

dr inż. Jolanta Karpowicz¹⁾
dr hab. n. med. Alicja Bortkiewicz²⁾
dr inż. Krzysztof Gryz¹⁾
dr hab. inż. Roman Kubacki⁴⁾
dr hab. n. med. Ryszard Wiaderkiewicz³⁾
¹⁾Centralny Instytut Ochrony Pracy –
Państwowy Instytut Badawczy
²⁾Instytut Medycyny Pracy w Łodzi
³⁾Śląski Uniwersytet Medyczny
w Katowicach
⁴⁾Wojskowy Instytut Higieny
i Epidemiologii

Pola i promieniowanie elektromagnetyczne o częstotliwości z zakresu 0 Hz - 300 GHz

Dokumentacja nowelizacji
harmonizującej dopuszczalny
poziom ekspozycji pracowników
z wymaganiami dyrektywy
2004/40/WE *

Słowa kluczowe: pola elektromagnetyczne, ekspozycja zawodowa, dopuszczalny poziom ekspozycji.

Key words: electromagnetic fields, occupational exposure, permissible exposure level.

Obowiązujący w Polsce dopuszczalny poziom ekspozycji pracowników na pola elektromagnetyczne został poprzednio zmodyfikowany w 1999 r. (aktualnie publikowany w: DzU 2002, nr 217, poz. 1833), a terminologię oraz zharmonizowane z nim metody pomiarów i oceny ekspozycji zdefiniowano w normie PN-T-06580:2002. Jego dokumentacja została przyjęta przez Międzyresortową Komisję ds. NDS i NDN i opublikowana w artykule: *Korniewicz i in.* „Pola i promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu częstotliwości 0 Hz - 300 GHz. Dokumentacja proponowanych znowelizowanych wartości dopuszczalnych ekspozycji zawodowej” (PiMOŚ 2001, nr 2(28)).

W związku z koniecznością transpozycji wymagań dyrektywy europejskiej 2004/40/WE do prawa polskiego, niezbędna jest harmonizacja z nimi postanowień rozporządzenia ministra pracy i polityki społecznej w sprawie NDN pól elektromagnetycznych (DzU 2002, nr 217, poz. 1833).

Zaproponowane dopuszczalne wartości miar wewnętrznych, przyjęto na podstawie dyrektywy 2004/40/WE:

* W wyniku dyskusji na posiedzeniu Grupy Ekspertów ds. Pól Elektromagnetycznych w dniu 18 maja 2007 r. oraz na posiedzeniu Międzyresortowej Komisji ds. NDS i NDN w dniu 19 czerwca 2007 r. przyjęto prezentowane w artykule rekomendacje odnośnie do nowelizacji rozporządzenia w sprawie NDN pól elektromagnetycznych, związanej z transpozycją wymagań dyrektywy 2004/40/WE do porządku prawnego w Polsce. Wniosek w tej sprawie został przekazany do Ministerstwa Pracy i Polityki Społecznej Protokołem z 55. posiedzenia Międzyresortowej Komisji.

Wymagania dyrektywy 2004/40/WE powinny zostać wprowadzone do systemu prawa pracy w poszczególnych państwach członkowskich Unii Europejskiej do kwietnia 2012 r. (Dyrektywa 2008/46/WE).

-
1. Dopuszczalna wartość gęstości prądu w głowie i tułowie J (mA/m²) przy ekspozycji na pole elektromagnetyczne o częstotliwości $f < 10$ MHz (wartość skuteczna (RMS)):
 - 40 mA/m² - przy częstotliwości do 1 Hz
 - $40/f$ mA/m² - przy częstotliwości z zakresu od 1 Hz do 4 Hz; częstotliwość f w Hz
 - 10 mA/m² - przy częstotliwości z zakresu od 4 Hz do 1000 Hz
 - $f/100$ mA/m² - przy częstotliwości z zakresu od 1 kHz do 10 MHz; częstotliwość f w Hz.
 2. Dopuszczalna wartość szybkości pochłaniania właściwego energii (SAR), przy ekspozycji na pole elektromagnetyczne o częstotliwości z zakresu od 100 kHz do 10 GHz (wszystkie wartości SAR uśrednione w okresie dowolnych sześciu minut, miejscowe wartości oznaczają wartości maksymalne, uśrednione odnośnie do dowolnych 10 g zwartej tkanki):
 - 0,4 W/kg – wartość SAR uśredniona względem całego ciała
 - 10 W/kg – miejscowa wartość SAR (w głowie i tułowie)
 - 20 W/kg – miejscowa wartość SAR (w kończynach).
 3. Dopuszczalna wartość gęstości mocy (S) przy ekspozycji na pole elektromagnetyczne o częstotliwości z zakresu od 10 GHz do 300 GHz (wartość uśredniana dla 20 cm² powierzchni poddanej ekspozycji i dowolnego okresu ekspozycji o czasie trwania $68/f^{1,05}$ min, gdzie częstotliwość f w GHz):
 - 50 W/kg.
 4. Dopuszczalna wartość energii pochłoniętej (SA) przy ekspozycji na pole elektromagnetyczne o częstotliwości z zakresu od 0,3 GHz do 10 GHz:
 - 10 mJ/kg – wartość uśredniona odnośnie do 10 g tkanki.
 5. Dopuszczalna wartość natężenia prądu indukowanego przepływającego w każdej z kończyn (I_L) przy ekspozycji na pole elektromagnetyczne o częstotliwości z zakresu od 100 kHz do 110 MHz (wartość skuteczna (RMS)):
 - 100 mA.
 6. Dopuszczalna wartość natężenia prądu kontaktowego przepływającego pomiędzy pracownikiem a przewodzącym przedmiotem znajdującym się w polu elektromagnetycznym (I_C), przy ekspozycji na pole elektromagnetyczne o częstotliwości z zakresu od 0 Hz do 110 MHz (wartość skuteczna RMS):
 - 1 mA – przy częstotliwości z zakresu od 0 Hz do 2,5 kHz
 - $0,4 f$ mA – przy częstotliwości z zakresu od 2,5 kHz do 100 kHz; częstotliwość f w kHz
 - 40 mA – przy częstotliwości od 100 kHz do 110 MHz.

Przegląd rezultatów przeprowadzonych w ostatnich latach badań naukowych, odnoszących się do skutków oddziaływania pól elektromagnetycznych na organizm człowieka, wskazuje na zasadność uwzględnienia w dalszym ciągu w przepisach bezpieczeństwa i higieny pracy ochrony pracowników przed skutkami ekspozycji chronicznej na pola elektromagnetyczne, pomimo że minimalne wymagania zawarte w dyrektywie 2004/40/WE są łagodniejsze i odnoszą się jedynie do skutków ekspozycji występujących w czasie jej trwania. Celowe jest więc utrzymanie, w możliwie największym stopniu, istniejącego w Polsce systemu lepszej niż to wymaga dyrektywa ochrony pracowników przed nadmierną ekspozycją, opartego na wartościach NDN pola elektrycznego i magnetycznego, strefach ochronnych oraz wskaźniku ekspozycji i wskaźniku zasięgu stref ochronnych. Do uzyskania lepszej harmonizacji wartości granicznych strefy niebezpiecznej z wymaganiami dyrektywy 2004/40/WE, odnoszącymi się do miar wewnętrznych ekspozycji, niezbędne są następujące zmiany w wartościach NDN pól elektrycznych i magnetycznych, przy utrzymaniu dotychczasowych definicji wielkości mierzonych w celu oceny warunków ekspozycji pracowników (PN-T-06580:2002):

- wprowadzenie wartości NDN dla pola magnetycznego o częstotliwości z zakresu 3 ÷ 300 GHz, na stałym poziomie niezależnym od częstotliwości, bez zmiany zasad wyznaczania wskaźnika ekspozycji i wskaźnika zasięgu stref ochronnych
- zmniejszenie wartości NDN pól magnetycznych o częstotliwości do 150 MHz
- zmniejszenie wartości NDN pól elektrycznych o częstotliwości z zakresu 1 ÷ 15 MHz
- zmniejszenie maksymalnych wartości natężenia pola elektrycznego w impulsie $E_{\max \text{ imp}}$.

Celem uzyskania takiego zakresu zmian zaproponowano następujące nowe poziomy dopuszczalnej ekspozycji na pola elektromagnetyczne (tab. 1. i 2. oraz nowe wartości graniczne dotyczące impulsowego pola elektrycznego):

Tabela 1.

Poziom dopuszczalnej ekspozycji zaproponowany odnośnie do pola elektrostatycznego i elektrycznego zmiennego

Lp.	Zakres częstotliwości	$E_0(f)$, V/m	$E_1(f) - \text{NDN}_E$, V/m	$E_2(f)$, V/m	$Dd_E(f)$
1.	pole elektrostatyczne	10000	20000	40000	3200 (kV/m) ² h
2.	$f \leq 300$ Hz	5000	10000	20000	800 (kV/m) ² h
3.	$0,3 \text{ kHz} < f \leq 1 \text{ kHz}$	$100/(3f)$	$100/f$	$1000/f$	$0,08/f^2$ (kV/m) ² h
4.	$1 \text{ kHz} < f \leq 1 \text{ MHz}$	$100/3$	100	1000	$0,08$ (kV/m) ² h
5.	$1 \text{ MHz} < f \leq 5 \text{ MHz}$	$100/(3f)$	$100/f$	$1000/f$	$0,72/f^2$ (kV/m) ² h
6.	$5 \text{ MHz} < f \leq 300 \text{ GHz}$	$20/3$	20	200	3200 (V/m) ² h

Uwagi: f – częstotliwość pola elektrycznego zmiennego w czasie, w jednostkach podanych w kolumnie „zakres częstotliwości”; E_0 - natężenie pola rozgraniczające strefę pośrednią od bezpiecznej; E_1 - natężenie pola rozgraniczające strefę zagrożenia od pośredniej (poziom ekspozycji dopuszczalnej w ciągu 8 godzin w czasie zmiany roboczej); E_2 - natężenie pola rozgraniczające strefę niebezpieczną od zagrożenia (poziom graniczny dla ekspozycji zabronionej)

Tabela 2.

Poziom dopuszczalnej ekspozycji zaproponowany odnośnie do pola magnetostatycznego i magnetycznego zmiennego

Lp.	Zakres częstotliwości	$H_0(f)$, A/m	$H_1(f) - \text{NDN}_H$, A/m	$H_2(f)$, A/m	$Dd_H(f)$
1.	pole magnetostatyczne	2666	8000	80000	512 (kA/m) ² h
2.	$f \leq 50$ Hz	$100/3$	100	1000	80000 (A/m) ² h
3.	$0,05 \text{ kHz} < f \leq 1 \text{ kHz}$	$5/(3f)$	$5/f$	$50/f$	$200/f^2$ (A/m) ² h
4.	$1 \text{ kHz} < f \leq 100 \text{ kHz}$	$5/3$	5	50	200 (A/m) ² h
5.	$0,1 \text{ MHz} < f \leq 10 \text{ MHz}$	$0,5/(3f)$	$0,5/f$	$5/f$	$2/f^2$ (A/m) ² h
6.	$10 \text{ MHz} < f \leq 300 \text{ GHz}$	$0,05/3$	0,05	0,5	$0,02$ (A/m) ² h

Uwagi: f – częstotliwość pola magnetycznego zmiennego w czasie, w jednostkach podanych w kolumnie „zakres częstotliwości”; H_0 - natężenie pola rozgraniczające strefę pośrednią od bezpiecznej; H_1 - natężenie pola rozgraniczające strefę zagrożenia od pośredniej (poziom ekspozycji dopuszczalnej w ciągu 8 godzin w czasie zmiany roboczej); H_2 - natężenie pola rozgraniczające strefę niebezpieczną od zagrożenia (poziom graniczny dla ekspozycji zabronionej)

Odnośnie do natężenia elektrycznych pól impulsowych (f – częstotliwość pola elektrycznego w MHz):

- $E_{\text{max imp}} < 1,95$ kV/m – przy częstotliwości z zakresu $100 \text{ MHz} < f < 400 \text{ MHz}$
- $E_{\text{max imp}} < 0,097 f^{1/2}$ kV/m – przy częstotliwości z zakresu $400 \text{ MHz} < f < 2000 \text{ MHz}$
- $E_{\text{max imp}} < 4,38$ kV/m – przy częstotliwości z zakresu $2 \text{ GHz} < f < 300 \text{ GHz}$

WPROWADZENIE

Polskie przepisy bezpieczeństwa i higieny pracy (BHP) wymagają od pracodawców okresowego przeprowadzania oceny ryzyka zawodowego wynikającego z występujących w środowisku pracy czynników szkodliwych i uciążliwych. Pola elektromagnetyczne są jednym z takich czynników. Do najczęściej występujących w środowisku pra-

cy źródeł pól elektromagnetycznych należą: elektroenergetyczne urządzenia przesyłowo-rozdzielcze, radiowe i telewizyjne stacje nadawcze, urządzenia telekomunikacji bezprzewodowej, diagnostyczny i terapeutyczny sprzęt medyczny oraz przemysłowe urządzenia elektrotermiczne. Wartości dopuszczalne natężeń pól elektrycznych (E) i magnetycznych (H), tj. między innymi NDN pól elektromagnetycznych, należą do kluczowych elementów systemu definiującego zasady wykonywania oceny ryzyka zawodowego dotyczącego pracowników ekspozowanych na pola elektromagnetyczne.

Rodzaj skutków ekspozycji ludzi na pola elektromagnetyczne, jakie występują wewnątrz organizmu (tzw. miary wewnętrzne ekspozycji), zależy od częstotliwości i natężania pola oddziałującego na człowieka oraz od rozkładu przestrzennego pola i czasu ekspozycji. W przypadku pól wielkiej częstotliwości (większej od 100 kHz) dominują skutki termiczne, a przy małych częstotliwościach decydującą rolę odgrywają skutki stymulacji tkanki pobudliwej (nerwowej i mięśniowej). Wyniki badań naukowych nie wykluczyły dotychczas możliwości występowania różnych, niespecyficznych skutków zdrowotnych ekspozycji chronicznej (wieloletniej), jak: zaburzenia układów: nerwowego, sercowo-naczyniowego i odpornościowego, a także promocja procesu nowotworowego.

Obowiązujący w Polsce dopuszczalny poziom ekspozycji pracowników na pola elektromagnetyczne (DzU 2002, nr 217, poz. 1833), do którego terminologię oraz zharmonizowane metody pomiarów i oceny zdefiniowano w normie PN-T-06580:2002, został opracowany w 1999 r. Jego dokumentacja została przyjęta przez Międzyresortową Komisję ds. NDS i NDN i opublikowana w artykule: *Korniewicz i in. „Pola i promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu częstotliwości 0 Hz - 300 GHz. Dokumentacja proponowanych znowelizowanych wartości dopuszczalnych ekspozycji zawodowej”* (PiMOŚ 2001, nr 2(28)).

Zasady ograniczania poziomu ekspozycji zawodowej ustalone przez rozporządzenie w sprawie NDN obejmują następujące elementy odnoszące się do miar zewnętrznych ekspozycji (E i H) na pola o częstotliwościach mniejszych od 300 GHz:

- wartości NDN to wartości natężeń pól dopuszczalne przy ekspozycji w ciągu całej 8-godzinnej zmiany roboczej (definiujące, tzw. granicę strefy zagrożenia i pośredniej)
- wartości natężeń pól, w których ekspozycja jest zabroniona, z wyjątkiem przebywania w nich w ubiorach ochronnych (definiujące, tzw. granicę strefy niebezpiecznej)
- wskaźnik ekspozycji i wskaźnik zasięgu stref ochronnych (definiujące zasady oceny ekspozycji złożonej).

W przypadku pól impulsowych o częstotliwości z zakresu 100 MHz ÷ 300 GHz ustalono dodatkowo maksymalne wartości natężenia pola elektrycznego w impulsie E_{\maximp} .

Dotychczas obowiązujące wartości NDN pól elektromagnetycznych zostały opracowane na podstawie analizy obowiązujących w latach 1972-1999 polskich przepisów i zaleceń międzynarodowych, m.in.:

- zaleceń ICNIRP (1998) Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)
- normy IEEE Std. 95.1-1999 – Standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz
- zaleceń Międzynarodowej Organizacji Pracy (ILO) – Draft Code of practice on ambient factors at workplace (1999)

– zaleceń Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) International EMF project. Working Group on Harmonization of EMF Exposure Standards (1998)

– projektów norm europejskich: ENV 50166-1:1995 CENELEC European pre-standard. Human exposure to electromagnetic fields. Low-frequency (0 Hz to 10 kHz) i ENV 50166-2:1995 CENELEC European prestandard. Human exposure to electromagnetic fields. High frequency (10 kHz to 300 GHz)

oraz przeglądu światowej literatury, dotyczącej skutków biologicznych i zdrowotnych związanych z ekspozycją na pola elektromagnetyczne.

Przy ustalaniu NDN w 1999 r. uwzględniono:

– utrzymanie w miarę możliwości *status quo* sprzed 1999 r., tak aby ułatwić kontynuację sprawdzonego w praktyce systemu i ograniczyć koszty ponoszone przez pracodawców w przypadku radykalnych zmian wymagań prawa pracy

– utrzymanie stref ochronnych, które realizują zarówno zwiększoną w stosunku do zaleceń ICNIRP ochronę przy ekspozycji długotrwałej (uzasadnioną niepełną wiedzą odnośnie do mechanizmu oddziaływania pól na ludzi, jak i doniesieniami o negatywnym oddziaływaniu na zdrowie ludzi ekspozycji chronicznej)

– płynną zależność wartości NDN od częstotliwości pola, zbliżoną do zaleceń ICNIRP (1998), ze szczególnie dużymi zmianami "starego" NDN w odniesieniu do pól o częstotliwościach rezonansowych (tj. o częstotliwości kilkudziesięciu MHz), dla których występuje zwiększona absorpcja energii w organizmie (przeprowadzono w ten sposób wstępną harmonizację NDN z zaleceniami ICNIRP odnoszącymi się do miar wewnętrznych, które to zalecenia zostały później wykorzystane przy opracowaniu dyrektywy 2004/40/EC)

– wskaźnik ekspozycji uwzględniający obie składowe (E i H) w przypadku ekspozycji na pola o częstotliwościach z zakresu 0 Hz ÷ 3 GHz, w których może występować ekspozycja w strefie bliskiej i możliwość rezonansowego pochłaniania energii elektromagnetycznej.

Od opracowania dokumentacji NDN w 1999 r. opublikowano wyniki licznych badań naukowych odnoszących się do mechanizmów oddziaływania pól elektromagnetycznych i skutków zdrowotnych, jakie one wywołują, a także opracowania monograficzne i znowelizowane zalecenia bezpieczeństwa oraz dyrektywę europejską, dotyczącą ochrony pracowników przed nadmierną ekspozycją, m.in.:

– Non-ionizing radiation (2002) Part 1. Static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields. Lyon, IARC Monographs 80

– World Health Organization (2006) Environmental health criteria 232. Static Fields

– World Health Organization (2007) Environmental health criteria 238, Extremely low frequency fields (ELF)

– IEEE Std C95.1. 2005. Standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz. New York, Published by the Institute of Electrical and Electronics Engineers

– IEEE Std C95.3. 2002. Recommended practice for measurements and computations of radio frequency electromagnetic fields with respect to human exposure to such fields, 100 kHz – 300 GHz. New York, Published by the Institute of Electrical and Electronics Engineers

– IEEE Std C.95.6. 2002. Standard for safety levels with respect to human exposure to electromagnetic fields, 0 ÷ 3 kHz. New York, Published by the Institute of Electrical and Electronics Engineers

– Dyrektywa 2004/40/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 29 kwietnia 2004 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na zagrożenia powodowane czynnikami fizycznymi (polami elektromagnetycznymi), (18. dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG), Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, wydanie specjalne, PL, roz. 05, t. 005, L159/1, 61–71

– Final draft FprEN 50499:2008. Procedure for the assessment of the exposure of workers to electromagnetic fields.

Od 2004 r. Polska jest państwem członkowskim Unii Europejskiej i z tego powodu przepisy BHP są sukcesywnie harmonizowane z wymaganiami dyrektyw europejskich. Transpozycja wymagań dyrektywy 2004/40/WE do prawa państw członkowskich jest wymagana do kwietnia 2012 roku.

W niniejszym opracowaniu zaprezentowano aktualne poglądy odnoszące się do skutków oddziaływania pól elektromagnetycznych na pracowników, analizę zgodności poziomu ochrony pracowników przed nadmierną ekspozycją na pola elektromagnetyczne wynikającego z aktualnych przepisów BHP i z minimalnych wymagań dyrektywy 2004/40/WE oraz omówiono zakres niezbędnego dostosowania polskich przepisów w celu spełnienia wymagań zawartych w dyrektywie.

CHARAKTERYSTYKA CZYNNIKA ŚRODOWISKA PRACY

dr inż. JOLANTA KARPOWICZ, dr inż. KRZYSZTOF GRYZ

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

00-701 Warszawa

ul. Czerniakowska 16

Ogólna charakterystyka pól elektromagnetycznych

Zmienne w czasie pole elektromagnetyczne może charakteryzować dowolna częstotliwość jego zmian (f). Odnośnie do pól o częstotliwościach większych od kilku megaherców (MHz) jest również stosowany termin promieniowanie elektromagnetyczne. Widmo elektromagnetyczne obejmuje umownie wydzielone zakresy promieniowania o różnych właściwościach biofizycznych: pole elektromagnetyczne i promieniowanie optyczne, które są promieniowaniem niejonizującym oraz promieniowanie rentgenowskie, gamma i kosmiczne, które są promieniowaniem jonizującym. Obecnie terminem "pole elektromagnetyczne" określa się zwykle: pola statyczne (niezmienne w czasie) i zmienne w czasie, o częstotliwościach mniejszych niż 300 GHz. Są to pola występujące przy źródłach promieniowania elektromagnetycznego, emitujących fale o długości większej od 1 mm, które nie są bezpośrednio rejestrowane przez zmysł wzroku człowieka i nie wywołują jonizacji ośrodka, przez który przechodzą.

Właściwości pola elektromagnetycznego są najczęściej prezentowane odnośnie do dwóch jego składowych: pola elektrycznego i pola magnetycznego. Pole magnetyczne występuje wokół ładunków poruszających się (tzn. tworzących prąd elektryczny) lub

na skutek namagnesowania niektórych materiałów, wynikającego z właściwości kwantowych cząstek elementarnych w atomach tych materiałów. Pole elektryczne występuje zarówno przy ładunkach poruszających się, jak i nieruchomych. Poziom ekspozycji charakteryzuje się zwykle przez podanie wartości natężenia pola elektrycznego (E) oraz natężenia pola magnetycznego (H), czy alternatywnie indukcji magnetycznej (B).

Oprócz natężenia pola i jego częstotliwości istotne jest również, przy ocenianiu poziomu zagrożeń elektromagnetycznych, uwzględnienie polaryzacji pola występującego na stanowisku pracy w stosunku do ciała człowieka, rozkładu przestrzennego natężenia pola, w którym znajduje się ciało pracownika oraz stosunku wielkości natężenia pola elektrycznego do natężenia pola magnetycznego.

Energia pól elektrycznych oddziałuje zarówno na ładunki ruchome, jak i nieruchome, a pole magnetycznych jedynie na ładunki ruchome. Pole elektrostatyczne występuje wokół ładunków nieruchomych, a pole magnetostatyczne przy przewodach z prądem stałym lub magnesach trwałych. Skutkiem oddziaływania pól elektromagnetycznych jest przepływ prądów indukowanych w obiektach przewodzących (lub grupach obiektów tworzących zamknięty obwód elektryczny) oraz powstawanie zaindukowanej różnicy potencjału elektrycznego między poszczególnymi częściami eksponowanego obiektu (np. tzw. efekt antenowy), (ICNIRP 1998; IEEE 2002; 2005). Prądy indukowane mogą powodować podniesienie temperatury eksponowanych obiektów. Do źródeł pól elektromagnetycznych występujących w środowisku pracy należą m.in. (Gryz, Karpowicz 2000):

- elektroenergetyczne urządzenia przesyłowo-rozdzielcze oraz elektryczne instalacje zasilające i elektrolityczne
- diagnostyczny i terapeutyczny sprzęt medyczny, taki jak: diatermie fizykoterapeutyczne i elektrochirurgiczne oraz tomografy rezonansu magnetycznego
- przemysłowe urządzenia elektrotermiczne, takie jak: piece i nagrzewnice indukcyjne oraz piece mikrofalowe
- urządzenia telekomunikacji bezprzewodowej, takie jak: anteny stacji bazowych telefonii komórkowej
- radiowe i telewizyjne stacje nadawcze oraz systemy radarowe.

Liczebność populacji pracowników eksponowanych w Polsce na pola elektromagnetyczne można oszacować na podstawie danych Państwowej Inspekcji Sanitarnej na znacznie powyżej 50 tysięcy pracowników (Grobela i in. 2007).

Definicje, pojęcia związane

Rozważając zagadnienia związane z ekspozycją pracowników na pola elektromagnetyczne, stosuje się następujące pojęcia:

- długość fali (λ) – odległość pomiędzy dwoma punktami w przestrzeni, w których fala jest w tej samej fazie drgań (np. odległość sąsiednich maksimów)
- natężenie pola elektrycznego (E) – wielkość wektorowa, odpowiadająca sile działającej na jednostkowy ładunek elektryczny, znajdujący się w danym punkcie pola elektrycznego. Jednostką natężenia pola elektrycznego jest volt na metr (V/m)
- natężenie pola magnetycznego (H) – wielkość wektorowa odpowiadająca sile działającej na jednostkowy ładunek elektryczny poruszający się z jednostkową prędkością w kierunku prostopadłym do tej wielkości wektorowej. Jednostką natężenia pola magnetycznego jest amper na metr (A/m). Wielkością charakteryzującą pole magne-

tyczne wykorzystywaną alternatywnie do jego opisu jest indukcja magnetyczna (B) wyrażona w teslach (T). W powietrzu pole o natężeniu 1 A/m charakteryzuje indukcja magnetyczna o wartości około 1,25 μ T

– szybkość pochłaniania właściwego energii (SAR) - szybkość, z jaką energia jest pochłaniana w jednostce masy tkanki ciała. Jednostką współczynnika SAR jest wat na kilogram (W/kg). Współczynnik SAR uśredniony dla całego ciała jest powszechnie przyjętą miarą oddziaływania termicznego pola o częstotliwościach radiowych (RF). Do oceny poziomu energii pochłoniętej w niewielkich częściach ciała, wynikającego ze szczególnych warunków ekspozycji, stosuje się współczynnik SAR miejscowy. Warunki takie mogą wystąpić np. w przypadku uziemionej osoby ekspozowanej na pole częstotliwości radiowych z zakresu niskich MHz, lub osób ekspozowanych na pole bliskie anteny

– gęstość prądu (J) – prąd przepływający przez jednostkowe pole przekroju prostopadłe do kierunku przepływu prądu w przewodniku objętościowym, jakim jest m.in. ludzkie ciało. Jednostką gęstości prądu jest amper na metr kwadratowy (A/m^2)

– dopuszczalne wartości miar wewnętrznych ekspozycji – ograniczenie ekspozycji na pole elektromagnetyczne opierające się na ustalonych, bezpośrednich skutkach ekspozycji i względach biologicznych. Przestrzeganie niniejszych ograniczeń zabezpiecza pracowników narażonych na pole elektromagnetyczne przed niekorzystnymi skutkami zdrowotnymi wynikającymi ze skutków termicznych oraz prądów indukowanych w organizmie występujących w czasie ekspozycji

– dopuszczalne wartości miar zewnętrznych ekspozycji – wielkości parametrów mierzonych bezpośrednio w miejscu przebywania ludzi, określonych jako natężenie pola elektrycznego (E), natężenie pola magnetycznego (H), indukcja magnetyczna (B) i gęstość mocy (S). Przestrzeganie tych wartości zapewnia przestrzeganie odpowiednich dopuszczalnych wartości miar wewnętrznych ekspozycji.

Przekroczenie dopuszczalnych wartości miar zewnętrznych nie w każdej sytuacji oznacza przekroczenie dopuszczalnych wartości miar wewnętrznych.

Mechanizm oddziaływania pola elektromagnetycznego na ludzi

Pole elektromagnetyczne może wpływać na ludzi bezpośrednio, oddziałując na organizm ekspozowanego człowieka oraz pośrednio, na skutek oddziaływania na organizm energii pól zaabsorbowanej przez ekspozowane obiekty.

Pośrednie oddziaływanie przejawia się głównie jako prądy kontaktowe przepływające przez ciało człowieka, który dotyka obiektu o innym potencjale elektrycznym niż jego ciało. Zjawisko to ma znaczenie przy częstotliwościach pól mniejszych od 100 MHz, a przy częstotliwościach mniejszych od 100 kHz może wywoływać stymulację tkanek elektrycznie pobudliwych (mięśniowej i nerwowej) oraz odczucia bólu. Wielkość i rozkład przestrzenny prądów kontaktowych zależą od częstotliwości pola elektromagnetycznego, rozmiaru ekspozowanego obiektu, wymiarów ciała człowieka i wielkości powierzchni, jaką się stykają.

Pole elektromagnetyczne może stwarzać zagrożenie dla ludzi także na skutek oddziaływania na infrastrukturę techniczną, ponieważ energia pola elektromagnetycznego odebrana przez urządzenia techniczne może być przyczyną m.in. zakłóceń pracy automatycznych urządzeń sterujących, detonacji urządzeń elektrowybuchowych oraz przyczyną pożarów lub eksplozji związanych z zapaleniem się materiałów łatwo pal-

nych lub wybuchowych od iskier wywoływanych przepływem prądu indukowanego lub wyładowaniem ładunku elektrostatycznego.

Z reguły pola elektromagnetyczne nie są rejestrowane zmysłami człowieka. W pewnych sytuacjach możliwe jest jednak bezpośrednie odczuwanie pól elektromagnetycznych, np. w silnych polach magnetycznych lub elektrycznych małych częstotliwości (z zakresu od kilkunastu do kilkudziesięciu herców, Hz) człowiek może odczuwać wrażenia wzrokowe tzw. magneto- lub elektrofosfeny, a w impulsowych polach mikrofalowych możliwe jest odczuwanie wrażeń słuchowych, tzw. zjawisko Frey'a.

Skutki bezpośredniego oddziaływania pola elektromagnetycznego w czasie trwania ekspozycji to stymulacja tkanki pobudliwej na skutek przepływu prądów indukowanych bezpośrednio w ciele (dominująca jako mechanizm oddziaływania przy częstotliwościach mniejszych od kilkuset kiloherców (kHz)) i ogrzewanie tkanek powodowane pochłoniętą przez nie energią pól (największe znaczenie tego mechanizmu oddziaływania występuje dla częstotliwości powyżej 1 MHz). Gęstość prądów i skutki termiczne występujące w eksponowanym organizmie są nazywane miarami wewnętrznymi ekspozycji, w odróżnieniu do natężeń pól elektrycznego i magnetycznego, w jakich przebywa człowiek, które są nazywane miarami zewnętrznymi. Długotrwała ekspozycja zawodowa na pola o dużych natężeniach może wpływać na zdrowie i zdolność do pracy, dlatego badania odnoszące się do skutków takiej ekspozycji są kontynuowane.

SKUTKI BIOLOGICZNE EKSPOZYCJI NA POLA ELEKTROMAGNETYCZNE. BADANIA EKSPERYMENTALNE

dr hab. n. med. RYSZARD WIADERKIEWICZ
Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach
40-762 Katowice
ul. Medyków 18

Prezentowane opracowanie jest przeglądem prac eksperymentalnych opublikowanych w ostatnich kilku latach, których celem było zbadanie wpływu i ewentualnych mechanizmów oddziaływania pól elektromagnetycznych na organizmy żywe. Badania te były prowadzone w warunkach *in vitro*, a więc na izolowanych populacjach różnych klas komórek lub *in vivo*, gdzie eksponowano na pola elektromagnetyczne różne zwierzęta – najczęściej szczury, myszy lub świnki morskie. Przewagą badań *in vitro* jest niewątpliwie dużo większa możliwość kontrolowania warunków eksperymentu – w tym parametrów ekspozycji. Dają one również możliwość precyzyjniejszego badania wybranych elementów ścieżek metabolicznych czy szlaków sygnałowych w komórkach, a więc pozwalają poznać lepiej mechanizmy badanych oddziaływań. Istotną wadą badań *in vitro* jest natomiast fakt, iż jest w nich pomijany aspekt wielu istotnych oddziaływań, które zawsze zachodzą w warunkach ekspozycji całego organizmu, a więc w sytuacji, z jaką mamy do czynienia w życiu codziennym.

Podstawową obawą związaną z ekspozycją na pola elektromagnetyczne jest możliwość indukowania lub promocji procesów nowotworowych, co zdają się sugerować wyniki niektórych badań epidemiologicznych. Zapewne dlatego większość prac eksperymentalnych zarówno *in vitro*, jak *in vivo* jest poświęcona badaniu tych aspektów, które w mniejszym lub większym stopniu mogą być związane z procesem kancerogenezy. Wiele badań *in vitro* jest poświęconych bezpośrednio analizie ewentualnych skutków genotoksycznych promieniowania elektromagnetycznego. Prace te dotyczą

głównie: mutagenezy, uszkodzeń chromosomów w komórkach ulegających podziałom (aberracje chromosomalne, wymiana chromatyd siostrzanych, tworzenie mikrojąder) lub bezpośrednich uszkodzeń materiału genetycznego (pojedyncze i podwójne pęknięcia nici DNA, modyfikacja zasad azotowych), (Crumpton, Collins 2004; Mars i in. 2007; Tice i in. 2002; Vijayalaxmi 2003; Ivancsits i in. 2003). Wiele prac jest poświęconych bezpośrednio wpływowi pól elektromagnetycznych na procesy proliferacji i kontrolowanej śmierci komórek (apoptozy) oraz ich różnicowania, gdyż zaburzenia tych procesów mogą być bezpośrednią przyczyną nowotworzeni (Lee i in. 2004; Wang i in. 2001; Wolf i in. 2005). Ostatecznie zróżnicowane komórki (zarówno w hodowli *in vitro*, jak i budujące tkanki żywego organizmu) charakteryzują się indywidualnym profilem ekspresji genów, których aktywność jest precyzyjnie regulowana. W znacznej liczbie prac dokonano analizy możliwości zmiany profilu ekspresji genów (w tym czynników transkrypcyjnych i innych genów odpowiedzialnych za regulację cyklu komórkowego) w warunkach ekspozycji na pole elektromagnetyczne (Czyz i in. 2004; Pacini i in. 2002; Port i in. 2003). Innym podejściem jest badanie możliwości modyfikacji przez pole elektromagnetyczne wewnątrzkomórkowych szlaków sygnałowych w komórkach przez wpływ na proces fosforylacji lub defosforylacji czynników transkrypcyjnych czy też funkcję kanałów jonowych i białek odpowiedzialnych za poziom Ca^{+2} w cytozolu. Szereg zupełnie odmiennych procesów metabolicznych przebiega w komórkach w wyodrębnionych przedziałach ograniczonych błonami. Zaburzenie integralności błon wskutek ekspozycji komórek lub organizmu na pole elektromagnetyczne może prowadzić do zaburzeń w funkcjonowaniu nie tylko białek kanałowych, lecz licznych białek o charakterze receptorowym bądź enzymatycznym. Istnieją doniesienia wskazujące na zmiany aktywności wybranych enzymów markerowych, w tym również na wzrost aktywności niektórych enzymów (fosfataza alkaliczna, AspAT) w surowicy krwi, co może wskazywać na poważne uszkodzenia komórek poszczególnych narządów w wyniku ekspozycji zwierząt na pole elektromagnetyczne.

Parametry pól elektromagnetycznych stosowanych w badaniach eksperymentalnych, zarówno *in vitro*, jak i *in vivo* są często odmienne. Generalnie można je jednak zaklasyfikować do dwu grup:

- pola wielkiej częstotliwości (MHz – GHz), np. o częstotliwościach stosowanych w telefonii komórkowej

- pola o niskiej częstotliwości (najczęściej 50/60 Hz), spotykane na wielu stanowiskach pracy i powszechnie w środowisku ogólnym.

W żadnej z prac doświadczalnych *in vitro* nie uzyskano przekonujących dowodów, że ekspozycja na pola elektromagnetyczne ma bezpośrednie działanie nowotworzące. W przypadku pól o wysokiej częstotliwości nie wykazano również jednoznacznie ich oddziaływania genotoksycznego, jak również nie potwierdzono wcześniejszych doniesień o ich wpływie na wewnątrzkomórkowy poziom Ca^{+2} . Podobnie w badaniach *in vivo* nie potwierdzono, że w jakimkolwiek stopniu mogą one zaburzać proces zapłodnienia czy rozwoju płodu, aczkolwiek pojedyncze prace sugerują, że mogą one przez działanie synergistyczne wzmacniać działanie niektórych związków zaburzających rozwój układu nerwowego. Nie potwierdziły się również wcześniejsze doniesienia o negatywnym wpływie środowiskowych pól elektromagnetycznych o wysokiej częstotliwości na przepuszczalność bariery krew-mózg czy zachowania neurobehawioralne. Nieco odmiennie kształtuje się sytuacja w przypadku pól o częstotliwości 50 Hz. Wyniki wielu prac wskazują, że w zależności od parametrów pola i czasu ekspozycji obserwuje się zarówno oddziaływanie genotoksyczne (uszkodzenia DNA), jak i zaburzenia

proliferaacji czy różnicowania. Wyniki badań *in vitro* wskazują na różną wrażliwość, a często wręcz na przeciwny skutek ekspozycji na pole elektromagnetyczne, w zależności od typu ekspozowanej komórki (np. fibroblast, limfocyt czy komórka nerwowa), (Ivancsits i in. 2005; Pirozzoli i in. 2003). Niektóre wyniki badań *in vivo* sugerują, że promieniowanie o częstotliwości 50 Hz ($0,1 \div 5 \mu\text{T}$) może być czynnikiem wspomagającym rozwój niektórych nowotworów. Mechanizm takiego działania nie jest poznany, istotne znaczenie mogą niewątpliwie mieć zaburzenia w profilu ekspresji genów cyklu komórkowego czy wykazane w kilku pracach obniżenie efektywności komórek układu odpornościowego (Canseven i in. 2006; Frang i in. 200; Simko, Mattsson 2004).

SKUTKI ZDROWOTNE EKSPOZYCJI NA POLA ELEKTROMAGNETYCZNE

dr hab. n. med. ALICJA BORTKIEWICZ
Instytut Medycyny Pracy
im. prof. dr. med. Jerzego Nofera
91-348 Łódź
ul. św. Teresy od Dzieciątka Jezus 8

Przeglądu piśmiennictwa dotyczącego skutków zdrowotnych związanych z działaniem pól elektromagnetycznych, ze szczególnym uwzględnieniem częstotliwości radiofalowej i mikrofalowej, dokonano na podstawie analizy danych z baz komputerowych: PubMed, BENER Digest Update/EMF Database/, EMF Health Report, Medline, ICNIRP i WHO Statement, Royal Society of Canada Expert Panel Report oraz EU Scientific Committee on Toxicity, Ecotoxicity and the Environment. Wybrano prace najnowsze, głównie z lat 2000-2007, dotyczące przede wszystkim związku między ekspozycją na pola, zwłaszcza zawodową, a występowaniem nowotworów.

Analiza piśmiennictwa wykazała, że obecnie najczęściej badań dotyczy skutków zdrowotnych ekspozycji na pola emitowane przez telefony komórkowe, a głównie związku ekspozycji z występowaniem nowotworów w obrębie głowy. Badania były prowadzone w populacji generalnej, ale wyniki można ekstrapolować na pracowników wykorzystujących telefony komórkowe jako narzędzia pracy. Obecnie ekspozycja taka dotyczy coraz większej grupy osób (np.: operatorzy telefonii komórkowej, przedstawiciele handlowi i przedsiębiorcy). Badania epidemiologiczne były prowadzone według trzech modeli: badania przekrojowe (kohortowe), prospektywne (*follow up*) i badanie przypadków (*case-control*). Badania dotyczyły występowania glejaka, oponiaka, raka ślinianki, nerwiaka nerwu słuchowego i nerwiaka nerwu przedślonkowo-ślimakowego, nerwiaka nerwu twarzowego oraz czerniaka oka. W 15 analizowanych badaniach nie wykazano wzrostu ryzyka wymienionych nowotworów, natomiast w 11 badaniach stwierdzono istotny wzrost ryzyka, przede wszystkim nerwiaka nerwu słuchowego (3- ÷ 4-krotny) i 1,2- ÷ 5-pięciokrotny wzrost ryzyka glejaka w umiejscowieniu ipsilateralnym. Największe ryzyko wykazano dla osób korzystających z telefonów dłużej niż 10 lat (Hardell i in. 2007). Mimo że badania epidemiologiczne były dobrze zaplanowane, zorganizowane i prowadzone na dużych grupach osób, często jako badania prospektywne, jednak ich interpretacja ma pewne ograniczenia, gdyż ocena ryzyka w przypadku wielu nowotworów wymaga czasem kilkudziesięciu lat obserwacji, a w niektórych badaniach jest analizowane ryzyko już po roku użytkowania aparatów. Poza tym ocena ekspozycji była często bardzo mało precyzyjna i ograniczona do stwierdzenia: stosowanie telefonu prawdopodobne lub pewne.

W badaniach dotyczących zawodowej ekspozycji na pola radio- i mikrofalowe (np.: wojskowi, elektrycy, pracownicy radiokomunikacji, pracownicy medyczni i operatorzy zgrzewarek) opisano przede wszystkim występowanie raka piersi (u kobiet i mężczyzn), nowotworów mózgu i białaczek. Niektóre z nich nie potwierdziły wzrostu ryzyka raka piersi (*Morgan* i in. 2000; *Groves* 2002), jednak w prospektywnym badaniu (*Kiukliene* i in. 2003) przeprowadzonym w Norwegii w latach 1961-2002 wykazano istotny wzrost ryzyka raka piersi u kobiet zatrudnionych w radiokomunikacji. *Morgan* i in. (2000) w badaniu kohorty pracowników US Motorola (195 775 osób) oceniali standaryzowany wskaźnik ryzyka zgonu (SMR) w odniesieniu do ryzyka w populacji generalnej, a także w klasach różniących się poziomem ekspozycji i uzyskali nieznaczny wzrost ryzyka (> 1) tylko dla: czerniaka, nowotworu jajnika i choroby Hodgkina.

Groves i in. (2002) wykazali wzrost ryzyka białaczek $OR = 1,5$ ($CI = 1,0 \div 2,2$) w kohorcie ekspozowanej w porównaniu z populacją generalną, natomiast *Stang* i in. (2002) stwierdzili istotny wzrost ryzyka czerniaka oka u osób podających w wywiadzie zawodową ekspozycję na pola radiofalowe, przez co najmniej 6 miesięcy, kilka godzin dziennie $OR = 3,3$ ($CI = 1,2 \div 9,2$).

Ze względu na fakt, że w żadnym z dotychczasowych badań nie dokonywano pomiarów ekspozycji, a szacowano ją tylko na podstawie klasyfikacji zawodu, natomiast w niektórych badaniach informacje otrzymano od rodzin osób zmarłych, dlatego nie można wykazać bezspornie związku przyczynowo-skutkowego między ekspozycją na pola a ryzykiem nowotworów.

Zawodowa ekspozycja na pola mikro- i radiofalowe może być, poza ryzykiem nowotworów, związana z występowaniem chorób układu krążenia i układu nerwowego. Na ten temat jest jednak bardzo mało badań. Z badań własnych (*Bortkiewicz* i in. 1995; 1996; 2004; *Gadzicka* i in. 1997; 2004; *Szmigielski* i in. 1998) prowadzonych wśród pracowników radioservisów oraz radiowych i telewizyjnych centrów nadawczych wynika, że u pracowników występuje podwyższone ryzyko zaburzeń ciśnienia tętniczego (podwyższone ciśnienie tętnicze i zaburzenia dziennie-nocnej zmienności ciśnienia), a u pracowników średniofalowych obiektów nadawczych wzrost ryzyka komorowej arytmii ($OR = 6,6$).

Analizowano także wyniki badań ankietowych dolegliwości subiektywnych związanych z korzystaniem z telefonów komórkowych. W Szwecji i Norwegii (*Oftedal* i in. 2000; 2001) ankietowano 17 000 osób zawodowo korzystających z telefonu komórkowego (12000 w Szwecji i 5000 w Norwegii). W Norwegii 31%, a w Szwecji 13% badanych podawało występowanie przynajmniej 1 symptomu. W Norwegii najczęściej zgłaszano uczucie ciepła w okolicy ucha (45%), ból głowy (11%), pieczenie skóry (11%), zawroty głowy (8,1%) i uczucie zmęczenia (7,7%). W Szwecji najczęściej zgłaszano uczucie ciepła w okolicy ucha (16,5%), pieczenie skóry (3,2%), ból głowy (2,5%) i uczucie dyskomfortu (2,2%). Nie stwierdzono istotnego wzrostu ryzyka dolegliwości u osób, które rozmawiały mniej niż 4 razy dziennie i łącznie krócej niż 15 min. Dla pozostałych osób istotny wzrost ryzyka dotyczył zawrotów głowy (Norwegia – $OR = 3,5$; Szwecja – $OR = 1,5$). Porównanie wyników między Szwecją a Norwegią wykazało różnice: bóle głowy zgłaszane w Norwegii $OR = 4,1$, a w Szwecji $OR = 2,6$, zmęczenie w Norwegii $OR = 1,8$, a w Szwecji $OR = 2,2$, zaburzenia koncentracji uwagi w Norwegii $OR = 1,6$, a w Szwecji $OR = 2,2$, zaburzenia pamięci w Norwegii $OR = 1,4$, a w Szwecji $OR = 1,5$). W badaniach własnych (600 osób) wykazano także istotny wzrost ryzyka dolegliwości u osób, które korzystały z telefonu komórkowego ponad 30 min (ból głowy $OR = 18,8$, zaburzenia koncentracji uwagi $OR = 2,2$, zaburzenia pamięci świeżej $OR = 3,1$), (*Bortkiewicz* i in. 2008).

Istotne z punktu widzenia medycyny pracy były też wyniki badań wypadków drogowych w kontekście korzystania z telefonu komórkowego. Wykazano, że kierowcy mieli trudność dostosowania szybkości samochodu do sytuacji na drodze, utrzymujące się również po zakończeniu rozmowy (Brookhuis i in. 1991; Lambie i in. 1999; Alm, Nilsson 1995; Haigney 2000). Violanti i Marschall (1996) przebadali 100 losowo wybranych kierowców, którzy mieli w ciągu ostatnich 12 miesięcy wypadek drogowy, a także 100 „geograficznie” dobranych kierowców jeżdżących bez wypadku. Po wyeliminowaniu czynników zakłócających (np. staż jako kierowca) stwierdzili, że istotnie częściej wypadkom ulegali kierowcy, którzy w ciągu miesiąca rozmawiali ponad 50 min (nie ma informacji, jaki procent rozmów był prowadzony w samochodzie). Nie wiadomo czy wpływ na ryzyko wypadków miało pole emitowane przez telefon komórkowy, czy inne czynniki związane z rozmową, ale wydaje się, że należałoby podjąć badania, aby ten problem wyjaśnić.

Dane dotyczące nowotworów u osób dorosłych (nowotwory piersi i mózgu) eksponowanych zawodowo lub środowiskowo na pola 50 ÷ 60 Hz dotyczą zbyt małych grup i mają zbyt wiele metodologicznych ograniczeń, aby ich wyniki mogły być uznane za rozstrzygające. Obecnie pola magnetyczne bardzo niskiej częstotliwości są uznane za możliwie kancerogenne (grupa 2B w klasyfikacji IARC (IARC 2002), a tylko wyniki badań u dzieci potwierdzają istotny wzrost ryzyka białaczek. Ahlbom i in. (2000) na podstawie analizy 9 badań stwierdzili dwukrotny wzrost ryzyka białaczki u dzieci eksponowanych środowiskowo na pole magnetyczne o indukcji większej od 0,4 μ T, natomiast Greenland i in. (2000) na podstawie analizy 15 badań ocenili ryzyko białaczki na 1,7 w przypadku ekspozycji na średnim poziomie 0,3 μ T.

Przegląd najnowszych badań, podobnie jak wszystkie badania dotychczasowe, nie pozwala wykluczyć ryzyka zdrowotnego związanego z ekspozycją na pola o różnych częstotliwościach, a problem skutków zdrowotnych jest nadal otwarty.

BIOLOGICZNE UWARUNKOWANIA ODDZIAŁYWANIA PROMIENIOWANIA IMPULSOWEGO

*dr hab. inż. ROMAN KUBACKI**
Wojskowy Instytut Higieny i Epidemiologii
im. Generała Karola Kaczkowskiego
01-163 Warszawa
ul. Kozielska 4

Pola elektromagnetyczne z zakresu mikrofalowego wytwarzane przez takie współczesne urządzenia nadawcze, jak urządzenia telefonii komórkowej czy radarów, są najczęściej modulowane impulsowo. W telefonii komórkowej fala elektromagnetyczna wykorzystywana jest jako nośnik sygnałów do bezprzewodowej łączności, przy czym realizacja łączności z poszczególnymi abonentami odbywa się w określonych odcinkach czasu, zwanych szczelinami czasowymi. Taki impulsowy typ modulacji nadawania i odbioru

* Obecny adres:
dr hab. inż. ROMAN KUBACKI
Wojskowa Akademia Techniczna
im. Jarosława Dąbrowskiego
00-908 Warszawa
ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2

sygnałów wykorzystują wszystkie trzy systemy telefonii komórkowej, tj.: GSM, DCS i UMTS. Urządzenia radiolokacyjne są wyspecjalizowane w wytwarzaniu impulsów promieniowania o bardzo wysokiej mocy szczytowej w impulsie przy niskiej wartości średniej. Wytworzenie impulsów o wysokiej mocy pozwala na odbiór sygnałów odbitych od obiektów powietrznych, pomimo iż impulsy te doznają silnego tłumienia i rozproszenia w otaczającej przestrzeni. W zakresie mikrofalowym do oceny narażenia na pola impulsowe zostały ustanowione rozporządzeniem ministra pracy i polityki społecznej dodatkowe ograniczenia limitujące wartości dopuszczalne natężenia pola elektrycznego w impulsie (DzU 2002, nr 217, poz. 1833).

Najlepiej poznanym skutkiem oddziaływania impulsowego promieniowania mikrofalowego na ludzi są tzw. wrażenia słuchowe. Polegają one na odczuwaniu w trakcie ekspozycji na pola impulsowe takich wrażeń słuchowych jak: trzaski, gwizdy czy świsty. Skutek ten może mieć miejsce w polach impulsowych nawet przy niskiej wartości średniej gęstości mocy (Guy i in. 1975; Lin 1989), przy której przyrost temperatury jest niezauważalny. Prezentowane dane potwierdzają, że energia impulsów mikrofalowych generuje termoelastyczną falę ciśnienia powstałego w tkankach miękkich, która pobudza przez kości receptory ucha środkowego (Chou, Guy 1982; Lin 1980; Lin i in. 1988; Lin 1989). Wrażenia słuchowe u ludzi mogą być indukowane w polach elektromagnetycznych o wartości gęstości mocy w impulsie $S_{imp} \geq 13 \text{ kW/m}^2$. Podane dane dotyczą częstotliwości 2,45 GHz, dla której skutek ten jest dobrze udokumentowany.

Innym skutkiem biologicznego oddziaływania pól impulsowych są zmiany zachowań behawioralnych. Badania te w polach impulsowych prowadzono głównie na naczelnych, gdyż dobrze odzwierciedlają one zachowania ludzi. Według deLorge (1984) wartości progowe ekspozycji małp *Macaca mulatta* na impulsowe pola elektromagnetyczne, powyżej których następowały zmiany reakcji behawioralnych wynoszą:

$$- \text{dla } f = 1,3 \text{ GHz} \Rightarrow S_{sr} \approx 600 \text{ W/m}^2 \quad (S_{imp} \approx 500 \text{ kW/m}^2)$$

$$- \text{dla } f = 5,8 \text{ GHz} \Rightarrow S_{sr} \approx 1500 \text{ W/m}^2 \quad (S_{imp} \approx 1100 \text{ kW/m}^2).$$

Inne skutki oddziaływania impulsowych pól mikrofalowych na organizm, np. oddziaływanie na układ krwionośny, stwierdzano przy wyższych wartościach progowych natężenia pola elektromagnetycznego (Kubacki 2000).

METODY I KRYTERIA OCENY PÓL ELEKTROMAGNETYCZNYCH

dr inż. JOLANTA KARPOWICZ, dr inż. KRZYSZTOF GRYZ

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

00-701 Warszawa

ul. Czerniakowska 16

Metody oceny pola elektromagnetycznego

Badania pola elektromagnetycznego w środowisku pracy są prowadzone w celu zidentyfikowania źródeł pól stanowiących potencjalne zagrożenie dla pracowników. Badania te prowadzi się, wykonując pomiary lub obliczenia parametrów pola oddziałującego na pracowników i obiekty techniczne znajdujące się w środowisku pracy.

Pomiary wykonuje się w celu oceny poziomu natężenia pola elektrycznego i magnetycznego na stanowisku pracy. W celu uzyskania jednoznacznych i powtarzal-

nych wyników oceny, poziom narażenia organizmu ludzkiego i środowiska na pole elektromagnetyczne ocenia się na podstawie wielkości charakteryzujących pole niezależne obecnością człowieka. Pomiar wykonuje się w miejscach przebywania pracowników, ale pod ich nieobecność, a także innych osób w obszarze pomiarowym w czasie wykonywania ich. Mierniki składają się z wymiennych sond pomiarowych z czujnikiem pola magnetycznego lub elektrycznego i zasilanego bateryjnie monitora, zawierającego m.in. układy elektroniczne przetwarzania sygnału pomiarowego, zapamiętywania danych i wskaźnik. Jako czujniki pola elektrycznego lub magnetycznego różnych zakresów częstotliwości zwykle są wykorzystywane cewki wielozwojowe, dipole elektryczne lub czujniki Halla.

Obliczenia prowadzone na potrzeby oceny zagrożeń elektromagnetycznych w środowisku pracy dotyczą najczęściej miar wewnętrznych skutków ekspozycji w ciele pracownika (gęstości prądu indukowanego J lub współczynnika SAR). Mogą być one prowadzone również w celu wyznaczenia rozkładu miar zewnętrznych ekspozycji w sytuacjach, kiedy niemożliwe jest poprawne wykonanie pomiarów (np. kiedy nie można zmierzyć pola pierwotnego w obszarze przebywania pracownika). Symulacje komputerowe prowadzi się przy wykorzystaniu modeli numerycznych odwzorowujących warunki ekspozycji na rzeczywistym stanowisku pracy (geometrię rozpatrywanego obszaru, wyposażenie materialne i elektryczne właściwości jego materiałów) oraz modele ciała pracownika. W przypadku konieczności precyzyjnego wyznaczenia np. rozkładów miar wewnętrznych w ciele człowieka w jego modelu powinny zostać uwzględnione szczegóły anatomiczne. Gdy przedmiotem obliczeń są parametry całkowite, np. globalne wartości wielkości charakteryzujących miary wewnętrzne ekspozycji, można zastosować uproszczenia i użyć modelu jednorodnego o takich prostych kształtach geometrycznych, jak: walec, elipsoida czy kula.

Narażenie pracowników należy oceniać w warunkach najbardziej krytycznych, dlatego pomiary lub obliczenia powinny być wykonywane w takich warunkach eksploatacyjnych źródła pola, w których w obszarze stanowiska pracownika występują maksymalne natężenia pól lub w czasie analizy rezultatów badań należy uwzględnić możliwość występowania większych ekspozycji niż te, które zostały zbadane.

Dyrektywa 2004/40/WE

Dyrektywa 2004/40/WE w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na zagrożenia powodowane czynnikami fizycznymi (pola elektromagnetyczne) została ustanowiona w 2004 r. jako 18. dyrektywa szczegółowa w rozumieniu artykułu 16(1) dyrektywy ramowej 89/391/EWG. Wymagania tej dyrektywy ustanawiają „minimalne wymagania”, co daje państwom członkowskim możliwość utrzymania lub przyjęcia bardziej zaostrzonych wymagań odnośnie do ochrony pracowników (*Karpowicz i Gryz, 2004; Karpowicz i in. 2006*). Wykonanie dyrektywy nie powinno spowodować regresji w stosunku do stanu, jaki był wcześniej w danym państwie członkowskim. Państwa członkowskie powinny transponować postanowienia dyrektywy do ich porządku prawnego do kwietnia 2012 r.

Miary wewnętrzne i zewnętrzne ekspozycji

Wymagania zawarte w dyrektywie obejmują m.in. obowiązek dokonania przez pracodawcę oceny zagrożeń i ryzyka zawodowego ekspozowanych pracowników. Do tego celu podano w dyrektywie tzw. dopuszczalne wartości miar zewnętrznych i wewnętrz-

nych. Dopuszczalne wartości miar wewnętrznych odnoszące się do maksymalnych dopuszczalnych skutków ekspozycji występujących wewnątrz ciała eksponowanego pracownika (tj. gęstość prądu indukowanego (J), oraz szybkość pochłaniania właściwego energii (SAR)), zostały zdefiniowane do ustalenia nieprzekraczalnego w żadnym wypadku progu ekspozycji pracowników. Dopuszczalne wartości miar zewnętrznych (tj. natężenie pola elektrycznego (E) oraz natężenie pola magnetycznego (H) występujące na stanowisku pracy) zostały zdefiniowane do celów rutynowej kontroli i oceny warunków ekspozycji pracownika. Ich wartości zostały obliczone (oszacowane) na podstawie granicznych wartości miar wewnętrznych według metodyki podanej w zaleceniach IC-NIRP (ICNIRP 1998).

⇒ Przestrzeganie ograniczeń dotyczących dopuszczalnych wartości miar zewnętrznych gwarantuje spełnienie ograniczeń dotyczących miar wewnętrznych, natomiast przekroczenie ograniczeń miar zewnętrznych nie oznacza przekroczenia dopuszczalnych miar wewnętrznych, a jedynie potrzebę wykonania bardziej dokładnej analizy ich spełnienia.

Pracodawca powinien oszacować oraz, jeśli jest to konieczne, zmierzyć lub obliczyć poziomy pola elektromagnetyczne, na które jest eksponowany pracownik. W przypadku stwierdzenia przekroczenia granicznych wartości miar zewnętrznych na stanowisku pracy, pracodawca powinien oszacować oraz, jeśli jest to konieczne, obliczyć czy dopuszczalne wartości miar wewnętrznych nie zostały przekroczone. Oszacowanie, pomiary oraz obliczenia powinny być wykonywane zgodnie z procedurami podanymi w zharmonizowanych z dyrektywą normach, opracowywanych przez Europejski Komitet Normalizacji Elektrotechnicznej (CENELEC). Do czasu ich opracowania mogą być wykorzystywane normy i zalecenia krajowe lub międzynarodowe.

⇒ Ponieważ wartości miar zewnętrznych, podane w dyrektywie dla pól radio- i mikrofalowych o częstotliwości z zakresu od 100 kHz do 10 GHz zostały tak obliczone, by chronić przed efektem termicznym wewnątrz eksponowanego ciała, dlatego do analizy zgodności z granicznymi wartościami miar wewnętrznych natężenie pola elektrycznego, oddziałującego na pracownika powinno być uśrednione w przestrzeni stanowiska pracy i w czasie ekspozycji. Ocena pól magnetycznych niejednorodnych i niesinusoidalnych jest mniej jednoznaczna.

NDN pól elektromagnetycznych i norma polska PN-T-06580:2002

Dopuszczalną ekspozycję zawodową na pola elektromagnetyczne ustalono postanowieniami rozporządzenia ministra pracy i polityki społecznej w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń (NDS i NDN) czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (DzU 2002, nr 217, poz. 1833), a szczegóły dotyczące metod pomiarów i oceny ekspozycji w związanej z nim normie PN-T-06580:2002 (*Karpowicz, Gryz 2003*).

W rozporządzeniu ustalono wartość NDN pól elektromagnetycznych, czyli natężenia pola elektrycznego i magnetycznego (E , H) dopuszczalne przy 8-godzinnej ekspozycji pracowników oraz granicę ekspozycji, która jest zabroniona, jeżeli pracownicy przebywają w polach elektromagnetycznych bez ubiorów ochronnych. W przypadku pól

o natężeniach większych od wartości NDN, a mniejszych od granicy strefy niebezpiecznej, dopuszczalny czas trwania ekspozycji na takie pola jest krótszy od 8 godzin i wyznaczany na podstawie wartości wskaźnika ekspozycji (W).

Okresowa ocena poziomu ekspozycji na pola elektromagnetycznego na stanowisku pracy jest w Polsce obowiązkowa, więc przepisy z nią związane odnoszą się wyłącznie do miar zewnętrznych (E , H). Miary wewnętrzne (J , SAR) nie są podane w rozporządzeniu, ponieważ nie ma możliwości ich pomiaru w rzeczywistych warunkach ekspozycji pracowników (na poszczególnych stanowiskach pracy). Jednakże dopuszczalne wartości miar wewnętrznych zdefiniowane w zaleceniach ICNIRP (1998) i wykorzystane później w dyrektywie 2004/40/WE, oraz zbliżone do nich wartości podane w normie IEEE (1999) zostały wykorzystane do analizy teoretycznej stanowiącej podstawę do ustalenia poziomu ekspozycji zabronionej na pola elektromagnetyczne różnych częstotliwości, który został przyjęty w 1999 r. w Polsce do aktualnych przepisów. Natomiast wartość NDN pól elektromagnetycznych pełni rolę analogiczną do wartości granicznych miar zewnętrznych z dyrektywy, tj. wskazuje stanowiska pracy, na których należy wdrażać nadzór nad warunkami ekspozycji i ewentualnie podjąć działania zmniejszające ryzyko zawodowe dla ekspozowanych pracowników. Ze względu na wartości NDN przebiegające poniżej wartości granicznych miar zewnętrznych z dyrektywy, system nadzoru obejmuje w Polsce również stanowiska pracy, na których występuje mniejszy poziom ekspozycji od tego, jaki wynika z wymagań dyrektywy.

⇒ Zgodnie z postanowieniami zawartymi w normie PN-T-06580:2002, ekspozycja pracowników jest oceniana na podstawie wyników pomiarów wartości skutecznej natężenia pola elektrycznego lub magnetycznego. Za wynik pomiarów należy przyjąć maksymalną chwilową wartość skuteczną, zmierzoną wzdłuż linii odpowiadającej osi ciała pracownika, od podłoża do wysokości 2 m.

Dopuszczalny poziom ekspozycji

Zalecenia międzynarodowe odnośnie do ograniczeń ekspozycji pracowników na pole elektromagnetyczne są określone na podstawie dobrze poznanych i udokumentowanych mechanizmów oddziaływania pól i skutków, jakie występują w organizmie w czasie trwania ekspozycji. Obserwacje wskazujące na możliwość występowania negatywnych skutków wieloletniej ekspozycji chronicznej są w dalszym ciągu weryfikowane przez podejmowanie międzynarodowych badań w celu ich potwierdzenia lub odrzucenia i opracowywane na podstawie ich wyników opracowania przeglądowe. W Polsce, podobnie jak w wielu innych państwach, przyjęto, że obserwacje te są wystarczające, aby wymagania odnośnie ograniczania poziomu ekspozycji długotrwałej pracowników oraz ekspozycji ludności były ostrzejsze niż te, które wynikają z konieczności zapewnienia ochrony przed oddziaływaniem krótkotrwałym (występującym w czasie ekspozycji).

NDN pól elektromagnetycznych (NDN 1999)

Do warunków ekspozycji zawodowej na pola i promieniowanie elektromagnetyczne o częstotliwości z zakresu od 0 Hz do 300 GHz odnoszą się postanowienia zawarte w rozporządzeniu ministra pracy w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń (NDS i NDN) czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Obecnie do pól elektromagnetycznych odnosi się Część E załącznika drugiego do rozporządzenia ministra pracy i polityki społecznej z dnia 29 listopada 2002 r (DzU nr 217, 2002, poz. 1833).

Dla pola elektromagnetycznego ustalono wartości najwyższego dopuszczalnego natężenia (tzw. NDN), tak aby oddziaływanie pola na pracownika przez okres jego aktywności zawodowej nie spowodowało ujemnych zmian w jego stanie zdrowia oraz w stanie zdrowia jego przyszłych pokoleń. Odnośnie do ekspozycji zawodowej w polach elektromagnetycznych w rozporządzeniu ustanowiono:

- poziom ekspozycji dopuszczalnej w ciągu 8-godzinnego dnia pracy (tab. 1. i 2., rys. 1.)
- zasady skracania ekspozycji na silniejsze pola (wskaźnik ekspozycji i dozy dopuszczalne)
- poziom ekspozycji dopuszczalnej dla pracowników przebywających w polach elektromagnetycznych bez odpowiednich środków ochrony indywidualnej (strefę niebezpieczną i dopuszczalną ekspozycję kończyn na pola magnetyczne małej częstotliwości)
- dopuszczalną ekspozycję na impulsowe pola mikrofalowe
- poziom dopuszczalnej ekspozycji pozazawodowej.

Za ekspozycję pozazawodową przyjmuje się przebywanie w polach pracowników niezwiązanych z obsługą źródeł pól oraz pracowników młodocianych i kobiet w ciąży.

W normie PN-T-06580: 2002, zharmonizowanej z rozporządzeniem w sprawie NDN, zdefiniowano terminologię oraz zasady pomiaru i oceny warunków pracy w polach elektromagnetycznych.

Tabela 1.

Dopuszczalne wartości natężenia pola elektrycznego $E_1(f)$ dla ekspozycji 8-godzinnej oraz doza dopuszczalna pola elektrycznego $Dd_E(f)$ określone w rozporządzeniu w sprawie NDS i NDN

Lp.	Zakres częstotliwości	$E_1(f)$, V/m	$Dd_E(f)$
1	$0 \text{ Hz} \leq f \leq 0,5 \text{ Hz}$	20 000	$3200 \text{ (kV/m)}^2 \text{ h}$
2	$0,5 \text{ Hz} < f \leq 300 \text{ Hz}$	10 000	$800 \text{ (kV/m)}^2 \text{ h}$
3	$0,3 \text{ kHz} < f \leq 1 \text{ kHz}$	$100/f$	$0,08/f^2 \text{ (kV/m)}^2 \text{ h}$
4	$1 \text{ kHz} < f \leq 3 \text{ MHz}$	100	$0,08 \text{ (kV/m)}^2 \text{ h}$
5	$3 \text{ MHz} < f \leq 15 \text{ MHz}$	$300/f$	$0,72/f^2 \text{ (kV/m)}^2 \text{ h}$
6	$15 \text{ MHz} < f \leq 3 \text{ GHz}$	20	$3200 \text{ (V/m)}^2 \text{ h}$
7	$3 \text{ GHz} < f \leq 300 \text{ GHz}$	$0,16f + 19,5$	$(f/2 + 55)^2 \text{ (V/m)}^2 \text{ h}$

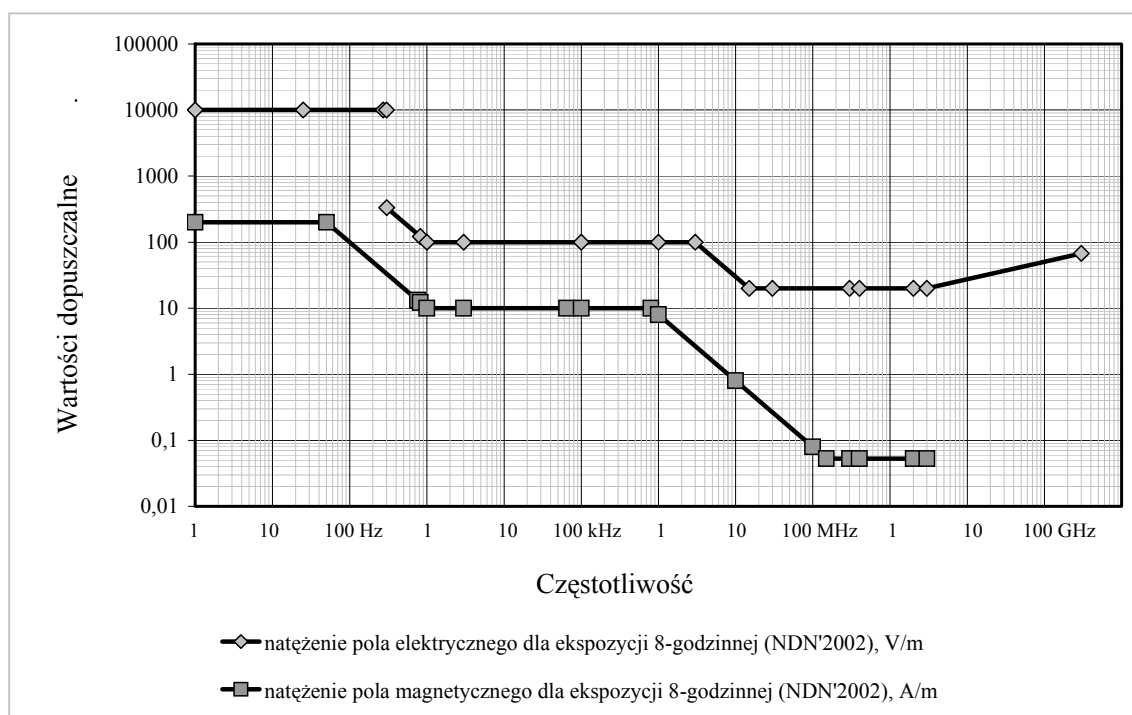
f – częstotliwość w jednostkach podanych w kolumnie "zakres częstotliwości".

Tabela 2.

Dopuszczalne wartości natężenia pola elektrycznego $H_1(f)$ dla ekspozycji 8-godzinnej oraz doza dopuszczalna pola magnetycznego $Dd_H(f)$ określone w rozporządzeniu w sprawie NDS i NDN

Lp.	Zakres częstotliwości	$H_1(f)$, A/m]	$Dd_H(f)$
1	$0 \text{ Hz} \leq f \leq 0,5 \text{ Hz}$	8 000	$512 \text{ (kA/m)}^2 \text{ h}$
2	$0,5 \text{ Hz} < f \leq 50 \text{ Hz}$	200	$0,32 \text{ (kA/m)}^2 \text{ h}$
3	$0,05 \text{ kHz} < f \leq 1 \text{ kHz}$	$10/f$	$800/f^2 \text{ (A/m)}^2 \text{ h}$
4	$1 \text{ kHz} < f \leq 800 \text{ kHz}$	10	$800 \text{ (A/m)}^2 \text{ h}$
5	$0,8 \text{ MHz} < f \leq 150 \text{ MHz}$	$8/f$	$512/f^2 \text{ (A/m)}^2 \text{ h}$
6	$0,15 \text{ GHz} < f \leq 3 \text{ GHz}$	0,053	$0,022 \text{ (A/m)}^2 \text{ h}$

f – częstotliwość w jednostkach podanych w kolumnie "zakres częstotliwości".



Rys. 1. Najwyższe dopuszczalne natężenia (NDN) pola elektrycznego i magnetycznego według obowiązujących przepisów krajowych

Dyrektywa 2004/40/WE

Do oceny poziomu ekspozycji zgodnie z postanowieniami dyrektywy europejskiej 2004/40/WE w sprawie minimalnych wymagań bezpieczeństwa pracowników są wykonywane dwa rodzaje wielkości:

- miary wewnętrzne ekspozycji, których nie można zmierzyć na stanowisku pracy, czyli gęstość prądu (J) i współczynnik (SAR), ustalające maksymalny dopuszczalny poziom narażenia na pola elektromagnetyczne
- miary zewnętrzne ekspozycji, które można zmierzyć na stanowisku pracy (E , H , B), ustalające poziom ekspozycji wymagającej podjęcia kontroli na stanowisku pracy i ewentualnie przeprowadzenia działań prewencyjnych.

Wartości graniczne miar wewnętrzne ekspozycji nie powinny być przekraczane w żadnym wypadku. Wartości graniczne gęstości prądu indukowanego dotyczą głowy i tułowia, a wartości graniczne współczynnika SAR podano jako wartości uśrednione dla całego ciała lub wartości lokalne dla głowy i tułowia bądź jako odrębne, lokalne wartości dla kończyn (tab. 3.). Miary wewnętrzne są skorelowane ze skutkami ekspozycji występującymi wewnątrz organizmu. Posłużyły one do wyznaczenia wartości granicznych miar zewnętrznych (tab. 4.), których nieprzekroczenie dowodzi, że w najbardziej niekorzystnych warunkach narażenia nie powinno występować przekroczenie dopuszczalnych miar wewnętrznych ekspozycji. Wartości dopuszczalne miar zewnętrznych mogą być przekroczone na stanowisku pracy pod warunkiem nieprzekroczenia miar wewnętrznych. Dopuszczenie takich warunków ekspozycji wymaga przeprowadzenia szczegółowej analizy odnoszącej się do miar wewnętrznych ekspozycji pracownika.

Tabela 3.

Wielkości graniczne miar wewnętrznych według dyrektywy 2004/40/WE (wszystkie warunki mają być spełnione).

Zakres częstotliwości	Gęstość prądu w głowie i tułowiu (wartość skuteczna) J , mA/m ²	Wartość SAR uśredniona względem całego ciała SAR , W/kg	Miejscowa wartość SAR (w głowie i tułowiu) SAR , W/kg	Miejscowa wartość SAR (w kończynach) SAR , W/kg	Gęstość mocy S , W/m ²
do 1 Hz	40	–	–	–	–
1 ÷ 4 Hz	40/ f	–	–	–	–
4 ÷ 1000 Hz	10	–	–	–	–
1000 Hz ÷ 100 kHz	$f/100$	–	–	–	–
100 kHz ÷ 10 MHz	$f/100$	0,4	10	20	–
10 MHz ÷ 10 GHz	–	0,4	10	20	–
10 ÷ 300 GHz	–	–	–	–	50

f – częstotliwość w hercach (Hz).

Tabela 4.**Wielkości miar zewnętrznych (niezakłócona wartość skuteczna (RMS))**

Zakres częstotliwości	Natężenie pola elektrycznego E , V/m	Natężenie pola magnetycznego H , A/m	Indukcja magnetyczna B , μT	Gęstość mocy ekwiwalentnej fali płaskiej S_{eq} , W/m^2	Prąd kontaktowy I_C , mA	Prąd indukowany w końcówce I_L , mA
0 ÷ 1 Hz	–	$1,63 \times 10^5$	2×10^5	–	1,0	–
1 ÷ 8 Hz	20000	$1,63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$	–	1,0	–
8 ÷ 25 Hz	20000	$2 \times 10^4 / f$	$2,5 \times 10^4 / f$	–	1,0	–
0,025 ÷ 0,82 kHz	$500 / f$	$20 / f$	$25 / f$	–	1,0	–
0,82 ÷ 2,5 kHz	610	24,4	30,7	–	1,0	–
2,5 ÷ 65 kHz	610	24,4	30,7	–	$0,4f$	–
65 ÷ 100 kHz	610	$1600 / f$	$2000 / f$	–	$0,4f$	–
0,1 ÷ 1 MHz	610	$1,6 / f$	$2 / f$	–	40	–
1 ÷ 10 MHz	$610 / f$	$1,6 / f$	$2 / f$	–	40	–
10 ÷ 110 MHz	61	0,16	0,2	10	40	100
110 ÷ 400 MHz	61	0,16	0,2	10	–	–
400 ÷ 2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0,008f^{1/2}$	$0,01f^{1/2}$	$f/40$	–	–
2 ÷ 300 GHz	137	0,36	0,45	50	–	–

f – częstotliwość w jednostkach z kolumny "zakres częstotliwości".

DOPUSZCZALNE WARTOŚCI I ZASADY OCENY IMPULSOWEGO PROMIENIOWANIA ELEKTROMAGNETYCZNEGO

*dr hab. inż. ROMAN KUBACKI**
Wojskowy Instytut Higieny i Epidemiologii
im. Generała Karola Kaczkowskiego
01-163 Warszawa
ul. Kozielska 4

Dopuszczalne wartości natężenia promieniowania w impulsie

Norma amerykańska i norma NATO

Norma amerykańska (IEEE C95.1) i norma NATO (STANAG 2345) zawierają ograniczenia maksymalnej wartości gęstości strumienia energii w impulsie ($S_{\text{max imp}}$) dla impulsów o krótkim czasie trwania ($S_{\text{max imp}} = 26\,000 \text{ kW}/\text{m}^2$), jednakże wartość ta jest na

* Obecny adres:
dr hab. inż. ROMAN KUBACKI
Wojskowa Akademia Techniczna
im. Jarosława Dąbrowskiego,
00-908 Warszawa
ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2

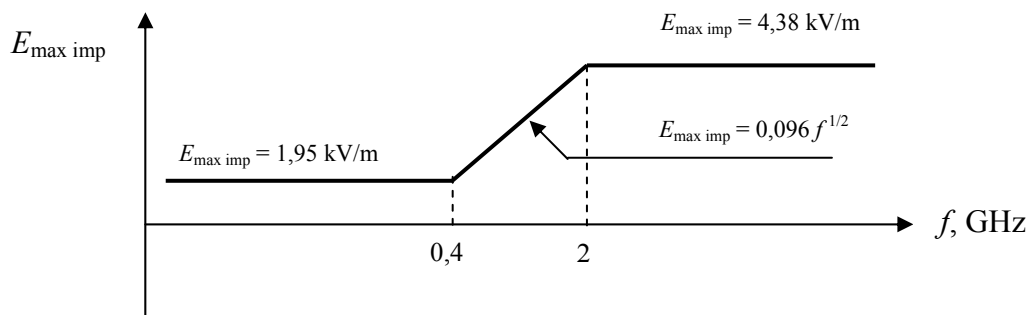
tyle duża, że jest powszechnie krytykowana, ponieważ nie znajduje zastosowania w praktyce. W piśmiennictwie podkreślono, że sankcjonowanie tak dużej wartości świadczy o pominięciu wyników badań biomedycznych, dotyczących oddziaływania promieniowania modulowanego impulsowo na organizmy żywe, w tym promocji nowotworów u pracowników pracujących w pobliżu radarów.

Dyrektywa 2004/40/WE

Dopuszczalne wartości ustanowione w dyrektywie 2004/40/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej (Dyrektywa 2004/40/WE) zostały określone na takim poziomie, aby mogły zapewnić odpowiedni poziom ochrony przed ustalonymi skutkami zdrowotnymi, jakie mogą wynikać z ekspozycji na pola elektromagnetyczne podczas pracy. W ramach ochrony pracowników w przypadku ekspozycji na pola impulsowe ustanowiono dodatkowe dopuszczalne wartości natężenia promieniowania w impulsie.

Dla pól impulsowych dopuszczalną wartość miar wewnętrznych określono dla zakresu częstotliwości od 0,3 do 10 GHz, tak aby ograniczyć i wyeliminować w miejscowej ekspozycji głowy skutki zdrowotne wywołane termoelastyczną falą ciśnienia akustycznego, generowaną w organizmie przez wysokoenergetyczne promieniowanie impulsowe (tzw. wrażenia słuchowe). Z tego powodu za dopuszczalną wartość miar wewnętrznych przyjęto wartość energii pochłoniętej (SA) równą 10 mJ/kg, uśrednioną w 10 g tkanki.

Natomiast dopuszczalną wartość miar zewnętrznych dla pól impulsowych określono dla zakresu częstotliwości od 10 MHz do 300 GHz, a jego wartość wyznaczono w wyniku wymnożenia odpowiednich wartości skutecznych przez 32 odnośnie do natężeń pól, a przez 1000 odnośnie do gęstości mocy. Dopuszczalne wartości miar zewnętrznych dla ekspozycji impulsowej, zgodnie z dyrektywą 2004/40/WE przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Dopuszczalne wartości miar zewnętrznych ekspozycji impulsowej, podane zgodnie z dyrektywą 2004/40/WE

Polskie uwarunkowania prawne ochrony pracowników w polach impulsowych

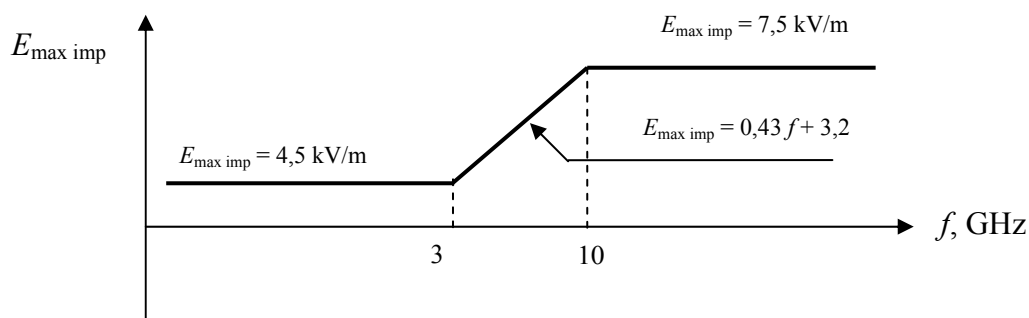
W Polsce dopuszczalne wartości natężenia pola elektrycznego w impulsie ustanowiono w rozporządzeniu ministra pracy i polityki społecznej (DzU 2002, nr 217, poz. 1833). W przypadku ekspozycji pracowników na impulsowe pola wytwarzane przez radary przyjęto, iż osoby eksponowane zawodowo (personel) znajdują się w zasięgu promieniowania przez bardzo krótki okres, tj. jedynie w czasie przechodzenia wiązki promie-

niowania przez rozważany punkt przestrzeni. Wrażenia słuchowe występują zatem w sposób nieciągły i są uzależnione głównie od szerokości wiązki promieniowania. Dodać również należy, że wrażenia słuchowe są odbierane jedynie przez osoby charakteryzujące się nadwrażliwością na impulsowe pola elektromagnetyczne. Biorąc pod uwagę powyższe uwarunkowania, stwierdzono, że konstruowanie dopuszczalnych wartości $E_{\max \text{ imp}}$ na bazie wrażeń słuchowych jest podejściem zbyt „opiekuńczym” dla pracowników.

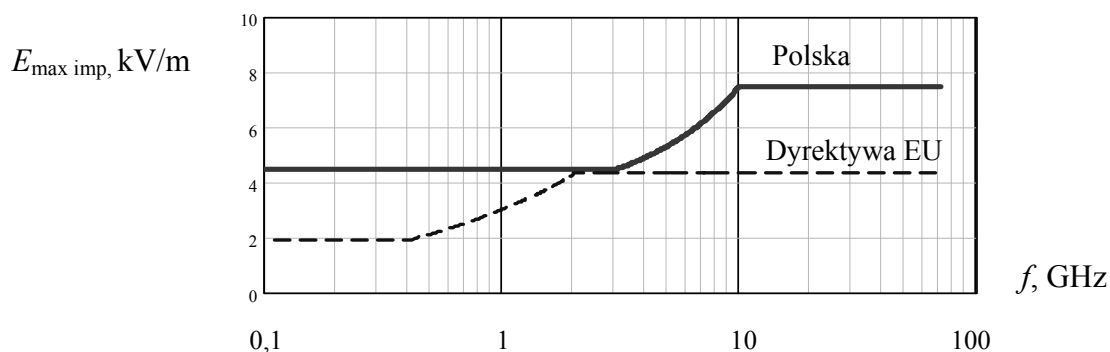
Istniejące dopuszczalne wartości natężenia pola elektrycznego ustanowione w tym rozporządzeniu zostały skonstruowane na podstawie skutków behawioralnych. Konstruując dopuszczalne wartości natężenia pola elektrycznego w impulsie, przyjęto te wartości z dziesięciokrotnym marginesem bezpieczeństwa. Zakres częstotliwości objętych regulacją prawną został podzielony na trzy podzakresy, ponieważ w każdym podzakresie można wyszczególnić specyficzne mechanizmy oddziaływania promieniowania impulsowego na ludzi. Są to następujące podzakresy częstotliwości:

- 100 MHz ÷ 3 GHz
- 3 ÷ 10 GHz
- 10 ÷ 300 GHz.

Obowiązujące dopuszczalne wartości natężenia pola elektrycznego w impulsie przedstawiono na rysunku 3. Wartości te dla porównania zestawiono na rysunku 4. z wartościami ustanowionymi przez wymagania zawarte w dyrektywie 2004/40/WE.



Rys. 3. Dopuszczalne wartości natężenia pola elektrycznego ustanowione rozporządzeniem ministra pracy i polityki społecznej (DzU 2002, nr 217, poz. 1833)



Rys. 4. Porównanie dopuszczalnych wartości natężenia pola elektrycznego podanych w rozporządzeniu ministra pracy i polityki społecznej (DzU 2002, nr 217, poz. 1833) oraz w dyrektywie 2004/40/WE

Na podstawie przedstawionych na rysunku 4. wykresów dopuszczalnych wartości natężenia pola elektrycznego łatwo zauważyć, że aktualne polskie wartości są większe od podanych w dyrektywie 2004/40/WE. Wartości polskie przekraczają dopuszczalne wartości miar zewnętrznych dla pól impulsowych. Ze względu na zbliżone zasady oceny pól impulsowych, zachodzi obawa, że mogą być w tym przypadku przekroczone również wartości dopuszczalne miar wewnętrznych podane w dyrektywie.

Propozycja dopuszczalnych wartości natężenia pola elektrycznego w impulsie

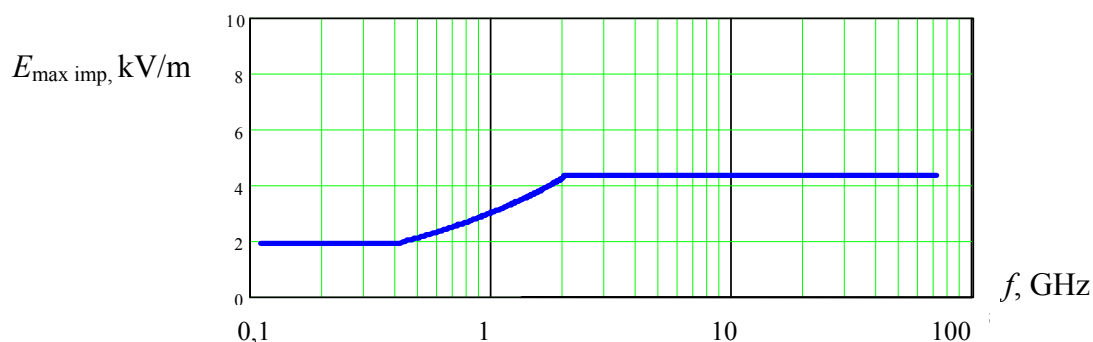
Biorąc pod uwagę uwarunkowania dyrektywy 2004/40/WE, obligujące poszczególne państwa do ustanowienia dopuszczalnego poziomu ekspozycji nie wyższego od jej wartości miar wewnętrznych, zasadne jest dla pól impulsowych obniżenie krajowych dopuszczalnych wartości natężenia pola elektrycznego w impulsie do poziomu ustanowionego w dyrektywie. Dopuszczalne wartości natężenia pola elektrycznego w impulsie, proponowane aby to osiągnąć, zostały przedstawiono w tablicy 5. oraz na rysunku 5.

Tablica 5.

Wartości dopuszczalne impulsowego pola elektrycznego, zaproponowane do nowelizacji rozporządzenia w sprawie NDN pól elektromagnetycznych

Zakres częstotliwości	Dopuszczalne wartości natężenia pola elektrycznego w impulsie $E_{\max \text{ imp, kV/m}}$
100 ÷ 400 MHz	1,95
400 ÷ 2000 MHz	$0,097 f^{1/2}$
2 ÷ 300 GHz	4,38

f – częstotliwość pól elektrycznych w MHz.



Rys. 5. Proponowane wartości natężenia pola elektrycznego w impulsie, dopuszczalne dla ekspozycji pracowników

Metrologia impulsowego promieniowania elektromagnetycznego

Do pomiarów natężenia pola elektrycznego lub gęstości mocy pól elektromagnetycznych modulowanych impulsowo stosuje się mierniki pola umożliwiające realizację pomiarów wartości szczytowej. Wynik pomiaru wartości szczytowej pól elektromagne-

tycznych modulowanych impulsowo powinien być wartością skuteczną natężenia pola elektrycznego lub wartością średnią gęstości mocy w czasie trwania impulsu. Dopuszcza się pomiar wartości średniej stacjonarnego promieniowania impulsowego uśrednionego za okres zmienności tego promieniowania oraz algebraiczne wyznaczenie wartości szczytowej ze znanych wartości współczynnika wypełnienia, tj. czasu trwania impulsu oraz okresu repetycji impulsów.

Spełnienie wymagań odnośnie do dopuszczalnej ekspozycji na pola impulsowe, zarówno według dotychczasowych wymagań zawartych w rozporządzeniu ministra pracy i polityki społecznej, jak i proponowanych nowych wartości, ocenia się zgodnie z postanowieniami zawartymi w normie PN-T-06580:2002.

REKOMENDACJA GRUPY EKSPERTÓW W SPRAWIE HARMONIZACJI NDN PÓL ELEKTROMAGNETYCZNYCH Z WYMAGANIAMI DYREKTYWY 2004/40/WE*

W związku z koniecznością transpozycji wymagań dyrektywy europejskiej 2004/40/WE do prawa polskiego, niezbędna jest harmonizacja z nimi postanowień zawartych w rozporządzeniu ministra pracy i polityki społecznej w sprawie NDN pól elektromagnetycznych (DzU 2002, nr 217, poz. 1833). W wyniku dyskusji na posiedzeniu w dniu 18 maja 2007 r., członkowie Grupy Ekspertów ds. Pól Elektromagnetycznych przyjęli następujące rekomendacje odnośnie do tej nowelizacji NDN pól elektromagnetycznych:

1. Ochrona pracowników przed nadmierną ekspozycją na pola elektromagnetyczne opierająca się na postanowieniach kodeksu pracy i rozporządzenia ministra pracy i polityki społecznej w sprawie NDN jest obecnie wdrożona w Polsce i radykalne zmiany tego systemu wymagałyby poniesienia znacznych kosztów przez wszystkich pracodawców prowadzących ocenę ryzyka zawodowego pracowników z uwzględnieniem występowania ekspozycji na pola elektromagnetyczne na stanowisku pracy. Szacujemy, że liczba takich stanowisk pracy może w Polsce znacznie przekraczać 100 tysięcy. Transpozycja wymagań zawartych w dyrektywie 2004/40/WE do prawa polskiego powinna zostać zrealizowana przez harmonizację dotychczasowego systemu z minimalnymi wymaganiami zawartymi w tej dyrektywie. Wymaga to w pierwszym rzędzie następujących działań:

- uzupełnienia obowiązującego systemu ochrony pracowników przed nadmierną ekspozycją na pola elektromagnetyczne o wartości dopuszczalne miar wewnętrznych oraz prądu kontaktowego i indukowanego w kończynach (wartości dopuszczalnych dotyczących tych parametrów nie ma obecnie w polskich przepisach bezpieczeństwa i higieny pracy, natomiast wartości dopuszczalne: natężenia pola elektrycznego, natężenia pola magnetycznego, indukcji magnetycznej i gęstości mocy są już uwzględnione w postanowieniach rozporządzenia ministra pracy i polityki społecznej w sprawie NDN (DzU 2002, nr 217, poz. 1833) i w normie PN-T-06580:2002)

* Propozycja wg stanowiska przyjętego na posiedzeniu Grupy Ekspertów, obradującej w dniu 18 maja 2007 r., w składzie: prof. dr hab. inż. Stanisław Wincenciak, dr Halina Aniołczyk, dr hab. n. med. Alicja Bortkiewicz, dr inż. Krzysztof Gryz, dr inż. Jolanta Karpowicz, dr hab. inż. Roman Kubacki, dr hab. inż. Hubert Trzaska, dr hab. n. med. Ryszard Wiaderkiewicz, dr hab. Marek Zmyślony.

-
- harmonizacji wartości natężeń pól elektrycznych i magnetycznych dla granicy strefy niebezpiecznej, tak aby w całym zakresie częstotliwości pól elektromagnetycznych poziom ekspozycji pracownika poza strefą niebezpieczną pozwalał automatycznie przyjąć, że w organizmie pracownika nie wystąpi skutek tej ekspozycji przekroczenie wartości granicznych miar wewnętrznych (z zachowaniem metodyki badań i oceny poziomu ekspozycji pracowników ustalonej postanowieniami normy PN-T-06580:2002).

2. Przeprowadzony przegląd rezultatów wykonanych w ostatnich latach badań naukowych odnoszących się do skutków oddziaływania pól elektromagnetycznych na organizm człowieka (patrz dane przytoczone w niniejszym opracowaniu oraz w publikowanych w niniejszym numerze kwartalnika „Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy” artykułach) przemawia w dalszym ciągu za utrzymaniem poglądu, że ochrona pracowników przed nadmierną ekspozycją na pola powinna uwzględniać ochronę przed jej skutkami długoterminowymi (ekspozycji chronicznej), pomimo tego, że minimalne wymagania dyrektywy 2004/40/WE są łagodniejsze i odnoszą się jedynie do skutków ekspozycji występujących w czasie jej trwania. Celowe jest więc utrzymanie w możliwie największym stopniu istniejącego w Polsce systemu lepszej ochrony pracowników przed nadmierną ekspozycją, opartego na wartościach NDN pola elektrycznego i magnetycznego, strefach ochronnych oraz wskaźniku ekspozycji i wskaźniku zasięgu stref ochronnych. Przemawiają za tym również:

- postanowienia par. 3. rozporządzenia ministra pracy i polityki społecznej w sprawie NDS i NDN, definiujące wartość NDN czynnika fizycznego w środowisku pracy „... najwyższe dopuszczalne natężenia fizycznego czynnika szkodliwego dla zdrowia - ustalone jako wartość średnia natężenia, którego oddziaływanie na pracownika ... przez okres jego aktywności zawodowej nie powinno spowodować ujemnych zmian w jego stanie zdrowia oraz w stanie zdrowia jego przyszłych pokoleń”.
- postanowienia pkt. 5. preambuły do dyrektywy 2004/40/WE „... Wykonanie niniejszej dyrektywy nie powinno usprawiedliwiać jakiegokolwiek pogorszenia w stosunku do sytuacji panującej obecnie w każdym Państwie Członkowskim”.
- postanowienia art. 4. pkt. 5.a. dyrektywy 2004/40/WE „... dokonując oceny ryzyka pracodawca jest obowiązany zwrócić szczególną uwagę na czas trwania i rodzaj ekspozycji ...”.
- fakt, że w projekcie normy europejskiej prEN50499, opracowywanej aktualnie przez CENELEC jako norma zharmonizowana z dyrektywą 2004/40/WE, została zaproponowana koncepcja wykorzystania w systemie oceny i zarządzania ryzykiem zawodowym, wynikającym z ekspozycji na pola elektromagnetyczne, rozwiązań praktycznych zbliżonych do stref ochronnych (tzw. *zoning*) i wskaźników ekspozycji (tzw. wsp. *TEQ* - *total exposure quotient*) zdefiniowanych w polskich przepisach bezpieczeństwa i higieny pracy.

4. Na podstawie przeprowadzonych symulacji numerycznych miar wewnętrznych i zewnętrznych na stanowisku pracownika oraz omówienia zależności między miarami wewnętrznymi i zewnętrznymi zaprezentowanego przez ICNIRP przyjęto, że w rzeczywistym środowisku pracy wartości natężeń pól elektrycznych i magnetycznych podane dla granicy strefy niebezpiecznej (E_2 i H_2 wyznaczone wg normy PN-T-06580:2002, tj. odpowiadające maksymalnemu zmierzonemu natężeniu pola,

jakie oddziałuje na pracownika) są zharmonizowane z wymaganiami dyrektywy 2004/40/WE odnoszącymi się do dopuszczalnych miar wewnętrznych, jeżeli są zachowane następujące relacje do wartości granicznych miar zewnętrznych tej dyrektywy (Gryz i in. 2006; Karpowicz, Gryz 2007), (E_{dyr} i H_{dyr} wyznaczone wg zaleceń ICNIRP, tj. odpowiadające natężeniu pola uśrednionemu w czasie i przestrzeni stanowiska pracownika):

- $E_2 < 2E_{\text{dyr}}$ i $H_2 < 2H_{\text{dyr}}$ – w przypadku pól elektromagnetycznych o częstotliwościach mniejszych od około 10 MHz, na skutek uwzględnienia różnic między wartością maksymalną i uśrednioną dla typowych ekspozycji występujących na stanowisku pracy (tj. zwykle ekspozycji na pola małej lub dużej impedancji o niejednorodnym rozkładzie przestrzennym)
- $E_2 < 4E_{\text{dyr}}$ i $H_2 < 4H_{\text{dyr}}$ – w przypadku pól elektromagnetycznych o częstotliwościach od około 10 MHz do 3 GHz, które w tym zakresie częstotliwości stają się stopniowo polem dalekim, w przypadku którego szacowanie wskaźników ekspozycji i zasięgu stref ochronnych jako sumy składowych pochodzących od pola elektrycznego i magnetycznego jest równoważne zastrzeżeniu wymagań ochronnych odnośnie do wartości granicznej strefy niebezpiecznej obu pól o około 50%; dodatkowe zastrzeżenie krajowej metodyki oceny polega na braku uśredniania poziomu ekspozycji pracownika w czasie
- $E_2 < 2E_{\text{dyr}}$ i $H_2 < 2H_{\text{dyr}}$ – w przypadku pól elektromagnetycznych o częstotliwościach większych od około 3 GHz, na skutek uwzględnienia różnic między wartością maksymalną i uśrednioną dla typowych ekspozycji (wprawdzie są to pola dalekie, ale nie obowiązuje już sumowanie wskaźnika ekspozycji z obu składowych).

5. Przyjmując powyższe założenia, przyjęto następujący zakres niezbędnej harmonizacji wartości NDN, podanych w rozporządzeniu ministra pracy i polityki społecznej (DzU 2002, nr 217, poz. 1833):

- a) wartości NDN pola magnetostatycznego i elektrostatycznego bez zmian,
- b) wartość NDN pola elektrycznego o częstotliwości do 300 Hz bez zmian (z uwagi na dodatkową ochronę pracowników energetyki, gdzie możliwa jest ekspozycja na silne pola elektryczne o częstotliwości 50 ÷ 300 Hz, których przed wystąpieniem w organizmie prądów indukowanych i kontaktowych chronią zasady pracy wynikające z ochrony przed porażeniem elektrycznym przy urządzeniach i instalacjach energetycznych),
- c) możliwość ekspozycji kończyn w polach magnetycznych strefy niebezpiecznej na dotychczasowych zasadach (ze względu na praktyczne trudności w przeprowadzeniu nowelizacji PN-T-06580:2002 oraz zgodnie z postanowieniami dyrektywy 2004/40/WE - Załącznik, cz. A, Uwaga 2. pod tabelą 1.).
- d) wprowadzenie wartości NDN dla pola magnetycznego o częstotliwości z zakresu 3 ÷ 300 GHz, na stałym poziomie niezależnym od częstotliwości, bez zmiany zasad wyznaczania wskaźnika ekspozycji i wskaźnika zasięgu stref ochronnych (ze względu na praktyczne trudności w przeprowadzeniu nowelizacji PN-T-06580:2002).
- e) obniżenie wartości NDN dla pola elektrycznego o częstotliwości z zakresu 3 ÷ 300 GHz, tak aby były na stałym poziomie niezależnym od częstotliwości,
- f) znaczne zmniejszenie wartości NDN pól magnetycznych o częstotliwości z zakresu 100 kHz ÷ 150 MHz (jako kolejny etap harmonizacji NDN pól ma-

gnetycznych z zaleceniami międzynarodowymi, zapowiedziany przy nowelizacji NDN w 1999 r.),

- g) 2-krotne zmniejszenie wartości NDN pól magnetycznych o częstotliwości z zakresu do 100 kHz (jako kolejny etap harmonizacji NDN pól magnetycznych z zaleceniami międzynarodowymi, zapowiedziany przy nowelizacji NDN w 1999 r. – ocenia się, że w wielu sytuacjach praktycznych, przy urządzeniach przemysłowych, szczegółowa analiza wprowadzanych jednocześnie miar wewnętrznych dla ekspozowanych pracowników może wykazać, że w wyniku tej zmiany wartości NDN nie będą konieczne natychmiastowe zmiany organizacji stanowisk pracy),
- h) zmniejszenie wartości NDN pól elektrycznych o częstotliwości z zakresu 1 MHz ÷ 3 MHz (jako kolejny etap harmonizacji NDN pól magnetycznych z zaleceniami międzynarodowymi, zapowiedziany przy nowelizacji NDN w 1999 r.),
- i) zmniejszenie maksymalnych wartości natężenia pola elektrycznego w impulsie $E_{\max \text{ imp}}$ do poziomu podanego w dyrektywie 2004/40/WE
- j) utrzymanie dotychczasowych definicji wielkości mierzonych z uwagi na to, że w warunkach rzeczywistych stanowisk pracy wprowadzenie obowiązku stosowania uśrednień w czasie i przestrzeni spowodowałoby istotne zwiększenie kosztów badań ponoszonych przez pracodawców, a nie wpłynęłoby istotnie na poprawę stopnia ochrony pracowników przed nadmierną ekspozycją (wymaga to jednoznacznego wskazania w rozporządzeniu ministra pracy i polityki społecznej jakie normy definiują terminologię i zasady oceny warunków ekspozycji pracowników w polach elektromagnetycznych, obecnie jest to norma PN-T-06580:2002).

6. Możliwość wykorzystania miar wewnętrznych przy ocenie poziomu ekspozycji wynika obecnie z postanowień pkt. 3.2.2 normy PN-T-06580-3:2002 („... Jeżeli obsługa urządzenia wymaga dotykania przez ciało pracownika elementów, które są pierwotnym albo wtórnym źródłem pola elektrycznego lub magnetycznego, w strefie zagrożenia lub niebezpiecznej, to pomiary natężeń tych pól nie mogą być jedynym kryterium oceny ekspozycji. Wymagana jest dodatkowa ocena na podstawie udokumentowanych wyników badań, obliczeń lub ekspertyz, uwzględniających takie warunki ekspozycji...”), natomiast dotychczas w polskich przepisach bezpieczeństwa i higieny pracy nie zostały zdefiniowane dopuszczalne wartości tych parametrów ekspozycji. Oceniłoby, że uzupełnienie aktualnych zasad oceny warunków ekspozycji pracowników na pola elektromagnetyczne o bardziej uniwersalną możliwość wykorzystania w szczególnych przypadkach wyników analizy wartości miar wewnętrznych skutków ekspozycji, odnośnie do których podano w dyrektywie wartości dopuszczalne, można zrealizować, wprowadzając w rozporządzeniu ministra pracy i polityki społecznej w sprawie NDS i NDN zmianę treści do pkt. 5.2. Załącznika 2. Część E., odnoszącego się do zasad przebywania pracowników w polach strefy niebezpiecznej. Jednocześnie należy wprowadzić wartości dopuszczalne miar wewnętrznych do tego rozporządzenia albo do innego przepisu z zakresu bezpieczeństwa i higieny pracy.

7. Ze względów praktycznych proponujemy zmodyfikowanie wartości dopuszczalnych miar wewnętrznych podanych w dyrektywie 2004/40/WE (w tab. 1.) następująco:

- dołączenie wartości dopuszczalnych prądu kontaktowego i prądu indukowanego w kończynach (podane w tab. 2. w dyrektywie) do wartości dopuszczalnych miar wewnętrznych, ponieważ dotychczas również one nie były

uwzględnione w rozporządzeniu ministra pracy i polityki społecznej w sprawie NDN pól elektromagnetycznych, a ich funkcja jest pośrednia między miarami wewnętrznymi i zewnętrznymi poziomu ekspozycji na pola elektromagnetyczne

- uwzględnienie szerszego zakresu częstotliwości, niż został podany w dyrektywie 2004/40/WE, tj. od 100 kHz do 110 MHz, odnośnie do dopuszczalnych wartości prądu indukowanego w kończynach, ponieważ w zakresie 100 kHz ÷ 10 MHz (nie uwzględnionym w dyrektywie) pracują liczne źródła pola elektromagnetycznego, przy których ocena prądów indukowanych w kończynach jest konieczna do oceny warunków ekspozycji pracowników (np. przy urządzeniach elektrochirurgicznych). Odnośnie do tego typu warunków ekspozycji jest to jedyna metoda oceny, możliwa do wykorzystania w rzeczywistych warunkach ekspozycji na stanowisku pracownika, która jest alternatywna w stosunku do symulacji numerycznych, które obecnie można wykorzystać praktycznie jedynie w ograniczonym zakresie. Prąd indukowany w kończynach umożliwia ocenę spełnienia wymagań odnośnie do lokalnych wartości *SAR* w kończynach. Proponowane rozszerzenie zakresu stosowania do celów praktycznych ograniczenia prądu indukowanego w kończynach uzasadnione jest tym, że dopuszczalne wartości *SAR* zdefiniowano w dyrektywie również odnośnie do pól o częstotliwościach z zakresu 100 kHz ÷ 10 MHz. Analogiczne rozwiązanie, do proponowanego poszerzenia zakresu wykorzystania wartości dopuszczalnych odnośnie do prądu indukowanego w kończynach, wprowadzono m.in. w normie IEEE C95.1.

*Publikacja przygotowana do druku w ramach realizacji programu wieloletniego pn. "Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy" dofinansowywanego w latach 2008-2010 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej.
Główny Koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy - Państwowy Instytut Badawczy*

PIŚMIENNICTWO

Ahlbom C. i in. (2001) Review of the epidemiologic literature on EMF and health. Environ Health Perspect. 109 (Suppl 6), 911–933.

Alm H., Nilsson L. (1995) The effects of a mobile telephone task on driver behaviour in a car following situation. Accid. Anal. Prev. 27, 707–15.

Bortkiewicz A. i in. (2004) [W:] Impaired neurovegetative regulation in radio and TV broadcasting station workers: HRV analysis.]Proceedings of 3rd International Workshop on Biological Effects of EMFs, Kos (Grecja), 4-8 October 1049–1054.

Bortkiewicz A., Gadzicka E., Zmyślony M. (1996) Heart rate variability in workers exposed to medium-frequency electromagnetic fields. J. Autonomic Nervous System 59, 91–97.

Bortkiewicz A., Zmyślony, M. Gadzicka E. (1996) Ocena wybranych parametrów układu krążenia pracowników różnych grup zawodowych ekspozowanych na pola elektromagnetyczne wielkiej częstotliwości. II. Zmiany elektrokardiograficzne. Medycyna Pracy 3, 241–252.

Bortkiewicz A. i in. (1995) Dysregulation of autonomic control of cardiac function in workers at AM Broadcast Stations (0.738-1.503 MHz), *Electro-and Magnetobiology* 3, 177–191.

Bortkiewicz A. (2008) Skutki zdrowotne działania pól elektromagnetycznych – przegląd badań. *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy* 4(58).

Brookhuis K.A., de Vries G., de Waard D. (1991) The effects of mobile telephoning on driving performance. *Accid. Anal. Prev.* 23, 309–16.

Canseven A.G. i in. (2006) Supression of natural killer cell activity on candida stellatoidea by 50 Hz magnetic field. *Electromagnet. Biol. Med.*, 25, 79–85.

Chou C.K., Guy A.W. (1982) Auditory perception of radio-frequency electromagnetic fields. *J. Acoust. Soc. Am.* 71, 6.

Crumpton M.J., Collins A.R. (2004) Are environmental electromagnetic fields genotoxic ? DNA Repair. 3 1385–1387.

Czyz J. i in. (2004) Non-thermal effects of power-line magnetic fields (50 Hz) on gene expression levels of pluripotent embryonic stem cells – the role of tumor suppressor p53. *Mutation Res.* 557, 63–74.

DeLorge J.O. (1984) Operant behavior and colonic temperature of *Macaca mulatta* exposed to radio frequency fields at and above resonant frequencies. *Bioelectromagnetics* vol. 5.

Dyrektywa 2004/40/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 29 kwietnia 2004 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na zagrożenia powodowane czynnikami fizycznymi (polami elektromagnetycznymi), (18. dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG), Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej – Wydanie specjalne, PL, Rozdział 05, Tom 005, L159/1, str. 61-71.

ENV 50166-1:1995 CENELEC European prestandard. Human exposure to electromagnetic fields. Low-frequency (0 Hz to 10 kHz).

ENV 50166-2:1995. CENELEC European prestandard. Human exposure to electromagnetic fields. High frequency (10 kHz to 300 GHz).

Final Draft FprEN 50499:2008. Procedure for the assessment of the exposure of workers to electromagnetic fields.

Frahm. J. i in. (2006) Alteration in cellular functions in mouse macrophages after exposure to 50 Hz magnetic fields. *J. Cell. Biochem.* 99, 168–177.

Gadzicka E. i in. (2004) [W:] Occupational exposure to radio-frequency electromagnetic fields and blood pressure variation. Proceedings of 3rd International Workshop on Biological Effects of EMFs, Kos (Grecja), 4-8 October, 1087–1091.

Greenland S. i in. (2000) A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia. Childhood Leukemia-EMF Study Group. *Epidemiology.* 11(6), 624–34.

Grobelna G. i in. (2007) Zagrożenia elektromagnetyczne w krajowych statystykach i działaniach nadzoru sanitarnego. Materiały seminarium: Pola elektromagnetyczne w budynkach biurowych i środowisku nieprzemysłowym. Warszawa, CIOP-PIB, 4.12.2007, 35–42.

Groves F.D. i in. (2002) Cancer in Korean war navy technicians: mortality survey after 40 years. *Am. J. Epidemiol.* 155, 810–8.

Gryz K., Karpowicz J. (2000) Pola elektromagnetyczne w środowisku pracy. Seria: Zarządzanie Bezpieczeństwem i Higieną Pracy. [Red. nauk.] D. Koradecka. Warszawa, CIOP.

Gryz K. i in. (2006) Ocena ekspozycji na pola elektromagnetyczne wytwarzane przez zgrzewarki dielektryczne – analiza porównawcza wymagań zawartych w przepisach krajowych i dyrektywie 2004/40/WE. *Bezpieczeństwo Pracy*, 3, 26–30.

Gryz K., Karpowicz J. (2008) Zasady oceny zagrożeń elektromagnetycznych związanych z występowaniem prądów indukowanych i kontaktowych. *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy* 4(58).

Guy A.W., Chou C.K., Lin J.C. (1975) Microwave-induced acoustic effects in mammalian auditory systems and physical materials. [W:] *Biologic effects of nonionizing Radiation*. New York, Annals of the New York Academy of Sciences.

Haigney D., Westerman S.J. (2001) Mobile (cellular) phone use and driving: a critical review of research methodology. *Ergonomics*. 44(2), 132–43.

Hardell L. i in. (2007) Long-term use of cellular phones and brain tumours: increased risk associated with use for > or =10 years. *Occup. Environ. Med.* 64, 626–32.

IARC (2002a) Non-ionizing radiation, Part 1: Static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields, IARC Monographs 80, IARC Press: Lyon, 2002, 429.

IARC (2002b) Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Non-ionizing radiation, Part 1: static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields. IARC Monogr. Eval. Carcinog. Risks. Hum. 80, 1–395.

ICNIRP (1998) Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Physics* 74, 4 (April), 494–522.

IEEE Std C95.1-1999 Standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz. New York, Published by the Institute of Electrical and Electronics Engineers.

IEEE Std C95.1-2005 Standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz. New York, Published by the Institute of Electrical and Electronics Engineers.

IEEE Std C95.3-2002 Recommended practice for measurements and computations of radio frequency electromagnetic fields with respect to human exposure to such fields, 100 kHz–300 GHz. New York, Published by the Institute of Electrical and Electronics Engineers.

IEEE Std C95.6-2002 Standard for safety levels with respect to human exposure to frequency electromagnetic fields, 0 Hz to 3 kHz. New York. Published by the Institute of Electrical and Electronics Engineers.

ILO (1999) Draft Code of practice on ambient factors at workplace. Geneva, Meeting of Experts on Ambient Factors at the Workplace.

Ivancsits S. i in. (2003) Intermittent extremely low frequency electromagnetic fields cause DNA damage in a dose dependent way. *Int. J. Occup. Environ. Health* 76, 431–436.

Ivancsits S. i in. (2005) Cell type specific genotoxic effects of intermittent extremely low-frequency electromagnetic fields. *Mutat. Res.* 583, 184–188.

Karpowicz J., Gryz K. (2003) Ograniczenia ekspozycji zawodowej na pola elektromagnetyczne przyjęte w krajowych przepisach – na tle dokumentów międzynarodowych, ze szczególnym uwzględnieniem pól małych i średnich częstotliwości. *Medycyna Pracy* 54 (3), 269–278.

Karpowicz J., Gryz K. (2004) Dyrektywa dotycząca ekspozycji na pola elektromagnetyczne – 2004/40/WE. *Bezpieczeństwo Pracy* 11, 20–23.

Karpowicz J., Hietanen M., Gryz K. (2006) EU Directive, ICNIRP Guidelines and Polish Legislation on Electromagnetic Fields. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)*, 12, 2, 125–136.

Karpowicz J. i in. (2008) Pola i promieniowanie elektromagnetyczne o częstotliwości z zakresu 0 Hz - 300 GHz. Dokumentacja nowelizacji harmonizującej dopuszczalny poziom ekspozycji pracowników z wymaganiami dyrektywy 2004/40/WE. *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy* 4(58).

Karpowicz J., Gryz K. (2007), Practical aspects of occupational EMF exposure assessment. *Environmentalist* vol. 27, 4, 535–53.

Karpowicz J., Gryz K., Radziński P. (2008) Zasady stosowania symulacji komputerowych do oceny zgodności z wymaganiami dyrektywy europejskiej 2004/40/WE odnośnie bezpieczeństwa i higieny pracy w polach elektromagnetycznych. *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy* 4(58).

Kliukiene J., Tynes T., Andersen A. (2003) Follow-up of radio and telegraph operators with exposure to electromagnetic fields and risk of breast cancer. *Eur. J. Cancer Prevent.* 12, 301–307.

Kubacki R. (2000) Modelowanie rozkładu promieniowania mikrofalowego w polu bliskim anten oraz pewne konsekwencje biomedyczne. Warszawa, Oficyna Wyd. WAT.

Kubacki R. (2008) Uwarunkowania biofizyczne oraz dopuszczalne wartości elektromagnetycznego promieniowania impulsowego. *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy* 4(58).

Lamble D. i in. (1999) Cognitive load and detection thresholds in car following situations: safety implications for using mobile (cellular) telephones while driving. *Accid. Anal. Prevent.* 31, 617–623.

Lee J.S., Ahn S.S., Jung K.C. (2004) Effects of 60 Hz electromagnetic field exposure on testicular germ cell apoptosis in mice. *Asian J. Androl.* 6, 29–34.

Lin J.C. (1980) The microwave auditory phenomenon. *Proc. of the IEEE* vol. 68, 1.

Lin J.C., Su J.L., Wang Y. (1988) Microwave-induced thermoelastic pressure wave propagation in the cat brain. *Bioelectromagnetics* vol. 9.

Lin J.C. (1989) Pulsed radiofrequency fields in biological systems. [W:] *Electromagnetic interaction with biological systems*. New York, Plenum Press.

Mairs R.J. i in. (2007) Microsatellite analysis for the determination of mutagenicity of extremely low-frequency electromagnetic fields and ionizing radiation in vitro. *Mutat. Res.* 626, 34–41.

Morgan R. i in. (2000) Radiofrequency exposure and mortality from cancer of the brain and lymphatic/hematopoietic systems. *Epidemiology* 11, 118–127.

NATO (1999) Standardization Agreement (Stanag 2345) Evaluation and control of personal exposure to radio frequency fields – 3 kHz to 300 GHz.

Oftedal G. i in. (2000) Symptoms experienced in connection with mobile phone. *Occup. Med.* 50, 4, 237–245.

Pacini S. i in. (2002) Exposure to global system for mobile communication (GSM) cellular phone radiofrequency alters gene expression proliferation, and morphology of human skin fibroblasts. *Oncol. Res.* 13, 19–24.

Pirozzoli M.C. i in. (2003) Effects of 50 Hz electromagnetic field exposure on apoptosis and differentiation in a neuroblastoma cell line. *Bioelectromagnetics* 24, 510–516.

PN-T-06580: 2002. Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym w zakresie częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz. Arkusz 01. Terminologia. Arkusz 03. Metody pomiaru i oceny pola na stanowisku pracy.

Port M. i in. (2003) Influence of high-frequency electromagnetic fields on different modes of cell death and gene expression. *Int. J. Rad. Biol.* 79, 701–708.

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. Załącznik 2, Część E. Pola i promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu częstotliwości 0 Hz - 300 GHz. DzU nr 217, poz. 1833.

Simko M., Mattsson M.O. (2004) Extremely low frequency electromagnetic fields as effectors of cellular responses in vitro: possible immune cell activation. *J. Cell. Biochem.* 93, 83–92.

Stang A. i in. (2001) The possible role of radiofrequency radiation in the development of uveal melanoma. *Epidemiology* 12(1), 1–4.

Szmiigielski St. i in. (1998) Alteration of diurnal rhythms of blood pressure and heart rate in workers exposed to radiofrequency electromagnetic fields. *Blood Pressure Monitoring* 3, 323–330.

Tice R.R. i in. (2002) Genotoxicity of radiofrequency signals. I. Investigation of DNA damage and micronuclei induction in cultured human blood cells. *Bioelectromagnetics* 23, 113–26.

WHO (1998) International EMF project. Working Group on harmonization of EMF exposure standards. Inaugural Meeting Draft Agenda [materiały konferencyjne]. Zagrzeb, 18.11.1998.

Vijayalaxmi D.Z. i in. (2003) Genotoxic potential of a 1,6 GHz wireless communication signal: in vivo two year bioassay. *Radiat. Res.* 159, 558–64.

Violanti J.M., Marshall J.R. (1996) Cellular phones and traffic accidents: an epidemiological approach. *Accid. Anal. Prev.* 28(2), 265–70.

Wang Y.P. i in. (2001) Experimental study of apoptosis and its molecular mechanisms of nasopharyngeal carcinoma cell induced by millimeter wave irradiation. *J. Infrared Millimeter Waves* 20, 283–6.

Wiaderkiewicz R. (2008) Efekty biologiczne ekspozycji na pola elektromagnetyczne – badania eksperymentalne. *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy* 4(58).

WHO (2006) Environmental Health Criteria 232, Static Fields, <http://www.who.int/peh-emf/publications/reports/ehcstatic/en/index.html>

WHO (2007) Environmental Health Criteria 238, Extremely Low Frequency Fields (ELF), http://www.who.int/peh-emf/publications/elf_ehc/en/index.html

Wolf F.J. i in. (2005) 50 Hz extremely low frequency electromagnetic fields enhance cell proliferation and DNA damage: possible involvement of redox mechanism. *Biochim. Biophys. Acta* 1743, 120–129.

JOLANTA KARPOWICZ¹⁾, ALICJA BORTKIEWICZ²⁾, KRZYSZTOF GRYZ¹⁾,
ROMAN KUBACKI³⁾, RYSZARD WIADERKIEWICZ⁴⁾

¹⁾ Central Institute for Labour Protection – National Research Institute (CIOP-PIB), Warszawa

²⁾ Nofer Institute of Occupational Medicine (IMP), Łódź

³⁾ The General Karol Kaczkowski
Military Institute of Hygiene and Epidemiology (WIHE), Warszawa

⁴⁾ Medical University of Silesia, Katowice

Electromagnetic fields and radiation of frequency 0 Hz - 300 GHz Rationale documentation for revision harmonizing workers' permissible exposure level with the Directive 2004/40/EC

S u m m a r y

The permissible level of occupational exposure to electromagnetic fields (EMF) being in force in Poland was last amended in 1999 (current issue: DzU 2002; No 217, item 1833); terminology and harmonized measurement methods regarding this exposure limitations were defined by PN-T-06580:2002. Relevant rationale documentation was adopted by the Interdepartmental Commission for Maximum Admissible Concentrations and Intensities for Agents Harmful to Health in the Working Environment and published in *Korniewicz i in.* - Pola i promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu częstotliwości 0 Hz - 300 GHz. Dokumentacja proponowanych znowelizowanych wartości dopuszczalnych ekspozycji zawodowej (*Korniewicz et al.* Electromagnetic fields and radiation in the frequency range of 0 Hz ÷ 300 GHz. Documentation of a draft amendment of maximal admissible values of occupational exposure. PiMOŚP. 2001;17(2); 97–238. In Polish.)

As it is necessary to transpose the requirements of the European Directive 2004/40/EC into the Polish law, the provisions of the regulation of the Minister of Labour and Social Policy on permissible level of exposure to EMF have to be harmonized accordingly (DzU 2002; No 217, item 1833).

The proposed values of internal measures were adopted following Directive 2004/40/EC: †

1. permissible value of current density for head and trunk J (mA/m²) at exposure to EMF of frequency f < 10 MHz (root-mean-square value, RMS):
 - 40 mA/m² – at frequency up to 1 Hz
 - $40/f$ mA/m² – at frequency from the range 1 - 4 Hz; f is the frequency in Hz
 - 10 mA/m² - at frequency from the range 4 - 1000 Hz
 - $f/100$ mA/m² - at frequency from the range 1 kHz - 10 MHz; f is the frequency in Hz
2. permissible value of specific absorption rate (SAR) at exposure to EMF of frequency from the range 100 kHz - 10 GHz (all SAR values are averaged over any six-minute period, localized values are maximum values averaged over any 10 g of contiguous tissue):
 - 0,4 W/kg - whole body averaged SAR
 - 10 W/kg - localized SAR (head and trunk)
 - 20 W/kg - localized SAR (limbs)
3. permissible value of power density (S) at exposure to EMF of frequency from the range 10 GHz – 300 GHz (value averaged over any 20 cm² of exposed area and any $68/f^{1.05}$ -minute, where f is in GHz):

† Following the discussions held during the meeting of the *Expert Group on "Electromagnetic fields"* of the Polish Interdepartmental Commission for Maximum Admissible Concentrations and Intensities for Agents Harmful to Health on 18 May 2007 and the meeting of that Commission on 19 June 2007, recommendations presented in this article for the revision of regulation on permissible level of exposure to EMF connected with transposition of the Directive 2004/40/EC requirements were adopted. A relevant proposal to the Ministry of Labour and Social Policy was made in the Minutes from the 55th meeting of the Interdepartmental Commission.

The provisions of the Directive 2004/40/EC should be introduced into the national systems of legislation on labour protection in EU member states by the end of April 2012 (following the Directive 2004/40/EC).

- 50 W/kg
- 4. permissible value of specific energy absorption (SA) at exposure to EMF of frequency from the range 0.3 GHz do 10 GHz:
 - 10 mJ/kg – value averaged over 10 mg of tissue
- 5. permissible value of limb induced current (I_L) at exposure to EMF of frequency from the range 100 kHz - 110 MHz (RMS value):
 - 100 mA
- 6. permissible value of contact current (I_C) between a worker's body and a conducting object exposed to EMF of the frequency from the range 0 Hz - 110 MHz (RMS value):
 - 1 mA - at frequency from the range 0 Hz – 2.5 kHz
 - $0.4f$ mA - at frequency from the range 2.5 kHz - 100 kHz; f is the frequency in Hz
 - 40 mA - at frequency from the range 100 kHz - 110 MHz.

The review of the results of research carried out in recent years on the effects of EMF on humans reveals grounds justifying that occupational safety and health regulations should continue to consider worker protection against the effects of chronic exposure to EMF although the minimum requirements of the Directive 2004/40/EC are less strict and refer only to the effects present in exposed body during the continuance of exposure.

It is therefore necessary to maintain to the highest possible degree the existing system of better protection than required by the directive on the protection of workers against excessive exposure to EMF, based on permissible level of exposure to electric and magnetic field, protective zones, and exposure factor of worker and protective zones reach factor.

To obtain better harmonization of the limit of prohibited exposure (limit of dangerous zone) with the requirements of Directive 2004/40/EC for internal measures of exposure to EMF, the following changes in permissible level of exposure to electric and magnetic field are necessary, at the same time maintaining the current definitions of parameters, measured to assess workers' exposure (PN-T-06580:2002):

- introduction of permissible level of exposure to magnetic field of frequency from the range 3 ÷ 300 GHz at a constant level, independent of frequency, without changing the principles for determining exposure factor of worker and protective zones reach factor
- lowering permissible level of exposure to magnetic fields of the frequency up to 150 MHz
- lowering permissible level of exposure to eclectic field of frequency from the range 1 ÷ 15 MHz
- lowering the maximum values of electric field strength for the pulsed fields, $E_{\max \text{ imp}}$.

To obtain this scope of changes, the following new permissible levels of exposure to EMF are proposed (Table 1 i 2) and new limits for pulsed electric field:

Table 1. Permissible exposure level proposed for static and time-varying electric field

No.	Frequency range	$E_0(f)$, V/m	$E_1(f) - \text{NDN}_E$, V/m	$E_2(f)$, V/m	$Dd_E(f)$
1.	static electric field	10000	20000	40000	3200 (kV/m) ² h
2.	$f \leq 300$ Hz	5000	10000	20000	800 (kV/m) ² h
3.	$0.3 \text{ kHz} < f \leq 1 \text{ kHz}$	$100/(3f)$	$100/f$	$1000/f$	$0.08/f^2$ (kV/m) ² h
4.	$1 \text{ kHz} < f \leq 1 \text{ MHz}$	$100/3$	100	1000	0.08 (kV/m) ² h
5.	$1 \text{ MHz} < f \leq 5 \text{ MHz}$	$100/(3f)$	$100/f$	$1000/f$	$0.72/f^2$ (kV/m) ² h
6.	$5 \text{ MHz} < f \leq 300 \text{ GHz}$	$20/3$	20	200	3200 (V/m) ² h

Notes:

- f - frequency of time-varying electric field, in units given in "Frequency range" column
- E_0 - limit of occupational exposure to EMF - values of electric field strength for limit between intermediate zone and exposure permissible for workers non-informed on EMF hazards
- E_1 - limit of occupational exposure to EMF permissible for 8 hours per day - values of electric field strength for limit between intermediate and hazardous zones
- E_2 - limit of prohibited occupational exposure to EMF - values of electric field strength for limit between hazardous and dangerous zones

Table 2. Permissible exposure level proposed for static and time-varying magnetic field

No	Frequency range	$H_0(f)$, A/m	$H_1(f) - \text{NDN}_H$, A/m	$H_2(f)$, A/m	$Dd_H(f)$
1.	static magnetic field	2666	8000	80000	512 (kA/m) ² h
2.	$f \leq 50$ Hz	100/3	100	1000	80000 (A/m) ² h
3.	0.05 kHz < $f \leq 1$ kHz	5/(3f)	5/f	50/f	200/f ² (A/m) ² h
4.	1 kHz < $f \leq 100$ kHz	5/3	5	50	200 (A/m) ² h
5.	0.1 MHz < $f \leq 10$ MHz	0.5/(3f)	0.5/f	5/f	2/f ² (A/m) ² h
6.	10 MHz < $f \leq 300$ GHz	0.05/3	0.05	0.5	0.02 (A/m) ² h

Notes:

f – frequency of time-varying magnetic field, in units given in “Frequency range” column

- H_0 - limit of occupational exposure to EMF - values of magnetic field strength for limit between intermediate zone and exposure permissible for workers non-informed on EMF hazards

- H_1 - limit of occupational exposure to EMF permissible for 8 hours per day - values of magnetic field strength for limit between intermediate and hazardous zones

- H_2 - limit of prohibited occupational exposure to EMF - values of magnetic field strength for limit between hazardous and dangerous zones

For the strength of pulsed electric fields of frequency (f – electric field frequency in MHz):

- $E_{\text{max imp}} < 1.95$ kV/m - for frequency from the range 100 MHz < f < 400 MHz
- $E_{\text{max imp}} < 0.097 f^{1/2}$ kV/m - for frequency from the range 400 MHz < f < 2000 MHz
- $E_{\text{max imp}} < 4.38$ kV/m - for frequency from the range 2 GHz < f < 300 GHz

Projekt nowelizacji NDN pól elektromagnetycznych

W wyniku dyskusji na posiedzeniu Grupy Ekspertów ds. Pól Elektromagnetycznych w dniu 18 maja 2007 r. oraz na **55. posiedzeniu Międzyresortowej Komisji ds. Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynników Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy w dniu 19 czerwca 2007 r.** przyjęto prezentowane w artykule rekomendacje odnośnie do nowelizacji rozporządzenia w sprawie NDN pól elektromagnetycznych, związanej z transpozycją wymagań dyrektywy 2004/40/WE do porządku prawnego w Polsce oraz podany poniżej projekt nowelizacji NDN pól elektromagnetycznych, przekazany do Ministerstwa Pracy i Polityki Społecznej Protokołem z 55. posiedzenia Międzyresortowej Komisji.

Projekt nowelizacji NDN pól elektromagnetycznych harmonizującej dopuszczalny poziom ekspozycji pracowników z wymaganiami dyrektywy 2004/40/WE

Międzyresortowa Komisja ds. NDS i NDN wnioskuje o wprowadzenie następujących zmian w wykazie wartości najwyższych dopuszczalnych natężeń fizycznych czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (załącznik 2):

E. Pola i promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu częstotliwości 0 Hz ÷ 300 GHz

pkt. 5.2.:

5.2. W żadnym wypadku w wyniku ekspozycji na pola elektromagnetyczne w ciele pracownika nie mogą być przekroczone wartości dopuszczalne miar wewnętrznych ekspozycji. Warunek ten jest spełniony w przypadku przebywania pracownika poza polami strefy niebezpiecznej. W wyjątkowych sytuacjach, kiedy nie można zastosować środków zmniejszających poziom ekspozycji, dopuszcza się przebywanie pracowników w polach strefy niebezpiecznej, wyznaczonych z addytywnym uwzględnieniem niepewności pomiarowej, pod warunkiem spełnienia jednego z następujących warunków:

- pracownicy stosują odpowiednie środki ochrony indywidualnej
- łączny czas ekspozycji pracownika na pole elektromagnetyczne tej strefy nie przekracza 8 minut i wskaźnik ekspozycji W nie przekracza wartości dopuszczalnej jeden i pracodawca dysponuje udokumentowanymi wynikami oceny dotyczącej wartości miar wewnętrznych dla tej ekspozycji, potwierdzającymi, że nie zachodzi niebezpieczeństwo przekroczenia ich wartości dopuszczalnych w ciele ekspozowanego pracownika.

Ocenę wartości miar wewnętrznych, o której mowa, należy dokonać zgodnie z wymaganiami norm europejskich zharmonizowanych z dyrektywą 2004/40/WE, przy addytywnym uwzględnieniu niepewności wyznaczenia ich wartości.

pkt. 5.4.:

5.4. Gdy ekspozycja dotyczy pól impulsowych, dodatkowo powinien być spełniony warunek:

$$E_{\max \text{ imp}} < 1,95 \text{ kV/m} - \text{ dla pól o częstotliwości z zakresu } 100 \text{ MHz} < f < 400 \text{ MHz}$$

$$E_{\max \text{ imp}} < 0,097 f^{1/2} \text{ kV/m} - \text{ dla pól o częstotliwości z zakresu } 400 \text{ MHz} < f < 2000 \text{ MHz}$$

$$E_{\max \text{ imp}} < 4,38 \text{ kV/m} - \text{ dla pól o częstotliwości z zakresu } 2 \text{ GHz} < f < 300 \text{ GHz}$$

f – częstotliwość pola elektrycznego w MHz

pkt. 5.5.:

Dopuszczalne wartości natężenia pola magnetycznego $H_1(f)$ na granicy strefy zagrożenia i pośredniej oraz doza dopuszczalna pola magnetycznego $Dd_H(f)$ określone są w tabeli 8.

dodać pkt. 5.6.:

5.6. Wartości dopuszczalne miar wewnętrznych ekspozycji na pole elektromagnetyczne o częstotliwości f , o których mowa w pkt. 5.2., oraz wartości dopuszczalne natężenia prądu kontaktowego i indukowanego w kończynach, określone są w tabeli 9.

pkt. 6.:

Definicje pojęć i metody pomiaru określają Polskie Normy zharmonizowane z rozpr. MPiPS w sprawie NDS i NDN (aktualnie PN-T-06580:2002).

Tabela 8.

Lp.	Zakres częstotliwości	$E_1(f)$ V/m	$H_1(f)$ A/m	$Dd_E(f)$	$Dd_H(f)$
1.	pole elektrostatyczne i magnetostacyjne	20000	8000	3200 (kV/m) ² h	512 (kA/m) ² h
2.	$f \leq 50$ Hz	10000	100	800 (kV/m) ² h	80000 (A/m) ² h
3.	$0,05 \text{ kHz} < f \leq 0,3 \text{ kHz}$	10000	$5/f$	800 (kV/m) ² h	$200/f^2$ (A/m) ² h
4.	$0,3 \text{ kHz} < f \leq 1 \text{ kHz}$	$100/f$	$5/f$	$0,08/f^2$ (kV/m) ² h	$200/f^2$ (A/m) ² h
5.	$1 \text{ kHz} < f \leq 100 \text{ kHz}$	100	5	0,08 (kV/m) ² h	200 (A/m) ² h
6.	$0,1 \text{ MHz} < f \leq 1 \text{ MHz}$	100	$0,5/f$	0,08 (kV/m) ² h	$2/f^2$ (A/m) ² h
7.	$1 \text{ MHz} < f \leq 5 \text{ MHz}$	$100/f$	$0,5/f$	$0,72/f^2$ (kV/m) ² h	$2/f^2$ (A/m) ² h
8.	$5 \text{ MHz} < f \leq 10 \text{ MHz}$	20	$0,5/f$	3200 (V/m) ² h	$2/f^2$ (A/m) ² h
9.	$10 \text{ MHz} < f \leq 300 \text{ GHz}$	20	0,05	3200 (V/m) ² h	0,02 (A/m) ² h

Uwagi:

a) f – częstotliwość pola elektrycznego lub magnetycznego zmiennego w czasie, w jednostkach podanych w kolumnie „zakres częstotliwości”

b) wartości $E_1(f)$ oznaczają najwyższe dopuszczalne natężenie pola elektrycznego o częstotliwości f (wg definicji w – par. 3), tj. $NDN_E(f)$

c) wartości $E_1(f)$ oznaczają natężenia pól elektrycznych charakteryzowane wielkościami:

- wartością skuteczną natężenia pola - dla częstotliwości f do 1 kHz oraz powyżej 1 MHz;
- wartością równoważną natężenia pola - w zakresie częstotliwości f od 1 kHz do 1 MHz;
- wartością uśrednioną w okresie repetycji impulsów i kącie, w którym emitowane jest promieniowanie, w przypadku promieniowania elektromagnetycznego o zmiennym okresowo rozkładzie przestrzennym natężenia pola;
- $Dd_E(f)$ – doza dopuszczalna pola elektrycznego o częstotliwości f , dla ekspozycji w ciągu całej zmiany roboczej.

d) wartości $H_1(f)$ oznaczają najwyższe dopuszczalne natężenie pola magnetycznego o częstotliwości f (wg definicji w par. 3), tj. $NDN_H(f)$

e) wartości $E_1(f)$ oznaczają natężenia pól elektrycznych charakteryzowane wielkościami:

- wartością skuteczną natężenia pola – dla częstotliwości f do 1 kHz oraz powyżej 100 kHz;
- wartością równoważną natężenia pola – w zakresie częstotliwości f od 1 kHz do 100 kHz;
- wartością uśrednioną w okresie repetycji impulsów i kącie, w którym emitowane jest promieniowanie, w przypadku promieniowania elektromagnetycznego o zmiennym okresowo rozkładzie przestrzennym natężenia pola;
- $Dd_H(f)$ – doza dopuszczalna pola magnetycznego o częstotliwości f , dla ekspozycji w ciągu całej zmiany roboczej.

Tabela 9.

Lp.	Zakres częstotliwości	$J(f)^{\#1)}$ mA/m ²	$I_C(f)^{\#2)}$ mA	I_L mA	SAR_C W/kg	SAR_{GT} W/kg	SAR_K W/kg	S W/m ²	SA mJ/kg
1.	$f \leq 1 \text{ Hz}$	40	1		–	–	–	–	–
2.	$1 \text{ Hz} < f \leq 4 \text{ Hz}$	$40/f$	1		–	–	–	–	–
3.	$4 \text{ Hz} < f \leq 1 \text{ kHz}$	10	1		–	–	–	–	–
4.	$1 \text{ kHz} < f \leq 2,5 \text{ kHz}$	$f/100$	1		–	–	–	–	–
5.	$2,5 \text{ kHz} < f \leq 100 \text{ kHz}$	$f/100$	$0,4 f$		–	–	–	–	–
6.	$100 \text{ kHz} < f \leq 10 \text{ MHz}$	$f/100$	40		0,4	10	20	–	–
7.	$10 \text{ MHz} < f \leq 110 \text{ MHz}$	–	40	100	0,4	10	20	–	–
8.	$110 \text{ MHz} < f \leq 0,3 \text{ GHz}$	–	–		0,4	10	20	–	–
9.	$0,3 \text{ GHz} < f \leq 10 \text{ GHz}$	–	–		0,4	10	20	–	10
10.	$10 \text{ GHz} < f \leq 300 \text{ GHz}$	–	–		–	–	–	50	–

Uwagi:

^{#1)} – f – częstotliwość pola elektromagnetycznego zmiennego w czasie w Hz

^{#2)} – f – częstotliwość pola elektromagnetycznego zmiennego w czasie w kHz

a) Wartości dopuszczalne gęstości prądu (J) oznaczają wartości skuteczne gęstości prądu przepływającego przez jednostkowe pole przekroju i uśrednione w przekroju poprzecznym o powierzchni 1 cm², prostopadłym do kierunku przepływu prądu w ciele pracownika. Dla częstotliwości do 100 kHz, dopuszczalna wartość maksymalnej gęstości prądu jest 1,41 razy większa od wartości skutecznej.

Dla częstotliwości do 100 kHz i dla impulsowych pól magnetycznych o czasie trwania impulsów t_p , maksymalna gęstość prądu spowodowanego takimi warunkami ekspozycji, obliczona na podstawie czasów narastania/opadania i maksymalnej prędkości zmian indukcji magnetycznej nie powinna przekraczać dopuszczalnej wartości $J(f)$, odpowiadającej częstotliwości $f = 1/(2t_p)$.

b) Wartości dopuszczalne szybkości pochłaniania właściwego energii (SAR) oznaczają wartości uśrednione w okresie dowolnych sześciu minut. Wartości SAR_C oznaczają wartość uśrednioną względem całego ciała. Wartości dopuszczalne miejscowych wartości SAR (SAR_{GT} - miejscowa wartość w głowie i tułowiu; SAR_K - miejscowa wartość w kończynach) oznaczają maksymalne wartości uśrednione odnośnie dowolnych 10 g zwartej tkanki, o niemal jednorodnych właściwościach elektrycznych (może to być tkanka o kształcie sześcianu pod warunkiem, że obliczone wielkości SAR mają wartości odpowiednio mniejsze od dopuszczalnych).

c) Wartość dopuszczalna gęstość mocy (S) oznacza gęstość mocy promieniowania padającego prostopadłe do powierzchni, uśrednioną dla 20 cm² powierzchni poddanej ekspozycji i dowolnego okresu ekspozycji o czasie trwania $dt = 68/f^{1,05}$ minut (gdzie częstotliwość f w GHz). Maksymalne miejscowe gęstości mocy uśrednione dla 1 cm² nie powinny przekroczyć wartości 1000 W/m².

d) Wartość dopuszczalna wartość energii pochłoniętej w jednostce masy tkanki biologicznej, (SA) oznacza wartość uśrednioną w 10 g tkanki.

e) Wartość dopuszczalna natężenia prądu indukowanego przepływającego w kończynie ekspozowanego pracownika (I_L) oznacza wartość skuteczną natężenia prądu, z dowolnego okresu sześciu minut.

f) Dopuszczalna wartość natężenia prądu kontaktowego przepływającego pomiędzy pracownikiem, a przewodzącym przedmiotem znajdującym się w polu elektromagnetycznym (I_C), oznacza wartość skuteczną natężenia prądu.

g) Ograniczenia dotyczące dopuszczalnych wartości gęstości prądu indukowanego J i szybkości pochłaniania właściwego energii SAR (SAR_C , SAR_{GT} i SAR_K) mają być spełnione równocześnie. Spełnienie ograniczeń dotyczących dopuszczalnej wartości prądu indukowanego przepływającego w kończynach I_L jest wystarczającym potwierdzeniem spełnienia ograniczeń dotyczących miejscowych wartości SAR_K .