Z E S Z Y T Y N A U K O W E P O L I T E C H N I K I P O Z N A Ń S K I E J
Nr 59 Organizacja i Zarządzanie 2013

Roman KASPRZYK*
Marcin BUTLEWSKI **

POLE ELEKTROMAGNETYCZNE JAKO CZYNNIK SZKODLIWY W PRZEMYŚLE ELEKTROENERGETYCZNYM

W artykule opisano wpływ pola elektromagnetycznego na organizm człowieka. W szczególności dokonano tego poprzez analizę 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 tu 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. WSTĘP

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 wszech-otaczającej sieci elektroenergetycznej. O ile można przyjąć, że w przypadku codziennego życia nasze kontakty z oddziaływaniem pola elektromagnetycznego są stosunkowo niewielkie, to w przypadku sytuacji zawodowych zagrożenie to może mieć istotny wpływ na zdrowie i życie narażonych na nie pracowników. Z tego powodu pracodawcy zobligowani są 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

* absolwent kierunku Inżynieria bezpieczeństwa na Wydziale Inżynierii Zarządzania, Politechnika Poznańska
** Katedra Ergonomii i Inżynierii Jakości. Wydział Inżynierii Zarządzania. Politechnika Poznańska.

z rosnącym zapotrzebowaniem na energię elektryczną oraz zaawansowaniem technologii bezprzewodowych (telefony komórkowe, urządzenia WiFi, Wimax, Bluetooth itp.). Rozwój cywilizacyjny i rewolucja technologiczna wieku XX i XXI spowodowały bowiem znaczący wzrost kombinacji pól elektromagnetycznych o różnych częstotliwościach, z którymi każdy styka się w domu czy pracy. Dlatego też podejmowane są szeroko zakrojone działania zmierzające do ograniczenia stopnia narażenia człowieka na oddziaływanie pól elektromagnetycznych.

Celem opracowania jest przedstawienie stanu wiedzy odnośnie zagrożenia jakim jest promieniowanie elektromagnetyczne oraz przedstawienia stosowanych środków jego przeciwdziałania.

2. PODSTAWY TEORETYCZNE DOTYCZĄCE PROMIENIOWANIA ELEKTROMAGNETYCZNEGO

2.1. Pole elektromagnetyczne oraz jego cechy

Pole elektromagnetyczne to taki 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, iż jest ono układem dwóch wzajemnie powiązanych pól: pola elektrycznego i pola magnetycznego, a w każdym jego punkcie możliwe jest określenie wektorów natężenia pola elektrycznego E i magnetycznego H [3, s. 16-19]. Do scharakteryzowania pola elektromagnetycznego jako fizycznego czynnika środowiska pracy stosowanych jest znacznie więcej parametrów niż do jego pola składowego. Należą do nich następujące parametry [23]:

- częstotliwość pól [Hz],
- natężenie pól elektrycznych [V/m] oraz pól magnetycznych [A/m],
- gęstość mocy promieniowania [W/m2],
- czas ekspozycji pracownika.

Składowa elektryczna pola elektromagnetycznego oznacza oddziaływanie między naładowanymi elektrycznie cząstkami lub ciałami poruszającymi się w dowolny sposób względem inercjalnego układu odniesienia [14, s. 18]. Pole elektryczne opisuje wektor natężenia pola elektrycznego E [25]:

$$E=F/q \tag{1}$$

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 przez zmiany pola elektrycznego w czasie przez układ poruszających się ładunków. Pole magnetyczne charakteryzują wektory natężenia pola magnetycznego H [14, s. 18].

$$\oint_C \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = I \tag{2}$$

gdzie:
H – natężenie pola magnetycznego,
I – prąd przepływający przez dowolną powierzchnię rozpiętą na zamkniętym konturze C [25].

Natężenie pola magnetycznego wyraża się w układzie SI w [A/m] - amper na metr. Istotne dla omawianej problematyki wydają się również pojęcia gęstości mocy promieniowania pola [W/m²] [25] oraz częstotliwości pól podawanych w Hz [14, 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 spotykane jest pole zmienne o małej częstotliwości równej 50 Hz [12, s. 18].

2.2. Źródła pól elektromagnetycznych w technice

Pole elektromagnetyczne zgodnie z art. 3 pkt. 18 ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 roku 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 jego dwa 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 [9, 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 [9, s. 44]. Do tej drugiej grupy zaliczane są elektrownie, napędy statków pływających i powietrznych, urządzenia medyczne i militarne.

Promieniowanie jonizujące to promieniowanie elektromagnetyczne (γ, X) lub cząstkowe (korpuskularne, np. α, β), które w czasie przenikania przez materię ma zdolność wytwarzania jonów w sposób bezpośredni lub pośredni. Promieniowanie rentgenowskie (X) oraz promieniowanie gamma (γ) jest promieniowaniem elektromagnetycznym. Z kolei wyrzucane podczas rozpadu cząstki alfa i beta oraz

kwanty gamma tworzą tzw. widmo energetyczne. Wskazane rodzaje promieniowania różnią się od siebie przenikliwością, czyli stopniem pochłaniania go przez materię. Istotne jest, że przenikliwość zależy od rodzaju promieniowania i poziomu jego energii. Zasięg promieniowania jonizującego określa grubość warstwy tego materiału, która całkowicie pochłania to promieniowanie. W przypadku promieniowania elektromagnetycznego (γ, X) przenikliwość jest stosunkowo duża, bowiem promieniowanie może przedostawać się przez grube warstwy betonu czy stali. Do określenia jego zasięgu podaje się grubość warstwy materii, jaka jest potrzebna, aby osłabić jego oddziaływanie. Nieco mniej przenikliwe jest promieniowanie β (strumień szybko poruszających się elektronów lub pozytonów), jego zasięg może dochodzić do kilku metrów i jest w powietrzu blisko 60 razy większy niż promieniowania o tej samej energii (strumień szybko poruszających się jąder helu). Promieniowanie β może przenikać przez kilkumilimetrową osłonę metalową, podczas gdy maksymalny zasięg promieniowania α nie przekracza kilku centymetrów (do 10 cm) i z trudem przenika przez kartkę papieru [24].

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

Tab. 1. Źródła oraz zakresy częstotliwości emitowanych pól elektromagnetycznych [13]

Opis pola magnetycznego	**Przedział częstotliwości**	**Długość fali**	**Źródła oraz okoliczności występowania pól**
Stałe pola elektryczne i magnetyczne	-	-	Silniki elektryczne, elektroliza i przemysł
Pola sieciowe	50 lub 60 Hz	6000 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

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. Pomiary kontrolne poziomów pól elektrycznych i magnetycznych o częstotliwości 50 Hz wykonuje się w Polsce dla działających około 45 000 km napowietrznych linii elektroenergetycznych o napięciach znamionowych 110 kV i wyższych. Ponieważ pole o częstotliwości 50 Hz nie przenika przez ściany budynków, a kable stosowane w liniach podziemnych mają uziemione osłony, pomiary pola w otoczeniu wnętrzowych stacji elektroenergetycznych i podziemnych linii nie są potrzebne. Ze względów wytwarzanego pola elektromagnetycznego na uwagę zasługują więc stacje elektroenergetyczne. Są one węzłami sieci elektroenergetycznej, w których dzięki transformacji zmieniane są napięcia oraz rozdzielany jest rozpływ energii elektrycznej pomiędzy odchodzącymi od stacji liniami wysokiego napięcia. Natężenie pola elektromagnetycznego jest wysokie 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, jedynie dla pracowników obsługujących stację [16, s. 189-203]. Wielkość natężenia pola elekromagnetycznego prezentuje tabela 2.

Tab. 2. Przeciętne wartości natężenia pola elektromagnetycznego pod liniami energetycznymi [9, s. 46]

Wyszczególnienie	Natężenie pola w kV/m
pod liniami napięć 110 kV	0,5-4,0
pod liniami napięć 220-400 kV	5,0-10,0
w odległości 50 m od linii 400 kV	<0,5

Źródłem pola elektromagnetycznego wielkiej częstotliwości (od około 0,1 MHz do około 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, 1800 i 2100 MHz, natomiast w radiowym dostępie do Internetu – około 2,6 GHz oraz około 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]. Zakres częstotliwości oraz maksimum mocy promieniowania wybranych standardów prezentuje tabela 3.

Tab. 3. Wybrane parametry techniczne systemów komórkowych [11, 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	1805-1880	1710-1785	20	0,125	0,5-2

Natężenie pola elektromagnetycznego pozostaje w ścisłym związku z długością fal radiowych. Rozgłośnia AM emituje fale długie (30 kHz - 300 kHz) oraz średnie (300 kHz – 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 wielkość 630 V/m, a magnetyczne – 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, malejąc stosunkowo szybko wraz z oddalaniem się od nadajnika (25 V/m po 100 m i 10 V/m po 200 m). W przypadku fal krótkich (3 MHz - 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, pole elektryczne waha się w granicach 44 V/m, magnetyczne natomiast – 0.12 A/m. Fale ultrakrótkie (87.5 MHz – 108 MHz) emitowane są przez nadajniki o mocy 50W – 10 kW, rozmieszczane podobnie jak nadajniki fal krótkich. Wspomniane wcześniej nadajniki telewizyjne emitują fale o długości 174 MHz - 230 MHz oraz 470 MHz - 862 MHz i umieszczane 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 [11].

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 charakterystycznych 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 różnorodne grupy zawodowe prezentuje tabela 4.

Tab. 4. Zakresy częstotliwości i sposób ich wykorzystania [10, 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 dla 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.

Przedstawiony powyżej wykaz urządzeń wskazuje, że liczba pracowników zawodowo narażonych na działanie pól elektromagnetycznych jest stosunkowo liczna. Niestety dane statystyczne dotyczące liczebności pracowników narażonych na przebywanie w warunkach pola elektromagnetycznego przekraczającego poziomy dopuszczalne są niekompletne i w literaturze przedmiotu przedstawiane są zazwyczaj dane szacunkowe, mieszczące się w granicach 0,2-5% osób aktywnych zawodowo (od 35 tys. do 800 tys. narażonych zawodowo na pola elektromagnetyczne) [6, s. 8-9].

2.3. Miary oraz dopuszczalne dawki pola elektromagnetycznego w środowisku pracy

Definiując narażenie pracowników na wpływ promieniowania elektromagnetycznego, posłużyć trzeba się następującymi wartościami pozwalającymi na określanie stanu zagrożenia zawodowego [12, 14, 19]:

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

Dopuszczalne wartości miar zewnętrznych ekspozycji obejmują wielkości parametrów mierzonych bezpośrednio w miejscu przebywania ludzi, określonych jako natężenie pola elektrycznego (E), natężenie pola magnetycznego (H) i gęstość mocy (S) [12,14].

Promieniowanie z tych wszystkich źródeł nie powinno przekraczać tzw. dawki granicznej. Dawka graniczna zgodnie z definicja 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 i przyjęto 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, która związana jest 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 prezentuje tabela 5.

Tab. 5. Wartości graniczne stref ochronnych środowiska [9, s. 48]

Źródło pola		**Zakres częstotliwości**	**Natężenie pola, gęstość mocy dla strefy ochronnej I st.**	**Natężenie pola, gęstość mocy dla strefy ochronnej II st.**
linie energetyczne WN		50 Hz	>10kV/m	1-10kV/m
urządzenia radiowe		1-100 kHz	>100V/m	<100 V/m
		0,1-10 MHz	>20V/m	5-1- V/m
		10-300 Mhz	>7V/m	2-7 V/m
nadajniki TV, R/lok	pole stacjonarne	300MHz-300GHz	>0,1 W/m2	0,025 W/m2
	pole niestacjonarne		>1 W/m2	0,25-1 W/m2

Górny poziom gęstości mocy pola elektromagnetycznego obowiązujący w Polsce, w którym mogą przebywać ludzie wynosi 0,1 W/m2 (dla 900 i 1800 MHz). Natomiast CENELEC, organizacja Unii Europejskiej odpowiedzialna za opracowywanie norm dotyczących ochrony środowiska w zakresie pola elektromagnetycznego, określiła ten limit na 4,5 W/m2 [9, 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. Występowanie na stanowisku pracy pól elektromagnetycznych przekraczających ustalone wielkości norm zmuszają pracodawców do podejmowania działań prewencyjnych oraz regularnej okresowej kontroli warunków i skutków ekspozycji [1; 2]. Dyrektywa nie narzuca przy tym wskazanych norm w poszczególnych krajach członkowskich Unii Europejskiej, zakładając jedynie, iż normy krajowe nie będą mniej restrykcyjne. Oznacza to, że dyrektywa obowiązuje kraje członkowskie wyłącznie w zakresie najwyższego dopuszczalnego pola elektromagnetycznego, pozostawiając szczegółowe regulacje w pozostałym zakresie normom krajowym i dopuszczając rozbieżności pomiędzy poszczególnymi krajami.

3. WPŁYW PROMIENIOWANIA ELEKTROMAGNETYCZNEGO NA ORGANIZM LUDZKI

Negatywny wpływ pola elektromagnetycznego na organizm człowieka stał się przedmiotem badań już na początku XIX wieku. Zakres zainteresowań zmieniał się wraz z zachodzącymi przemianami technologicznymi. Pole elektromagnetyczne we współczesnym świecie jest jego nieodłącznym elementem. 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 częstotliwości pola, jego 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), przy wysokich (radiowych) jest częściowo absorbowane i wnika do ciała na niewielką głębokość. Zagrożenia związane z występowaniem pola elektromagnetycznego dzielone są na różne grupy – w zależności od przyjętego kryterium [9; 11]. Przykłady takich podziałów prezentuje tabela 7.

Tab. 7. Podział zagrożeń związanych z występowaniem pola elektromagnetycznego [15, 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 negatywnych (hamowanie, zaburzanie) zachodzące w procesach komórkowych

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

Wolnozmienne pola elektromagnetyczne (< 300 Hz) wpływają na zmiany w procesach komórkowych. Mogą mieć one przy tym wpływ pozytywny, wykorzystywany w medycynie w postaci pobudzania i wzmacniania procesów komórkowych, lub też jedynie negatywny – hamujący lub zaburzający te procesy [17 s. 263-264]. Negatywne oddziaływanie wiąże się z wzmożonym odczuwaniem ciepła, drżeniem skóry w obrębie jej owłosionych fragmentów, osłabieniem pamięci i zaburzeniem myślenia oraz zaburzeniem rytmu serca. W przypadku pól wolnozmiennych, pod uwagę należy wziąć dwie możliwości [18 s. 3-4]:

- pola elektromagnetyczne 300 Hz - 100 kHz – działają one w sposób bezpośredni oraz pośredni; zmiany w częstotliwości powodują wspomniane już wcześniej efekty czuciowe, ale również zaburzenia słuchowe i wzrokowe; zakłócają również funkcjonowanie komórek i tkanek;
- pola elektromagnetyczne 100 kHz - 300 GHz - powodują głównie bezpośrednie efekty termiczne w postaci oparzeń oraz pośrednie skutki działania termicznego, w tym oddziaływanie na ośrodkowy układ nerwowy, krążenia, aparat przezierny oka, jelito cienkie, układ krwiotwórczy.

Wpływ pola elektromagnetycznego o niskiej częstotliwości wiązany jest z chorobami nowotworowymi – głównie z występowaniem białaczki. W 2001 roku grupa robocza Międzynarodowej Agencji do Spraw 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 wyni-

ku tych badań pole ekstremalnie niskiej częstotliwości (ELF Extremely Low Frequency) sklasyfikowane zostało jako pole możliwie rakotwórcze dla ludzi (possibly carcinogenic to humans). Klasyfikacja ta oznacza jedynie, że jakiś czynnik w oparciu o badania może być rakotwórczy, przy czym istnieją ograniczone dowody na jego rakotwórczy wpływ na ludzi oraz mniej niż wystarczające dowody rakotwórczości, uzyskane w drodze eksperymentów na zwierzętach. Czynnikiem sklasyfikowanym w 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 [16, s. 189-203]. Ograniczone dowody w tym zakresie dotyczą głównie białaczki u dzieci, natomiast dowody na powstawanie innych rodzajów raka u dzieci i dorosłych zostały uznane za niemieszczące się w klasyfikacji (dowody niewystarczające lub też niespójne) [18, s. 5].

W przypadku pola elektromagnetycznego o wysokiej częstotliwości istotne jest źródło jego emisji. Przebywanie w obszarze działania fal radiowych o niskim poziomie emitowanym przez telefony komórkowe oraz ich stacje bazowe nie powoduje niekorzystnych skutków zdrowotnych. Powszechnie kojarzone są 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 są podzielone. Najnowsze badania pokazują, 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 [18, s. 7]. Jednocześnie jednak, zgodnie z wytycznymi niemieckiego Ministerstwa Ochrony Środowiska z 2007 roku, dzieci do 5 roku życia bezwzględnie nie powinny używać telefonów komórkowych, dzieci starsze – ze znacznym ograniczeniem czasowym. Nie można przy tym wykluczyć możliwości zaistnienia długofalowych skutków. Powszechne korzystanie z telefonów komórkowych i ekspozycja na negatywne działanie są zbyt krótkie na jednoznaczne określenie wpływu pola na określone rodzaje nowotworów. Niektórzy autorzy wiążą bezpośrednio korzystanie z telefonów z występowaniem niektórych rodzajów nowotworów (glejaka – nowotworu tkanki glejowej ośrodkowego układu nerwowego, guzy mózgu – w tym nerwiak nerwu słuchowego). Jako dowód negatywnego wpływu używania telefonu wskazywana jest pozytywna korelacja pomiędzy preferowaną stroną przykładania telefonu a stroną występowania nowotworu – rozkład pola od telefonu prezentuje rysunek 1. Ponadto wskazano na większą zapadalność na tego rodzaju nowotwory osób długotrwale narażonych na oddziaływanie radiowego pola elektromagnetycznego – u osób używających telefonów ponad 10 lat i łącznym czasie powyżej 2000 godzin [5, s. 22-26].

PODSUMOWANIE

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

- na obszarze stref ochronnych mogą przebywać wyłącznie pracownicy spełniający określone przepisami wymagania i u których – na podstawie przeprowadzonych badań – nie stwierdzono przeciwwskazań zdrowotnych do przebywania na ich obszarze i ekspozycji zawodowej na pole elektromagnetyczne,
- warunki ekspozycji na stanowisku pracy znajdującym się w obszarze stref ochronnych musza być okresowo kontrolowane,
- pracownicy, których stanowisko pracy znajduje się w strefie ochronnej poddawani są okresowym specjalistycznym badaniom lekarskim dla pracowników przebywających w strefie ochronnej,
- pracownicy, których stanowisko pracy znajduje się na w obszarze stref ochronnych przechodzą obowiązkowe szkolenia z zakresu bezpieczeństwa pracy w polach elektromagnetycznych [22],
- w zasięgu pól elektromagnetycznych o natężeniach przekraczających wartości dla strefy bezpiecznej nie powinny być zatrudniane kobiety [20],
- pracownicy młodociani nie powinni znajdować się w obszarze narażonym na ekspozycję powyżej 3,75mT [21].

Działania profilaktyczne podejmowane w ramach ochrony pracowników przed szkodliwym działaniem pól elektromagnetycznych ogólnie podzielone zostały na trzy grupy [4, s. 22-26] – medyczne, techniczne oraz organizacyjne. Medyczne, to badania dodatkowe i konsultacje pracowników, których stanowiska znajdują się w strefach oddziaływania pola elektromagnetycznego. Techniczne, polegają na wprowadzaniu na stanowiska pracy urządzeń generujących pola elektromagnetyczne. Sposobem ograniczania ryzyka zawodowego jest w ich ramach:

- ekranowanie poprzez wstawienie „bariery" pomiędzy źródło pola a obszar chroniony, której zadaniem jest pochłanianie lub rozpraszanie pola elektromagnetycznego – ekranowanie lokalizujące (otoczenie źródła pola elektromagnetycznego ekranem) lub osłaniające (ekranowanie stanowiska pracy),
- ekranowanie przez wprowadzenie dodatkowych źródeł pola – zadaniem ich jest wytłumienie poziomu 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 o relatywnie słabszym polu.

Natomiast do najczęściej stosowanych metod organizacyjnych należą [7; 8]:

- zmniejszenie narażenia koniecznego związanego z wykonywana pracą poprzez skrócenie zmianowego czasu ekspozycji w zasięgu pól elektromagnetycznych stref 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 lub automatyzację urządzenia lub stanowiska pracy. Aby strój ochronny spełnił rolę 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 prowadzone na temat pola elektromagnetycznego np. w ramach programu HAARP (Alaska), w którym pola o wielkiej mocy wykorzystywane są do badania właściwości magnetycznych troposfery. Wskazany został również negatywny wpływ pola elektroenergetycznego na organizm człowieka oraz sposoby, w jaki sposób ciało ludzkie reaguje na pole elektromagnetyczne. Ograniczenie negatywnego wpływu oraz zapewnienie bezpiecznych warunków życia i pracy jest szczególnie istotne ze społecznego punktu widzenia. Pracodawcy zobligowani są do zapewnienia pracującym ludziom koniecznych środków ochrony zabezpieczających ich przed negatywnym oddziaływaniem pól elektromagnetycznych. Stosują przy tym różnorodne sposoby i środki ochrony pracownika przed zagrożeniem zawodowym. Aby jednak było to skuteczne, konieczne jest wykonanie dokładnych pomiarów natężeń pola elektromagnetycznego emitowanego przez wszelkie urządzenia i instalacje występujące w zakładach pracy.

LITERATURA

[1].Gryz K., J. Karpowicz, Dyrektywa dotycząca ekspozycji zawodowej na pola elektromagnetyczne – 2004/40/WE, „Bezpieczeństwo Pracy” 11/2004.

[2].Gryz K., J. Karpowicz, Ekspozycja na pola elektromagnetyczne w pomieszczeniach biurowych i metody jej ograniczania, „Przegląd Elektrotechniczny” 12/2004.

[3].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" 5/2011.
[4].Gryz K., J. Karpowicz, A. Kurczewska, A. Stefko, A. Smalcerz, Ograniczanie ryzyka zawodowego przy źródłach pól elektromagnetycznych (3) - przegląd wybranych materiałów barierowych, „Bezpieczeństwo Pracy – nauka i praktyka: nr 3/2009, s. 22-26.
[5].Hardell L., M. Carlberg, K.H. Mild, Użytkowanie telefonów komórkowych i bezprzewodowych a ryzyko występowania guzów mózgu zdiagnozowanych w latach 1997-2003, „Bezpieczeństwo Pracy" 04/2007.
[6].Karpowicz J., K. Gryz, 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.
[7].Karpowicz J., K. Gryz., Ograniczanie ryzyka zawodowego przy źródłach pól elektromagnetycznych (1) - środki ochrony zbiorowej i indywidualnej, „Bezpieczeństwo Pracy – nauka i praktyka" nr 1/2009.
[8].Karpowicz J., K. Gryz., Ograniczanie ryzyka zawodowego przy źródłach pól elektromagnetycznych (2) - wybrane źródła pól i charakterystyka odzieży ochronnej, „Bezpieczeństwo Pracy – nauka i praktyka" nr 2/2009.
[9].Kiciński W., A. Żera, Pole elektromagnetyczne w środowisku człowieka, II Krajowa Konferencja naukowo-techniczna „Ekologia w elektronice" 5-6. 12.2002, Warszawa 2002.
[10].Michałowska-Samonek J., Aktualne zasady dotyczące badania pól elektromagnetycznych wysokiej częstotliwości, „Prace Instytutu Elektrotechniki" zeszyt 238, Politechnika Lubelska, Lublin 2008.
[11].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).
[12].Purcell E.M., Elektryczność i Magnetyzm, PWN Warszawa 1974.
[13].Rocznik Wojskowy Instytutu Higieny i Epidemiologii Tom 35, suplement 2.
[14].Różycki S., Ochrona środowiska przed polami elektromagnetycznymi. Informator dla administracji Samorządowej, Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska Warszawa 2011.
[15].Sikora R., M. Zeńczak, Gęstość prądu jako wielkość kryterialna do oceny oddziaływania pól elektromagnetycznych na organizm człowieka, „Przegląd Elektrotechniczny" 09/2005.
[16].Strzałka-Gołuszka K., P. Syrek, Pole elektromagnetyczne w środowisku człowieka i metoda jego obliczania, „Prace Instytutu Elektrotechniki" z. 239/2008.
[17].Syrek P., Pole elektromagnetyczne w terapii złamań. Materiały z konferencji z okazji Jubileuszu 90-lecia AGH 28-29 maja 2009, Kraków 2009.
[18].Wpływ pola elektromagnetycznego na zdrowie człowieka. Płaszczyzny dialogu, Polskie Towarzystwo Zastosowań Elektromagnetyzmu, Instytut Naukowo-Badawczy ZTUREK, Warszawa 2009.
[19].Polska Norma 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.
[20].Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 września 1996 w sprawie wykazu prac szczególnie uciążliwych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet (Dz. U. 1996 nr 114 poz. 545).

[21].Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 września 1996 roku w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym (Dz. U. 1996 nr 114, poz. 500).
[22].Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 roku w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz. U. nr 217, poz. 1833).
[23].Karpowicz J., Gryz K., Pola i promieniowanie elektromagnetyczne, http://www.ciop.pl/6468.html (26.08.2012).
[24].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)
[25].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).
[26].Źródła pól elektromagnetycznych, 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

Summary

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.