

Stanisław Szmigielski

Elżbieta Sobiczewska

## RYZIKO CHOROŃ NOWOTWOROWYCH W WARUNKACH NARAŻENIA NA POLA RADIO- I MIKROFALOWE — BADANIA EPIDEMIOLOGICZNE

RISK OF NEOPLASTIC DISEASES IN CONDITIONS OF EXPOSURE TO RADIO- AND MICROWAVE FIELDS — EPIDEMIOLOGIC INVESTIGATIONS

Wojskowy Instytut Higieny i Epidemiologii, Warszawa  
Zakład Ochrony Mikrofalowej

### STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono aktualne poglądy na temat ryzyka zachorowania na nowotwory u osób narażonych na działanie promieniowania radio- lub mikrofalowego w środowisku lub na stanowiskach pracy. Zagadnienie zachorowalności na nowotwory u osób narażonych na mikrofałe było przez wiele lat przedmiotem zainteresowania medycyny pracy, ale wprowadzenie w latach 80. XX wieku systemów telefonii komórkowej znacznie zwiększyło liczbę osób narażonych na to promieniowanie i spowodowało obawy o ryzyko chorób nowotworowych u użytkowników telefonów. Ryzyko nowotworowe mikrofał jest niewielkie i niepewne, ale istnieją wiarygodne badania epidemiologiczne, że wieloletnia ekspozycja na stanowiskach pracy oraz intensywne użytkowanie telefonu komórkowego przez więcej niż 10 lat może skutkować zwiększoną zachorowalnością na niektóre rodzaje nowotworów, przede wszystkim na guzy mózgu i nowotwory układu krwiotwórczego i limfatycznego. Aktualny stan wiedzy nie pozwala jednak na zakwalifikowanie pól radio- i mikrofalowych jako czynnika nowotworowego według klasyfikacji IARC. Med. Pr. 2009;60(5):389–398

Słowa kluczowe: pola mikrofalowe, nowotwory, epidemiologia

### ABSTRACT

The review presents current state of knowledge of cancer morbidity in persons exposed to radio- or microwave radiation in the environment or at working posts. The problem of cancer morbidity in persons exposed to microwaves was for many years limited to occupational medicine, but the introduction of mobile telephone system in the 1980s considerably increased the number of persons exposed to this radiation and raised concerns about cancer risks in the users of mobile phones. Cancer risks of microwaves are minor and doubtful, but there exist reliable epidemiologic investigations providing evidence that multiyear occupational exposure and intensive use of mobile phones for more than 10 years may cause the increased morbidity of certain types of neoplasms, mainly brain tumors, as well as hematopoietic and lymphatic malignancies. Nevertheless current state of knowledge does not allow, according to the IARC classification, to classify radio- and microwave fields as the carcinogenic factor. Med Pr 2009;60(5):389–398

Key words: microwave fields, neoplasms, epidemiology

Adres autorów: Zakład Ochrony Mikrofalowej, Wojskowy Instytut Higieny i Epidemiologii,  
ul. Kozielska 4, 01-163 Warszawa, e-mail: szmigielski@wihe.waw.pl

Nadesłano: 16 marca 2009

Zatwierdzono: 9 czerwca 2009

### WPROWADZENIE

Zwiększone ryzyko zachorowania na nowotwory w warunkach narażenia na pola radio- (RF) i mikrofalowe (MF) jest od dawna przedmiotem badań specjalistów i wielu kontrowersji. Pierwsze informacje na ten temat pojawiły się już w latach 60. Dotyczyły one białaczek, które miały rozwijać się u myszy poddanych ekspozycji w dość silnych polach MF (2450 MHz) (1). Nie określono jednak jeszcze charakteru tych „białaczek” ani zależności rozwoju zespołu chorobowego od wielkości i charakteru ekspozycji na pola MF.

W latach 70. Guy i wsp. (2) przeprowadzili cykl doświadczeń na szczurach poddanych ciągłej ekspozycji

w polach MF 2450 MHz o stosunkowo niewielkich natężeniach (23 godziny na dobę przez całe życie). Autorzy stwierdzili, że liczba nowotworów u starzejących się zwierząt była wyższa niż u kontrolnych (opromienianych pozornie), ale nie znaleźli jakiegось konkretnego typu czy lokalizacji narządowej nowotworu, które można by wiązać przyczynowo z narażeniem na MF (2).

Z kolei na początku lat 80. ukazał się cykl prac doświadczalnych, w których stwierdzono, że u myszy poddanych działaniu uznanego związku onkogenego (smarowanie skóry roztworem 3,4- $\alpha$ -benzopirenu) kilkutygodniowa ekspozycja na dość silne pola MF znacznie przyspieszała rozwój indukowanego raka skóry

(guzy pojawiały się wcześniej i były większe niż u zwierząt kontrolnych) (3).

Wszystkie wspomniane wyżej badania zapoczątkowały cykl badań doświadczalnych z lat 1980–2000, w których na różnych układach (komórki, hodowle komórek, zwierzęta doświadczalne) i w różnych warunkach ekspozycji (ciągłe i modulowane impulsowo pola RF i MF o różnym, na ogół niewielkim natężeniu) próbowano ocenić możliwość zwiększonego ryzyka nowotworów (4). Żadna z kilkudziesięciu prac opublikowanych w tym okresie nie dostarczyła przekonujących dowodów na działanie onkogenne pól RF i MF, ale szereg doświadczeń wskazywał na możliwość działania promocyjnego i/lub ko-karcinogenego (ale nie inicjującego) pól RF/MF. Za taką możliwością przemawiał brak działania genotoksycznego w różnych układach *in vitro* lub *in vivo*, ale równocześnie zmiana aktywności niektórych enzymów istotnych dla procesu onkogenezy czy zwiększony odsetek stransformowanych komórek indukowanych promieniowaniem jonizującym po następczej ekspozycji komórek w impulsowym polu MF (4).

W tym okresie pojawiły się pierwsze badania epidemiologiczne nad ryzykiem nowotworowym. Początkowo przeprowadzano je u osób narażonych na silne pola MF na stanowiskach pracy, np. badania personelu wojskowego USA z okresu wojny koreańskiej narażonych na działanie promieniowania radarowego czy analiza zachorowalności personelu firmy Boeing narażonego na takie samo promieniowanie. Wkrótce badania zaczęły dotyczyć również ludności zamieszkałej w pobliżu wojskowych baz radarowych lub silnych stacji nadawczych radia i telewizji (4). Niektóre z tych badań wskazywały na nieznacznie zwiększone ryzyko zachorowalności na nowotwory u osób narażonych przez wiele lat na działanie pól RF/MF o niewielkim natężeniu, ale ponieważ w każdym z tych badań można było wskazać bardziej czy mniej istotne błędy metodyczne (głównie niedostateczną znajomość warunków ekspozycji i dozy ekspozycyjnej, brak odpowiednich grup kontrolnych i porównawczych i/lub niepełną dokumentację zachorowań), nie zostały one uznane przez specjalistów za w pełni wiarygodne.

Sprawa ryzyka nowotworowego związanego z ekspozycją na pola RF/MF nabrała zupełnie nowego wymiaru wraz z upowszechnieniem się w połowie lat 90. systemów telefonii komórkowej i możliwymi skutkami narażenia ludności na promieniowanie stacji bazowych i użytkowników telefonów na znacznie silniejsze promieniowanie z anten tych urządzeń (5).

Dużo emocji i niepokojów społecznych budzi sprawa potencjalnego związku użytkowania telefonów komórkowych z zachorowaniem na nowotwory złośliwe, przede wszystkim na nowotwory mózgu. Od wielu lat w różnych krajach (głównie w USA) opisywane są przypadki względnie młodych osób (w wieku 35–50 lat), które zachorowały na różne postaci nowotworów mózgu i uważają, że przyczyną ich choroby było intensywne korzystanie z telefonów komórkowych przez dość długi okres. Niektóre z tych przypadków były nawet przedmiotem postępowania sądowego o ustalenie związku przyczynowego i przyznanie odszkodowania. Mimo szczegółowej analizy argumentów i dostępnych danych naukowych na temat oddziaływania promieniowania mikrofalowego na stan zdrowia oraz mimo zaangażowania uznanych ekspertów naukowych nie udało się dotychczas w żadnym przypadku nie tylko potwierdzić związku przyczynowego między zachorowaniem a użytkowaniem telefonu komórkowego, ale nawet uznać takiego związku za możliwy.

Również wykonane dotychczas badania epidemiologiczne dużych grup (kilkanaście tysięcy) użytkowników telefonów komórkowych w USA, Szwecji i różnych krajach europejskich nie wykazały zwiększenia ryzyka zachorowania na nowotwory mózgu. W Europie kilkanaście krajów współpracuje w ramach kilkuletniego międzynarodowego programu badania epidemiologicznego częstości zachorowań na nowotwory głowy i szyi u użytkowników telefonów komórkowych „Interphone”, koordynowanego przez Międzynarodową Agencję Badań nad Rakiem (International Agency for Research on Cancer — IARC) we Lyonie (6). Obecnie program ten dobiega końca i dotychczasowe wyniki nie wskazują na zwiększoną częstość zachorowania na nowotwory. Telefony komórkowe są jednak stosunkowo nową zdobyczą cywilizacji, stąd okres ich użytkowania przez poszczególne osoby może być jeszcze zbyt krótki dla uwidocznienia się ewentualnego ryzyka zachorowania na nowotwory. Z tego powodu badania epidemiologiczne użytkowników telefonów są kontynuowane w celu uzyskania pełniejszych informacji.

## **OCENA WIARYGODNOŚCI WYNIKÓW BADAŃ DOŚWIADCZALNYCH I EPIDEMIOLOGICZNYCH**

W dostępnej specjalistycznej literaturze naukowej tylko w ostatnim 20-leciu opublikowano ponad 120 oryginalnych publikacji badań doświadczalnych i epidemiologicznych, a jeszcze więcej prac przeglądowych i polemicznych na temat potencjalnego związku ekspozycji

na pola RF/MF z rozwojem nowotworów i ryzykiem zachorowania na nowotwory złośliwe (4,5). Prace te są publikowane w czasopismach o różnym prestiżu, czasem tylko przedstawiane na specjalistycznych zjazdach i sympozjach naukowych, według oceny specjalistów mają bardzo różną wartość merytoryczną. W ostatnich miesiącach udowodniono nawet, że 2 prace doświadczone, poświęcone efektowi genotoksycznego promieniowania telefonii komórkowej i opublikowane w latach 2005–2006, oparte były na nieprawdziwych

wynikach. W tej sytuacji konieczna jest nie tylko krytyczna weryfikacja poszczególnych prac, ale również opracowanie jakiegoś systemu oceny wiarygodności wyników badań. Jeden z takich systemów przedstawiono w tabeli 1.

Istnieje kilka parametrów ważnych dla oceny wyników badań i siły związku między badanym czynnikiem (ekspozycją na pola RF/MF a badanym efektem — ryzykiem nowotworowym). Do najważniejszych parametrów należą:

**Tabela 1.** Kryteria oceny wyników badań doświadczalnych i epidemiologicznych  
**Table 1.** Criteria for evaluation of experimental and epidemiological studies

Klasa	Siła dowodu zależności (związku przyczynowego)	Kryteria oceny siły dowodu
5	Wystarczający dowód zależności	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Statystyczny dowód wzrostu ryzyka ze wzrostem wielkości narażenia</li> <li>2. Miarodajna ocena narażenia z pomiarem ekspozycji każdego badanego i znajomością dozy ekspozycyjnej</li> <li>3. Okres latencji (czasu ekspozycji) zgodny z etiologią badanej choroby</li> <li>4. Uwzględnienie wszystkich czynników zakłócających (confounders)</li> <li>5. Warunki ekspozycji zgodne z realnymi zagrożeniami</li> </ol>
4	Niepełny dowód zależności	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Statystyczny dowód wzrostu ryzyka ze wzrostem wielkości narażenia</li> <li>2. Ocena narażenia z pomiarem ekspozycji badanej populacji i szacowaniem dozy ekspozycyjnej</li> <li>3. Okres latencji zbliżony, ale nie w pełni zgodny z etiologią badanej choroby</li> <li>4. Uwzględnienie większości czynników zakłócających (confounders)</li> <li>5. Warunki ekspozycji zbliżone do realnych zagrożeń</li> </ol>
3	Ograniczony dowód zależności	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Statystyczny dowód wzrostu ryzyka niezwiązany ze wzrostem wielkości narażenia</li> <li>2. Ocena narażenia z pomiarem ekspozycji badanej populacji bez znajomości dozy ekspozycyjnej</li> <li>3. Okres latencji nie w pełni zgodny z etiologią badanej choroby</li> <li>4. Niepełne uwzględnienie czynników zakłócających (confounders)</li> <li>5. Warunki ekspozycji nie w pełni zgodne z realnymi zagrożeniami</li> </ol>
2	Bardzo ograniczony dowód zależności	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Wzrost ryzyka niewielki, często nie w pełni potwierdzony statystycznie, niezwiązany ze wzrostem wielkości narażenia</li> <li>2. Ocena narażenia z pomiarem ekspozycji badanej populacji, doza ekspozycyjna niepełna lub nieznana</li> <li>3. Okres latencji nie w pełni zgodny z etiologią badanej choroby</li> <li>4. Niepełne uwzględnienie czynników zakłócających (confounders)</li> <li>5. Warunki ekspozycji nie w pełni zgodne z realnymi zagrożeniami</li> </ol>
1	Niedostateczny dowód zależności	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Wzrost ryzyka niewielki, często nie w pełni potwierdzony statystycznie, niezwiązany ze wzrostem wielkości narażenia</li> <li>2. Ocena narażenia szacowana na podstawie pomiarów lub historii narażenia</li> <li>3. Okres latencji nie w pełni zgodny z etiologią badanej choroby</li> <li>4. Brak lub niepełne uwzględnienie czynników zakłócających (confounders)</li> <li>5. Warunki ekspozycji nie w pełni zgodne z realnymi zagrożeniami</li> </ol>
0	Nieprzekonujący dowód zależności	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Wzrost ryzyka niewielki, niepotwierdzony statystycznie</li> <li>2. Ocena narażenia niepewna, szacowana na podstawie pomiarów lub historii narażenia</li> <li>3. Okres latencji nie w pełni zgodny z etiologią badanej choroby</li> <li>4. Brak lub niepełne uwzględnienie czynników zakłócających (confounders)</li> <li>5. Warunki ekspozycji nie w pełni zgodne z realnymi zagrożeniami</li> </ol>

- dowód wzrostu ryzyka potwierdzony znamiennością statystyczną, ponadto wzrost powinien korelować z wielkością narażenia;
- miarodajna ocena narażenia z pomiarem ekspozycji każdego badanego i znajomością dozy ekspozycyjnej każdego badanego, a przynajmniej badanej populacji;
- okres latencji (czas ekspozycji) powinien być zgodny z etiologią badanej choroby i w przypadku choroby nowotworowej wynosić kilka–kilkanaście lat, a u zwierząt doświadczalnych co najmniej kilka miesięcy;
- uwzględnienie wszystkich możliwych czynników zakłócających skutki ekspozycji w polach RF/MF (confounders), w tym interakcję innych potencjal-

**Tabela 2.** Badania epidemiologiczne ryzyka zachorowania na nowotwory u ludności narażonej na pola RF/MF w środowisku  
**Table 2.** Epidemiological studies on cancer morbidity in people exposed to RF/MW radiation

Przedmiot badania	Populacja	Ekspozycja na pola RF/MF	Uzyskany wynik	Siła asocjacji	Piśmiennictwo
Nowotwory układu krwiotwórczego i mózgu u mieszkańców San Francisco (USA)	51 przypadków białaczek, 37 mięsaków limfatycznych i 35 guzów mózgu u osób dorosłych	odległość od stacji nadawczych (Sutro Tower); dane z rejestru zachorowań	nieznamienny wzrost zachorowań na białaczki (OR = 1,16) i mięsaki limfatyczne (OR = 1,17), brak zmian w zachorowaniach na guzy mózgu	1	(9)
Białaczki u dzieci zamieszkałych na Hawajach (USA)	12 przypadków białaczki i 48 przypadki porównawcze u dzieci z rejonu Waianae	odległość od silnych stacji nadawczych w promieniu 2,6 km	znamienne zwiększone ryzyko w bliskiej odległości od stacji, nieznamienny wzrost w dalszej odległości	2	(10)
Zachorowalność i umieralność na białaczki i guzy mózgu w Australii	740 guzów mózgu i 1206 białaczek u dorosłych oraz 64 guzów mózgu i 134 białaczek u dzieci	odległość od kompleksu stacji nadawczych w promieniu 4 km	znamienne zwiększone ryzyko w bliskiej odległości od stacji, nieznamienny wzrost w dalszej odległości	3	(11)
Zachorowalność na różne nowotwory w Wielkiej Brytanii	badanie zachorowalności w populacji 408 000 osób zamieszkałych wokół silnej stacji nadawczej (Sutton Coldfield)	odległość od stacji w promieniu 10 km	nieznacznie zwiększone ryzyko zachorowania na różne rodzaje nowotworów (OR = 1,09) w odległości 2–10 km od stacji	2	(12)
Zachorowalność na różne nowotwory w Wielkiej Brytanii	badanie zachorowalności w populacji 3 400 000 osób zamieszkałych wokół 10 silnych stacji nadawczych w Wielkiej Brytanii	odległość od wszystkich stacji w promieniu 10 km	nieznacznie zwiększone ryzyko zachorowania na różne rodzaje nowotworów (OR = 1,09) w odległości 2–10 km od stacji	2	(13)
Zachorowalność na białaczki u dzieci i dorosłych we Włoszech	badanie zachorowalności u około 50 000 dorosłych i 10 000 dzieci zamieszkałych wokół kompleksu stacji nadawczych radia „Watykan” koło Rzymu	odległość od kompleksu stacji w promieniu 10 km	znamienność wzrost liczby zachorowań u dzieci (OR = 2,2), nieznamienny wzrost u dorosłych	2	(14)
Zachorowalność na różne nowotwory u dorosłych i dzieci w Korei Płd.	Badanie zachorowalności na nowotwory u ludności zamieszkałej wokół 42 nadajników fal radiowych AM (11 silnych: 100–1500 kW i 31 słabszych: < 100 kW)	odległość od stacji w promieniu 2 km	brak zwiększonego ryzyka zachorowań u dzieci, nieznamienny wzrost u dorosłych	2	(15)
Zachorowalność na różne nowotwory w Niemczech	badania zachorowalności na nowotwory u ludności zamieszkałej wokół różnych stacji nadawczych w Niemczech — metaanaliza	odległość od stacji nadawczych	brak zwiększonego ryzyka zachorowań u dzieci i dorosłych	3	(16)

**Tabela 3.** Badania epidemiologiczne ryzyka nowotworowego u użytkowników telefonów komórkowych w latach 1996–2007  
**Table 3.** Epidemiological studies on cancer risks in users of mobile phones

Okres, w jakim ukazała się publikacja	Publikacje (n)			Typ badania	Wynik badania	Siła asocjacji
	ogółem	pozytywne	negatywne			
1996–1999	3	1	2	analiza przypadków–kontrola (case–control) oparta na rejestrach lub kartach szpitalnych	brak zwiększonej zachorowalności na guzy mózgu z wyjątkiem nowotworów po stronie przykładania telefonu u osób używających go > 10 lat	1–2
2000–2002	10	3	7		brak zwiększonej zachorowalności na guzy mózgu z wyjątkiem nowotworów po stronie przykładania telefonu u osób używających go > 10 lat	1–2
2002–2008*	14	4	10	analiza przypadków–kontrola (case–control) według ujednoliconej metody	brak zwiększonej zachorowalności na guzy mózgu, ale możliwość zwiększonego ryzyka glejaków i oponiaków u osób używających telefony komórkowe > 10 lat i możliwości interakcji z innymi czynnikami onkogenными środowiska	3–4
Razem	27	8	19			2–3

\* W tym: międzynarodowe badanie „Interphone”, koordynowane przez IARC z udziałem Australii, Danii, Finlandii, Francji, Izraela, Japonii, Kanady, Niemiec, Norwegii, Nowej Zelandii, Szwecji, Wielkiej Brytanii i Włoch; 12 publikacji cząstkowych w latach 2005–2007.

nych czynników onkogenych i przewlekłych sytuacji stresowych;

- warunki ekspozycji powinny być zgodne z realnymi zagrożeniami (natężeniem i dawką RF/MF w realnych warunkach ekspozycji).

Analiza opublikowanych prac (tab. 2 i 3) wskazuje, że w dostępnej literaturze nie ma publikacji, których wyniki w sposób przekonujący wskazywałyby na zwiększone ryzyko zachorowania na nowotwory w warunkach długotrwałej ekspozycji na pola RF/MF (5–4 — wystarczająca lub niepełny dowód zależności). W zdecydowanej większości przedstawione dowody można określić w tej skali jako 1–3 (niedostateczny, bardzo ograniczony lub ograniczony dowód zależności).

Ta zależność wynika przede wszystkim z tego, że prawie wszystkie badania epidemiologiczne oparte są na niepełnej znajomości wielkości i warunków ekspozycji na pola RF/MF, a w wielu przypadkach ocena ekspozycji oparta jest na odległości od źródła emisji fal RF/MF (anten stacji nadawczych radia i TV, anten radarowych czy anten stacji bazowych) (tab. 2). Innymi, częstymi zarzutami w stosunku do badań epidemiologicznych jest zbyt krótki okres obserwacji (w przypadku nowotworów powinien wynosić kilka–kilkanaście lat) oraz nieuwzględnienie wszystkich możliwych czynników zakłócających skutki ekspozycji w polach RF/MF, szczególnie potencjalnych czynników onkogenych (użytki, nałogi, błędy dietetyczne) zależnych od badanych osób.

Warto w tym miejscu podkreślić, że niska wiarygodność dotyczy nie tylko tych badań, w których stwierdza się zwiększone ryzyko nowotworowe, ale i tych, w których takie zjawisko jest nieobecne. Udowodnienie braku ryzyka nowotworowego wymaga spełnienia tych samych kryteriów co udowodnienie istnienia ryzyka i dlatego prace „negatywne” też mogą być oceniane w omawianej skali arbitralnej (tab. 1), również nie wyżej niż 1–3 (niedostateczny, bardzo ograniczony lub ograniczony dowód braku zależności).

## **RYZYKO NOWOTWOROWE W WARUNKACH NARAŻENIA NA POLA RF/MF W ŚRODOWISKU I ŻYCIU CODZIENNYM**

W środowisku nie ma już miejsc wolnych od pól elektromagnetycznych, w tym i pól RF/MF, które towarzyszą nam wszędzie, choć ich natężenie może być bardzo różne (tab. 4). Szczęśliwie natężenie pól RF/MF w środowisku jest nadal bardzo niewielkie i o kilka rzędów wielkości mniejsze niż u pracowników zatrudnionych w zasięgu tych pól. Pracownicy zatrudnieni w zasięgu pól RF/MF są często przedmiotem badań lekarskich i epidemiologicznych ukierunkowanych na ewentualne zagrożenie stanu ich zdrowia.

Wieloletnia praca w zasięgu pól RF i MF może być „nerwicorodna”, ale charakter reakcji organizmu nie różni się od reakcji na inne czynniki stresowe, tyle że objawy (zmiany czynnościowe) występują u większej

**Tabela 4.** Średnie i maksymalne poziomy ekspozycji na pola RF/MF w różnych warunkach  
**Table 4.** Mean and maximal RF/MW exposure levels in different conditions

Typ ekspozycji	Średni poziom ekspozycji [W/m <sup>2</sup> ]	Maksymalny poziom ekspozycji [W/m <sup>2</sup> ]	Dopuszczalny poziom ekspozycji dla ludności [W/m <sup>2</sup> ]
Środowiskowa	0,001–0,05	0,05–0,10	0,10
Stacje bazowe GSM (900 MHz)	0,0005–0,01	0,02–0,03	–
Telefony komórkowe (w pobliżu anteny)	0,10–0,50	0,5–3,0	–
Zawodowa (pracownicy w polach EM)	0,50–10,00	10,0–100,0	wg oddzielnych przepisów

liczby osób pracujących w polach niż w grupach kontrolnych, przebywających poza zasięgiem tych pól. Praca w zasięgu pól RF i MF to jednak sytuacja zupełnie różna od narażenia na te pola w środowisku czy przy użytkowaniu telefonu komórkowego.

Ekspozycja zawodowa wiąże się z przebywaniem w polach EM o natężeniach znacznie wyższych niż dopuszczane polskimi przepisami dotyczącymi ochrony środowiska. Pracownik przebywa w polach MF o zmiennej intensywności, zależnie od aktualnie wykonywanych czynności, ale ogólnie ich intensywność jest znacznie wyższa niż w środowisku i sięga 0,5–10 W/m<sup>2</sup>, a przez krótki okres czasu (kilka–kilkanaście minut dziennie) może wynosić nawet 10–100 W/m<sup>2</sup>. W środowisku intensywność pola MF nie przekracza na ogół 0,01–0,05 W/m<sup>2</sup>, a wokół anteny telefonu może wytworzyć się pole o intensywnościach 0,1–3 W/m<sup>2</sup> (tab. 4). Z tego powodu informacje na temat ryzyka zdrowotnego pól RF i MF, uzyskane na podstawie licznych badań lekarskich i epidemiologicznych pracowników zatrudnionych w tych polach, choć stanowią cenne źródło informacji, nie mogą być podstawą do wnioskowania o bezpieczeństwie systemów telefonii komórkowej.

Przegląd literatury naukowej wskazuje, że w licznych badaniach doświadczalnych i epidemiologicznych opisywano różne efekty i mierzalne zmiany fizjologiczne, które wiązano przyczynowo z oddziaływaniem pól RF/MF o stosunkowo niewielkich intensywnościach. Niektóre z tych efektów obserwowano na tyle często w różnych warunkach ekspozycji, że można je uznać za efekty dobrze udokumentowane, inne nie są jeszcze na tyle przekonujące i należy je kwalifikować jako prawdopodobne, przypuszczalne lub wątpliwe. Niemniej jednak syntetyczna ocena literatury naukowej wskazuje, że efektów biologicznych i ewentualnych mierzalnych zmian w układach fizjologicznych człowieka można spodziewać się po długotrwałej ekspozycji w polach MF o intensywności co najmniej kilku W/m<sup>2</sup>. Co więcej, nie ma przekonujących dowodów,

że praca w tak silnych polach zwiększa ryzyko zachorowania na nowotwory.

Z punktu widzenia ekspozycji na pola RF/MF w środowisku ocena ryzyka nowotworowego dotyczy:

1. Przebywania (zamieszkania) w miejscach o intensywnościach pól RF/MF wyższych od przeciętnej (np. w pobliżu stacji nadawczych radia i TV, baz radarowych itp.).
2. Zamieszkania w pobliżu stacji bazowych telefonii komórkowej.
3. Użytkowania telefonów komórkowych i różnych typów radiotelefonów.

#### Stacje nadawcze radiowe i telewizyjne, bazy radarowe

W dostępnej literaturze znaleziono 8 publikacji (9–16) poświęconych ryzyku nowotworowemu u osób zamieszkałych w okolicy stacji nadawczych radiowych i telewizyjnych (tab. 2). Prace te budzą wiele zastrzeżeń, przede wszystkim z powodu niezadowalającej oceny wielkości ekspozycji (opartej głównie na odległości miejsca zamieszkania od anten nadawczych, bez wykonywania realnych pomiarów natężenia pól). Z tego powodu ich wyniki należy oceniać sceptycznie (1–2 w 6-stoniowej skali arbitralnej) jako niedostateczny lub bardzo ograniczony dowód zależności. Nawet w tych warunkach wyniki badań wskazują na brak wzrostu lub niewielki, nieistotny statystycznie wzrost ryzyka nowotworowego. Podkreślić należy, że w pobliżu stacji nadawczych natężenie pól RF/MF może być dość wysokie (tab. 4), znacznie wyższe niż wokół stacji bazowych telefonii komórkowej.

#### Stacje bazowe telefonii komórkowej

W ocenie specjalistów stacje bazowe telefonii komórkowej nie przedstawiają problemu z zakresu oddziaływania na stan zdrowia ludności i na środowisko. Intensywności pól MF wokół stacji bazowych są bardzo niewielkie (tab. 4) i nie przekraczają w żadnym przypadku kilkunastu  $\mu\text{W}/\text{m}^2$  (poniżej 0,02 W/m<sup>2</sup>). Nie ma dotych-

czas żadnych przekonujących dowodów naukowych, aby tak słabe pola MF mogły oddziaływać na struktury biologiczne, a tym bardziej powodować jakiegokolwiek następstwa zdrowotne. Dotychczas wykonane badania lekarskie i obserwacje epidemiologiczne ludności zamieszkałej w pobliżu stacji bazowych telefonii komórkowej również nie potwierdziły występowania żadnych skutków dla stanu zdrowia czy zmian w środowisku.

Takie stwierdzenia zawiera m.in. opracowanie Światowej Organizacji Zdrowia (WHO), przedstawione w informacji nr 304 z roku 2006, w wyniku specjalistycznej konferencji naukowej zorganizowanej rok wcześniej (17). Z tego powodu z dużym zdziwieniem i niedowierzaniem przyjęte zostały przez specjalistów wyniki badań ankietowych opublikowanych w latach 2002–2004 przez francuskiego biofizyka Rogera Santiniego (18), w których stwierdzono, że u ponad 500 osób zamieszkałych w odległości 10–300 m od stacji bazowej telefonii komórkowej częściej występowały objawy takie, jak bóle i zawroty głowy, zmęczenie, bezsenność, trudności w koncentracji itp. Stwierdzono, że 40–70% ankietowanych skarży się na występowanie niektórych lub wszystkich spośród tych objawów, a co więcej liczba ankietowanych wykazujących obecność objawów jest coraz wyższa w miarę zbliżania się miejsca zamieszkania do stacji bazowej.

Omawiane badanie ankietowe budzi wiele zastrzeżeń, ponieważ nie uwzględniono w nim żadnej grupy porównawczej, wyniki ankiety oparto wyłącznie o samoocenę badanych, nie przeprowadzono też jakichkolwiek pomiarów intensywności pola MF w miejscach zamieszkania i nie podano danych o innych czynnikach środowiskowych okolicy, w której przeprowadzono badania.

W latach 2003–2006 podobne wyniki opublikowano w kilku innych krajach — Hiszpanii, Holandii i Austrii, ale i w tych przypadkach nie uwzględniono żadnych grup porównawczych, a wyniki oparto wyłącznie o samoocenę badanych. Warto w tym miejscu podkreślić, że w jednym z tych badań (19) poza odległością mieszkania od stacji bazowej analizowano również liczbę użytkowników telefonów komórkowych i komputerów. Okazało się, że liczba użytkowników obu tych urządzeń była znacząco wyższa u osób zamieszkałych bliżej stacji bazowych. Może to być przypadek, ale wskazuje, że wiele innych czynników, a nie tylko promieniowanie stacji bazowych, może mieć wpływ na wystąpienie nieswoistych objawów. Niemniej jednak próba powiązania występowania zespołu nieswoistych objawów chorobowych (tzw. NOCh), charakterystycznego dla różnych sytuacji stresogennych, z oddziaływaniem promienio-

wania MF stacji bazowych o bardzo słabej intensywności (zapewne czynnika, który w tym przypadku stanowił uświadomioną sytuację stresogenną dla ankietowanych), wymaga powtórzenia badań i przeprowadzenia ich w obiektywniejszych warunkach. Pozwoliłoby to na rzetelną ocenę ryzyka związanego z oddziaływaniem stacji bazowych, tak istotną z punktu widzenia wielu społeczności lokalnych, które w pobliżu swoich domów mają zlokalizowaną właśnie taką stację (19–21).

W dostępnej literaturze naukowej nie ma żadnych wiarygodnych publikacji dotyczących oceny ryzyka nowotworowego u osób zamieszkałych w pobliżu stacji bazowych telefonii komórkowej.

### Telefony komórkowe

Telefon komórkowy, w przeciwieństwie do stacji bazowych, zdaniem większości specjalistów nie jest urządzeniem całkowicie obojętnym dla zdrowia użytkownika. Mimo to ryzyko związane z użytkowaniem telefonu, wobec dużej użyteczności i przydatności tej formy łączności, jest na ogół bagatelizowane i często pomijane przez użytkowników (5). Jest to zachowanie typowe również w przypadku wielu innych zdobyczy cywilizacji.

Wraz z postępem cywilizacyjnym w naszym otoczeniu pojawiają się nowe i wcześniej nieznanne urządzenia. Wiele z nich jest bardzo przydatnych w codziennym życiu, co sprawia, że użytkownicy szybko się do nich przyzwyczajają. Na początku jednak urządzenia takie budzą wiele, często bezpodstawnych obaw, jak to było w przypadku np. maszyny parowej, kolei żelaznej, a potem elektryczności czy samochodów. Każda z tych zdobyczy cywilizacji była odbierana jako niebezpieczna dla zdrowia czy nawet życia, ale szybko, wraz ze świadomością pożytku płynącego ze stosowania nowych urządzeń, obawy zniknęły.

Istnieje coraz więcej dowodów, że częste i intensywne użytkowanie telefonu komórkowego (co najmniej przez 30–60 min dziennie) u około 20–30% osób prowadzi do występowania opisywanego już wcześniej zespołu NOCh o różnym nasileniu. Jego obecność potwierdzono m.in. w badaniach ankietowanych wykonanych u prawie 12 000 użytkowników telefonów komórkowych w Szwecji i Norwegii (23). W badaniach tych wykazano, że różne nieswoiste objawy pojawiają się przede wszystkim u tych osób, które rozmawiają przez telefon co najmniej przez 30–60 min codziennie przez przynajmniej 2 lata.

W kilkunastu innych doświadczeniach, wykonanych w latach 1998–2006 w Anglii, Finlandii i Niemczech, poddawano ochotników działaniu sygnału MF z „głuchego” (pozbawionego głośnika) telefonu komórkowego

i badano u nich reakcję w testach psychoruchowych, koordynację ruchową na symulatorach lub czynność układu nerwowego (24,25). W większości przypadków nie stwierdzano żadnych odchyśleń od normy, ale okazało się, że u niektórych osób (kilka-kilkanaście procent badanych) nawet krótkotrwałe (kilkanaście minut, kilka godzin) oddziaływanie sygnału mikrofalowego z anteny telefonu może powodować mierzalne zmiany czasu reakcji na sygnały wzrokowe i słuchowe lub zdolność do wykonywania bardziej złożonych czynności psychoruchowych (23). Co ciekawsze, efektem oddziaływania sygnału mikrofalowego nie zawsze było pogorszenie wyniku w tych testach, czasem zmierzone wartości były lepsze, podobnie jak po środkach farmakologicznych pobudzających czynność układu nerwowego (25).

Aby mieć pełny obraz reakcji na działanie sygnału mikrofalowego telefonu komórkowego, wykonano jeszcze zbyt mało testów psychoruchowych u ochotników, jednak obecnie uważa się, że proste reakcje (np. czas odpowiedzi na sygnał wzrokowy czy słuchowy) mogą ulec skróceniu, natomiast bardziej złożone czynności psychoruchowe (np. zdolność zapamiętywania, pamięć operacyjna, koordynacja ruchowo-wzrokowa) na ogół ulegają pogorszeniu (23).

Od wielu lat przedmiotem intensywnych badań epidemiologicznych jest ryzyko nowotworowe u użytkowników telefonów komórkowych. W ich wyniku w latach 1996–2007 opublikowano ponad 25 oryginalnych publikacji na ten temat (tab. 3). Ponadto, przed kilku laty uruchomiono międzynarodowy program IARC „Interphone”, w którym z udziałem specjalistów z 13 państw (Australii, Danii, Finlandii, Francji, Izraela, Japonii, Kanady, Niemiec, Norwegii, Nowej Zelandii, Szwecji, Wielkiej Brytanii i Włoch) przeprowadzono badanie zachorowalności na nowotwory mózgu u użytkowników telefonów komórkowych według jednolitej metodyki (26,27). Metaanaliza wyników uzyskanych w poszczególnych krajach powinna zostać opublikowana niedługo, ale już wyniki cząstkowe wskazują, że choć ryzyko nowotworowe jest niewielkie, nie może być lekceważone (tab. 3).

U osób używających telefonów komórkowych intensywnie (godzinę i dłużej dziennie) przez co najmniej 10 lat obserwuje się tendencję do większej zachorowalności na niektóre rodzaje nowotworów (m.in. glioki) (28). Podobnie badania szwedzkie z lat 2002–2006, wskazują, że możliwość zachorowania na niektóre nowotwory mózgu (wprawdzie nie te najgroźniejsze) jest wyższa u ludzi często używających telefonów komórkowych (29–31). Należy zaznaczyć, że przytoczone badania dotyczą użytkowników telefonów komórkowych

starego systemu (analogowych), które emitowały znacznie większą moc (kilka  $W/m^2$ ) w porównaniu z obecnie stosowanymi systemami cyfrowymi (emisja z anteny telefonu: 0,1–1  $W/m^2$ ). Należy jednak pamiętać, że telefony komórkowe są stosunkowo nową zdobyczą cywilizacji, okres ich użytkowania przez poszczególne osoby sięga zaledwie kilku lat i może to być czas jeszcze zbyt krótki do uwidocznienia się ewentualnego ryzyka zachorowania na nowotwory. Z tego powodu sytuacja znajduje się pod stałą kontrolą specjalistów, stale też prowadzone są badania epidemiologiczne użytkowników telefonów i w najbliższych latach można spodziewać się pełniejszych informacji.

### **Narażenie zawodowe na pola mikrofalowe**

Badania epidemiologiczne osób narażonych na pola MF na stanowiskach pracy prowadzone były od wielu lat, ale dotychczas nie dały jednoznacznych wyników. Spowodowane jest to przede wszystkim tym, że wielkość narażenia na stanowiskach pracy jest bardzo różna i nie ma jednolitej miary tego narażenia.

W czasie zmiany roboczej, trwającej zwykle 8–12 godzin, wielkość narażenia na pola MF wykazuje znaczącą zmienność z krótkotrwałymi (kilku-kilkunastominutowymi) okresami przebywania w polach silnych (do 100  $W/m^2$ ) i znacznie dłuższymi przebywania w polach słabych (poniżej 2  $W/m^2$ ) lub nawet w strefie bezpiecznej (poniżej 0,1  $W/m^2$ ). W tej sytuacji miarą stopnia narażenia nie może być ani maksymalne natężenie w czasie zmiany roboczej, ani średnie czy medialne natężenie, ale należałoby określić dozę dobową, roczną i życiową pracownika i dopiero wtedy analizować ryzyko zachorowania na nowotwory.

W dostępnej literaturze nie znaleźliśmy prac epidemiologicznych, w których analizowano zależność dozy narażenia na mikrofały z ryzykiem zachorowania na nowotwory. Większość badań ma charakter retrospektywny i opiera się albo na szacowaniu wielkości narażenia według zawodu, albo na bardzo ogólnych i niepełnych danych retrospektywnych. Typowym przykładem takiej pracy jest analiza zapadalności na nowotwory weteranów wojny koreańskiej po 40 latach od jej zakończenia (32). Analizowana grupa była bardzo duża (ponad 20 000 personelu z szacowanym narażeniem na promieniowanie radarowe), ale wielkość narażenia wyrażono w trzech arbitralnych poziomach — silny, mierny i słaby. Analiza zachorowalności pozwoliła na stwierdzenie, że promieniowanie radarowe ma niewielki wpływ na zachorowalność na nowotwory, ale w grupie personelu o narażeniu na silne pola (technicy elek-



troniczy w szwadronach lotniczych) zachorowalność na niektóre typy białaczek była wyższa (RR = 2,2).

Do podobnych wniosków doszliśmy we własnych badaniach retrospektywnych polskiego personelu wojskowego narażonego na mikrofałe (33,34). Ostatnio zjawisko podwyższonego ryzyka zachorowania na nowotwory układu limfatycznego i krwiotwórczego (RR = 7,22) u techników radarowych stwierdzili Degraeve i wsp. (35). W innych pracach nie wskazano zwiększonego ryzyka zachorowalności na różne nowotwory u ludzi narażonych zawodowo na mikrofałe lub ryzyko to było tylko nieznacznie zwiększone.

Ocenę ryzyka zachorowania na nowotwory u pracowników narażonych na mikrofałe utrudnia to, że grupy osób poddawane analizie w poszczególnych badaniach epidemiologicznych są stosunkowo niewielkie (zwykle kilkaset osób, rzadko kilka tysięcy) i często nie pozwalają na pełną ocenę (oczekiwana zachorowalność w grupie na poszczególne rodzaje nowotworów jest znacznie niższa od 1,0). W tej sytuacji IARC w Lyonie planuje rozpoczęcie w ramach 7. Programu Ramowego Unii Europejskiej międzynarodowego projektu badawczego poświęconego ocenie zachorowalności na nowotwory pracowników narażonych zawodowo na pola radio- i mikrofalowe. Badania takie będą wykonywane w kilkunastu krajach Unii Europejskiej w ramach jednolitej metodyki, ale pierwsze wyniki powinny przynieść dopiero za 5–6 lat.

## PIŚMIENNICTWO

1. Prausnitz S., Susskind C.: Effect of chronic irradiation on mice. *IRE Trans. Biomed. Electron.* 1962;8(1):104–108
2. Chou C.K., Guy A.W., Kunz L.L., Johnson R.B., Crowley J.J., Krupp J.H.: Long-term low-level microwave irradiation of rats. *Bioelectromagnetics* 1982;3(4):469–496
3. Szmigielski S., Szudzinski A., Pietraszek A., Bielec M., Wrembel J.K.: Accelerated development of spontaneous and benzopyrene-induced skin cancer in mice exposed to 2450 MHz microwaves. *Bioelectromagnetics* 1982;3(2):179–191
4. Eleder J.A.: Survival and cancer in laboratory animals exposed to radiofrequency radiation. *Bioelectromagnetics* 2003;(6 Supl.):S101–S106
5. Kundi M., Mild K.H., Hardell L., Mattison M.-O.: Mobile telephones and cancer — a review of epidemiological evidence. *J. Toxicol. Environ. Health* 2004;7(3):351–384
6. Lahkola A., Tokola K., Auvinen A.: Meta-analysis of mobile phone use and intracranial tumors. *Scand. J. Work Environ. Health* 2006;32(3):171–177
7. Lahkola A., Awinen A., Raitanen J.: Mobile phone use and risk of glioma in 5 North European countries. *Int. J. Cancer* 2007;120:1769–1775
8. Hardell L., Mild K.H., Carlberg M.: Pooled analysis of two case-control studies on use of cellular and cordless telephones and the risk for malignant brain tumours diagnosed in 1997–2003. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 2006;79:630–639
9. Selvin S., Schulman J., Merrill D.W.: Distance and risk measures for the analysis of spatial data: a study of childhood cancers. *Soc. Sci. Med.* 1992;34:769–774
10. Maskarinec G., Cooper J., Swygert L.: Investigation of increased incidence in childhood leukemia near radio towers in Hawaii. Preliminary observation. *J. Environ. Pathol. Toxicol. Oncol.* 1994;13:33–37
11. Hocking B., Gordon I.R., Grain H.L., Hartfield G.E.: Cancer incidence and mortality and proximity to TV towers. *Med. J. Aust.* 1996;165:601–605
12. Dolk H., Shaddick H., Walls P., Grundy C., Thakrar B., Kleinschmidt I. i wsp.: Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. Cz. I: Sutton Coldfield transmitter. *Am. J. Epidemiol.* 1997;145:1–9
13. Dolk H., Elliot P., Shaddick H., Walls P., Thakrar B.: Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. Cz. II: All high power transmitters. *Am. J. Epidemiol.* 1997;145:10–17
14. Michelozzi P., Capon A., Kirchmayer U., Forastiere F., Biggeri A., Barca A. i wsp.: Adult and childhood leukemia near a high-power radio station in Rome, Italy. *Am. J. Epidemiol.* 2002;155:1096–1103
15. Ha M., Lim H.J., Cho S.H., Choi H.D., Cho K.Y.: Incidence of cancer in the vicinity of Korean AM radio transmitters. *Arch. Environ. Health* 2003;58:756–762
16. Merzenich H., Schmiedel S., Bennack S., Brüggemeyer H., Philipp J., Blettner M. i wsp.: Childhood leukemia in relation to radio frequency electromagnetic fields in the vicinity of TV and radio broadcast transmitters. *Am. J. Epidemiol.* 2008;168:1169–1178
17. WHO International EMF Project: Electromagnetic fields and public health. Base stations and wireless technologies. Fact sheet nr 304, maj 2006. Adres: <http://www.who.int/en>
18. Santini R., Santini P., Danze J.M., Le Ruz P., Seigne M.: Symptoms experienced by people in vicinity of base stations. Incidences of distances and sex. *Pathol. Biol.* 2002;50:369–373
19. Navarro E.A., Segura J., Portoles M., Gomes-Perretia C.: The microwave syndrome: a preliminary study in Spain. *Electromagn. Biol. Med.* 2003;22(2–3):161–170

20. Abdel-Rassoul G., El-Fateh O.A., Salem M.A., Michael A., Farahat F, El-Batanouny M. i wsp.: Salem E: Neurobehavioral effects among inhabitants around mobile phone base stations. *Neurotoxicology* 2007;28(2):434–440
21. WHO International EMF Project Symposium: Base stations & wireless networks: Exposures & health consequences. 15–16 czerwca 2005. World Health Organization, Geneva 2005. Adres: <http://www.who.int/en>
22. COST-281 Conference. Mobile Phone Base Stations and Health. Dublin 2003. Adres: <http://www.cost281.org/documents.php>
23. Sienkiewicz Z.J., Kowalczyk C.I.: A Summary of Recent Reports on Mobile Phones and Health (2000–2004). Chilton, National Radiological Protection Board, 2005. Adres: [http://www.hpa.org.uk/radiation/publication-s/w\\_series\\_reports/2005/nrpb\\_w65.htm](http://www.hpa.org.uk/radiation/publication-s/w_series_reports/2005/nrpb_w65.htm)
24. Al-Khlaiwi T., Meo S.A.: Association of mobile phone radiation with fatigue, headache, dizziness, tension and sleep disturbance in Saudi population. *Saudi Med. J.* 2004;25(6):732–736
25. BioInitiative Report 2007: A Rationale for a Biologically-based Public Exposure Standard for Electromagnetic Fields (ELF and RF). Adres: <http://www.bioinitiative.org>
26. Schoemaker M.J., Swerdlow A.J., Ahlbom A., Auvinen A., Blaasaas K.G., Cardis E. i wsp.: Mobile phone use and risk of acoustic neuroma: results of the Interphone case-control study in five North European countries. *Br. J. Cancer* 2005;93(7):842–848
27. Lahkola A., Auvinen A., Raitanen J., Schoemaker M.J., Christensen H.C., Feychting M. i wsp.: Mobile phone use and risk of glioma in 5 North European countries. *Int. J. Cancer* 2007;120(8):1769–1775
28. Hardell L., Carlberg M., Söderqvist F., Mild K.H., Morgan L.L.: Long-term use of cellular phones and brain tumours: increased risk associated with use for > or = 10 years. *Occup. Environ. Med.* 2007;64(9):626–632
29. Hardell L., Mild K.H., Carlberg M., Söderqvist F.: Tumour risk associated with use of cellular telephones or cordless desktop telephones. *World J. Surg. Oncol.* 2006;4:74–76
30. Hardell L., Carlberg M., Mild K.H.: Pooled analysis of two case-control studies on the use of cellular and cordless telephones and the risk of benign brain tumours diagnosed during 1997–2003. *Int. J. Oncol.* 2006;28(2):509–518
31. Hardell L., Carlberg M., Mild K.H.: Pooled analysis of two case-control studies on use of cellular and cordless telephones and the risk for malignant brain tumours diagnosed in 1997–2003. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 2006;79(8):630–639
32. Groves F.D., Page W.F., Gridley G., Lisimaque L., Stewart P.A., Tarone R.E. i wsp.: Cancer in Korean war navy technicians: mortality survey after 40 years. *Am. J. Epidemiol.* 2002;155(9):810–818
33. Szmigielski S.: Cancer morbidity in subjects occupationally exposed to high frequency (radiofrequency and microwave) electromagnetic radiation. *Sci. Total Environ.* 1996;180(1):9–17
34. Szmigielski S., Sobiczewska E., Kubacki R.: Carcinogenic potency of microwave radiation: overview of the problem and results of epidemiological studies on Polish military personnel. *Eur. J. Oncol.* 2001;6:193–199
35. Degraeve E., Meeusen B., Grivegnae A.R., Boniol M., Autier P.: Causes of death among Belgian professional military radar operators: a 37-year retrospective cohort study. *Int. J. Cancer* 2009;124(4):945–51