



Problematyka oceny w budynkach użyteczności publicznej oddziaływania na pracowników promieniowania elektromagnetycznego systemów radiokomunikacyjnych¹

The issues of assessing the impact of electromagnetic radiation of radiocommunication systems on workers in public buildings

dr hab. inż. KRZYSZTOF GRYZ

<https://orcid.org/0000-0001-5655-2187>

e-mail: krgrzy@ciop.pl

dr hab. inż. JOLANTA KARPOWICZ

<https://orcid.org/0000-0003-2547-2728>

dr hab. inż. PATRYK ZRADZIŃSKI

<https://orcid.org/0000-0001-8094-0761>

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
Central Institute for Labour Protection – National Research Institute, Poland

Streszczenie

Przedstawiono charakterystykę systemów radiokomunikacyjnych emitujących promieniowanie elektromagnetyczne (PR-EM) rozpoznane w budynkach użyteczności publicznej. Zaprezentowano wyniki badań PR-EM w budynkach użyteczności publicznej w środowisku miejskim, charakteryzującym się największym zagęszczeniem anten nadawczych oraz PR-EM o najbardziej złożonym widmie częstotliwości. Wykazano, że głównymi źródłami ekspozycji na PR-EM w budynkach są zewnętrzne stacje bazowe sieci telefonii mobilnej 4G/5G (pasma downlink: GSM 900 oraz LTE 800, 1800, 2100 i 2600) i naziemnych nadajników radiowo-telewizyjnych (FM i TV VHF i UHF), o ile są one zlokalizowane na terenie miasta, oraz wewnętrzne sieci lokalnej łączności między urządzeniami i dostępu do Internetu (Wi-Fi 2,4GHz i 5GHz). Wyniki badań wykazały, że w typowych warunkach lokalizacji zewnętrznych anten systemów radiokomunikacyjnych ekspozycja na PR-EM w budynkach użyteczności publicznej nie przekraczała dolnego limitu strefy pośredniej (ekspozycja pomijalna określona przez prawo pracy). W przypadku lokalizacji wewnątrz budynków źródła PR-EM mogą one mieć najistotniejszy udział w profilu występującej tam ekspozycji. Zaprezentowano również kluczowe elementy postępowania podczas oceny i ograniczania PR-EM w budynkach użyteczności publicznej.

Słowa kluczowe: promieniowanie elektromagnetyczne, pomiary, środowisko pracy, ekspozycja pracujących, rejestratory pola elektrycznego, systemy radiokomunikacyjne, bezpieczeństwo i higiena pracy, inżynieria środowiska.

¹ Opracowano i wydano na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Projekt nr IL.PB.16 pt. „Ocena ekspozycji osób na promieniowanie elektromagnetyczne związane z użytkowaniem sieci 4G i 5G w budynkach użyteczności publicznej”.
Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Abstract

The characteristics of radiocommunication systems as the main sources of exposure to electromagnetic radiation (EMR) in public utility buildings are presented. The results of EMR research in public utility buildings in an urban environment characterized by the highest density of transmitting antennas and EMR with the most complex frequency spectrum are presented. It has been shown that the main sources of exposure to EMR in buildings are external base stations of the 4G/5G mobile communications network (downlink: GSM 900 and LTE 800, 1800, 2100 and 2600 bands), terrestrial radio and television transmitters (FM and TV VHF and UHF) if they are located in the city, and internal networks of local communication between devices and access to the Internet (Wi-Fi 2.4GHz and 5GHz). The investigation results showed that under typical conditions of location of external antennas of radiocommunication systems, exposure to EMR in public buildings did not exceed the lower limit of the intermediate zone where protection of workers against EMR is applicable (negligible exposure defined by labour law). In the case of EMR sources located inside buildings, they may have a significant contribution to the exposure profile. The key elements of the procedure for EMR assessments and limiting EMR radiation in public buildings were also presented.

Keywords: electromagnetic radiation, measurements, working exposure, electric field exposimeters, radiocommunication systems, occupational safety and health, environmental engineering.

WPROWADZENIE

Promieniowanie elektromagnetyczne (PR-EM) jest powszechnie wykorzystywane przez systemy radiokomunikacyjne do bezprzewodowego przesyłania danych wykorzystywanych przez użytkowników tych systemów (np. abonentów telefonii mobilnej, odbiorców sygnału radiowo-telewizyjnego itp.). Rozwój technologiczny powoduje m.in. wprowadzanie nowych systemów transmisji (np. cyfrowych oprócz analogowych), zwiększenie ich przepustowości, zwiększenie liczby nadajników o słabszej mocy emitowanego PR-EM. Podnosi to prędkość usług (np. skraca czas poboru plików z danymi podczas korzystania z Internetu) i ich jakość (np. ogranicza zakłócenia sygnału telewizyjnego). Różnego rodzaju urządzenia wyposaża się w modemy łączności bezprzewodowej umożliwiające masową komunikację między nimi w ramach

rozwiązań technicznych opartych na koncepcji **IoT**², omówionych bardziej szczegółowo w publikacji *Zradzińskiego i in. (2022)*. Transfer danych między urządzeniami realizowany jest bezpośrednio lub poprzez sieci pośredniczące, np. publiczne sieci stacji bazowych (**BTS**³) telefonii mobilnej lub punktów dostępowych (routerów/modemów) **Wi-Fi**⁴. Zwiększone zapotrzebowanie na usługi telekomunikacyjne, jednoczesną obsługę intensywnie narastającej liczby użytkowników i lepszą niezawodność usług skutkuje opracowaniem nowego publicznego standardu telefonii mobilnej, tzw. 5. generacji (5G), który ma zgodnie z założeniami zapewnić lepsze parametry transmisji danych w stosunku do wcześniejszych standardów 2., 3. i 4. (**LTE**⁵) generacji.

CHARAKTERYSTYKA SYSTEMÓW RADIOKOMUNIKACYJNYCH JAKO ŹRÓDEŁ EKSPOZYCJI NA PR-EM W ŚRODOWISKU PRACY

Źródłami PR-EM są anteny nadawcze urządzeń radiokomunikacyjnych, mogące w niektórych urządzeniach spełniać także funkcję anten odbiorczych (np. w terminalach telefonii mobilnej, modemach/routerach Wi-Fi). Lokalizacja anten nadawczych

jest dostosowana do warunków propagacji fal elektromagnetycznych oraz względów eksploatacyjno-technicznych, w tym potrzeb użytkowników publicznych sieci telefonii mobilnej dotyczących dostępu do infrastruktury pośredniczącej

² IoT – Internet of Things.

³ BTS – Base Transceiver Station.

⁴ Wi-Fi – Wireless Fidelity.

⁵ LTE – Long Term Evolution.

w transmisji danych. Dlatego też największe nasycenie antenami nadawczymi systemów radiokomunikacyjnych zapewnia się w miejscach, gdzie dostęp do urządzeń systemów radiokomunikacyjnych mają mieć większe grupy ludzi (np. anteny BTS telefonii mobilnej na dachach lub elewacjach budynków w centrach miast, anteny lokalnych bezprzewodowych sieci Wi-Fi wewnątrz obiektów handlowych, komunikacji publicznej itp.)

Według administracyjnego przeznaczenia częstotliwości do zastosowań radiokomunikacyjnych (Rozporządzenie Rady Ministrów, DzU 2018, poz. 1612; UKE 2022a) głównymi źródłami ekspozycji środowiskowej na PR-EM są obecnie:

- nadajniki radiowe: analogowe FM (emitujące PR-EM o częstotliwości 88–108 MHz) i cyfrowe **DAB+**⁶ (176–225 MHz) oraz nadajniki naziemnej telewizji cyfrowej **DVB-T**⁷ (174–694 MHz)
- nadajniki łączności specjalnej, np. pogotowia ratunkowego, policji, straży pożarnej: 140–170 MHz i 420–450 MHz
- systemy telefonii komórkowej i dostępu do Internetu w trybie **FDD**⁸, tzn. podziału pasm częstotliwości na:
 - a) transmisję sygnału z BTS do terminalu (**DL**⁹): LTE 800 (791–821 MHz), **GSM**¹⁰ 900 (921–960 MHz), **DCS**¹¹/LTE 1800 (1805–1880 MHz), **UMTS**¹²/LTE (2110–2170 MHz), LTE 2600 (2620–2690 MHz)
 - b) transmisję sygnału z terminalu do BTS (**UL**¹³): LTE 800 (832–862 MHz), GSM 900 (876–915 MHz), DCS/LTE 1800 (1710–1785 MHz), UMTS/LTE 2100 (1900–1980 MHz), LTE 2600 (2500–2570 MHz)
- systemy telefonii komórkowej i dostępu do Internetu w trybie **TDD**¹⁴, tzn. transmisja sygnału w obie strony w oddzielnych

przedziałach czasowych; LTE 2600 TDD (2570–2620 MHz)

- systemy szerokopasmowego dostępu do Internetu **WiMAX**¹⁵ (3600–3800 MHz)
- sieci lokalnej łączności między urządzeniami i dostępu do Internetu – Wi-Fi 2,4GHz (2400–2450 MHz) i Wi-Fi 5GHz (5150–5850 MHz) oraz technologia Bluetooth, wykorzystująca pasmo Wi-Fi 2,4GHz.

Uzyskanie zakładanych parametrów transmisji danych w ramach pełnego wprowadzenia telefonii mobilnej nowej generacji zaplanowano przy użyciu 3 pasm częstotliwości (*Bieńkowski i in.* 2020; Ministerstwo Cyfryzacji 2018):

- niskiego: 700 MHz (694–790 MHz) – dla usług wykorzystujących technologię 5G dla użytkowników znajdujących się na zewnątrz i wewnątrz budynków, w tym wzdłuż szlaków komunikacyjnych
- średniego 3,6 GHz (3400–3800 MHz) – dla usług 5G jedynie w obszarach gęsto zaludnionych
- wysokiego 26 GHz (24,25–27,5 GHz) – w przypadku dostępu do zasobów sieci poprzez tzw. pikokomórki (tj. zewnętrzne i wewnątrzbudynkowe punkty lokalnego dostępu krótkiego zasięgu).

Obecnie (stan na grudzień 2022 r.) operatorzy systemów łączności mobilnej w Polsce oferują możliwości komercyjnego korzystania z usługi tzw. standardu 5G, bazując na infrastrukturze zbudowanej wcześniej dla sieci 4G LTE i przypisanych jej pasmach częstotliwości (800, 1800, 2100 i 2600 MHz) w ramach tzw. architektury **NSA**¹⁶, w której sieć dostępu radiowego 5G i jej interfejs są używane w połączeniu z istniejącą siecią bazową infrastruktury LTE, tworząc przejściowy system hybrydowy sieci 4G/5G.

⁶ DAB – Digital Audio Broadcasting.

⁷ DVB-T – Digital Video Broadcasting – Terrestrial.

⁸ FDD – Frequency Division Duplex.

⁹ DL – downlink.

¹⁰ GSM – Global System for Mobile Communications.

¹¹ DCS – Digital Communication System.

¹² UMTS – Universal Mobile Telecommunications System.

¹³ UL – uplink.

¹⁴ TDD – Time Division Duplex.

¹⁵ WiMAX – Worldwide Interoperability for Microwave Access.

¹⁶ NSA – Non-standalone.

CHARAKTERYSTYKA EKSPOZYCJI NA PR-EM W BUDYNKACH UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ W ŚRODOWISKU MIEJSKIM

Urządzenia nadawcze systemów radiokomunikacyjnych lokalizowane są typowo na zewnątrz budynków. Dlatego też poziomy ekspozycji na PR-EM z pasma 80–6000 MHz wewnątrz budynków są zdecydowanie niższe niż w bezpośrednim sąsiedztwie zewnętrznych urządzeń nadawczych (ryc. 1a). Przykładowo, w przestrzeni obsługi w otoczeniu anten nadawczych BTS telefonii mobilnej, o mocy kilkudziesięciu watów lub więcej, natężenie pola elektrycznego (pola-E) osiąga wartość co najmniej kilkudziesięciu woltów na metr (Bieńkowski i in. 2017), podczas gdy wewnątrz budynków obecnie najczęściej oscyluje na poziomie co najwyżej 1 V/m.

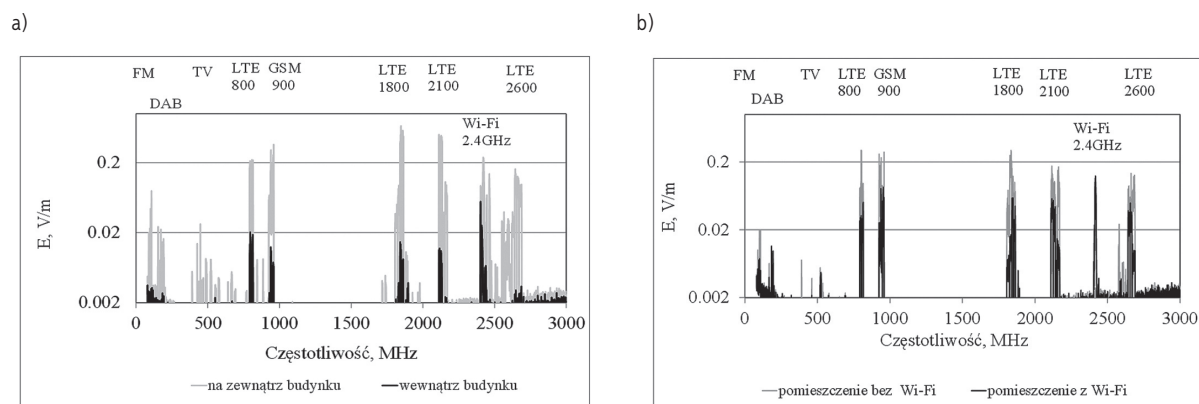
W budynkach mogą być także lokalizowane anteny nadawcze (np. pikokomórki BTS telefonii mobilnej) w miejscach, w których sygnał zewnętrzny jest zbyt słaby, a trzeba tam zapewnić niezakłóconą łączność w obrębie jednego lub kilku pomieszczeń, lub jeśli niezbędne jest zapewnienie lokalnego dostępu do usług mobilnych większej liczby abonentów (np. dworce, stadiony, centra handlowe). Moc wewnętrznych anten BTS telefonii mobilnej nie przekracza zwykle kilku watów, a obszar pola-E stref ochronnych może występować w odległości do kilku metrów od takich anten.

Wewnętrzными źródłami PR-EM w budynkach są także routery Wi-Fi, które zapewniają łączność

najczęściej do 70 m przy maksymalnej emitowanej mocy 100 mW (w przypadku urządzeń systemu Wi-Fi 2,4GHz) lub 200/1000 mW (w przypadku urządzeń systemu Wi-Fi 5GHz). Przestrzeń pola-EM stref ochronnych występuje w odległości do 20 cm od typowych routerów Wi-Fi 2,4GHz, a do 50 cm od typowych routerów Wi-Fi 5GHz.

Prezentowane w dalszej części opracowania dane obejmują wyniki prowadzonych w budynkach użyteczności publicznej badań dotyczących parametrów występującego tam PR-EM – emitowanego zarówno przez zewnętrzne, jak i wewnętrzne anteny nadawcze różnych systemów radiokomunikacyjnych (ryc. 1b).

Badania obejmowały jednoczesne, wielogodzinne (nawet całodobowe) pomiary (monitoring) w czasie wartości skutecznej natężenia pola-E, z użyciem rejestratorów selektywnych, mierzących pole-E w wąskich pasmach częstotliwości z zakresu 87–5850 MHz, zharmonizowanych z częstotliwościami sygnałów emitowanych przez typowe urządzenia radiokomunikacyjne, np. w pasmach UL i DL różnych systemów telefonii mobilnej. Rejestratory podczas pomiarów były umieszczone nieruchomo w wybranych pomieszczeniach w budynkach. Wyniki pomiarów charakteryzują PR-EM oddziałujące na pracujących i inne osoby przebywające w tych pomieszczeniach.

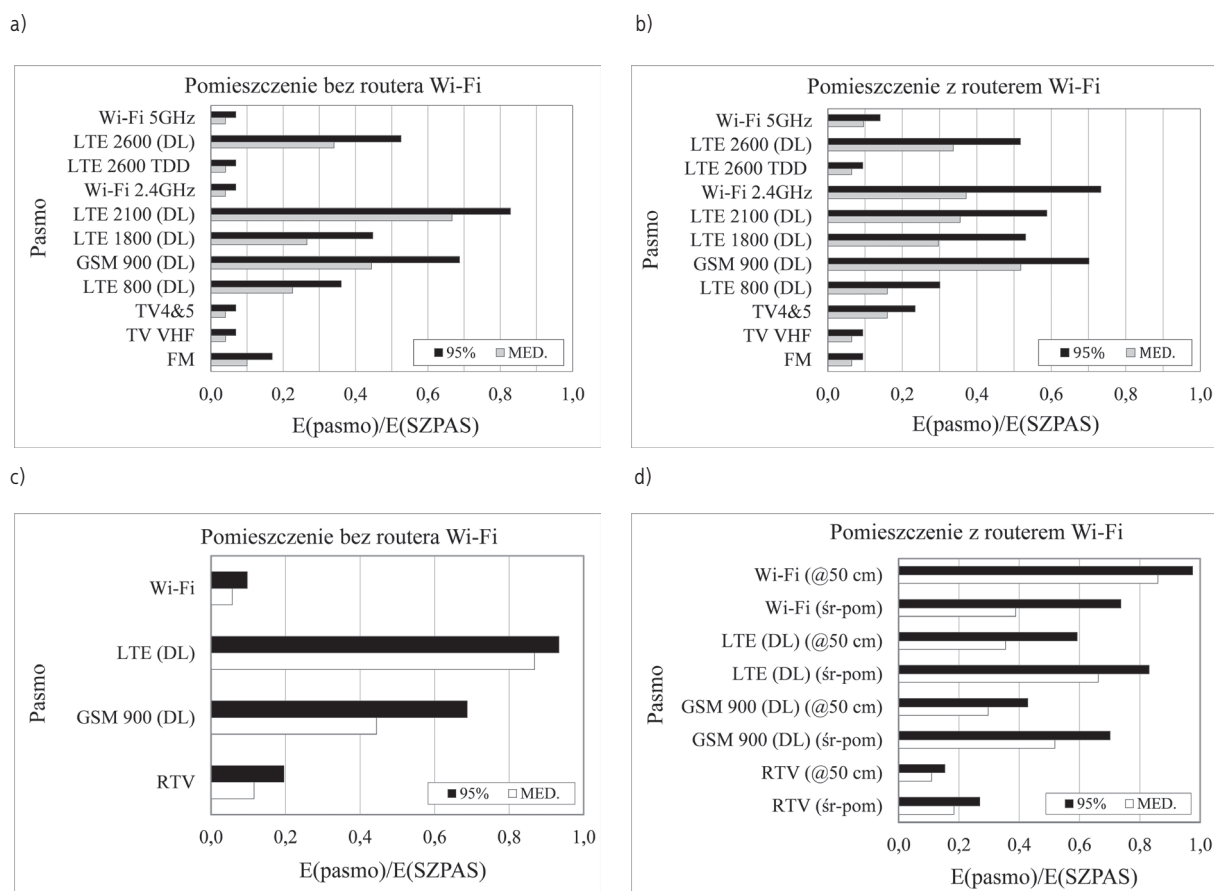


Rycina 1. Przykładowe widmo amplitudowo-częstotliwościowe pola elektrycznego z pasma częstotliwości 80–3000 MHz, zarejestrowane: a) na zewnątrz i wewnątrz budynku w okolicach centrum dużego miasta (źródło – materiały własne); b) wewnątrz budynku w okolicach centrum dużego miasta w pomieszczeniach z wewnętrznym routerem Wi-Fi 2,4GHz i bez niego (źródło – materiały własne)
Figure 1. Example of electric field amplitude-frequency spectrum in the range (80–3000) MHz recorded: a) outside and inside a building near the center of a large city (source authors collection), b) inside a building near the center of a large city, in a rooms with and without an internal 2.4GHz Wi-Fi router (source authors collection)

Typowe wyniki badań zaprezentowano na rycinie 2. Obejmują one parametry statystyczne wyników rejestracji natężenia pola-E wewnątrz budynku, w okolicach centrum dużego miasta, w pomieszczeniach z wewnętrznym routerem Wi-Fi 2,4GHz/5GHz i bez niego w pasmach częstotliwości pracy poszczególnych systemów radiokomunikacyjnych (w odniesieniu do telefonii mobilnej pasma DL transmisji sygnału z BTS do terminali), (ryc. 2a, 2b) oraz łącznie z pasm nadajników radiowo-telewizyjnych (RTV), pasma GSM 900 oraz 4G/5G (LTE), (ryc. 2c, 2d) w celu zilustrowania udziału tych systemów w ekspozycji środowiskowej na PR-EM, w związku z wszechobecną naziemną radiofonią i telewizją, komunikacją głosową

i dostępem do Internetu bezprzewodowego przez użytkowników telefonii mobilnej.

Prezentowane parametry statystyczne wyników rejestracji zmienności natężenia pola-E obejmują medianę i 95. centyl wyników zarejestrowanych w zbiorze próbek pomiarowych (rejestracje 24-godzinne, z ponad 14,5 tysiącami próbek każda). Pominięto 5% wyników najwyższych, reprezentujących głównie chwilowe artefakty pomiarowe, występujące np. z powodu okresowej automatycznej kalibracji przyrządów pomiarowych oraz zakłóceń pomiarów przez odbicia PR-EM od poruszających się w pobliżu osób i niedoskonałości długotrwałego procesu pomiarowego.



Rycina 2. Parametry statystyczne natężenia pola-E zarejestrowanego w okolicach centrum dużego miasta wewnątrz budynku, w pomieszczeniu: a) i c) bez wewnętrznego routera Wi-Fi; b) i d) z wewnętrznym routerem Wi-Fi 2,4GHz/5GHz; histogram składowych z pasm częstotliwości pracy poszczególnych systemów radiokomunikacyjnych oraz łącznie dla wybranych pasm (c,d), odniesiony do wyniku pomiaru szerokopasmowego (SZPAS) wszystkich pasm częstotliwości PR-EM wykorzystywanego przez uwzględnione systemy radiokomunikacyjne; 95% – 95. centyl; Med. – mediana; (@50 cm) – w odległości 50 cm od routera; (śr-pom) – na środku pomieszczenia (źródło – materiały własne)

Figure 2. Statistical parameters of the E-field recorded inside a building near the center of a large city, in a rooms: a) and c) without an internal Wi-Fi router; b) and d) with an internal 2.4GHz/5GHz Wi-Fi router; histogram of the exposure components from the frequency bands of individual radio communication systems or group of bands (c,d) used by particular service, related to the wideband (SZPAS) covering together all frequency bands (as broadband-measured) of electromagnetic radiation used by considered radio communication systems; 95% – 95th percentile, Med. – median; (@50 cm) – within 50 cm of the router; (śr-pom) – in the centre of a room (source authors collection)

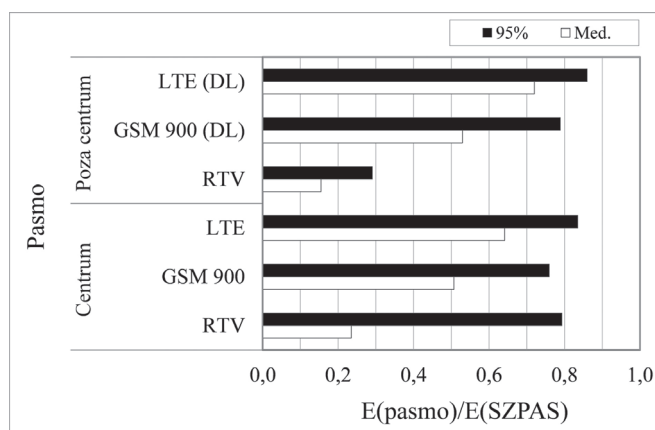
Wyniki badań prezentowane na rycinie 2 oraz wyniki innych badań własnych (Gryz i in. 2021a; 2021b; Karpowicz i in. 2018; 2021) pozwalają stwierdzić, że poziom ekspozycji na PR-EM w danym budynku zależy od ilości i rodzaju nadajników w okolicy i odległości od nich. Z reguły w związku z potrzebą zapewnienia usług telekomunikacyjnych większej liczbie użytkowników, co z kolei wymusza konieczność lokalizowania większej liczby realizujących te usługi nadajników radiokomunikacyjnych, wyższy poziom ekspozycji rozpoznawano w wyniku pomiarów PR-EM prowadzonych wewnątrz budynków w centrum dużych miast.

Charakterystyka PR-EM oddziałującego na pracowników i osoby przebywające w budynkach użyteczności publicznej (profile ekspozycji) obejmuje zmienność jego poziomu w czasie i relacje natężenia poszczególnych składowych częstotliwościowych w odniesieniu do całkowitego oddziaływania (szerokopasmowo zmierzonego natężenia pola-E – SZPAS). O udziale składowych PR-EM emitowanego przez poszczególne jego źródła w profilu ekspozycji wewnątrz budynków decyduje rodzaj urządzeń nadawczych znajdujących się w otoczeniu budynku lub w poszczególnych pomieszczeniach. Na przykład w Warszawie nadal w centrum miasta obserwuje się dominujący udział składowych PR-EM pochodzących od nadajników RTV, charakteryzujących się znacznie większymi mocami niż nadajniki BTS telefonii mobilnej, pomimo przeniesienia głównych nadajników

telewizyjnych poza teren miasta. W miarę oddalania się od centrum miasta – w całkowitej ekspozycji na PR-EM coraz silniej dominują emisje z BTS telefonii mobilnej, zlokalizowanych w pobliżu budynków (bardziej znaczący udział składowych z pasm GSM 900 i LTE niż RTV na ryc. 3).

Obecność wewnętrznych źródeł PR-EM, np. routerów dostępu do Internetu, może mieć istotny wpływ na profil ekspozycji w przestrzeni pracy o niewielkich wymiarach w pomieszczeniu i anteny routerów znajdujące się blisko pracowników. Przeciwnie do rozpatrywanych wcześniej anten zewnętrznych, w stosunku do których całe pomieszczenie można najczęściej traktować jako przestrzeń o jednakowej odległości od nadajnika. Przykładowo czterokrotne zmniejszenie odległości od routera (np. z 4 m do 1 m) zmienia istotnie (ok. 16-krotnie) poziom składowej Wi-Fi w profilu ekspozycji na PR-EM, ocenianej szerokopasmowo w pomieszczeniu.

W związku z tym w razie użytkowania wewnętrznych źródeł PR-EM nie tylko w widmie PR-EM całkowitej ekspozycji szerokopasmowej pojawią się ich komponenty częstotliwościowe (co ilustrują wyniki badań zaprezentowane na ryc. 2b, 2d). Przy małej zmienności wewnątrz pomieszczeń poziomu składowych PR-EM emitowanych przez zewnętrzne nadajniki systemów radiokomunikacyjnych poziom składowych pochodzących ze źródeł wewnętrznych istotnie uzależniony jest od odległości miejsca pobytu pracownika od takich anten (np. routerów Wi-Fi)



Rycina 3. Parametry statystyczne natężenia pola-E zarejestrowanego w budynkach w centrum miasta i poza centrum – wynik monitoringu w pasmach: RTV, GSM 900 (DL), LTE (DL) odniesiony do wyniku pomiaru szerokopasmowego SZPAS, obejmującego pasma częstotliwości PR-EM wykorzystywanego przez wszystkie systemy radiokomunikacyjne; Med. – mediana, 95% – 95. centyl (źródło – materiały własne)

Figure 3. Statistical parameters of the E-field recorded inside a building in the center and outside of the city center – the result of monitoring in the RTV, GSM 900 (DL), LTE (DL) related to broadband measurement SZPAS, covering the electromagnetic radiation frequency bands used by all radio communication systems; Med. – median, 95% – 95th percentile (source authors collection)

– im ta odległość jest mniejsza, tym jego udział będzie bardziej znaczący. Ilustruje to rycina 2d, na której przedstawiono porównanie parametrów statystycznych natężenia pola-E zarejestrowanego w pomieszczeniu wewnątrz budynku w pasmach częstotliwości nadajników RTV, BTS telefonii mobilnej (GSM 900 i ze wszystkich pasm LTE) oraz znajdującego się tam routera Wi-Fi 2,4GHz/5GHz odniesione do wyników pomiaru

szerokopasmowego – w różnych odległościach od routera. Czterokrotne zmniejszenie odległości od routera Wi-Fi skutkuje ok. dwukrotnym wzrostem udziału tej składowej PR-EM w ekspozycji całkowitej przy ok. 40-procentowym zmniejszeniu udziału pozostałych składowych (na wykresie na ryc. 2d zestawienie wyników pomiarów na środku pomieszczenia (śr-pom) i w odległości 50 cm od routera (@50cm)).

PODSUMOWANIE

Analiza parametrów emitowanego przez systemy radiokomunikacyjne PR-EM występującego w budynkach użyteczności publicznej wykazała złożone widmo częstotliwościowe tego promieniowania w środowisku pracy (wiele składowych ekspozycji pochodzących z różnych źródeł). Wyniki przeprowadzanych badań własnych wewnątrz budynków użyteczności publicznej wskazują na zróżnicowany poziom ekspozycji na PR-EM, który determinuje charakterystyka emisji z nadajników poszczególnych systemów radiokomunikacyjnych, zlokalizowanych w otoczeniu budynków. W typowych obecnie warunkach lokalizacji anten nadawczych takich systemów ekspozycja na PR-EM nie przekraczała limitów dotyczących dolnej granicy pola-EM strefy pośredniej (ekspozycja pomijalna określona przez rozporządzenie ministra ds. pracy, DzU 2018, poz. 1286). Najsilniejszym źródłem ekspozycji na PR-EM systemów radiokomunikacji mobilnej w budynkach użyteczności publicznej w środowisku miejskim jest korzystanie z dostępu do Internetu bezprzewodowego (ekspozycja na PR-EM z pasm LTE), a w mniejszym stopniu z połączeń głosowych (ekspozycja na PR-EM z pasma GSM), co koreluje z danymi dotyczącymi zmian w skali i strukturze usług telekomunikacyjnych wykorzystywanych przez użytkowników telefonii mobilnej (UKE 2022b).

Obecność wewnętrznych źródeł PR-EM, np. routerów dostępu do Internetu, może mieć istotny wpływ na profil ekspozycji poszczególnych pracowników przebywających w budynkach użyteczności publicznej. Lokalnie, bezpośrednio przy wewnętrznych antenach telefonii mobilnej (w odległości do kilku metrów) i routerach Wi-Fi

(w odległości do 50 cm) możliwe jest występowanie PR-EM strefy pośredniej, którego dominującą składową może być emisja ze wspomnianych źródeł wewnętrznych. Wpływa stąd praktyczny wniosek, aby lokalizować te źródła PR-EM wewnątrz budynków w miejscach wykluczających oddziaływanie PR-EM stref ochronnych na pracujących (np. na sufitach wysokich pomieszczeń, a nie na biurkach).

W przypadku narażenia pracujących na PR-EM stref ochronnych wymagana jest okresowa kontrola poziomu narażenia, a wobec pracujących należy podejmować działania ochronne wymagane przez prawo pracy, m.in. włączenie do ich okresowych szkoleń z zakresu BHP tematyki dotyczącej zagrożeń elektromagnetycznych, określonej szczegółowo w rozporządzeniu ministra ds. pracy, a także dostosowanie zakresu ich okresowych badań w ramach opieki medycznej świadczonej przez lekarzy medycyny pracy do miarodajnej oceny zagrożeń zdrowia związanych z narażeniem na PR-EM [DzU 2018, poz. 331 (t.j.)].

W załączniku zaprezentowano schematyczny sposób postępowania podczas oceny PR-EM w budynkach użyteczności publicznej w kontekście rozpoznania potrzeby opracowania programu stosowania środków ochronnych i kluczowe elementy tego programu (o ile jego opracowanie i wdrożenie wynika z rozpoznanej charakterystyki PR-EM oddziałującego na pracowników).

PIŚMIENNICTWO

Bieńkowski P., Aniołczyk H., Karpowicz J. i in. (2017). Narażenie na pole elektromagnetyczne w przestrzeni pracy podczas użytkowania urządzeń nadawczych systemów radiokomunikacyjnych. Metoda pomiaru pola elektromagnetycznego *in situ* – wymagania szczegółowe. *Podst. Metod. Ocen. Srod. Pr.* 2(92), 89–131.

Bieńkowski P., Zmysłony M., Karpowicz J. i in. (2020). Uwarunkowania ekspozycji ludności na pole elektromagnetyczne związane z użytkowaniem radiokomunikacyjnych sieci w technologii 5G w Polsce. *Med. Pr.* 71(2), 245–253.

Gryz K., Karpowicz J., Zradziński P. (2021a). Empiryczna ocena elektromagnetycznych skutków rozwoju miejskich sieci radiokomunikacyjnych z perspektywy szpitala klinicznego (2014-2021). *Inż. Fiz. Med.* 5(10), 423–427.

Gryz K., Karpowicz J., Zradziński P. (2021b). Pole elektromagnetyczne emitowane przez systemy radiokomunikacyjne – zmiany na terenie Warszawy w XXI wieku. *Bezp. Pr.* 7(598), 5–9.

Karpowicz J., Gryz K., Zradziński P. (2021). Oddziaływanie systemów radiokomunikacyjnych (RTV, 2G, 4G, 5G) na wielkomiejskie środowisko elektromagnetyczne. [W:] Aktualny stan prawny ochrony przed promieniowaniem jonizującym i polami elektromagnetycznymi 0-300 GHz w Polsce. [Red.] M. Zmysłony, E.M. Nowosielska. WAT, Warszawa, 221–229.

Karpowicz J., Simunic D., Gryz K. (2018). Can electromagnetic field exposure caused by mobile communication systems in a public environment be counted as dominant? [W:] *Mobile communication and public health*. [Red.] M. Markov. CRC Press Taylor & Francis Group, 101–127.

Ministerstwo Cyfryzacji (2018). Strategia 5G dla Polski, <https://www.gov.pl/documents/31305/436699/Strategia+5G+dla+Polski.pdf/0cd08029-2074-be13-21c8-fc1cf09629b0> [dostęp: 28.12.2022].

Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 czerwca 2016 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na pola elektromagnetyczne. *DzU* 2018, poz. 331 (t.j.).

Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Załącznik 2. Część E „Pole elektromagnetyczne”. *DzU* 2018, poz. 1286.

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 27 grudnia 2013 r. w sprawie Krajowej Tablicy Przeznaczeń Częstotliwości. *DzU* 2018, poz. 1612 (t.j.).

UKE, Urząd Kontroli Elektronicznej (2022a). Informacja o zajętości widma w pasmach 420 MHz, 450 MHz, 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz, 2600 MHz, <https://bip.uke.gov.pl/dostepnosc-czestotliwosci/informacja-o-zajetosci-widma/#!> [dostęp: 28.12.2022].

UKE, Urząd Kontroli Elektronicznej (2022b). Raport o stanie rynku telekomunikacyjnego w Polsce w 2021 r., <https://www.uke.gov.pl/akt/raport-o-stanie-rynku-telekomunikacyjnego-w-2021-r-,431.html> [dostęp: 28.12.2022].

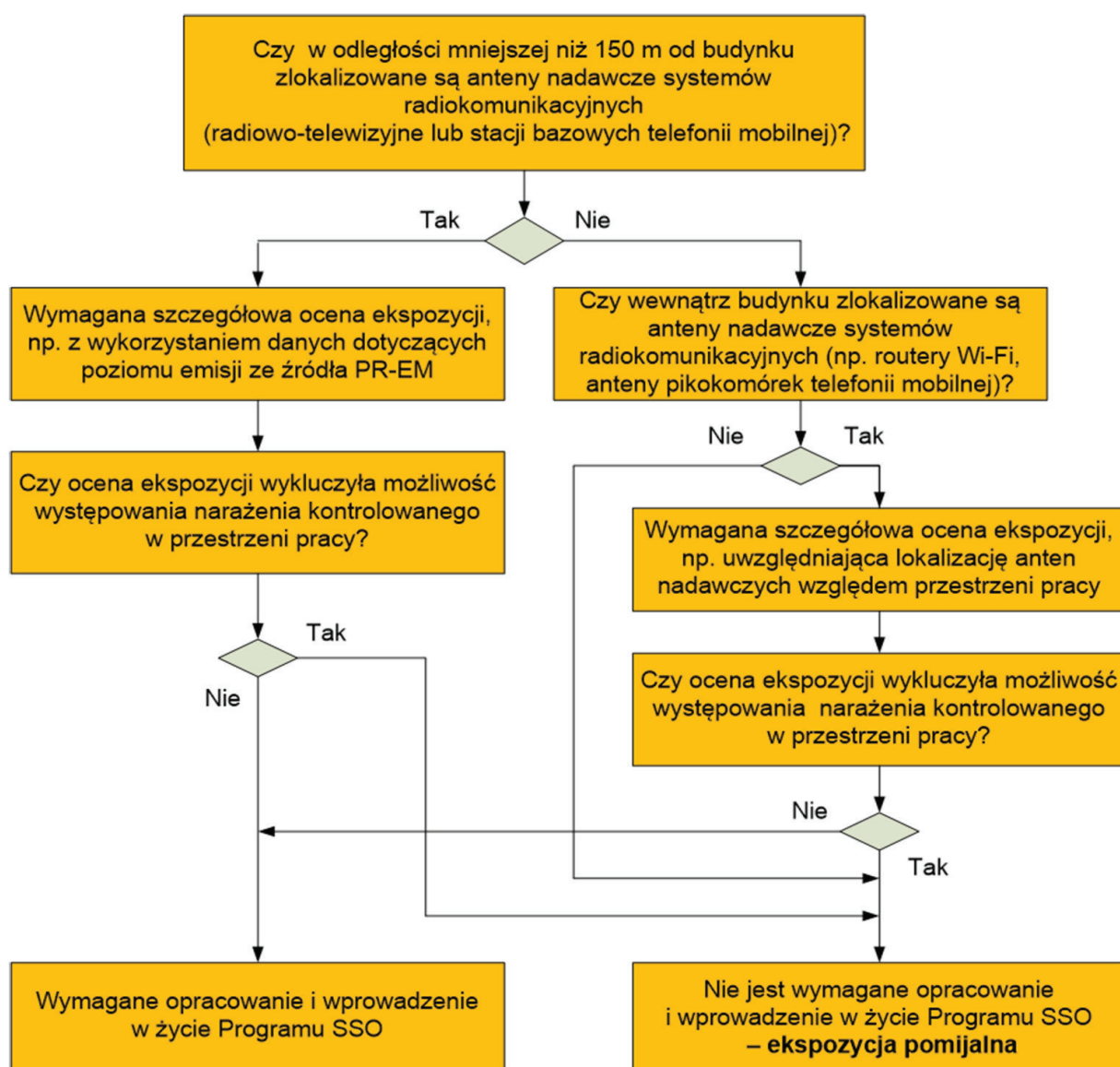
Zradziński P., Karpowicz J., Gryz K. (2022). Podstawy oceny elektromagnetycznych okoliczności użytkowania nasobnych urządzeń Internetu Rzeczy. *Podst. Metod. Ocen. Srod. Pr.* 4(114), 7–38.

Adres do korespondencji/Contact details:

dr hab. inż. KRZYSZTOF GRYZ
e-mail: krgr@ciop.pl
Centralny Instytut Ochrony Pracy –
Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa
POLAND

SCHEMAT OCENY PROMIENIOWANIA ELEKTROMAGNETYCZNEGO
SYSTEMÓW RADIOKOMUNIKACYJNYCH
W BUDYNKACH UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ
NA POTRZEBY PROGRAMU STOSOWANIA ŚRODKÓW OCHRONNYCH/
ELECTROMAGNETIC RADIATION EVALUATION
IN PUBLIC BUILDINGS WITH RESPECT TO PROTECTION ACTIONS PLAN

**Schemat oceny promieniowania elektromagnetycznego (PR-EM)
systemów radiokomunikacyjnych (emitujących PR-EM w sposób ciągły)
w budynkach użyteczności publicznej
na potrzeby Programu Stosowania Środków Ochronnych (Program SSO)**



Zasady ograniczania promieniowania-EM systemów radiokomunikacyjnych w budynkach użyteczności publicznej (kluczowe elementy Programu SSO)

1. Według wymagań prawa pracy w przypadku możliwości oddziaływania PR-EM stref ochronnych na pracujących lub osoby potencjalnie narażone użytkownik źródła PR-EM jest zobowiązany opracować i wprowadzić w życie **Program SSO** (Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 czerwca 2016 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na pola elektromagnetyczne, DzU 2018, poz. 331 (t.j.), dalej jako: **R-BHP-EM**).

2. Program SSO powinien uwzględniać działania dostosowane do rozpoznanych w przestrzeni pracy zagrożeń elektromagnetycznych i ich poziomu, podejmowane w celu zapobiegania możliwości przekroczenia limitów GPO oraz wystąpienia zagrożeń elektromagnetycznych związanych z:

- bezpośrednimi skutkami oddziaływania PR-EM na organizm człowieka (tj. skutkami indukowania w organizmie pola-EM)
- pośrednimi skutkami oddziaływania PR-EM na inne obiekty (np. zakłócenie działania urządzeń elektrycznych i elektronicznych, w szczególności aktywnych implantów medycznych, spowodowane wrażliwością urządzeń na oddziaływanie PR-EM).

R-BHP-EM określa limity GPO następująco:

Graniczne Poziomy Oddziaływania (GPO), rozumiane jako limity dotyczące wybranych miar zagrożeń elektromagnetycznych, związanych ze skutkami oddziaływania bezpośredniego PR-EM na ludzi, w szczególności skutkami oddziaływania termicznego lub pobudzeniem elektrycznym tkanek

3. Przed opracowaniem Programu SSO dotyczącego przestrzeni pracy w otoczeniu wewnętrznych urządzeń nadawczych niezbędne są działania obejmujące:

- a) rozpoznanie urządzeń nadawczych jako źródła PR-EM, np. na podstawie parametrów technicznych urządzeń podanych przez producenta w dokumentacji technicznej urządzenia, danych z recenzowanych publikacji itp. [R-BHP-EM, par. 5; zał. 3, cz. I]
- b) rozpoznanie poziomów emitowanego PR-EM, np. na podstawie danych podanych

w dokumentacji technicznej urządzenia, dostępnych na podstawie wymagań określonych w odrębnych przepisach, a w razie niedostatecznych danych na podstawie pomiarów PR-EM [R-BHP-EM, par. 5]

- c) na podstawie wyników rozpoznania (pkt. b) poziomów emitowanego PR-EM przeprowadzenie rozpoznania i oceny zagrożeń elektromagnetycznych przy uwzględnieniu zróżnicowanych skutków oddziaływania PR-EM oraz grup narażonych [R-BHP-EM, par. 5 i 6; zał. 3, cz. I].

R-BHP-EM wyróżnia zróżnicowane grupy narażonych:

pracujący – osoba wykonująca prace przy użytkowaniu źródła PR-EM: pracownik, osoba fizyczna wykonująca te prace na innej podstawie niż stosunek pracy albo osoba prowadząca na własny rachunek działalność gospodarczą

osoba potencjalnie narażona – każda osoba mająca dostęp do miejsca narażenia, mimo że nie wykonuje prac przy użytkowaniu PR-EM


osoba szczególnie chroniona – osoba, która podlega ograniczeniom dotyczącym przebywania w obszarze PR-EM stref ochronnych: kobieta w ciąży, młodociany, użytkownik aktywnych lub pasywnych implantów medycznych, osoba, u której stwierdzono przeciwwskazania do wykonywania pracy w warunkach narażenia

4. Przy stwierdzeniu możliwości oddziaływania PR-EM stref ochronnych na pracujących opracowany Program SSO powinien zawierać kluczowe elementy zestawione w tabeli Z1 [R-BHP-EM, par. 10].

5. Na podstawie przedstawionych wcześniej informacji dotyczących **charakterystyki urządzeń nadawczych** i poziomów ekspozycji w typowych budynkach użyteczności publicznej **opracowanie Programu SSO można zwykle ograniczyć do rozpatrzenia przypadków wykorzystywania urządzeń nadawczych zlokalizowanych wewnątrz budynków (routery Wi-Fi i anteny telefonii mobilnej)** – ze względu na możliwość wstępowania przestrzeni PR-EM strefy pośredniej.

Tabela Z1. Kluczowe elementy Programu Stosowania Środków Ochronnych przed zagrożeniami elektromagnetycznymi podczas użytkowania w budynkach użyteczności publicznej wewnętrznych nadajników systemów radiokomunikacyjnych

Table Z1. Essential elements of the program of applying protective measures against electromagnetic hazards when using indoor transmitters of radiocommunication systems in public buildings

Etap użytkowania	Działanie
Projektowanie, wprowadzanie do użytkowania	<ul style="list-style-type: none"> określenie wymagań dla projektantów, konstruktorów i dostawców, dotyczących minimalizacji emitowanego przez urządzenia nadawcze PR-EM i narażenia pracujących w ich otoczeniu lokalizacja urządzeń nadawczych w takim miejscu, aby nie występowało oddziaływanie PR-EM stref ochronnych na pracujących (np. na sufitach wysokich pomieszczeń) zaprojektowanie miejsc pracy i rozmieszczenie stanowisk pracy tak, aby nie znajdowały się w otoczeniu urządzeń nadawczych w przestrzeni PR-EM stref ochronnych [R-BHP-EM, załącznik 3, cz. I]
Użytkowanie	<ul style="list-style-type: none"> oznakowanie urządzeń nadawczych jako źródła PR-EM [R-BHP-EM, par. 10, ust. 3; załącznik 3, cz. I] wyznaczenie zasięgów PR-EM stref ochronnych [R-BHP-EM, par. 7] oznakowanie zasięgów PR-EM stref ochronnych [R-BHP-EM, par. 10, ust. 3; załącznik 3, cz. I] oznakowanie rodzajów zagrożeń elektromagnetycznych (np. możliwości niekorzystnego oddziaływania na aktywne implanty medyczne i ograniczenia dostępu dotyczącego użytkowników takich urządzeń), [R-BHP-EM, par. 10, ust. 3; załącznik 3, cz. I] <p data-bbox="580 922 1255 1009">Uwaga 1: do oznakowania można użyć tablic informacyjnych lub znaków graficznych (np. określonych w normach PN-T-06260:1974 lub PN-EN ISO 7010:2012)</p>  <ul style="list-style-type: none"> informowanie o zagrożeniach elektromagnetycznych w przestrzeni pracy w otoczeniu urządzeń nadawczych wszystkich przebywających tam pracujących i osoby potencjalnie narażone [R-BHP-EM, par. 12] informowanie pracujących o wynikach okresowych pomiarów lub oceny PR-EM emitowanego przez urządzenia nadawcze, zagrożeń elektromagnetycznych i zasięgach ich oddziaływania [R-BHP-EM, par. 12; Rozporządzenie MZ, 2011, poz. 166, par. 172] określenie zasad wykonywania pracy w otoczeniu urządzeń nadawczych ograniczających narażenia na PR-EM i poinformowanie o nich pracujących uwzględnienie charakteru i poziomu narażenia na PR-EM emitowane przez urządzenia nadawcze w skierowaniu pracujących w ich otoczeniu na profilaktyczne badania lekarskie oraz dostosowanie do tych okoliczności zakresu badań wstępnych i okresowych w ramach świadczonych usług z zakresu medycyny pracy [R-BHP-EM, par. 13; załącznik 3, cz. I] przestrzeganie instrukcji producentów sprzętu, w szczególności w zakresie bezpiecznego użytkowania, zapobiegające powstawaniu szkodliwych emisji PR-EM lub nadmiernych poziomów narażenia [R-BHP-EM, par. 10, ust. 3] przewodzenie okresowej oceny zagrożeń elektromagnetycznych rozpoznanych w otoczeniu urządzeń nadawczych [R-BHP-EM, par. 8; załącznik 3, cz. I]