

Elżbieta Sobiczewska

Stanisław Szmiągowski

SKUTKI ZDROWOTNE EKSPOZYCJI ZAWODOWEJ NA POLA ELEKTROMAGNETYCZNE W ŚWIETLE BADAŃ KRAJOWYCH I ZAGRANICZNYCH*

HEALTH EFFECTS OF OCCUPATIONAL EXPOSURE TO ELECTROMAGNETIC FIELDS IN VIEW OF STUDIES PERFORMED IN POLAND AND ABROAD

Zakład Ochrony Mikrofalowej, Wojskowy Instytut Higieny i Epidemiologii, Warszawa

STRESZCZENIE

Praca przedstawia współczesne poglądy na ocenę efektów biologicznych i ryzyka zdrowotnego u pracowników zawodowo narażonych na oddziaływanie pól elektromagnetycznych (PEM) o różnych intensywnościach. Z przeglądu badań, zarówno krajowych, jak i zagranicznych wynika, że u osób zawodowo narażonych na oddziaływanie PEM, o intensywnościach niższych od przewidzianych międzynarodowymi normami bezpieczeństwa, mogą występować niespecyficzne objawy i zaburzenia czynnościowe w funkcjonowaniu różnych układów fizjologicznych organizmu. Jednakże obecnie nie są zdefiniowane wartości progowe PEM, przy których może wystąpić taka reakcja organizmu na ekspozycję w polu elektromagnetycznym. Nie ma także przekonujących danych, że u osób zawodowo narażonych na działanie PEM wzrasta ryzyko wystąpienia różnych chorób, w tym również chorób nowotworowych. W literaturze pojawiają się sugestie, że istnieje możliwość wzrostu zachorowalności wśród małej grupy pracowników (<5% ogółu) narażonych zawodowo na PEM o bardzo dużych intensywnościach. Med. Pr., 2007;58(1):19–25

Słowa kluczowe: pole elektromagnetyczne, ekspozycja zawodowa, ryzyko zdrowotne

ABSTRACT

The review presents modern views on the assessment of bioeffects and health risk in workers exposed to different intensities of electromagnetic fields (EMFs). The review of studies carried out in Poland and abroad reveals that non-specific symptoms and functional disturbances of various physiological systems may develop in persons exposed to EMF of intensities below international safety recommendations, however exact EMF threshold values responsible for inducing these responses are not known. There are no valid data on the possibility of increased risk of various diseases, including cancer, in workers exposed to EMFs. However, hints that the increased morbidity is possible in small groups of workers with long-term exposure to high intensities of EMFs do exist. Med Pr 2007;58(1):19–25

Key words: electromagnetic field, occupational exposure, health risk

Adres autorów: Kozielska 4, 01-163 Warszawa, e-mail: E.Sobiczewska@wihe.waw.pl

Nadesłano: 30.11.2006

Zatwierdzono: 22.12.2006

Ocena ryzyka zdrowotnego pracy w zasięgu pól elektromagnetycznych (PEM) jest trudna i niejednoznaczna. W literaturze specjalistycznej, szczególnie starszej, jest wiele publikacji poświęconych skutkom zdrowotnym wieloletniej ekspozycji na PEM, ale wyniki tych prac są rozbieżne, od braku jakiegokolwiek ryzyka do poważnych skutków w postaci rozwoju chorób organicznych, w tym chorób nowotworowych. Niestety, tylko nieliczne prace poświęcone ocenie stanu zdrowia pracowników zatrudnionych w zasięgu PEM nie budzą istotnych zastrzeżeń metodycznych, przede wszystkim zastrzeżeń dotyczących wielkości i doboru grup badanych (narażonych na PEM i kontrolnych) oraz oceny wielkości narażenia na

PEM. W większości przypadków, retrospektywna ocena narażenia oparta jest na fragmentarycznych, aktualnych danych pomiaru natężenia PEM na stanowiskach pracy, a wielkość narażenia w przeszłości opiera się na szacunkach obarczonych nieznanym błędem. Specjalistyczna literatura na temat skutków zdrowotnych wieloletniej pracy w zasięgu PEM o różnej częstotliwości i intensywności jest bardzo obfita i często była przedmiotem opracowań przeglądowych (1–3), ale i te opracowania nie są wolne od zastrzeżeń. Często opracowania takie opierano na arbitralnie wybranych publikacjach, zwykle ignorując te publikacje, które wskazują na możliwość występowania różnych efektów biologicznych i/lub objawów klinicznych po ekspozycjach w stosunkowo słabych PEM. Zjawisko to wynika m.in. z faktu, że wielu autorów tych opracowań jest zatrudnionych jako konsultanci w przemyśle elektroenergetycznym i/lub elek-

* Praca wygłoszona podczas Warsztatów IMP 2006 – Ochrona przed PEM „Raporty o oddziaływaniu na środowisko planowanych instalacji wytwarzających pola elektromagnetyczne oraz sprawozdania z badań i pomiarów – podstawy i praktyka”, Łódź, 17–19 października 2006 r.

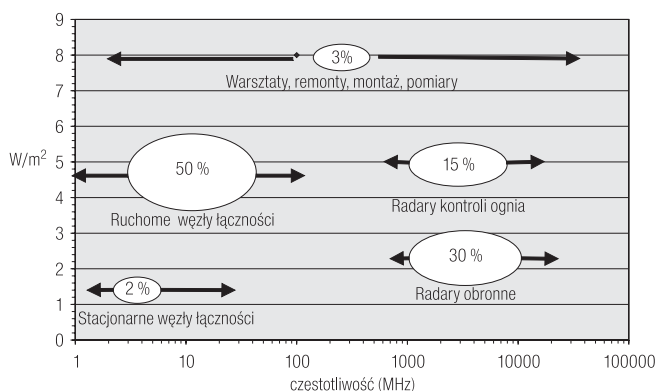
tronicznym, czego dowody przedstawiła ostatnio grupa lekarzy w analizie ryzyka chorób nowotworowych w wyniku narażenia na różne czynniki środowiska pracy, w tym na PEM (4). Interesującym przyczynkiem do tego jest fakt, że dr M. Repacholi, wieloletni kierownik Międzynarodowego Programu WHO „Pola Elektromagnetyczne” już w miesiąc po zakończeniu kierowania tym programem został konsultantem jednej z dużych amerykańskich firm elektroenergetycznych (5).

W tej sytuacji wnioskowanie o ewentualnych skutkach zdrowotnych i ryzyku pracy w zasięgu PEM jest trudne i w wielu aspektach musi być oparte na własnym doświadczeniu i nie w pełni udowodnionych przesłankach. Doświadczeni lekarze medycyny przemysłowej i medycyny pracy są zgodni, że wieloletnia praca w zasięgu PEM może oddziaływać na stan zdrowia pracowników, ale w chwili obecnej nie ma możliwości udokumentowania ani realnych progów wielkości ekspozycji, powyżej której szansa wystąpienia skutków zdrowotnych jest istotna, ani określenia indywidualnych predyspozycji organizmu, które zwiększają ryzyko wystąpienia takich skutków. Wiele danych wskazuje na to, że ryzyko wystąpienia skutków zdrowotnych jest większe u pracowników narażonych przez wiele lat na PEM o dużej intensywności (6,7), ale nadal brak jednoznacznych dowodów na zależność dawka – efekt.

OCENA WIELKOŚCI NARAŻENIA PRACOWNIKÓW NA PEM

Pomiary natężenia PEM na stanowiskach pracy i monitorowanie ekspozycji przez okres całej zmiany roboczej wykazują, że istnieją różne formy narażenia na PEM w pracy, a w większości przypadków wielkość tego narażenia jest stosunkowo niewielka, szczególnie jeżeli jest wyrażona w postaci dozy dziennej (natężenie PEM x czas pracy w trakcie zmiany roboczej). W niektórych przypadkach ekspozycja jest miejscowa (np. ograniczona do kończyn przy obsłudze maszyn emitujących PEM), w innych przerywana i ograniczona do 1–3 godzin w czasie zmiany roboczej (np. przy obsłudze urządzeń radiokomunikacyjnych i radiolokacyjnych).

Analiza ekspozycji personelu wojskowego na PEM częstotliwości 30–10 000 MHz – radiofale (RF) i mikrofale (MF) wykazała, że prawie 80% badanych było narażonych na stosunkowo słabe pola (maksymalne natężenia < 2 W/m², doza dzienna < 6 W/m² • h), a tylko niecałe 2% na bardzo sile pola (maksymalne natężenia > 10 W/m², doza dzienna > 40 W/m² x h) (ryc. 1) (8). Pomiary ekspozycji pracowników w czterech średnio-



Ryc. 1. Charakterystyka ekspozycji personelu wojskowego na pola mikrofalowe w zależności od stanowiska pracy.

falowych, radiowych stacjach nadawczych w Polsce, emitujących RF częstotliwości 0,7–1,5 MHz wykazały, że dzienne dawki ekspozycyjne pracowników wynosiły 50–260 V • h/m, co oznacza przebywanie (w zależności od rodzaju wykonywanej pracy) w polach o intensywności 2–11 V/m (9). Można przypuszczać, że podobne zróżnicowanie wielkości i rozkład wielkości ekspozycji występuje u wszystkich pracowników narażonych na PEM w miejscu pracy.

Narażenia na PEM wysokich częstotliwości (RF, MF) w środowisku życia i pracy jest bardzo zróżnicowane (tab. 1). Tylko niewielka liczba pracowników (mniej niż 5% całej populacji) narażonych jest na silniejsze PEM

Tabela 1. Przeciętne zakresy wielkości ekspozycji na pola mikrofalowe (200–2000 MHz) w środowisku życia i pracy

Rodzaj ekspozycji	Ekspozycja W/m ²		Charakter ekspozycji
	przeciętna	maksymalna	
Duże miasta – ulice	0,000–0,01	0,01–0,05	ciągły, jednostajny
Rejony słabo zaludnione	<0,0001	< 0,01	
Mieszkania	<0,0001–0,001	0,01–0,1	ekspozycja 8–12 godz./dobę, zmienna; około 1–2% mieszkań z ekspozycją > 0,01 W/m ²
Użytkowanie telefonu komórkowego	0,1–1	1–3	ekspozycja 0,1–1 godz./dobę, zmienna
Obsługa sprzętu radiokomunikacyjnego i radiolokacyjnego	0,1–2	2–6	ekspozycja 4–6 godz./zmianę roboczą, zmienna
Remont i naprawa sprzętu radiolokacyjnego	1–6	10–50	ekspozycja 2–3 godz./zmianę roboczą, interwałowa (transient exposures)
Pomiary pól EM na stanowiskach pracy	0,1–10	20–100	ekspozycja trudna do oceny, wymaga monitorowania

Tabela 2. Szacowane roczne dozy ekspozycji na pola mikrofalowe (200–2000 MHz) w środowisku życia i pracy

Rodzaj ekspozycji	Doza dzienna W • h/m ²		Doza roczna W • h/m ²	
	przeciętna	maksymalna	przeciętna	maksymalna
Duże miasta – ulice	0,06	0,3	12	60
Rejony słabo zaludnione	<0,001	<0,01	0,2	2
Mieszkania	0,006	0,6	1	120
Użytkowanie telefonu komórkowego	0,25	1	50	200
Obsługa sprzętu radiokomunikacyjnego i radiolokacyjnego	4	12	800	2 400
Remont i naprawa sprzętu radiolokacyjnego	7	50	1 400	10 000
Pomiary pól EM na stanowiskach pracy	10	100	2 000	20 000
Granica dozy rocznej dla ryzyka zachorowania na nowotwory (badania retrospektywne kadry WP w latach 1970–1990)			3 000–6 000	

(ryc. 1) i wyższe dozy (tab. 2), które z większym prawdopodobieństwem mogą wiązać się z pojawieniem się skutków zdrowotnych.

Również ekspozycja zawodowa w PEM niskich częstotliwości charakteryzuje się dużym zróżnicowaniem w zależności od charakteru i przebiegu pracy (10). Podobnie, jak w przypadku pól z zakresu RF i MF, tylko niewielka część pracowników narażona jest na PEM o niskich częstotliwościach i o dużych natężeniach.

OCENA SKUTKÓW ZDROWOTNYCH I RYZYKA ICH WYSTĄPIENIA.

Skutek zdrowotny to mierzalna zmiana czynności jakiegoś układu fizjologicznego z towarzyszącymi odchyleniami wielkości parametrów fizjologicznych i/lub biochemicznych. Znaczenie kliniczne obserwowanego skutku zdrowotnego często jest niewielkie lub może w ogóle nie występować. W przypadku ryzyka zdrowotnego, rozumianego jako utrwalone zmiany czynnościowe danego układu fizjologicznego, przyspieszenie rozwoju lub przebiegu choroby o innej etiologii czy rozwoju choroby swoistej w odpowiedzi na oddziaływanie jakiegoś czynnika, znaczenie kliniczne jest ewidentne. Ryzyko zdrowotne określa więc prawdopodobieństwo obniżenia stanu zdrowotnego w wyniku oddziaływania danego czynnika lub narażenia na ten czynnik. Współczesna koncepcja ryzyka zdrowotnego w odmienny

sposób określa ryzyko chorób nowotworowych i nienowotworowych. To odmienne podejście do tych dwóch typów chorób wynika nie tylko z różnych mechanizmów działania patogennego czynników powodujących rozwój tych chorób, ale przede wszystkim z przyjęcia innej koncepcji określania minimalnego narażenia, związanego z wystąpieniem ryzyka zdrowotnego. Ocena ryzyka wystąpienia, pod wpływem danego czynnika, choroby nowotworowej nie zakłada precyzyjnego określenia wartości minimalnego narażenia na ten czynnik. Jeżeli został on zakwalifikowany jako rakotwórczy, to w każdym natężeniu może powodować rozwój nowotworu, a dopuszczalne normy narażenia ustala się na podstawie tzw. ryzyka akceptowanego (wg standardów amerykańskich – nie więcej niż 1 przypadek choroby nowotworowej na 1 mln osób narażonych) (11). Ryzyko chorób nienowotworowych oparte jest na koncepcji określenia minimalnej intensywności czynnika, przy której nie obserwuje się już trwałych skutków zdrowotnych (uszkodzeń organicznych, zmian czynnościowych lub zaburzeń regulacji układów fizjologicznych), a za dopuszczalne normy narażenia uważa się intensywności 10–100 razy niższe od tych, przy których obserwowane są skutki zdrowotne.

Energia PEM z zakresu wysokich częstotliwości może stanowić poważne zagrożenie zdrowia, a nawet życia człowieka, jeżeli pola są dostatecznie silne, aby wywołać rażenie prądem (RF o częstotliwościach poniżej 10–30 MHz) lub znaczące efekty termiczne (RF i MF o częstotliwościach powyżej 100 MHz). Równie wysoką aktywność biologiczną mają PEM o częstotliwościach 10–100 MHz, gdzie są możliwe zarówno rażenia prądem, jak i efekty termiczne. Wartości graniczne intensywności PEM, wywołujących te groźne dla człowieka efekty, są jednak dobrze poznane i określone, zmieniają się zależnie od częstotliwości PEM, ale w praktyce pracownicy są chronieni przed zetknięciem się z tak silnymi polami.

Dużo więcej dyskusji i kontrowersji budzi zagadnienie tzw. efektów pośrednich PEM, gdzie zainteresowanie koncentruje się na różnych przedmiotach, które, znajdując się w polu elektromagnetycznym, mogą skupiać energię PEM. Wiadomo, że duże i wysokie przedmioty metalowe (np. pojazdy, dźwigi, konstrukcje budowlane), jeżeli nie są uziemione, mogą w polu RF gromadzić znaczne ładunki elektryczne. Dotknięcie takich przedmiotów przez człowieka kończy się przepływem przez ciało prądu wysokiej częstotliwości. Jeżeli prąd ten osiągnie odpowiednią wielkość (zwykle ponad 25–50 mA), staje się najpierw odczuwalny w sposób przykry, a przy

większych natężeniach powoduje rażenia. Niespodziewany przepływ prądu, czy słabe rażenia, nawet jeśli nie będą stanowić bezpośredniego zagrożenia dla zdrowia czy życia, mogą być przyczyną różnych wypadków z powodu chwilowego braku reakcji człowieka na inne bodźce. Dlatego nie ulega wątpliwości, że pracowników należy chronić przed wystąpieniem efektów pośrednich RF i MF. Tu się jednak sytuacja komplikuje (12). Pomijając już różnice osobnicze w zdolności odczuwania przepływu prądów wysokiej częstotliwości i istnienie niewielkiej grupy ludzi (około 5%), którzy odczuwają już prądy 10–20 mA, to istnieją dość znaczne rozbieżności w poglądach specjalistów dotyczące zależności między intensywnością pola RF (wyrażoną np. w V/m) a wielkością ładunków indukowanych w obiektach metalowych i wielkością prądu rozładowania w ciele człowieka. Niektórzy specjaliści uważają, że względnie słabe pola RF, mieszczące się w zakresie intensywności dopuszczonych polskimi przepisami dla przebywania w nich ludności, mogą w określonych warunkach powodować przepływ odczuwalnych prądów wtórnych (13). Inni twierdzą, że efekty pośrednie pól RF i MF są możliwe dopiero przy znacznie wyższych intensywnościach tych pól, choć bez wątpliwa muszą być uwzględniane przy ustalaniu dopuszczalnych norm narażenia (12,14).

Najwięcej zainteresowania i kontrowersji budzi ryzyko zdrowotne i występowanie ewentualnych skutków zdrowotnych ekspozycji w polach PEM o intensywności niższej od tej, w której możliwe są efekty wtórne (ryc. 2). W tym obszarze rozciąga się zakres intensywności PEM, w którym ustala się najwyższe dopuszczalne natężenia (NDN), tu poszukuje się różnych „efek-

tów swoistych” czy „nadwrażliwości” na PEM (15,16). Według aktualnego stanu wiedzy brak jest dowodów na istnienie jakichkolwiek chorób swoistych związanych przyczynowo z ekspozycją na PEM z zakresu wysokich częstotliwości (tab. 3). Wyniki licznych badań doświadczalnych i lekarskich wskazują, że istnieje ryzyko przebywania w takich polach, ale jest ono niewielkie i ogranicza się głównie do występowania zmian czynnościowych w różnych układach organizmu bez udowodnionych skutków zdrowotnych. Obserwowane jest występowanie różnych nietypowych objawów i zmian czynnościowych ze strony układów kontrolno-regulacyjnych organizmu, w tym przede wszystkim układu krążenia. Opisywane w literaturze zmiany, występujące w układzie krążenia, to głównie zaburzenia rytmu serca i zmienione zapisy w dobowych pomiarach ciśnienia krwi (9,17). Analiza dostępnych danych pozwala na stwierdzenie, że praca w zasięgu PEM może oddziaływać na stan zdrowia pracowników, ale dopiero wtedy, jeżeli ekspozycje są dostatecznie silne, a czas pracy w warunkach narażenia na PEM jest dostatecznie długi, chociaż precyzyjne progi zarówno dla długości czasu pracy w zasięgu PEM, jak i natężenia PEM, powodujące skutki zdrowotne, są cały czas trudne do określenia. Istnieją dane wskazujące na fakt, że u pracowników narażonych na szczególnie silne PEM (np. u pracowników montujących i/lub remontujących anteny nadawcze na masztach wieloantenowych, personelu wojskowego obsługującego radary, pilotów wojskowych i cywilnych) pojawiają się ze zwiększoną częstotliwością różne choroby, w tym choroby nowotworowe (18–20). Należy jednak zaznaczyć, że liczba pracowników narażonych

Natężenie pola MF W/m ²	Typowe ekspozycje	Ustalone efekty i ryzyko zdrowotne	Prawdopodobne efekty biologiczne	Przypuszczalne efekty biologiczne	Wątpliwe efekty biologiczne
5000	zawodowa				
500				Działanie termiczne	
50		brak efektów ustalonych (wg ICNIRP)	zmiany czynnościowe w układach fizjologicznych (nerwowym, krążenia, odporności); efekty komórkowe <i>in vitro</i> .	zwiększone ryzyko zachorowania na niektóre nowotwory; działanie genotoksyczne <i>in vitro</i> ; synergizm z innymi czynnikiemami środowiska pracy i życia	rozwój chorób swoistych; zaburzenia rozwoju płodu; zmiany organiczne w narządach i tkankach
5	telefony komórkowe				
0,5	stacje bazowe			zakres intensywności pól MF o wątpliwym oddziaływaniu biologicznym (0,05–5 W/m ²)	
0,05					
0,005 (5 mW/m ²)					
0,0005 (0,5 mW/m ²)	środowisko			brak wiarygodnych danych naukowych o możliwości oddziaływania biologicznego pól MF o intensywności poniżej 0,05 W/m ²	

Ryc. 2. Efekty biologiczne i ryzyko zdrowotne ekspozycji w polach mikrofalowych (MF).

Tab 3. Skutki i ryzyko zdrowotne ekspozycji zawodowej w PEM wysokich częstotliwości (0,1–300 000 MHz)

Dokumentacja efektów – badania lekarskie i/lub epidemiologiczne	Skutki zdrowotne i znaczenie kliniczne			Szacowana wielkość narażenia W/m ²
	poważne ryzyko zachorowań	pogorszenie samopoczucia, objawy nieswoiste	znaczenie kliniczne niewielkie lub nieznanne	
Udokumentowane	efekty termiczne zaćma oparzenia wewnętrzne zaburzenia czynnościowe układu nerwowego i krążenia		nieswoiste zmiany w zapisie EEG; zaburzenia faz snu (REM – nie REM) zmiany funkcji psychoruchowych i/lub czasu reakcji (pogorszenie lub polepszenie)	natężenia kilkakrotnie (5–20 razy) wyższe od maksymalnych dopuszczalnych dla pracowników wg przepisów polskich i zaleceń międzynarodowych
Prawdopodobne		nieswoiste objawy chorobowe (ból głowy, zmęczenie, problemy z koncentracją, bezsenna)		1–2; doza dobową > 20
Możliwe	zwiększone ryzyko zachorowania na niektóre nowotwory (białaczki, mięsaki limfatyczne, guzy mózgu)	zaburzenia czynnościowe układu nerwowego, krążenia		5–8; doza dobową > 40
Mało prawdopodobne	zwiększone ryzyko chorób organicznych i innych typów nowotworów			dla każdego natężenia pola nie powodującego efektów termicznych
Brak jednoznacznej oceny	oddziaływanie na przebieg ciąży i rozwój płodu; genotoksyczność			

na tak silne PEM jest bardzo niewielka, nie ma więc możliwości przeprowadzenia u nich badań epidemiologicznych, a obserwacje muszą z konieczności ograniczać się do kilkunasto- kilkudziesięciosobowych grup kazuistycznych.

Współczesna ocena wielkości ryzyka zdrowotnego PEM z zakresu wysokich częstotliwości ustala konieczność zabezpieczenia pracowników przed skutkami wystąpienia zagrożenia bezpośredniego, efektów termicznych i wtórnych. W przypadku radiofal i mikrofal o niższych intensywnościach zalecana jest zasada „świadomego unikania zbędnego ryzyka” (prudent avoidance) (21), pozostawiając otwartą dyskusję nad wprowadzeniem dodatkowych ustawowych ograniczeń.

Badania skutków zdrowotnych ekspozycji zawodowej na pola elektromagnetyczne niskich częstotliwości (50 Hz) chociaż dotyczą także możliwości wystąpienia różnych chorób nienowotworowych, to koncentrują się głównie na poszukiwaniu wpływu pola magnetycznego na rozwój różnego typu nowotworów.

W świetle dotychczas przeprowadzonych badań, podobnie jak w przypadku badań prowadzonych dla PEM wysokiej częstotliwości, ekspozycja w polu elektromagnetycznym 50 Hz nie skutkuje wystąpieniem choroby swoistej. Ostatnio w literaturze pojawiają się pojedyncze dane, sugerujące wpływ ekspozycji zawodowej w polach elektromagnetycznych niskiej częstotliwości na neurovegetatywną regulację układu krążenia (22), wzrost ry-

zyka zachorowania na chorobę Alzheimera, wystąpienie demencji (23,24), czy stwardnienia rozsianego (2). Ponieważ jednocześnie publikowane są wyniki zaprzeczające istnieniu takiego wpływu pól PEM (2,25), obserwacje te wymagają jeszcze dalszego potwierdzenia.

Wyniki opublikowanych kilkudziesięciu badań epidemiologicznych, poświęconych zachorowalności na różnego typu nowotwory pracowników elektroenergetyki, nie dają jednoznacznej odpowiedzi, co do istnienia związku przyczynowego między występowaniem choroby nowotworowej a ekspozycją na pole magnetyczne. W około 40% wykonanych analiz stwierdzono nieznaczny (RR = 1,2–1,8), ale statystycznie znamieny wzrost zachorowalności na białaczki lub guzy mózgu. Jednak w ponad 60% badań żadnego wzrostu zachorowalności nie obserwowano (26).

Wnioskowanie o wielkości ryzyka i ewentualnych skutkach zdrowotnych pracy w zasięgu PEM różnej częstotliwości jest bardzo trudne, ale na podstawie dostępnych danych można stwierdzić, że:

1. Istnieje możliwość oddziaływania na stan zdrowia pracowników w przypadku wieloletniej (ponad 10 lat) pracy w zasięgu PEM z zakresu wysokich częstotliwości (RF/MF) o natężeniu co najmniej kilku W/m² i dozie dziennej ponad 30–40 W/m² • h.

2. Możliwość oddziaływania na stan zdrowia ekspozycji w PEM z zakresu bardzo niskich częstotliwości (w tym pól elektrycznych i magnetycznych 50 Hz)

jest trudna do oceny i wątpliwa, a dla PEM o częstotliwościach pośrednich (1 kHz–10 MHz) zupełnie nieznaną.

3. U pracowników narażonych na PEM mogą rozwinąć się w pierwszej kolejności różnego rodzaju zaburzenia i zmiany czynnościowe układów fizjologicznych (centralny układ nerwowy, układ regulacji wegetatywnej, układ krążenia, pokarmowy, itd.), w tym:

- nieswoiste objawy chorobowe (NOCh) – bóle głowy, zmęczenie, trudności w zasypianiu, koncentracji, itp.;

- objawy nerwic wegetatywnych;

- zwiększona liczba i częstość zmian czynnościowych, np. układu krążenia rozwijających się normalnie z wiekiem;

- nieznacznie zwiększone ryzyko rozwoju niektórych chorób nowotworowych.

4. Szczególnie wiele prac i programów badawczych poświęcono możliwości zwiększonego ryzyka rozwoju chorób nowotworowych w warunkach narażenia na PEM. Aktualny stan wiedzy w tym zakresie pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

- PEM niskich częstotliwości (w tym pola magnetyczne 50/60 Hz) zostały zaliczone do potencjalnych czynników nowotworowych (grupa 2B wg klasyfikacji IARC) na podstawie ograniczonych dowodów epidemiologicznych rozwoju białaczek u dzieci, ale nie ma wystarczających dowodów na zwiększone ryzyko rozwoju nowotworów u pracowników narażonych na działanie tych pól;

- istnieją ograniczone dowody na zwiększone ryzyko rozwoju niektórych nowotworów (w tym białaczek i mięsaków limfatycznych) u pracowników narażonych przez wiele lat na bardzo silne pola z zakresu RF i MF;

- prawdopodobieństwo wystąpienia zwiększonego ryzyka rozwoju nowotworów u pracowników zatrudnionych w zasięgu PEM jest stosunkowo niewielkie i dotyczy bardzo małych grup pracowników.

Wyniki dotychczas opublikowanych badań, zagranicznych i krajowych, nad skutkami zdrowotnymi ekspozycji zawodowej w PEM dają jednoznaczne dowody jedynie na występowanie, niestanowiących bezpośredniego zagrożenia dla zdrowia czy życia, zaburzeń i zmian czynnościowych w różnych układach fizjologicznych organizmu. Na pewno jednak istnieje konieczność zabezpieczania pracowników odpowiednio sformułowanymi normami, które powinny uwzględniać obecny stan wiedzy na temat skutków zdrowotnych oddziaływania pól elektromagnetycznych.

PIŚMIENNICTWO

1. Tikhonova G.I.: Epidemiological risk assessment of pathology development in occupational exposure to radiofrequency electromagnetic fields. *Radiats. Biol. Radioecol.*, 2003;43(5):559–564
2. Johansen C.: Electromagnetic fields and health effects – epidemiologic studies of cancer, diseases of the central nervous system and arrhythmia-related heart diseases. *Scand. J. Work Environ. Health*, 2004;30(Supl.1):1–30
3. Vecchia P.: The health risks of exposure to electromagnetic fields in work environments. *Med. Lav.*, 1997;88(6):462–474
4. Hardell L., Walker M.J., Wallhjalb B., Friedman L.S., Richter E.D.: Secret Ties to industry and conflicting interests in cancer research. *Am. J. Indust. Med.*, 2006 [w druku]
5. Slesin L.: It's official: Mike Repacholi is an industry consultant. *Microwave News*, 2006;26(8):1–3
6. Szmiigielski S., Sobiczewska E., Kubacki R.: Carcinogenic potency of microwave radiation: overview of the problem and results of epidemiologic studies on Polish military personnel. *Eur. J. Oncol.*, 2001;6(2):193–199
7. Szmiigielski S., Bortkiewicz A., Gadzicka E., Zmyślony M., Kubacki R.: Alternation of diurnal rhythms of blood pressure and heart rate in workers exposed to radiofrequency electromagnetic fields. *Blood Press. Monit.*, 1998;3(6):323–331
8. Szmiigielski S., Kubacki R., Ciołek Z.: Application of dosimetry in military epidemiological studies. W: Klauenberg J. B., Miklavčič D. [red.]: *Radiofrequency Radiation Dosimetry and its Relationship to the Biological Effects of Electromagnetic Fields*. NATO Science Series 3, High Technology, 32ś Kluwer Academy Publishers, Dordrecht, Boston, London 2000, ss. 459–472
9. Bortkiewicz A., Zmyślony M., Pałczyński C., Gadzicka E., Szmiigielski S.: Dysregulation of autonomic control of cardiac function in workers of AM broadcasting stations (0.738–1.543 MHz). *Electro Magnetobiol.*, 1995;14(5):177–192
10. Gobba F., Roccatto L., Vandelli A.M., Besutti G., Gheresi R., Nicolini O.: Occupational exposure to 50 Hz magnetic fields in workers employed in various jobs. *Med. Lav.*, 2004;95(6):475–485
11. Tomatis T. [red.]: *Cancer: Causes, Incidence, Occurrence*. IARC Monograph No. 100, International Agency for Research on Cancer, Lyon 1991
12. WHO/IRPA/ICNIRP: Guidelines on limits of exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (1 Hz–300 GHz). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Monachium 1997, ss. 1–32
13. Korniewicz H.: Modelowanie elektrodynamicznych procesów oddziaływania pól elektromagnetycznych na organizm ludzki [praca habilitacyjna]. Centralny Instytut Ochrony Pracy, Warszawa 1996
14. Matthes R. [red.]: *Non-Ionizing Radiations*. ICNIRP 1/96. Markl-Verlag, Monachium 1996
15. WHO Environmental Health Criteria No. 137: *Electromagnetic Fields (300 Hz to 300 GHz)*. World Health Organization, Geneva 1993
16. Gothe C.J., Molin C., Nilsson C.G.: Environmental somatization syndrome. *Psychosomatics*, 1995;36(1):1–11
17. Wilen J., Hornsten R., Sandstrom M., Bjerle P., Wiklund U., Stensson O. i wsp.: Electromagnetic field exposure and he-

- alth among RF plastic sealer operators. *Bioelectromagnetics*, 2004;25(1):5–15
18. Szmigielski S.: Cancer morbidity in personnel exposed to high frequency electromagnetic fields (radiofrequencies and micro-waves). *Sci. Total Environ.* 1996;25(1):9–17
19. Buja A., Lange J.H., Perissinotto E., Rausa G., Grigoletto F., Canova C. i wsp.: Cancer incidence among male military and civil pilots and flight attendants: an analysis on published data. *Toxicol. Ind. Health*, 2005;21(10):273–282
20. Richter E., Berman T., Ben-Michael E., Laster R., Westin J.B.: Cancer in radar technicians exposed to radiofrequency/microwave radiation: sentinel episodes. *Int. J. Occup. Environ. Health*, 2000;6(3):187–193
21. WHO: Establishing a dialogue on risk from electromagnetic fields. Radiation and Environmental Health Department of Protection of the Human Environment, World Health Organization, Geneva 2002
22. Bortkiewicz A., Gadzicka E., Zmysłony M., Szymczak W.: Neurovegetative disturbances in workers exposed to 50 Hz electromagnetic fields. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health*, 2006;19(1):53–60
23. Qiu C., Fratigioni L., Karp A., Winblad B., Bellander T.: Occupational exposure to electromagnetic fields and risk of Alzheimer's disease. *Epidemiology*, 2004;15(6):687–694
24. Park R.M., Schulte P.A., Bowman J.D., Walker J.T., Bondy S.C., Yost M.G. i wsp.: Potential risks for neurodegenerative diseases. *Am. J. Ind. Med.*, 2005;48(1):63–77
25. Seidler A., Geller P., Nienhaus A., Bernhardt T., Ruppe I., Eggert S. i wsp.: Occupational exposure to low frequency magnetic fields and dementia – a case-control study. *Occup. Environ. Med.*, 2006 [w druku]
26. Szmigielski S., Sobiczewska E.: Współczesne poglądy na ryzyko nowotworowe pól elektromagnetycznych 50 Hz w świetle wyników międzynarodowych programów badawczych. W: Szuba M., Tyszecki A. [red.]. *Pola elektromagnetyczne 50 Hz w środowisku człowieka*. EKO-KONSULT, Gdańsk 2003, ss. 31–47