reguły w bezpośrednim sąsiedztwie anten stacji bazowych, pracujących w systemach radiokomunikacyjnych (niezależnie od ich lokalizacji), występuje lokalnie znacznie silniejsze promieniowanie elektromagnetyczne niż zmierzone podczas omawianych badań na terenie szpitala.

Podsumowanie

Pomimo istotnego rozwoju publicznych systemów radiokomunikacyjnych oraz zmian ich parametrów emisyjnych i warunków użytkowania, analiza porównawcza nie wykazała na terenie

szpitala istotnych różnic poziomu łącznego oddziaływania mikrofal emitowanych przez takie systemy w latach 2014 i 2021. Zaobserwowano głównie stopniowe zwiększanie ilości użytkowanych systemów radiokomunikacyjnych, skutkujące bardziej złożonym widmem częstotliwości rozpoznanego promieniowania, a także zmiany względnych poziomów ekspozycji pochodzących od poszczególnych systemów, odpowiadające zmianom struktury świadczonych usług radiokomunikacyjnych (głównie: komunikacji głosowej, Internetu bezprzewodowego, naziemnej rozsiwce radiofonii i telewizji).

Publikacja opracowana na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2020-2022 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (projekt II.PB.16). Koordynator programu: CIOP – PIB.

Piśmiennictwo

1. K. Gryz, J. Karpowicz, P. Zradziński: *Pole elektromagnetyczne emitowane przez systemy radiokomunikacyjne – zmiany na terenie Warszawy w XXI wieku*, Bezpieczeństwo Pracy – Nauka i Praktyka, 7(598), 2021, 5-9.
2. J. Karpowicz, K. Gryz, P. Zradziński: *Oddziaływanie systemów radiokomunikacyjnych (RTV, 2G, 4G, 5G) na wielkomiejskie środowisko elektromagnetyczne*, w monografii „Aktualny stan prawny ochrony przed promieniowaniem jonizującym i polami elektromagnetycznymi 0-300 GHz w Polsce”, WAT, 2021, 221-229.
3. K. Gryz, J. Karpowicz: *Środowiskowe pola elektromagnetyczne częstotliwości radiowych w placówkach ochrony zdrowia – badania pilotowe*, Inżynier i Fizyk Medyczny, 3(3), 2014, 156-160.
4. Raport o stanie rynku telekomunikacyjnego w Polsce w 2020 r., Urząd Kontroli Elektronicznej, Warszawa, czerwiec 2021 r., <https://www.uke.gov.pl/akt/raport-o-stanie-rynku-telekomunikacyjnego-w-2020-r-,391.html>.
5. P. Bieńkowski, H. Aniołczyk, J. Karpowicz, J. Kieliszek: *Narażenie na pole elektromagnetyczne w przestrzeni pracy podczas użytkowania urządzeń nadawczych systemów radiokomunikacyjnych. Metoda pomiaru pola elektromagnetycznego in situ – wymagania szczegółowe*, Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy, 2(92), 2017, 89-131.
6. PN-EN 60601-1-2:2015 Medyczne urządzenia elektryczne – Część 1-2: Wymagania ogólne dotyczące bezpieczeństwa podstawowego oraz funkcjonowania zasadniczego – Norma uzupełniająca: Zakłócenia elektromagnetyczne – Wymagania i badania.
7. J. Karpowicz, K. Gryz: *Rozpoznanie i ocena zagrożeń elektromagnetycznych w placówkach diagnostyki obrazowej rezonansu magnetycznego – część 1*, Inżynier i Fizyk Medyczny, 2017, 6(6), 399-406.
8. J. Karpowicz, K. Gryz: *Dostosowanie środków ochronnych w placówkach diagnostyki rezonansu magnetycznego do wymagań prawa pracy dotyczących zagrożeń elektromagnetycznych – część 2*, Inżynier i Fizyk Medyczny, 7(2), 2018, 107-115.
9. J. Karpowicz, P. Zradziński, K. Gryz: *Elektromagnetyczne aspekty użytkowania diatermii chirurgicznych – pilotowe badania modelowe ekspozycji pracowników*, Inżynier i Fizyk Medyczny, 9(6), 2020, 445-455.