

Marek Zmysłony

DZIAŁANIE BIOLOGICZNE I SKUTKI ZDROWOTNE PÓL ELEKTROMAGNETYCZNYCH W ASPEKTCIE WYMAGAŃ RAPORTÓW O ODDZIAŁYWANIU PRZEDSIĘWZIĘĆ NA ŚRODOWISKO*

BIOLOGICAL MECHANISMS AND HEALTH EFFECTS OF EMF IN VIEW OF REQUIREMENTS OF REPORTS
ON THE IMPACT OF VARIOUS INSTALLATIONS ON THE ENVIRONMENT

Zakład Zagrożeń Fizycznych, Instytut Medycyny Pracy, Łódź

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono przegląd literatury dotyczącej badania skutków zdrowotnych ekspozycji na pola elektromagnetyczne (PEM), emitowane przez instalacje, które wymagają sporządzania raportów o oddziaływaniu przedsięwzięć na środowisko. Sformułowana została teza, że w chwili obecnej nie jesteśmy w stanie spełnić wymagań ustawodawcy i przedstawić w ramach tych raportów, zdecydowanych stwierdzeń o działaniu PEM na ludzi. Najwięcej wątpliwości ekspertów budzą pola magnetyczne o częstotliwości sieciowej (50 Hz) występujące w otoczeniu linii elektroenergetycznych i stacji transformatorowo-rozdzielczych. Chociaż istnieją dane wskazujące, że mogą one zwiększać ryzyko zachorowania ludzi na nowotwory, to ze względu na fakt, że dotychczas nieznanym jest mechanizm tego działania i nie udało się przy użyciu takich pól wywołać nowotworu u zwierząt, nie można twierdzić, że oddziaływanie pól jest rakotwórcze, a jedynie przypuszczalnie rakotwórcze (wg klasyfikacji IARC). W przypadku PEM emitowanych przez stacje nadawcze radiowe, telewizyjne i telefonii komórkowej czy system TETRA nie udowodniono, że wywołują one jakiegokolwiek negatywne skutki zdrowotne u osób zamieszkujących w ich otoczeniu, nieznanne są również mechanizmy mogące takie skutki wywoływać. Istnieją jednak badania wskazujące na możliwość ich wystąpienia (dotyczy to działania kancerogennego i zaburzenia funkcjonowania centralnego układu nerwowego), w związku z czym konieczne są dalsze intensywne badania, zwłaszcza badania epidemiologiczne (kohortowe i case-control), przy prawidłowo wykonywanej ocenie ekspozycji (szacowanie wielkości PEM na podstawie pomiarów, a nie na podstawie odległości od anten). Med. Pr., 2007;58(1):27–36

Słowa kluczowe: pola elektromagnetyczne, ekspozycja środowiskowa, efekty zdrowotne, mechanizmy działania

ABSTRACT

This paper presents a review of the literature dealing with the health effects of exposure to electromagnetic fields (EMFs) emitted by installations, in case of which reports on their impact on the environment are required. A thesis has been formulated that at present, it is not feasible to meet the requirements of the legislator and present in these reports explicit evidence that EMFs exert harmful effect on humans. The major doubts faced by experts are raised by magnetic fields of the power-line frequency (50 Hz) present in the neighborhood of electric power lines and distribution-transformer stations. Although data indicating that they may increase cancer risk in humans do exist, it is not possible to clearly state that their effect is carcinogenic, but only possibly carcinogenic to humans (according to the IARC categorization) in view of the fact that the mechanisms by which EMFs exert their effect have not yet been elucidated. It has not been evidenced that EMFs emitted by radio and TV broadcasting stations, mobile communications or TETRA system induce any adverse health effects in persons living in their vicinity. However, some reports indicating that they may induce health effects (carcinogenicity and disturbances in the function of the central nervous system) have been published. Therefore, further intensive investigations, especially epidemiological (cohort and case-control) studies are needed. They should involve an appropriate exposure assessment, i.e., estimation of EMF magnitude based on measurements and not on distance from antennas. Med Pr 2007;58(1):27–36

Key words: electromagnetic fields, general population exposure, health effects, mechanism of interaction

Adres autora: św. Teresy 8, 91-348 Łódź, e-mail: zmyslmar@imp.lodz.pl

Nadesłano: 1.12.2006

Zatwierdzono: 10.01.2007

Zgodnie z art. 52 ust. 1 punkt 5a Ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska oraz poprawką z dnia 18 maja 2005 r. (1) raport o oddziaływaniu przedsięwzięcia na środowisko powinien zawierać m.in. uzasadnienie wybranego przez wnioskodawcę wariantu, ze wskazaniem jego oddziaływania na środo-

wisko, w szczególności na ludzi, zwierzęta, rośliny itd. Na podstawie mojego już prawie 30-letniego doświadczenia w dziedzinie badania problemów związanych z biologicznym działaniem pól elektromagnetycznych (PEM), w tym ich wpływem na zdrowie ludzi wolno mi chyba powiedzieć, że na tak sformułowane pytanie powinno się w zasadzie odpowiedzieć „nieznane”. Jak dotychczas wszystkie rzetelne analizy wyników, rzetelnych badań naukowych prowadzonych w tym zakresie, kończą się stwierdzeniem w stylu „obecny stan wiedzy

* 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.

nie pozwala na jednoznaczne stwierdzenie, czy PEM o wartościach spotykanych w środowisku oddziałuje na człowieka i czy ma jakieś skutki zdrowotne”. Poniżej postaram się, z konieczności bardzo skrótowo, stwierdzenie to uzasadnić. Z uwagi na wymogi polskich przepisów, dotyczących ochrony środowiska, skupię się na instalacjach wymagających (mogących wymagać) sporządzenia raportu o oddziaływaniu na środowisko (2) z jakimi najczęściej można się spotkać w praktyce, tj. liniach (i stacjach) elektroenergetycznych, nadajnikach radiowych i telewizyjnych oraz stacjach bazowych telefonii komórkowej.

Z punktu widzenia oceny wpływu na człowieka, w chwili obecnej najwięcej problemów sprawiają niewątpliwie linie energetyczne. Wiąże się to z wynikami całego szeregu badań, wskazujących, że ciągła „domowa” ekspozycja na pola magnetyczne 50/60 Hz zwiększa ryzyko zachorowania dzieci na białaczkę, a próg tego efektu występuje już dla średnich dobowych indukcji 0,3–0,4 μT (3,4). Podobne wyniki dają badania wpływu takich ekspozycji na guzy mózgu u dzieci (jednak w tym przypadku wzrost ryzyka nie jest istotny statystycznie, np. metaanaliza dokonana przez Wartenberga i wsp. w 1998 r. (5) pokazała, że choć ryzyko względne wynosi 1,4, to 95% przedział ufności (CI) wynosi od 0,7 – do 2,4, w związku z czym efektu tego nie można uznać za udowodniony). Istnieją także pojedyncze, niepotwierdzone doniesienia o związku ekspozycji komunalnej dzieci z zachorowaniami na inne nowotwory, np. chłoniaki, mięsaki, czy guzy ośrodkowego układu nerwowego (6,7). Oczywiście podobne badania prowadzono u ludzi dorosłych. Dotychczas w literaturze spotyka się pojedyncze doniesienia o pozytywnym związku pomiędzy ekspozycją a ryzykiem zachorowania na białaczkę (8–10) i nowotwory piersi (11,12), nie znaleziono natomiast związku pomiędzy ekspozycją na pola sieciowe w domach mieszkalnych a nowotworami mózgu – w badaniu norweskim, którego wyniki opublikowano w 2005 r., stwierdzono wzrost ryzyka, jednak był on nieistotny statystycznie (13). Chcę podkreślić to, co stwierdziłem wyżej – doniesienia te są pojedyncze i w powszechnej opinii specjalistów nie można ich uznać za wystarczające do uznania ekspozycji na podwyższone komunalne pole magnetyczne za czynnik rakotwórczy u dorosłych. Równoległe z badaniami epidemiologicznymi prowadzone są badania na zwierzętach ekspozowanych niekiedy nawet całe życie, przy czym ekspozycje są podobne do komunalnych (a nawet wyższe). Jak dotychczas nie potwierdziły one występowania podobnych efektów jak w przypadku ludzi, np. negatyw-

ny wynik uzyskano w badaniu myszy poddanych 52-tygodniowej ekspozycji na sieciowe pole magnetyczne 2 μT (14). Mimo to, głównie ze względu na wyniki badań u dzieci, Międzynarodowa Agencja Badań Nad Rakiem (IARC) uznała w 2002 r. pola magnetycznego zakresu ELF (3–3000 Hz) za przypuszczalnie rakotwórcze dla ludzi (grupa 2B) (15), czyli uznała, że istnieje ograniczony dowód działania rakotwórczego tych pól u ludzi przy braku wystarczającego dowodu rakotwórczości u zwierząt doświadczalnych*. Takie zakwalifikowanie jest przyczyną nieustających sporów pomiędzy zwolennikami i przeciwnikami negatywnego działania PEM – ci pierwsi wskazują, że wyniki badań epidemiologicznych, mających decydujące znaczenie przy ocenie wpływu danego czynnika, jednoznacznie wskazują na szkodliwość pól sieciowych, ci drudzy twierdzą, że brak potwierdzenia w badaniach na zwierzętach może być sygnałem, że wyniki badań epidemiologicznych są tylko artefaktami (nowotwory powodowane przez PEM są stosunkowo rzadkie, a ryzyko względne bardzo niskie)**. Oprócz badania ewentualnych skutków kancerogennych ekspozycji komunalnej, sprawdzano również jej inne możliwe skutki zdrowotne, jednakże nie dały one wyników pozytywnych, poza kilkoma badaniami wpływu na funkcjonowanie centralnego układu nerwowego, np. zwiększenie ryzyka wystąpienia zaburzeń psychiatrycznych (16), zwłaszcza depresji (17). Autorzy stwierdzili zwiększenie ryzyka zachorowania na poważne depresje (4,7-krotny wzrost ryzyka; 95% przedział ufności: 1,70–13,3) wśród osób mieszkających w pasie do 100 m od linii wysokiego napięcia, choć jednocześnie przyznają, że badania były wykonane na zbyt małej liczbie przypadków. Biorąc pod uwagę to wszystko co powiedziałem, chyba nie można się dziwić, że dotychczas nie uwzględniono przedstawionych wyżej obserwacji przy tworzeniu normatywów przebywania w PEM, chociaż takie próby są czynione, np. w 1995 r. został opublikowany raport Narodowej Rady Ochrony przed Promieniowaniem i Pomiarów USA (U.S. National Council on Radiation Protection and Measurements – NCRP) (18), w którym autorzy zaproponowali drastyczne zredukowanie w przeciągu 6–10 lat dopuszczalnego poziomu ekspozycji populacji

* Według IARC wszystkie czynniki fizyczne i chemiczne ze względu na ich zagrożenie rakotwórcze dla człowieka dzieli się na następujące grupy: grupa 1: Czynniki są rakotwórcze dla ludzi; grupa 2A: Czynniki są prawdopodobnie rakotwórcze dla ludzi; grupa 2B: Czynniki są przypuszczalnie rakotwórcze dla ludzi; grupa 3: Czynniki nie są klasyfikowane ze względu na ich rakotwórczość dla ludzi; grupa 4: Czynniki nie są rakotwórcze dla ludzi.

** Dla porównania przypomnę, że w grupie 2B kancerogenów znajdują się np. kawa (jako przypuszczalny czynnik zachorowania na nowotwór pęcherza moczowego), czy marynowane warzywa.

generalnej na sieciowe pole magnetyczne z 0,1 mT do 0,2 μ T.

Ze względu na gwałtowny rozwój telefonii komórkowej i wyrastające wszędzie stacje bazowe, z największym zainteresowaniem społeczeństwa spotykają się epidemiologiczne badania wpływu PEM na stan zdrowia mieszkańców tych okolic, zwłaszcza badania ryzyka zachorowania na choroby nowotworowe. Jednakże, jak dotychczas, badań takich jest bardzo mało, a przeprowadzonych bez istotnych błędów nie ma prawie wcale. Typowym ich przykładem jest badanie izraelskie, którego szeroko rozpowszechnione na stronach internetowych zwolenników koncepcji szkodliwego działania PEM (19). Przeprowadzono je w mieście Netanya, w którego jednej z dzielnic w 1996 r. postawiono maszt telefonii komórkowej 850 MHz. Maksymalne PEM na terenie tej dzielnicy wynosiło 1,4 V/m. Grupa badana liczyła 622 osoby. Grupę kontrolną (1222 osoby) stanowili mieszkańcy pobliskich dzielnic tego samego miasta. Wyniki odnoszono też do współczynników zachorowalności na nowotwory w całym Izraelu. Badania rozpoczęto w rok po zainstalowaniu nadajników i objęły one wszystkie przypadki nowotworów z jednego roku. W wyniku badań autorzy stwierdzili u osób zamieszkujących w odległości do 350 m od stacji znaczący wzrost ryzyka zachorowania na nowotwory (4,15 raza) w porównaniu z mieszkańcami pozostałej części miasta i całego kraju. Jak wynika z opisu badania ma ono charakter przekrojowego. By wnioskować na podstawie tego typu badań, wymagane są grupy o bardzo dużej liczebności, znacznie przekraczające liczebności grup przebadanych przez autorów, stąd wyciągane przez nich wnioski nie mają odpowiedniego uzasadnienia, a za rewelację naukową można uznać ich założenie badawcze, że takie nowotwory, jak: rak piersi, rak jajnika rak płuc, kostniak kostninowy, rak nerki czy choroba Hodgkina mają roczny okres latencji (stacja bazowa stanęła rok przed rozpoczęciem badania). Dodać należy, że dla wielu z ww. nowotworów nigdy nie stawiano hipotezy o związku z ekspozycją na PEM. Jako przeciwieństwo badań izraelskich można podać bardzo dobrze zaplanowane metodologicznie badanie ryzyka zachorowania na guzy mózgu osób mieszkających w pobliżu stacji bazowych, prowadzone w Niemczech (20). Jest to badanie typu case-control, obejmujące 747 przypadków guzów mózgu osób w wieku od 30 do 69 lat i 1494 przypadki kontrolne. Nie stwierdzili oni zwiększonego ryzyka zachorowania – odds ratios były 0,82 (95% przedział ufności: 0,29–2,33) dla glejaka i 0,83 (0,29–2,36) dla oponiaka. Przeciwnicy budowy stacji bazowych w terenach

zabudowanych, oprócz wzrostu zachorowalności na nowotwory, obawiają się pogorszenia funkcjonowania centralnego układu nerwowego, przejawiającego się pogorszeniem samopoczucia, np. tendencjami do depresji, zaburzeniami snu, zmęczeniem, poirytowaniem itp. Odpowiedzią na te obawy jest podjęcie odpowiednich badań. W chwili obecnej znane są wyniki trzech: francuskich (21,22), hiszpańskich (23,24) oraz austriackich (25). Wszystkie one miały podobny charakter, tzn. były to badania ankietowe przeprowadzone na grupie ok. 100–500 osób. W badaniach francuskich jako wskaźnik ekspozycji przyjęto odległość mieszkania osoby badanej od stacji bazowej, co znacznie obniża ich wartość, natomiast w obu pozostałych, do oceny ekspozycji osób badanych, przeprowadzono pomiary PEM (w badaniach austriackich gęstości mocy mikrofalowej, a w hiszpańskich – natężenia pola elektrycznego). Ponieważ w ogólności wyniki tych dwóch badań są podobne, ograniczę się do przedstawienia badań hiszpańskich. Zostały one przeprowadzone w latach 2000–2004 w niewielkim mieście La Nora leżącym w pobliżu Murcji, w którym kilka lat wcześniej zbudowano dwa maszty telefonii komórkowej. Badaniami objęto 94 osoby. Dla każdej z nich przeprowadzono pomiary natężenia pola elektrycznego z zakresu mikrofalowego w jej domu, a ekspozycję na mikrofałe podzielono na 3 grupy w zależności od poziomu natężenia pola elektrycznego w sypialniach:

- 0,02–0,04 V/m
- 0,05–0,22 V/m
- 0,25–1,29 V/m.

Autorzy stwierdzili istotny statystycznie związek pomiędzy dozą a: tendencjami do depresji, zmęczeniem, utratą apetytu, trudnościami w koncentracji, zaburzeniami w układzie krążenia, nudnościami, odczuciem dyskomfortu, zaburzeniami snu, poirytowaniem, zawrotami głowy, zmianami skórными, zaburzeniami pamięci i bólami głowy (spośród 16 badanych symptomów, 13 wykazywało zwiększone występowanie w grupie najbardziej eksponowanej w porównaniu z grupą eksponowaną najmniej, a 10 w porównaniu z grupą eksponowaną średnio). Na podstawie tych obserwacji autorzy zaproponowali by maksymalny poziom natężenia pola elektrycznego emitowanego przez stacje bazowe był 0,02 V/m. Wydaje się, że tak daleko idące wnioski były przedwczesne, co chyba zrozumieli sami autorzy, o czym świadczy brak upowszechniania wyników badań – jak dotychczas w czasopiśmie międzynarodowym opublikowali oni jedynie wyniki badań pilotażowych (23), a ostateczne wyniki zaprezentowali na, mającej z założenia ograniczony odbiór, konferencji bioelektro-

magnetycznej, która odbyła się w Grecji na wyspie Kos (24). Przyczyny takiego stanu rzeczy mogą być dwie:

1. Grupa badana jest bardzo mała, więc wnioskowanie jest ryzykowne (ocena takiego stanu jest utrudniona, gdyż w referacie z Kos nie są podawane liczebności poszczególnych grup);

2. Oprócz PEM emitowanego przez stacje bazowe, środowisko elektromagnetyczne osób badanych było zaburzane również przez PEM pochodzące od innych urządzeń, np. doręcznych telefonów komórkowych, komputerów, linii energetycznych, stacji telewizyjnych i radiowych itp. Autorzy stwierdzili, że 29% osób badanych używało telefonu komórkowego dłużej niż 20 minut w ciągu dnia, a 43% mieszkało bliżej niż 100 metrów od linii wysokiego napięcia lub 10 m od transformatora. Przyznają, że szereg z tych zmiennych ma znaczący wkład w objaśnienie wyniku modelu regresji logistycznej, zastosowanego w badaniach. Niestety, szczegółów nie podają. Podobnie zresztą Sanitini i wsp. podkreślają, że oprócz odległości od stacji, wieku czy płci na częstotliwość występowania symptomów w ich badaniach miał również wpływ fakt dodatkowej ekspozycji, powodowanej przez inne urządzenia emitujące PEM (transformatory, stacje nadawcze radiowe i telewizyjne) (22).

Z tego co powiedziałem wynika, że dotychczas wykonane badania można traktować tylko jako wstępne – wymagają one rozszerzenia zarówno wielkości grupy badanej jak i szerszego uwzględnienia czynników zakłócających. Wydaje się, że zdecydowanie przedwczesny jest wniosek autorów badań hiszpańskich, by wprowadzić ograniczenie wewnątrz mieszkań poziomu PEM, emitowanego przez stacje bazowe do 0,02 V/m.

Oprócz linii energetycznych i stacji bazowych telefonii komórkowej duże znaczenie w ekspozycji ludności na PEM mają w chwili obecnej nadajniki FM radiowe i telewizyjne. Największa uwaga skupiona jest oczywiście na ewentualnych skutkach nowotworowych działania emitowanych przez nie PEM. Istnieją dane wskazujące na konieczność głębszego zainteresowania się tym problemem. Należą do nich wyniki:

■ korelacyjnych badań przeprowadzonych w Wielkiej Brytanii wokół wieży radiowo-telewizyjnej w Sutton Coldfield (26). Autorzy stwierdzili, że w promieniu do 2 km oddziaływania pola wzrasta ryzyko zachorowania na białaczkę (OR = 1,83, 95% przedział ufności 1,22–2,74). Zauważyli również znaczący spadek ryzyka wraz ze wzrostem odległości od anten (podobnie jak dla nowotworów skóry i pęcherza). Jednak ich badania rozciągnięte na wszystkie stacje radiowe i telewizyjne

w Anglii, bardzo słabo potwierdziły obserwacje dla Sutton Coldfield (27);

■ szwedzkich badań korelacyjnych częstości zachorowania na czerniaka w otoczeniu wież radiowych i telewizyjnych w kilku krajach (28). Autorzy stwierdzili istnienie korelacji pomiędzy częstością występowania czerniaka a liczbą stacji w danym kraju;

■ australijskich badań korelacyjnych, w których stwierdzono występowanie związku pomiędzy częstością dziecięcych białaczek (29) oraz zmniejszenie zdolności do przeżycia chorych dzieci (30) a odległością od wieży stacji telewizyjnych.

Podobne badania były wykonywane również dla masztów radiowych AM, np. ekologiczne badanie koreańskie (31), w których autorzy obserwowali zwiększoną umieralność na wszystkie nowotwory i białaczki w niektórych grupach wiekowych, zwłaszcza w młodszych (w grupie 0–14 lat, MRR = 2,29, 95% CI = 1,05–5,98; 15–29 lat MRR = 2,44, 95% CI = 1,07–5,24).

Na koniec należy jeszcze raz podkreślić, że z uwagi na korelacyjny charakter przedstawionych wyżej badań, ich wyniki nie upoważniają do wyciągania zbyt daleko idących wniosków o związku pomiędzy ekspozycją na radiofale emitowane przez stacje radiowe i telewizyjne a zachorowalnością na nowotwory i mogą być jedynie sygnałem do podjęcia właściwych badań epidemiologicznych typu case-control czy kohortowych.

W związku z faktem, że w chwili obecnej nie można jednoznacznie wypowiedzieć się na temat szkodliwego wpływu ekspozycji na PEM o wartościach spotykanych w środowisku komunalnym na zdrowie ludzi, pojawia się pytanie, czy tak słabe PEM w ogóle uruchamiają mechanizmy biofizyczne, które zaburzają funkcjonowanie organizmu. Odpowiedź na nie wiąże się z rozwiązaniem równań Maxwella (opisujących wszystkie oddziaływania PEM z obiektami materialnymi), co w przypadku obiektów żywych jest utrudnione ze względu na ogromne skomplikowanie struktur w których te oddziaływania zachodzą. Proste zastosowanie równań Maxwella prowadzi do wniosku, że PEM nie mogą wpływać na funkcjonowanie organizmu, ze względu na bardzo niewielkie energie, jakie mogą być w polach zgromadzone i przekazywane tkankom.

W przypadku sieciowych PEM (50/60 Hz):

■ wewnątrz ciała człowieka zewnętrzne pole elektryczne jest tłumione około 10^6 razy (32). Wynika z tego, że wewnętrzne elektryczne pola są niewielkie; dla przykładu ekspozycja na zewnętrzne sieciowe pole elektryczne o natężeniu 1 kV/m (czyli takiemu na jakie mogą być ekspozycjonowani ludzie w okolicach linii

energetycznych) powoduje powstanie w organach wewnętrznych pola o wartości 1–3 mV/m (w zależności od odległości człowieka od powierzchni uziemiających) (33), a w błonach komórkowych do 2,5 V/m (34). Takie pola można uznać za pomijalne, gdyż wykazano np., że wprawienie cząsteczek (nawet tak niewielkich jak cząsteczki wody) w ruch wirowy wymaga pola o natężeniu kilku kV/m (35), a skrócenie cząsteczki białka spowodowane przez pole elektryczne o natężeniu 2,5 V/m jest około $2 \cdot 10^{-26}$ Nm, podczas gdy endogenne skrócenie mitochondrialnej F_1 ATPazy, otrzymującej energię z hydrolizy ATP, wynosi około $4,5 \cdot 10^{-20}$ Nm (36), a także, że energia przekazywana cząsteczce enzymu o masie 10^6 i elektrycznym momencie dipolowym $3,2 \cdot 10^{-26}$ Cm poddanej działaniu pola 1 mV/m (2,5 V/m wewnątrz błony), może się wahać od $10^{-13} k_B \tau$ do $10^{-5} k_B \tau$ (k_B – stała Boltzmanna, τ – temperatura w skali Kelwina), podczas gdy najsłabsze chwilowe wiązanie związane z siłami Van der Waalsa jest około $1,62 k_B \tau$ (34). Przez wiele lat bardzo popularna była hipoteza o wywoływaniu przez pola elektryczne, indukowane w tkankach, dodatkowego potencjału na błonach komórkowych. Odpowiednio wysokie zmiany w potencjale błonowym wywołują zmiany przenikalności błony dla jonów, konformacyjne zmiany znajdujących się w niej białek, zmianę liczby otwartych kanałów jonowych. Wszystko to doprowadzić może do depolaryzacji błony, dając w rezultacie powstanie potencjału czynnościowego – stymulację. Jednak analiza danych doświadczalnych na temat wartości progowych pola, powodujących stymulację komórek pobudliwych, dokonana przez Bernhardta (37) wykazała, że dla pól o częstotliwości 60 Hz są one wyższe od około 10^3 kV/m, a więc wartości niespotykanych w praktyce higienicznej.

■ działania składowej magnetycznej długie lata ograniczały się do badania wpływu indukowanych przez nią prądów wirowych. Prądy te mogły osiągać duże wartości ze względu na sposób ich indukowania, tj. zależność wielkości prądu od szybkości zmian indukcji (prawo Faradaya), co jednak ma znaczenie tylko dla pól impulsowych:

$$j = \frac{\sigma r}{2} \frac{dB}{dt}$$

gdzie:

j – gęstość prądu (A/m^2),

σ – przewodność tkanki (S/m),

r – promień pętli prądu,

dB/dt – szybkość zmian indukcji magnetycznej,

W przypadku pól sieciowych indukowane prądy są stosunkowo niewielkie i by dzięki nim móc doprowadzić

do stymulacji tkanek pobudliwych potrzebne są pola o wartościach dużo wyższych niż te, które występują w otoczeniu linii elektroenergetycznych (37). Również bezpośrednie działanie takich pól poprzez siłę Lorentza (np. powstawanie siły elektromotorycznej w przewodnikach, powstawanie siły działającej na poruszające się naładowane cząsteczki, działanie skracające na stałe dipole magnetyczne i niesferyczne cząsteczki para- i diamagnetyczne, działanie translacyjne na stałe dipole magnetyczne i cząsteczki para- i diamagnetyczne) wymaga dużych indukcji magnetycznych, od kilkudziesięciu militesli (38). Znacznie mniejsze wartości indukcji (od kilkudziesięciu mikrotesli) wymagane są by spowodować wpływ pola magnetycznego na stany spinowe elektronów par rodników tworzonych w rozmaitych procesach biochemicznych, np. procesach enzymatycznych, co może mieć wpływ np. na procesy oksydacyjne, takie jak peroksydacja lipidów czy oksydacyjne uszkodzanie DNA (a także ich procesy naprawcze). Szczególne zainteresowanie budzą badania genotoksycznego działania sieciowych PEM (ze względu na związek takich uszkodzeń z procesem kancerogenezy). W latach 1990–2003 opublikowano 63 raporty na ten temat. Na ich podstawie trudno sformułować ostateczne wnioski – w 46% prac nie stwierdza się uszkodzeń materiału genetycznego pod wpływem ekspozycji, w 22% prac taki efekt stwierdzono, a wyniki 32% prac były niejednoznaczne. Ponieważ procesy oksydacyjne leżą u podstaw patogeny wielu z chorób związanych z ekspozycją na sieciowe pola magnetyczne, więc uzasadnione wydają się być przypuszczenia, że wpływ pola magnetycznego na pary rodników może być jednym z mechanizmów biofizycznych prowadzących do negatywnych skutków zdrowotnych. Wydaje się jednak, że przy pomocy tej hipotezy nie da się wyjaśnić zwiększonego ryzyka zachorowania na nowotwory osób mieszkających w pobliżu linii elektroenergetycznych, gdyż nie ma przesłanek teoretycznych ani dowodów doświadczalnych, że pola o indukcji 0,3–0,4 μT , mogą wpływać na kinetykę rekombinacji par rodników.

Istnieje szereg innych hipotez tłumaczących w sposób teoretyczny działanie PEM z zakresu ELF, np.:

■ transfer elektronów z jednej molekuly do innej (39–42). Jednakże i w tym przypadku, wymagane energie potrzebne do zaburzenia transferu są o wiele rzędów wyższe od energii zawartych w polach elektrycznych i magnetycznych, występujących w środowisku (43,44);

■ działanie pól magnetycznych ELF na kryształy ferromagnetyczne znajdujące się w organizmie człowieka (45–48). Analiza tego modelu wykazała, że wpływ taki

może mieć istnieć tylko w przypadku wysokich wartości pól magnetycznych (46,47,49).

Podobne problemy z identyfikacją modelu oddziaływania PEM na organizm człowieka istnieją również w przypadku pól wielkiej częstotliwości (w.cz.). Podobnie jak dla PEM sieciowych nie przypuszcza się, by było to proste działanie energetyczne. Związane jest to z faktem, że energia kwantu PEM w.cz. jest bardzo mała, np. dla PEM o częstotliwości 900 MHz wynosi 4 μeV , a dla 1,8 GHz – 7 μeV , podczas gdy do zerwania najsłabszego wiązania w cząsteczce DNA potrzebna jest energia około 1 eV. Ponieważ podobne energie potrzebne są do wywoływania uszkodzeń w innych biomolekułach, więc w zasadzie PEM w.cz. nie powinno wywoływać znaczących efektów biologicznych. Wskazuje się również na fakt, że wpływ energii PEM jest całkowicie maskowany przez energię tzw. szumu termicznego, która dla temperatury $\tau = 300^\circ\text{K}$ (temperatura ciała człowieka) jest około 26 meV. Rzeczywiście, różne rozpatrywane mechanizmy dają stosunkowo wysokie wartości progowe PEM, dla których mogą wystąpić znaczące efekty biologiczne, np. w oparciu o model dipolowy komórki (pod wpływem pola elektrycznego komórka staje się dipolem elektrycznym) wyznaczono ten próg na około 300 V/m dla PEM o częstotliwości 100 MHz, natomiast dla modelu opracowanego w oparciu o przepływ prądów przez błonę komórkową na ponad 200 V/m (50). Ze względu na elektryczny i magnetyczny charakter cząstek składowych układów biologicznych, w zmiennym PEM wykonują one ruch drgający, co może prowadzić do wydzielania ciepła na skutek tarcia (efekt termiczny). Dla niskich częstotliwości próg efektu termicznego jest znacznie wyższy od progu stymulacji komórek pobudliwych, jednakże sytuacja zmienia się w przypadku PEM w.cz. Według obecnego stanu wiedzy, w tym zakresie właśnie efekt termiczny leży u podstaw większości obserwowanych zjawisk biologicznych, przy czym należy pamiętać, że jego próg jest bardzo wysoki (szacuje się go na SAR = 4 W/kg, co odpowiada – w zależności od częstotliwości działającego PEM – wartościom gęstości mocy padającej od kilkuset do kilku tysięcy W/m² (51). Jednak pokazano, że istnieją zjawiska o podłożu termicznym, występujące przy niewielkich przyrostach temperatury, np. mikrofalowy efekt słuchowy występuje przy przyroście temperatury rzędu $5 \cdot 10^{-6}^\circ\text{C}$ (52). Z drugiej strony jednak należy zdać sobie sprawę, że parametry mikrofal powodujący ten efekt (wartość szczytowa gęstości mocy wynosi około $0,3 \cdot 10^4$ W/m², wartość średnia – 1 W/m², szerokość impulsu od 1 do 100 μs (53)) znacznie przekraczają wartości PEM emitowane przez stacje bazowe.

W związku z tym trwają intensywne prace nad opracowaniem innych modeli oddziaływania PEM w.cz. z organizmami żywymi. Można np. teoretycznie wykazać, że takie PEM mogą również działać na pary rodników. Niezbędna do przejść pomiędzy stanami spinowymi energia może być dostarczana przez promieniowanie mikrofalowe (w przypadku pól stałych i wolnozmiennych jest to energia zgromadzona w polu magnetycznym). Pochłonięcie kwantu o energii 3,9 μeV (energia kwantu promieniowania elektromagnetycznego o częstotliwości 930 MHz) jest równoważne znalezieniu się rodnika w polu magnetycznym o indukcji ponad 30 mT. O tym, że pochłanianie promieniowania mikrofalowego przez pary rodników może leżeć u podstaw zjawisk biofizycznych, świadczą doświadczenia dotyczące rezonansu magnetycznego mierzonego przez produkty rodnikowe (radical yield detected magnetic resonance, rezonans magnetyczny detektowany poziomem reakcji – RYDMR) (54). Jednakże moce promieniowania niezbędne do wywołania efektów mierzalnych są znacznie większe od tych, które występują w otoczeniu stacji bazowych, np. w naszych badaniach wykazaliśmy, że wytwarzanie reaktywnych form tlenu w limfocytach szczyrych zwiększa się pod wpływem ekspozycji na ciągłe PEM o częstotliwości 930 MHz (fala nośna sygnału telefonii komórkowej) jeżeli jego gęstość mocy wynosiła 5 W/m² (55). Inni autorzy stwierdzili występowanie uszkodzeń oksydacyjnych dla podobnych wartości pól mikrofalowych (56–58). Wynika z tego, że również w przypadku mikrofal emitowanych przez stacje bazowe, mechanizm działania na pary rodników nie może tłumaczyć obserwowanych efektów biologicznych.

Z tego co napisałem wyżej wynika, że proste energetyczne podejście do mechanizmów działania PEM nie wystarcza do wyjaśnienia zjawisk zachodzących w słabych polach środowiskowych. W związku z tym, coraz szerzej rozwija się hipotezy dotyczące tzw. mechanizmów rezonansowych, czyli rezonansowego przekazywania energii*. Do najbardziej znanych mechanizmów rezonansowych należą różne odmiany rezonansu cyklotronowego, czyli rezonansowego przekazywania cząsteczkom poruszającym się w stałym polu magnetycznym (a więc wykonującymi ruch kołowy z prędkościami kątowymi zwanymi częstotliwościami cyklotronowymi)

* Dla przypomnienia: rezonans jest to zjawisko pobudzenia układu drgającego do drgań, których amplituda i energia mogą być niewspółmiernie wielkie w stosunku do mocy czynnika wymuszającego drgania (w naszym przypadku siły Lorentza). Rezonans może wystąpić wtedy, gdy fazy ruchu wzbudzanego układu i siły wymuszającej (Lorentza) są stale ze sobą zgodne, wskutek czego siła wymuszająca wykonuje ciągle pracę nad układem.

energii zewnętrznego PEM o takiej samej częstotliwości (59–61). Modele te dotyczą zarówno pól magnetycznych z zakresu ELF jak i z zakresu w.cz. modulowanych z częstotliwościami ELF (62) i mogą obowiązywać dla bardzo słabych PEM, Blackman np. obserwował zwiększenie wpływu jonów wapnia z tkanki mózgowej kurcząt dla PEM 450 MHz dającego SAR = 0,0014 W/kg (63). Za pomocą tych modeli udało się wyjaśnić szereg obserwacji eksperymentalnych związanych z transportem jonowym (zwłaszcza Ca^{2+}) (34,64–66). Ponieważ jony wapnia odgrywają ważną rolę w działaniu neurotransmiterów, jakiegokolwiek zaburzenie ich wpływu może zaburzać działanie układu nerwowego czy immunologicznego. Niektórzy specjaliści zwracają uwagę, że częstotliwości cyklotronowe dla niektórych jonów (np. 16 Hz dla jonów wapnia) są bardzo zbliżone do częstotliwości modulacji stosowanych w systemie TETRA (17 Hz) (67), choć np. ostatnie badania eksperymentalne nie potwierdzają wpływu emitowanych przezeń PEM na zaburzenia transportu wapnia (68). Należy także podkreślić, że modele rezonansu cyklotronowego spotykają się z poważną krytyką teoretyczną. Podkreśla się, że taki ruch, jaki jest przez nie przewidywany, nie jest możliwy w gęstym, płynnym środowisku układów biologicznych, w którym dominują zderzenia. Ponadto jony w środowisku biologicznym w normalnych warunkach są uwodnione, co powinno uwzględniać się przy obliczaniu częstotliwości rezonansowej (69,70). Z kolei obliczenia teoretyczne wykonane dla modelu Zhadina i Fesenko pokazują, że, dla pól magnetycznych o wartościach indukcji występujących w środowisku człowieka, energia otrzymywana w ten sposób przez jony z pola jest tak niewielka, że aby uszkodzić nawet najsłabsze wiązanie, należałoby ją gromadzić przez całe lata (70). Przy zastosowaniu tych modeli do wyjaśniania zjawisk zachodzących w PEM należy też wziąć pod uwagę, że zachodzą one dla ściśle określonych częstotliwości, a nawet wartości PEM (tzw. okienka) (71). Do tej grupy modeli rezonansowych (złożenie pola stałego i zmiennego) należy również zjawisko magnetycznego rezonansu jądrowego (NMR) (72). Krytycy jego wykorzystania do analizy szkodliwego działania PEM wskazują na fakt, że w słabych stałych polach magnetycznych, takich jak pole ziemskie, stosunek energii dipola magnetycznego do energii cieplnej eksponowanego obiektu biologicznego jest kilka rzędów wielkości niższy niż analogiczna wielkość dla jąder wodoru, wykorzystywanych w obrazowaniu przy użyciu NMR – nie wiadomo więc, czy zjawisko to może mieć jakiegokolwiek znaczenie biologiczne. Ponadto w atomach zachodzi ono jedynie gdy

mają one niezerowy spin jądrowy. Wiele ważnych biologicznie pierwiastków, np. ^{12}C , ^{16}O , ^{56}Fe , ^{24}Mg , ^{32}S czy ^{40}Ca (ten ostatni izotop stanowi ponad 97% całego Ca występującego w przyrodzie) ma zerowy spin jądrowy, więc nie należy spodziewać się dla nich występowania mechanizmu NMR. Rezonansowe przekazywanie energii ze zmiennego PEM może występować nie tylko na skutek ruchu cząsteczek magnetycznych w stałym polu magnetycznym, ale również w warunkach, gdy PEM ma częstotliwości równe (lub zbliżone) do drgań własnych układu. Dotyczy to zarówno częstotliwości z zakresu ELF (73,74) jak i PEM w.cz. modulowanych z częstotliwością z tego zakresu, np. częstotliwość występowania szczelin czasowych w ramce w systemie GSM (217 Hz) jest zbliżona do koherentnych (spójnych) drgań elektrycznych, występujących w hipokampie szczura *in vivo* (75), a należy pamiętać, że hipokamp spełnia ważną rolę w uczeniu się, zapamiętywaniu, postrzeganiu przestrzennym i padaczkę. Wydaje się, że należy jak najszybciej zweryfikować tę hipotezę, jako że istnieje wiele prac pokazujących znaczący wpływ PEM w.cz. na funkcjonowanie hipokampa u zwierząt *in vivo* i *in vitro*, nawet przy stosunkowo niskich wartościach SAR, np. 0,325 W/kg (76) a nawet 0,0016 W/kg (77). Inny taki model został opracowany przez Fröhlicha (78). Według niego duże molekuly lub części składowe tkanek wykonują mechaniczne drgania o określonych częstotliwościach. Zadziałanie polem o takiej samej częstotliwości powoduje rezonansowe pochłanianie energii (na zasadzie podobnej do odbiornika radiowego). Niektórzy autorzy sugerują, że mechanizm ten może służyć do wyjaśnienia obserwowanego rezonansowego pochłaniania energii w roztworach DNA (79) poprzez potraktowanie DNA jako struktur polimerowych DNA (80) – późniejsze badania nie potwierdziły tego rezonansowego zachowania DNA (81).

Analizując piśmiennictwo dotyczące mechanizmów działania PEM na organizmy żywe dochodzi się do wniosku, że w chwili obecnej nie znamy żadnego co do którego mielibyśmy pewność, że prowadzi do zaburzeń funkcjonowania organizmu na skutek ekspozycji w środowiskowych polach sieciowych czy emitowanych przez obiekty nadawcze radio- i telekomunikacyjne. Jedynymi jakie spełniają te wymogi zachodząc w słabych polach są mechanizmy rezonansowe, jednak warunki, które muszą być spełnione by się włączały, tj. ściśle określone częstotliwości (wśród których nie ma np. 50 Hz), a nawet „okienkowe” wartości PEM, powodują, że bardzo trudno – o ile w ogóle jest to możliwe – zastosować je do wyjaśnienia efektów związanych z taką ekspozycją.

Na zakończenie chciałbym przypomnieć tezę, jaką postawiłem na początku moich rozważań: w chwili obecnej nie jesteśmy w stanie spełnić wymagań ustawodawcy i przedstawić w ramach raportów o oddziaływaniu przedsięwzięć na środowisko, zdecydowanych stwierdzeń o działaniu PEM emitowanych przez te przedsięwzięcia na ludzi. Mam nadzieję, że udało mi się Państwu do niej przekonać. Mimo, że w literaturze fachowej istnieje wiele doniesień na ten temat, to jednak ich krytyczny przegląd może prowadzić jedynie do wniosku, że nie ma wystarczających dowodów na uznanie PEM za szkodliwe dla zdrowia, nie ma także dowodów na twierdzenie przeciwne – że ich wpływ jest pomijalny. W szczególności można stwierdzić:

1. Pole magnetyczne występujące w otoczeniu linii elektroenergetycznych i stacji transformatorowo-rozdzielczych o częstotliwości sieciowej (50 Hz)

– jest przypuszczalnie rakotwórcze dla ludzi jeżeli jego indukcja jest większa od 0,3–0,4 μT , a ekspozycja ciągła. Dotychczas nieznanym jest mechanizm ewentualnego rakotwórczego działania i nie udało się przy użyciu takich pól wywołać nowotworów u zwierząt, co powoduje że nie zostały one zaklasyfikowane do wyższej grupy kancerogenności. Jednakże pozytywne wyniki wielu badań epidemiologicznych związku ryzyka zachorowania na nowotwory (zwłaszcza białaczki dzieci) z ekspozycją nie pozwalają na uznanie ich za nierakotwórcze;

– nie wywołuje innych, nienowotworowych skutków zdrowotnych, choć istnieją sygnały wskazujące na konieczność zbadania ich wpływu na funkcjonowanie centralnego układu nerwowego (szczególnie na wpływ ekspozycji na zwiększone ryzyko depresji).

2. Nie udowodniono, by PEM emitowane przez stacje nadawcze radiowe, telewizyjne i telefonii komórkowej czy systemu TETRA wywoływały jakiegokolwiek negatywne skutki zdrowotne u osób zamieszkujących w ich otoczeniu, nieznanym są również mechanizmy mogące takie skutki wywoływać. Istnieją jednak badania wskazujące na możliwość ich wystąpienia (dotyczy to działania kancerogennego i zaburzenia funkcjonowania centralnego układu nerwowego), w związku z czym konieczne są dalsze intensywne badania, zwłaszcza badania epidemiologiczne (kohortowe i case-control), przy prawidłowo wykonywanej ocenie ekspozycji (szacowanie wielkości PEM na podstawie pomiarów, a nie na podstawie odległości od anten).

PIŚMIENNICTWO

1. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska. DzU 2001, nr 62, poz. 627 [z późniejszymi zmianami – DzU 2005, nr 113, poz. 954]

2. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2004 r. w sprawie określenia rodzajów przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko oraz szczegółowych uwarunkowań związanych z klasyfikowaniem przedsięwzięcia do sporządzania raportu o oddziaływaniu na środowisko. DzU2004, nr 257, poz. 2573 [z późniejszymi zmianami]
3. Ahlbom A., Day N., Feychting M., Roman E., Skinner J., Dockerty J. i wsp.: A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukemia. *Br. J. Cancer*, 2000;83(5):692–698
4. Greenland S., Sheppard A.R., Kaune W.Y., Poole C., Kelsh M.A.: A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia. *Childhood Leukemia-EMF Study Group. Epidemiology*, 2000;11(6):624–634
5. Wartenberg D., Dietrich F., Golberger R., Poole C., Savitz D.: Meta-analysis of childhood cancer epidemiology. [raport końcowy nr PR-702871]. Information Ventures Inc., Philadelphia 1998
6. Savitz D.A., Checkoway H., Loomis D.P.: Magnetic field exposure and neurodegenerative disease mortality among electric utility workers. *Epidemiology*, 1998;9(4):398–404
7. Olsen J.H., Nielsen A., Schulgen G.: Residence near high voltage facilities and risk of cancer in children. *Br. Med J.*, 1993;307:891–894
8. Feychting M., Forssen U., Floderus B.: Occupational and residential magnetic field exposure and leukemia and central nervous system tumors. *Epidemiology*, 1997;8:384–389
9. Verkasalo P.K.: Magnetic fields and leukemia – Risk for adults living close to power lines. *Scand. J. Work Environ. Health*, 1996;22:1–56
10. Li C.Y., Theriault G., Lin R.S.: Residential exposure to 60-Hertz magnetic fields and adult cancers in Taiwan. *Epidemiology*, 1997;8:25–30
11. Vena J.E., Graham S., Hellmann R., Swanson M., Brasure J.: Use of electric blankets and risk of postmenopausal breast cancer. *Am. J. Epidemiol.*, 1991;134:180–185
12. Kliukiene J., Tynes T., Andersen A.: Residential and occupational exposures to 50-Hz magnetic fields and breast cancer in women: A population-based study. *Am. J. Epidemiol.*, 2004;159(9):852–861
13. Klaeboe L., Blaasaas K.G., Haldorsen T., Tynes T.: Residential and occupational exposure to 50-Hz magnetic fields and brain tumours in Norway: A population-based study. *Int. J. Cancer*, 2005;115(1):137–141
14. McLean J.R., Thansandote A., McNamee J.P., Tryphonas L., Lecuyer D., Gajda G.: A 60 Hz magnetic field does not affect the incidence of squamous cell carcinomas in SENCAR mice. *Bioelectromagnetics*, 2003;24(2):75–81
15. Overall Evaluations of Carcinogenicity to Humans Group 2B: Possibly carcinogenic to Humans [cytowany 1 grudnia 2006]. International Agency for Research on Cancer, Lion, Adres: <http://monographs.iarc.fr/EG/Classification/crthgr02b.php>.
16. Beale I.L., Pearce N.E., Conroy D.M., Henning M.A., Murrell K.A.: Psychological effects of chronic exposure to 50 Hz magnetic fields in human living near extra-high-voltage transmission lines. *Bioelectromagnetics*, 1997;18(8):584–594

17. Verkasalo P.K., Kaprio J., Varjonen J., Romanov K., Heikkila K., Koskenvuo M.: Magnetic fields of transmission lines and depression. *Am. J. Epidemiol.*, 1997;146(12):1037–1045
18. NCRP Draft Recommendations on EMF Exposure Guidelines, 1995 [cytowany 1 grudnia 2006]. *Microwave News*, New York. Adres: <http://www.microwavenews.com/ncrp1.html>
19. Wolf R., Wolf D.: Increased incidence of cancer near a cell-phone transmitter station. [cytowany 1 grudnia 2006]. *Powerwatch*, Wlk. Brytania. Adres: http://www.powerwatch.org.uk/news/20050207_israel.pdf
20. Schuz J., Bohler E., Schlehofer B., Berg G., Schlaefer K., Hettlinger I. i wsp.: Radiofrequency electromagnetic fields emitted from base stations of DECT cordless phones and the risk of glioma and meningioma (Interphone Study Group, Germany). *Radiat. Res.*, 2006;166(1 Pt 1):116–111
21. Santini R., Santini P., Danze J.M., Le Ruz P., Seigne M.: Investigation on the health of people living near mobile telephone relay stations: Incidence according to distance and sex. *Pathol. Biol. (Paris)*, 2002;50(6):369–373
22. Santini R., Santini P., Danze J.M., Le Ruz P., Seigne M.: Symptoms experienced by people in vicinity of base stations: II/ Incidences of age, duration of exposure, location of subjects in relation to the antennas and other electromagnetic factors. *Pathol. Biol. (Paris)*, 2003;51(7):412–415
23. Navarro E.A., Segura J., Portolés M., Gómez-Perretta de Mateo C.: The microwave syndrome: a preliminary study in Spain. *Electromagnetic Biol. Med.*, 2003;22(2):161–169
24. Oberfeld G., Navarro A.E., Portoles M., Maestu C., Gomez-Perretta C.: The microwave syndrome – further aspects of a Spanish study. *Proceedings of the 3rd International Workshop on Biological Effects of EMFs*; 4–8 października 2004; Kos, Grecja, ss. 728–735
25. Hutter H.P., Moshammer H., Kundi M.: Mobile telephone base-stations: Effects on health and wellbeing. *Proceedings of the 2nd International Workshop on Biological Effects of PEMs*; 7–11 października 2002, Rodos, Grecja, ss. 344–352
26. Dolk H., Shaddick G., Walls P., Grundy C., Thakrar B., Kleinschmidt I. i wsp.: Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. I. Sutton Coldfield transmitter. *Am. J. Epidemiol.*, 1997;145(1):1–9
27. Dolk H., Elliott P., Shaddick G., Walls P., Thakrar B.: Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. II. All high power transmitters. *Am. J. Epidemiol.*, 1997;145(1):10–17
28. Hallberg O., Johansson O.: Melanoma incidence and frequency modulation (FM) broadcasting. *Arch. Environ. Health*, 2002;57(1):32–40
29. Hocking B., Gordon I.R., Grain H.L., Hatfield G.E.: Cancer incidence and mortality and proximity to TV towers. *Med. J. Aust.*, 1996;165(11–12):601–60 [errata: *Med. J. Aust.*, 1997;166(2):80]
30. Hocking B., Gordon I.: Decreased survival for childhood leukemia in proximity to television towers. *Arch. Environ. Health*, 2003;58(9):560–564
31. Park S.K., Ha M., Im H.J.: Ecological study on residences in the vicinity of AM radio broadcasting towers and cancer death: preliminary observations in Korea. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, 2004;77(6):387–394
32. Kaune W.T., Phillips R.D.: Comparison of the coupling of grounded humans, swine, and rats to vertical 60-Hz electric fields. *Bioelectromagnetics*, 1980;1:117–130
33. Dawson T.W., Caputa K., Stuchly M.A.: Influence of human model resolution on computed currents induced in organs by 60-Hz magnetic fields. *Bioelectromagnetics*, 1997;18(7):478–490
34. Portier C.J., Wolfe M.S. [red.]: *Assessment of Health Effects from Exposure to Power-Line Frequency Electric and Magnetic Fields*. NIEHS Working Group Report NIH No. 98-3981. National Institute of Environmental Health Sciences, Research Triangle Park 1998
35. Pohl H.A.: Cellular spin resonance, a new method for determining the dielectric properties of living cells. *Int. J. Quantum Chem.*, 1983;10:161
36. Noji H., Yasuda R., Yoshida M., Kinoshita K.: Direct observation of the rotation of F_1 -ATPase. *Nature*, 1997;386:299–302
37. Bernhardt J.H.: The establishment of frequency dependent limits for electric and magnetic fields and evaluation of indirect effects. *Radiat. Environ. Biophys.*, 1988;27:1–27
38. *Magnetic Fields. Environmental Health Criteria 69*. World Health Organization, Geneva, 1987
39. Blank M.: Na, K-ATPase function in alternating electric fields. *FASEB J.*, 1992;6:2434–2438
40. Blank M., Soo L., Papstein V.: Effects of low frequency magnetic fields on Na, K-ATPase activity. *Bioelectrochem. Bioenergetics*, 1995;38:267–273
41. Derenyi I., Astumian R.D.: Spontaneous onset of coherence and energy storage by membrane transporters in an RLC electric circuit. *Phys. Rev. Lett.*, 1998;80:4602–4605
42. Polk C.: Can static magnetic fields affect proton and electron transfer within the inner mitochondrial membrane? W: *The Annual Review of Research on Biological Effects of Electric and Magnetic Fields from the Generation, Delivery & Use of Electricity*, San Diego (California), 1997, ss. 9–13
43. Arkin M.R., Stemp E.D.A., Holmlin R.E., Barton J.K., Hormann A., Olson E.C. i wsp.: Rates of DNA-mediated electron transfer between metallonintercalators. *Science*, 1996;273:475–480
44. Stemp E.D.A., Arkin M.R., Barton J.K.: Electron transfer between metallointercalators bound to DNA: Spectral identification of the transient intermediate. *J. Am. Chem. Soc.*, 1995;117:2375–2376
45. Kirschvink J.L., Kobayasi-Kirschvink A., Diaz-Ricci J.C., Kirschvink S.J.: Magnetite in human tissues: A mechanism for the biological effects of weak ELF magnetic fields. *Bioelectromag (Supl.)*, 1992;1:101–113
46. Vaughan T.E., Weaver J.C.: Energetic constraints on the creation of cell membrane pores by magnetic particles. *Biophys. J.*, 1996;71:616–622
47. Vaughan T.E., Weaver J.C.: Molecular change due to biomagnetic stimulation and transient magnetic fields: Mechanical interference constraints on possible effects by cell membrane pore creation via magnetic particles. *Bioelectrochem. Bioenergetics*, 1998;46:121–128
48. Polk C.: Effects of extremely-low frequency magnetic fields on biological magnetite. *Bioelectromagnetics*, 1994;15:261–270

49. Adair R.K.: Effect of ELF magnetic fields on biological magnetite. *Bioelectromagnetics*, 1993;14:1–4
50. Adair R.K.: Effects of weak high-frequency electromagnetic fields on biological systems. W: Klauenberg B.J., Grandolfo M., Erwin D.N. [red.]: *Radiofrequency Radiation Standards*. Plenum Press, New York 1994, s. 207
51. *Electromagnetic Fields (300 Hz to 300 GHz)*. Environmental Health Criteria No. 137. World Health Organization, Geneva 1993
52. Guy A.W., Chou C.K., Lin J.C., Christensen D.: Microwave-induced effects in mammalian auditory systems and physical materials. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1975;247:194–218
53. Lin J.C.: The microwave auditory phenomenon. *Proc. IEEE*, 1980;68(1):67–72
54. McLauchlan K.A., Natrass S.R.: Experimental studies of the spin-correlated radical pair in micellar and microemulsion media; MARY, RYDMR B₀ and RYDMR B₁ spectra. *Mol. Phys.*, 1988;65(6):1483–1503
55. Zmysłony M., Politanski P., Rajkowska E., Szymczak W., Jajte J.: Acute exposure to 930 MHz CW electromagnetic radiation *in vitro* affects reactive oxygen species level in rat lymphocytes treated by iron ions. *Bioelectromagnetics*, 2004;25(5):324–328
56. Lai H., Singh N.P.: Acute low-intensity microwave exposure increases DNA single-strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromagnetics*, 1995;16(3):207–210
57. Philips J.L., Ivaschuk O., Ishida-Jones T., Jones R., Campbell-Beachler M., Haggren W.: DNA damage in Molt-4 T-lymphoblastoid cells exposed to cellular telephone radiofrequency field *in vitro*. *Bioelectroch. Bioener.*, 1998;45:103–110
58. Sarkar S., Ali S., Behari J.: Effect of low power microwave on the mouse genome: A direct DNA analysis. *Mutat. Res.*, 1994;320:141–147
59. Liboff A.R.: Geomagnetic cyclotron resonance in living cells. *J. Biol. Phys.*, 1985;13:99–104
60. Lednev V.V.: Possible mechanism for the influence of weak magnetic fields on biological systems. *Bioelectromagnetics*, 1991;12:71–75
61. Zhadin M.N., Fesenko E.E.: Ion cyclotron resonance in biomolecules. *Biomed. Sci.*, 1990;1:245–250
62. Bawin S.M., Kaczmarek L.K., Adey W.R.: Effects of modulated VHF fields on the central nervous system. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1975;247:74–81
63. Blackman C.F., Elder J.A., Weil C.M., Benane S.G., Eichinger D.C., House D.E.: Induction of calcium-ion efflux from brain tissue by radio-frequency radiation: Effects of modulation frequency and field strength. *Radio Sci.*, 1979;14(6S):93–98
64. Liboff A.R., Rozek R.J., Sherman M.L., McLeod B.R., Smith S.D.: ⁴⁵Ca⁺⁺ cyclotron resonance in human lymphocytes. *J. Bioelectr.*, 1987;6:13–22
65. Smith S.D., McLeod B.R., Liboff A.R., Cooksey K.: Calcium cyclotron resonance and diatom mobility. *Bioelectromagnetics*, 1987;8(3):215–227
66. Shuvalova L.A., Ostrovskaja M.V., Sosunov E.A., Lednev V.V.: The effect of a weak magnetic field in the paramagnetic resonance mode on the rate of the calmodulin-dependent phosphorylation of myosin in solution. *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, 1991;317(1):227–230
67. Hyland G.J.: Potential adverse health impacts of mobile telephony. Memorandum, 2000 [cytowany 1 grudnia 2006]. The Swedish Association for the ElectroSensitive, Sztokholm. Adres: <http://www.feb.se/EMFguru/EMF/hyland/hyland.htm>
68. Green A.C., Scott I.R., Gwyther R.J., Peyman A., Chadwick P., Chen X. i wsp.: An investigation of the effects of TETRA RF fields on intracellular calcium in neurons and cardiac myocytes. *Int. J. Radiat. Biol.*, 2005;81(12):869–885
69. Adair R.K.: Criticism of Lednev's mechanism for the influence of weak magnetic fields on biological systems. *Bioelectromagnetics*, 1992;13:231–235
70. Polk C.: Dosimetric extrapolation of extremely-low frequency electric and magnetic fields across biological systems. *Bioelectromagnetic (Supl.)*, 1992;1:205–208
71. Blackman C.F., Kinney L.S., House D.E., Joines W.T.: Multiple power-density windows and their possible origin. *Bioelectromagnetics*, 1989;10(2):115–128
72. Blackman C.F., Benane S.G., Elliot D.J., House D.E., Pollock M.M.: Influence of electromagnetic fields on the efflux of calcium ions from brain tissue *in vitro*: A three-model analysis consistent with the frequency response up to 510 Hz. *Bioelectromagnetics*, 1988;9:535–547
73. Sevcikova H., Marek M., Muller S.C.: The reversal and splitting of waves in an excitable medium caused by an electrical field. *Science*, 1992;257:951–954
74. Wachtel H.: Firing-pattern changes and transmembrane currents produced by extremely low frequency fields in pacemaker neuron. Hanford Life Sciences Symposium, 18th Annual Meeting, 16–18 października 1978, Richland, USA
75. Clifford K.J., Joyner K.H., Stroud D.B., Wood M., Ward B., Fernandez C.H.: Mobile telephones interfere with medical electrical equipment. *Aust. Phys. Eng. Sci. Med.*, 1994;17(1):23–27
76. Testylier G., Tonduli L., Malabiau R., Debouzy J.C.: Effects of exposure to low level radiofrequency fields on acetylcholine release in hippocampus of freely moving rats. *Bioelectromagnetics*, 2002;23(4):249–55
77. Tattersall J.E., Scott I.R., Wood S.J., Nettell J.J., Bevir M.K., Wang Z. i wsp.: Effects of low intensity radiofrequency electromagnetic fields on electrical activity in rat hippocampal slices. *Brain Res.*, 2001;904(1):43–53
78. Fröhlich H.: The biological effects of microwaves and related questions. *Adv. Electron. Electron. Phys.*, 1980;53:85–152
79. Edwards G.S., Davis C.C., Saffer J.D., Swicord M.L.: Microwave-field-driven acoustic modes in DNA. *Biophys. J.*, 1985;47(6):799–807
80. Van Zandt L.L.: Resonant microwave absorption by dissolved DNA. *Phys. Rev. Lett.*, 1986;57(16): 2085–2087
81. Foster K.R., Epstein B.R., Gealt M.A.: „Resonances” in the dielectric absorption of DNA. *Biophys. J.*, 1987;52(3): 421–425