

Wpływ promieniowania pola elektromagnetycznego pochodzącego od telefonów komórkowych i routerów Wi-Fi na stan zdrowia ludzi w szczególności dzieci i młodzieży

Przegląd danych literaturowych

Opracowała dr inż. Agnieszka Wardzińska
Katedra Telekomunikacji Multimedialnej i Mikroelektroniki
Politechnika Poznańska

Promieniowanie elektromagnetyczne

Żyjemy w środowisku naturalnego pola elektromagnetycznego Ziemi. Człowiek wraz z rozwojem technologii wprowadza do otoczenia dodatkowe pola elektromagnetyczne o różnych częstotliwościach, najpierw pole niskich częstotliwości związane z rozproszaniem sieci energetycznych, poprzez pola częstotliwości radiowych, do budzących obecnie chyba największe kontrowersje pól o częstotliwościach mikrofalowych. Z jednej strony chcemy jak najszybciej korzystać z nowych technologii, z drugiej boimy się tego, co nieznanne, słabo zbadane, a jednocześnie termin promieniowanie elektromagnetyczne jest czasem błędnie wiązany ze skutkami promieniowania jonizującego. Technicznie rzecz biorąc promieniowanie to po prostu energia poruszająca się w przestrzeni. Zatem nawet światło z latarki jest formą promieniowania. Energia o częstotliwości radiowej przesyłana z anteny jest również formą promieniowania, ale w przeciwieństwie do promieni rentgenowskich i innych form potencjalnie niebezpiecznego promieniowania energia pola elektromagnetycznego fal radiowych i mikrofalowych nie jest jonizująca: to znaczy, że fotony przenoszące sygnał nie mają wystarczającej energii do wzbudzenia cząsteczki w ciele, tworzenia wolnych rodników, które mogą uszkadzać komórki i tkanki. Energia fal o częstotliwościach radiowych i mikrofalowych nie ma nic wspólnego z promieniowaniem jonizującym pod względem potencjalnego wpływu na zdrowie. Termin pole elektromagnetyczne (PEM) odnosi się ogólnie do energii elektromagnetycznej, niezależnie od częstotliwości. W dyskusjach na temat zdrowia termin ten jest szeroko stosowany w odniesieniu do dowolnej części widma elektromagnetycznego, najczęściej do pól linii elektroenergetycznej lub pól częstotliwości radiowej i mikrofalowej.

Fale mikrofalowe generowane przez telefony komórkowe oraz łączność bezprzewodową Wi-Fi są formą promieniowania elektromagnetycznego (PEM) wielkich częstotliwości. Najważniejszymi parametrami charakteryzującymi pole elektromagnetyczne są jego częstotliwość, mierzona w megahercach (MHz) lub gigahercach (GHz) oraz gęstość mocy propagowanej fali. Z perspektywy oddziaływania pola elektromagnetycznego na organizmy szczególnie istotnym parametrem jest współczynnik SAR (Specific Absorption Rate), który określa moc absorbowaną przez masę tkanek ciała ludzkiego w W/kg, gdy jest ono narażone na działanie fal radiowych czy mikrofalowych.

Telefony komórkowe typowo emitują częstotliwości w zakresie od 450 do 2700 MHz z maksymalną mocą w zakresie od 0,1 do 2 watów, przy czym aby zapewnić bezpieczne poziomy ekspozycji dla ludzi limit miejscowy (ang. local limit) to 2 W/kg, a uśredniony limit dla całego ciała (ang. whole-body limit) to 0.08 W/kg (Chen, 2007). W Polsce operatorzy systemów komórkowych pracują w zakresie 791-821 MHz oraz 832-862 MHz, 876-915 MHz oraz 921-960 MHz w zakresie 1710-1785 MHz oraz 1805-1880 MHz, w zakresie 1900 - 2290 MHz oraz w zakresie 2500 - 2690 MHz (*rezerwacje częstotliwości*, brak daty). Prawo polskie określa maksymalny dopuszczalny limit natężenia pola elektromagnetycznego w zakresie częstotliwości 300MHz do 300GHz jako 7V/m, lub gęstość mocy jako 0,1W/m² (*Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów*, 2003).

Ciało ludzkie pochłania część energii pola elektromagnetycznego o częstotliwościach radiowych i mikrofalowych, takich jak generowanego przez telefony komórkowe, telewizory, transmisje radiowe czy routery Wi-Fi.

Możliwość wnikania PEM w skórę i ciało zależy od przenikalności i przewodności tkanek, oraz od długości fali, która jest odwrotnie proporcjonalna do częstotliwości (im wyższa częstotliwość, tym krótsza fala). Im niższa częstotliwość tym głębokość wnikania pola elektromagnetycznego w tkanki jest wyższa. W związku z tym urządzenia działające na częstotliwościach w zakresie 900MHz będą bardziej napromieniowywać ciało niż urządzenia działające na częstotliwościach w zakresie 1800MHz (około 25% ciała u ludzi przy 900MHz w porównaniu z 20% penetracją przy 1800 MHz). Wnikanie pola w tkanki różni się od siebie (Houston *i in.*, 2016) w związku z tym penetracja do mózgu, czy jąder może być silniejsza niż do innych tkanek. Szczególnie jądra nie są chronione przez inne tkanki, bardziej odporne na wnikanie pola.

Wnikanie pola elektromagnetycznego w tkanki zależy również od odległości od źródła pola. Wraz ze wzrostem odległości między słuchawką a uchem zmniejsza się ekspozycja ciała na pole elektromagnetyczne. Dodatkowo duża moc transmisji jest aktywowana jedynie przy włączonej słuchawce. Dlatego też wysyłanie wiadomości tekstowych, korzystanie z Internetu czy używanie zestawu głośnomówiącego powoduje znacząco mniejszą ekspozycję użytkownika na pole elektromagnetyczne niż w przypadku trzymania słuchawki bezpośrednio przy głowie.

Przejsie do następnej generacji smartfonów i udostępnienie następnej generacji telefonii komórkowej 5G ma na celu zwiększenie przepustowości w porównaniu z 4G i umożliwienie lepszych parametrów dla mobilnych użytkowników szerokopasmowego Internetu. Zaletą ma być niezawodność, większa przepustowość, zwiększenie szybkości łącza, zmniejszenie opóźnień. Przykładowo przesłanie filmu w tej technologii ma trwać kilkakrotnie krócej niż w przypadku Sieci 4G. Dodatkowo mniejsze ma być zużycie baterii. Z punktu widzenia oddziaływania na zdrowie w sieci 5G będzie zmniejszone zapotrzebowanie na moc sygnału, więc emitowane pole elektromagnetyczne będzie mniejsze. Co prawda ta technologia będzie wymagała znacznie większej ilości stacji bazowych, ale moce generowane w ten sposób będą relatywnie mniejsze (*Pole elektromagnetyczne a człowiek*, 2019).

Promieniowanie jonizujące i niejonizujące

Fale o częstotliwości radiowej w przeciwieństwie do promieniowania jonizującego, takiego jak promieniowanie rentgenowskie lub promienie gamma, nie mogą zerwać wiązań chemicznych ani powodować jonizacji ludzkiego ciała. Promieniowanie niejonizujące nie wywiera więc negatywnego wpływu na organizm poza efektem termicznym (nagrzewaniem). Promieniowanie niejonizujące nie modyfikuje elementów składowych komórki i nie wpływa na ich funkcje. Nie wpływa na wiązania pomiędzy atomami i nie niszczy struktury materii. Jego oddziaływanie występuje wyłącznie w czasie ekspozycji (*Pole elektromagnetyczne a człowiek*, 2019).

Promieniowanie od telefonów komórkowych oraz routerów Wi-Fi jest promieniowaniem niejonizującym.

Efekty termiczne i nietermiczne oddziaływania pola elektromagnetycznego.

Rozróżniamy dwa rodzaje efektów oddziaływania pola elektromagnetycznego: termiczne i nietermiczne. Ze względu na dużo większą przewodność właściwą ciała 0,1–1 S/m, (w tkankach o dużej zawartości wody 0,3–10 S/m) (Przytułski, 2010) wobec przewodności powietrza 10-14 S/m, fala w tkankach jest o wiele szybciej tłumiona, a jej zaabsorbowana energia zamieniana na ciepło. Szybkość absorbowania energii wyrażana jest poprzez parametr SAR, określający moc przypadającą na jednostkę wagi ciała w W/kg. To ile energii zostanie zamienione na ciepło zależy w dużym stopniu od właściwości elektrycznych tkanek. Tłuszcze i kości pochłaniają znacznie mniej mocy niż tkanki takie jak mięśnie czy płyny ustrojowe. Na granicy tkanek, gdy zmieniają się właściwości fala elektromagnetyczna załamuje się i odbija, co powoduje powstawanie fal stojących. W ten sposób tworzą się obszary o nierównomiernie rozłożonej gęstości mocy i pojawiają się punkty zwane „hot spots”. Drugim istotnym parametrem wpływającym na ilość pochłoniętej energii jest stosunek długości fali do rozmiarów ciała.

W pracy (Lindholm *i in.*, 2011) autorzy przeprowadzili badanie zmian temperatury 26 chłopców w wieku 15-16lat w kanale słuchowym oraz na skórze w kilku miejscach na głowie, tułowi i kończynach. Czas trwania ekspozycji telefonem GSM 900 wynosił 15 minut dla każdej próby, a testy przeprowadzono w komorze klimatycznej w kontrolowanych warunkach neutralnych termicznie. Badania wykazały, że w populacji chłopców w wieku dojrzewania temperatura w kanale słuchowym i temperatura powierzchniowa głowy nie wzrosły podczas 15-minutowej ekspozycji wytwarzanej przez telefon komórkowy GSM.

W związku z szybkim rozwojem nowych technologii, utrudnione są badania oddziaływań długoterminowych. Jednak szybki rozwój powoduje, że użytkownik często wymienia telefon komórkowy, a nowsze telefony oferują użytkownikowi nowe generacje sieci, w których moc pola elektromagnetycznego może być niższa (Houston *i in.*, 2016). Prowadzone badania epidemiologiczne badające skutki długoterminowe oddziaływania pola elektromagnetycznego opierają się więc po części na skutkach oddziaływań wcześniejszych modeli telefonów, które w chwili obecnej są używane marginalnie. Powstaje w związku z tym pytanie, czy badania oparte na oddziaływaniu tych telefonów, mogą być podstawą do formułowania wniosków, nt. oddziaływania współczesnych urządzeń na organizm człowieka.

Wcześniejsze modele telefonów miały mocniejsze i dookólne anteny, obecnie stosuje się anteny kierunkowe, których promieniowanie jest skierowane w stronę przeciwną niż ekran.

Przegląd literatury dotyczącej promieniowania oraz pól emitowanych przez telefony komórkowe i routery Wi-Fi.

Opinie naukowców odnośnie oddziaływania promieniowania elektromagnetycznego pochodzącego od telefonów komórkowych i routerów Wi-Fi są mocno podzielone np. artykuł (Ogunbanjo, 2017) oraz odpowiedź na niego (Mortazavi i Mortazavi, 2018). Prof. Ogunbanjo w swoim krótkim artykule podaje argumenty, że oddziaływanie elektromagnetyczne telefonów komórkowych na organizm człowieka nie powoduje nadmiernego grzania się tkanek w organizmie, ze względu na silne tłumienie pola w zewnętrznych tkankach (np. skórze). Twierdzi także, że na podstawie dotychczas przeprowadzonych badań na zwierzętach nie da się powiązać

występującego nagrzewania się tkanek pod wpływem pola elektromagnetycznego a zwiększoną zachorowalnością na raka. Za główne zagrożenie wynikające z użytkowania telefonów komórkowych uważa rozproszenie uwagi wynikające ze skupienia na telefonie, zamiast na innych zadaniach (np. w trakcie prowadzenia auta). Autorzy (Mortazavi i Mortazavi, 2018) w odpowiedzi na wspomniany artykuł (Ogunbanjo, 2017) zwracają uwagę na najnowsze wyniki programu US National Toxicology Program (NTP), które wykazało statystycznie istotny wzrost raka u gryzoni, które były narażone na sygnały GSM lub CDMA przez dwa lata. Częstotliwość zachorowania na raka zwiększała się również na skutek zwiększenia intensywności promieniowania (Wyde *i in.*, 2016).

Część autorów (Najera, 2019) podważa istotność badań wykonanych na szczurach czy myszach dla człowieka. Częstotliwość rezonansowa człowieka jest znacząco inna niż dla szczura, w związku z tym efekty oddziaływania pola elektromagnetycznego na człowieka powinny być znacząco mniejsze dla częstotliwości z zakresu mikrofal. Przykładowo częstotliwość 2GHz jest częstotliwością rezonansową dla myszy i dla tej częstotliwości mysz absorbuje około sześćdziesięciokrotnie więcej energii na jednostkę wagi ciała niż człowiek. Częstotliwość rezonansowa zmienia się wraz ze wzrostem człowieka i dla dzieci, szczególnie małych dzieci potencjalna szkodliwość oddziaływania pól pochodzących od telefonów komórkowych będzie znacznie większa. Rezonans występuje wówczas, gdy wzrost równy jest połowie długości rozprzestrzeniającej się fali. (Przytułski, 2010). Dla mężczyzny mierzącego 170 cm częstotliwości rezonansowe leżą w przedziale 70–110 MHz. Dla sześciolatniego dziecka częstotliwości rezonansowe zawierają się w granicach 200–400 MHz, które używane są m.in. przez nadajniki telewizyjne. Częstotliwość telefonii komórkowej jest więc znacząco bliższa częstotliwości rezonansowej dziecka niż osoby dorosłej.

Podobne kontrowersje budzą badania oddziaływania sieci bezprzewodowych Wi-Fi. Przeglądowa praca profesora Palla (Pall, 2018), która wykazuje szkodliwość oddziaływania sieci bezprzewodowych Wi-Fi doczekała się kilku krytycznych odpowiedzi. Ich autorzy wskazują na zbyt wybiórczy dobór artykułów potwierdzających szkodliwość oddziaływania pola pochodzącego z sieci Wi-Fi. Między innymi znaczącą część zarzutów (Najera, 2019) podważa zasadność brania pod uwagę wspomnianych w pracy (Pall, 2018) badań na zwierzętach (Atasoy *i in.*, 2013), (Özorak *i in.*, 2013), (Pall, 2016), gdyż te niekoniecznie muszą implikować szkodliwość dla ludzi.

Analizując potencjalną szkodliwość jakiegokolwiek czynnika środowiskowego należy ustalić, jakie poziomy są obserwowane w tym środowisku oraz jakie negatywne skutki te poziomy mogą wywoływać. W tym celu prowadzone są badania zarówno pomiarowe – mające na celu ustalenie, z jakimi wartościami natężenia pola można się spotkać w zależności od różnych parametrów środowiska (Iyare, Volskiy i Vandenbosch, 2019) (Mamrot *i in.*, 2015) jak i badania mające na celu zweryfikowanie potencjalnych, negatywnych skutków ekspozycji na pole elektromagnetyczne. W tej drugiej grupie prowadzone są badania epidemiologiczne, analizujące wpływ istniejącej infrastruktury na subiektywnie i/lub obiektywnie oceniane parametry zdrowotne/samopoczucia (Hardell i Sage, 2008), (Sadetzki *i in.*, 2014), (Aydin *i in.*, 2011). Do drugiej grupy należą także badania w izolowanym środowisku prowadzone na ludziach lub zwierzętach np. (Danker-Hopfe *i in.*, 2011) oraz badania symulacyjne np. (Zradziński *i in.*, 2013).

Przeprowadzone badania dotyczące poziomów narażenia ludności na środowiskowe źródła energii o częstotliwości radiowej pokazują, że największym składnikiem ekspozycji, na jaką narażony jest człowiek pochodzi bezpośrednio z jego

telefonu komórkowego. Poniżej tego poziomu znajdują się sygnały z telefonów komórkowych obsługiwanych w pobliżu osoby. Średnio jeszcze niższe są sygnały z wielu innych źródeł w otoczeniu: wieże komórkowe, nadajniki transmisji i komunikacji poza domem oraz kuchenki mikrofalowe, bezprzewodowe nianie, telefony bezprzewodowe, Wi-Fi i inne urządzenia emitujące fale radiowe. Skumulowane narażenie ze wszystkich źródeł w zwykłym środowisku jest niezmiernie ułamkiem ustalonych limitów bezpieczeństwa. Limity te zostały opracowane w celu zapewnienia odpowiedniej ochrony przed wszystkimi stwierdzonymi zagrożeniami związanymi z energią częstotliwości radiowej i mikrofalowej przez cały czas ekspozycji.

W pracy (Birks *i in.*, 2018) poddano analizie narażenie na działanie PEM o częstotliwościach radiowych i mikrofalowych w środowisku u 529 dzieci w wieku 8-18 lat w kilku krajach Europejskich. Do pomiarów gęstości strumienia mocy w $\mu\text{W}/\text{m}^2$ wykorzystano osobiste przenośne mierniki ekspozycji. Pomiar trwał 3 dni w okresie między 2014 a 2016r., w grupie 28 dzieci badania zostały powtórzone rok później. Mierniki rejestrowały pole elektromagnetyczne w 16 pasmach częstotliwości co 4s jednocześnie rejestrując GPS. W celu zebrania informacji o lokalizacji dzieci, użyciu urządzeń przenośnych i obecności wewnętrznych źródeł PEM wykorzystano dzienniki aktywności oraz kwestionariusze. Zdefiniowano sześć ogólnych pasm częstotliwości: całkowite, cyfrowa ulepszona telekomunikacja bezprzewodowa (DECT), anteny telewizyjne i radiowe (transmisja), telefony komórkowe (łącze w górę), stacje bazowe telefonii komórkowej (łącze w dół) i łączność bezprzewodową (Wi-Fi). Mediana całkowitej osobistej ekspozycji na PEM wyniosła $75,5 \mu\text{W}/\text{m}^2$. Największy udział w całkowitej ekspozycji miało łącze w dół (sygnał z telefonu komórkowego), a następnie emisja radiowa i telewizyjna ($9,9 \mu\text{W}/\text{m}^2$). Ekspozycja z łącza zwrotnego była niższa ($4,7 \mu\text{W}/\text{m}^2$) była znacznie niższa. Pasma Wi-Fi i DECT miały niewielki udział w całkowitej ekspozycji. Oszacowano związki między nawykami korzystania z urządzeń przenośnych i wewnętrznych źródeł PEM o częstotliwościach radiowych i mikrofalowych z osobistą ekspozycją na PEM. Ekspozycja na PEM była wyższa w ciągu dnia ($94,2 \mu\text{W}/\text{m}^2$) niż w nocy ($23,0 \mu\text{W}/\text{m}^2$) i nieco wyższa w weekendy niż w dni powszednie, chociaż różniła się w zależności od regionu. Mediana ekspozycji była najwyższa, gdy dzieci były na zewnątrz ($157,0 \mu\text{W}/\text{m}^2$) lub w podróży ($171,3 \mu\text{W}/\text{m}^2$), i znacznie niższa w domu ($33,0 \mu\text{W}/\text{m}^2$) lub w szkole ($35,1 \mu\text{W}/\text{m}^2$). Dzieci mieszkające w środowisku miejskim miały wyższy poziom narażenia niż dzieci w środowisku wiejskim. Starsze dzieci i użytkownicy telefonów komórkowych mieli wyższy udział pasma łącza w górę, ale nie całkowite narażenie, w porównaniu do młodszych dzieci i tych, które nie korzystały z telefonów komórkowych. Powtarzalność z dnia na dzień była umiarkowana do wysokiej dla większości ogólnych pasm częstotliwości, oraz dla sumarycznej ekspozycji, emisji i łącza w dół analizując powtarzalność z roku na rok dla podpróbki grupy badanej. Największy udział w całkowitej osobistej ekspozycji PEM na środowisko miały łącza wykazujące wysoką powtarzalność. Najważniejszym wyznacznikiem była urbanistyka, natomiast całkowita ekspozycja i użycie telefonu komórkowego były najważniejszym składnikiem ekspozycji. Ważne jest, aby kontynuować badanie narażenia na PEM u dzieci gdyż nawyki korzystania z urządzenia, poziomy narażenia i główny wkład źródła mogą ulec zmianie.

Telefony komórkowe

Prace przeglądowe

W literaturze poza artykułami dotyczącymi wyników konkretnych badań wpływu PEM na organizmy, można znaleźć prace przeglądowe (Pall, 2018), (Politański, Bortkiewicz i Zmysłony, 2016), (IARC, 2011). Autorzy tych artykułów podkreślają, że wyniki przeprowadzonych przez różnych badaczy badań różnią się często znacznie, od wskazania istotnych oddziaływań pól elektromagnetycznych na zdrowie człowieka, do wykazania, że wpływ pola o podobnych parametrach jest całkowicie nieznaczący dla człowieka. Jednocześnie autorzy prac przeglądowych zazwyczaj podkreślają, że prowadzone badania różnią się od siebie i są trudne do porównania pod względem metodologicznym.

Telefony komórkowe a układ nerwowy

Układ nerwowy człowieka oparty jest na elektroprzewodzących sieciach neuronowych. W pracy (Politański, Bortkiewicz i Zmysłony, 2016) zaprezentowano wyniki przeglądu literatury naukowej, w której analizowany jest wpływ oddziaływania PEM na funkcjonowanie ludzkiego układu nerwowego. W związku z rozwojem technologii wykorzystujących PEM w zakresie fal radiowych i mikrofalowych, szczególnie do celów łączności (np. telefonia komórkowa, sieci Wi-Fi), ekspozycja na PEM wielkiej częstotliwości znacznie wzrasta. Badania dotyczące wpływu PEM na układ nerwowy prowadzone są od wielu lat, ale obecnie ze względu na częstość użytkowania telefonów komórkowych emitujących pole bezpośrednio w okolicach mózgu oraz stałego działania stacji bazowych i routerów Wi-Fi wzrosło zainteresowanie badaczy takimi badaniami. Mimo rosnącego poziomu merytorycznego prac analizujących wpływ pola elektromagnetycznego można zauważyć niespójności dla wyników różnych zespołów badawczych, a czasem nawet tych samych autorów w różnych badaniach (Danker-Hopfe *i in.*, 2010) (Danker-Hopfe *i in.*, 2011). W 2010 autorzy (Danker-Hopfe *i in.*, 2010) przebadali sen 397 osób w trakcie ekspozycji na pole elektromagnetyczne eksperymentalnej stacji bazowej, osoby biorące udział w eksperymencie spały w swoich domach. W czasie badań analizowano wydajność snu, latencję faz NREM1 i NREM2, czas snu, średni czas nocnych przebudzeń. W badaniach z 2011 roku ten sam zespół przeprowadził badania w izolowanym środowisku symulując oddziaływanie telefonu komórkowego w części badania i stacji bazowych w kolejnej. O ile w pierwszych badaniach nie wykryto żadnego wpływu oddziaływania pola elektromagnetycznego na parametry snu, o tyle w drugim badaniu zaobserwowano niewielki wpływ ośmiogodzinnej ekspozycji na PEM, przy parametrze SAR nieprzekraczającym 2W/kg (czyli zgodnym z normami). Nieliczne znaczące wyniki nie mogą być dowodem na negatywny wpływ na architekturę snu. Podobne wyniki, dowodzące niewielkiego, lub żadnego wpływu na sen uzyskano w kilku innych prowadzonych badaniach (Loughran *i in.*, 2012), (Schmid, Loughran, *i in.*, 2012), (Lowden *i in.*, 2019). Jednak we wcześniejszych badaniach ostatniego z wymienionych zespołów (Lowden *i in.*, 2011) zauważono pewne zmiany w pierwszej fazie snu.

W wymienionych powyżej pracach badano również wpływ PEM na parametry zapisu EEG prowadzonego podczas snu osób badanych. W pracy (Loughran *i in.*, 2012) zauważono, że występują różnice osobnicze w efektach PEM na zapis EEG. W praktyce można na tej podstawie postawić hipotezę, że poprzednie negatywne wyniki oddziaływania na człowieka nie są wystarczającym dowodem na brak takiego oddziaływania na całość populacji. Wyniki badań dotyczących zwiększenia widma

EEG w różnych zakresach częstotliwości nie są jednak spójne. Część autorów (Loughran *i in.*, 2012), (Schmid, Murbach, *i in.*, 2012), (Schmid, Murbach, *i in.*, 2012), (Lowden *i in.*, 2011) stwierdziło zwiększenie mocy widma EEG, natomiast w pracy (Nakatani-Enomoto *i in.*, 2013) nie stwierdzono żadnego wpływu ekspozycji na PEM telefonu przed zaśnięciem na zapis EEG podczas snu. Należy jednak pamiętać, że badania różnią się parametrami sygnału i czasem ekspozycji. Jeśli przyjmiemy tezę o osobniczych różnicach wrażliwości na PEM to porównanie otrzymanych wyników staje się jeszcze trudniejsze.

Analizując wpływ pola elektromagnetycznego badano również moc widma spoczynkowego. Dotychczas nie stwierdzono wpływu PEM telefonów UMTS na zapis spoczynkowy EEG. Pole elektromagnetyczne pochodzące z systemu GSM, jak pokazują badania, ma wpływ na moc widma spoczynkowego, szczególnie w paśmie częstotliwości α (podstawowy rytm dla 85% populacji). Badania wykazały też różnice w zależności od grupy wiekowej (Croft *i in.*, 2010), (Vecchio *i in.*, 2010) (Loughran *i in.*, 2013). Wyniki badań wskazują podwyższoną wrażliwość osób starszych na PEM z zakresu częstotliwości GSM. W badaniach (Croft *i in.*, 2010), (Loughran *i in.*, 2013) badano wpływ na młodzież (odpowiednio 13-15 lat oraz 11-13lat) i nie wykryto wpływu na zapis EEG w fazie spoczynkowej.

W zdecydowanej większości prac poświęconych wpływowi PEM na procesy poznawcze nie stwierdzono żadnych efektów ekspozycji na pole PEM telefonii komórkowej (Schmid, Murbach, *i in.*, 2012)(Loughran *i in.*, 2013) (Leung *i in.*, 2011), (Eltiti *i in.*, 2009), (Luria *i in.*, 2009), (Hareuveny *i in.*, 2011). W pracy (Leung *i in.*, 2011) zbadano jaki wpływ ma oddziaływanie telefonów komórkowych drugiej (2G) i trzeciej (3G) generacji na odbiór bodźców słuchowych i funkcje poznawcze (dokładnie pamięć roboczą) u osób w różnym wieku – nastolatków (41 osób 13-15 lat), młodych dorosłych (42 osoby 19-40 lat) oraz osób w okresie późnej dorosłości (20 osób 55-70 lat). W badaniu wykorzystano elektroencefalografię, do określenia zmian na poziomie fizjologicznym – aktywność fal mózgowych. Osoby badane wykonywały dwa zadania – jedno dotyczące rozróżniania bodźców słuchowych (3-stimulus oddball task), drugie pamięci roboczej (N-back task) w trzech różnych warunkach – placebo (Sham); oddziaływania sieci 2G oraz oddziaływania sieci 3G. Podczas każdego warunku mierzono czas reakcji i trafność wykonania zadań oraz aktywność fal mózgowych. Aby zminimalizować błędy we wnioskowaniu między kolejnymi badaniami wprowadzano minimum 4-dniowe przerwy, a ich kolejność oraz strona ciała, wystawiana na działanie telefonów komórkowych, była dobierana losowo. Wyniki wskazały na zmianę aktywności fal mózgowych w obu zadaniach – w zadaniu słuchowym zaobserwowano zmianę przy działaniu telefonów 2G (amplituda N1 była wyższa), w zadaniu poznawczym pojawiły się zmiany o innym charakterze, (opóźniona odpowiedź ERD/ERS w zakresie fali alfa) w warunku z udziałem obu typów telefonów w stosunku do próby porównawczej. W zadaniu dotyczącym pamięci roboczej wystąpiła dodatkowo różnica w poziomie wykonania zadania w grupie adolescentów (młodzieży). Nastolatki poddani działaniu telefonów 3G osiągnęli istotnie niższy poziom wykonania zadania pamięciowego niż w warunku kontrolnym. Wyniki wskazują, że efekt oddziaływania telefonów jest ważny i subtelny, ważne są różnice między osobami oraz dobór zadań o różnym charakterze, aby dobrze ocenić, w jaki sposób ich wpływ zmienia nasze funkcjonowanie na poziomie mózgu i zachowania.

Telefony komórkowe a nowotwory

Z punktu widzenia rakotwórczości duże znaczenie mają wyniki pracy zespołu IARC (Baan *i in.*, 2011). W 2011 roku grupa dokonała przeglądu ponad 40 badań, w tym siedem dwuletnich, oceniających rakotwórczość PEM o częstotliwościach radiowych i mikrofalowych u gryzoni. W badaniach uwzględniono ekspozycje na częstotliwości z zakresów używanych przez telefony komórkowe i Wi-Fi. W żadnym z długoterminowych testów biologicznych nie wykazano zwiększonego występowania jakiegokolwiek rodzaju nowotworu w tkankach lub narządach zwierząt narażonych na PEM przez 2 lata.

W jednym z siedmiu długoterminowych testów biologicznych stwierdzono zwiększoną całkowitą liczbę nowotworów złośliwych u zwierząt narażonych na PEM o częstotliwościach radiowych. Zwiększoną zachorowalność na raka u narażonych zwierząt odnotowano w dwóch z 12 badań na zwierzętach ze skłonnością do nowotworów (Repacholi *i in.*, 1997), (Szmigielski *i in.*, 1982) oraz w jednym z 18 badań z wykorzystaniem protokołów promocji inicjacji (Hruby *i in.*, 2008). W czterech z sześciu badań nad rakotwórczością wykazano zwiększoną zachorowalność na raka po ekspozycji na PEM w połączeniu ze znanym czynnikiem rakotwórczym. Jednak wartość prognostyczna tego typu badań dla raka ludzkiego nie jest znana. Ogólnie rzecz biorąc, zespół IARC stwierdził, że istnieją „ograniczone dowody” u zwierząt doświadczalnych na rakotwórczość PEM.

Zespół dokonał również przeglądu wielu badań dotyczących istotnych wskaźników dla mechanizmów rakotwórczości, w tym genotoksyczności, wpływu na funkcje odpornościowe, ekspresji genów i białek, sygnalizacji komórkowej, stresu oksydacyjnego i apoptozy. Przeanalizowano również badania nad możliwym wpływem PEM na barierę krew-mózg i na różne efekty w mózgu. Chociaż istnieją dowody na wpływ PEM na niektóre z tych punktów, zespół IARC doszedł do ogólnego wniosku, że wyniki te dostarczyły jedynie słabych dowodów istotnych dla raka indukowanego PEM u ludzi.

Ze względu na ograniczone dowody u ludzi i zwierząt, w 2011 roku Grupa Robocza IARC sklasyfikowała, PEM jako „przypuszczalnie kancerogenne” (Grupa 2B) (Baan *i in.*, 2011), (Cardis *i in.*, 2011), (Group, 2010). Ocenę tę poparła znaczna większość członków grupy roboczej. W związku z tym, że wyniki badań nie pozwoliły zaklasyfikować telefonów komórkowych do grupy z pewnością bezpiecznych, w międzyczasie nadal prowadzono badania nad potencjalnym wpływem telefonów na zdrowie ludzi.

Mimo, że nie znaleziono wyraźnych zależności pomiędzy zachorowalnością na nowotwory, a polem elektromagnetycznym spełniającym obecne normy, WHO prowadzi projekt mający na celu wyjaśnienie niejasności związanych z wynikami niektórych badań.

W 2012r. (Carlberg i Hardell, 2012) autorzy podsumowali wyniki badań statystycznych gdzie badano zależność 1251 zdiagnozowanych zachorowań na raka mózgu w latach 1997 do 2003 u osób pomiędzy 20. a 80. rokiem życia, a korzystaniem z telefonu komórkowego. Zanotowano zwiększone ryzyko wystąpienia raka przy długoletnim korzystaniu z telefonów komórkowych, intensywnym korzystaniu z telefonu oraz jeśli rozpoczęto korzystanie z telefonu przed 20. rokiem życia.

W wyniku międzynarodowego projektu (Sadetzki *i in.*, 2014), w którym udział brali uczestnicy w wieku 7-19lat z 14 krajów stwierdzono, że nie ma istotnej statystycznie zależności między rakiem mózgu a używaniem telefonu w sposób regularny o normalnej intensywności (jedna rozmowa tygodniowo przez minimum 6

miesiący) (Aydin *i in.*, 2011). Statystyczna zależność rośnie jednak wraz z czasem, który upłynął od pierwszego użycia telefonu. Nie zaobserwowano zwiększonego ryzyka guzów mózgu w obszarach mózgu, które otrzymały najwyższą ekspozycję. Brak związku między ekspozycją a reakcją, zarówno pod względem ilości korzystania z telefonu komórkowego, jak i lokalizacji guza mózgu, przemawia przeciwko zależności raka mózgu u dzieci z korzystaniem z telefonu komórkowego w standardowy sposób. W pracy nie zbadano efektów długoterminowych korzystania z telefonów komórkowych, najdłuższy czas używania telefonu u dzieci wynosił 5 lat.

Mimo tych optymistycznych wyników niektórzy badacze, np. (Fernández *i in.*, 2018) uważają, że na podstawie nowszych badań grupy Hardella (Carlberg i Hardell, 2012), (Hardell i Carlberg, 2015), (Wyde *i in.*, 2016) i innych należałoby zaklasyfikować pole elektromagnetyczne o częstotliwościach radiowych i mikrofalowych, jako prawdopodobnie kancerogenne (grupa 2a wg Klasyfikacji IARC). Jak widać z zaprezentowanych powyżej prac wyniki badań nad wpływem pola elektromagnetycznego u ludzi, szczególnie u dzieci i młodzieży budzą wiele kontrowersji i nie są jednoznaczne.

Telefon komórkowy – płodność

W pracy (Houston *i in.*, 2016) autorzy podsumowują 27 prac dotyczących wpływu pola elektromagnetycznego na częstotliwościach radiowych i mikrofalowych na męski układ rozrodczy. W 21 pracach zgłoszono negatywne konsekwencje narażenia na tego typu promieniowanie elektromagnetyczne. Czynnikiem, który powoduje różnice w wynikach badań jest zastosowanie różnej mocy promieniowania, częstotliwości, długości ekspozycji oraz sposobu jej przeprowadzania. Wyklucza to możliwość bezpośrednich i rzetelnych porównań między badaniami. W niektórych pracach bada się rzeczywistą ekspozycję na promieniowanie telefonów komórkowych, co jest oczywiście bardzo trudne ze względu na zmienność warunków środowiskowych występujących przy rzeczywistym korzystaniu z telefonów komórkowych. W innych pracach z kolei próbuje się symulować wpływ podwyższonej ekspozycji. Część prac przeprowadzono na zwierzętach, w tym wszystkie, w których nie zanotowano wpływu pola elektromagnetycznego o częstotliwościach telefonii komórkowej. Wśród prac, w których zanotowano wpływ na spermę badano spermę pochodzącą zarówno od ludzi ((Desai, Kesari i Agarwal, 2009), (De Iuliis *i in.*, 2009), (Erogul *i in.*, 2006), (Falzone *i in.*, 2011), (Fejes *i in.*, 2005), (Gorpinchenko *i in.*, 2014), (Wdowiak, Wdowiak i Wiktor, 2007), (Zalata *i in.*, 2015)) jak i od myszy i szczurów. Badania tego typu najczęściej prowadzi się w związku ze stale zwiększającym się problemem bezpłodności u mężczyzn (Rowe i World Health Organization., 2000).

Spośród 21 badań, w których uzyskano negatywne konsekwencje narażenia na PEM, 15 badało ruchliwość plemników. W 11 z nich zauważono znaczące spadki ruchliwości, w pozostałych zauważone obniżenie ruchliwości było nieznaczne.

W 7 pracach mierzono produkcję reaktywnych form tlenu ROS. We wszystkich wspomnianych publikacjach udokumentowano podwyższone poziomy. W 4 na 5 badań, w których badano uszkodzenia DNA zaobserwowano zwiększone uszkodzenia spowodowane ekspozycją na pole elektromagnetyczne. W niektórych pracach badano dodatkowo możliwość złagodzenia negatywnych konsekwencji nadmiernego wytwarzania ROS poprzez suplementację antyoksydantów i we wszystkich przypadkach uzyskano pozytywne rezultaty tego doświadczenia.

Przykładowo w (Wdowiak, Wdowiak i Wiktor, 2007) badaniami objęto grupę 304 mężczyzn, wśród których 99 nie używało telefonu komórkowego, 150 używało go sporadycznie i 48 używało telefonu komórkowego regularnie przez minimum 2 lata.

Wykryto, że w grupie pierwszej u 65,7% mężczyzn zaobserwowano żywotność plemników na normalnym poziomie, natomiast w grupie używającej telefonu sporadycznie normalny poziom żywotności zaobserwowano u 51,6% mężczyzn. Najgorsze wyniki uzyskano dla osób używających telefonu regularnie przez okres 2 lat (prawidłowa żywotność plemników u 35,4% osób). Analogiczną tendencję zauważono analizując patologię struktury plemników.

Analizując wyniki tych badań należy pamiętać, że nie jest możliwe wyizolowanie czynników środowiskowych, mogących mieć wpływ na wynik tych badań. Fale o tej samej częstotliwości mogły być emitowane do środowiska przez inne urządzenia znajdujące się w pobliżu. Można przypuszczać, że osoby intensywnie korzystające z telefonów komórkowych częściej wykonują pracę siedzącą, co sprzyja podwyższeniu temperatury w okolicy moszny i niepłodności. Osoby rozmawiające przez telefon w większym stopniu mogą być narażone na stres, który wpływając na poziom hormonów może przyczynić się do problemów z nasieniem.

Jednocześnie warto pamiętać, że obecnie wielu chłopców i młodych mężczyzn korzysta z telefonów komórkowych nie tylko do rozmowy, ale również do wymieniań doświadczeń na forach czy grania w gry. Telefon, w stanie, gdy nie prowadzi się przez niego rozmowy nadal emituje pole elektromagnetyczne, choć o wartościach znacznie niższych niż w czasie połączenia. W związku z wynikami badań dotyczących płodności, wydaje się rozsądne zachować zasadę ostrożności i w miarę możliwości ograniczać korzystanie z telefonu, by wejść w życie dorosłe bez problemów z płodnością.

Badania dotyczące wpływu sieci bezprzewodowych Wi-Fi

W ostatnich czasach, korzystanie z Internetu stało się jednym z elementów codzienności, zarówno w pracy jak i w domu, zrewolucjonizowało sposób dzielenia się oraz pobierania informacji. Coraz częściej korzystamy z serwisów pogodowych by sprawdzić temperaturę, zamiast sprawdzać na umieszczonym za oknem termometrze. Chcąc sprawdzić drogę nie rozkładamy mapy, tylko przez mapy internetowe sprawdzamy trasy, godziny odjazdów pociągów czy komunikacji miejskiej, a nawet kupujemy bilety. Sklepy internetowe są popularnym miejscem robienia zakupów, a strony sklepów stacjonarnych informują o aktualnej ofercie, więc zanim wybierzemy się na zakupy często sprawdzamy gdzie warto pójść. Przelewy papierowe powoli odchodzą w niepamięć, podobnie jak papierowe listy i kartki świąteczne. Coraz częściej wysyłamy życzenia emailami. Bardzo popularne są też gry internetowe wymagające szybkich i niezawodnych łącz, przesyłających duże ilości danych. Zamiast dzwonić wykonując połączenie głosowe łączymy się przez systemy video, zamiast szukać instrukcji schowanej w szafie, ściągamy ją z Internetu, albo oglądamy filmik, na którym ktoś pokazuje jak coś wykonać. Układy Wi-Fi, które łączą urządzenie z siecią bezprzewodową i Internetem są wbudowane w miliony urządzeń od wag łazienkowych i „inteligentnych” gniazdek elektrycznych po sprzęt do strumieniowego przesyłania filmów i muzyki. Wi-Fi jest zainstalowany na naszych smartfonach i laptopach, w domu i miejscu pracy, w kawiarniach i na lotniskach oraz oczywiście w wielu szkołach na całym świecie.

W niektórych szkołach na terenie Stanów Zjednoczonych korzystanie z cyfrowych form uczenia oraz łączności bezprzewodowej stało się silnie zakorzenione, niektórzy nauczyciele uważają nawet, że szybki dostęp do Internetu jest warunkiem skutecznego nauczania (Foster, 2019). Również w polskich podręcznikach pojawiają się zadania domowe wymagające użycia Internetu. Jednocześnie znaczna liczba osób ma obawy

dotyczące zdrowia związane z częstotliwościami mikrofalowymi, emitowanymi przez urządzenia Wi-Fi, nawet, jeśli poziomy narażenia są znacznie poniżej limitów bezpieczeństwa określonych przez rząd. W skrajnych przypadkach ekspozycje na częstotliwości ze źródeł o niskich mocach takich jak Wi-Fi obwiniane są za szereg szkodliwych skutków zdrowotnych takich jak bóle głowy, utrata słuchu, nowotwory, choroba Alzheimera. Wśród zwolenników tych teorii można także znaleźć naukowców i lekarzy.

Dotychczasowe badania pokazują, że nie ma powodu do obaw związanych z oddziaływaniem pól elektromagnetycznych związanych z bezprzewodowymi sieciami Wi-Fi. Nie wykazano niekorzystnych skutków zdrowotnych w przypadku ekspozycji na częstotliwości mikrofalowe, które mieszczą się w ustalonych wytycznych dotyczących bezpieczeństwa, a promieniowanie z elementów sieci Wi-Fi znajdują się znacznie poniżej tych limitów.

Termin „Wi-Fi” odnosi się do urządzeń zgodnych z zestawem standardów technicznych, które umożliwiają komunikację za pośrednictwem łączy bezprzewodowych. Obecnie urządzenia Wi-Fi transmitują w dwóch pasmach widma częstotliwości mikrofalowych, ok 2,45 i 5 gigaherców, ale w przyszłości mają zostać wykorzystane dodatkowe pasma częstotliwości. Niższy zakres częstotliwości jest częścią pasma przemysłowego, naukowego i medycznego, który od dawna jest używany w domowych kuchenkach mikrofalowych, diatermii i innym sprzęcie medycznym, grzejnikach przemysłowych i wielu innych urządzeniach.

Urządzenia Wi-Fi przesyłają strumienie krótkich impulsów o częstotliwości mikrofalowych przy nieco niższych szczytowych poziomach mocy niż te używane przez telefony komórkowe oraz w bardzo niskim cyklu pracy (ułamek czasu poświęcanego na transmisję). Jednocześnie tylko jedno urządzenie może nadawać w sieci Wi-Fi. Jeśli sieć jest silnie obciążona, całkowita ilość energii fali o częstotliwości mikrofalowej przesyłanej w sieci może być w przybliżeniu porównywalna z energią z jednego telefonu komórkowego używanego w pokoju lub do niewielkich ilości energii mikrofalowej, które zwykle wyciekają z przednich drzwi kuchenki mikrofalowej podczas użytkowania. Sygnały Wi-Fi pochodzą z kolei z każdego urządzenia podłączonego do sieci, z których większość znajduje się w pewnej odległości od dowolnej osoby w pomieszczeniu.

Większość badań dotyczących narażenia na częstotliwości radiowe i mikrofalowe - jak dotąd prawie 4000 - przeprowadzono w ciągu ostatniego półwiecza. Od samego początku duża część tych badań wykorzystywała energię o częstotliwości w paśmie przemysłowym, naukowym i medycznym, w którym działa Wi-Fi, częściowo po to, aby poznać potencjalne związki z problemami zdrowotnymi związane z użytkowaniem mikrofal o dużej mocy źródła. Począwszy od połowy lat 90. XX wieku, w wielu badaniach badano ekspozycję na częstotliwości radiowe przy częstotliwościach telefonów komórkowych (zwykle 800–1950 megaherców). Niewielka, ale rosnąca liczba badań dotyczyła ekspozycji na fale z zakresu sygnałów Wi-Fi.

Badania różnią się znacznie pod względem jakości i podejścia. W stosunkowo niewielu badaniach wykorzystano standardowe protokoły i rygorystyczne standardy jakości, podobnie jak firma farmaceutyczna lub chemiczna w ocenie bezpieczeństwa produktu. Takie rygorystyczne badania są kosztownymi przedsięwzięciami, ponieważ wymagają dużej liczby badań (osób badanych), wymagającej metodologii i skomplikowanej inżynierii w celu uzyskania dobrze zdefiniowanych ekspozycji na fale o częstotliwościach radiowych i mikrofalowych.

Znaczna część z badań to mniejsze, często eksploracyjne badania, które różnią się znacznie jakością, zagadnieniem, które badają, oraz znaczeniem dla zdrowia. Wiele z nich to jedyne w swoim rodzaju badania, które nie są powtarzane nawet w własnych laboratoriach badaczy. Część badaczy wykorzystywała w badaniach ekspozycje mikrofal znacznie powyżej limitów bezpieczeństwa, w których nagrzewanie próbki mogło mieć znaczący wpływ na wyniki (oddziaływania termiczne). Niestety w znacznej części badań występują poważne problemy metodologiczne, takie jak nieodpowiednia ocena poziomów narażenia lub brak odpowiednich grup kontrolnych, co uniemożliwia wiarygodną interpretację wyników.

Podczas gdy wiele badań - szczególnie tych lepiej zaprojektowanych - nie wykazało statystycznie istotnych skutków narażenia oprócz tych spowodowanych ogrzewaniem, wiele innych zgłosiło skutki, których autorzy nie uważali za mające podstawy termiczne. Literatura wyraźnie wskazuje, że nadmierne narażenie jest niebezpieczne z powodu ogrzewania. Na dzień dzisiejszy nie udało się znaleźć przekonujących dowodów na zagrożenia dla zdrowia wynikające z narażenia na częstotliwości mikrofalowe, które znajdują się poniżej limitów przyjętych na szczeblu międzynarodowym.

Na przykład we Francji Agencja ds. Żywności, Środowiska i Bezpieczeństwa i Higieny Pracy (ANSES - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) szczegółowo przeanalizowała kwestię narażenia na promieniowanie radiowe i mikrofalowe. Szesnastu niezależnych ekspertów pracowało przez trzy lata, organizując wiele spotkań i konsultacji publicznych. W raporcie końcowym wydanym w 2013 r. (ANSES, 2013). Stwierdzono, że „brak dostępnych danych umożliwia zaproponowanie nowych dopuszczalnych wartości narażenia dla populacji ogólnej”, ale postawiono szereg pytań wymagających dalszych badań.

W 2016 r. ta sama francuska agencja wydała opinię na temat narażenia na promieniowanie częstotliwości radiowych i mikrofalowych na dzieci w wieku sześciu lat i młodszych, które (według wskazanego przeglądu) są narażone na takie sygnały z wielu źródeł, w tym zdalnie sterowanych zabawek, krótkofalówek i telefonów komórkowych. W opinii rozważono dowody dotyczące dziewięciu różnych zagadnień związanych ze zdrowiem, od zachowania i efektów poznawczych po toksyczność dla różnych układów organizmu. Agencja stwierdziła, że dostępne dane dla siedmiu z analizowanych aspektów były niewystarczające, aby ustalić skutki (korzystne lub niekorzystne) wynikające z narażenia na promieniowanie PEM. Agencja znalazła „ograniczone dowody” na wpływ używania telefonu komórkowego na funkcje poznawcze i ogólne samopoczucie, dodając, że „efekty te mogą być jednak związane raczej z korzystaniem z telefonów komórkowych niż z częstotliwościami, które emitują”. Wi-Fi wymieniono w raporcie tylko raz, mimochodem.

W przeciwieństwie do ostrożnych, ale ogólnie uspokajających ustaleń agencji zdrowia, ci, którzy sprzeciwiają się Wi-Fi, twierdzą, że narażenie na częstotliwości radiowe jest niebezpieczne dla zdrowia ludzkiego, nawet przy poziomach narażenia znacznie poniżej limitów międzynarodowych. Ich podstawowym argumentem, nieprzekonującym naukowo, jest to, że duża ilość potencjalnych efektów biologicznych działania fal o częstotliwościach mikrofalowych wyższych mocy (efekty termiczne) oznacza, że pola o niewielkich mocach powstające w wyniku działania Wi-Fi muszą również mieć pewien wpływ na zdrowie, nawet, jeśli nie możemy tego wyraźnie dostrzec.

Bez wątplenia najczęściej cytowanym dokumentem potwierdzającym to stanowisko jest BioInitiative Report („Bioinitiative”, 2012), prawie 1500 stronicowy przegląd badań nad biologicznymi skutkami pól elektromagnetycznych w szerokim

zakresie ekspozycji, opracowany przez grupę samowybranych autorów. W przeciwieństwie do agencji zdrowia (WHO, ANSES, IARC), które poddają badania krytycznym recenzjom, redaktorzy raportu nie podejmowali żadnych prób oceny jakości metodologicznej omawianych badań ani oceny spójności wyników różnych badań. W raporcie uwaga zwrócona jest w znacznie większym stopniu na badania zgłaszające skutki biologiczne niż na te, w których nie stwierdzono żadnych skutków.

W końcowym rozdziale redaktorzy zaproponowali „poziom zapobiegawczy” dla narażenia na częstotliwości radiowe, który stanowi niewielki ułamek istniejących limitów międzynarodowych - mniej niż jedną milionową obecnych limitów. Limit zalecany w raporcie, skutecznie wykluczyłby jakiekolwiek zastosowanie fal o częstotliwościach radiowych i mikrofalowych przesyłanej tam, gdzie ludzie są obecni - nie tylko Wi-Fi, ale także telefony komórkowe, telewizja i radio, radar, a nawet łączność policji w nagłych wypadkach.

Raport BioInitiative był szeroko krytykowany przez agencje zdrowia i inne grupy ekspertów za brak równowagi. Niemniej jednak często cytowany jest przez tych, którzy walczą przeciwko instalacji wież telefonii komórkowej, liczników energii elektrycznej, linii energetycznych i innej infrastruktury elektrycznej.

W obecnych argumentach przeciwników Wi-Fi dominują dwa problemy zdrowotne. Jednym z nich jest to, że ekspozycje Wi-Fi mogą prowadzić do nowotworów. Wynika to z badania przeprowadzonego w 2013 r. przez Międzynarodową Agencję Badań nad Rakiem (IARC). W badaniu stwierdzono, że istnieją „ograniczone dowody” z badań na ludziach i zwierzętach na rakotwórcze działanie promieniowania o częstotliwościach radiowych i mikrofalowych i sklasyfikowano takie pola elektromagnetyczne, jako „przypuszczalnie rakotwórcze” dla ludzi. W specjalistycznej terminologii agencji oznaczenie to wskazuje, że dostępne dowody były wystarczające, aby wzbudzić podejrzenia, ale niewystarczające, aby grupa robocza stwierdziła, że związek przyczynowy „prawdopodobnie” lub faktycznie istnieje.

Drugim problemem zdrowotnym podniesionym przez osoby przeciwnie narażeniu na promieniowanie o częstotliwościach radiowych i mikrofalowych jest „nadwrażliwość elektromagnetyczna”, zespół charakteryzujący się niespecyficznymi objawami, takimi jak ból głowy, problemy ze snem i lęk, które wiele osób przypisuje niskim częstotliwościom pola radiowego. Nie ma wątpliwości, że wiele z osób zgłaszających nadwrażliwość na promieniowanie o częstotliwościach radiowych i mikrofalowych ma poważne problemy zdrowotne; ich objawy są prawdziwe. Jednak wiele dobrze kontrolowanych badań nie powiązało jakiegokolwiek rodzaju ekspozycji na pole elektromagnetyczne z tymi objawami. W kontrolowanych testach osoby „wrażliwe” elektromagnetycznie zazwyczaj zgłaszają objawy, gdy myślą, że są narażone na energię pola elektromagnetycznego, niekoniecznie, gdy są wyraźnie widoczne.

Nadwrażliwość na pole elektromagnetyczne

Nadwrażliwość na PEM można opisać jako subiektywną ocenę stanu zdrowia jako zły, w związku z oddziaływaniem PEM (Mild *i in.*, 2006). Grupa robocza Komisji Europejskiej uważa, że zjawisko nadwrażliwości na pole elektromagnetyczne polega na tym, że dana osoba odczuwa negatywne efekty zdrowotne podczas używania lub pozostawania w bliskości urządzeń emitujących pola elektryczne, magnetyczne lub elektromagnetyczne (Aringer *i in.*, 1997). Wśród objawów, które zgłaszają osoby uważające się za wrażliwe na pole elektromagnetyczne należą: skutki

dermatologiczne, takie jak zaczerwienienie skóry, wysypka, uczucie mrowienia na powierzchni skóry, lokalne uczucie ciepła, przegrzania skóry; skutki neurologiczne: ogólne zmęczenie, zaburzenia koncentracji, problemy z pamięcią, zawroty głowy, bóle głowy, zaburzenia snu, wrażenia słuchowe, palpacje serca oraz skutki wegetatywne: nudności, bóle brzucha, zaburzenia trawienne (Sobiczewska i Szmigielski, 2009). W raporcie z 2007r. Holenderskiej Fundacji Elektronadwrażliwości przedstawiono wyniki badań ankietowych przeprowadzonych wśród 250 osób określających się, jako nadwrażliwe na PEM (Schooneveld i Kuiper, 2007). Badania nie uwzględniały charakterystyki źródeł czy fizycznych parametrów PEM. Większość badanych osób okazała się nadwrażliwa również na inne niż PEM czynniki środowiskowe, takie jak promieniowanie UV, zapachy czy alergen. Poza tym większość ankietowanych przyznawała się do wielu współistniejących z nadwrażliwością na PEM syndromów, takich jak syndrom chronicznego zmęczenia, syndrom wypalenia, syndrom nawracającego stresu czy nadwrażliwość na czynniki chemiczne. W badaniu epidemiologicznym (3526 osób badanych), przeprowadzonym w Niemczech (Berg-Beckhoff *i in.*, 2009), uwzględniono ocenę dozymetryczną ekspozycji środowiskowej. Badaniami objęto osoby zamieszkujące okolice stacji bazowych telefonii komórkowej. Nie wykazano żadnego związku przyczynowego między ekspozycją na PEM emitowane przez stacje bazowe a występowaniem takich objawów nadwrażliwości na PEM, jak bóle głowy czy zaburzenia snu.

Przeprowadzone badania wskazują jednak jednocześnie, że indywidualne cechy osobnicze (Leung *i in.*, 2011) oraz wiek (Croft *i in.*, 2010) mogą mieć wpływ na reakcję organizmu na działanie PEM.

Dotychczasowe badania nad istnieniem nadwrażliwości na coraz powszechniej występujące w otoczeniu człowieka pola elektromagnetyczne nie przyniosły jednoznacznych dowodów potwierdzających istnienie zjawiska nadwrażliwości. W codziennym życiu praktycznie nie ma możliwości oddzielenia PEM od innych czynników środowiskowych (fizycznych, chemicznych, socjalnych), stąd powiązanie bezpośrednio z oddziaływaniem PEM występowania określonych objawów chorobowych (w tym przypisywanych nadwrażliwości na PEM) jest bardzo trudne. Poza tym obecnie nie ma przekonujących dowodów na to, że PEM o mocy dopuszczalnej w środowisku normami prawnymi wywołuje określone efekty zdrowotne.

Podsumowanie

Narażenie dorosłych i dzieci na pole elektromagnetyczne różni się w związku z różnicami w zachowaniu i wykonywanych w ciągu dnia czynnościach (Eeftens *i in.*, 2018), dzieci mają też mniejsze głowy i cieńsze kości czaszki chroniące mózg przed wnikaniem pola elektromagnetycznego (Gandhi *i in.*, 2012). Tkanki mózgu dziecka mają też wyższą wartość przewodności w związku z tym ich mózg będzie absorbował większą wartość pola elektromagnetycznego. Normy określone dla maksymalnej dopuszczalnej wartości pola elektromagnetycznego są określone dla wartości gęstości pola znacznie niższych niż wartości powodujące skutki termiczne szkodliwe dla organizmu.

Bibliografia

ANSES (2013). Dostępne na: <https://www.anses.fr> (Udostępniono: 25 listopad 2019).

Aringer, L. *i in.* (1997) *Possible health implications of subjective symptoms and electromagnetic fields A report prepared by a European group of experts for the European Commission, DG V.*

Atasoy, H. I. *i in.* (2013) „Immunohistopathologic demonstration of deleterious effects on growing rat testes of radiofrequency waves emitted from conventional Wi-Fi devices”, *Journal of Pediatric Urology*, 9(2), ss. 223–229. doi: 10.1016/j.jpuro.2012.02.015.

Aydin, D. *i in.* (2011) „Mobile Phone Use and Brain Tumors in Children and Adolescents: A Multicenter Case-Control Study”, *JNCI Journal of the National Cancer Institute*, 103(16), ss. 1264–1276. doi: 10.1093/jnci/djr244.

Baan, R. *i in.* (2011) „Carcinogenicity of radiofrequency electromagnetic fields.”, *The lancet oncology*, ss. 624–626. doi: 10.1016/s1470-2045(11)70147-4.

Berg-Beckhoff, G. *i in.* (2009) „Mobile phone base stations and adverse health effects: phase 2 of a cross-sectional study with measured radio frequency electromagnetic fields. 2009”:, *Occup. Environ. Med.*

„Bioinitiative” (2012). Dostępne na: <https://bioinitiative.org/>.

Birks, L. E. *i in.* (2018) „Spatial and temporal variability of personal environmental exposure to radio frequency electromagnetic fields in children in Europe”, *Environment International*. Elsevier Ltd, 117, ss. 204–214. doi: 10.1016/j.envint.2018.04.026.

Cardis, E. *i in.* (2011) „Risk of brain tumours in relation to estimated RF dose from mobile phones: Results from five interphone countries”, *Occupational and Environmental Medicine*, 68(9), ss. 631–640. doi: 10.1136/oemed-2011-100155.

Carlberg, M. i Hardell, L. (2012) „On the association between glioma, wireless phones, heredity and ionising radiation”, *Pathophysiology*, 19(4), ss. 243–252. doi: 10.1016/j.pathophys.2012.07.001.

Chen, Z. N. (red.) (2007) *Antennas for Portable Devices*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd. doi: 10.1002/9780470319642.

Croft, R. J. *i in.* (2010) „Effects of 2G and 3G mobile phones on human alpha rhythms: Resting EEG in adolescents, young adults, and the elderly”, *Bioelectromagnetics*, s. n/a-n/a. doi: 10.1002/bem.20583.

Danker-Hopfe, H. *i in.* (2010) „Do mobile phone base stations affect sleep of residents? Results from an experimental double-blind sham-controlled field study”, *American Journal of Human Biology*, 22(5), ss. 613–618. doi: 10.1002/ajhb.21053.

Danker-Hopfe, H. *i in.* (2011) „Effects of electromagnetic fields emitted by mobile phones (GSM 900 and WCDMA/UMTS) on the macrostructure of sleep”, *Journal of Sleep Research*, 20(1 PART I), ss. 73–81. doi: 10.1111/j.1365-2869.2010.00850.x.

Desai, N. R., Kesari, K. K. i Agarwal, A. (2009) „Pathophysiology of cell phone radiation: Oxidative stress and carcinogenesis with focus on male reproductive system”, *Reproductive Biology and Endocrinology*, s. 114. doi: 10.1186/1477-7827-7-114.

Eftens, M. *i in.* (2018) „Personal exposure to radio-frequency electromagnetic fields in Europe: Is there a generation gap?”, *Environment International*, 121, ss. 216–226. doi: 10.1016/j.envint.2018.09.002.

Eltiti, S. *i in.* (2009) „Short-term exposure to mobile phone base station signals does not affect cognitive functioning or physiological measures in individuals who report sensitivity to electromagnetic fields and controls”, *Bioelectromagnetics*, 30(7), ss. 556–563. doi: 10.1002/bem.20504.

Erogul, O. *i in.* (2006) „Effects of Electromagnetic Radiation from a Cellular Phone on Human Sperm Motility: An In Vitro Study”, *Archives of Medical Research*, 37(7), ss. 840–843. doi: 10.1016/j.arcmed.2006.05.003.

Falzone, N. *i in.* (2011) „The effect of pulsed 900-MHz GSM mobile phone radiation on the acrosome reaction, head morphometry and zona binding of human spermatozoa”, *International Journal of Andrology*, 34(1), ss. 20–26. doi: 10.1111/j.1365-2605.2010.01054.x.

Fejes, I. *i in.* (2005) „Is there a relationship between cell phone use and semen quality?”, *Archives of Andrology*, 51(5), ss. 385–393. doi: 10.1080/014850190924520.

Fernández, C. *i in.* (2018) „Absorption of wireless radiation in the child versus adult brain and eye from cell phone conversation or virtual reality”, *Environmental Research*, 167, ss. 694–699. doi: 10.1016/j.envres.2018.05.013.

Foster, K. R. (2019) „Is wi-fi a health threat in schools?”, *Education Next*, 19(3), ss. 28–36. Dostępne na: <https://www.educationnext.org/is-wi-fi-health-threat-schools-sorting-fact-fiction/> (Udostępniono: 27 listopad 2019).

Gandhi, O. P. *i in.* (2012) „Exposure Limits: The underestimation of absorbed cell phone radiation, especially in children”, *Electromagnetic Biology and Medicine*, 31(1), ss. 34–51. doi: 10.3109/15368378.2011.622827.

Gorpinchenko, I. *i in.* (2014) „The influence of direct mobile phone radiation on sperm quality”, *Central European Journal of Urology*. Polish Urological Association, 67(1), ss. 65–71. doi: 10.5173/ceju.2014.01.art14.

Group, I. S. (2010) „Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study”, *International Journal of Epidemiology*, 39(3), ss. 675–694. doi: 10.1093/ije/dyq079.

Hardell, L. i Carlberg, M. (2015) „Mobile phone and cordless phone use and the risk for glioma – Analysis of pooled case-control studies in Sweden, 1997–2003 and 2007–2009”, *Pathophysiology*, 22(1), ss. 1–13. doi: 10.1016/j.pathophys.2014.10.001.

Hardell, L. i Sage, C. (2008) „Biological effects from electromagnetic field exposure and public exposure standards”, *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 62(2), ss. 104–109. doi: 10.1016/j.biopha.2007.12.004.

Hareuveny, R. *i in.* (2011) „Cognitive effects of cellular phones: A possible role of non-radiofrequency radiation factors”, *Bioelectromagnetics*, 32(7), ss. 585–588. doi: 10.1002/bem.20671.

Houston, B. J. *i in.* (2016) „The effects of radiofrequency electromagnetic radiation on sperm function”, *Reproduction*. BioScientifica Ltd., 152(6), ss. R263–R276. doi: 10.1530/REP-16-0126.

Hruby, R. *i in.* (2008) „Study on potential effects of “902-MHz GSM-type Wireless Communication Signals” on DMBA-induced mammary tumours in Sprague-Dawley rats”, *Mutat Res*, 649, ss. 34–44.

IARC (2011) „IARC classifies radiofrequency electromagnetic fields as possibly carcinogenic to humans”, *World Health Organization*, 2008(May), ss. 1–6. Dostępne na: http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2011/pdfs/pr208_E.pdf.

De Iuliis, G. N. *i in.* (2009) „Mobile phone radiation induces reactive oxygen species production and DNA damage in human spermatozoa in vitro”, *PLoS ONE*, 4(7). doi: 10.1371/journal.pone.0006446.

Iyare, R. N., Volskiy, V. i Vandenbosch, G. A. E. (2019) „Study of the correlation

between outdoor and indoor electromagnetic exposure near cellular base stations in Leuven, Belgium”, *Environmental Research*. Academic Press Inc., 168, ss. 428–438. doi: 10.1016/j.envres.2018.08.025.

Leung, S. *i in.* (2011) „Effects of 2G and 3G mobile phones on performance and electrophysiology in adolescents, young adults and older adults”, *Clinical Neurophysiology*, 122(11), ss. 2203–2216. doi: 10.1016/j.clinph.2011.04.006.

Lindholm, H. *i in.* (2011) „Thermal effects of mobile phone RF fields on children: A provocation study”, *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, ss. 399–403. doi: 10.1016/j.pbiomolbio.2011.09.004.

Loughran, S. P. *i in.* (2012) „Individual differences in the effects of mobile phone exposure on human sleep: Rethinking the problem”, *Bioelectromagnetics*, 33(1), ss. 86–93. doi: 10.1002/bem.20691.

Loughran, S. P. *i in.* (2013) „No increased sensitivity in brain activity of adolescents exposed to mobile phone-like emissions”, *Clinical Neurophysiology*, 124(7), ss. 1303–1308. doi: 10.1016/j.clinph.2013.01.010.

Lowden, A. *i in.* (2011) „Sleep after mobile phone exposure in subjects with mobile phone-related symptoms”, *Bioelectromagnetics*, 32(1), ss. 4–14. doi: 10.1002/bem.20609.

Lowden, A. *i in.* (2019) „Effects of evening exposure to electromagnetic fields emitted by 3G mobile phones on health and night sleep EEG architecture”, *Journal of Sleep Research*, 28(4), s. e12813. doi: 10.1111/jsr.12813.

Luria, R. *i in.* (2009) „Cognitive effects of radiation emitted by cellular phones: The influence of exposure side and time”, *Bioelectromagnetics*, 30(3), ss. 198–204. doi: 10.1002/bem.20458.

Mamrot, P. *i in.* (2015) „Pola elektromagnetyczne w otoczeniu telefonów bezprzewodowych i komórkowych”, *Medycyna Pracy*, 66(6), ss. 803–814. doi: 10.13075/mp.5893.00364.

Mild, K. H. *i in.* (2006) „Electromagnetic hypersensitivity: proceedings, International Workshop on Electromagnetic Field Hypersensitivity, Prague, Czech Republic, October 25-27, 2004 / editors, Kjell Hansson Mild, Mike Repacholi, Emilie van Deventer”. World Health Organization, ss. xi, 182 p.

Mortazavi, S. M. J. i Mortazavi, S. A. R. (2018) „Comment on ‘Cell phone use and ill health: is there a definite relationship?’”, *South African Family Practice*. Taylor & Francis, 60(6), ss. 212–213. doi: 10.1080/20786190.2018.1432140.

Najera, A. (2019) „Comments on “Wi-Fi is an important threat to human health””, *Environmental Research*. Academic Press Inc., ss. 514–515. doi: 10.1016/j.envres.2018.07.026.

Nakatani-Enomoto, S. *i in.* (2013) „Effects of electromagnetic fields emitted from W-CDMA-like mobile phones on sleep in humans”, *Bioelectromagnetics*, 34(8), ss. 589–598. doi: 10.1002/bem.21809.

Ogunbanjo, G. (2017) „Cell phone use and ill health: Is there a definite relationship?”, *Official journal of the South African Academy of Family Practice/Primary Care*, 59(September 2010), s. 3.

Özorak, A. *i in.* (2013) „Wi-Fi (2.45 GHz)- and mobile phone (900 and 1800 MHz)-Induced risks on oxidative stress and elements in kidney and testis of rats during pregnancy and the development of offspring”, *Biological Trace Element Research*. Humana Press Inc., 156(1–3), ss. 221–229. doi: 10.1007/s12011-013-9836-z.

Pall, M. L. (2016) „Microwave frequency electromagnetic fields (EMFs) produce widespread neuropsychiatric effects including depression”, *Journal of Chemical*

- Neuroanatomy*. Elsevier B.V., ss. 43–51. doi: 10.1016/j.jchemneu.2015.08.001.
- Pall, M. L. (2018) „Wi-Fi is an important threat to human health”, *Environmental Research*. Academic Press Inc., 164, ss. 405–416. doi: 10.1016/j.envres.2018.01.035.
- Pole elektromagnetyczne a człowiek* (2019) Instytut Łączności – Państwowy Instytut Badawczy. Dostępne na: <https://www.gov.pl/web/5g/biala-ksiega1>.
- Politański, P., Bortkiewicz, A. i Zmyślony, M. (2016) „Effects of radio- and microwaves emitted by wireless communication devices on the functions of the nervous system selected elements”, *Medycyna Pracy*, 67(3), ss. 411–421. doi: 10.13075/mp.5893.00343.
- Przytułski, A. (2010) „Efekty termiczne w ciele człowieka wywołane szybkozmiennym polem elektromagnetycznym”, *Pomiary Automatyka Robotyka*, 14(12).
- Repacholi, M. i in. (1997) „Lymphomas in E mu-Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields”, *Radiat Res*, 147, ss. 631–640.
- rezerwacje częstotliwości* (brak daty) -. Dostępne na: <https://uke.gov.pl/> (Udostępniono: 24 listopad 2019).
- Rowe, P. J. i World Health Organization. (2000) *WHO manual for the standardized investigation, diagnosis, and management of the infertile male*. Published on behalf of the World Health Organization by Cambridge University Press.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów* (2003).
- Sadetzki, S. i in. (2014) „The MOBI-Kids study protocol: Challenges in assessing childhood and adolescent exposure to electromagnetic fields from wireless telecommunication technologies and possible association with brain tumor risk”, *Frontiers in Public Health*. Frontiers Media S. A., 2(SEP). doi: 10.3389/fpubh.2014.00124.
- Schmid, M. R., Loughran, S. P., i in. (2012) „Sleep EEG alterations: Effects of different pulse-modulated radio frequency electromagnetic fields”, *Journal of Sleep Research*, 21(1), ss. 50–58. doi: 10.1111/j.1365-2869.2011.00918.x.
- Schmid, M. R., Murbach, M., i in. (2012) „Sleep EEG alterations: Effects of pulsed magnetic fields versus pulse-modulated radio frequency electromagnetic fields”, *Journal of Sleep Research*, 21(6), ss. 620–629. doi: 10.1111/j.1365-2869.2012.01025.x.
- Schooneveld, H. i Kuiper, J. (2007) *Electrohypersensitivity (EHS) in the Netherlands — a questionnaire survey*.
- Sobiczewska, E. i Szmigielski, S. (2009) „Nadwrażliwość na pola elektromagnetyczne”, *Medycyna Pracy*, 60(3), ss. 235–241.
- Szmigielski, S. i in. (1982) „Accelerated development of spontaneous and benzopyrene-induced skin cancer in mice exposed to 2450-MHz microwave radiation”, *Bioelectromagnetics*, 3, ss. 179–191.
- Vecchio, F. i in. (2010) „Mobile phone emission modulates inter-hemispheric functional coupling of EEG alpha rhythms in elderly compared to young subjects”, *Clinical Neurophysiology*, 121(2), ss. 163–171. doi: 10.1016/j.clinph.2009.11.002.
- Wdowiak, A., Wdowiak, L. i Wiktor, H. (2007) „Evaluation of the effect of using mobile phones on male fertility”, *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 14(1), ss. 169–172.
- Wyde, M. i in. (2016) „Report of Partial findings from the National Toxicology Program Carcinogenesis Studies of Cell Phone Radiofrequency Radiation in Hsd: Sprague Dawley SD rats (Whole Body Exposure)”, *bioRxiv*, s. 055699. doi:

10.1101/055699.

Zalata, A. *i in.* (2015) „In Vitro Effect of Cell Phone Radiation on Motility, DNA Fragmentation and Clusterin Gene Expression in Human Sperm”, *International Journal of Fertility & Sterility*. Royan Institute, 9(1), s. 129. doi: 10.22074/IJFS.2015.4217.

Zradziński, P. *i in.* (2013) „Assessment Of The Portable Radiophone Users' Exposure To Electromagnetic Fields, With Use Of Numerical Simulations And Directive 2013/35/Eu Requirements”, *Medycyna Pracy*, 64(6), ss. 817–827. doi: 10.13075/mp.5893.2013.0070.