



Podstawy oceny elektromagnetycznych okoliczności użytkowania nasobnych urządzeń Internetu Rzeczy¹

Principles of evaluating electromagnetic aspects of using wearable Internet of Things devices^{1,2}

dr hab. inż. PATRYK ZRADZIŃSKI
<https://orcid.org/0000-0001-8094-0761>
e-mail: pazra@ciop.pl

dr hab. inż. JOLANTA KARPOWICZ
<https://orcid.org/0000-0003-2547-2728>

dr hab. inż. KRZYSZTOF GRYZ
<https://orcid.org/0000-0001-5655-2187>

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

Streszczenie

Objęcie poruszających się obiektów nadzorem systemu Internetu Rzeczy (IoT, ang. *Internet of Things*) wymaga zastosowania bezprzewodowej transmisji danych, a często również energii, z wykorzystaniem propagacji energii elektromagnetycznej w powietrzu. Rozwiązania takie są coraz powszechniej wdrażane w wielu gałęziach gospodarki (np. przemyśle wytwórczym, budownictwie, transporcie czy rolnictwie, nauce, służbie zdrowia, a nawet w służbach mundurowych czy działaniach militarnych). Pole elektromagnetyczne (pole-EM) jest w takich systemach emitowane przez moduły radiowe urządzeń wyposażone w anteny nadawcze. Ze względu na elektromagnetyczne okoliczności związane z użytkowaniem urządzeń nasobnych IoT, właściwe jest rozróżnienie ich pod względem rodzaju źródła zasilania modułów radiowych na: (1) autonomiczne urządzenia wyposażone w źródło zasilania modułów radiowych, wykorzystujących różne standardy radiokomunikacji, np. Bluetooth, Wi-Fi, publiczne systemy telefonii komórkowej i podobne oraz (2) urządzenia niezawierające źródeł zasilania, zasilane z zewnątrz energią przekazaną bezprzewodowym łączem elektromagnetycznym, np. znaczniki pasywne RFID. Celem publikacji jest scharakteryzowanie okoliczności i skutków oddziaływania w środowisku pracy pola-EM wytwarzanego ze względu na zamierzone właściwości funkcjonalne różnorodnych nasobnych urządzeń wykorzystywanych w systemach IoT. Scharakteryzowano nasobne urządzenia systemów IoT i wykorzystywane w nich różnorodne technologie radiokomunikacyjne, rozpatrywane ze względu na pole-EM emitowane podczas ich użytkowania i skutki jego oddziaływania w środowisku pracy. Omówiono wymagania prawne dotyczące oceny i ograniczania niepożądanych skutków oddziaływania pola-EM na pracujących i materialne środowisko pracy, a także środki ochronne służące ich ograniczaniu, stosowane w ramach wymagań prawa pracy.

Słowa kluczowe: pole elektromagnetyczne, skutki bezpośrednie narażenia, skutki pośrednie narażenia, współczynnik pochłaniania właściwego energii (SAR), nauki o zdrowiu, inżynieria biomedyczna, 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 II.PB.15 pt. „Badania środowiskowe i modelowanie numeryczne zagrożeń dotyczących osób użytkujących nasobne urządzenia działające w technologii Internetu Rzeczy”. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

This paper is published and based on the results of a research task carried out within the scope of the fifth stage of the multiannual National Programme “Improvement of safety and working conditions” supported from the resources of The National Centre for Research and Development. Task no. II.PB.15 entitled “Environmental research and numerical modeling of hazards to people using wearable devices operating in the Internet of Things technology”. The Central Institute for Labour Protection – National Research Institute is the Programme’s main co-ordinator.

² English text on pages 22–38.

Abstract

Making movable objects a part of the Internet of Things (IoT) system requires the use of wireless transmission of data, and often also energy when harvesting electromagnetic energy in the air. Such solutions are increasingly commonly implemented in many sectors of the economy (e.g. manufacturing industry, construction, transport and agriculture, science, healthcare, and even in the uniformed services or military operations). The electromagnetic field (EMF) in such systems is emitted by radio modules of devices equipped with transmitting antennas. Due to the electromagnetic circumstances related to the use of IoT wearable devices, it is appropriate to distinguish them in terms of the type of power source for radio modules into: (1) autonomous devices equipped with a power source for radio modules, using various radiocommunication standards, e.g. Bluetooth, Wi-Fi, public mobile telecommunication systems, so on; and (2) devices without a power source, powered externally using energy transmitted via a wireless electromagnetic link, e.g. passive RFID tags. The aim of the publication is to characterise the circumstances and effects of EMF exposure in the work environment due to the intended functional properties of various wearable devices used in IoT systems. The wearable IoT systems devices and the various radiocommunication technologies used in them are characterised, considering the EMF emitted during their use, and the effects of this in the work environment. The paper also discusses the legal requirements for assessing and reducing the undesirable effects of EMF exposure on workers and the material objects of work environment, as well as protective measures to limit them, as applied within the requirements of the labour law.

Keywords: electromagnetic field, direct effects of exposure, indirect effects of exposure, specific energy absorption rate (SAR), health sciences, biomedical engineering, environmental engineering.

WPROWADZENIE

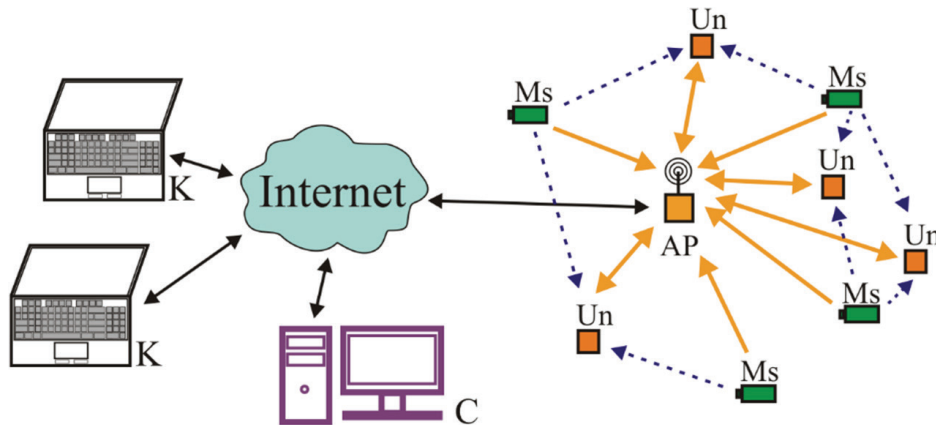
Internet Rzeczy (IoT, ang. *Internet of Things*) to sieć informatyczno-funkcjonalna łącząca autonomiczne urządzenia. Działanie systemów IoT obejmujących mobilne obiekty (m.in. pracowników) wymaga korzystania z bezprzewodowej transmisji danych (w niektórych technologiach także energii) za pośrednictwem emisji elektromagnetycznych (ryc. 1), (Zradziński i in. 2021c). Są one coraz powszechniej wdrażane w wielu gałęziach gospodarki, np. w: przemyśle wytwórczym, budownictwie, transporcie, rolnictwie, nauce, służbie zdrowia, a nawet w służbach mundurowych czy działaniach militarnych (Morzyński 2019, Morzyński, Szczepański 2020; Zradziński i in. 2020a; 2020c; 2021a; 2021b; Zradziński 2022).

Urządzenia nasobne (ang. *wearables*) stanowiące wyposażenie użytkownika funkcjonującego w systemie IoT mogą zawierać różnorodne czujniki (lokalizacji, ruchu, medycznych parametrów funkcjonowania organizmu, chemicznych lub fizycznych parametrów środowiska itp.), które są noszone np. w kieszeni, na hełmie ochronnym lub w formie podobnej do pierścienia, zawieszki, bransoletki, zegarka.

Pole elektromagnetyczne (pole-EM) w systemach IoT jest emitowane przez specjalizowane elementy urządzeń (moduły radiowe wyposażone w anteny nadawcze).

Pole-EM emitowane przez urządzenia IoT oddziałuje bezpośrednio na użytkowników takich urządzeń, a także na osoby przebywające w otoczeniu i znajdujące się tam obiekty materialne (Aerts i in. 2019; Calderon i in. 2019; Peyman i in. 2017; Zradziński i in. 2019; 2020a; 2021a; Zradziński 2022).

Ze względu na procesy elektromagnetyczne zachodzące pod wpływem oddziaływania pola-EM (takie jak indukowanie w obiektach materialnych potencjałów i prądów elektrycznych) ten czynnik środowiskowy może niekorzystnie oddziaływać na zdrowie ludzi i działanie urządzeń elektronicznych, w tym elektronicznych implantów medycznych (AIMD, ang. *Active Implantable Medical Devices*), takich jak: stymulatory serca, pompy insulinowe, implanty słuchowe (Zradziński i in. 2018). Rodzaj skutków takiego oddziaływania (bezpośrednich biofizycznych lub pośrednich z udziałem oddziaływania na urządzenia) jest głównie uzależniony od częstotliwości pola-EM (wyrażanej w: hercach, megahercach lub gigahercach – odpowiednio: Hz, MHz lub GHz), a skala zagrożeń elektromagnetycznych związanych z tymi skutkami – od poziomu narażenia (wyrażanego np. w voltach na metr, V/m) i czasu trwania oddziaływania. Z tego powodu w celu zapewnienia bezpiecznych i higienicznych warunków pracy konieczne jest



Rycina. 1. Przykładowa struktura sieci IoT wykorzystywanej w środowisku pracy: Un – urządzenia nasobne użytkowane przez pracowników, wyposażone w moduły łączności bezprzewodowej; Ms – urządzenia pomiarowe/czujniki; AP – lokalny punkt dostępowy; C/K – centrala sieci (serwery komputerowe); strzałki oznaczają połączenia bezprzewodowe (szare – Wi-Fi, przerywane – Bluetooth) lub kablowe (czarne – ethernet kablowy), (materiały ilustracyjne, CIOP-PIB, LM)

rozpoznanie charakterystyki pola-EM w środowisku pracy (częstotliwości pola-EM, lokalizacji jego źródeł, poziomu i czasu trwania oddziaływania na pracujących), aby adekwatnie ocenić niepożądane skutki jego oddziaływania na ludzi i obiekty materialne oraz podjąć w razie potrzeby środki ochronne, ograniczające zagrożenia elektromagnetyczne.

Na podstawie danych literaturowych wykazano, że ocena oddziaływania na otoczenie w środowisku ogólnym odbywa się na podstawie wyników pomiarów pola-EM w odległościach przekraczających 50 cm od urządzeń IoT lub ich komponentów (Pääkkönen, Korpinen 2018; Peymaniin.2017). Przynajmniej w procedurze badawczej, w odległości ponad 50 cm od niewielkich źródeł pola-EM (często mierzących tylko kilka centymetrów lub mniejszych) rozpoznawana jest ekspozycja pomijalna (tj. oddziaływanie pola-EM strefy bezpiecznej, określonej na podstawie polskich przepisów prawa pracy). Jednak w środowisku pracy, ze względu na ocenę zagrożeń elektromagnetycznych, konieczne jest rozpoznanie parametrów narażenia również w pobliżu urządzeń wyposażonych w moduły radiokomunikacyjne, gdzie mogą przebywać pracownicy.

Scenariusze najsilniejszego narażenia na pole-EM przy urządzeniach IoT wskazują, że narażenie powinno być oceniane dla każdego przypadku elektromagnetycznego oddziaływania związanego z użytkowaniem nasobnych urządzeń IoT lokalizowanych w pobliżu ludzi, a nawet bezpośrednio na ich ciele. W takim przypadku lokalnego narażenia na pole-EM, w odległości od jego źródła mniejszej od 20 cm, zgodnie z międzynarodowymi

wymaganiami dotyczącymi oceny zagrożeń elektromagnetycznych konieczne są nie tylko pomiary bezpośrednio przy źródle, ale również ocena biofizycznych skutków bezpośrednich oddziaływania pola-EM na podstawie wyników modelowania komputerowego np. skorelowanego ze skutkami termicznymi absorpcji energii elektromagnetycznej współczynnika SAR (współczynnik szybkości pochłaniania właściwej energii, ang. *Specific Absorption Rate*), (Dyrektywa 2013/35/UE). Podobne wymagania określono również w dyrektywie 2014/53/UE (RED), zgodnie z którą ocena narażenia na pole-EM od urządzeń radiowych powinna obejmować wszystkie zamierzone, a także dające się racjonalnie przewidzieć warunki eksploatacji urządzeń (Dyrektywa 2014/53/UE).

Ponadto, ze względu na skutki przewlekłego (wieloletniego) oddziaływania pola-EM, Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem (IARC 2013), będąca agendą Światowej Organizacji Zdrowia (WHO), zaklasyfikowała pole-EM do czynników przypuszczalnie rakotwórczych dla ludzi (grupa 2B) – na podstawie m.in. wyników badań epidemiologicznych przeprowadzonych wśród użytkowników telefonów komórkowych. W związku z tym zalecenia międzynarodowe promują racjonalne działania ograniczające takie oddziaływanie na ludzi, określane często jako dobre praktyki podejmowane zgodnie z zasadą ostrożności (ang. *Precautionary Principle*) lub ALARA (ang. *As Low As Reasonably Achievable*). Również dyrektywa 2013/35/UE zobowiązuje pracodawców do odpowiedniego dostosowania organizacji pracy i wyposażenia stanowisk pracy

w celu obniżenia oddziaływania pola-EM oraz poprawy bezpieczeństwa i ochrony zdrowia pracowników, uwzględniając postęp techniczny i rozwój

wiedzy naukowej dotyczącej zagrożeń związanych z narażeniem na pole-EM (p. 12 i 13 preambuły), (Dyrektywa 2013/35/UE).

NASOBNE URZĄDZENIA IoT

Nasobne urządzenia pracujące w systemach IoT wykorzystują bezprzewodową transmisję danych,

a także energii poprzez różnego rodzaju emisje elektromagnetyczne (tab. 1).

Tabela 1. Parametry technologii radiokomunikacji najczęściej stosowanych w systemach IoT wykorzystujących urządzenia nasobne

Technologia radiokomunikacji	Wykorzystywane pasma częstotliwości, MHz	Maksymalna szybkość transferu danych	(#1) Maksymalna emitowana moc z anteny nieautoryzowanego nadajnika ^(*) (#2) Poziomy pola-EM wymagany do zasilenia znacznika [specyfikacja techniczna]
(#1) zawierające źródło zasilania (autonomiczne)			
Wi-Fi 2G	2400–2483,5	600 Mbps	100 mW EIRP [PN-ETSI EN 300 328 V2.2.2:2020-03]
Wi-Fi 5G	5150–5350 5470–5725	3,5 Gbps	200 mW EIRP 1000 mW EIRP [PN-ETSI EN 301 893 V2.1.1:2017-11]
GSM / GPRS	880–915; 925–960; 1710–1785; 1805–1880	9,6 kbps / 115 kbps	2000 mW EIRP 1000 mW EIRP [ETSI TR 103 182 V1.1.1 (2016-09)]
UMTS / HSPA+	1885–2025 lub 2110–2200	2 Mbps / 42 Mbps	2000 mW EIRP [ETSI TS 125 101 V11.14.0 (2018-04)]
LTE / LTE-M / NB-IoT	791–821; 832–862; 1710–1785; 1805–1880; 1920–1980; 2110–2170; 2500–2690	300 Mbps/ 1 Mbps / 235 kbps	1250 mW EIRP / 200 mW EIRP / 200 mW EIRP [ETSI TS 136 101 V15.9.0 (2020-02)]
Bluetooth / Bluetooth LE / ZigBee	2400–2480	50 Mbps / 2 Mbps / 250 kbps	100 mW (klasa 1) EIRP 2,5 mW (klasa 2) EIRP 1 mW (klasa 3) EIRP [PN-ETSI EN 300 328 V2.2.2:2020-03]
(#2) zasilane energią przekazaną bezprzewodowym łączem elektromagnetycznym (bez autonomicznego źródła zasilania)			
RFID LF	0,120–0,140	5 kbps	brak danych
RFID HF (#2)	13,56	424 kbps	0,15 A/m [ISO/IEC 15693-1:2018] 1,5 A/m (klasy 1–3) 2 A/m (klasa 4) 2,5 A/m (klasa 5) 4,5 Am (klasa 6) [ISO/IEC 14443-2:2020]
RFID UHF (#1)	865–868 915–921	640 kbps	4000 mW ERP 2000 mW ERP [ETSI EN 302 208 V3.3.1 (2020-08)] 0,5–2 V/m (**)

Objaśnienia:

(*) użytkowanie urządzeń o silniejszej emisji wymaga odpowiedniego zezwolenia administracyjnego (w Polsce z Urzędu Kontroli Elektronicznej).

(**) poziomy pola-EM wymagane do zasilenia typowych znaczników (czułości) pasywnych systemów RFID UHF (*Nikitin* i in. 2009).

EIRP (ang. *Equivalent Isotropically Radiated Power*) – równoważna moc promieniowana izotropowo.

ERP (ang. *Effective Radiated Power*) – równoważna moc promieniowana; EIRP [W] = 1,64 ERP [W].

W systemach IoT często wykorzystuje się czytniki i znaczniki RFID (ang. *RadioFrequency Identification*). Terminem RFID określa się technologię elektronicznej (automatycznej) kontroli obiektów lub dostępu, wykorzystującą bezprzewodowe (radiowe) przesyłanie energii elektromagnetycznej do transmisji danych między znacznikami (zwanymi również tagami) i czytnikami, a w razie potrzeby również do bezprzewodowego zasilania znaczników. Znaczniki są elektronicznymi układami stosowanymi w zindywidualizowanym etykietowaniu obiektów, wyposażonymi w antenę i procesor z pamięcią, na której zakodowana jest informacja nt. oznakowanego obiektu (np. jego numer identyfikacyjny, termin ważności, skład chemiczny, stan zdrowia itp.). Rozróżnia się znaczniki pasywne (niezawierające źródła zasilania) i aktywne (zawierające źródło zasilania – akumulator lub baterię). System RFID uzupełniają czytniki – urządzenia, które stanowią platformę wymiany danych drogą radiową między oznakowanymi obiektami nadzorowanymi przez system IoT a systemem zarządzającym takimi obiektami (wysyłają/odbierają sygnał do/ze znacznika, mogą modyfikować informacje przechowywane przez znacznik, a także zasilają bezprzewodowo znaczniki pasywne).

Najistotniejszym ze względu na bezpieczeństwo i higienę pracy źródłem pola-EM wśród urządzeń IoT są zwykle czytniki RFID. Zagrożenia elektromagnetyczne związane z użytkowaniem urządzeń nasobnych determinuje podział czytników RFID ze względu na sposób ich użytkowania na:

- obsługiwane przez pracownika (najczęściej trzymane w dłoni lub ustawione na stole),
- autonomiczne (najczęściej bramkowe, naścienne lub montowane w autonomicznym urządzeniu mobilnym – robocie).

W procesie oceny elektromagnetycznego oddziaływania na środowisko pracy związanego z użytkowaniem nasobnych urządzeń IoT istotny jest również ich podział ze względu na źródło zasilania modułów radiowych na:

- zawierające autonomiczne źródło zasilania modułu radiowego (np. wykorzystującego takie standardy radiokomunikacji, jak: Bluetooth, Wi-Fi, publiczne systemy telefonii komórkowej i inne),
- niezawierające własnego źródła zasilania modułu radiowego – zasilane energią

przekazaną z zewnątrz bezprzewodowym łączem elektromagnetycznym (np. z czytników zasilających znaczniki pasywne systemów RFID).

W pierwszym przypadku zagrożenia elektromagnetyczne dotyczą użytkowników urządzeń nasobnych i ich otoczenia. Natomiast w drugim zagrożenia elektromagnetyczne mogą dotyczyć zarówno użytkowników urządzeń nasobnych (np. podczas skanowania pasywnych znaczników RFID wbudowanych w ich odzież ochronną), jak i innych osób przebywających w pobliżu aktywnych źródeł wykorzystywanej w systemie energii elektromagnetycznej (np. czytników RFID ręcznie obsługiwanych lub autonomicznych zainstalowanych w pobliżu miejsca ich pracy), niezależnie od tego, czy osoby te biorą udział w wykorzystywaniu systemu IoT.

Technologie, protokoły i standardy komunikacji bezprzewodowej najczęściej stosowane w emisyjach z/do nasobnych urządzeń IoT charakteryzują szeroki zakres:

- częstotliwości pola-EM: od 0,1 MHz (RFID LF) do 5900 MHz (Wi-Fi 5G),
- maksymalnego zasięgu komunikacji: od pojedynczych centymetrów (RFID LF) do kilkunastu kilometrów (NB-IoT),
- przepustowości danych: od 5 kbps (RFID LF) do 3,5 Gbps (Wi-Fi 5G),
- maksymalnej mocy: od 1 mW do 4000 mW dla urządzeń niewymagających odpowiedniego zezwolenia z Urzędu Kontroli Elektronicznej (UKE), a nawet znacznie większej po uzyskaniu odpowiedniego zezwolenia.

Poziom emitowanej mocy jest jednym z najważniejszych parametrów wpływających na poziom zagrożeń elektromagnetycznych w otoczeniu urządzenia radiokomunikacyjnego. Odpowiednie dane charakteryzujące ten parametr powinny być zawarte w dokumentacji urządzeń, a w przypadku ich braku należy zwrócić się o nie do producenta/dostawcy urządzeń. Poziomy emitowanej mocy są wyrażane jako: równoważna moc promieniowana izotropowo (EIRP) lub równoważna moc promieniowana (ERP). Regulacje dotyczące maksymalnych poziomów mocy emitowanej przez różnego typu urządzenia wprowadzane

do obrotu rynkowego w państwach Unii Europejskiej (bez zezwolenia administracyjnego np. z UKE), a także dokumentacje techniczne urzędów, operują zarówno wartościami EIRP, jak i ERP. Parametry te są powiązane zależnością: $EIRP [W] = 1,64 ERP [W]$, jednak ich rozróżnienie nie ma istotnego wpływu na ocenę zagrożeń elektromagnetycznych, które są proporcjonalne do poziomu mocy emitowanej ze źródła pola-EM oddziałującego na pracownika, ponieważ różnice wartości liczbowej charakteryzującej poziom emisji jako EIRP lub ERP są porównywalne z poziomem niepewności oceny zagrożeń elektromagnetycznych (np. modelowania komputerowego współczynnika SAR).

Zasięg odczytu (ZO) jest najistotniejszym parametrem funkcjonalnym systemu IoT, w którym wykorzystuje się identyfikowanie nadzorowanych obiektów poprzez mocowane do nich znaczniki RFID. Parametr ten oznacza odległość od czytelnika, w jakiej jest on zdolny rozpoznać znacznik, odczytać zakodowane na nim informacje, zapisać nowe dane na znaczniku i w razie potrzeby zasilić go bezprzewodowo poprzez oddziaływanie energii elektromagnetycznej. Fizyczny ZO można oszacować w środowisku pracy przy urządzeniach IoT doświadczalnie – bez konieczności stosowania specjalistycznego oprzyrządowania pomiarowego. Fizyczny ZO jest determinowany przez czułość znaczników, czułość czytelnika i poziom emitowanej z niego mocy. Czułość typowych pasywnych znaczników RFID UHF zawiera się

w przedziale 0,5–2 V/m (co w praktyce oznacza, że przy określonym ZO poziom pola-EM emitowanego z czytelnika niezbędny do odczytania znacznika o czułości 0,5 V/m jest 4-krotnie słabszy od niezbędnego do odczytania znacznika o czułości 2 V/m), a znaczników RFID HF zawiera się w przedziale 0,15–4,5 A/m (odpowiadając aż 30-krotnemu różnicowaniu poziomu pola-EM niezbędnemu dla uzyskania określonego ZO). Co najmniej w takim zakresie poziom narażenia pracowników zależy od rodzaju użytych znaczników – o ile nie są stosowane nadmiarowe fizyczne ZO w stosunku do potrzeb funkcjonalnych danej konfiguracji systemu IoT. Natomiast poziom współczynnika SAR w takich okolicznościach różni się proporcjonalnie do kwadratu poziomu narażenia (tj. odpowiednio 16- i 900-krotnie).

Poza poziomem emisji z czytelnika RFID, jej przebieg czasowy i czułość znaczników są najistotniejszymi parametrami ze względu na poziom zagrożeń elektromagnetycznych podczas ich użytkowania. Czytelniki RFID podczas pracy ze znacznikami pasywnymi emitują ciągle pole-EM o współczynniku wypełnienia od 0,1 do 0,8 w przebiegu czasowym – w zależności od aplikacji i wymaganych parametrów przesyłanych informacji lub energii. Również współczynnik SAR w organizmie narażonego w pobliżu anteny pracownika jest ze względu na uśrednianie w czasie proporcjonalny do współczynnika wypełnienia, zatem przy różnych czytelnikach o danym zasięgu odczytu istotnie się różni.

OCHRONA PRZED ZAGROŻENIAMI ELEKTROMAGNETYCZNYMI

Wymagania dotyczące środowiska pracy

W prawie pracy kryteria oceny zagrożeń elektromagnetycznych i narażenia pracujących określono poprzez limity dotyczące dwóch rodzajów wielkości charakteryzujących parametry pola-EM w środowisku pracy i skutki jego oddziaływania [DzU 2018, poz. 331(t.j.), par. 3]:

- Graniczne Poziomy Oddziaływania (GPO), rozumiane jako graniczne limity miar zagrożeń elektromagnetycznych związanych ze skutkami oddziaływania bezpośredniego pola-EM na ludzi – określonych za pomocą modelowania komputerowego,

- Interwencyjne Poziomy Narażenia (IPN), rozumiane jako operacyjne limity miar narażenia na pole-EM w miejscu pracy – możliwych do zmierzenia w realnych warunkach środowiska pracy lub do oszacowania analitycznego bądź metodami symulacji komputerowych na podstawie parametrów technicznych źródeł pola-EM i środowiska, w jakim ono jest użytkowane.

W omawianym przypadku pola-EM o częstotliwości z zakresu od 100 kHz do 10 GHz, do którego najczęściej zaliczają się pola-EM emitowane przez źródła użytkowane w urządzeniach IoT, limity GPO są związane z oceną skutków termicznych występujących w organizmie człowieka pod wpływem oddziaływania pola-EM. Są to limity dotyczące współczynnika SAR (wyrażanego w watach na kilogram, W/kg), uśrednionego w dowolnych 6-minutowych okresach ekspozycji), określone następująco:

- GPO-SAR_{cc} = 0,4 W/kg (wartość SAR uśredniana względem całego ciała),
- GPO-SAR_{gt} = 10 W/kg (miejscowa wartość SAR w głowie i tułowie, uśredniona w 10 g tkanki),
- GPO-SAR_k = 20 W/kg (miejscowa wartość SAR w kończynach, uśredniona w 10 g tkanki).

Wspomniane limity IPN określają poziomy operacyjny umożliwiające uproszczoną ocenę, czy narażenie spełnia wymagania określone przez limity GPO dotyczące ochrony przed bezpośrednimi skutkami oddziaływania pola-EM lub ocenę zagrożeń związanych z pośrednim oddziaływaniem pola-EM (m.in. indukowanymi elektromagnetycznie zakłóceniami zamierzonego funkcjonowania urządzeń elektronicznych czy prądami kończyno-

wymi pojawiającymi się wskutek oddziaływania pola-EM) oraz w celu określenia tzw. „przestrzeni pola-EM stref ochronnych” i zastosowania tam odpowiednich środków ochronnych. Jako przestrzeń pola-EM stref ochronnych określono taką część środowiska pracy, w której poziom pola-EM przekracza limit IPN dotyczący dolnej granicy strefy pośredniej (IPN_p). Przebywanie pracujących w przestrzeni pola-EM stref ochronnych określono jako narażenie kontrolowane lub niebezpieczne – zależnie od jego poziomu (spełniające wymagania prawa pracy pod warunkiem dostosowania zastosowanych w środowisku pracy środków ochronnych do okoliczności narażenia pracujących – dotyczących zarówno charakterystyki narażenia, jak również charakterystyki zamierzonej aktywności pracujących i charakterystyki tych pracujących pod względem ich wrażliwości na skutki oddziaływania pola-EM). Limity IPN w omawianym przypadku określono w odniesieniu do natężenia pola elektrycznego (pola-E, wyrażonego w voltach na metr, V/m) i natężenia pola magnetycznego (pola-M, wyrażonego w amperach na metr, A/m), chociaż podczas oceny narażenia na pole-EM o częstotliwości przekraczającej 800 MHz wartość zmierzonego natężenia pola-M można zastąpić odpowiednią wartością obliczoną na podstawie wyników pomiaru pola-E (tab. 2).

Tabela 2. Limity Interwencyjnych Poziomów Narażenia (IPN) dotyczące pola-EM wybranych częstotliwości [DzU 2018, poz. 1286]

Zakres częstotliwości	Wartości natężenia pola elektrycznego dotyczące limitu, E, V/m		Wartości natężenia pola magnetycznego dotyczące limitu, H, A/m	
	IPN _p -E	IPN _{ob} -E	IPN _p -H	IPN _{ob} -H
0,1–3 MHz	20	200	0,06 / f_{MHz}	1,6 / f_{MHz}
3–10 MHz	7	600 / f_{MHz}	0,02	1,6 / f_{MHz}
0,01–300 GHz	7	60	0,02	0,16

Objaśnienia:

f_{MHz} – częstotliwość wyrażona w MHz.

IPN_p – dolny limit pola-EM stref ochronnych (przestrzeni pola-EM strefy pośredniej); limity IPN_p są wykorzystywane w procesie zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy; jeśli E lub H przekracza limit IPN_p w środowisku pracy, należy ocenić zagrożenia elektromagnetyczne w miejscu pracy i wdrożyć tam odpowiednie środki ochronne.

IPN_{ob} – limit operacyjny bazy pola-EM; limity IPN_{ob} są wykorzystywane do operacyjnej oceny dotrzymania limitów GPO z wykorzystaniem wyników pomiarów natężenia pola-E i pola-M, w środowisku pracy gdzie rozpoznano narażenie niebezpieczne (alternatywnie do bezpośredniej oceny spełnienia limitów GPO z wykorzystaniem wyników symulacji współczynnika SAR) [DzU 2018, poz. 331 (t.j.), zał. 3, cz. II].

Jeżeli w przestrzeni pracy występuje pole-EM strefy niebezpiecznej, to konieczna jest szczegółowa ocena zagrożeń elektromagnetycznych odnosząca się do bezpośrednich skutków oddziaływania pola-EM na pracujących (tj. ocena odnosząca się do zgodności z wymaganiami określającymi limity GPO, dotyczące współczynnika SAR). Ten drugi stopień oceny zagrożeń elektromagnetycznych wymaga bezpośredniego wykorzystania wyników symulacji komputerowych współczynnika SAR lub jest oceniany przez porównanie odpowiednio uśrednionych w dziedzinie czasu wartości natężenia pola-E i pola-M do wartości limitu bazowego (IPNob). W omawianym przypadku ekwiwalentna do oceny zgodności z limitami SAR uśrednionego podczas 6-minutowego okresu narażenia jest ocena natężenia pola-E i pola-M również uśrednionego w okresie dowolnych 6 minut narażenia. Najgorszym przypadkiem narażenia jest w każdym razie ciągle oddziaływanie pola-EM o wartości maksymalnej w miejscu przebywania pracowników. Do oceny narażenia można przyjąć słabszy poziom oddziaływania pola-EM, jeśli pracodawca może wykazać, że maksymalne narażenie trwające ciągle 6 minut jest niemożliwe, np. kiedy współczynnik wypełnienia w czasie emitowanego przez urządzenie pola-EM jest mniejszy od jeden (emisja kluczowana w czasie), wtedy jako wartość średnią na potrzeby oceny zgodności z limitami SAR można przyjąć wartość maksymalną pomnożoną przez współczynnik wypełnienia emitowanego pola-EM. W przypadku swobodnego dostępu pracowników w pobliże źródła pola-EM w większości wypadków brak jest podstaw do przyjęcia, że maksymalne narażenie nie może trwać 6 minut lub dłużej.

Wymagania dotyczące urządzeń

Parametry techniczne urządzeń elektrycznych i elektronicznych (m.in. medycznych) wprowadzanych do obrotu rynkowego na terenie państw Unii Europejskiej powinny być zgodne z wymaganiami szeregu regulacji prawnych (tab. 3).

Potwierdzeniem spełnienia wymagań poszczególnych regulacji prawnych i zharmonizowanych z nimi wymagań technicznych, określonych przez normy europejskie lub międzynarodowe, jest Deklaracja Zgodności, która powinna być na każdą prośbę klienta przedstawiana przez producentów, importerów bądź dostawców. Deklaracja Zgodności dotyczy nowego wyrobu lub grupy podobnych wyrobów (zwykle pojedynczego, więc typowy jest brak Deklaracji dla urządzeń złożonych z wielu wyrobów posiadających indywidualne Deklaracje). Deklarowane parametry nowego urządzenia mogą również ulec istotnemu pogorszeniu wskutek degradacji technicznej urządzenia podczas jego długotrwałego użytkowania, co wymaga okresowej oceny ze względu na możliwe pogorszenie warunków pracy przy wyeksploatowanych urządzeniach.

Jednym z głównych elementów łączących wymienione regulacje prawne jest kompatybilność elektromagnetyczna (EMC, ang. *Electromagnetic Compatibility*). Przykładowo, zgodnie z postanowieniami Dyrektywy RED, urządzenia radiowe powinny być konstruowane w taki sposób, aby zapewnić odpowiedni poziom kompatybilności elektromagnetycznej zgodnie z Dyrektywą EMC. Ponadto, zgodnie z Dyrektywą RED:

„Producent dokonuje oceny zgodności urządzenia radiowego w celu spełnienia zasadniczych

Tabela 3. Wybrane regulacje prawne, których spełnienie jest wymagane w stosunku do parametrów technicznych urządzeń elektrycznych i elektronicznych (m.in. medycznych) wprowadzanych do obrotu rynkowego na terenie państw Unii Europejskiej

Dyrektywa, rozporządzenie (nazwa skrótowa)	Opis
2014/35/UE (LVD)	dyrektywa niskonapięciowa – dotyczy sprzętu elektrycznego przeznaczonego do użytku przy napięciu zasilania z zakresów 50–1000 V prądu przemiennego oraz 75–1500 V prądu stałego, z wyjątkiem sprzętu wymienionego w załączniku II dyrektywy
2014/53/UE (RED)	dyrektywa radiowa – dotyczy urządzeń radiowych, tj. produktów elektrycznych lub elektronicznych, które celowo emitują lub odbierają fale radiowe na potrzeby radiokomunikacji lub radiolokacji
2014/30/UE (EMC)	dyrektywa kompatybilności elektromagnetycznej – dotyczy komponentów, podzespołów, urządzeń i instalacji elektrycznych oraz elektronicznych
2017/745 (MDR), zastępujące 93/42/EWG (MDD)	rozporządzenie dotyczące wyrobów medycznych

wymagań określonych w art. 3. Ocena zgodności obejmuje wszystkie przewidywane warunki eksploatacji, a w przypadku zasadniczego wymagania określonego w art. 3 ust. 1 lit. a) – również dające się racjonalnie przewidzieć warunki. Jeżeli urządzenie radiowe może występować w różnych konfiguracjach, ocena zgodności potwierdza, czy urządzenie to spełnia zasadnicze wymagania określone w art. 3 we wszystkich możliwych konfiguracjach”.

Normy EMC można podzielić na normy ogólne dotyczące konkretnych środowisk użytkowania (przemysłowe, domowe) oraz normy szczegółowe dotyczące grup wyrobów, a w innym ujęciu na normy dotyczące:

- emisji zaburzeń (określonych jako: jakiegokolwiek zjawisko elektromagnetyczne, które może pogorszyć działanie urządzenia – szum elektromagnetyczny, niepożądaný sygnał lub zmiana w samym ośrodku propagacji),
- odporności (określonej jako: zdolność urządzenia do działania zgodnie z przeznaczeniem bez pogorszenia jakości w przypadku wystąpienia zaburzenia elektromagnetycznego).

Przykładowe, typowe poziomy testów odporności EMC określone w normach międzynarodowych przedstawiono w tabeli 4. Poziomy testowe określone w szczegółowych normach wyrobów mogą się od nich różnić i należy je uwzględnić w odpowiednich procedurach testowych. Z różnych względów praktycznych wiele tanich elementów i urządzeń elektronicznych spełnia wymagania EMC tylko w odniesieniu do oddziaływania testowego pola-EM o niskim poziomie. Przykładowo, gdy producent urządzenia deklaruje, że odporność urządzenia na oddziaływanie pola-EM o częstotliwości radiowej na poziomie 3 V/m jest wystarczająca, może ono zostać oznakowane jako spełniające wymagania EMC, chociaż będzie ono podatne na zakłócenia w środowisku pracy w polu-EM stref ochronnych, gdy oddziałujące na takie urządzenie pole-EM będzie wielokrotnie silniejsze (np. pole-EM strefy pośredniej o natężeniu 9 V/m).

Ponadto, na skutek szybkiego rozwoju technologicznego wymagania techniczne norm są cyklicznie aktualizowane przez tzw. poprawki (ang. *amendment*). Przykładem jest norma

PN-EN 60601-1-2:2015-11/A1:2021-07 dotycząca badań odporności na zakłócenia elektromagnetyczne medycznych urządzeń elektrycznych. W poprawce A1:2021-07 do tej normy po raz pierwszy określono poziomy testowe dotyczące pola-EM o częstotliwościach wykorzystywanych przez systemy RFID LF (dotyczące pola-EM o częstotliwości 134,2 kHz) i RFID HF (dotyczące pola-EM o częstotliwości 13,56 MHz). Zgodnie z obwieszczeniem Prezesa Polskiego Komitetu Normalizacyjnego (PKN), normą zharmonizowaną jest nadal tylko norma PN-EN 60601-1-2:2015-11 [Monitor Polski 2022, poz. 421], co oznacza, że medyczne urządzenia elektryczne wprowadzane do obrotu rynkowego na terenie państw Unii Europejskiej powinny być zgodne z normą podstawową bez uwzględnienia poprawki.

Jeśli w Deklaracjach Zgodności zapisy dotyczące spełnienia wymagań podstawowych różnych wydań poszczególnych norm nie określają, który poziom testowego pola-EM został uwzględniony, to użytkownik urządzenia może nie mieć jasności, do jakiej wersji wymagań norm odnosi się Deklaracja, a w ślad za tym, do jakiego poziomu pola-EM oddziałującego na urządzenie w środowisku pracy można traktować jako wystarczającą jego odporność na indukowane elektromagnetycznie zakłócenia (nawet jeśli w przeprowadzonych badaniach EMC były uwzględnione takie poziomy testowe). Przy braku danych w analizie pośrednich zagrożeń elektromagnetycznych należy brać pod uwagę możliwość, że Deklarację Zgodności wystawiono dla urządzenia na podstawie oceny odporności elektromagnetycznej dotyczącej najniższego poziomu testowego, określonego w przywołanej w Deklaracji normie (a więc nawet odnośnie do poziomu testowego 1 V/m, gdy deklaracja odnosi się do PN-EN 61000-4-3:2021-06 i brak wymagań bardziej szczegółowych dla danego urządzenia).

Ocena pośrednich zagrożeń elektromagnetycznych jest szczególnie istotna w przypadku oceny narażenia użytkowników AIMD. Zakłócenie wywołane ze względów zdrowotnych użytkownika funkcjonowania różnego typu AIMD (np. kardio- czy neurostymulatory) może spowodować zagrożenie bezpieczeństwa i zdrowia użytkowników AIMD oraz przebywających w otoczeniu innych pracowników. W skrajnie niekorzystnych okolicznościach może spowodować nawet zagrożenie życia użytkownika pozbawionego wsparcia

istotnych funkcji życiowych wskutek niewłaściwego działania AIMD lub wypadku wynikającego z jego niedyspozycji.

Należy również zwrócić uwagę na fakt, że w normie dotyczącej wymaganej odporności urządzeń medycznych brak jest specyfikacji dotyczącej testów odporności na oddziaływanie pola-EM o częstotliwości z zakresu 3,4–3,8 GHz, które wykorzystują np. systemy WiMax (ang. *Worldwide Interoperability for Microwave Access*), a ponadto jest to tzw. pasmo średnie planowanej komercyjnej

sieci 5G, natomiast norma ogólna przewiduje w tym pasmie częstotliwości testy odporności już przy poziomie 1 V/m. W razie wprowadzenia nowych wymagań w tym zakresie, dopiero po wielu latach można oczekiwać, że wszystkie urządzenia użytkowane w środowisku pracy będą z nimi zgodne.

Aktualne wykazy norm zharmonizowanych z dyrektywami są cyklicznie publikowane w Monitorze Polskim (jako Obwieszczenia Prezesa Polskiego Komitetu Normalizacyjnego).

Tabela 4. Typowe poziomy pola-EM podczas testów odporności EMC

Norma określająca wymagania	Zakres częstotliwości pola-EM	Poziomy testowe
Wszystkie urządzenia		
PN-EN 61000-4-8:2010	50/60 Hz	1; 3; 10; 30 lub 100 A/m
PN-EN 61000-4-39:2017-07(*)	9–150 kHz	1; 3; 10 lub 30 A/m
PN-EN 61000-4-39:2017-07(*)	150 kHz–26 MHz	0,1; 0,3; 1 lub 3 A/m
PN-EN 61000-4-3:2021-06	80–1000 MHz; 1400–6000 MHz	1; 3; 10 lub 30 V/m
Urządzenia medyczne (w tym elektroniczne implanty medyczne, AIMD)		
PN-EN 60601-1-2:2015-11/ A1:2021-07(*)	134,2 kHz	65 A/m (*)
	13,56 MHz	7,5 A/m (*)
PN-EN 60601-1-2:2015-11	80–2700 MHz	3 V/m dotyczy UPOM lub 10 V/m dotyczy UDOM
	380–390 MHz	27 V/m dotyczy UPOM i UDOM
	430–470 MHz; 800–960 MHz; 1700–1990 MHz; 2400–2570 MHz	28 V/m dotyczy UPOM i UDOM
	704–787 MHz; 5100–5800 MHz	9 V/m dotyczy UPOM i UDOM

Objaśnienia:

(*) poprawka normy niezharmonizowana (co oznacza, że jej stosowanie nie jest obowiązkowe).

UPOM – urządzenia użytkowane w środowisku profesjonalnej opieki medycznej.

UDOM – urządzenia użytkowane w środowisku domowej opieki medycznej.

POZIOMY EKSPOZYCJI PRZY URZĄDZENIACH IoT

Analiza parametrów emitowanego pola-EM i warunków użytkowania różnorodnych urządzeń, tworzących systemy IoT (np. wykorzystujących technologie Wi-Fi, Bluetooth, RFID i podobne) wykazała, że w otoczeniu tych urządzeń występuje pole-EM (PWCZ – pole-EM wielkiej częstotliwości lub PMF – promieniowanie mikrofalowe) stref ochronnych, o zasięgach zależnych od rodzaju urządzenia i parametrów jego pracy (tab. 5).

Stwierdzono również występowanie przestrzeni pola-EM strefy niebezpiecznej w otoczeniu typowych urządzeń RFID HF (czyli narażenia niebezpiecznego w razie przebywania tam pracowników) – ze względu na poziom pola-EM wymagany do zasilania znaczników pasywnych, wspomnianych w tabeli 1.

Tabela 5. Rozpoznane w otoczeniu urządzeń IoT zasięgi przestrzeni pola-EM stref ochronnych oraz odległości, do których oddziaływanie emitowanego pola-EM przekracza poziom wymagany w testach odporności urządzeń medycznych

Urządzenie	Zasięg przestrzeni pola-EM stref ochronnych ^(a)	Zasięg przestrzeni pola-EM strefy niebezpiecznej ^(b)	Odległość bezpieczna dla użytkowników AIMD ^(c)
Bluetooth (klasy 2 i 3)	do 20 cm	nie występuje ^(**)	brak ograniczeń ^(****)
Wi-Fi 2G	do 20 cm	nie występuje ^(**)	brak ograniczeń ^(****)
Wi-Fi 5G	do 20 cm	nie występuje ^(**)	>20 cm
RFID LF	do 150% ZO	nie występuje ^(**)	brak ograniczeń ^(****)
RFID HF zgodny z: ISO/IEC 15693-1:2018	do 200% ZO	do 60% ZO	brak wymagań >10% ZO ^(#)
ISO/IEC 14443-2:2020	do 800% ZO ^(****)	do 250% ZO ^(****)	brak wymagań >80% ZO ^{(#),(****)}
RFID UHF zgodny z: ETSI EN 302 208	do 30% ZO ^(****)	nie występuje ^(**)	>70% ZO ^(****)

Objaśnienia:

- ^{(a), (b)} limity i zasady oceny dotyczące zasięgu pola-EM stref ochronnych określono w rozporządzeniach ministra ds. pracy [DzU 2018, poz. 331(t.j.); DzU 2018, poz. 1286].
 - ^(c) odległość, do której emitowane pole-EM jest silniejsze od poziomu wymaganego w testach odporności elektromagnetycznej urządzeń użytkowanych w środowisku profesjonalnej opieki medycznej (wg PN-EN 60601-1-2:2015-11).
 - ^(#) odległość, do której emitowane pole-EM jest silniejsze od poziomu wymaganego w testach odporności elektromagnetycznej (wg PN-EN 60601-1-2:2015-11/A1:2021-07 – poprawka normy niezharmonizowana).
 - ^(**) jeżeli w minimalnej odległości, w której możliwe jest wykonanie pomiarów pola-EM według wymagań rozporządzeń ministra ds. pracy (patrz ^{(a), (b)} – tzn. 5 cm), pole-EM jest słabsze od dolnej granicy strefy niebezpiecznej.
 - ^(****) przy wykorzystaniu w systemie IoT znaczników najmniej czułych, przy wykorzystywaniu znaczników czulszych należy przyjąć krótsze zasięgi/odległości.
 - ^(****) o ile producent AIMD lub urządzenia IoT nie określił inaczej, brak ograniczeń dotyczących bezpieczeństwa użytkowników AIMD wskazano w przypadku, jeżeli w minimalnej odległości, w której możliwe jest wykonanie pomiarów pola-EM według wymagań rozporządzeń ministra ds. pracy (patrz ^{(a), (b)} – tzn. 5 cm) jest ono słabsze od poziomu wymaganego w testach odporności elektromagnetycznej (wg PN-EN 60601-1-2:2015-11).
- ZO – zasięg odczytu, tj. największa odległość od czytnika, z jakiej może on rozpoznać znaczniki (tzn. oddziaływanie pola-EM emitowanego przez czytnik jest wystarczające do zasilenia układów elektronicznych znacznika pasywnego i transmisji danych zawartych w jego pamięci lub zapisania nowych danych do tej pamięci), determinowana wymaganiami technologicznymi (czułość znaczników) i poziomem mocy emitowanej z czytnika.

PODSTAWY OCENY ZAGROŻEŃ ELEKTROMAGNETYCZNYCH ZWIĄZANYCH Z UŻYTKOWANIEM URZĄDZEŃ IoT

W środowisku pracy w ocenie zagrożeń elektromagnetycznych w pobliżu urządzeń IoT należy rozważyć trzy następujące przypadki (tab. 6) dotyczące:

- sposobu użytkowania nasobnych urządzeń IoT,

- sposobu ręcznej obsługi urządzeń IoT,
- miejsca przebywania w pobliżu autonomicznych urządzeń IoT.

Tabela 6. Ocena zagrożeń elektromagnetycznych w pobliżu urządzeń IoT

Użytkowanie urządzeń nasobnych	Ręczna obsługa urządzeń	Przebywanie w pobliżu urządzeń autonomicznych
Rozpoznanie istotnych parametrów emisji EM		
Określenie częstotliwości i przebiegu czasowego emitowanego pola-EM na podstawie: – specyfikacji technicznej lub, w przypadku braku informacji, konsultacji z producentem/dostawcą – weryfikacji eksperymentalnej za pomocą analizatora widma lub oscyloskopu z kalibrowaną anteną		
Wyznaczenie zasięgu pola-EM stref ochronnych w środowisku pracy		
Na podstawie mierzonych niezależnie wartości natężenia pola-E i pola-M (E i H), [DzU 2018, poz. 331 (t.j.), zał. 3]: – mierzonych bez obecności ludzi w otoczeniu urządzenia, obejmującym każdą możliwą lokalizację pracowników lub urządzeń elektronicznych, z odpowiednią rozdzielczością przestrzenną (np. co 10 cm) – miejsca pomiarów istotnie różne od stosowanych w testach emisji w ramach badań EMC – mierzonych za pomocą profesjonalnego urządzenia pomiarowego, kalibrowanego przy częstotliwościach odpowiadających emisji urządzeń IoT i potwierdzonej odporności na pozapasmowe oddziaływanie pola-EM		
co najmniej do odległości: – 20 cm od anteny urządzenia Wi-Fi, Bluetooth	co najmniej do odległości: – 20 cm od anteny urządzenia Wi-Fi, Bluetooth – 200% ZO od anteny czytnika RFID HF zgodnego z ISO/IEC 15693 – 800% (***) ZO od anteny czytnika RFID HF zgodnego z ISO/IEC 14443 – 30% (***) ZO od anteny czytnika RFID UHF zgodnego z ETSI EN 302 208	
Ocena pośrednich zagrożeń-EM w środowisku pracy (w tym dotyczących zakłóceń pracy AIMD)		
Na podstawie: – zmierzonych wartości E i H , określających rozkład przestrzenny pola-EM i zasięg stref ochronnych – Deklaracji Zgodności (o ile dostępna jest w niej informacja, przy jakich poziomach testowego pola-EM została potwierdzona odporność na zakłócenia EMC urządzeń użytkowanych w środowisku pracy, w tym AIMD) – zmierzonych wartości, E lub H , określających odległość od anteny urządzenia IoT, do których wartości E lub H przewyższają poziomy pola-EM stosowane w testach odporności EMC (tab. 4) urządzeń użytkowanych w środowisku pracy (w tym AIMD)		
– do 20 cm od urządzenia Wi-Fi 5G (*)	– do 20 cm od urządzenia Wi-Fi 5G (*) – do 10% ZO od czytnika RFID HF zgodnego z ISO/IEC 15693 (**).(***) – do 80% ZO od czytnika RFID HF zgodnego z ISO/IEC 14443 (**).(***) – do 70% ZO od czytnika RFID UHF zgodnego z ETSI EN 302 208 *(.)(**)	
Ocena bezpośrednich zagrożeń EM		
Wymagana, na podstawie oceny wartości $SAR^{(****)}$, w razie narażenia pracowników w pobliżu:		
– urządzeń IoT wykorzystujących Wi-Fi lub Bluetooth (klasy 1), o emisji EIRP>15 mW	– czytników RFID UHF o ciągłej emisji, przy ERP>5 W (wymagające pozwolenia UKE) – czytników RFID HF o ZO>70 cm (zgodnych z ISO/IEC 15693) – czytników RFID HF o ZO>10 cm (zgodnych z ISO/IEC 14443)	– czytników RFID UHF o ciągłej emisji, przy ERP>10 W (wymagające pozwolenia UKE) – czytników RFID HF o ZO>100 cm (zgodnych z ISO/IEC 15693) – czytników RFID HF o ZO>15 cm (zgodnych z ISO/IEC 14443)
– w przypadku kluczowanej emisji pola-EM na potrzeby oceny zagrożeń-EM podane powyżej wartości EIRP lub ERP należy podzielić przez właściwy współczynnik wypełnienia emitowanego pola-EM – w przypadku oceny zagrożeń-EM dotyczących użytkowników AIMD (osoby szczególnie chronione) ocenę wartości SAR należy przeprowadzić przy emisjach dwukrotnie niższych niż podane powyżej (<i>Zradziński i in.</i> 2020b)		

Objaśnienia:

- (*) odległości, do których występuje pole-EM silniejsze niż poziom wymagany w testach odporności urządzeń użytkowanych w środowisku profesjonalnej opieki medycznej wg PN-EN 60601-1-2:2015-11.
- (**) odległości, do których występuje pole-EM silniejsze niż poziom wymagany w testach odporności urządzeń wg PN-EN 60601-1-2:2015-11/A1:2021-07 – poprawka normy niezharmonizowana.
- (***) przy wykorzystaniu znaczników najmniej czułych, przy wykorzystywaniu znaczników czulszych krótsze.
- (****) SAR – współczynnik szybkości pochłaniania właściwego energii, w W/kg; ocena dotyczy: SAR_k (kończyny) lub SAR_g (głowa i tułów) przy urządzeniach nasobnych; SAR_k – przy ręcznej obsłudze urządzeń, SAR_g – w przypadku przebywania w pobliżu urządzeń.
- ZO – zasięg odczytu, tj. największa odległość od czytnika, z jakiej może on rozpoznać znaczniki (jak w tab. 5), determinowana przez wymagania technologiczne (czułość znaczników) i poziom emitowanej mocy z czytnika.
- E – natężenie pola elektrycznego, w V/m.
- H – natężenie pola magnetycznego, w A/m.
- Zagrożenie-EM – zagrożenie elektromagnetyczne.
- EMC – kompatybilność elektromagnetyczna.

ZAGROŻENIA ELEKTROMAGNETYCZNE ZWIĄZANE Z UŻYTKOWANIEM NASOBNYCH URZĄDZEŃ IoT

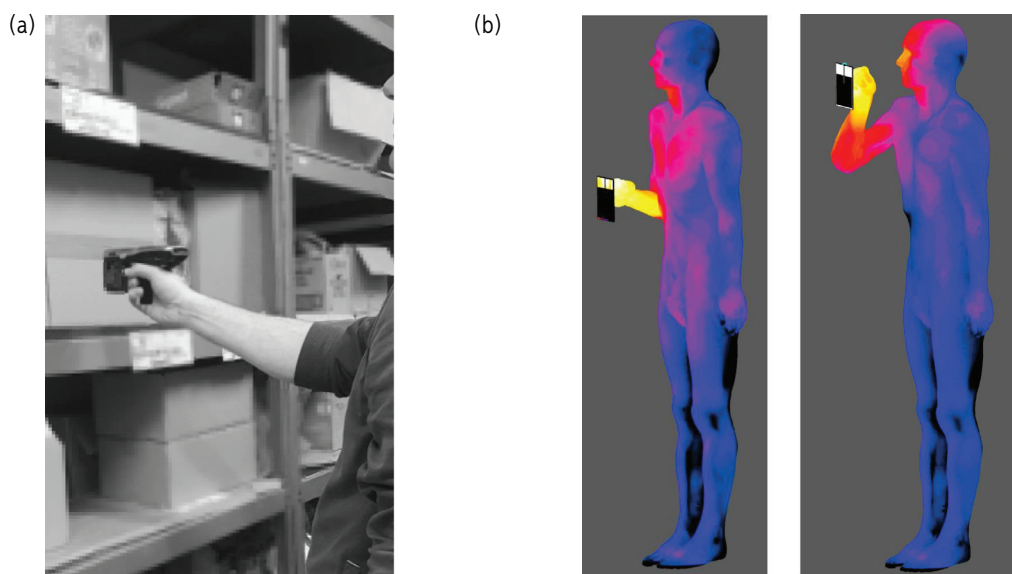
Przy użytkowaniu nasobnych urządzeń IoT konieczne jest dostosowanie środków ochronnych, dotyczących ograniczania bezpośrednich i pośrednich zagrożeń elektromagnetycznych w środowisku pracy, do przewidywanego sposobu i okoliczności użytkowania urządzenia (sposobu noszenia, wymaganego zasięgu łączności bezprzewodowej między komponentami systemu IoT (ZO), parametrów dielektrycznych środowiska, w jakim urządzenie ma realizować swoje funkcje) oraz parametrów emitowanego przez nie pola-EM (jego częstotliwości i mocy).

Zagrożenia pośrednie w przestrzeni pola-EM stref ochronnych są oceniane zgodnie z wymaganiami prawa pracy (głównie na podstawie wyników pomiarów pola-EM w środowisku pracy). Poziom pola-EM emitowanego przez urządzenia IoT (o omawianych tutaj parametrach technicznych) przekracza w ich pobliżu najniższe poziomy testowego pola-EM, przy których odporność elektromagnetyczną urządzeń elektronicznych powinni potwierdzić ich producenci. W związku z tym oddziaływanie pola-EM w przestrzeni stref ochronnych, emitowanego przez urządzenia IoT (szczególnie przez czytniki RFID), może stanowić zagrożenie dla użytkowników takich urządzeń

(wynikające z nieprawidłowej pracy urządzeń spowodowanej zakłóceniami indukowanymi elektromagnetycznie, tj. skutków pośrednich oddziaływania pola-EM), mimo że formalnie może być okazana Deklaracja Zgodności potwierdzająca, że spełniają one wybrane kryteria odporności elektromagnetycznej (tab. 4). Zagrożenia tego typu mogą być szczególnie groźne dla bezpieczeństwa i zdrowia pracowników, jeśli nadmierne oddziaływanie pola-EM i spowodowane nim zakłócenia dotyczą urządzeń medycznych (np. podczas narażenia użytkowników AIMD).

Jeśli urządzenia IoT znajdują się w niewielkiej odległości od pracowników, wymagane jest przeprowadzenie oceny zgodności poziomu ich narażenia z limitami GPO określonymi przez prawo pracy. Ponadto (jak przedstawiono powyżej) w otoczeniu urządzeń RFID HF występuje przestrzeń pola-EM strefy niebezpiecznej, w której (zgodnie z prawem pracy) tymczasowe narażenie jest dopuszczalne tylko wtedy, gdy nie zostaną przekroczone limity GPO.

W przypadku urządzeń IoT ocena zgodności z kryteriami GPO odnosi się do modelowanych komputerowo wartości współczynnika SAR (ryc. 2).



Rycina 2. Przykładowy ręcznie obsługiwany czytnik RFID (a) oraz rozkłady współczynnika SAR w modelach ciała użytkowników (b); jaśniejszym kolorem oznaczono większe wartości SAR (Zradziński i in. 2020b)

Przeprowadzone badania modelowe przy ciągłej emisji promieniowania elektromagnetycznego urządzeń IoT wykazały, że warunki do przekroczenia limitów SAR, dotyczących środowiska pracy występują przykładowo:

- przy nasobnym urządzeniu z łączem Wi-Fi 2G lub Bluetooth, o równoważnej mocy promieniowanej izotropowo przekraczającej 15 mW, umocowanym w odległości 2 mm od ciała (dotyczy SAR_{gt}),
- przy ręcznie obsługiwanym czytniku RFID UHF, o równoważnej mocy promieniowanej przekraczającej 5 W (dotyczy SAR_k),
- przy autonomicznym czytniku RFID UHF, o równoważnej mocy promieniowanej przekraczającej 10 W, znajdującym się w odległości 5 cm od ciała (dotyczy SAR_{cc} lub SAR_{gt}),
- przy ręcznie obsługiwanym czytniku RFID HF zgodnym z ISO/IEC 15693-1:2018, o ZO przekraczającym 70 cm, trzymanym w dłoni (dotyczy SAR_k),
- przy autonomicznym czytniku RFID HF zgodnym z ISO/IEC 15693-1:2018, o ZO przekraczającym 100 cm, znajdującym się w odległości 5 cm od ciała (dotyczy SAR_{gt}),
- przy ręcznie obsługiwanym czytniku RFID HF zgodnym z ISO/IEC 14443-2:2020, o ZO przekraczającym 10 cm, trzymanym w dłoni (dotyczy SAR_k),
- przy autonomicznym czytniku RFID HF zgodnym z ISO/IEC 14443-2:2020, o ZO przekraczającym 15 cm, znajdującym się w odległości 10 cm od ciała (dotyczy SAR_{gt}).

W przypadku pracy z czytnikami RFID emitującymi pole-EM o mniejszym współczynniku wypełnienia w przebiegu czasowym (typowo od 0,1 do 0,8 podczas pracy ze znacznikami pasywnymi) wymienione powyżej graniczne wartości emitowanej mocy, określone ze względu na ocenę zgodności współczynnika SAR z odpowiednimi

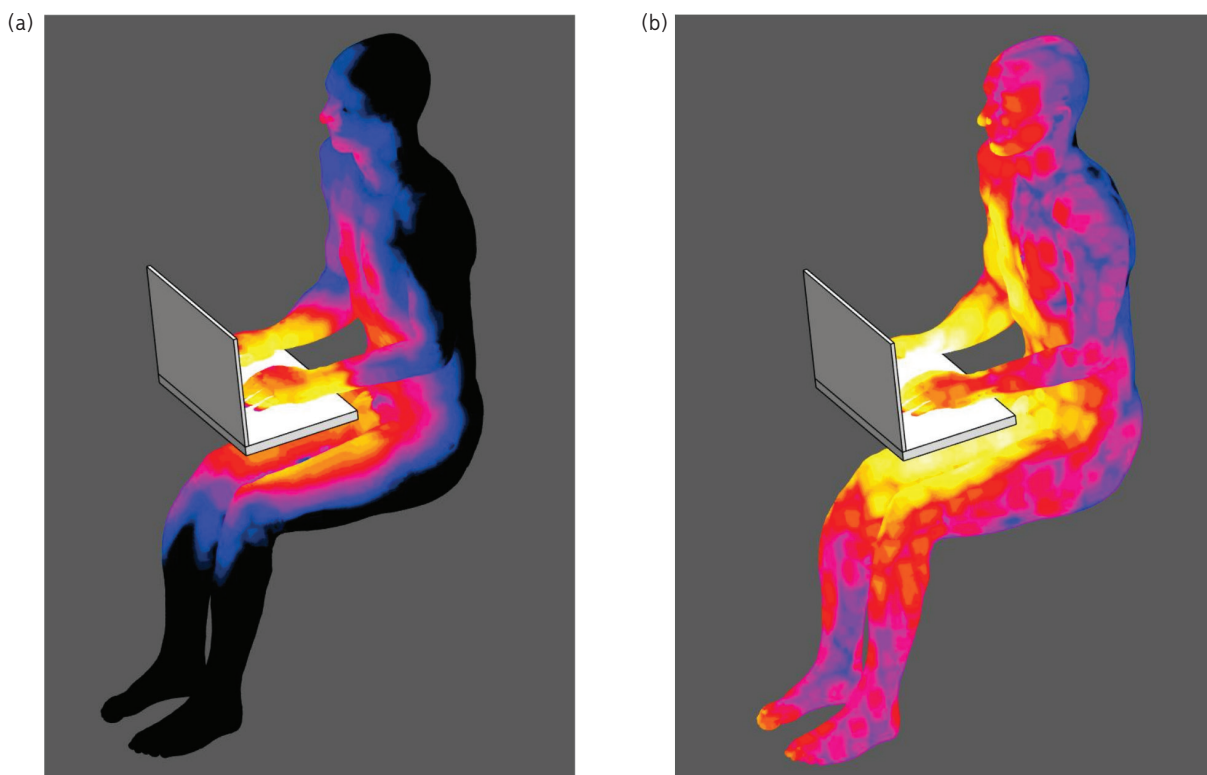
limitami, należy podzielić przez właściwy współczynnik wypełnienia w czasowej charakterystyce emisji.

Charakterystyka absorpcji energii elektromagnetycznej w organizmie, a w konsekwencji również wartości współczynnika SAR zależą od częstotliwości pola-EM oddziałującego na pracownika. Przeprowadzone badania modelowe wykazały przykładowo, że przy maksymalnej mocy promieniowania emitowanego przez modem (niewymagającej odpowiedniego zezwolenia z UKE, tab. 1) wartości SAR od urządzeń Wi-Fi 5G (z pasma 5,4–5,7 GHz) są nawet 3-krotnie większe od wartości SAR od urządzeń Wi-Fi 2G (z pasma 2,40–2,48 GHz), (ryc. 3).

Zalecenia dotyczące stosowania środków ochronnych, jakie powinny być stosowane zgodnie z wymaganiami prawa pracy celem ograniczania zagrożeń elektromagnetycznych podczas użytkowania nasobnych urządzeń IoT, omówiono w załączniku. Jako najistotniejsze i trwałe cechy systemowego ograniczania omawianych zagrożeń elektromagnetycznych można traktować korzystanie w środowisku pracy z urządzeń pracujących:

- przy najniższym poziomie emisji pola-EM z modułów radiokomunikacyjnych,
- przy najdalszej odległości modułów radiokomunikacyjnych od pracowników,
- przy najkrótszym oddziaływaniu na pracowników pola-EM emitowanego z modułów radiokomunikacyjnych,

dotyczące szczególnie osób spędzających wiele godzin w miejscu pracy w pobliżu urządzeń IoT podczas zróżnicowanego użytkowania lub nadzoru tych urządzeń lub podczas innych zajęć wykonywanych w pobliżu miejsc lokalizacji różnych elementów funkcjonalnych systemów IoT, które są źródłami emisji elektromagnetycznych.



Rycina 3. Przykładowe rozkłady współczynnika SAR w modelu ciała użytkownika urządzenia wyposażonego w modem Wi-Fi 2G (a) oraz Wi-Fi 5G (b), przy maksymalnej emitowanej mocy, jaka nie wymaga zezwolenia UKE; jaśniejszym kolorem oznaczono większe wartości SAR

PODSUMOWANIE

1) Pole-EM może negatywnie wpływać na stan zdrowia ludzi i ich zdolność do pracy. Dlatego narażenie na pole-EM powinno być nadzorowane i ograniczane zgodnie z wymaganiami prawa pracy przy uwzględnieniu nieustannego rozwoju wiedzy naukowej dotyczącej rozpoznawania bezpośrednich i pośrednich skutków oddziaływania pola-EM, również wieloletniego.

2) W otoczeniu wielu urządzeń IoT z modułami radiokomunikacyjnymi występuje przestrzeń pola-EM stref ochronnych, o zasięgach zależnych od rodzaju urządzenia i parametrów jego pracy, przy urządzeniach RFID HF występuje także przestrzeń pola-EM strefy niebezpiecznej.

3) W przestrzeni pola-EM stref ochronnych, występującej bezpośrednio przy urządzeniach radiokomunikacyjnych wykorzystywanych w systemach IoT, przekroczone są również poziomy

testowego pola-EM, wykorzystywanego podczas oceny odporności na zakłócenia elektromagnetyczne urządzeń elektronicznych, m.in. urządzeń medycznych (AIMD).

4) Przy urządzeniach IoT konieczne jest dostosowanie środków ochronnych mających na celu ograniczenie bezpośrednich i pośrednich zagrożeń elektromagnetycznych do okoliczności i poziomu narażenia pracowników i innych obiektów materialnych w środowisku pracy.

5) Wobec szybkiego rozwoju i znacznego zróżnicowania konstrukcyjnego szczególnie urządzeń pracujących w technologii RFID, kluczowych dla dalszego upowszechnienia zastosowań systemów IoT, należy liczyć się z pojawieniem się nowych aplikacji o parametrach odbiegających od omówionych w niniejszej publikacji.

INTRODUCTION

The Internet of Things (IoT) is an IT-functional network connecting autonomous devices. The operation of IoT systems, including mobile objects, including employees, requires the use of wireless data transmission (in some technologies also energy) via electromagnetic emissions (Fig. 1), (Zradziński et al. 2021c). They are increasingly commonly implemented in many sectors of the economy, e.g. manufacturing industry, construction, transport, agriculture, science, healthcare, and even in uniformed services or military activities (Morzyński 2019; Morzyński, Szczepański 2020; Zradziński et al. 2020a; 2020c; 2021a; 2021b; Zradziński 2022).

Wearables, which are the equipment of the user operating in the IoT system, may contain various sensors (location, motion, medical parameters of the body's functioning, chemical or physical parameters of the environment, etc.) and are worn, for example, in a pocket or on a protective helmet, or in a form similar to a ring, pendant, bracelet or watch.

The electromagnetic field (EMF) in IoT systems is emitted by specialised elements of devices (radio modules equipped with transmitting antennas). The EMF emitted by IoT devices directly affects the users of such devices, as well as anyone present in the vicinity and material objects located there (Aerts et al. 2019; Calderon et al. 2019; Peyman et al. 2017; Zradziński et al. 2020a; 2021a; Zradziński 2022).

Due to electromagnetic processes occurring under the influence of EMF (such as the induction of electric potentials and currents in material objects), this environmental factor may have an adverse effect on human health and the operation of electronic devices, including electronic medical implants (Active Implantable Medical Devices, AIMD), such as pacemakers, insulin pumps, and hearing implants (Zradziński et al. 2018). The type of effects this influence (direct biophysical or indirect including of the effects on the devices) may have largely depends on the frequency of the EMF (expressed in hertz, megahertz or gigahertz – Hz, MHz or GHz, respectively) and the scale of electromagnetic hazards related to these effects depends on the level of exposure (expressed e.g. in volts per metre, V/m) and duration of exposure. For this reason, in order to ensure safe and hygienic working conditions, it is necessary to recognise the characteristics of the EMF in the work environment (EMF frequency, location of sources, level and duration of worker exposure) in order to properly assess the undesirable effects of its influence on people and material objects and, if necessary, to take protective measures to reduce the electromagnetic hazards.

An analysis of the literature shows that an assessment of the environmental influence in the general environment is based on the results

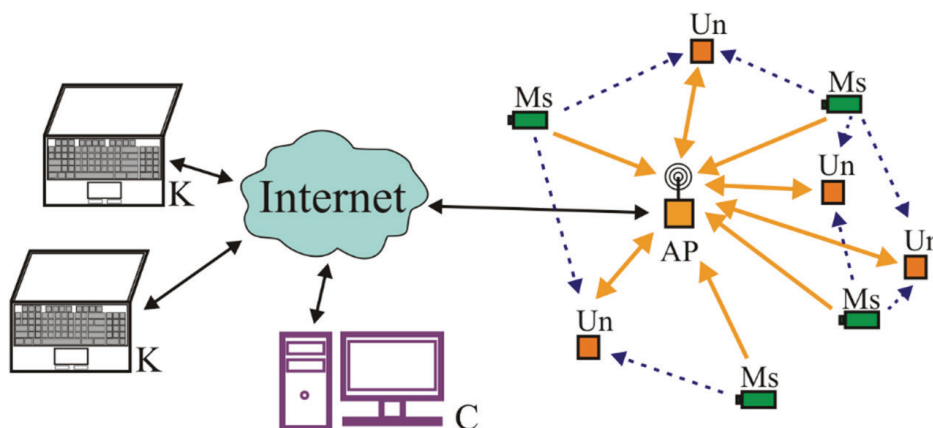


Figure 1. An example of the structure of the IoT network used in the work environment (Un – wearables used by employees, equipped with wireless communication modules; Ms – sensors; AP – local access point; C/K – network main unit (server); arrows indicate wireless connections (grey – Wi-Fi, dashed – Bluetooth) or cable (black – Ethernet) [illustrative materials, CIOP-PIB, LM]

of EMF measurements at distances exceeding 50 cm from IoT devices or their components; (Pääkkönen, Korpinen 2018; Peyman et al. 2017). Using this investigation procedure, at a distance of more than 50 cm from small sources of EMF (often measuring only a few cm or less), negligible exposure (i.e. the EMF influence of the safety zone, defined according to the provisions of Polish labour law) is recognised. However, in the work environment, an assessment of electromagnetic hazards must also recognise the exposure parameters in the vicinity of devices equipped with radiocommunication modules, where workers may be present.

The highest EMF exposure scenarios for IoT devices indicate that exposure should be assessed for each case of electromagnetic influence associated with the use of IoT wearable devices located in the vicinity of humans, or even directly on their bodies. In such a case of local exposure to EMF at a distance less than 20 cm from its source, in accordance with the international requirements for assessing electromagnetic hazards, not only are measurements directly at the source necessary, but also an assessment of the direct biophysical effects of EMF exposure based on the results of computer modelling, e.g. the SAR coefficient (Specific Absorption Rate) correlated with the thermal effects of

electromagnetic energy absorption (Directive 2013/35/EU). Similar requirements are also referenced in Directive 2014/53/EU (RED), according to which an assessment of EMF exposure from radio devices should cover all intended and all reasonably foreseeable operating conditions of equipment (Directive 2014/53/EU).

Due to the effects of chronic (long-term) exposure to EMF, the International Agency for Research on Cancer (IARC 2013), which is an agency of the World Health Organisation (WHO), classified EMF as possibly carcinogenic to humans (group 2B). This is, among other things, based on the results of epidemiological studies conducted among mobile phone users. Therefore, international recommendations promote rational actions to reduce such influence on humans, often referred to as good practice in accordance with the Precautionary Principle or ALARA (As Low As Reasonably Achievable). Directive 2013/35/EU also obliges employers to adapt the organisation of work and equipment of workplaces in order to reduce the effects of the EMF and improve the health and safety protection of workers, taking into account technical progress and the development of scientific knowledge regarding the risks related to exposure to the EMF (p. 12 and 13 of the preamble of Directive 2013/35/EU).

IoT WEARABLE DEVICES

Wearable devices working in IoT systems use wireless data transmission and energy harvesting through various types of electromagnetic emissions (Table 1).

IoT systems often use RFID (RadioFrequency IDentification) readers and tags. RFID is an electronic (automatic) object or access control technology that uses the wireless (radiofrequency) transmission of electromagnetic energy to transmit data between tags and readers and, if necessary, to power up the tags wirelessly. Tags are electronic circuits used in the individual labelling of objects, equipped with an antenna and a processor with memory on which information about the tagged object is encoded, namely its identification

number, expiry date, chemical composition, state of health, etc. There are passive tags (not containing a power source) and active (containing a power source – an accumulator or battery). The RFID system is complemented by readers – devices that are a platform for data exchange by radio transmission between the tagged objects supervised by the IoT system and the system managing such objects (they transmit/receive a signal to/from the tag and have the ability to modify the data stored in its memory, as well as wirelessly supply passive tags).

RFID readers are usually the most important source of EMF among IoT devices in terms of occupational health and safety. Electromagnetic

hazards related to the use of wearable devices determine the distinction of RFID readers according to the way they are used, into:

- employee-operated (most often held in the hand or placed on a table),
- autonomous (most often gate, wall-mounted or mounted in an autonomous mobile device – a robot).

In the process of assessing the electromagnetic influence on the work environment related to the use of IoT wearable devices, it is also important

to divide them due to the power source of radio modules into:

- those containing an autonomous power source for the radio module, e.g. using radiocommunication standards such as: Bluetooth, Wi-Fi, public mobile telecommunication systems and so on,
- those not containing a power source for the radio module – powered up by energy transmitted from outside, via a wireless electromagnetic link, e.g. powering passive tags of RFID systems.

Table 1. Parameters of radiocommunication technologies most often used in IoT systems using wearables

Communication technology	Used frequency bands [MHz]	Maximum transfer rate	(#1) Maximum emitted power from the antenna of an unauthorised transmitter (*) (#2) EMF required to power up the tag [technical specification]
(#1) containing a power source (autonomous)			
Wi-Fi 2G	2400–2483,5	600 Mbps	100 mW EIRP [PN-ETSI EN 300 328 V2.2.2:2020-03]
Wi-Fi 5G	5150–5350 5470–5725	3.5 Gbps	200 mW EIRP 1000 mW EIRP [PN-ETSI EN 301 893 V2.1.1:2017-11]
GSM / GPRS	880–915; 925–960; 1710–1785; 1805–1880	9.6 kbps / 115 kbps	2000 mW EIRP 1000 mW EIRP [ETSI TR 103 182 V1.1.1 (2016-09)]
UMTS / HSPA+	1885–2025 or 2110–2200	2 Mbps / 42 Mbps	2000 mW EIRP [ETSI TS 125 101 V11.14.0 (2018-04)]
LTE / LTE-M / NB-IoT	791–821; 832–862; 1710–1785; 1805–1880; 1920–1980; 2110–2170; 2500–2690	300 Mbps / 1 Mbps / 235 kbps	1250 mW EIRP / 200 mW EIRP / 200 mW EIRP [ETSI TS 136 101 V15.9.0 (2020-02)]
Bluetooth / Bluetooth LE / ZigBee	2400–2480	50 Mbps / 2 Mbps / 250 kbps	100 mW (class 1) EIRP 2.5 mW (class 2) EIRP 1 mW (class 3) EIRP [PN-ETSI EN 300 328 V2.2.2:2020-03]
(#2) powered by energy transmitted by a wireless electromagnetic link (without an autonomous power source)			
RFID LF	0.120–0.140	5 kbps	no information
RFID HF (#2)	13.56	424 kbps	0.15 A/m [ISO/IEC 15693-1:2018] 1.5 A/m (classes 1–3) 2 A/m (class 4) 2.5 A/m (class 5) 4.5 A/m (class 6) [ISO/IEC 14443-2:2020]
RFID UHF (#1)	865–868 915–921	640 kbps	4000 mW ERP 2000 mW ERP [ETSI EN 302 208 V3.3.1 (2020-08)] 0.5–2 V/m (**)

Explanations:

(*) the use of devices with higher emissions requires an appropriate administrative permission (in Poland from the Office of Electronic Communications)

(**) EMF required to power up typical passive RFID UHF tags (sensitivities), (*Nikitin et al. 2009*)

EIRP – Equivalent Isotropically Radiated Power

ERP – Effective Radiated Power; EIRP [W] = 1.64 ERP [W]

In the first case, electromagnetic hazards concern the users of wearable devices and those in their vicinity. In the second case, electromagnetic hazards may affect both the users of wearable devices (e.g. when scanning passive RFID tags embedded in their protective clothing) as well as people who are in the vicinity of active sources of electromagnetic energy used in the system (e.g. manually operated RFID readers or autonomous systems installed near their workplace), regardless of whether these people are involved in using the IoT system.

Technologies, protocols and wireless communication standards most often used in emissions from/to IoT wearable devices are characterised by a wide range of:

- EMF frequency (from 0.1 MHz (RFID LF) to 5900 MHz (Wi-Fi 5G)),
- maximum communication range (from single centimeters (RFID LF) to several kilometers (NB-IoT)),
- maximum data transfer rate (from 5 kbps (RFID LF) to 3.5 Gbps (Wi-Fi 5G)),
- maximum emitted power (from 1 mW to 4000 mW – for devices that do not require an appropriate permission from the Office of Electronic Communications (UKE), and even much higher after obtaining the appropriate permission).

The level of emitted power is one of the most important parameters influencing the level of electromagnetic hazards in the vicinity of a radiocommunication device. Appropriate data characterising this parameter should be included in the device documentation, and if this is not available, the user should ask the manufacturer/provider of the device for it. The levels of emitted power are expressed as Equivalent Isotropically Radiated Power (EIRP) or Effective Radiated Power (ERP). Regulations on the maximum levels of power emitted by various types of devices placed on the European Union market (without an administrative permission, e.g. from UKE), as well as technical documentation of devices, operate with both EIRP and ERP values. The relationship between these parameters is as follows: $EIRP [W] = 1.64 ERP [W]$, though the distinction does not have a significant impact on the assessment of electromagnetic hazards that are proportional to the level of emitted power from the EMF source

affecting the worker. This is because the differences in the numerical values characterising the level of emissions as EIRP or ERP are comparable to the uncertainty level of the assessment of electromagnetic hazards, e.g. computer modelling of SAR.

The reading range (RR) is the most important functional parameter of the IoT system, which uses the identification of monitored objects by means of RFID tags attached to them. This parameter indicates the distance from the reader at which it is able to recognise the tag, read the information encoded on it, write new data to the tag and, if necessary, power up it wirelessly through electromagnetic energy. Physical RR can be assessed experimentally in the work environment in the vicinity of IoT devices without the need to use specialised measuring equipment. The physical RR is determined by the sensitivity of the tags, the sensitivity of the reader and the level of emitted power. The sensitivity of typical passive RFID UHF tags is in the range of 0.5-2 V/m (which in practice means that, at a given RR, the level of the EMF emitted from the reader necessary to read a tag with a sensitivity of 0.5 V/m is four-times weaker than what is necessary to read a tag with a sensitivity of 2 V/m), and the sensitivity of RFID HF tags is in the range of 0.15-4.5 A/m (corresponding to as much as 30-times differentiation of the EMF level necessary to obtain a specific RR). The level of worker exposure, at least in this scope, depends on the type of tags used – unless redundant physical ranges are used in relation to the functional needs of a given configuration of the IoT system. However, the SAR level in such circumstances differs proportionally to the square of the exposure level (i.e. 16 and 900 times, respectively).

Apart from the level of emission from the RFID reader, its waveform and the sensitivity of the tags are the most important parameters in terms of the level of electromagnetic hazards during their use. RFID readers, while working with passive tags, continuously emit EMF with a duty cycle from 0.1 to 0.8 in the waveform – depending on the application and the required parameters of the transmitted information or energy. In addition, the SAR in the worker's body exposed near the antenna is proportional to the duty cycle due to the time averaging, so with different readers with a given RR it differs significantly.

PROTECTION AGAINST ELECTROMAGNETIC HAZARDS

Requirements for the work environment

Under the provisions of labour law, the criteria for making an assessment of electromagnetic hazards and workers' exposure are defined by limits on two types of quantities characterising the parameters of the EMF in the work environment and its effects [consolidated text: Journal of Laws 2018, item 331, paragraph 3]:

- GPO, interpreted as limit measures of electromagnetic hazards related to the direct biophysical effects of EMF exposure on humans – determined by computer modelling,
- IPN, interpreted as operational measures of exposure to EMF in the workplace – measurable under real work environment conditions, or estimated by analytical or computer simulation methods, on the basis of the technical parameters of the EMF sources and the environment in which it is used.

In the discussed case, with an EMF from 100 kHz to 10 GHz, which most often includes EMF emitted by the sources used in IoT devices, the GPO limits are related to the assessment of thermal effects in the human body caused by exposure to EMF. These are SAR limits (expressed in watts per kilogram, W/kg) averaged over any six-minute exposure period) as follows:

- GPO-SAR_{cc} = 0.4 W/kg (SAR value averaged over the whole body),
- GPO-SAR_{gt} = 10 W/kg (local SAR value in the head and torso, averaged over 10 g of tissue),
- GPO-SAR_{lk} = 20 W/kg (local SAR value for the limbs, averaged over 10 g of tissue).

The IPNs define the operational levels enabling a simplified assessment of whether the exposure complies with the requirements specified by the GPOs to protect against the direct effects of EMF exposure, or for an assessment of hazards related to indirect effects of EMF exposure (including electromagnetically induced disturbances in the intended operation of electronic devices or the sensation of limb currents due to the influence of EMF), and to define the EMF space of protection zones and apply appropriate protective measures there. The part of the work environment where the EMF level exceeds the IPNs for the lower limit of the intermediate zone (IPN_p) was defined as the EMF space of protection zones. The worker's presence in the EMF protection zones is defined as a controlled or dangerous exposure – depending on the level. It may meet the requirements of labour law on the condition that protective measures used in the work environment are adapted to the circumstances of exposure of the workers – the nature of the exposure, the intended activity of the workers, as well as the characteristics of those workers in terms of their sensitivity to the effects of EMF exposure. The IPNs in this case were defined in terms of electric field strength (E-field, expressed in volts per metre, V/m) and magnetic field strength (H-field, expressed in amperes per metre, A/m), although, during the assessment of exposure to EMF with a frequency exceeding 800 MHz, the measured H-field strength may be replaced with an appropriate value calculated on the basis of the results of the E-field measurement (Table 2).

Table 2. Intervention Exposure Limits related to EMF at selected frequency ranges [J.L. 2018, item 1286]

Frequency range	Values of electric field strength [E, V/m] regarding limit		Values of magnetic field strength [H, A/m] regarding limit	
	IPN _p -E	IPN _{ob} -E	IPN _p -H	IPN _{ob} -H
0.1–3 MHz	20	200	$0.06 / f_{MHz}$	$1.6 / f_{MHz}$
3–10 MHz	7	$600 / f_{MHz}$	0.02	$1.6 / f_{MHz}$
0.01–300 GHz	7	60	0.02	0.16

Explanations:

f_{MHz} – frequency in MHz

IPN_p – the lower limit of EMF in protection zones (EMF space of the intermediate zone) – IPN_p limits are used in the process of occupational health and safety management: if *E* or *H* exceeds the IPN_p limit in the work environment, it is necessary to assess the electromagnetic hazards in the workplace and apply appropriate protective measures

IPN_{ob} – EMF base operational limit – IPN_{ob} are used for the operational assessment of compliance with the GPO limits using the results of E-field and H-field strength measurements, if dangerous exposure has been identified in the work environment (alternative to a direct assessment of compliance with the GPO limits using the results of SAR simulations) [J.L. 2018, item 331]

If there is a dangerous EMF zone in the workplace, a detailed electromagnetic hazard assessment of the direct effects of EMF exposure on the workers is necessary (i.e. assessment related to compliance with GPO requirements, concerning SAR). This second stage of the electromagnetic hazard assessment requires the direct use of computer simulated SAR values, or is assessed on the basis of appropriately time-domain averaged E-field and H-field values in relation to the base operational limit (IPNob) value. In the discussed case, an assessment of the E-field and H-field averaged over any six-minute exposure period is equivalent to a compliance assessment with the SAR limits averaged over any six-minute exposure period.

The worst case of exposure in any situation is continuous exposure to the EMF at the maximum value in the worker's location. For an exposure assessment, a lower EMF influence level can be

assumed if the employer is able to demonstrate that the maximum exposure for six continuous minutes is not possible. This may be the case, for example, when the duty cycle of the EMF emitted by the device is less than one (keyed emission), in which case the maximum value multiplied by the duty cycle of the emitted EMF may be taken as the average value for the purpose of assessing compliance with SAR limits. In the case of free access for workers in the vicinity of the EMF source, there is usually no reason to assume that the maximum exposure should not be six minutes or longer.

Requirements from devices

The technical parameters of electrical and electronic devices (including medical devices) placed on the market in the European Union should comply with the requirements of a number of legal regulations (Table 3).

Table 3. Selected European Directives that must be complied with in order to place electrical and electronic devices (including medical devices) on the market in the European Union

Directive, regulation (acronym)	Description
2014/35/EU (LVD)	low voltage directive - applies to electrical equipment designed for use with a voltage rating of between 50 and 1 000 V for alternating current and between 75 and 1 500 V for direct current, other than the equipment and phenomena listed in Annex II.
2014/53/EU (RED)	radio directive – applies to radio equipment, i.e. electrical or electronic product that intentionally emits and/or receives radio waves for the purpose of radio communication and/or radio determination
2014/30/EU (EMC)	electromagnetic compatibility directive – applies to components, sub-assemblies, devices and electrical and electronic installations
2017/745 (MDR), repealing 93/42/ECC (MDD)	regulation on medical devices

Confirmation of compliance with the requirements of individual legal regulations and the technical requirements harmonised with them, as specified by European or international standards, comes in the form of a Declaration of Conformity, which should be provided by manufacturers, importers or providers at every request by a customer. The Declaration of Conformity applies to a new product or a group of similar products (usually just single one, so there is normally no declaration for a device composed of products that have individual declarations). The declared parameters of the new device may also significantly deteriorate as a result of technical degradation of the device during its long-term use, which requires periodic assessment due to the

possible deterioration of working conditions with worn-out devices.

One of the main elements connecting the legal regulations mentioned in Table 3 is electromagnetic compatibility (EMC). For example, in accordance with the provisions of the RED Directive, radio equipment should be constructed to ensure an appropriate level of electromagnetic compatibility as set out in the EMC Directive. In addition, according to the RED Directive:

“The manufacturer shall perform a conformity assessment of the radio equipment with a view to meeting the essential requirements set out in Article 3. The conformity assessment shall take into account all intended operating conditions and, for the essential requirement set out in

point (a) of Article 3(1), the assessment shall also take into account the reasonably foreseeable conditions. Where the radio equipment is capable of taking different configurations, the conformity assessment shall confirm whether the radio equipment meets the essential requirements set out in Article 3 in all possible configurations.”

EMC standards can be divided into: general standards for specific environments of use (industrial, domestic), as well as specific standards for groups of products, or otherwise, standards for:

- emissions of electromagnetic disturbances (defined as: *any electromagnetic phenomenon which may degrade the performance of equipment – electromagnetic noise, an unwanted signal or a change in the propagation medium itself*),
- immunity (defined as: *the ability of equipment to perform as intended without degradation in the presence of an electromagnetic disturbance*).

Examples of typical levels of EMC immunity tests specified in international standards are shown in Table 4. The test levels specified in specific product standards may differ from these ones and should be included in the relevant conformity assessment procedures. For various practical reasons, many low cost electronic components and devices conform to EMC requirements only at low

EMF exposure test levels. For example, when the manufacturer of a device declares that the device’s immunity to radiofrequency EMF of 3 V/m is sufficient, it may be labelled as conforming to EMC requirements, although it will be susceptible to disturbances in the EMF of protection zones in a work environment when the EMF affecting the device will be many times stronger (e.g. the EMF of an intermediate zone with a strength of 9 V/m).

In addition, as a result of rapid technological developments, the technical requirements of the standards are periodically updated (often through amendments). An example of this is PN-EN 60601-1-2: 2015-11/A1:2021-07 concerning immunity tests of electromagnetic disturbances of medical electrical devices. Amendment A1:2021-07 to this standard defines for the first time the test levels for the EMF with frequencies used by the RFID LF (regarding EMF at a frequency of 134.2 kHz) and RFID HF (regarding EMF at a frequency of 13.56 MHz). According to the announcement of the President of the Polish Committee for Standardisation (PKN) [Monitor Polski 2022, item 421], the harmonised standard is still only PN-EN 60601-1-2: 2015-11, which means that medical electrical devices placed on the market in the European Union should comply with this basic standard without taking the amendment into consideration.

Table 4. Typical EMF levels used in EMC immunity tests

Standard specifying requirements	EMF frequency range	Test field strength
all devices		
PN-EN 61000-4-8:2010	50/60 Hz	1; 3; 10; 30 or 100 A/m
PN-EN 61000-4-39:2017-07(*)	9–150 kHz	1; 3; 10 or 30 A/m
PN-EN 61000-4-39:2017-07(*)	150 kHz–26 MHz	0.1; 0,3; 1 or 3 A/m
PN-EN 61000-4-3:2021-06	80–1000 MHz; 1400–6000 MHz	1; 3; 10 or 30 V/m
medical devices (including Active Implantable Medical Devices, AIMD)		
PN-EN 60601-1-2:2015-11/ A1:2021-07(*)	134.2 kHz	65 A/m (*)
	13.56 MHz	7.5 A/m (*)
PN-EN 60601-1-2:2015-11	80–2700 MHz	3 V/m UPOM or 10 V/m UDOM
	380–390 MHz	27 V/m UPOM and UDOM
	430–470 MHz; 800–960 MHz; 1700–1990 MHz; 2400–2570 MHz	28 V/m UPOM and UDOM
	704–787 MHz; 5100–5800 MHz	9 V/m UPOM and UDOM

Explanations:

(*)standard or amendment to the standard, non-harmonised (means that its application is not obligatory)

UPOM – devices used in professional healthcare facility environment

UDOM – devices used in home healthcare environment

If the Declarations of Conformity do not set out what EMF test level was taken into account in the conformity assessment, with the basic requirements of various editions of particular standards, it may not be clear to the user of the device about the requirements of which version of the standards the declaration refers to. Consequently, it will not be clear what level of EMF affecting the device in the work environment can its immunity to electromagnetically induced disturbances be regarded as sufficient (even if such test levels were taken into account in the performed EMC tests). Without such detailed data, the analysis of indirect effects of exposure should take into account the possibility that the Declaration of Conformity was drawn up for the device on the basis of immunity tests regarding the lowest test level, as specified in the standard referred to in the declaration (i.e. even with regard to a test level of 1 V/m, when the declaration refers to PN-EN 61000-4-3: 2021-06 and there are no more specific requirements for a given device).

Assessing the indirect effects of exposure is particularly important when assessing the exposure of AIMD users. Disrupting the functioning of various types of AIMDs that are required for

the health of the user (such as cardio- or neuro-stimulators) may pose a threat to the health and safety of AIMD users and other employees present in the vicinity. In extremely adverse circumstances, it may even endanger the life of the user without the support of vital functions due to the improper operation of AIMD.

In addition, it is worth paying attention to the fact that the standard regarding the required immunity of medical devices does not have detailed specifications concerning EMF immunity tests with a frequency range of 3.4-3.8 GHz, which is used, for example, by WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access) systems, and is also the intermediate band of the planned commercial 5G network, while the general standard in this frequency band provides immunity test levels starting at 1 V/m. If new requirements are introduced in this regard, it is only after many years that it can be expected that all devices used in the work environment will conform with them.

The current lists of harmonised standards are periodically published in Monitor Polski – in the form of announcements of the president of the Polish Committee for Standardisation.

EMF EXPOSURE LEVELS IN THE VICINITY OF IoT DEVICES

The analysis of the parameters of the emitted EMF and the conditions of use of various devices of IoT systems (e.g. using Wi-Fi, Bluetooth, RFID and similar technologies) shows that, in the vicinity of these devices, there is an EMF (HFEMF– high frequency EMF or PMF – microwave radiation) of protection zones with ranges dependent on the type of device and its operating parameters (Table 5). The presence of the EMF space of the

dangerous zone was also found in the vicinity of typical RFID HF devices (i.e. dangerous exposure in the event of workers present there) – due to the level of the EMF required to power up the passive tags mentioned in Table 1.

Table 5. The ranges of the EMF space of protection zones and distances to which the EMF is stronger than the level required in the immunity tests of medical devices specified by PN-EN 60601-1-2:2015-11/A1:2021-07 recognised in the vicinity of IoT devices

Device	Range of EMF space of protection zones	Range of EMF space of dangerous zone	Safe distance for AIMD users ^(*)
Bluetooth (class 2 and 3)	up to 20 cm	does not occur ^(**)	no restrictions ^(****)
Wi-Fi 2G	up to 20 cm	does not occur ^(**)	no restrictions ^(****)
Wi-Fi 5G	up to 20 cm	does not occur ^(**)	> 20 cm
RFID LF	up to 150% RR	does not occur ^(**)	no restrictions ^(****)
RFID HF compliant with: ISO/IEC 15693-1:2018	up to 200% RR	up to 60% RR	no requirements > 10% RR ^(#)
ISO/IEC 14443-2:2020	up to 800% RR ^(***)	up to 250% RR ^(***)	no requirements > 80% RR ^{(#), (***)}
RFID UHF compliant with: ETSI EN 302 208	up to 30% RR ^(***)	does not occur ^(**)	> 70% RR ^(***)

Explanations:

- (*) the distance to which the EMF is stronger than the level required in the electromagnetic immunity tests of devices used in the professional healthcare facility environment (according to PN-EN 60601-1-2: 2015-11)
- (#) the distance to which the EMF is stronger than the level required in electromagnetic immunity tests (according to PN-EN 60601-1-2: 2015-11/A1: 2021-07 – amendment to the standard, non-harmonised)
- (**) where, at the minimum distance where EMF measurements can be made (i.e. 5 cm), the EMF is weaker than the lower limit of the dangerous zone
- (***) when using the less sensitive tags in the IoT system, when using more sensitive tags, shorter ranges/distances should be assumed
- (****) unless otherwise specified by the manufacturer of the AIMD or the IoT device, no restrictions on the safety of AIMD users are indicated if EMF at the minimum distance at which it can be measured (i.e. 5 cm) is weaker than the level required in electromagnetic immunity tests (according to PN-EN 60601-1-2: 2015-11)
- RR – reading range, i.e. the longest distance from the reader at which it can recognise the tags (i.e. the electromagnetic interaction of the EMF emitted by the reader is sufficient to power up the electronic circuits of the passive tag and transmit the data stored in its memory or write new data to this memory), determined by technological requirements (sensitivity of tags) and the level of power emitted by the reader

BASIS FOR ASSESSING ELECTROMAGNETIC HAZARDS RELATED TO THE USE OF IoT DEVICES

In the work environment, when making an assessment of electromagnetic hazards in the vicinity of IoT devices, the following three cases should be considered (Table 6):

- 1) the way wearable IoT devices are used
- 2) the way IoT devices are manually operated
- 3) the worker's locations in the vicinity of autonomous IoT devices.

Table 6. Assessment of electromagnetic hazards in the vicinity of IoT devices

Use of wearable devices	Manual operation of devices	Staying near autonomous devices
Identification of the relevant EMF emission parameters		
Determination of the frequency and waveform of the emitted EMF on the basis of: – technical specification or, in the absence of information, consultations with the manufacturer/provider – experimental verification using a spectrum analyser or oscilloscope with a calibrated antenna		
Determination of the range of EMF of protection zones in the work environment		
On the basis of independently measured values of the E-field and H-field (<i>E</i> and <i>H</i>) [J.L. 2018, item 331]: – measured without the presence of people in the vicinity of the device, including every possible location of workers or electronic devices, with an appropriate spatial resolution (e.g. every 10 cm) – measurement locations significantly different from those used in EMC emission tests – measured with a professional measuring device, calibrated at frequencies corresponding to the emissions of IoT devices and confirmed immunity to out-of-band EMF influence		
at least to the distance of: – 20 cm from the antenna of a Wi-Fi, Bluetooth device	at least to the distance of: – 20 cm from the antenna of a Wi-Fi, Bluetooth device – 200% RR from the antenna of an RFID HF reader compliant with ISO/IEC 15693 – 800% (***) RR from the antenna of an RFID HF reader compliant with ISO/IEC 14443 – 30% (***) RR from the antenna of an RFID UHF reader compliant with ETSI EN 302 208	
Assessment of the indirect effects of EMF exposure in the work environment (including AIMD disturbances)		
Based on: – measured values of <i>E</i> and <i>H</i> , defining the spatial distribution of the EMF and the range of the protection zones – Declaration of Conformity (if it contains information at which EMF test levels the EMC immunity of devices used in the work environment, including AIMD, was confirmed) – measured values, <i>E</i> or <i>H</i> , determining the distance from the antenna of the IoT device, to which the <i>E</i> or <i>H</i> values exceed the EMF levels used in the EMC immunity tests (Table 4) of devices used in the work environment (including AIMD)		
– up to 20 cm from a Wi-Fi 5G device (*)	– up to 20 cm from a Wi-Fi 5G device (*) – up to 10% RR from an RFID HF reader compliant with ISO/IEC 15693 (**),(***) – up to 80% RR from an RFID HF reader compliant with ISO/IEC 14443 (**),(***) – up to 70% RR from an RFID UHF reader compliant with ETSI EN 302 208 *(**),(***)	
Assessment of direct effects of EMF exposure		
Required, on the basis of the $SAR^{(****)}$ assessment, if workers are exposed in the vicinity of:		
– IoT devices using Wi-Fi or Bluetooth (class 1), with EIRP emissions > 15 mW	– RFID UHF readers with continuous emissions at ERP > 5 W (UKE permission required) – RFID HF readers with RR > 70 cm (compliant with ISO/IEC 15693) – RFID HF readers with RR > 10 cm (compliant with ISO/IEC 14443)	– RFID UHF readers with continuous emissions at ERP > 10 W (UKE permission required) – RFID HF readers of RR > 100 cm (compliant with ISO/IEC 15693) – RFID HF readers with RR > 15 cm (compliant with ISO/IEC 14443)
– in the case of keyed emissions of an EMF, for the purposes of the EM hazard assessment, the above EIRP or ERP values should be divided by the appropriate duty factor of the emitted EMF – in the case of the EM hazard assessment of AIMD users (workers at particular risk), the <i>SAR</i> value assessment should be performed at emissions level half of those mentioned above (Zradziński et al. 2020b)		

Explanations:

- (*) the distance to which the EMF is stronger than the level required in the electromagnetic immunity tests of devices used in the professional healthcare facility environment according to PN-EN 60601-1-2: 2015-11.
- (**) the distance to which the EMF is stronger than the level required in electromagnetic immunity tests of devices according to PN-EN 60601-1-2: 2015-11/A1: 2021-07 - amendment to the standard, non-harmonised.
- (***) when using the least sensitive tags, when using more sensitive tags, shorter.
- (****) *SAR* – specific energy absorption rate, in W/kg; the assessment concerns: *SAR*_k (limbs) or *SAR*_{gt} (head and torso) for wearable devices; *SAR*_k – when devices are manually operated, *SAR*_{gt} – when staying near autonomous devices.
- RR – reading range, i.e. the longest distance from the reader at which it can recognise the tags (as in Table 5), determined by technological requirements (the sensitivity of tags) and the level of power emitted by the reader.
- E* – electric field strength, in V/m; *H* – magnetic field strength, in A/m; EM hazards – electromagnetic hazards.
- EMC – electromagnetic compatibility.

ELECTROMAGNETIC HAZARDS RELATED TO THE USE OF WEARABLE IoT DEVICES

The protective measures must be adapted in order to prevent direct and indirect EMF exposure effects in the work environment to the foreseeable manner and circumstances of using the device (the way of wearing it, the required range of wireless communication between the IoT system components (RR), and the dielectric parameters of the environment in which the device is to perform its functions) as well as the parameters of the EMF it emits (its frequency and the power emitted from the transmitting antenna), when using IoT wearable devices.

The indirect effects of exposure in the EMF space of protection zones are assessed in accordance with the labour law requirements, mainly based on the results of EMF measurements in the work environment. The level of the EMF emitted by IoT devices (with the technical parameters discussed here) in their vicinity exceeds the lowest EMF test levels at which the electromagnetic immunity of electronic devices should be confirmed by the manufacturers. Therefore, the influence of the EMF in the space of protection zones emitted

by IoT devices (especially by RFID readers) may be hazardous for users of such devices (resulting from electromagnetically induced disturbances of the intended operation of devices, i.e. the indirect effects of EMF exposure), despite the fact that a Declaration of Conformity can be provided, confirming that they meet the selected criteria of electromagnetic immunity (Table 4). Such hazards can be particularly dangerous to the health and safety of workers if excessive EMF exposure and the resulting disturbances concern medical devices (e.g. during the EMF exposure of AIMD users).

In cases of IoT devices located in close proximity to workers, an assessment of compliance with the GPO limits set by Polish labour law is required. In addition, as presented above, in the vicinity of RFID HF devices there is an EMF space of dangerous zone in which (according to labour law) temporary exposure is allowed as long as the GPO limits are not exceeded.

In the case of IoT devices, the compliance assessment with GPO limits refers to computer-modelled SAR values (Fig. 2).

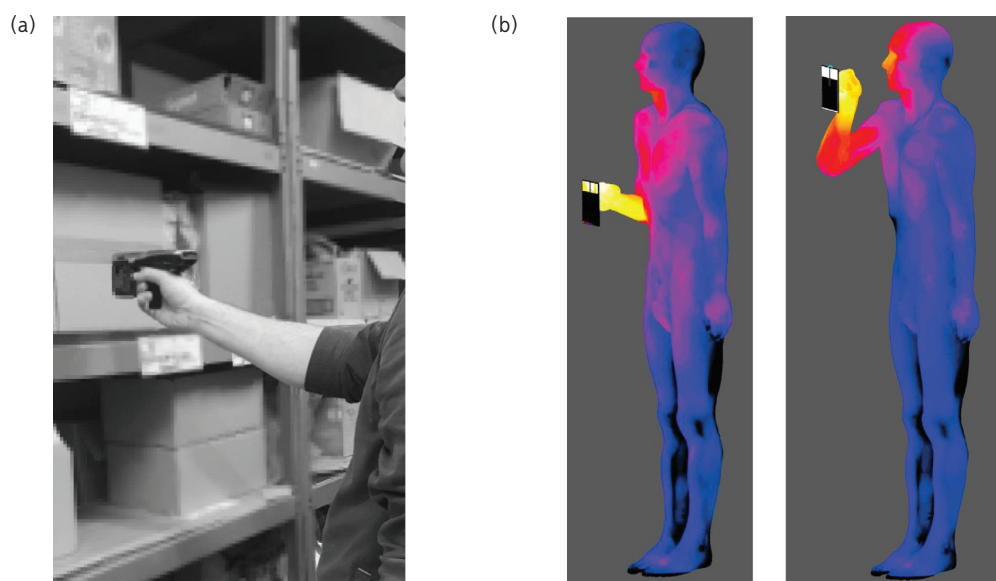


Figure 2. An example of manually operated RFID reader (a) and SAR distributions in user body models; brighter color indicates higher SAR values (Zradziński et al. 2020b)

Computer modelling research has shown that, with the continuous emission of electromagnetic radiation of IoT devices, there are conditions to exceeding the SAR limits regarding the work environment in various circumstances of their use, e.g.:

- when a wearable device of Wi-Fi 2G or Bluetooth connection, with an equivalent isotropically radiated power exceeding 15 mW is fixed at a distance of 2 mm from the body (refers to SAR_{gt}),
- at a manually operated RFID UHF reader, with an effective radiated power exceeding 5 W (refers to SAR_k),
- at an autonomous RFID UHF reader, with an effective radiated power exceeding 10 W, located at a distance of 5 cm from the body (refers to SAR_{cc} or SAR_{gt}),
- at a manually operated RFID HF reader compliant with ISO/IEC 15693-1:2018, with an RR exceeding 70 cm, held in the hand (refers to SAR_k),
- at an autonomous RFID HF reader compliant with ISO/IEC 15693-1:2018, with an RR exceeding 100 cm, located at a distance of 5 cm from the body (refers to SAR_{gt}),
- at a manually operated RFID HF reader compliant with ISO/IEC 14443-2:2020,

with an RR exceeding 10 cm, held in the hand (refers to SAR_k),

- at an autonomous RFID HF reader compliant with ISO/IEC 14443-2:2020, with an RR exceeding 15 cm, located at a distance of 10 cm from the body (refers to SAR_{gt}).

These power emission limits, determined with regard to a SAR compliance assessment with relevant limits, should be divided by the appropriate duty cycle in the temporal emission characteristics when working with RFID readers that emit an EMF waveform with a lower duty cycle (typically 0.1 to 0.8 when working with passive tags).

The characteristics of the absorption of electromagnetic energy in the body, and consequently also the SAR values, depend on the frequency of the EMF affecting the worker. For example, computer modelling research shows that, with the maximum power emitted by the modem (not requiring an appropriate permission from UKE, Table 1), the SAR values caused by Wi-Fi 5G devices (from the 5.4-5.7 GHz band) are up to three-times higher than the SAR values caused by 2G devices (from the 2.40-2.48 GHz band).

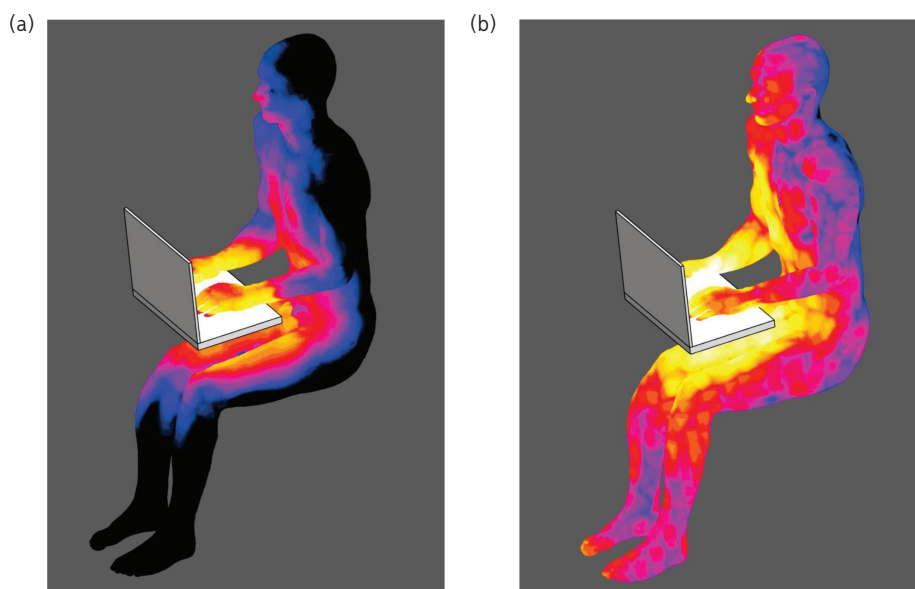


Figure 3. An example of SAR distributions in user body model of device equipped with Wi-Fi 2G (a) and Wi-Fi 5G (b) modems, with maximum emitted power which does not require permission from UKE; brighter color indicates higher SAR values

Recommendations on the use of protective measures that should be applied in accordance with the requirements of labour law in order to reduce electromagnetic hazards while using IoT wearable devices are presented in Annex I. The most important and permanent features of the system limitation of the discussed electromagnetic hazards are the use in the work environment of devices operating at:

- the lowest level of EMF emissions from radiocommunication modules,
- the longest distance between radiocommunication modules and employees,

– the shortest exposure of employees to EMF emitted from radiocommunication modules, especially concerning people who spend many hours in the workplace near IoT devices during the diversified use or supervision of these devices, or during other activities performed in the vicinity of various functional elements of IoT systems that are sources of electromagnetic emissions.

CONCLUSION

1) EMF can adversely affect people's health and their ability to work. Therefore, EMF exposure should be supervised, monitored and limited, in accordance with the requirements of labour law, taking into account the continuous development of scientific knowledge regarding the recognition of the direct and indirect effects of the EMF, also multiannual.

2) In the vicinity of a large number of IoT devices with radiocommunication modules, there is an EMF space of protection zones, with ranges depending on the type of device and its operating parameters, in the case of RFID HF devices, there is also an EMF space of a dangerous zone.

3) In the EMF space of protection zones occurring directly next to radiocommunication devices used in IoT systems, the EMF test levels

used in the assessment of immunity to the electromagnetic disturbance of electronic devices including medical devices (AIMD) are also exceeded.

4) With IoT devices, it is necessary to adapt protective measures to limit the direct and indirect effects of EMF exposure to the circumstances and level of exposure of workers and other material objects in the work environment.

5) Regarding the rapid development and significant design diversification, especially of devices working in RFID technology, which are key to the further dissemination of IoT systems applications, it is necessary to take into account the emergence of new applications with parameters different from those discussed in this publication.

PIŚMIENNICTWO/REFERENCES

Aerts S., Verloock L., Van den Bossche M. i in. (2019). Emissions from smart meters and other residential radiofrequency sources. *Health Phys.* 116(6), 776–788.

Calderon C., Addison D., Chopra N. i in. (2019). Exposure to electromagnetic fields from smart utility meters in GB; Part III) On-site measurements in homes. *Bioelectromagnetics* 40(6), 434–440.

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2013/35/UE z dnia 26 czerwca 2013 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na zagrożenia spowodowane czynnikami fizycznymi (polami elektromagnetycznymi) (dwudziesta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG) i uchylająca dyrektywę 2004/40/WE, Dz. Urz. UE L 179/1. [European Union legal act].

- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/30/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do kompatybilności elektromagnetycznej (wersja przekształcona). Tekst mający znaczenie dla EOG, Dz. Urz. UE L 96/79. [European Union legal act].
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/35/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do udostępniania na rynku sprzętu elektrycznego przewidzianego do stosowania w określonych granicach napięcia (wersja przekształcona). Tekst mający znaczenie dla EOG, Dz. Urz. UE L 96/357. [European Union legal act].
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/53/UE z dnia 16 kwietnia 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich dotyczących udostępniania na rynku urządzeń radiowych i uchylająca dyrektywę 1999/5/WE. Tekst mający znaczenie dla EOG, Dz. Urz. UE L 153/62. [European Union legal act].
- ETSI TR 103 182 V1.1.1 (2016-09). Integrated broadband cable telecommunication networks (CABLE); Characteristics of Evolving Electromagnetic Environment with ECN800 parameters and Cable Network Equipment.
- ETSI TS 125 101 V11.14.0 (2018-04). Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); User Equipment (UE) radio transmission and reception (FDD) (3GPP TS 25.101 version 11.14.0 Release 11).
- ETSI TS 136 101 V15.9.0 (2020-02). LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception (3GPP TS 36.101 version 15.9.0 Release 15).
- ETSI EN 302 208 V3.3.1 (2020-08). Radio Frequency Identification Equipment operating in the band 865 MHz to 868 MHz with power levels up to 2 W and in the band 915 MHz to 921 MHz with power levels up to 4 W; Harmonised Standard for access to radio spectrum.
- IARC, International Agency for Research on Cancer (2013). IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Non-ionizing radiation, Part 2: Radiofrequency electromagnetic fields. IARC Press, Lyon, France, Vol. 102.
- ISO/IEC 15693-1:2018. Cards and security devices for personal identification – Contactless vicinity objects – Part 1: Physical characteristics.
- ISO/IEC 14443-2:2020. Cards and security devices for personal identification – Contactless proximity objects – Part 2: Radio frequency power and signal interface.
- Morzyński L. (2019). Idea wykorzystania bezprzewodowej sieci sensorowej i Internetu rzeczy do monitorowania środowiska pracy i ostrzegania pracowników przed zagrożeniami. *Bezp.* Pr. 1(568), 24–27 [in Polish].
- Morzyński L., Szczepański G. (2020). Ocena położenia urządzenia nasobnego na podstawie mocy sygnału radiowego w sieci sensorowej do monitorowania zagrożenia w środowisku pracy *Bezp.* Pr. 2(581), 21–24 [in Polish].
- Nikitin P.V., Rao K.V.S., Martinez R. i in. (2009). Sensitivity and impedance measurements of UHF RFID chips. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* 57(5), 1297–1302.
- Pääkkönen R., Korpinen L. (2018). New technologies of the smart cities and public exposure of extremely low frequency electromagnetic fields. Abstract Collection. The Joint Annual Meeting of The Bioelectromagnetics Society and the European BioElectromagnetics Association, BioEM 2018, June 25-29, Piran, Portoroz, Slovenia, 775–776.
- Peyman A., Addison D., Mee T. i in. (2017). Exposure to electromagnetic fields from smart utility meters in GB; part I) laboratory measurements. *Bioelectromagnetics* 38(4), 280–294.
- 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 [Polish standard].
- PN-EN 61000-4-8:2010. Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 4-8: Metody badań i pomiarów – Badanie odporności na pole magnetyczne o częstotliwości sieci elektroenergetycznej [Polish standard].
- PN-EN 61000-4-3:2021-06. Kompatybilność elektro-magnetyczna (EMC) – Część 4-3: Metody badań i pomiarów – Badanie odporności na promieniowane pole elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej [Polish standard].
- PN-EN 61000-4-39:2017-07. Kompatybilność elektro-magnetyczna (EMC) – Część 4-39: Metody badań i pomiarów – Pola radiowe w bliskiej odległości – Badanie odporności [Polish standard].
- PN-ETSI EN 300 328 V2.2.2:2020-03. Szerokopasmowe systemy transmisyjne – Urządzenia transmisji danych pracujące w paśmie 2,4 GHz – Zharmonizowana norma dotycząca dostępu do widma radiowego [Polish standard].
- PN-ETSI EN 301 893 V2.1.1:2017-11. RLAN pracujące w paśmie 5 GHz – Zharmonizowana norma zapewniająca spełnienie zasadniczych wymagań zgodnie z artykułem 3.2 dyrektywy 2014/53/UE [Polish standard].
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2017/745 z dnia 5 kwietnia 2017 r. w sprawie wyrobów medycznych, zmiany dyrektywy 2001/83/WE, rozporządzenia (WE) nr 178/2002 i rozporządzenia (WE) nr 1223/2009 oraz uchylenia dyrektyw Rady 90/385/EWG i 93/42/EWG (Tekst mający znaczenie dla EOG), Dz. Urz. UE L 117/1. [European Union legal act].
- 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 [Polish legal act].

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 pole elektromagnetyczne. DzU 2018, poz. 331 (t.j.) [Polish legal act].

Zradziński P., Karpowicz J., Gryz K. i in. (2018). Evaluation of the safety of users of active implantable medical devices (AIMD) in the working environment in terms of exposure to electromagnetic fields: practical approach to the requirements of European Directive 2013/35/EU. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health* 31(6), 795–808.

Zradziński P., Karpowicz J., Gryz K. (2019). Electromagnetic energy absorption in a head approaching a radiofrequency identification (RFID) reader operating at 13.56 MHz in users of hearing implants versus non-users. *Sensors* 19(17), 3724.

Zradziński P., Karpowicz J., Gryz K. i in. (2020a). Modelling the influence of electromagnetic field on the user of a wearable IoT device used in a WSN for monitoring and reducing hazards in the work environment. *Sensors* 20(24), 7131.

Zradziński P., Karpowicz J., Gryz K. i in. (2020b). An evaluation of electromagnetic exposure while using ultra-high frequency radiofrequency identification (UHF RFID) guns. *Sensors* 20(1), 202.

Zradziński P., Karpowicz J., Gryz K. i in. (2020c). Environmental safety aspects of using UHF RFID systems in hospitals. *Inż. Fiz. Med.* 9(2), 133–140.

Zradziński P., Karpowicz J., Gryz K. i in. (2021a). Modelling and evaluation of the absorption of the 866 MHz electromagnetic field in humans exposed near to fixed I-RFID readers used in medical RTLS or to monitor PPE. *Sensors* 21(12), 4251.

Zradziński P., Karpowicz J., Gryz K. i in. (2021b). Internet Rzeczy w przemyśle i życiu codziennym. [W:] Aktualny stan prawny ochrony przed promieniowaniem jonizującym i polami elektromagnetycznymi 0-300 GHz w Polsce. [Red.] M. Zmysłony, E.M. Nowosielska. WAT, Warszawa, 103–116 [in Polish].

Zradziński P., Karpowicz J., Gryz K. (2021c). Charakterystyka emisji elektromagnetycznych związanych z użytkowaniem nasobnych urządzeń działających w technologii Internetu Rzeczy. *Bezp. Pr.* 5(596), 17–21 [in Polish].

Zradziński P. (2022). Modelling and evaluating electromagnetic field exposure in the multiple-source scenario of using IoT HF RFID readers. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 19(6), 3274.

Adres do korespondencji/Contact details:

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

OGRANICZANIE ZAGROZEŃ ELEKTROMAGNETYCZNYCH PODCZAS UŻYTKOWANIA NASOBNYCH URZĄDZEŃ IoT – ŚRODKI OCHRONNE	
Całkowita eliminacja zagrożeń elektromagnetycznych (zagrożeń-EM) związanych z użytkowaniem nasobnych urządzeń IoT (stanowiących część odzieży lub noszonych przy ciele użytkownika) jest niemożliwa, ponieważ funkcjonują one dzięki bezprzewodowemu (tj. elektromagnetycznemu) przesyłaniu informacji lub energii. Jednak opracowanie i wprowadzenie w życie programu stosowania środków ochronnych (tj. środków technicznych i działań organizacyjnych wymaganych przez prawo pracy) umożliwia znaczne ograniczenie skali zagrożeń-EM w środowisku pracy.	
Środek ochronny	Uzasadnienie/cel stosowania (o ile brak innych zaleceń producenta urządzenia)
Środki techniczne	
Ograniczanie emisji z MRK (dobór MRK i parametrów ich pracy)	<ol style="list-style-type: none"> 1) zmniejszenie emitowanej mocy przy zachowaniu funkcji użytkowych systemu IoT^(a) 2) stosowanie urządzeń o niższym poziomie maksymalnej emisji^(a) (np. urządzeń Bluetooth klasy 2 lub 3 zamiast 1, lub Bluetooth LE zamiast klasycznych) 3) zmniejszenie wymiarów geometrycznych źródeł pola-EM^(b) 4) stosowanie sygnałów o mniejszym współczynniku wypełnienia^(c) 5) stosowanie czulszych znaczników pasywnych^(d)
Ograniczenie narażenia przy MRK (ograniczenie dostępu do MRK)	<ol style="list-style-type: none"> 1) stosowanie przy MRK barier z materiałów nie zakłócających propagację pola-EM 2) projektowanie szlaków komunikacyjnych w sąsiedztwie autonomicznych czytników RFID w taki sposób, aby ograniczyć czas pobytu pracowników w takich miejscach
Środki organizacyjne	
Właściwe rozmieszczenie MRK	<p>rozmieszczanie urządzeń (m.in. czytników RFID o zasięgu odczytu > 1 m) w taki sposób, aby:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) pole-EM oddziaływało tylko na pracujących, którzy obsługują źródło pola-EM 2) nie występowało łączne oddziaływanie pola-EM od różnych źródeł 3) źródło pola-EM znajdowało się w miejscach trudno dostępnych 4) oddziaływanie na osoby szczególnie chronione było odpowiednio ograniczone^(e)
Właściwe użytkowanie urządzeń nasobnych z MRK	<ol style="list-style-type: none"> 1) użytkowanie tylko zgodnie z zaprojektowanym przeznaczeniem (np. nieumieszczanie urządzeń zaprojektowanych do noszenia na nadgarstku na innych częściach ciała) 2) nieobsługiwanie ręcznie urządzeń zaprojektowanych do pracy autonomicznej
Ograniczanie czasu narażenia przy MRK	<ol style="list-style-type: none"> 1) wyłączenie lub zdejmowanie nasobnych urządzeń, kiedy nie pełnią zamierzonej funkcji 2) skrócenie czasu przebywania przy MRK urządzeń IoT (np. RFID i Wi-Fi)
Środki administracyjne	
Szkolenie [DzU 2004, poz. 1860; DzU 2018, poz. 331(t.j.); par. 12.1 i 12.3; DzU 2011, poz. 166, par. 17.2]	<p>szkolenia nt. zagrożeń-EM występujących w środowisku pracy przy urządzeniach systemu IoT z wbudowanymi MRK (okresowe i doraźne) dotyczące informowania o:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) zagrożeniach-EM występujących w przestrzeni pracy 2) wynikach okresowych pomiarów pola-EM w środowisku pracy, rozpoznanych źródłach zagrożeń-EM i zasięgach ich oddziaływania (przestrzeni pola-EM stref ochronnych) 3) zastosowanych środkach ochronnych celem ograniczenia zagrożeń-EM 4) ograniczeniach dotyczących osób szczególnie chronionych^(e)
Oznakowanie (ułatwiające unikanie narażenia)	<ol style="list-style-type: none"> 1) źródeł pola-EM i miejsc, w których występują zagrożenia-EM 2) rodzajów zagrożeń-EM w pobliżu źródeł pola-EM 3) zagrożeń dotyczących użytkowników AIMD i innych osób szczególnie chronionych
Ocena przeciwwskazań zdrowotnych do pracy w polu-EM lub niekorzystnych dla zdrowia skutków narażenia na pole-EM	<ol style="list-style-type: none"> 1) przekazanie lekarzowi sprawującemu profilaktyczną opiekę zdrowotną nad pracownikami informacji nt. charakterystyki pola-EM i poziomu narażenia w przestrzeni pracy dostępnej dla danego pracownika [DzU 2018, poz. 331(t.j.); par. 13, ust. 1] 2) dostosowanie zakresu profilaktycznych badań lekarskich pracownika do okoliczności przedstawionych w pkt. 1. oraz zgłoszonych przez pracownika niekorzystnych dla zdrowia skutków narażenia na pole-EM [DzU 2016, poz. 2067, zm. DzU 2020, poz. 2131] 3) objęcie szczególną uwagą użytkowników AIMD [DzU 2018, poz. 331(t.j.)]

Objaśnienia:

- (a) zmniejszenie emitowanej mocy = zmniejszenie *SAR* u osób w pobliżu, ale także zasięgu działania systemu IoT.
 - (b) przy określonym poziomie emitowanej mocy: zmniejszenie wymiarów = bardziej lokalny charakter narażenia, ale także zmniejszenie zasięgu działania systemu IoT.
 - (c) mniejszy współczynnik wypełnienia emitowanej mocy = zmniejszenie *SAR* u przebywających w pobliżu osób.
 - (d) przy określonym zasięgu odczytu: czulsze znaczniki funkcjonują w słabszym polu-EM z czytnika (zróżnicowanie nawet 4-krotnie – znaczniki RFID UHF, a 30-krotnie – znaczniki RFID HF).
 - (e) osoby szczególnie chronione przed oddziaływaniem pola-EM – m.in. użytkownicy AIMD i kobiety w ciąży.
- AIMD – aktywne implanty medyczne.
MRK – moduł radiokomunikacyjny urządzenia IoT (źródło pola-EM).

LIMITING ELECTROMAGNETIC HAZARDS REGARDING THE USE OF WEARABLE IoT DEVICES – SAFETY MEASURES	
It is impossible to completely eliminate the electromagnetic hazards associated with the use of wearable IoT devices (which are part of the clothing or worn on the user's body) because they function by wireless (i.e. electromagnetic) transmission of information or energy. However, the development and implementation of a plan for the application of protective measures (i.e. technical measures and organisational actions required by the labour law) enables a significant reduction in the scale of electromagnetic hazards in the work environment.	
Protective measure	Justification/purpose of use (Unless otherwise recommended by the manufacturer of the device)
Technical measures	
Reduction of emissions from RCM (selection of RCM and parameters of their work)	<ol style="list-style-type: none"> 1) reduction of emitted power while maintaining the utility functions of the IoT system ^(a) 2) the use of devices with a lower maximum emission level ^(a) (e.g. Bluetooth class 2 or 3 devices instead of 1, or Bluetooth LE instead of classic devices) 3) reduction of the geometrical dimensions of the EMF sources ^(b) 4) use of signals with a lower duty cycle ^(c) 5) use of more sensitive passive tags ^(d)
Limitation of exposure at RCM (limited access to RCM)	<ol style="list-style-type: none"> 1) the use of barriers at RCM made of materials that do not disturb EMF propagation 2) designing communication routes in the vicinity of autonomous RFID readers in such a way as to limit the duration of employees' stay in such places
Organisational measures	
Proper location of RCM	arrange devices (including RFID readers with a reading range > 1 m) in such a way that: <ol style="list-style-type: none"> 1) only the workers who operate the EMF source were affected by the EMF 2) there was no simultaneous EMF exposure from various, multiple sources 3) the EMF source was located in hard-to-reach places 4) the EMF exposure of persons at particular risk was adequately limited ^(e)
Proper use of wearable RCM devices	<ol style="list-style-type: none"> 1) use only as intended (e.g. not placing devices designed to be worn on the wrist on other parts of the body) 2) not manually operating devices designed to work autonomously
Limiting the exposure time at the RCM	<ol style="list-style-type: none"> 1) turning off or removing wearable devices when they do not perform their intended function 2) shortening the time spent by the RCM of IoT devices (e.g. RFID and Wi-Fi)
Administrative measures	
Training [J.L. 2004, item 1860; J.L. 2018, item 331, para. 12.1 and 12.3; J.L. 2011, item 166, para. 17.2]	training on electromagnetic hazards occurring in the work environment in the vicinity of IoT system devices with built-in RCM (periodic and ad hoc) on informing about: <ol style="list-style-type: none"> 1) electromagnetic hazards in the workspace 2) the results of periodic EMF measurements in the work environment, identified sources of electromagnetic hazards and their influence ranges (EMF spaces of protection zones) 3) applied protective measures to reduce EM hazards 4) limitations on workers at particular risk ^(e)
Labelling (to help avoid exposure)	<ol style="list-style-type: none"> 1) EMF sources and places where electromagnetic hazards exist 2) types of electromagnetic hazards in the vicinity of EMF sources 3) hazards related to AIMD users and other workers at particular risk
Assessment of health contraindications to work in the EMF or adverse health effects of EMF exposure	<ol style="list-style-type: none"> 1) providing to the doctor who provides preventive healthcare for employees with information on the characteristics of the EMF and the level of exposure in the workspace available to the employee [J.L. 2018, item 331, para. 13, item 1] 2) adjusting the scope of the employee's preventive medical examinations to the circumstances set out in point 1 and reported by the employee adverse health effects of EMF exposure [J.L. 2016, item 2067, rev. J.L. 2020, item 2131] 3) giving special attention to AIMD users [J.L. 2018, item 331]

Explanations:

- (a) reduction of emitted power = reduction of *SAR* in the body of people in the vicinity, but also of the range of the IoT system.
- (b) at a certain level of emitted power: reduction of dimensions = more local nature of exposure, but also a reduction in the range of the IoT system.
- (c) a lower duty cycle of emitted power = a reduction of *SAR* in the body of people in the vicinity.
- (d) at a certain reading range: more sensitive tags function in a weaker EMF from the reader (up to 4 times – RFID UHF tags, and 30 times – RFID HF tags).
- (e) workers at particular risk are people who are particularly protected against the EMF effects – including AIMD users and pregnant women.

AIMD – Active Implantable Medical Devices; RCM – radiocommunication module of IoT device (EMF source).