

Roman KASPRZYK\*, Marcin BUTLEWSKI\*\*

## POLE ELEKTROMAGNETYCZNE JAKO CZYNNIK SZKODLIWY W PRZEMYŚLE ELEKTROENERGETYCZNYM

W artykule opisano wpływ pola elektromagnetycznego na organizm człowieka. Dokonano tego przede wszystkim na podstawie analizy literatury dotyczącej źródeł pola elektromagnetycznego w otoczeniu człowieka oraz charakterystyki szkodliwego wpływu pola w zależności od wielkości natężenia pola elektromagnetycznego oraz długości ekspozycji na jego działanie. Przedstawiono również obowiązujące podstawy prawne oraz normy regulujące problem pól elektromagnetycznych.

**Słowa kluczowe:** pole elektromagnetyczne, czynniki szkodliwe na stanowisku pracy, ergonomia stanowisk pracy, projektowanie ergonomiczne stanowisk pracy

### 1. WPROWADZENIE

Pomimo że źródła pola elektromagnetycznego znajdują się w środowisku domowym i zawodowym większości ludzi, temat ich szkodliwości poruszany jest dość rzadko. Powodem takiego stanu rzeczy może być „niewidoczność” zjawiska lub brak nadziei na jakąkolwiek poprawę. Trudno bowiem sobie wyobrazić nasze życie bez wszechotaczającej sieci elektroenergetycznej. O ile można przyjąć, że w codziennym życiu nasze kontakty z oddziaływaniem pola elektromagnetycznego są stosunkowo niewielkie, to w sytuacjach zawodowych zagrożenie to może mieć

---

\* Absolwent kierunku inżynieria bezpieczeństwa na Wydziale Inżynierii Zarządzania Politechniki Poznańskiej.

\*\* Katedra Ergonomii i Inżynierii Jakości, Wydział Inżynierii Zarządzania Politechniki Poznańskiej.

istotny wpływ na zdrowie i życie narażonych na nie pracowników. Z tego powodu pracodawcy są zobligowani do podejmowania działań, dzięki którym możliwa będzie identyfikacja źródeł, charakterystyka wytwarzanych pól oraz określenie koniecznych środków ochrony przed ich negatywnym oddziaływaniem na pracownika. Liczba źródeł pola elektromagnetycznego wzrasta wraz z rosnącym zapotrzebowaniem na energię elektryczną oraz zaawansowaniem technologii bezprzewodowych (telefony komórkowe, urządzenia WiFi, Wimax, Blue-tooth itp.). Rozwój cywilizacyjny i rewolucja technologiczna w XX i XXI w. spowodowały bowiem znaczący wzrost kombinacji pól elektromagnetycznych o różnej częstotliwości, z którymi każdy styka się w domu czy pracy. Dlatego też podejmuje się szeroko zakrojone działania zmierzające do ograniczenia stopnia narażenia człowieka na oddziaływanie pól elektromagnetycznych.

Celem opracowania jest przedstawienie stanu wiedzy na temat zagrożenia, jakim jest promieniowanie elektromagnetyczne, oraz prezentacja stosowanych środków ochrony.

## **2. PODSTAWY TEORETYCZNE DOTYCZĄCE PROMIENIOWANIA ELEKTROMAGNETYCZNEGO**

### **2.1. Pole elektromagnetyczne oraz jego cechy**

Pole elektromagnetyczne to stan przestrzeni, w której na obiekt fizyczny mający ładunek elektryczny działają siły o naturze elektromagnetycznej. Inaczej mówiąc, w polu elektromagnetycznym na każdy ładunek elektryczny lub dipol magnetyczny działa określona siła. Z definicji pola elektromagnetycznego wynika, że jest ono układem dwóch wzajemnie powiązanych pól: elektrycznego i magnetycznego, a w każdym jego punkcie jest możliwe określenie wektorów natężenia pola elektrycznego  $E$  i magnetycznego  $H$  [4, s. 16-19]. W celu scharakteryzowania pola elektromagnetycznego jako fizycznego czynnika środowiska pracy stosuje się znacznie więcej parametrów niż w celu opisu jego pól składowych. Należą do nich [6]:

- częstotliwość pól [Hz],
- natężenie pól elektrycznych [V/m] oraz pól magnetycznych [A/m],
- gęstość mocy promieniowania [ $W/m^2$ ],
- czas ekspozycji pracownika.

Składowa elektryczna pola elektromagnetycznego oznacza oddziaływanie między naładowanymi elektrycznie cząstkami lub ciałami poruszającymi się w dowolny sposób względem inercjalnego układu odniesienia [20, s. 18]. Pole elektryczne opisuje wektor natężenia pola elektrycznego [24]:

$$E = \frac{F}{q} \quad (1)$$

gdzie:

- $F$  – siła, jaką pole elektryczne wywiera w danym miejscu na jednostkowy elektryczny ładunek punktowy,  
 $q$  – wartość tego ładunku.

W układzie SI jednostką natężenia pola elektrycznego jest niuton na kulomb. Składowa magnetyczna pola elektromagnetycznego to pole wytwarzane na skutek zmian pola elektrycznego w czasie przez układ poruszających się ładunków. Pole magnetyczne charakteryzują wektory natężenia pola magnetycznego  $H$  [20, s. 18].

$$\int_C H \times dI = I \quad (2)$$

gdzie:

- $H$  – natężenie pola magnetycznego,  
 $I$  – prąd przepływający przez dowolną powierzchnię rozpiętą na zamkniętym konturze  $C$  [18].

Natężenie pola magnetycznego wyraża się w układzie SI w amperach na metr [A/m]. Istotne dla omawianej problematyki wydają się również pojęcia gęstości mocy promieniowania pola [W/m<sup>2</sup>] [18] oraz częstotliwości pól [Hz] [20, s. 18]. Pola elektromagnetyczne mogą być stałe lub zmienne w czasie, a zmienność tę wyraża się przez liczbę zmian na sekundę, czyli częstotliwość  $f$ , wyrażaną w hercach [Hz]. Najczęściej występuje pole zmienne o małej częstotliwości równej 50 Hz [15, s. 18].

## 2.2. Źródła pól elektromagnetycznych w technice

Pole elektromagnetyczne zgodnie z art. 3 pkt 18 ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (Dz.U. 2001 nr, 62 poz. 627) zdefiniowane jest jako „pole o częstotliwościach od 0 Hz do 300 GHz”. Ze względu na źródło pochodzenia pola elektromagnetycznego wyróżnia się dwa jego rodzaje: naturalne i sztuczne. Pole elektromagnetyczne może mieć charakter naturalny – wytwarzane jest wówczas przez źródła naturalne znajdujące się w skorupie ziemskiej i jej otoczeniu. Może to być również pole wytworzone sztucznie przez urządzenia znajdujące się w otoczeniu człowieka [10, s. 40-45].

Promieniowanie naturalne i sztuczne może mieć przy tym charakter jonizujący i niejonizujący. Promieniowanie jonizujące to promieniowanie przenikliwe spowodowane strumieniem wysokoenergetycznych fotonów albo cząstek naładowanych, emitowanych przez pierwiastki wchodzące w skład skorupy ziemskiej oraz techniczne wytwory działalności ludzkiej [10, s. 44]. Do tej drugiej grupy zalicza się

elektrownie, napędy statków pływających i powietrznych, urządzenia medyczne i militarne.

Promieniowanie jonizujące to promieniowanie elektromagnetyczne ( $\gamma$ , X) lub cząstkowe (korpuskularne, np.  $\alpha$ ,  $\beta$ ), które w czasie przenikania przez materię ma zdolność wytwarzania jonów w sposób bezpośredni lub pośredni. Promieniowanie rentgenowskie (X) oraz promieniowanie gamma ( $\gamma$ ) są rodzajami promieniowania elektromagnetycznego. Z kolei wyrzucane podczas rozpadu cząstki alfa i beta oraz kwanty gamma tworzą tzw. widmo energetyczne. Wskazane rodzaje promieniowania różnią się przenikliwością, czyli stopniem pochłaniania przez materię. Istotne jest, że przenikliwość zależy od rodzaju promieniowania i poziomu jego energii. Zasięg promieniowania jonizującego określa grubość warstwy materiału, która całkowicie pochłania to promieniowanie. W przypadku promieniowania elektromagnetycznego ( $\gamma$ , X) przenikliwość jest stosunkowo duża, bowiem promieniowanie może się przedostawać przez grube warstwy betonu czy stali. W celu określenia jego zasięgu podaje się grubość warstwy materii, jaka jest potrzebna, aby osłabić jego oddziaływanie. Nieco mniej przenikliwe jest promieniowanie  $\beta$  (strumień szybko poruszających się elektronów lub pozytonów); jego zasięg może wynosić do kilku metrów i jest w powietrzu blisko 60 razy większy niż zasięg promieniowania o tej samej energii (strumień szybko poruszających się jąder helu). Promieniowanie  $\beta$  może przenikać przez kilkumilimetrową osłonę metalową, podczas gdy maksymalny zasięg promieniowania  $\alpha$  nie przekracza kilku centymetrów (do 10 cm) i z trudem przenika przez kartkę papieru [14].

Tabela 1. Źródła oraz zakresy częstotliwości emitowanych pól elektromagnetycznych [16]

Opis pola magnetycznego	Przedział częstotliwości	Długość fali	Źródła oraz okoliczności występowania pól
Stale pola elektryczne i magnetyczne	–	–	silniki elektryczne, elektroliza i przemysł
Pola sieciowe	50 Hz lub 60 Hz	6000 km lub 5000 km	elektroenergetyka, oświetlenie, ogrzewanie, silniki, urządzenia zasilane z sieci i przemysł
Pola bardzo niskich częstotliwości	0,1–1,0 kHz	300–3000 km	urządzenia przemysłowe
Pola niskich częstotliwości	1–100 kHz	3–300 km	linie i stacje elektroenergetyczne
Fale radiowe	0,1–300 MHz	1–3000 m	radiofonia (fale długie, średnie, krótkie i UKF), radiotelefony, urządzenia medyczne
Mikrofale	0,3–300 GHz	1–1000 mm	radiolokacja, radionawigacja, telefonia komórkowa, urządzenia medyczne, domowe oraz przemysłowe

Promieniowanie niejonizujące naturalne to pole geomagnetyczne, pola zjawisk zachodzących w atmosferze ziemskiej oraz pola z przestrzeni pozaziemskej. Energia pochodząca z tych źródeł nie jest rozpoznawalna za pomocą zmysłów człowieka. Pole niejonizujące sztuczne jest związane z niezamierzonym przez człowieka promieniowaniem elektromagnetycznym urządzeń zasilanych energią elektryczną. Ponieważ wiążą się one z technicznymi warunkami działania tych urządzeń, nie jest możliwe ich wyeliminowanie, a jedynie ograniczanie skutków ich oddziaływania.

Źródłem pola małej częstotliwości (do 50 Hz) są głównie linie i stacje elektroenergetyczne. O rozkładzie pól w ich otoczeniu decyduje konstrukcja linii i usytuowanie w przestrzeni przewodów znajdujących się pod napięciem. Pomiarów kontrolnych poziomów pól elektrycznych i magnetycznych o częstotliwości 50 Hz wykonuje się w Polsce dla napowietrznych linii elektroenergetycznych o napięciach znamionowych 110 kV i większych. Ponieważ pole o częstotliwości 50 Hz nie przenika przez ściany budynków, a kable stosowane w liniach podziemnych mają uziemione osłony, pomiary pola w otoczeniu wewnątrzowych stacji elektroenergetycznych i linii podziemnych nie są potrzebne. Ze względu na wytwarzane pole elektromagnetyczne na uwagę zasługują więc stacje elektroenergetyczne. Są one węzłami sieci elektroenergetycznej, w których dzięki transformacji zmieniane są napięcia oraz rozdzielany jest rozptyw energii elektrycznej pomiędzy odchodzącymi od stacji liniami wysokiego napięcia. Natężenie pola elektromagnetycznego jest duże na terenie stacji i maleje wraz ze wzrostem odległości od niej – teren potencjalnie niebezpieczny o wartościach zbliżonych do dopuszczalnych zgodnie z prawem ochrony środowiska nie jest dostępny dla ludności, a jedynie dla pracowników obsługujących stację [22, s. 189-203]. Wartości natężenia pola elektromagnetycznego przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Przeciętne wartości natężenia pola elektromagnetycznego pod liniami energetycznymi [10, s. 46]

Wyszczególnienie	Natężenie pola [kV/m]
Pod liniami 110 kV	0,5–4,0
Pod liniami 220–400 kV	5,0–10,0
W odległości 50 m od linii 400 kV	<0,5

Źródłem pola elektromagnetycznego wielkiej częstotliwości (od ok. 0,1 MHz do ok. 60 GHz) są instalacje radiokomunikacyjne (radiowe, telewizyjne, internetowe, telefonii komórkowej). Są one istotnym źródłem ze względu na zasięg działania oraz powszechność występowania. Programy radiowo-telewizyjne nadawane są na częstotliwościach zawartych w zakresie od 87,5 MHz do 860 MHz, w sieciach komórkowych wykorzystywane są częstotliwości z zakresów 900 MHz, 1800 MHz i 2100 MHz, a w radiowym dostępie do Internetu – częstotliwości ok. 2,6 GHz oraz ok. 5 GHz (z niewielkimi mocami wejściowymi). Z kolei anteny radiolinii

pracują w pasmach 23 GHz, 27 GHz i 38 GHz, a stacje UMTS – w zakresie częstotliwości 2100 MHz [26, s. 11]. Zakresy częstotliwości oraz maksymalne wartości mocy promieniowania wybranych standardów zaprezentowano w tabeli 3.

Tabela 3. Wybrane parametry techniczne systemów komórkowych [12, s. 11]

Nazwa standardu	Zakres częstotliwości [MHz]		Maksimum mocy promieniowania [W]		Promień komórki [km]
	stacji bazowej	radiotelefonu	stacji bazowej	radiotelefonu	
NMT-450 (analogowy)	463–467,5	453–457,5	100	1	1–40
AMPS (analogowy)	869–894	824–849		0,6	2–20
D-AMPS (analogowy)			50	0,2	0,5–20
CDMA (cyfrowy)			100	0,6	2–40
GSM 900	925–965	890–915	40	0,25	0,5–35
GSM 1800	1805–880	1710–785	20	0,125	0,5–2

Natężenie pola elektromagnetycznego pozostaje w ścisłym związku z długością fal radiowych. Rozgłośnia AM emituje fale długie (od 30 kHz do 300 kHz) oraz średnie (od 300 kHz do 3 MHz) mające zazwyczaj moc od 10 kW do 2 MW. Ponieważ długość fali jest stosunkowo duża (nawet 2000 m dla częstotliwości 150 kHz), wpływ pola elektromagnetycznego może być duży również w znacznej odległości od anteny – 30 m od anteny nadajnika o mocy 500 kW i częstotliwości 145 kHz natężenie pola elektrycznego osiąga wartość 630 V/m, a magnetycznego – 1,2 A/m. W przypadku nadajnika fal średnich o mocy 50 kW w odległości 30 m natężenie pola elektrycznego uzyskuje wartość 275 V/m i maleje stosunkowo szybko w miarę oddalania się od nadajnika (25 V/m po 100 m i 10 V/m po 200 m). W przypadku fal krótkich (od 3 MHz do 30 MHz) nadajniki o mniejszej mocy rozmieszczone są w przestrzeni znacznie gęściej, również na dachach wysokich budynków (10–100 m). Także natężenie pola jest znacznie słabsze – w przypadku nadajnika o mocy 100 kW w odległości 100 m od anteny natężenie pola elektrycznego wynosi ok. 44 V/m, a natężenie pola magnetycznego 0,12 A/m. Fale ultra-krótkie (87,5–108 MHz) emitowane są przez nadajniki o mocy od 50 W do 10 kW, rozmieszczane podobnie jak nadajniki fal krótkich. Wspomniane wcześniej nadajniki telewizyjne emitują fale o długości 174–230 MHz oraz 470–862 MHz i umieszczone są nieco wyżej (ok. 110 m) [26]. Wkrótce w Polsce sieć analogową przekazywania programów radiowych i telewizyjnych zastąpi wprowadzany obecnie naziemny system cyfrowego przekazu programów. Gęsta sieć stacji bazowych telefonii komórkowych obejmuje swym zasięgiem obszar niemal całego kraju, co oznacza ich niewielki przyrost w przyszłości. Dynamicznie rozwijają się natomiast stacje radiowego dostępu do Internetu oraz radiowego dostępu w stałych sieciach telekomunikacyjnych, co może oznaczać, że emitowane przez nie promieniowanie będzie przyrastać [12].



O ile wcześniej wymieniane źródła promieniowania dotyczyły ludzi niezależnie od wykonywanej przez nich profesji, to należy zauważyć, że istnieje wiele różnorodnych źródeł pól elektromagnetycznych w środowisku pracy charakterystycznym dla danej branży.

W środowisku zawodowym na uwagę zasługują następujące źródła pola elektromagnetycznego:

- obiekty elektroenergetyczne, w tym linie wysokiego napięcia, stacje przesyłowo-rozdzielcze, transformatory, energetyczna instalacja zasilająca,
- diagnostyczne i terapeutyczne urządzenia medyczne,
- urządzenia przemysłowe, w tym głównie piece i nagrzewnice indukcyjne oraz zgrzewarki i spawarki,
- urządzenia radiowe i telekomunikacyjne, zwłaszcza anteny nadawcze radiowe i telewizyjne, stacje radiolokacyjne oraz systemy telefonii ruchomej,
- urządzenia elektryczne używane indywidualnie przez pracowników oraz stanowiące wyposażenie ich stanowiska pracy – kuchnie mikrofalowe i indukcyjne, telefony komórkowe, systemy antykradzieżowe.

Typowe wykorzystanie zakresów częstotliwości przez różne grupy zawodowe zaprezentowano w tabeli 4.

Tabela 4. Zakresy częstotliwości i sposób ich wykorzystania [11, s. 181]

Częstotliwość	Zastosowanie
0–0,3 kHz	trakcja elektryczna prądu stałego, technologie elektrostatyczne, linie przesyłowe prądu stałego, medycyna, elektroenergetyka
0,3–3 kHz	sterowanie częstotliwością akustyczną, medycyna, łączność, piece indukcyjne, hartowanie, topienie, lutowanie, rafinacja
3–30 kHz	telekomunikacja, radionawigacja, medycyna, ogrzewanie indukcyjne, topienie, hartowanie, rafinacja
30–300 kHz	radionawigacja, telekomunikacja morska i aeronautyka, telefonia energetyczna nośna, radiolokacja, indukcyjne topienie metali, tomografia impedancyjna, układy zapłonowe
0,3–3 MHz	telekomunikacja, radionawigacja, radio amatorskie, radiofonia AM, spawanie RF, zgrzewarki opakowań, medycyna
3–30 MHz	pasmo częstotliwości użytku powszechnego, telekomunikacja międzynarodowa, diatermia, rezonans magnetyczny, ogrzewanie dielektryczne
30–300 MHz	policja, straż pożarna, amatorskie radia FM, telewizja VHF, diatermia, pogotowie ratunkowe, kontrola ruchu powietrznego, tomograf komputerowy NMR, ogrzewanie dielektryczne
0,3–3 GHz	radio amatorskie, radio taxi, straż pożarna, radary, radionawigacja, telewizja UHF, kuchenki mikrofalowe, telefonia komórkowa, diatermia, akceleratory
3–30 GHz	radary, telekomunikacja satelitarna, radio amatorskie, straż pożarna, samolotowe radary pogodowe, policja, radiolinie, alarmy przeciwwłamaniowe
30–300 GHz	radary, telekomunikacja satelitarna, radiolinie, radionawigacja.

Z przedstawionego powyżej wykazu urządzeń wynika, że liczba pracowników zawodowo narażonych na działanie pól elektromagnetycznych jest stosunkowo

duża. Niestety, dane statystyczne dotyczące liczebności pracowników narażonych na przebywanie w warunkach pola elektromagnetycznego przekraczającego poziomy dopuszczalne są niekompletne i w literaturze przedmiotu przedstawia się zazwyczaj dane szacunkowe: 0,2–5% osób aktywnych zawodowo (od 35 tys. do 800 tys. narażonych zawodowo na pola elektromagnetyczne) [7, s. 8-9].

### 2.3. Miary oraz dopuszczalne dawki pola elektromagnetycznego w środowisku pracy

Definiując narażenie pracowników na wpływ promieniowania elektromagnetycznego, trzeba się posłużyć następującymi wartościami [13, 15, 20]:

- wartości NDN – czyli wartości natężeń pól dopuszczalnych przy ekspozycji w ciągu całej 8-godzinnej zmiany roboczej – określają tzw. granicę strefy zagrożenia i strefy pośredniej,
- wartości natężeń pól, w których ekspozycja jest zabroniona z wyjątkiem przebywania w nich w ubiorach ochronnych – definiują tzw. granicę strefy niebezpiecznej,
- wskaźnik ekspozycji i wskaźnik zasięgu stref ochronnych – pozwalają na zdefiniowanie oceny ekspozycji złożonej.

Dopuszczalne wartości miar zewnętrznych ekspozycji obejmują wartości parametrów mierzonych bezpośrednio w miejscu przebywania ludzi, określonych jako natężenie pola elektrycznego ( $E$ ), natężenie pola magnetycznego ( $H$ ) i gęstość mocy ( $S$ ) [15, 20].

Promieniowanie z tych wszystkich źródeł nie powinno przekraczać tzw. dawki granicznej. Dawka graniczna zgodnie z definicją Państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska i Państwowej Agencji Atomistyki to: „maksymalna dawka równoważna ponad tło, przy jakiej narażenie radiacyjne jest uznawane za bezpiecznie małe”. Z kolei dawka równoważna to „wielkość dawki pochłoniętej umożliwiającej ocenę skutku biologicznego narażenia radiacyjnego organizmu żywego”.

W przypadku urządzeń radiowych przyjęto wartości graniczne natężenia pola oraz dwie strefy ochronne. Pierwsza z nich to strefa ochronna pierwszego stopnia, w której zakazane jest przebywanie ludności poza osobami pracującymi na jej terenie. W strefie ochronnej drugiego stopnia dopuszcza się natomiast okresowe przebywanie ludności, gdy jest to związane z prowadzeniem działalności gospodarczej lub turystycznej. Oznacza to, że nie może być tam zlokalizowany ani budynek mieszkalny czy szpitalno-uzdrowiskowy, ani placówka oświatowa. Natężenia pól w poszczególnych strefach przedstawiono w tabeli 5.

Obowiązujący w Polsce górny poziom gęstości mocy pola elektromagnetycznego, w którym mogą przebywać ludzie, wynosi  $0,1 \text{ W/m}^2$  (dla 900 MHz i 1800 MHz). CENELEC, organizacja Unii Europejskiej odpowiedzialna za opracowywanie norm dotyczących ochrony środowiska w zakresie pola elektromagnetycz-



Tabela 5. Wartości graniczne stref ochronnych środowiska [10, s. 48]

Źródło pola		Zakres częstotliwości	Natężenie pola, gęstość mocy dla strefy ochronnej I stopnia	Natężenie pola, gęstość mocy dla strefy ochronnej II stopnia
Linie energetyczne WN		50 Hz	>10k V/m	1–10 kV/m
Urządzenia radiowe		1–100 kHz	>100 V/m	<100 V/m
		0,1–10 MHz	>20 V/m	5–1 V/m
		10–300 Mhz	>7 V/m	2–7 V/m
Nadajniki TV, R/lok	pole stacjonarne	od 300 MHz do 300GHz	>0,1 W/m <sup>2</sup>	0,025 W/m <sup>2</sup>
	pole niestacjonarne		>1 W/m <sup>2</sup>	0,25–1 W/m <sup>2</sup>

nego, określiła ten limit na 4,5 W/m<sup>2</sup> [10, s. 49]. Dyrektywa europejska dotycząca ekspozycji zawodowej na pola elektromagnetyczne ustala graniczne wartości pól w środowisku pracy. Normy te zapewniają pracownikowi minimalną ochronę przed bezpośrednimi skutkami ekspozycji. Gdy na stanowisku pracy występują pola elektromagnetyczne przekraczające wartości ustalone w normach, pracodawcy muszą podejmować działania prewencyjne oraz regularnie okresowo kontrolować warunki i skutki ekspozycji [1, 2]. Dyrektywa nie narzuca przy tym stosowania wskazanych norm w poszczególnych krajach członkowskich Unii Europejskiej; zakłada się jedynie, że normy krajowe nie będą mniej restrykcyjne. Oznacza to, że dyrektywa obowiązuje kraje członkowskie wyłącznie w zakresie największego dopuszczalnego pola elektromagnetycznego, a szczegółowe regulacje są ustalone w normach krajowych, przy czym dopuszcza się rozbieżności między poszczególnymi krajami.

### 3. WPLYW PROMIENIOWANIA ELEKTROMAGNETYCZNEGO NA ORGANIZM LUDZKI

Negatywny wpływ pola elektromagnetycznego na organizm człowieka stał się przedmiotem badań już na początku XIX w. Zakres zainteresowań zmieniał się wraz z zachodzącymi przemianami technologicznymi. Pole elektromagnetyczne jest nieodłącznym elementem współczesnego świata. Naturalne pole istniejące w środowisku było dla człowieka nieszkodliwe; dopiero wzrost liczby sztucznych źródeł emitujących pole elektromagnetyczne zaczął wywierać na człowieka szkodliwy wpływ. Oddziaływanie pola elektromagnetycznego na organizm ludzki zależy od jego częstotliwości, wielkości lub natężenia. Istotna jest zwłaszcza częstotliwość, bowiem przy częstotliwościach niskich pole elektromagnetyczne przenika przez ciało człowieka, powodując przepływ prądu (rozkład ładunków elektrycznych na powierzchni tkanek przewodzących), a przy wysokich (radiowych) jest

częściowo absorbowane i wnika do ciała na niewielką głębokość. Zagrożenia związane z występowaniem pola elektromagnetycznego dzieli się na różne grupy w zależności od przyjętego kryterium [10, 11]. Przykłady takich podziałów zaprezentowano w tabeli 7.

Tabela 7. Podział zagrożeń związanych z występowaniem pola elektromagnetycznego [21, s. 59-62]

Kryterium	Podział	Charakterystyka zagrożeń
Częstotliwość pola	niskie częstotliwości	zagrożenia związane z bezpośrednim oddziaływaniem pola na procesy elektrochemiczne w komórkach
	średnie i niskie częstotliwości	zagrożenia związane z oddziaływaniem termicznym promieniowania na poziomie komórkowym i tkankowym
Długość narażenia na działanie pola	pole stałe	zagrożenie bezpośrednie w postaci narażenia na bezpośredni kontakt z prądem – wstrząsy elektryczne o różnej sile, zagrożenie pośrednie związane z zakłócającym oddziaływaniem pola na rytm biologiczny tkanek i narządów
	pole zmienne	zagrożenia bezpośrednie i pośrednie związane z wpływem pola elektromagnetycznego na zmiany o charakterze pozytywnym (pobudzanie, wzmacnianie) lub negatywnym (hamowanie, zaburzenie) zachodzące w procesach komórkowych

Skutki działania pól elektromagnetycznych są związane z działaniem stałego pola elektrycznego oraz magnetycznego. Pierwsze z nich działają na organizm w sposób pośredni i bezpośredni, drugie – w sposób pośredni, na drodze indukcji magnetycznej. Wpływ bezpośredni pola elektrycznego to wstrząsy elektryczne o różnej sile, wpływ pośredni natomiast powoduje zakłócenia rytmów biologicznych tkanek i narządów. Wpływ pośredni pola magnetycznego może prowadzić do zaburzeń rytmu serca i ciśnienia tętniczego oraz do efektów elektromechanicznych w postaci niekorzystnego działania na implanty (również stomatologiczne).

Wolnozmiennne pola elektromagnetyczne (<300 Hz) wpływają na zmiany w procesach komórkowych. Może to być wpływ pozytywny, wykorzystywany w medycynie w postaci pobudzania i wzmacniania procesów komórkowych, lub też jedynie negatywny – hamujący lub zaburzający te procesy [22, s. 263-264]. Negatywne oddziaływanie wiąże się ze wzmożonym odczuwaniem ciepła, drżeniem skóry w obrębie jej owłosionych fragmentów, osłabieniem pamięci i zaburzeniem myślenia oraz zaburzeniem rytmu serca. W przypadku pól wolnozmiennych należy wziąć pod uwagę dwie możliwości [25, s. 3-4]:

- pola elektromagnetyczne od 300 Hz do 100 kHz działają w sposób bezpośredni oraz pośredni; zmiany częstotliwości powodują wspomniane już wcześniej efekty czuciowe, ale również zaburzenia słuchu i wzroku; zakłócają również funkcjonowanie komórek i tkanek;

- pola elektromagnetyczne od 100 kHz do 300 GHz powodują głównie bezpośrednie efekty termiczne w postaci oparzeń oraz skutki pośrednie, w tym oddziaływanie na ośrodkowy układ nerwowy, układ krążenia, aparat przezierny oka, jelito cienkie, układ krwiotwórczy.

Wpływ pola elektromagnetycznego o niskiej częstotliwości jest wiązany z chorobami nowotworowymi – głównie z występowaniem białaczki. W 2001 r. grupa robocza Międzynarodowej Agencji ds. Badań nad Rakiem (International Agency for Research on Cancer – IARC) oraz Światowej Organizacji Zdrowia (World Health Organization – WHO) dokonała przeglądu badań związanych z negatywnym działaniem niskiej częstotliwości w tym właśnie zakresie. W wyniku tych badań pole ekstremalnie niskiej częstotliwości (ELF – *extremely low frequency*) zostało sklasyfikowane jako pole o możliwym działaniu rakotwórczym na ludzi (*possibly carcinogenic to humans*). Klasyfikacja ta oznacza jedynie, że na podstawie badań stwierdzono, iż jakiś czynnik może być rakotwórczy, przy czym istnieją ograniczone dowody jego rakotwórczego wpływu na ludzi oraz mniej niż wystarczające dowody rakotwórczości uzyskane w wyniku eksperymentów na zwierzętach. Czynnikiem zaklasyfikowanym do tej samej kategorii jest np. kawa, która może zwiększać ryzyko raka nerki. Zakres ELF nie przekracza 300 Hz i obejmuje częstotliwość techniczną (50–60 Hz) związaną z istniejącą infrastrukturą elektroenergetyczną. Jest to również tzw. zagrożenie środowiskowe, bowiem w polu oddziaływania znaleźć może się każdy człowiek bez żadnych ograniczeń czasowych [22, s. 189-203]. Ograniczone dowody w tym zakresie dotyczą głównie białaczki u dzieci, a dowody na powstawanie innych rodzajów raka u dzieci i dorosłych zostały uznane za niemieszczące się w klasyfikacji (dowody niewystarczające lub też niespójne) [25, s. 5].

W przypadku pola elektromagnetycznego o wysokiej częstotliwości istotne jest źródło jego emisji. Przebywanie w obszarze działania fal radiowych o niskim poziomie emitowanych przez telefony komórkowe oraz ich stacje bazowe nie powoduje niekorzystnych skutków zdrowotnych. Powszechnie kojarzy się z używaniem telefonów takie skutki, jak chroniczny ból głowy, złe samopoczucie i brak koncentracji. Jest to problem budzący wiele kontrowersji w środowisku naukowym, a zdania na temat szkodliwości działania tych urządzeń są podzielone. Z najnowszych badań wynika, że potencjalne zmiany w funkcjonowaniu mózgu i zakłócenia snu wahają się w granicach normy u człowieka i nie są skutkiem korzystania z telefonów, również w przypadku długotrwałego przebywania w obszarze działania pól radiowych o niskim poziomie [25, s. 7]. Jednocześnie jednak, zgodnie z wytycznymi niemieckiego Ministerstwa Ochrony Środowiska z 2007 r., dzieci do piątego roku życia bezwzględnie nie powinny używać telefonów komórkowych, a dzieci starsze mogą z nich korzystać ze znacznym ograniczeniem czasowym. Nie można przy tym wykluczyć możliwości zaistnienia skutków długofalowych. Okres powszechnego korzystania z telefonów komórkowych i ekspozycji ich na negatywne działanie trwa zbyt krótko, aby jednoznacznie określić wpływ pola na roz-

wój określonych rodzajów nowotworów. Niektórzy autorzy wiążą bezpośrednio korzystanie z telefonów z występowaniem niektórych rodzajów nowotworów (glejaka – nowotworu tkanki glejowej ośrodkowego układu nerwowego, guzy mózgu – w tym nerwiaka nerwu słuchowego). Jako dowód negatywnego wpływu używania telefonu wskazywana jest pozytywna korelacja między preferowaną stroną przykładania telefonu do ucha a lokalizacją nowotworu. Ponadto wskazano na większą zapadalność na tego rodzaju nowotwory osób długotrwale narażonych na oddziaływanie radiowego pola elektromagnetycznego – u osób używających telefonów od ponad 10 lat przez łączny czas powyżej 2000 godzin [5, s. 22-26].

#### 4. PODSUMOWANIE

Promieniowanie elektromagnetyczne jest groźne tym bardziej, że jest niewidoczne, stąd szczególnie w środowisku pracy należy podejmować wszelkie środki ochrony przed jego oddziaływaniem na poszczególnych pracowników. Oprócz wprowadzenia stref ochronnych ludzi pracujących w ich obszarze obowiązują dodatkowe zasady. Najważniejsze wśród nich to [2, s. 88-93]:

- w strefach ochronnych mogą przebywać wyłącznie pracownicy spełniający określone przepisami wymagania, u których – na podstawie przeprowadzonych badań – nie stwierdzono przeciwwskazań zdrowotnych do przebywania na tym obszarze i do ekspozycji zawodowej na pole elektromagnetyczne,
- warunki ekspozycji na stanowisku pracy znajdującym się w obszarze stref ochronnych muszą być okresowo kontrolowane,
- pracownicy, których stanowisko pracy znajduje się w strefie ochronnej, poddawani są okresowym specjalistycznym badaniom lekarskim,
- pracownicy, których stanowiska pracy znajdują się w strefach ochronnych, przechodzą obowiązkowe szkolenia z zakresu bezpieczeństwa pracy w polach elektromagnetycznych [17],
- w zasięgu pól elektromagnetycznych o natężeniach przekraczających wartości dla strefy bezpiecznej nie powinny być zatrudniane kobiety [14],
- pracownicy młodociani nie powinni się znajdować w obszarze narażonym na ekspozycję powyżej 3,75 mT [19].

Działania profilaktyczne podejmowane w ramach ochrony pracowników przed szkodliwym działaniem pól elektromagnetycznych ogólnie podzielono na trzy grupy [3, s. 22-26] – medyczne, techniczne oraz organizacyjne. Działania medyczne to badania dodatkowe i konsultacje pracowników, których stanowiska znajdują się w strefach oddziaływania pola elektromagnetycznego. Działania techniczne polegają na wprowadzaniu na stanowiska pracy urządzeń generujących pola elektromagnetyczne. Sposobem ograniczania ryzyka zawodowego jest w ich ramach:

- ekranowanie przez wstawienie pomiędzy źródło pola a obszar chroniony barier, której zadaniem jest pochłanianie lub rozpraszanie pola elektromagnetycz-

- nego – ekranowanie lokalizujące (otoczenie źródła pola elektromagnetycznego ekranem) lub osłaniające (ekranowanie stanowiska pracy),
- ekranowanie przez wprowadzenie dodatkowych źródeł pola, których zadaniem jest wytłumienie poziomego pola elektromagnetycznego w określonym obszarze,
  - wprowadzanie manipulatorów, podajników oraz innych automatów i półautomatów umożliwiających obsługę urządzenia spoza obszaru występowania silnych pól,
  - zmianę technologii i wykorzystanie urządzeń wytwarzających relatywnie słabsze pole.

Do najczęściej stosowanych metod organizacyjnych należą [8; 9]:

- zmniejszenie narażenia koniecznego związanego z wykonywaną pracą przez skrócenie zmianowego czasu ekspozycji na wpływ pól elektromagnetycznych w strefach ochronnych,
- informowanie pracowników o zasięgu stref ochronnych i źródłach pól w środowisku pracy, co umożliwi unikanie niepotrzebnego narażania się na działanie pól elektromagnetycznych.

Specyficznym rodzajem zabezpieczenia jest roboczy strój ochronny jako środek ochrony indywidualnej. Jest on stosowany wszędzie tam, gdzie mobilność wykonywanych zadań i konieczność ręcznej obsługi urządzeń wyklucza ekranowanie bądź automatyzację urządzenia lub stanowiska pracy. Aby strój ochronny spełnił funkcję ekranu zabezpieczającego przed szkodliwym działaniem pola, musi być wykonany z materiałów włókienniczych o odpowiednich właściwościach ekranujących i użytkowych.

Jak wskazano, rosnąca liczba urządzeń elektrotechnicznych spowodowała znaczny wzrost kombinacji pól elektrycznych i magnetycznych o różnych częstotliwościach, na które narażony jest każdy człowiek. Naturalne pole istniejące w środowisku nie szkodziło zdrowiu człowieka, dopiero natężenie liczby sztucznych źródeł emitujących pole elektromagnetyczne zaczęło w istotny sposób wpływać na osoby będące w jego obrębie. Wiąże się to bezpośrednio ze wzrostem zagrożeń środowiskowych. Dodatkowym czynnikiem wzmagającym ten proces są badania naukowe na temat pola elektromagnetycznego prowadzone np. w ramach programu HAARP (Alaska), w których pola o wielkiej mocy wykorzystywane są do analizy właściwości magnetycznych troposfery. Wykazano również negatywny wpływ pola elektroenergetycznego na organizm człowieka oraz sposoby reakcji ciała ludzkiego na pole elektromagnetyczne. Ograniczenie jego negatywnego wpływu oraz zapewnienie bezpiecznych warunków życia i pracy jest szczególnie istotne ze społecznego punktu widzenia. Pracodawcy są zobligowani do zapewnienia pracującym ludziom koniecznych środków ochrony przed negatywnym oddziaływaniem pól elektromagnetycznych. Aby jednak było to skuteczne, konieczne jest wykonanie dokładnych pomiarów natężenia pola elektromagnetycznego emitowanego przez wszelkie urządzenia i instalacje występujące w zakładach pracy.



## LITERATURA

- [1] Gryz K., Karpowicz J., Dyrektywa dotycząca ekspozycji zawodowej na pola elektromagnetyczne – 2004/40/WE, „Bezpieczeństwo Pracy”, 2004, nr 11.
- [2] Gryz K., Karpowicz J., Ekspozycja na pola elektromagnetyczne w pomieszczeniach biurowych i metody jej ograniczania, „Przegląd Elektrotechniczny”, 2004, nr 12.
- [3] Gryz K., Karpowicz J., Kurczewska A., Stefko A., Smalcerz A., Ograniczanie ryzyka zawodowego przy źródłach pól elektromagnetycznych (3) – przegląd wybranych materiałów barierowych, „Bezpieczeństwo Pracy – nauka i praktyka”, 2009, nr 3, s. 22-26.
- [4] Gryz K., Karpowicz J., Zradziński P., Pole magnetyczne wytwarzane przez wyposażenie elektroenergetyczne w budynkach – zalecenia profilaktyczne dotyczące ograniczenia narażenia długotrwałego, „Bezpieczeństwo Pracy – nauka i praktyka”, 2011, nr 5.
- [5] Hardell L., Carlberg M., Mild K.H., Użytkowanie telefonów komórkowych i bezprzewodowych a ryzyko występowania guzów mózgu zdiagnozowanych w latach 1997-2003, „Bezpieczeństwo Pracy”, 2007, nr 4.
- [6] Karpowicz J., Gryz K., Pola i promieniowanie elektromagnetyczne, <http://www.ciop.pl/6468.html> (26.08.2012).
- [7] Karpowicz J., Gryz K., Wymagania nowej dyrektywy WE w sprawie ochrony pracowników przed oddziaływaniem pól elektromagnetycznych, Materiał przygotowany na posiedzenie Rady Ochrony Pracy w dniu 1 lutego 2011 roku, CIOP-PIB, Warszawa 2011.
- [8] Karpowicz J., Gryz K., Ograniczanie ryzyka zawodowego przy źródłach pól elektromagnetycznych (1) – środki ochrony zbiorowej i indywidualnej, „Bezpieczeństwo Pracy – nauka i praktyka”, 2009, nr 1.
- [9] Karpowicz J., Gryz K., Ograniczanie ryzyka zawodowego przy źródłach pól elektromagnetycznych (2) – wybrane źródła pól i charakterystyka odzieży ochronnej, „Bezpieczeństwo Pracy – nauka i praktyka”, 2009, nr 2.
- [10] Kiciński W., Żera A., Pole elektromagnetyczne w środowisku człowieka, w: II Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Ekologia w elektronice” 5–6 grudnia 2002, Warszawa 2002.
- [11] Michałowska-Samonek J., Aktualne zasady dotyczące badania pól elektromagnetycznych wysokiej częstotliwości, „Prace Instytutu Elektrotechniki”, Politechnika Lubelska, 2008, z. 238.
- [12] Obawy dotyczące wpływu pól elektromagnetycznych na zdrowie P6\_TA(2009)0216 Rezolucja Parlamentu Europejskiego z dnia 2 kwietnia 2009 r. w sprawie obaw dotyczących wpływu pól elektromagnetycznych na zdrowie (2008/2211(INI)) (2010/C 137 E/08).
- [13] PN-T-06580-3:2002, Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym o częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz. Metody pomiaru i oceny natężenia pola na stanowisku pracy.
- [14] Potencjalne zagrożenia związane z polami elektromagnetycznymi i ich skutki dla środowiska, 6 maja 2011 r. – Zgromadzenie Parlamentarne Rady Europy, Komisja Środowiska, Rolnictwa oraz Spraw Lokalnych i Regionalnych. Dokument 12608, <http://assembly.coe.int/Main.asp?link=/Documents/WorkingDocs/Doc11/EDOC12608.htm> (29.07.2012).



- [15] Purcell E.M., Elektryczność i magnetyzm, PWN, Warszawa 1974.
- [16] Rocznik Wojskowy Instytutu Higieny i Epidemiologii, t. 35, suplement 2.
- [17] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U., nr 217, poz. 1833).
- [18] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 września 1996 r. w sprawie wykazu prac szczególnie uciążliwych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet (Dz.U., 1996, nr 114, poz. 545).
- [19] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 września 1996 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym (Dz.U., 1996, nr 114, poz. 500).
- [20] Różycki S., Ochrona środowiska przed polami elektromagnetycznymi. Informator dla administracji Samorządowej, Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska, Warszawa 2011.
- [21] Sikora R., Zeńczak M., Gęstość prądu jako wielkość kryterialna do oceny oddziaływania pól elektromagnetycznych na organizm człowieka, „Przegląd Elektrotechniczny”, 2005, nr 9.
- [22] Strzałka-Gołuszka K., Syrek P., Pole elektromagnetyczne w środowisku człowieka i metoda jego obliczania, „Prace Instytutu Elektrotechniki”, 2008 z. 239.
- [23] Syrek P., Pole elektromagnetyczne w terapii złamań, w: Materiały konferencji z okazji Jubileuszu 90-lecia AGH, 28-29 maja 2009, Kraków 2009.
- [24] The potential dangers of electromagnetic fields and their effect on the environment <http://assembly.coe.int/Main.asp?link=/Documents/WorkingDocs/Doc11/EDOC12608.htm> (2.08.2012).
- [25] Wpływ pola elektromagnetycznego na zdrowie człowieka. Płaszczyzny dialogu, Polskie Towarzystwo Zastosowań Elektromagnetyzmu, Instytut Naukowo-Badawczy ZTUREK, Warszawa 2009.
- [26] Źródła pól elektromagnetycznych, [http://www.ire.pw.edu.pl/~kderzakowski/ofe/ofe\\_w2.pdf](http://www.ire.pw.edu.pl/~kderzakowski/ofe/ofe_w2.pdf) (30.07.2012).

## **ELECTROMAGNETIC FIELD AS A HARMFUL FACTOR IN THE ELECTRIC POWER INDUSTRY**

### **S u m m a r y**

Within the following article, the impact of electromagnetic field on humans is described. Specifically, carried out is an analysis of literature on the sources of the electromagnetic field in the human environment, and the characteristics of the harmful impact of the field depending on the size of the electromagnetic field strength and the length of exposure to its action. In the article presented are the current legal grounds and standards regulating the issue of electromagnetic fields.

[HTTP://ZESZYTY.FEM.PUT.POZNA.PL](http://zeszyty.fem.put.poznan.pl)