



Ocena elektromagnetycznych okoliczności użytkowania nasobnych lokalizatorów¹

Evaluation of the electromagnetic circumstances of using wearable locators

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, Warsaw, Poland

Streszczenie

Lokalizatory, czyli nasobne urządzenia ułatwiające zdalne (elektromagnetyczne) monitorowanie miejsca pobytu lub odnalezienie człowieka, są wykorzystywane w rozwiązaniach poprawiających bezpieczeństwo ludzi w trudnym lub niebezpiecznym terenie. W związku z tym, że lokalizatory mają za zadanie poprawienie bezpieczeństwa ludzi w razie zagrożenia bezpieczeństwa, a nawet życia użytkownika, parametry emitowanego przez nie pola elektromagnetycznego są w znacznym stopniu zdeterminowane spodziewanymi dla takiego zdarzenia okolicznościami technicznymi i parametrami dielektrycznymi środowiska w takim miejscu. Wykonane badania wykazały, że w otoczeniu nasobnych lokalizatorów (takich jak lokalizatory lawinowe, lampy górnicze wyposażone w górniczy nadajnik lokacyjny czy radiotelefony) należy rozpoznać, czy występuje przestrzeń pola elektromagnetycznego o poziomie, przy którym stosuje się systemowe działania związane z ochroną przed zagrożeniami elektromagnetycznymi (tzn. jest tam pole elektromagnetyczne stref ochronnych, o zasięgach zależnych od rodzaju urządzenia i parametrów jego pracy), a przy radiotelefonach pracujących z mocą 4 W lub więcej należy również rozpoznać, czy występuje przestrzeń pola elektromagnetycznego strefy niebezpiecznej (narażenie niebezpieczne). Ze względów funkcjonalnych (konieczność emisji pola elektromagnetycznego w pobliżu ciała pracownika) całkowita eliminacja zagrożeń elektromagnetycznych związanych z użytkowaniem nasobnych lokalizatorów jest niemożliwa. Zaproponowane w niniejszym opracowaniu środki ochronne umożliwiają znaczne ograniczenie omawianych zagrożeń elektromagnetycznych podczas użytkowania lokalizatorów nasobnych.

Słowa kluczowe: pole elektromagnetyczne, skutki bezpośrednie narażenia, skutki pośrednie narażenia, współczynnik pochłaniania właściwego energii (SAR), nauki o zdrowiu, inżynieria biomedyczna, inżynieria środowiska, zagrożenia elektromagnetyczne.

¹ Opracowano i wydano na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w zakresie zadań służb państwowych ze środków ministra właściwego ds. pracy. Zadanie nr 2.SP.10 pt. „Ocena oddziaływania technologii związanych z emisją pola elektromagnetycznego na środowisko pracy i życia / Centrum Badań i Promocji Bezpieczeństwa Elektromagnetycznego Pracujących i Ludności (EM-Centrum)”.

Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Abstract

Locators, i.e. wearable remote (electromagnetic) assisting devices, provide ability to supervise the places to stay or to find a person, they are in solutions that improve the safety of people in harsh or dangerous environment. Due to the fact that the locators are designed to improve the safety of people in the event of a hazardous or even life danger of the user, the parameters of the electromagnetic field emitted by them are determined by the technical circumstances and dielectric parameters of the environment that may occur where the active use of locators is expected. Based on the results of performed studies in the vicinity of wearable locators (such as avalanche locators, mining lamps equipped with a mining locating transmitters, or radiotelephones) it is necessary to recognize whether there is an electromagnetic field space with a level at which systemic measures related to protection against electromagnetic hazards are applied (i.e. with ranges depending on the type of device and its operating parameters), and in the case of radiotelephones operating with a power of 4 W or higher, also whether there is also an electromagnetic field space of the dangerous (conditional) exposure. For functional reasons (the need to emit an electromagnetic field near the worker's body), complete elimination of electromagnetic hazards related to the use of wearable locators is impossible. The protective measures proposed in this paper make it possible to significantly reduce the discussed electromagnetic hazards during the use of wearable locators.

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

WPROWADZENIE

Lokalizatory to urządzenia umożliwiające nadzór, monitorowanie lub określenie położenia różnego rodzaju obiektów, a zwłaszcza osób. W zależności od funkcjonalności i sposobu ich użytkowania można je podzielić na dwie grupy: (1) urządzenia nasobne – noszone przez ludzi lub zwierzęta oraz (2) urządzenia przewoźne – montowane np. w pojazdach. Rozwiązania montowane w pojazdach pozwalają na nadzór, monitoring i optymalizację tras przejazdu pojazdów, a także określenie miejsca wypadku drogowego (np. przez dyspozytorów pojazdów) lub lokalizacji skradzionego pojazdu (np. przez jego właściciela). Rozwiązania wykorzystujące lokalizatory nasobne poprawiają natomiast bezpieczeństwo ludzi, szczególnie w rozległym lub niebezpiecznym terenie, jak również pozwalają na nadzór, monitorowanie i określenie położenia osób schorowanych (np. z demencją), dzieci, pracowników, zwierząt (np. w celu monitorowania zachowania lub migracji dzikich zwierząt czy lokalizacji zwierząt asystujących pracownikom), aż po kontrolę czasu przebywania w monitorowanym terenie. Szczególnie istotne są np. rozwiązania umożliwiające odnalezienie turystów lub ratowników przysypanych lawiną śnieżną, strażaków uwieczonych w obiektach zniszczonych wskutek pożaru, eksplozji lub katastrof budowlanych, górników lub ratowników w zawałach górotworu w kopalni czy pracowników w osuwisku hałdy

przemysłowej (Zradziński i in. 2022). Wykorzystuje się również rozwiązania asystujące osobom starszym lub niepełnosprawnym np. w celu zgłoszenia konieczności kontroli medycznej lub hospitalizacji w przypadku pogorszenia stanu zdrowia lub nagłego wypadku czy zagubienia się.

Przykładowe nasobne lokalizatory przedstawiono na rycinie 1 – system lokalizacji wykorzystywany w górnictwie (lampa nahełmna z nadajnikiem lokacyjnym w pojemniku akumulatora), autonomiczny, zasilany akumulatorowo lokalizator lawinowy używany przez narciarzy i ratowników górskich, lokalizatory używane przez pracowników hal produkcyjnych oraz radiotelefon.

Nasobne lokalizatory są użytkowane od lat 60. ubiegłego wieku. Źródłem pola elektromagnetycznego (pola-EM) umożliwiającym określenie położenia człowieka lub obiektu są elektroniczne układy (nadajniki) wyposażone w anteny. Emitują one pole-EM o częstotliwościach determinowanych parametrami środowiska propagacji energii elektromagnetycznej (np. obiekt budowlany, otwarta przestrzeń, wyrobisko górnicze, lawina śnieżna itp.). Częstotliwość oraz poziom emisji dobiera się dla tych środowisk w taki sposób, aby możliwe było skuteczne wykorzystanie sygnału w działaniach ratunkowych czy poszukiwawczych. Emisja pola-EM z nasobnego lokalizatora powinna umożliwić jego łączność

bezpośrednio z systemem poszukiwawczym ze względu na często utrudnione lub niemożliwe wykorzystanie nadajników pośredniczących w łączności radiowej między lokalizatorem a systemem poszukiwawczym (Golicz 2008; Morzyński 2019; Morzyński, Szczepański 2020; Prałat 1998; Zradziński i in. 2020a; 2021a; 2021b; 2022). W wielu opracowaniach parametrem charakteryzującym zdolność lokalizatora do bezpośredniej łączności z innymi komponentami współpracującego z nim systemu jest tzw. zasięg komunikacji lub zasięg odczytu. Tak określone wymagania dotyczące parametrów skutecznego systemu lokalizacji wykorzystywanego podczas trudnych i niebezpiecznych zdarzeń znacznie ograniczają możliwość zastosowania typowych środków ochronnych celem ograniczania zagrożeń elektromagnetycznych użytkowników nasobnych lokalizatorów. Inaczej mówiąc, stosowane w poszczególnych przypadkach środki chroniące pracowników przed zagrożeniami elektromagnetycznymi nie mogą ograniczać wymaganego w danych okolicznościach zasięgu komunikacji elektromagnetycznej.

Należy jednak podkreślić, że lokalizatory bardzo często są stosowane w zmieniających się warunkach środowiska pracy i z tego powodu często utrzymywanie podczas całego dnia pracy lokalizatora w pełnej gotowości, rozumianej jako umieszczenie go bezpośrednio przy ciele i utrzymywanie maksymalnego poziomu emisji pola-EM z urządzenia, nie musi być konieczne. W różnego typu urządzeniach stosuje się zarówno automatyczne, jak i manualne regulacje mocy wyjściowej emitowanego pola-EM. Jednakże w specyficznych zastosowaniach można spotkać również takie okoliczności użytkowania lokalizatorów, w których dla zapewnienia maksymalnej niezawodności funkcjonalnej stosowane są urządzenia bez możliwości regulacji mocy emitowanego pola-EM.

W każdym przypadku stosowania nasobnych lokalizatorów elektromagnetycznych konieczne jest jednak przeanalizowanie celu i okoliczności, w jakich urządzenia te mają być wykorzystywane, i dobranie do nich priorytetowych cech funkcjonalnych i konstrukcyjnych poszczególnych urządzeń (w tym rodzaju i poziomu emisji elektromagnetycznych z nasobnych lokalizatorów).



Rycina 1. Przykładowe lokalizatory nasobne: system lokalizacji wykorzystywany w górnictwie; lokalizator lawinowy używany przez narciarzy i ratowników górskich; lokalizatory wykorzystywane w przemyśle oraz radiotelefon [materiały ilustracyjne, zbiory własne]

Figure 1. Example of wearable locators: location system used in mining; avalanche locator used by skiers and mountain rescuers; locators used in industry and radiotelephone [illustrations, authors collection]

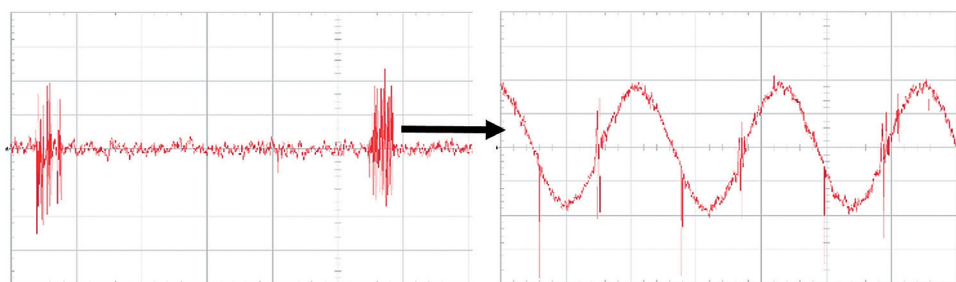
PRZYKŁADOWE URZĄDZENIA LOKALIZUJĄCE

Głównym źródłem pola-EM w typowych lokalizatorach jest antena. Przykładowo w górniczych nadajnikach lokacyjnych (także w lokalizatorach lawinowych) jest to antena ferrytowa (z nawiniętym uzwojeniem), dopasowana do kanału, w którym urządzenie ma pracować, a tym samym częstotliwości emitowanego pola-EM. Nadajnik zabudowany jest w pojemniku akumulatorów. W zależności od potrzeb zdeterminowanych spodziewanymi okolicznościami aktywnego wykorzystania lokalizatora (np. rodzaju pokładów górotworu w miejscu ewentualnych poszukiwań) przebieg w czasie pola-EM emitowanego przez poszczególne urządzenia może być ciągły – przykładowo emisja pola-EM o częstotliwości z zakresu 4100–5850 Hz (np. urządzenie górnicze Smartlight-12, Elektrometal SA), lub impulsowy – przykładowo emisja promieniowania elektromagnetycznego o częstotliwości dominującej około 250 kHz bądź jej wielokrotność (np. urządzenie górnicze Smartlight-05/M2/L, Elektrometal SA). Zgodnie z wymaganiami normy PN-ETSI EN 300 718-1 V2.2.1:2022-01 typowe lokalizatory lawinowe wyposażone są w 3 anteny (w celu eliminacji zakłóceń nadawanego sygnału oraz precyzyjnej lokalizacji miejsca nadawania), zapewniające impulsową emisję promieniowania o częstotliwości 457 kHz (ryc. 2).

Systemy lokalizujące wykorzystują również urządzenia technologii RFID, Wi-Fi, Bluetooth, publicznych systemów telefonii komórkowej, radiotelefony, a także nie będące źródłami pola-EM czujniki GPS, ruchu lub urządzenia wyposażone w akcelerometr (Bieńkowski i in. 2017; 2020; Gryz i in. 2013; 2019; Morzyński 2019; Morzyński,

Szczepański 2020; Zmysłony i in. 2020; Zradziński i in. 2013b; 2017; 2018a; 2020a; 2020b; 2021a; 2021b; 2021c; 2022). Urządzenie nasobnie monitorujące lokalizację obiektu w takich systemach pełni zwykle funkcję biernego odbiornika sygnałów emitowanych przez poszczególne referencyjne elementy infrastruktury definiującej parametry charakteryzujące przestrzeń – rozpoznając własne położenie z wykorzystaniem częstotliwości i poziomu odbieranych sygnałów z nadajników satelitarnych (w systemie GPS), lokalnych stacji bazowych (w systemach publicznych sieci komórkowych) czy lokalnych punktów dostępowych (np. lokalnej sieci Wi-Fi w hali produkcyjnej). Stacjonarne routery Wi-Fi lub modemy Bluetooth mogą być wykorzystywane w systemach lokalizacji szczególnie w przestrzeniach zamkniętych (tj. budynkach, halach produkcyjnych, placówkach medycznych itp.), gdzie nie są dostępne dobrej jakości sygnały satelitarne lub sygnały systemów telefonii komórkowej (Morzyński 2019; Morzyński, Szczepański 2020; Zradziński i in. 2017; 2020a; 2021a; 2022). Systemy takie mogą być wykorzystywane do lokalizacji (często w czasie rzeczywistym) pacjentów, personelu medycznego, pracowników produkcyjnych, maszyn i urządzeń (Zradziński i in. 2022).

Innym rozwiązaniem, stosowanym w niewielkich przestrzeniach, a szczególnie w otoczeniu obiektów utrudniających propagację promieniowania elektromagnetycznego, jest wykorzystanie systemu czujników ruchu (wykorzystujących ultradźwięki, podczerwień czy promieniowanie laserowe, które również nie są źródłami pola-EM), (Zradziński i in. 2022).



Rycina 2. Przebieg pola-EM emitowanego przez lokalizator lawinowy
Figure 2. A waveform of the EMF emitted by the avalanche locator

WYMAGANIA DOTYCZĄCE OCHRONY PRACUJĄCYCH PRZED ZAGROŻENIAMI ELEKTROMAGNETYCZNYMI

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

- Graniczne Poziomy Oddziaływania (GPO), rozumiane jako limity miar zagrożeń elektromagnetycznych związanych ze skutkami oddziaływania bezpośredniego pola-EM na ludzi – odnoszące się do parametrów określanych za pomocą modelowania komputerowego,
- Interwencyjne Poziomy Narażenia (IPN), rozumiane jako limity operacyjne miar narażenia na pole-EM w miejscu pracy – odnoszące się do parametrów 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 przypadku pola-EM o częstotliwości z zakresu od 100 kHz do 10 GHz limity GPO dotyczą oceny skutków termicznych występujących w organizmie człowieka pod wpływem oddziaływania pola-EM (Bieńkowski i in 2016; Dyrektywa... 2013; Karpowicz, Gryz 2022). Są to limity wartości 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 (wartość SAR w głowie i tułowiu, uśredniona w 10 g tkanki),
- GPO-SAR_k = 20 W/kg (wartość SAR w kończynach, uśredniona w 10 g tkanki).

W przypadku pola-EM o częstotliwości poniżej 10 MHz limity GPO dotyczą zagrożeń wynikających ze skutków pozatermicznych oddziaływania

pola-EM (w obwodowym i ośrodkowym układzie nerwowym oraz narządach zmysłów) wskutek indukowania w organizmie potencjałów elektrycznych. Są to limity natężenia pola elektrycznego indukowanego w organizmie, E_w (wyrażanego w voltach na metr, V/m) [uwaga: nie mylić z natężeniem pola-E oddziałującego na organizm (E)], bez uśredniania w czasie, określone następująco:

- GPO- $E_w = 0,38 f_{\text{kHz}}$ V/m
(gdzie: f_{kHz} – częstotliwość, wyrażona w kilohercach, kHz; w rozpatrywanych w niniejszym opracowaniu przypadkach, z zakresu 3–10 000 kHz).

Podobnie jak SAR, wartości E_w określa się przez symulacje numeryczne z zastosowaniem odpowiednich modeli człowieka i źródła pola-EM (Zradziński 2016; Zradziński i in. 2018a; 2019; 2020a; 2021a).

Wspomniane limity IPN (tab. 1) określają m.in. poziomy operacyjne umożliwiające uproszczoną ocenę, czy narażenie spełnia wymagania określone przez limity GPO (limity IPNob), lub ocenę zagrożeń związanych z pośrednim oddziaływaniem pola-EM (m.in. indukowanymi elektromagnetycznymi zakłóceniami zamierzonego funkcjonowania urządzeń elektronicznych czy odczuciem przepływu prądów kończynowych wskutek oddziaływania pola-EM) oraz w celu określenia przestrzeni pola-EM tzw. stref ochronnych i zastosowania tam odpowiednich środków ochronnych (IPNp). Przebywanie pracujących w przestrzeni pola-EM stref ochronnych jest zgodne z wymaganiami prawa pracy pod warunkiem dostosowania środków ochronnych do okoliczności narażenia pracujących – dotyczących zarówno charakterystyki narażenia, jak również charakterystyki zamierzonej aktywności pracujących oraz charakterystyki tych pracujących pod względem ich wrażliwości na skutki oddziaływania pola-EM.

Jeżeli prace przy źródle pola-EM wymagają dotykania obiektów, które są pierwotnym albo wtórnym źródłem pola-EM strefy zagrożenia lub niebezpiecznej, to oprócz pomiarów natężeń pola-E i pola-M konieczna jest szczegółowa ocena zagrożeń elektromagnetycznych odnosząca się do

Tabela 1. Limity narażenia dotyczące pola-EM wybranych zakresów częstotliwości [DzU 2018, poz. 1286]

Table 1. Exposure limits related to electromagnetic field at selected frequency ranges [J.L. 2018, item 1286]

Zakres częstotliwości	Wartości natężenia pola elektrycznego w voltach na metr [E, V/m] dotyczące limitu		Wartości natężenia pola magnetycznego w amperach na metr [H, A/m] dotyczące limitu	
	IPNp-E	IPNob-E	IPNp-H	IPNob-H
2,5 kHz–20 kHz	20	200	3	80
20 kHz–3 MHz	20	200	$60 / f_{\text{kHz}}$	$1600 / f_{\text{kHz}}$
10 MHz–300 GHz	7	60	0,02	0,16

Objaśnienia:

f_{kHz} – częstotliwość wyrażona w kHz.

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

IPNob – limit operacyjny bazowy pola-EM – limity IPNob wykorzystywane są podczas:

- (1) wykorzystania wyników pomiarów natężenia pola-E i pola-M do operacyjnej oceny dotrzymania limitów GPO, jeśli w środowisku pracy rozpoznano narażenie niebezpieczne (alternatywnie do bezpośredniej oceny na podstawie wyników symulacji współczynnika SAR lub E_w);
- (2) oceny tymczasowości narażenia, tzn. wskaźnika narażenia wynikającego z oddziaływania pola-EM.

bezpośrednich skutków oddziaływania pola-EM na pracujących (tj. ocena odnosząca się do zgodności z wymaganiami określającymi limity GPO dotyczące współczynnika SAR i/lub E_w). Ten drugi stopień oceny zagrożeń elektromagnetycznych wymaga bezpośredniego wykorzystania wyników symulacji komputerowych współczynnika SAR i/lub E_w lub oceny poziomu narażenia w odniesieniu do wartości limitu bazowego (IPNob) poprzez skonfrontowanie go z odpowiednio uśrednionymi w dziedzinie czasu wartościami natężenia pola-E i pola-M. Przykładowo, 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 jest 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 emisja kluczowana jest w czasie (kiedy tzw. współczynnik wypełnienia w czasie pola-EM emitowanego przez urządzenie jest mniejszy od jeden), wtedy jako wartość średnią na potrzeby oceny zgodności z limitami SAR można przyjąć wartość maksymalną zmierzonego natężenia pola-E lub pola-M pomnożoną przez współczynnik wypełnienia emitowanego pola-EM.

Wymagania dotyczące ochrony pracowników narażonych na pole-EM

Zgodnie z wymaganiami prawa pracy, pracodawca powinien rozpoznać znajdujące się w przestrzeni

pracy lub poza nią źródła pola-EM (pierwotne i wtórne), a także poziom ekspozycji. W przypadku rozpoznania przestrzeni pola-EM stref ochronnych w miejscach, gdzie przebywają pracujący (tj. narażenia pracujących na pole-EM stref ochronnych), wymagane jest spełnienie następujących warunków [DzU 2018, poz. 331 (t.j.), par. 5-10, 12-14, załącznik 3, część I]:

- źródła pola-EM i poziom ekspozycji na pole-EM w przestrzeni pracy zostały rozpoznane, ocenione i oznakowane, a także wyznaczono i oznakowano zasięgi przestrzeni pola-EM stref ochronnych w otoczeniu jego źródeł,
- rozpoznano i oceniono zagrożenia elektromagnetyczne, a rozpoznane zagrożenia zostały wyeliminowane lub ograniczone przez stosowanie środków ochronnych, a w przypadku stwierdzonego narażenia na pole-EM opracowano i wprowadzono w życie Program Stosowania Środków Ochronnych (Program SSO),
- pracownicy uczestniczyli w szkoleniu (powtarzanym okresowo) dotyczącym zasad bezpiecznego wykonywania pracy w polu-EM oraz zostali poinformowani o rozpoznanych zagrożeniach i zapoznani z zastosowanymi środkami ochronnymi, a w wyniku profilaktycznych badań lekarskich nie stwierdzono u nich przeciwwskazań do narażenia na pole-EM,
- warunki narażenia pracowników podlegają okresowej ocenie.

Jeżeli rozpoznanie wskazuje, że dane urządzenie/instalacja może być źródłem pola-EM stref ochronnych, to zasięg przestrzeni pola-EM tych stref w środowisku pracy powinien zostać wyznaczony na podstawie posiadanych przez użytkownika i odpowiednio udokumentowanych informacji, zawartych bezpośrednio w rozporządzeniu ministra ds. pracy [DzU 2018, poz. 331 (t.j.), załącznik 3, część I], dokumentacji urządzenia czy w recenzowanych publikacjach opracowanych przez kompetentne laboratoria instytutów naukowo-badawczych lub uniwersytetów technicznych, o udokumentowanej umiejętności wykonania oceny oddziaływania pola-EM w środowisku pracy i związanych z nim zagrożeń elektromagnetycznych), a w przypadku braku albo niedostatecznego zakresu wspomnianych informacji – na podstawie pomiarów wykonywanych w trybie określonym w rozporządzeniu Ministra Zdrowia [DzU 2018, poz. 331 (t.j.), par. 5-8, załącznik 3, część I, pkt 8.3].

Do określenia, w przestrzeni jakiej strefy pola-EM jest zlokalizowane miejsce wykonywania pracy, przyjmuje się maksymalne miejscowe wartości natężenia pola-E i natężenia pola-M w pionie pomiarowym odpowiadającym położeniu osi głównej ciała [DzU 2018, poz. 331 (t.j.), załącznik 3, część I, pkt 7]. Narażenie miejscowe pracowników (w omawianym przypadku użytkowników lokalizatorów) oceniane jest na podstawie maksymalnego miejscowego natężenia pola-E lub pola-M oddziałującego miejscowo, w szczególności na kończyny, głowę lub tułów – tzn. maksymalnych wartości przy powierzchni dostępu do urządzenia będącego źródłem pola-EM, np. obudowy lub pokrowca lokalizatora [DzU 2018, poz. 331 (t.j.), załącznik 3, część III, pkt 1.5]. Wartości

natężenia pola-E i natężenia pola-M powinny być uśrednione w przestrzeni o kształcie sześcianu o długości krawędzi 10 cm, której środek reprezentuje położenie referencyjnej bezkierunkowej sondy niezaburzonego pola-EM bliskiego [DzU 2018, poz. 331 (t.j.), załącznik 3, część III, pkt 1.2].

Omówione zróżnicowanie parametrów reprezentujących poziom oddziaływania pola-EM powoduje, że przy źródłach pola-EM o niewielkich wymiarach i umieszczonych blisko ciała człowieka wartości natężenia pola-E i natężenia pola-M, jakie należy wykorzystać w obu przypadkach, istotnie się różnią, kiedy urządzenie umieszczone jest przy różnych miejscach ciała. Przykładowo, zależnie od płci i parametrów antropometrycznych organizmu, z uwzględnieniem wymiarów populacji dorosłych Polaków, tj. zakresu 5–95-centylowego, gdy lokalizator noszony jest:

- przy biodrze – wartości odpowiadające narażeniu w głównej osi ciała odnoszą się do odległości od lokalizatora o 11–13 cm większej niż przy ocenie wartości odpowiadających narażeniu przy powierzchni ciała,
- przy ramieniu – wartości odpowiadające narażeniu w głównej osi ciała odnoszą się do odległości od lokalizatora o 14–20 cm większej niż przy ocenie wartości odpowiadających narażeniu przy powierzchni ciała,
- przy klatce piersiowej – wartości odpowiadające narażeniu w głównej osi ciała odnoszą się do odległości od lokalizatora o 6,5–10 cm większej niż przy ocenie wartości odpowiadających narażeniu przy powierzchni ciała.

POLE-EM PRZY PRZYKŁADOWYCH LOKALIZATORACH

Analiza parametrów emitowanego pola-EM i warunków użytkowania różnorodnych lokalizatorów (np. lamp górniczych wyposażonych w górniczy nadajnik lokacyjny, lokalizatorów lawinowych czy radiotelefonów pracujących z różną mocą wyjściową: 1 W/4 W) wykazała, że w otoczeniu tych urządzeń występuje pole-EM stref ochronnych o zasięgach zależnych od rodzaju urządzenia i parametrów jego pracy (tab. 2 i 3), (Gryz i in. 2013;

Zradziński i in. 2013b). Przy niektórych urządzeniach stwierdzono również występowanie przestrzeni pola-EM strefy niebezpiecznej, np. w otoczeniu radiotelefonów pracujących z mocą 4 W (czyli w razie przebywania tam pracowników konieczne jest spełnienie szczególnych wymagań określonych przez prawo pracy, w odniesieniu do warunkowości narażenia niebezpiecznego [DzU 2018, poz. 331 (t.j.)].

Tabela 2. Natężenie pola elektrycznego i rozpoznane w otoczeniu lokalizatorów zasięgi przestrzeni pola-EM stref ochronnych (na podstawie pomiarów przy wybranych urządzeniach)

Table 2. Electric field strength and the ranges of the space where protection against electromagnetic hazards needs application recognised in the vicinity of the locators (based on measurements in the vicinity of selected devices)

Urządzenie	Częstotliwość	Natężenie pola elektrycznego, V/m			Zasięg przestrzeni pola-EM stref ochronnych, cm	IPNp, V/m
		odległość od obudowy				
		przy powierzchni (*)	10 cm	20 cm		
Lokalizator górniczy 1	5,1 kHz	49	18	2,7	10	20
Lokalizator górniczy 2	250 kHz	40	16	4	<10	20
Lokalizator lawinowy	457 kHz	19	7,2	1,3	<5	20
Radiotelefon 1 (analogowy) (**)	147–174 MHz	250	106	33	65	7
Radiotelefon 2 (cyfrowy) (**)	147–174 MHz	360	150	47	80	7
Radiotelefon 3 (cyfrowy) (**)	380–450 MHz	280	136	66	90	7

Objaśnienia:

(*) wartość obliczona z zależności $E = 3E_1 - 2E_2$; E_1 i E_2 – wartości zmierzone w odległości odpowiednio 10 i 20 cm od obudowy [DzU 2018, poz. 331 (t.j.), załącznik 3].

(**) pracujący przy emitowanej mocy wyjściowej 4 W.

Tabela 3. Natężenie pola magnetycznego i rozpoznane w otoczeniu lokalizatorów zasięgi przestrzeni pola-EM stref ochronnych (na podstawie pomiarów przy wybranych urządzeniach)

Table 3. Magnetic field strength and the ranges of the space where protection against electromagnetic hazards needs application recognised in the vicinity of the locators (based on measurements in the vicinity of selected devices)

Urządzenie	Częstotliwość	Natężenie pola magnetycznego, A/m			Zasięg przestrzeni pola-EM stref ochronnych, cm	IPNp, A/m
		odległość od obudowy				
		przy powierzchni (*)	10 cm	20 cm		
Lokalizator górniczy 1	5,1 kHz	24	8,5	0,72	15	3
Lokalizator górniczy 2	250 kHz	2,0	0,73	0,09	15	0,24
Lokalizator lawinowy	457 kHz	3,4	1,3	0,25	25	0,13
Radiotelefon 1 (analogowy) (**)	147–174 MHz	0,18	0,10	0,058	45	0,02
Radiotelefon 2 (cyfrowy) (**)	147–174 MHz	0,25	0,14	0,082	50	0,02
Radiotelefon 3 (cyfrowy) (**)	380–450 MHz	0,54	0,26	0,12	60	0,02

Objaśnienia:

(*) wartość obliczona z zależności $H = 3H_1 - 2H_2$; H_1 i H_2 – wartości zmierzone w odległości odpowiednio 10 i 20 cm od obudowy [DzU 2018, poz. 331 (t.j.), załącznik 3].

(**) pracujący przy emitowanej mocy wyjściowej 4 W.

OCENA ZAGROŻEŃ ELEKTROMAGNETYCZNYCH PRZY LOKALIZATORACH

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że użytkowanie lokalizatorów znajdujących się zwykle w niewielkiej odległości od pracowników (przy różnych częściach ciała) wymaga przeprowadzenia oceny zgodności poziomu narażenia ich

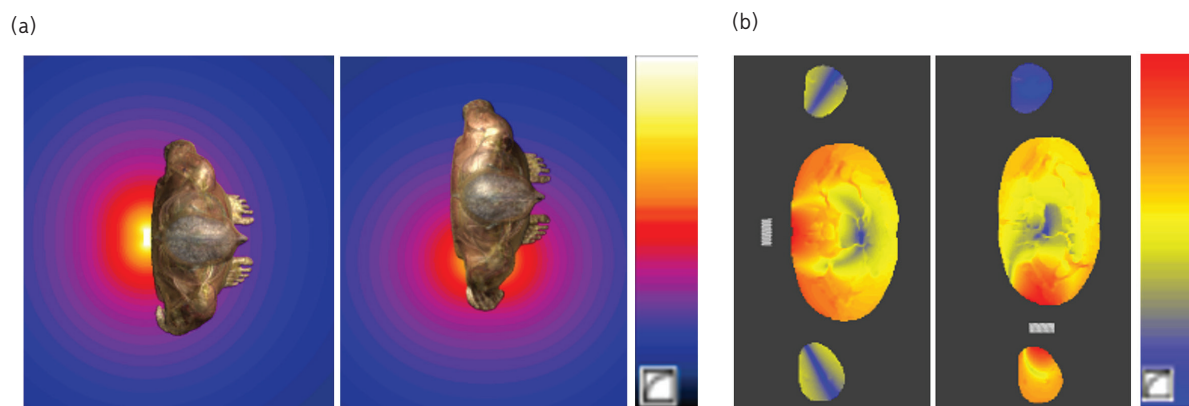
użytkowników z limitami GPO, określonymi przez prawo pracy. Ponadto w otoczeniu radiotelefonów pracujących z mocą 4 W lub wyższą występuje przestrzeń pola-EM strefy niebezpiecznej, w której (zgodnie z prawem pracy) tymczasowe narażenie

jest dopuszczalne, jeśli nie zostaną przekroczone limity GPO. W przypadku lokalizatorów ocena taka odnosi się do modelowanych komputerowo wartości E_w i/lub współczynnika SAR, w zależności od częstotliwości emitowanego przez nie pola-EM (ryc. 3).

Wartości natężenia pola-E występujące w odległości 20 cm od lokalizatorów górniczych i lawinowych oraz radiotelefonów są odpowiednio: 7-, 6- i 3-krotnie niższe w stosunku do wartości występujących w odległości 10 cm od tych urządzeń (tab. 2). Poziom natężenia pola elektrycznego indukowanego w organizmie (E_w) w takich okolicznościach zmniejszy się w takich samych proporcjach, a poziom współczynnika SAR będzie mniejszy

proporcjonalnie do kwadratu zmniejszenia poziomu narażenia (tj. odpowiednio 49-, 36- i 9-krotnie).

Wyniki przykładowych badań modelowych współczynnika SAR i natężenia indukowanego pola elektrycznego, E_w , w ciele użytkownika lokalizatora emitującego pole-EM o częstotliwości 250 kHz, noszonego przy różnych miejscach ciała (ryc. 3), wykazały jedynie nieznaczne różnicowanie wartości maksymalnych tych parametrów, jednak nieistotne zarówno z punktu widzenia niepewności takiej oceny zagrożeń, jak i opracowywania rozwiązań organizacyjnych celem ograniczania zagrożeń elektromagnetycznych² (Bieńkowski i in. 2016; Zradziński 2015; 2016b; Zradziński i in. 2019; 2020a; 2021a).



Rycina 3. Przykładowe rozkłady natężenia pola magnetycznego przy lokalizatorze (a) oraz natężenia pola elektrycznego indukowanego w ciele jego użytkownika (b); lokalizator emitujący pole-EM o częstotliwości 250 kHz, umieszczony za plecami (po lewej stronie) lub z boku użytkownika (po prawej stronie)

Figure 3. Example distributions of magnetic field strength at the locator (a) and electric field strength induced in the body of its user (b); a locator emitting an EMF at frequency of 250 kHz, placed behind the user's back (left) or to the side of the user (right)

² Zgodnie z wymaganiami prawa pracy ocenę ekspozycji na pola-EM w przestrzeni pracy wykonuje się na podstawie wyników pomiarów [DzU 2018, poz. 331 (t.j.)]; (Bieńkowski i in. 2016):

- z użyciem aparatury podlegającej konserwacji i udokumentowanemu okresowemu nadzorowi właściwości metrologicznych,
- niezaburzonego bliskiego pola-EM, umożliwiając odseparowanie osób wykonujących badania na odległość co najmniej 1 m od sondy pomiarowej,
- miejscowych wartości natężenia pola-E lub pola-M, przy wskazaniu miernika spowodowanym w co najmniej 90% przez oddziaływanie pola-EM na sondę pomiarową, określonych z odpowiednią do stosowanej metody precyzją co najwyżej 2 miejsc znaczących bez zakresu ich niepewności (pod warunkiem zastosowania metody, dla której naukowo sprawdzono i zwalidowano doświadczalnie oraz udokumentowano niepewność standardową wyników nie gorszą od $\pm 30\%$), uśrednionych w przestrzeni o kształcie sześcianu o długości krawędzi 10 cm, której środek reprezentuje położenie referencyjnej bezkierunkowej sondy niezaburzonego pola-EM bliskiego,
- przy stałej czułości miernika w zakresie ± 3 dB, w zakresie obejmującym zakres częstotliwości ocenianego pola-EM,
- wartości równoważnej natężenia pola-E lub pola-M, w zakresie dynamicznym określonym w ust. 4 pkt 1.

W badaniach dotyczących miar bezpośredniego oddziaływania pola-EM na człowieka, powiązanych z odpowiednimi GPO, stosuje się symulacje numeryczne [DzU 2018, poz. 331 (t.j.)]; (Zradziński 2015; 2016b):

- z zastosowaniem algorytmów i metod numerycznych odpowiednich do oceny miar ustalonych dla GPO, uznane przez kompetentne gremia międzynarodowe, zalecane przez normy europejskie lub międzynarodowe,
- z zastosowaniem realistycznych modeli źródeł pola-EM, reprezentatywnych dla sposobu ich użytkowania, zwalidowanych doświadczalnie,
- z zastosowaniem odpowiednich fantomów ciała człowieka, reprezentatywnych dla populacji polskich pracowników,
- o oszacowanej niepewności uwzględniającej: błędy metod numerycznych, modelowania źródeł, geometrii fantomów oraz właściwości elektrycznych tkanek i materiałów – określone zgodnie z odpowiednią dobrą praktyką w tej dziedzinie – typowe niepewności ($K = 1$) symulacji SAR lub E_w to co najmniej $\pm(20-25)\%$ (Zradziński i in. 2019; 2020a; 2021a)
- prowadzonych przez kompetentne laboratoria instytutów naukowo-badawczych lub uniwersytetów technicznych, o udokumentowanej umiejętności wykonania oceny bezpośredniego oddziaływania pola-EM w środowisku pracy i związanych z nim zagrożeń elektromagnetycznych.

Przy 15-centymetrowym zasięgu pola-EM stref ochronnych w otoczeniu modelowanego lokalizatora obliczone w modelu użytkownika wartości współczynnika SAR i E_w nie przekraczały 1% odpowiednich limitów GPO. Przy dwukrotnie zwiększonych wymaganiach dotyczących zasięgu komunikacji z lokalizatorem, proporcjonalnie zwiększa się zasięg pola-EM stref ochronnych w jego pobliżu, a w konsekwencji poziom narażenia przy powierzchni lokalizatora wzrasta ok. 4-krotnie, co skutkuje również 4-krotnym wzrostem wartości natężenia indukowanego w organizmie użytkownika pola-EM, a 16-krotnym wzrostem wartości współczynnika SAR.

Przeprowadzone przez autorów badania modelowe wykazały możliwość przekroczenia limitów GPO odnoszących się do miejscowego SAR

w głowie i tułowie (GPO-SAR_{gt}) podczas użytkowania radiotelefonów pracujących w konwencjonalnym systemie łączności (pasmo częstotliwości 147–174 MHz), z mocą wyjściową 4 W przy mniejszej niż 5 cm odległości anteny od najbliższej powierzchni ciała (Zradziński i in. 2013). W przypadku użytkowania radiotelefonów pracujących w trunkingowym systemie łączności (pasmo częstotliwości 380–450 MHz) nie stwierdzono przekroczenia limitu GPO-SAR_{gt}. Przeprowadzone badania wykazały również 18-krotne zróżnicowanie miejscowych wartości SAR w głowie i tułowie przy zróżnicowanej lokalizacji radiotelefonu przy różnych częściach ciała (przy stałej odległości między modelem użytkownika a anteną radiotelefonu).

PODSUMOWANIE

Pole-EM stref ochronnych (przy narażeniu kontrolowanym) może negatywnie wpływać na stan zdrowia ludzi i ich zdolność do pracy (w zależności m.in. od jego częstotliwości, poziomu narażenia i indywidualnej wrażliwości narażonych osób) oraz powodować zakłócenia funkcjonowania aparatury elektronicznej (w tym aktywnych implantów medycznych, ang. AIMD). Dlatego też narażenie to i zagrożenia elektromagnetyczne w środowisku pracy powinny być rozpoznane, ocenione, nadzorowane i ograniczane zgodnie z wymaganiami prawa pracy, przy uwzględnieniu postępu wiedzy naukowej dotyczącej rozpoznawania bezpośrednich i pośrednich skutków oddziaływania pola-EM, szczególnie wieloletniego.

W otoczeniu omawianych nasobnych lokalizatorów (takich jak lokalizatory lawinowe, lampy górnicze wyposażone w górniczy nadajnik lokacyjny i radiotelefony) należy rozpoznać, czy występuje przestrzeń pola-EM stref ochronnych o zasięgach zależnych od rodzaju urządzenia i parametrów jego pracy. Przy radiotelefonach pracujących z mocą 4 W lub większą należy również rozpoznać, czy występuje przestrzeń pola-EM strefy niebezpiecznej (narażenie niebezpieczne),

a w konsekwencji jej rozpoznania wykonać ocenę spełnienia wymagań dotyczących narażenia niebezpiecznego w środowisku pracy.

Przy nasobnych lokalizatorach powinny być stosowane odpowiednie środki ochronne w celu ograniczenia bezpośrednich i pośrednich zagrożeń elektromagnetycznych w przewidywanych warunkach użytkowania lokalizatorów – aby zapewnić bezpieczeństwo zarówno ogółu pracowników, jak i osób szczególnie chronionych (m.in.: użytkowników AIMD, kobiet w ciąży i pracowników młodocianych), których pobyt w przestrzeni pola-EM stref ochronnych może być niepożądany.

Ze względów funkcjonalnych (konieczność emisji pola-EM w pobliżu ciała pracownika) całkowita eliminacja zagrożeń elektromagnetycznych związanych z użytkowaniem nasobnych lokalizatorów jest niemożliwa. Zaproponowane w załączniku do niniejszego opracowania środki ochronne umożliwiają znaczne ograniczenie omawianych zagrożeń elektromagnetycznych przy lokalizatorach.

PIŚMIENNICTWO

- Bieńkowski P., Karpowicz J., Kieliszek J. (2016). Przegląd miar skutków narażenia na zmienne w czasie pole elektromagnetyczne i właściwości metrologicznych mierników, istotnych podczas oceny narażenia w środowisku pracy. *Podst. Metod. Ocen. Srod. Pr.* 4(90), 41–74.
- Bieńkowski P., Aniołczyk H., Karpowicz J. i in. (2017). Narażenie na pole elektromagnetyczne w przestrzeni pracy podczas użytkowania urządzeń nadawczych systemów radiokomunikacyjnych. Metoda pomiaru pola elektromagnetycznego *in situ* – wymagania szczegółowe. *Podst. Metod. Ocen. Srod. Pr.* 2(92), 89–131.
- Bieńkowski P., Zmysłony M., Karpowicz J. i in. (2020). Uwarunkowania ekspozycji ludności na pole elektromagnetyczne związane z użytkowaniem radiokomunikacyjnych sieci w technologii 5G w Polsce. *Med. Pr.* 71(2), 245–253.
- 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.
- Golicz P. (2008). Górnicze lampy nahełmne. *Rat. Górn.* 3(52), 23–25.
- Gryz K., Zradziński P., Leszko W. i in. (2013). Pomiary i ocena pola elektromagnetycznego przy radiotelefonach przenośnych w kontekście wymagań Dyrektywy Europejskiej 2013/35/EU i polskiego prawa pracy. *Med. Pr.* 64(5), 671–680.
- Gryz K., Karpowicz J., Zradziński P. (2019). Przenośne urządzenia komputerowe (laptopy) – charakterystyka pola elektromagnetycznego w ich otoczeniu. *Bezp. Pr.* 2(569), 16–19.
- Karpowicz J., Gryz K. (2022). Pole elektromagnetyczne. [W:] *Czynniki szkodliwe w środowisku pracy – wartości dopuszczalne*. [Red.] M. Pośniak, CIOP-PIB, Warszawa, 213–240.
- 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.
- 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.
- Prałat A. (1998). Lokacja osób odciętych przez zawał. *Mech. Automat. Górn.* 9, 7–13.
- PN-ETSI EN 300 718-1 V2.2.1:2022-01 Sygnalizatory lawinowe pracujące na częstotliwości 457 kHz – Systemy nadawczo-odbiorcze – Część 1: Norma zharmonizowana dostępu do widma radiowego.
- 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.).
- 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.
- Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. *DzU* 2011, poz. 166.
- Zmysłony M., Bieńkowski P., Bortkiewicz A. i in. (2020). Ochrona zdrowia ludności przed zagrożeniami elektromagnetycznymi – wyzwania wynikające z planowanego w Polsce wdrożenia systemu radiokomunikacji standardu 5G. *Med. Pr.* 71(1), 105–113.
- Zradziński P., Leszko W., Karpowicz J. i in. (2013a). Profilaktyka zagrożeń elektromagnetycznych związanych z użytkowaniem radiotelefonów. *Bezp. Pr.* 10(505), 20–23.
- Zradziński P., Leszko W., Karpowicz J. i in. (2013b). Ocena narażenia na pola elektromagnetyczne użytkowników przenośnych radiotelefonów, z wykorzystaniem symulacji numerycznych i wymagań Dyrektywy 2013/35/UE. *Med. Pr.* 64(6), 817–827.
- Zradziński P. (2015). Difficulties in applying numerical simulations to an evaluation of occupational hazards caused by electromagnetic fields. *Int. J. Occup. Saf. Ergon.* 21(2), 213–220.
- Zradziński P., Leszko W., Karpowicz J. i in. (2016a). Ocena bezpieczeństwa użytkowników aktywnych implantów medycznych w polach elektromagnetycznych systemów radiokomunikacyjnych. *Materiały Krajowej Konferencji Radiofonii i Telewizji*. Kraków, 27–29.06.2016.
- Zradziński P. (2016b). Uwarunkowania wykorzystania numerycznych modeli pracowników do oceny zagrożeń bezpośrednich wynikających z narażenia na pole elektromagnetyczne. *Podst. Metod. Ocen. Srod. Pr.* 4(90), 75–89.
- Zradziński P., Karpowicz J., Gryz K. i in. (2017). Ekspozycja na promieniowanie elektromagnetyczne systemów dostępu bezprzewodowego do Internetu w zróżnicowanych warunkach użytkowania. *Przegl. Telekom. Wiad. Telekom.* 6, 230–233.
- Zradziński P., Karpowicz J., Gryz K. (2018a). Modelowanie i ocena oddziaływania na człowieka pola elektromagnetycznego emitowanego przez czytniki RFID HF. *Przegl. Telekom. Wiad. Telekom.* 6, 289–292.
- Zradziński P., Karpowicz J., Gryz K. i in. (2018b). 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 require-

ments 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). Environmental safety aspects of using UHF RFID systems in hospitals [Aspekty środowiskowego bezpieczeństwa wykorzystania systemów UHF RFID w szpitalach]. *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.

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.

Zradziński P., Karpowicz J., Gryz K. (2022). Elektromagnetyczny Internet Rzeczy. Poradnik ograniczania zagrożeń elektromagnetycznych związanych z użytkowaniem urządzeń nasobnych. CIOP-PIB, Warszawa.

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

**ROZPOZNANIE I OGRANICZANIE ZAGROŻEŃ ELEKTROMAGNETYCZNYCH
DOTYCZĄCYCH UŻYTKOWANIA LOKALIZATORÓW NASOBNYCH/
RECOGNITION AND MITIGATION OF ELECTROMAGNETIC HAZARDS RELATED
TO THE USE OF WEARABLE LOCATORS**

Pole-EM może negatywnie wpływać na stan zdrowia ludzi i ich zdolność do pracy, dlatego jego oddziaływanie na pracowników powinno być nadzorowane i ograniczane zgodnie z wymaganiami prawa pracy. Biorąc pod uwagę typowe warunki użytkowania lokalizatorów, realizacja tych

wymagań obejmuje w pierwszym rzędzie przeprowadzenie rozpoznania zagrożeń elektromagnetycznych i określenie działań zmierzających do ich ograniczenia (stosowania środków ochronnych) w zakresie scharakteryzowanym w poniższej tabeli.

Tabela Z1. Rozpoznanie i ograniczanie zagrożeń elektromagnetycznych dotyczących użytkowania lokalizatorów nasobnych
Table Z1. Recognition and mitigation of electromagnetic hazards related to the use of wearable locators

Etapy rozpoznania i ograniczania zagrożeń elektromagnetycznych	Sposób realizacji
Rozpoznanie źródła pola-EM i zagrożeń elektromagnetycznych	<ul style="list-style-type: none"> Wykorzystując w tym celu dane dotyczące charakterystyki ekspozycji na pole-EM, w szczególności przedstawione w załączniku nr 1 do rozporządzenia ministra do spraw pracy [DzU 2018, poz. 331 (t.j.)], a także w dokumentacji technicznej dostarczanej przez producenta urządzenia. W razie ich niewystarczającego zakresu na podstawie pomiarów charakterystyki pola-EM przy urządzeniach.
Rozpoznanie poziomu emisji ze źródła pola-EM oraz rozpoznanie/ wyznaczenie zasięgu przestrzeni pola-EM stref ochronnych w przestrzeni pracy	<ul style="list-style-type: none"> Wykorzystując w tym celu dane zawarte w dokumentacji technicznej dostarczanej przez producenta urządzenia. W razie ich niewystarczającego zakresu na podstawie pomiarów charakterystyki pola-EM przy urządzeniach.
Rozpoznanie, czy miejscowe natężenie pola-E lub miejscowe natężenie pola-M przekracza odpowiednią wartość limitu IPNob (wykorzystywane do operacyjnej oceny dotrzymania limitów GPO)	<ul style="list-style-type: none"> Wyniki przeprowadzonych badań wskazują na konieczność oceny dotyczącej możliwości przekroczenia limitów IPNob w przypadku użytkowania radiotelefonów (zależnie od typu i mocy wyjściowej urządzenia). W otoczeniu typowych lokalizatorów górniczych i lawinowych nie stwierdzono występowania pola-E i pola-M o natężeniach przekraczających limity IPNob.
Ocena tymczasowości narażenia (tzn. oszacowanie, czy oddziaływanie pola-EM może spowodować wskaźnik narażenia $W > 1$)	<ul style="list-style-type: none"> W przypadku radiotelefonów ocena wymagana w zależności od typu i mocy wyjściowej urządzenia oraz łącznego czasu nadawania w stosunku do 8 godzin (<i>Gryz i in 2013</i>). Nie jest wymagana w przypadku typowych lokalizatorów górniczych i lawinowych (ponieważ poziom narażenia w pobliżu urządzenia charakteryzuje: $E < \text{IPNob-E}$ i $H < \text{IPNob-H}$).
Ocena zgodności poziomu bezpośredniego oddziaływania pola-EM z limitami GPO	<ul style="list-style-type: none"> Warunki narażenia, przy których podczas długotrwałego użytkowania urządzenia może wystąpić przekroczenie miejscowego <i>SAR</i> w głowie i tułowie stwierdzono w odniesieniu do charakterystyki pola-EM emitowanego podczas użytkowania radiotelefonów pracujących w pasmie częstotliwości 147–174 MHz, z mocą wyjściową 4 W lub więcej i przy mniejszej niż 5 cm odległości anteny od najbliższej powierzchni ciała (<i>Zradziński i in. 2013</i>). Nie jest wymagana w przypadku typowych lokalizatorów górniczych i lawinowych (ponieważ poziom narażenia w pobliżu urządzenia charakteryzuje: $E < \text{IPNob-E}$ i $H < \text{IPNob-H}$, a oszacowane wartości E_w i SAR są istotnie niższe od limitów GPO).
Informowanie pracowników o rozpoznanych zagrożeniach elektromagnetycznych i zapoznanie z zastosowanymi środkami ochronnymi	W ramach szkoleń okresowych, stanowiskowych, informowania o wynikach okresowych badań środowiska pracy, poprzez zawarcie odpowiednich informacji w instrukcjach obsługi urządzeń itp.
Oznakowanie (ułatwiające unikanie narażenia): źródeł pola-EM i miejsc, w których występują zagrożenia elektromagnetyczne	W przypadku lokalizatorów – typowo poprzez umieszczenie odpowiednich oznaczeń na obudowach urządzeń (realizowane przez ich producenta lub użytkownika).

cd. tab. Z1

Etapy rozpoznania i ograniczania zagrożeń elektromagnetycznych	Sposób realizacji
Oznakowanie (ułatwiający unikanie narażenia): rodzajów zagrożeń elektromagnetycznych w pobliżu źródeł pola-EM, zagrożeń dotyczących użytkowników AIMD i innych osób szczególnie chronionych	<p>W przypadku lokalizatorów – typowo poprzez umieszczenie odpowiednich oznaczeń na obudowach urządzeń (realizowane przez ich producenta lub użytkownika).</p> <p>[AIMD (ang. <i>Active Implantable Medical Devices</i>) – elektroniczne implanty medyczne]</p>
Dostosowanie zakresu okresowych szkoleń BHP i badań medycyny pracy do warunków narażenia na pole-EM oraz wynikających z niego zagrożeń elektromagnetycznych	<ul style="list-style-type: none"> • Uwzględnienie charakterystyki narażenia na pole-EM, jakie dotyczy poszczególnych pracujących (na podstawie oceny zagrożeń w środowisku ich pracy) w zakresie tematycznym szkoleń BHP organizowanych dla tych osób. • Uwzględnienie charakterystyki narażenia na pole-EM, jakie dotyczy pracownika (na podstawie charakterystyki narażenia określonej w skierowaniu na badania) podczas określania zakresu badań tego pracownika w ramach świadczeń medycyny pracy. • Objęcie szczególną uwagą użytkowników AIMD i innych osób szczególnie chronionych (<i>Zradziński i in. 2016a; 2018a; 2019</i>).
Ograniczanie zagrożeń elektromagnetycznych	<ul style="list-style-type: none"> • Całkowita eliminacja zagrożeń elektromagnetycznych związanych z użytkowaniem nasobnych lokalizatorów jest niemożliwa, ponieważ ich funkcjonalność/skuteczność zależna jest od emisji elektromagnetycznych. • Opracowanie i wprowadzenie w życie programu stosowania środków ochronnych (tj. środków technicznych i działań organizacyjnych wymaganych przez prawo pracy) umożliwia znaczne ograniczenie skali zagrożeń elektromagnetycznych. • Możliwymi do zastosowania środkami ochronnymi są np.: <ul style="list-style-type: none"> – ograniczanie emisji z urządzeń, np. zmniejszenie maksymalnej emitowanej mocy przez radiotelefony z 4 W do 1 W, stosowanie urządzeń z adaptacyjną kontrolą mocy lub zastąpienie radiotelefonów analogowych cyfrowymi (<i>Zradziński i in. 2013a</i>), – zmiana lokalizacji urządzeń, np.: w większej odległości od głowy i tułowia, o ile nie zakłóca to zamierzonej funkcjonalności stosowania urządzenia, – wyłączenie lub zdejmowanie lokalizatorów, kiedy nie pełnią zamierzonej funkcji, – stosowanie urządzeń emitujących pole-EM o mniejszym współczynniku wypełnienia w czasie, – skracanie czasu nieprzerwanego nadawania radiotelefonów (<i>Zradziński i in. 2013a</i>), – użytkowanie urządzeń o dobrym stanie technicznym (poziom narażenia może ulec zmianom wskutek degradacji technicznej lub uszkodzenia mechanicznego urządzenia podczas jego długotrwałego użytkowania), (<i>Zradziński i in. 2013a</i>).
Przeprowadzenie okresowej kontroli warunków narażenia na pole-EM	<p>W razie braku możliwości zlikwidowania metodami technicznymi lub organizacyjnymi występowania w miejscach wykonywania pracy pola-EM stref ochronnych badania i pomiary pola-EM wykonuje się okresowo zgodnie z wymaganiami ministra zdrowia [aktualne wymagania: DzU 2011, poz. 166]:</p> <ul style="list-style-type: none"> – co najmniej raz na 2 lata – jeżeli podczas ostatniego pomiaru stwierdzono występowanie tylko strefy pośredniej w miejscu wykonywania pracy, – co najmniej raz w roku – jeżeli podczas ostatniego pomiaru stwierdzono występowanie również strefy zagrożenia albo strefy zagrożenia i strefy niebezpiecznej w miejscu wykonywania pracy.
Wykonanie oceny zagrożeń elektromagnetycznych w regularnych odstępach czasu, uzależnionych od rodzaju i poziomu zagrożeń, nie rzadziej niż co 4 lata	<p>Zależnie od dostępności, na podstawie danych dostarczonych od producenta urządzeń, zamieszczonych w recenzowanych publikacjach lub pozyskanych podczas okresowej kontroli warunków narażenia na pole-EM [DzU 2018, poz. 331 (t.j.), par. 8, pkt 3].</p>