

*TELEFONIA KOMÓRKOWA I JEJ WPŁYW NA ZDROWIE LUDZI

MOBILE TELEPHONY AND ITS EFFECTS ON HUMAN HEALTH

Andrzej Magiera¹, Jolanta Solecka¹

¹National Institute of Public Health – National Institute of Hygiene, Department of Environmental Health and Safety, 24 Chocimska str., 00-791 Warsaw, Poland

STRESZCZENIE

W ostatnich latach nastąpił gwałtowny wzrost liczby źródeł promieniowania elektromagnetycznego jakimi są telefony komórkowe i stacje bazowe telefonii komórkowej. Promieniowanie to zostało sklasyfikowane przez Międzynarodową Agencję Badań nad Rakiem jako czynnik przypuszczalnie rakotwórczy (grupa 2B). Z tego powodu dokonano wielu badań dotyczących wpływu telefonii komórkowej na zdrowie ludzi. Największe z eksperymentów zostały przeprowadzone na zwierzętach. Ze względu na rozbieżne wyniki wielu badań nie otrzymano jednoznacznej odpowiedzi na temat ewentualnego kancerogennego wpływu tego rodzaju promieniowania na zdrowie. Wykrywanie nowotworów po krótkim czasie od narażenia jest największą trudnością w analizie otrzymanych wyników. Część z badań wymaga powtórzenia i weryfikacji wyników. W przypadku negatywnego wpływu pola elektromagnetycznego na aktywność mózgu, sen, tętno, funkcje poznawcze oraz ciśnienie krwi również nie otrzymano żadnych spójnych dowodów. W związku z coraz większą popularnością telefonów komórkowych, usytuowaniem ich w niewielkich odległościach od ciała człowieka (głównie głowy) oraz rozwojem technologii związanych z telefonią komórkową, która pociąga za sobą wzrost liczby stacji bazowych, niezbędne są dalsze badania przeprowadzane w szczególności wśród młodych ludzi. Okres narażenia człowieka na promieniowanie elektromagnetyczne wydłuża się i tylko dalsze badania naukowe mogą dać odpowiedź na temat ewentualnego negatywnego wpływu telefonów komórkowych i stacji bazowych.

Słowa kluczowe: *fala elektromagnetyczna, promieniowanie elektromagnetyczne częstotliwości radiowych, telefon komórkowy, stacja bazowa telefonii komórkowej, aspekty zdrowotne*

ABSTRACT

In recent years, there has been a rapid increase in the number of electromagnetic radiation sources such as mobile phones and base stations of mobile telephony. This radiation has been classified by the International Agency for Research on Cancer as a possible human carcinogen (group 2B). For this reason, many studies have been carried out on the impact of mobile telephony on human health. The largest of the experiments were carried out on animals. Due to the divergent results of many studies, there was no clear answer on the possible carcinogenic effects of this type of radiation on health. Detection of cancer shortly after an exposure is the most difficult task in analyzing the results. Some of the studies require repetition and verification of the results. In the case of negative effects of electromagnetic fields on brain activity, sleep, heart rate, cognitive function and blood pressure, no consistent evidence has been obtained either. In view of the increasing popularity of mobile phones, their location at short distances from the body (mainly the head) and the development of mobile phone technologies (which entails an increase in the number of base stations), further research, especially among young people, is needed. The duration of human exposure to electromagnetic radiation is subject to an increase and only further research can provide an answer on the possible negative effects of mobile phones and base stations.

Key words: *electromagnetic wave, radiofrequency radiation (RFR), mobile phone, base station, health aspects*

FALE ELEKTROMAGNETYCZNE

Promieniowanie to sposób przenoszenia energii, który odbywa się poprzez emisję cząstek lub fal elektromagnetycznych, niewymagający istnienia ośrodka materialnego pomiędzy źródłem emisji a odbiornikiem.

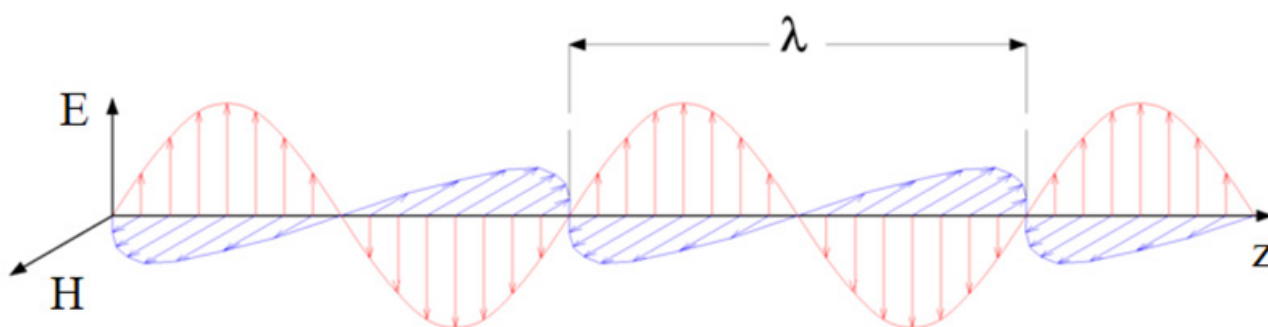
Fale elektromagnetyczne mogą rozchodzić się w próżni. Fala elektromagnetyczna powstaje na skutek poruszającego się ładunku elektrycznego, który wytwarza przepływ prądu elektrycznego. W otoczeniu prądu elektrycznego pojawia się pole magnetyczne. Gdy prąd jest zmienny to pole magnetyczne również

Autor do korespondencji: Andrzej Magiera, National Institute of Public Health – National Institute of Hygiene, Department of Environmental Health and Safety, 24 Chocimska str., 00-791 Warsaw, Poland, tel. +48 22 54 21 423, e-mail: amagiera@pzh.gov.pl

*Artykuł jest także opublikowany w wersji angielskiej. Cytowanie: Rocz Panstw Zakl Hig 2019;70(3):225-234

jest zmienne. Zmienne pole magnetyczne indukuje zmienne pole elektryczne (prawo Faradaya), a zmienne pole elektryczne indukuje zmienne pole magnetyczne (prawo Ampère'a z rozszerzeniem Maxwella). Jeśli jedno z pól wykonuje drgania, to drga również drugie pole (w płaszczyźnie do siebie prostopadłej). Te drgające pola wzajemnie się odtwarzają i przyczyniają się do powstania fali elektromagnetycznej. Natężenia pól (elektrycznego i magnetycznego) maleją szybko wraz

ze wzrostem odległości. Zgodnie z art. 3 pkt 18) ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (t.j. z 2018 r., poz. 799) polem elektromagnetycznym określa się pole elektryczne, magnetyczne oraz elektromagnetyczne o częstotliwościach od 0 Hz do 300 GHz [16]. Pole elektryczne, magnetyczne i elektromagnetyczne są nieodłącznymi elementami środowiska i występują w nim w sposób naturalny.



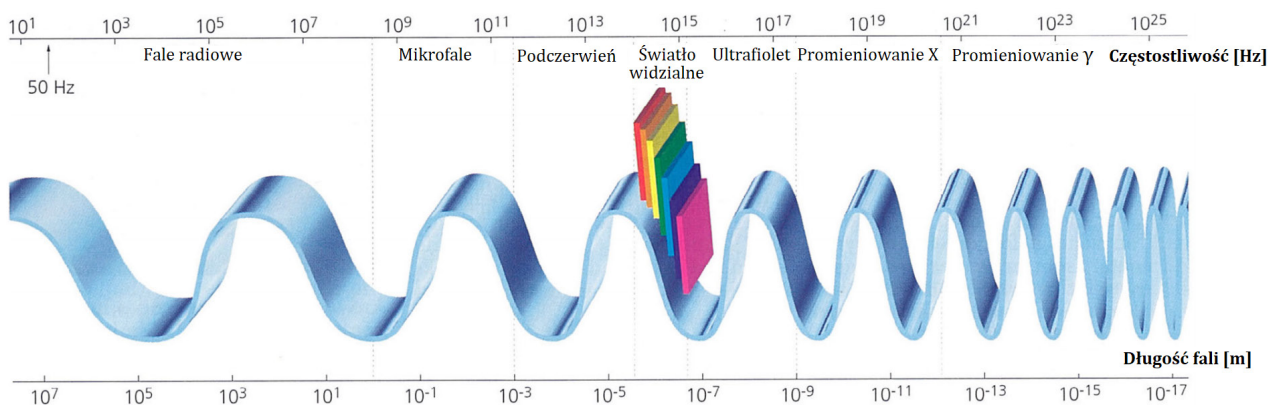
Rysunek 1. Fala elektromagnetyczna (składowa elektryczna i magnetyczna)

Falę elektromagnetyczną opisują następujące wielkości:

- $E \left[\frac{V}{m} \right]$ – natężenie składowej elektrycznej,
- $H \left[\frac{A}{m} \right]$ – natężenie składowej magnetycznej,
- $v \left[\frac{m}{s} \right]$ – prędkość rozchodzenia się fali elektromagnetycznej,
- $\nu [Hz]$ – częstotliwość – liczba pełnych zmian pola magnetycznego i elektrycznego w ciągu jednej sekundy,
- $T [s]$ – okres zmienności – odwrotność częstotliwości, czyli czas, w którym nastąpi powrót do tej samej fazy pola elektrycznego i magnetycznego,

- $\lambda [m]$ – długość fali – odległość między sąsiednimi punktami, w których pole elektryczne i magnetyczne mają taką samą fazę.

Promieniowanie elektromagnetyczne możemy traktować zarówno jako falę elektromagnetyczną (rozchodzenie się w przestrzeni zmiennych pól elektrycznych i magnetycznych) oraz jako strumień małych porcji energii – fotonów (dualizm korpuskularno-falowy). Na rysunku 2 przedstawione jest widmo promieniowania elektromagnetycznego z zaznaczoną częstotliwością i długością fali elektromagnetycznej.



Rysunek 2. Widmo promieniowania elektromagnetycznego [11]

ŹRÓDŁA POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO – TELEFONIA KOMÓRKOWA

Rozwój cywilizacyjny spowodował powstanie ogromnej ilości źródeł wytwarzających pola elektro-

magnetyczne. Źródłami tymi są m. in. telefony komórkowe oraz instalacje radiokomunikacyjne, w tym telefonii komórkowej tzw. stacje bazowe. W ostatnich latach bardzo dynamicznie rozwinęła się ta właśnie dziedzina telekomunikacji, która spowodowała gwał-

towny wzrost liczby użytkowników telefonów komórkowych. W związku z tym problem narażenia na promieniowanie pochodzące od telefonów komórkowych i stacji bazowych stał się przedmiotem badań i analiz, gdyż dotyczy on obecnie większości społeczeństwa. Zagrożenie dotyczy nie tylko osób używających telefonów komórkowych, ale ludzi przebywających w obszarze promieniowania stacji bazowych. Problem ten jest nasilony na obszarach gęsto zaludnionych – głównie w dużych miastach, gdzie liczba użytkowników telefonów komórkowych i liczba stacji bazowych jest największa.

Telefon komórkowy jest to urządzenie elektroniczne, które pozwala użytkownikowi na kontakt radiowy z siecią telefoniczną oraz przekazywanie informacji (prowadzenie rozmowy, przesyłanie wiadomości tekstowych, korzystanie z Internetu). Urządzenie to zamienia głos na sygnał elektryczny, który z kolei transmitowany jest na częstotliwościach radiowych. Drugi telefon odbiera ten sygnał i zamienia go na głos. W telefonach komórkowych antena znajduje się wewnątrz aparatu. Moc wypromieniowywana przez telefony komórkowe zależy od warunków panujących pomiędzy aparatem a stacją bazową (odległość, przeszkody). Jeśli warunki pomiędzy telefonem a stacją bazową ulegają pogorszeniu (zwiększa się odległość telefonu od stacji bazowej lub pojawiają się jakieś mechaniczne przeszkody w kanale radiowym), wówczas aparat zwiększa swoją moc, starając się utrzymać zadowalającą jakość połączenia. Telefon komórkowy pracuje ze swoją maksymalną mocą wyjściową na początku połączenia. Moc spada po rozpoznaniu odpowiedniego poziomu do utrzymania połączenia bez zakłóceń.

Telefony komórkowe komunikują się jedynie ze stacjami bazowymi, nigdy bezpośrednio między sobą. Kontakt ten możliwy jest w miejscach znajdujących się w zasięgu stacji bazowych telefonii komórkowej, czyli w miejscach gdzie dociera emitowane przez nie promieniowanie elektromagnetyczne. Droga pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem nazywana jest kanałem radiowym. Poziom promieniowania elektromagnetycznego emitowanego przez stację bazową telefonii komórkowej zależy od odległości stacji od danego miejsca odbioru oraz rodzaju przeszkód znajdujących się pomiędzy nimi: szum, zakłócenia, efekt Dopplera itp. Obszar obsługiwany przez stację bazową (znajdujący się w jej zasięgu) to komórka. Stąd też wzięła się nazwa – telefon komórkowy. Zasięg komórek zależy od zaludnienia danego obszaru. Maksymalny promień zasięgu wynosi kilkanaście kilometrów (obszary słabo zaludnione).

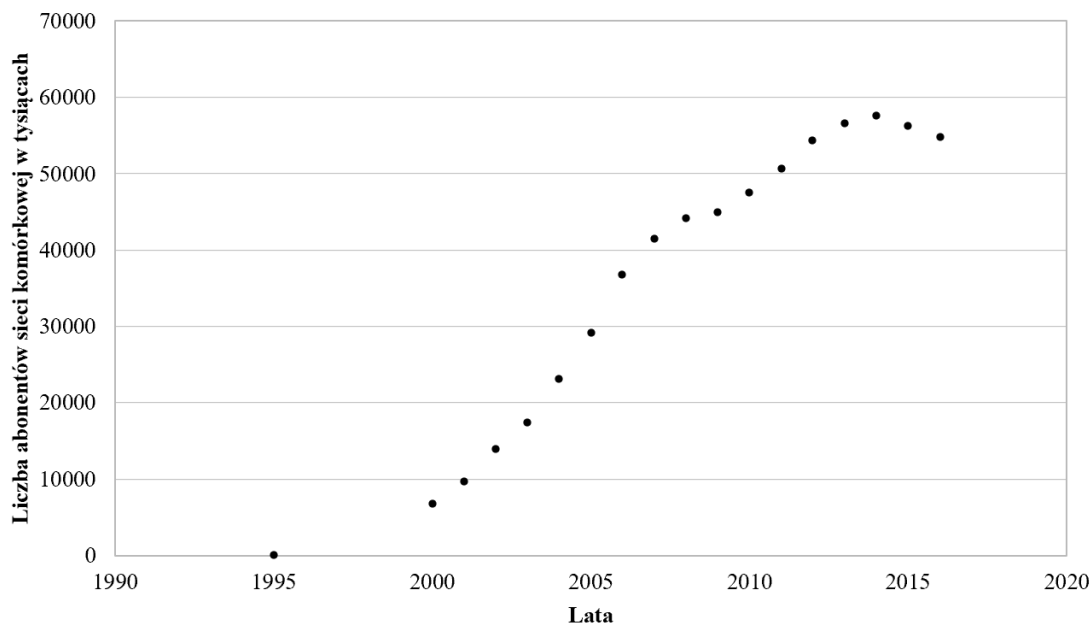
Dla obszarów gęsto zaludnionych (np. duże miasta) zasięgi mogą wynosić nawet kilkadziesiąt metrów (tzw. pikokomórki).

W polu źródeł promieniowania elektromagnetycznego (telefon komórkowy czy stacja bazowa telefonii komórkowej) można wyróżnić dwa obszary (w zależności od odległości od źródła): pole bliskie oraz pole dalekie. Przyjmuje się, że pole bliskie ma swoją granicę w odległości $\frac{2D^2}{\lambda}$, gdzie D jest maksymalnym rozmiarem anteny a λ długością fali promieniowania elektromagnetycznego. Podczas używania telefonu komórkowego można ograniczyć się do rozpatrywania jedynie pola bliskiego, w przypadku oddziaływania stacji bazowej na człowieka i środowisko – pola dalekiego.

Wokół stacji bazowej można wyznaczyć trzy strefy: strefę dobrej słyszalności, strefę zakłóceń dla innych systemów pracujących na tych samych częstotliwościach oraz strefę pomijalną. Sieci komórkowe projektuje się w ten sposób, aby dwa nadajniki (stacje bazowe) o tej samej częstotliwości pracowały przy jak najmniejszych zakłóceniach. Realizuje się to w taki sposób, aby obszar strefy zakłóceń nie nachodził na obszar strefy dobrej słyszalności innej stacji bazowej. Istnieje skończona ilość częstotliwości, na których następuje nadawanie i odbieranie sygnału (na każde połączenie potrzebne są dwie częstotliwości przypisane do rozmowy). Dwie dostępne częstotliwości mogą się powtarzać w niezależnych komórkach sieci. W przypadku komórek sąsiadujących istnieje pewne ograniczenie. Każde połączenie odbywa się na innej częstotliwości. Gdy wszystkie możliwe częstotliwości są zajęte (duża liczba użytkowników telefonów komórkowych wykonuje w jednym czasie połączenia) możliwe jest przeciążenie sieci.

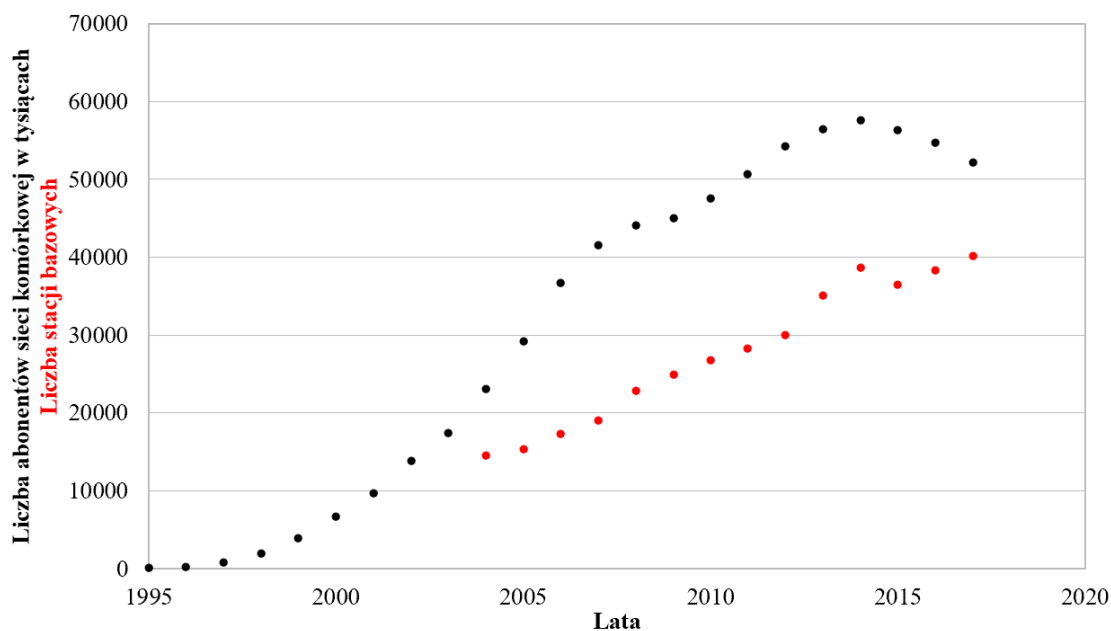
Liczba stacji bazowych zależy m.in. od liczby ludności na danym terenie – im większa gęstość zaludnienia tym większa liczba stacji bazowych. Ze względu na usytuowanie anten stacji bazowych wysoko na dachach budynków, kominach i masztach zapewniona jest dobra jakość połączenia.

W sieciach telefonii komórkowej do łączności z abonentami wykorzystuje się częstotliwości z zakresu 900, 1800 (sieć drugiej generacji – GSM) i 2100 MHz (sieć trzeciej generacji – 3G). Liczba stacji bazowych telefonii komórkowej jest powiązana z liczbą abonentów takich systemów. Zgodnie z danymi przedstawionymi przez Główny Urząd Statystyczny liczba abonentów sieci komórkowych w Polsce przez ostatnie dwadzieścia lat bardzo szybko rosła (w ostatnich latach liczba ta nie wzrasta już tak szybko). Dane przedstawione są na rysunku 3.



Rysunek 3. Liczba abonentów sieci komórkowej w tysiącach w latach 1995-2016 [15]

Na rysunku 4 przedstawiona jest zależność pomiędzy liczbą abonentów sieci komórkowych w Polsce a liczbą stacji bazowych.



Rysunek 4. Liczba abonentów sieci komórkowej w tysiącach (w latach 1995-2017) oraz liczba stacji bazowych w Polsce (w latach 2004-2017) [15]

Można zauważyć, że jedna stacja bazowa obsługiwała na początku rozwoju telefonii komórkowej średnio około 2000 użytkowników sieci komórkowych. Z biegiem lat stosunek liczby abonentów sieci komórkowej do liczby stacji bazowych maleje. Ma to związek ze zwiększającą się stale liczbą stacji bazowych. Kolejne generacje sieci komórkowych to coraz większe częstotliwości do łączności z abonentami. Im niższa częstotliwość, tym fale radiowe pokrywają

większy obszar. Im wyższa częstotliwość tym sygnał jest lepszej jakości (pozwala na szybsze przesyłanie danych), ale jednocześnie mniejszy zasięg i ma więcej problemów z pokonywaniem fizycznych przeszkód. Oznacza to więc konieczność budowy całkiem skomplikowanej i gęsto rozlokowanej infrastruktury (stacje bazowe). Im więcej stacji, tym mniejsze promieniowanie emitowane jest przez telefon komórkowy.

Według danych zebranych przez International Telecommunication Union / Worldbank (<https://data.worldbank.org>) liczba użytkowników telefonów komórkowych w Polsce (stan na 2017 r.) to ok. 49,8 mln [10], co jest zbliżone do danych dostępnych w Głównym Urzędzie Statystycznym. Liczba ludności w Polsce (stan na 2017 r.) wynosi ok. 38,0 mln [15]. Można zauważyć, że na jednego mieszkańca Polski przypada 1,31 telefonów komórkowych. Dla porównania na świecie stosunek ten jest podobny. Liczba użytkowników telefonów komórkowych (stan na 2017 r.) to ok. 7,7 mld. Liczba ludności na świecie (stan na 2017 r.) wynosi ok. 7,53 mld (stosunek wynosi 1,02) [7].

REGULACJE PRAWNE

W związku z obecnością w środowisku naturalnym ogromniej ilości źródeł wytwarzających pola elektromagnetyczne (w tym telefony komórkowe i stacje bazowe), w Polsce i na świecie powstały uregulowania prawne dotyczące ochrony środowiska przed polami elektromagnetycznymi. Podstawowym aktem prawnym w Polsce jest ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r.

Prawo ochrony środowiska (t.j. z 2018 r., poz. 799). Art. 121 ww. ustawy mówi, iż ochrona przed polami elektromagnetycznymi polega na zapewnieniu jak najlepszego stanu środowiska poprzez:

1. utrzymanie poziomów pól elektromagnetycznych poniżej dopuszczalnych lub co najmniej na tych poziomach;
2. zmniejszenie poziomów pól elektromagnetycznych co najmniej do dopuszczalnych, gdy nie są one dotrzymane [16].

Zgodnie z art. 122 ww. ustawy zostały określone dopuszczalne poziomy pól elektromagnetycznych w środowisku dla obszarów przeznaczonych pod zabudowę mieszkaniową oraz dla obszarów dostępnych dla ludności (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów (Dz. U. z 2003r., Nr 192, poz. 1883)). W tabelach 1 i 2 przedstawione są dopuszczalne poziomy składowych elektrycznej i magnetycznej pola elektromagnetycznego w zależności od częstotliwości.

Tabela 1. Wartości składowych elektrycznej i magnetycznej oraz gęstości mocy w zależności od zakresu częstotliwości pola elektromagnetycznego dla terenów przeznaczonych pod zabudowę mieszkaniową [14]

Zakres częstotliwości pola elektromagnetycznego		Parametr fizyczny		
		Składowa elektryczna [kV/m]	Składowa magnetyczna [A/m]	Gęstość mocy [W/m ²]
	1	2	3	4
1	50 Hz	1	60	-

Tabela 2. Wartości składowych elektrycznej i magnetycznej oraz gęstości mocy w zależności od zakresu częstotliwości pola elektromagnetycznego dla miejsc dostępnych dla ludności [14]

Zakres częstotliwości pola elektromagnetycznego		Parametr fizyczny		
		Składowa elektryczna [V/m]	Składowa magnetyczna [A/m]	Gęstość mocy [W/m ²]
	1	2	3	4
1	0 Hz	10000	2500	-
2	0 – 0,5 Hz	-	2500	-
3	0,5 – 50 Hz	10000	60	-
4	0,05 – 1 kHz	-	3/f	-
5	0,001 – 3 MHz	20	3	-
6	3 – 300 MHz	7	-	-
7	0,3 – 300 GHz	7	-	0,1

W przypadku częstotliwości zarezerwowanych dla obecnej telefonii komórkowej dopuszczalny poziom składowej elektrycznej pola wynosi 7 V/m. W przypadku składowej magnetycznej wartość ta nie została określona.

W Unii Europejskiej obowiązuje inny akt prawny dotyczący ochrony ludności przed polami elektro-

magnetycznymi – rekomendacja Rady Europejskiej 1999/519/EC z 12 lipca 1999 roku Council Recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz). Przedstawione w nim są również wartości dopuszczalne składowych elektrycznej i magnetycznej pola elektromagnetycznego (Tabela 3).

Tabela 3. Wartości składowych elektrycznej i magnetycznej oraz gęstości mocy w zależności od zakresu częstotliwości pola elektromagnetycznego [3].

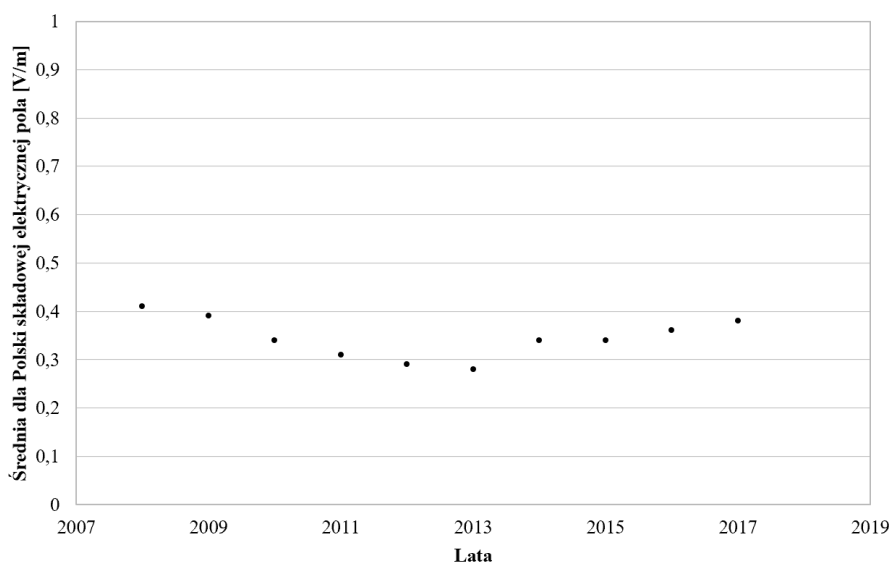
Zakres częstotliwości pola elektromagnetycznego	Parametr fizyczny		
	Składowa elektryczna [V/m]	Składowa magnetyczna [A/m]	Gęstość mocy [W/m ²]
1	2	3	4
0 – 1 Hz	-	$3,2 \cdot 10^4$	-
1 – 8 Hz	10000	$3,2 \cdot 10^4/f^2$	-
8 – 25 Hz	10000	$4000/f$	-
0,025 – 0,8 kHz	$250/f$	$4/f$	-
0,8 – 3 kHz	$250/f$	5	-
3 – 150 kHz	87	5	-
0,15 – 1 MHz	87	$0,73/f$	-
1 – 10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0,73/f$	-
10 – 400 MHz	28	0,073	2
400 – 2000 MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$f/200$
2 – 300 GHz	61	0,16	10

W przypadku zakresu częstotliwości od 1 do 25 Hz wartości dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych (składowa elektryczna) są takie same dla polskich przepisów prawnych oraz rekomendacji Unii Europejskiej. Powyżej 25 Hz przepisy Unii Europejskiej są bardziej restrykcyjne niż przepisy krajowe. Wyjątkiem jest tutaj częstotliwość 50 Hz (częstotliwość przesyłu energii elektrycznej), dla której wartość graniczna zawarta w rozporządzeniu Ministra Środowiska dla terenów przeznaczonych pod zabudowę mieszkaniową wynosi 1000 V/m (5000 V/m według rekomendacji Unii Europejskiej). Dla wyższych częstotliwości (od 1 kHz do 300 GHz, a zatem również dla częstotliwości radiowych wykorzystywanych w telefonii komórkowej) dopuszczalne poziomy pól elektromagnetycznych są o wiele niższe w Polsce niż w znacznej większości krajów europejskich. Polskie przepisy prawne związane z ochroną przed polami elektromagnetycznymi należą do najbardziej restrykcyjnych w Europie.

Art. 122a ustawy Prawo ochrony środowiska mówi, iż prowadzący instalację oraz użytkownik urzą-

dzenia emitującego pola elektromagnetyczne, które są stacjami elektromagnetycznymi lub napowietrznymi liniami elektromagnetycznymi o napięciu znamionowym nie niższym niż 110 kV, lub instalacjami radiokomunikacyjnymi, radionawigacyjnymi lub radiolokacyjnymi, emitującymi pola elektromagnetyczne, których równoważna moc promieniowania izotropowo wynosi nie mniej niż 15 W, emitującymi pola elektromagnetyczne o częstotliwościach od 30 kHz do 300 GHz, są obowiązani do wykonania pomiarów poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku:

1. bezpośrednio po rozpoczęciu użytkowania instalacji lub urządzenia;
2. każdorazowo w przypadku zmiany warunków pracy instalacji lub urządzenia, w tym zmiany spowodowanej zmianami w wyposażeniu instalacji lub urządzenia, o ile zmiany te mogą mieć wpływ na zmianę poziomów pól elektromagnetycznych, których źródłem jest instalacja lub urządzenie [16].



Rysunek 5. Średnia dla Polski składowej elektrycznej pola elektromagnetycznego w latach 2008-2017 [1]

Na podstawie art. 123 ustawy Prawo ochrony środowiska oceny poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku dokonuje się w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska a badania poziomów tych pól dokonują Wojewódzkie Inspektoraty Ochrony Środowiska. Na rysunku 5 zebrane zostały dane z ostatnich lat dotyczące średnich poziomów składowej elektrycznej dla Polski.

Można zauważyć, że pomimo ciągłego wzrostu ilości stacji bazowych w Polsce poziom promieniowania elektromagnetycznego wysokich częstotliwości (tutaj wyrażony za pomocą składowej elektrycznej) utrzymuje się na stałym poziomie. Wartości te stanowią około 5% wartości dopuszczalnych składowej elektrycznej dla tych zakresów częstotliwości. Wartości te są największe dla dużych miast (powyżej 50 tys. mieszkańców). W 2017 r. wartość średniego poziomu dla centralnych dzielnic lub osiedli miast powyżej 50 tys. na terenie województwa mazowieckiego wyniosła 0,89 V/m. (co stanowi ok. 13% wartości dopuszczalnej). Najwyższą wartość uzyskano w Warszawie na skrzyżowaniu ulic Al. Jerozolimskich i Marszałkowskiej. Wartość ta wyniosła 2,38 V/m. (34% wartości dopuszczalnej) [1].

W związku z ciągłym rozwojem technologii związanej z telefonią komórkową, m.in. wdrażaniem sieci piątej generacji (5G) w Polsce, konieczne jest dalsze monitorowanie wartości poziomów pól elektromagnetycznych pochodzących z instalacji telekomunikacyjnych. W związku z tym Ministerstwo Cyfryzacji opracowało dokument – Strategia 5G dla Polski, w którym określono działania oraz środki dla realizacji jakim jest wdrożenie sieci piątej generacji w Polsce. Na rok 2019 zaplanowane jest, przy udziale Instytutu Łączności – Państwowego Instytutu Badawczego, rozpoczęcie prac nad stałym monitoringiem i badaniem pól elektromagnetycznych zakresu radiowego. Ww. krajowa instytucja badawczo-rozwojowa odpowiedzialna jest ponadto za budowę i udostępnienie systemu informacyjnego o instalacjach wytwarzających promieniowanie elektromagnetyczne, zapewniając kompletność i spójność danych związanych z tymi instalacjami oraz ułatwieniem dostępu dla obywateli oraz administracji do istotnych danych środowiskowych dotyczących pól elektromagnetycznych [18].

WPLYW TELEFONÓW KOMÓRKOWYCH ORAZ STACJI BAZOWYCH NA ZDROWIE

Promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu częstotliwości radiowych przechodząc przez określony ośrodek materialny traci część swojej energii przekazując ją ośrodkowi. W zależności od rodzaju tkanki pochłanianie promieniowania jest różne. Tkanki o dużej zawartości wody (np. tkanka mięśniowa) szybko pochłaniają promieniowanie (ogrzewają się), w przeciwieństwie do tkanek o małej zawartości wody (np.

tkanka tłuszczowa). Fala elektromagnetyczna ulega tłumieniu wnikając w głąb tkanek ludzkich. Szybkość tłumienia jest funkcją eksponencjalną i zależy od częstotliwości fali. Przy przechodzeniu fali przez dany ośrodek materialny, np. tkanki ludzkie, fala zmienia swoją długość oraz prędkość. Poza wzrokiem, który wykrywa światło widzialne czy skórą wykrywającą promieniowanie podczerwone czyli ciepło organizmy żywe nie posiadają odpowiednich receptorów, aby wykryć obecność pola elektromagnetycznego. Promieniowanie to przechodzi przez organizm niezauważalnie.

Pola elektromagnetyczne o częstotliwościach od 1 MHz do 10 GHz wnikają w głąb tkanek ludzkich i deponują część swojej energii w postaci ciepła. Głębokość penetracji tkanek zależy od częstotliwości: im niższa częstotliwość tym głębokość penetracji jest większa. Szkodliwe efekty biologiczne zależą od ilości pochłoniętej energii [6]. Znając częstotliwość fali oraz rodzaj tkanki przez jaką ta fala przechodzi, można określić głębokość wnikania fali a tym samym maksymalny zasięg efektów termicznych w tkance. Aby określić ilościowo dawkę pochłoniętego promieniowania Stowarzyszenie Przemysłu Telekomunikacji Komórkowej (CTIA) wprowadziło współczynnik absorpcji swoistej SAR – Specific Absorption Rate, czyli ilość energii fal elektromagnetycznych z zakresu radiowego wyrażoną w watach pochłoniętą przez kilogram masy ciała (jednostką SAR jest W/kg). Dla wartości SAR powyżej 4 W/kg obserwuje się szkodliwe efekty w ludzkim organizmie. Pola elektromagnetyczne o częstotliwości powyżej 10 GHz są w większości absorbowane przez ludzką skórę i tylko niewielka część energii może dotrzeć do głębszych warstw ciała, w tym organów wewnętrznych [6].

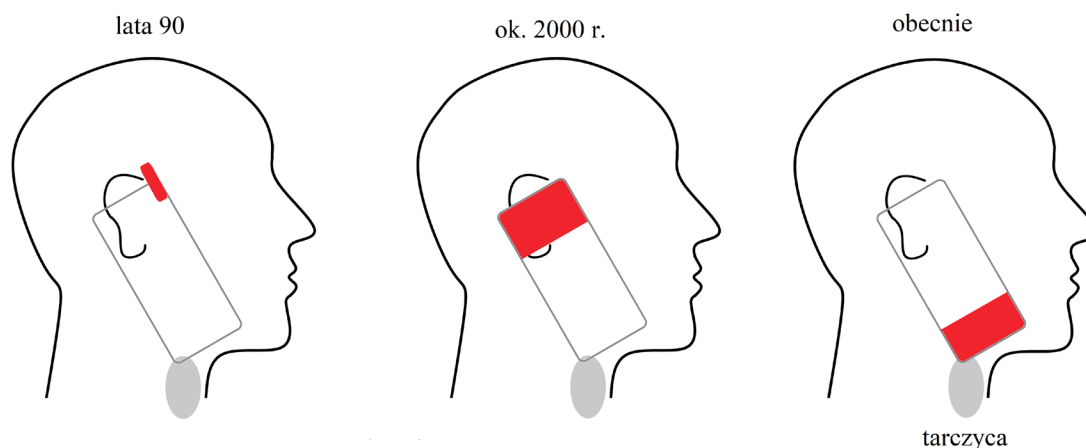
Tkanki ludzkie zbudowane są głównie z wody, w której znajduje się wiele różnych rodzajów jonów. Pod wpływem działającego pola elektromagnetycznego na cząsteczki i jony działają siły elektryczne, które mogą wywoływać przepływ prądów rozpuszczonych jonów. W efekcie wzrasta temperatura w tkankach. Gdy przepływ jonów nie jest możliwy pole elektryczne powoduje oscylacje i obroty cząsteczek napotykać na opór sił międzycząsteczkowych. Skutkiem tego również jest ciepło. Każdy układ biologiczny absorbuje energię promieniowania podnosząc tym samym swoją temperaturę (tzw. efekt termiczny).

Promieniowanie elektromagnetyczne zalicza się do promieniowania niejonizującego. Zakres energetyczny promieniowania elektromagnetycznego, który jest o kilka rzędów wielkości poniżej energii wiązań chemicznych w cząsteczkach, jest niewystarczający aby wywołać jonizację atomów lub cząsteczek ani zerwać wiązań chemicznych. Dlatego prawdopodobieństwo wywołania modyfikacji struktur cząsteczkowych, wzbudzenia biomolekuł czy uszkodzenia DNA jest znikome.

Wpływ promieniowania elektromagnetycznego na tkanki ludzkie zależy w głównej mierze od czasu trwania ekspozycji. Dla krótkich czasów ekspozycji (mniejszych niż 0,5 min.) transport ciepła w tkankach można zaniedbać. W przypadku ekspozycji trwających kilka minut efekt termiczny i rozkład temperatury nie może być pominięty. Najsilniejsze efekty związane z pochłanianiem promieniowania elektromagnetycznego obserwuje się w warstwach powierzchniowych (blisko powierzchni skóry). Najbardziej wrażliwe są narządy słabo ukrwione i zlokalizowane najpłycej – oczy i jądra.

Należy ostrożnie podchodzić do szacowania ryzyka związanego z ekspozycją na pola elektromagne-

tyczne. W ostatnich latach obserwuje się duży wzrost zachorowań np. na nowotwory tarczycy. Wzrost ten spowodowany jest przez coraz większą dostępność procedur diagnostycznych związanych z promieniowaniem jonizującym – promieniowaniem rentgenowskim (radiologia stomatologiczna, tomografia komputerowa itp.). W tym samym czasie nastąpił rozwój telefonii komórkowej, która niesie za sobą wzrost ekspozycji na promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu radiowego. Można zauważyć, że w tym samym czasie pojawiły się różne czynniki środowiskowe, które oddziałują na człowieka i środowisko równocześnie. [2]



Rysunek 6. Usytuowanie anten zainstalowanych w telefonach komórkowych od lat 90 do czasów obecnych [2].

Na przestrzeni ostatnich lat usytuowanie anten zamontowanych w telefonach komórkowych nieco się zmieniło (rysunek 6). Obecne modele posiadają anteny zajmujące około 1/4 objętości telefonu komórkowego i znajdują się w dolnej części aparatu. Tym samym odległość od bardzo wrażliwego na promieniowanie organu jakim jest tarczyca zmniejszyła się.

Telefony komórkowe pracują ze średnią mocą około 2 W. Jest to wartość o wiele mniejsza niż moc pracujących stacji bazowych, która może wynosić kilka kilowatów. Pomimo, iż telefony komórkowe pracują ze znacznie mniejszą mocą niż stacje bazowe to mają zdecydowanie większy udział w ilości energii elektromagnetycznej przekazywanej człowiekowi. Podczas rozmowy telefonicznej aparat znajduje się przy samej głowie użytkownika. Głowa jest bardzo wrażliwa na promieniowanie elektromagnetyczne, które może spowodować zagrożenie dla organizmu człowieka pomimo niewielkiej mocy sygnału. Natężenie pola elektromagnetycznego maleje wraz z odległością, dlatego telefony komórkowe oddziałują na organizm człowieka bardziej niż stacje bazowe (niewielkie odległości od ciała, przy samej głowie). Gdy użytkownik telefonu komórkowego używa podczas rozmowy zestawu słuchawkowego może w znacznym stopniu ograniczyć ilość energii pochłanianej przez głowę.

OSTATNIE BADANIA I EKSPERYMENTY DOTYCZĄCE WPŁYWU TELEFONÓW KOMÓRKOWYCH ORAZ STACJI BAZOWYCH NA ZWIERZĘTA I LUDZI

Dotychczasowe badania dotyczące wpływu telefonów komórkowych i stacji bazowych uznaje się za niezbyt dokładne. Niejednoznaczność wyników przeprowadzonych badań i eksperymentów może wynikać ze sposobu symulowania pól elektromagnetycznych. Istnieje duża różnica w emisjach rzeczywistych telefonów i stacji bazowych niż w używanych do badań generatorach i telefonach testowych. Promieniowanie emitowane podczas rzeczywistego połączenia charakteryzuje się dużą zmiennością w czasie i z tego powodu jest dużo bardziej niebezpieczne dla organizmów żywych, które są mniej odporne na zmienne w czasie czynniki środowiskowe. Pomimo dużej krytyki badań (m.in. przez Międzynarodową Agencję Badań nad Rakiem), w których wykorzystuje się rzeczywiste warunki (telefony, które podczas pracy zmieniają częstotliwość pracy i natężenie promieniowania) coraz więcej eksperymentów w ostatnich latach prowadzi się w takich właśnie warunkach. Istnieje przekonanie, że jedynie badania prowadzone w realnych warunkach pracy telefonów komórkowych mogą dać jednoznaczną od-

powieź i informacje na temat narażenia człowieka na promieniowanie niejonizujące – elektromagnetyczne [13].

Większość badań epidemiologicznych związanych z narażeniem na promieniowanie elektromagnetyczne to badania ankietowe. Badania te są niestety bardzo niedokładne i obciążone dużą niepewnością. Związek ma to z niewiedzą społeczeństwa na temat wpływu pól elektromagnetycznych na zdrowie i wielkością narażenia. Poziom narażenia postrzegany przez społeczeństwo znacznie różni się od rzeczywistego narażenia pochodzącego od danego źródła. Okazuje się, że narażenie pochodzące od stacji bazowych jest znacznie niższe niż od telefonów komórkowych. W przeprowadzonych badaniach dotyczących wiedzy ludzi na ten temat, przekonania były przeciwne. Respondenci uznawali, iż większy wpływ mają stacje bazowe niż telefony komórkowe [5].

Departament Zdrowia i Ochrony Społecznej w Stanach Zjednoczonych w ramach Narodowego Programu Toksykologicznego (NTP – National Toxicology Program) przedstawił dwa raporty techniczne ogłoszone na początku 2018 roku. Opublikowane w nich zostały pierwsze wyniki wieloletnich eksperymentów dotyczących wpływu pola elektromagnetycznego w polu bliskim i związanych z nim niewielkim wzrostem zachorowań na nowotwory złośliwe mózgu (glejak) i nerwiaki osłonkowe (schwannoma) serca wśród szczurów i mysz. W pierwszym z eksperymentów zwierzęta (szczury) przebywały w polu elektromagnetycznym zakresu radiowego telefonów komórkowych drugiej generacji (0,9 GHz, sieć komórkowa drugiej generacji – GSM oraz CDMA). Zwierzęta podzielone zostały na grupy (po 90 osobników żeńskich i 90 męskich w każdej z grup) i poddawane ekspozycji na poziomach 0, 1,5, 3 i 6 W/kg (SAR) przez 18 godzin dziennie (ekspozycja 10 minutowa, przerwa 10 minutowa) 7 dni w tygodniu. Wielkość pola elektromagnetycznego była dopasowywana tak, aby wraz ze wzrostem masy szczurów poziomy SAR były niezmiennie. Badania wykazały wzrost liczby nerwiaków osłonkowych serca w przypadku poziomu SAR wynoszącego 6 W/kg (5 na 90 szczurów dla GSM, 6 na 90 szczurów dla CDMA). W przypadku niższych poziomów SAR nie zaobserwowano istotnego wzrostu liczby nowotworów wśród badanych zwierząt [17].

Drugi z eksperymentów w ramach Narodowego Programu Toksykologicznego przeprowadzany był na myszach. Zwierzęta poddawane były ekspozycji na pole elektromagnetyczne o częstotliwości 1,9 GHz (sieć komórkowa drugiej generacji – GSM oraz CDMA). Badania wykonano przy poziomach ekspozycji SAR – 0 (grupa kontrolna), 2,5, 5 i 10 W/kg (po 90 osobników żeńskich i 90 męskich w każdej z grup do końca eksperymentu). Napromienianie odbywało się w sposób cykliczny (10 minut ekspozycji, 10 mi-

nut przerwy) przez 18 godzin 20 minut dziennie 7 dni w tygodniu od fazy prenatalnej przez 106 (samce myszy) i 108 tygodni (samice myszy). W przypadku systemów GSM i CDMA istnieją jedynie niejednoznaczne dowody na występowanie nowotworów u męskich i żeńskich osobników [12].

Kolejne badania przeprowadzone przez Instytut Ramazziniego we Włoszech są dotąd największym eksperymentem prowadzonym na zwierzętach dotyczącym oddziaływania pola elektromagnetycznego wytwarzanego przez stacje bazowe. Eksperymentowi poddano 2448 szczurów, które poddawane były ekspozycji na promieniowanie elektromagnetyczne jak to emitowane przez stacje bazowe. Zwierzęta podzielono na 4 grupy. Każda z grup znajdowała się pod wpływem pola elektromagnetycznego (1,8 GHz, sieć komórkowa drugiej generacji – GSM) o różnych natężeniach składowej elektrycznej (0, 5, 25 i 50 V/m) od życia płodowego do naturalnej śmierci 19 godzin dziennie. Jedyny statystycznie istotny wynik eksperymentu dotyczył męskich osobników szczurów poddawanych ekspozycji na pole elektromagnetyczne o największym natężeniu – 50 V/m [4].

Ekspozycja na promieniowanie elektromagnetyczne przeprowadzona podczas eksperymentu Narodowego Programu Toksykologicznego (wpływ telefonów komórkowych) była dużo wyższa niż w przypadku badań przeprowadzonych przez Instytut Ramazziniego we Włoszech (wpływ stacji bazowych). Najwyższy poziom promieniowania niejonizującego dla drugiego z badań wyniósł 50 V/m i odpowiada to wartości SAR ok. 0,1 W/kg [17]. Jest to wartość ok. 60 razy mniejsza niż w przypadku najwyższej wartości SAR jakie otrzymały zwierzęta w eksperymencie Narodowego Programu Toksykologicznego (6 W/kg).

W powyższych badaniach wykorzystano dużą liczbę zwierząt, które napromieniane były przez całe swoje życie (od życia płodowego do naturalnej śmierci). Wyniki badań nie dostarczają jednoznacznych dowodów o kancerogenności pola elektromagnetycznego częstotliwości radiowych. Wyniki badań Narodowego Programu Toksykologicznego (wzrost zachorowań na nowotwory – nerwiaki osłonkowe serca wśród osobników męskich szczurów) nie są spójne z wynikami tych badań dla osobników żeńskich oraz badań przeprowadzonych na myszach (zarówno dla osobników męskich jak i żeńskich).

ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection – Międzynarodowa Komisja ds. Ochrony Przed Promieniowaniem Niejonizującym) odniosła się krytycznie do wyników powyższych badań dotyczących ekspozycji na pole elektromagnetyczne o częstotliwości radiowych oraz związanych z nimi występowaniem zachorowań na nowotwory u zwierząt. Komisja uznała, że wyniki ww. badań nie dostarczają jednoznacznych wniosków na

temat kancerogennego wpływu promieniowania elektromagnetycznego zakresu radiowego. Wyniki ocenianych badań na zwierzętach nie mogą, według ICNIRP, stanowić podstawy do oceny narażenia ludzi na ten czynnik środowiskowy. Konieczne są dalsze badania dotyczące wpływu promieniowania niejonizującego na organizmy żywe [8].

Dotychczas przeprowadzono bardzo dużą liczbę badań związanych z narażeniem na pola elektromagnetyczne częstotliwości radiowych (emitowanych przez telefony komórkowe i stacje bazowe). Do tej pory nie ukazały się żadne badania potwierdzające rakotwórczy wpływ promieniowania niejonizującego wytwarzanego przez urządzenia telefonii komórkowej. Podstawowym efektem powodowanym przez używanie telefonów komórkowych jest nagrzewanie tkanek. W przypadku częstotliwości emitowanych przez te urządzenia, większość energii jest absorbowana przez skórę. Przenikanie promieniowania do mózgu i innych narządów wewnętrznych może być zaniechane. W przypadku negatywnego wpływu pola elektromagnetycznego na aktywność mózgu, sen, tętno, funkcje poznawcze, ciśnienie krwi nie otrzymano dotychczas żadnych spójnych dowodów [9].

W przypadku badań epidemiologicznych i ich potencjalnych długoterminowych efektów bada się głównie zwiększone występowanie nowotworów (dla telefonów komórkowych są to nowotwory mózgu) spowodowanych narażeniem na częstotliwości radiowe pola elektromagnetycznego. Wykrywanie nowotworów po krótkim czasie od narażenia jest największą trudnością w analizie otrzymanych wyników badań (telefony komórkowe są w powszechnym użytku od początku lat dziewięćdziesiątych). Dodatkowo, eksperymenty dokonywane na zwierzętach nie pokazują w sposób jednoznaczny wzrostu ryzyka spowodowanego wpływem fal elektromagnetycznych zakresu częstotliwości radiowych. Z powodu braku jednoznacznych dowodów oraz ciągłego wzrostu wykorzystania telefonów komórkowych (okres użytkowania ponad 15 lat) Światowa Organizacja Zdrowia zleciła dodatkowe badania związku wzrostu występowania nowotworów z używaniem telefonów komórkowych. W szczególności ze względu na dużą popularność tych urządzeń wśród młodych ludzi (dzieci, młodzież). Osoby te powinny być badane ze względu na trwający dłużej (niż w przypadku osób dorosłych) okres narażenia na promieniowanie elektromagnetyczne emitowane przez telefony komórkowe [9].

PODSUMOWANIE

Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem (IARC - International Agency for Research on Cancer) sklasyfikowała promieniowanie elektromagnetyczne jako czynnik przypuszczalnie rakotwórczy dla

człowieka (grupa 2B). Czynnikiem ten znajduje się w tej samej grupie jak wiele innych czynników występujących w życiu codziennym takich jak talk czy wyciąg z liści aloesu. W przeciwieństwie do promieniowania jonizującego (promieniowania rentgenowskiego lub gamma) promieniowanie elektromagnetyczne nie jest w stanie zniszczyć struktur cząsteczek w układzie biologicznym, gdyż energie promieniowania elektromagnetycznego są zbyt niskie. Jedynym możliwym efektem jest podniesienie temperatury tkanek.

Obecnie wykorzystuje się coraz wyższe częstotliwości promieniowania elektromagnetycznego. Im wyższa częstotliwość, tym większa część promieniowania pochłaniana jest przez skórę człowieka i tym mniej oddziałuje na narządy wewnętrzne. Jednak ze względu na coraz większy rozwój telefonii komórkowych (wykorzystywanie pasm o różnych częstotliwościach) prowadzonych jest coraz więcej badań dotyczących ewentualnego negatywnego (także kancerogennego) wpływu promieniowania elektromagnetycznego na organizmy żywe, w tym człowieka.

Większość dotychczasowych badań nie wykazała związku pomiędzy wpływem promieniowania elektromagnetycznego a zwiększonym ryzykiem występowaniem nowotworów. Równolegle pojawiają się publikacje, które pokazują zupełnie przeciwne wyniki, w których udowodniano jest kancerogenny wpływ promieniowania elektromagnetycznego związanego z telefonią komórkową. Część z tych badań wymaga powtórzenia i oceny rzetelności oraz weryfikacji wyników przez innych naukowców. Dlatego wiele międzynarodowych komisji i organizacji zajmujących się tematem promieniowania niejonizującego, ze względu na niejednoznaczność publikowanych badań oraz stale rozwijające się technologie związane z telefonią komórkową, zleca dodatkowe badania wpływu promieniowania elektromagnetycznego częstotliwości radiowych na zdrowie ludzi.

Podziękowanie

Praca była wykonana i sfinansowana przez Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego - Państwowy Zakład Higieny w ramach projektu nr BK-1, 2019.

PIŚMIENNICTWO

1. Assessment of the level of electromagnetic fields in the environment in the years 2008-2017 – based on the results of measurements of the Voivodeship Inspectorates of Environmental Protection. Available www.gios.gov.pl/pl/stan-srodowiska/monitoring-pol-elektromagnetycznych (Accessed 04.06.2019)
2. Carlberg M., Hedendahl L., Ahonen M., Koppel T., Hardell L., Increasing incidence of thyroid cancer in the Nordic countries with main focus on Swe-

- dish data, *BMC Cancer*. 2016 Jul 7;16:426, doi: 10.1186/s12885-016-2429-4
3. Council Recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz) (1999/519/EC)
 4. *Falcioni L., Bua L., Tibaldi E., Lauriola M., De Angelis L., Gnudi F., Mandrioli D., Manservigi M., Manservigi F., Manzoli I., Menghetti I., Montella R., Panzacchi S., Sgargi D., Strollo V., Vornoli A., Belpoggi F.*, Report of final results regarding brain and heart tumors in Sprague-Dawley rats exposed from prenatal life until natural death to mobile phone radiofrequency field representative of a 1,8 GHz GSM base station environmental emission, *Environ Res*. 2018 Aug;165:496-503, doi: 10.1016/j.envres.2018.01.037
 5. *Freudenstein F., Correia LM., Oliveira C., Sebastião D., Wiedemann PM.*, Exposure knowledge and perception of wireless communication technologies, *Int J Environ Res Public Health*. 2015 Nov; 12(11): 14177–14191, doi: 10.3390/ijerph121114177
 6. *Gherardini L., Ciuti G., Tognarelli S., Cinti C.*, Searching for the perfect wave: The effect of radiofrequency electromagnetic fields on cells. *Int J Mol Sci*. 2014;15(4):5366–87, doi: 10.3390/ijms15045366
 7. GSMA Intelligence. Available <https://www.gsma-intelligence.com/> (Accessed 04.06.2019)
 8. ICNIRP Note on Recent Animal Carcinogenesis Studies. Available <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPnote2018.pdf> (Accessed 04.06.2019)
 9. Information sheet of the World Health Organization - Electromagnetic fields and public health: mobile phones. Available <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/electromagnetic-fields-and-public-health-mobile-phones> (Accessed 04.06.2019)
 10. International Telecommunication Union / Worldbank. Available <https://data.worldbank.org> (Accessed 04.06.2019)
 11. *Johansen C.*, Electromagnetic fields and health effects - Epidemiologic studies of cancer, disease of the central nervous system and arrhythmia-related heart disease, *Scand J Work Environ Health* 2004;30 Suppl 1:1–80
 12. NTP Technical Report on the Toxicology and Carcinogenesis Studies in B6C3F1/N Mice Exposed to Whole-body Radio Frequency Radiation at a Frequency (1,900 MHz) and Modulations (GSM and CDMA) Used by Cell Phones (Assessed 16.07.2019)
 13. *Panagopoulos DJ., Johansson O., Carlo GL.*, Real versus Simulated Mobile Phone Exposures in Experimental Studies, *Biomed Res Int*. 2015;2015:607053, doi: 10.1155/2015/607053
 14. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów (Dz. U. z 2003 r., Nr 192, poz. 1883) [Regulation of the Minister of the Environment of 30 October 2003 on permissible levels of electromagnetic fields in the environment and methods of verifying compliance with these levels (Journal of Laws of 2003, No. 192, item 1883)].
 15. Statistics Poland, 1995-2017. Available: <https://stat.gov.pl/> (Accessed 16.07.2019)
 16. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (t.j. z 2018 r., poz. 799) [Act of 27 April 2001, Environmental Protection Law (Journal of Laws of 2018, item 799)]
 17. *Wyde M., Cesta M., Blystone C., Elmore S., Foster P., Hooth M., Kissling G., Malarkey D., Sills R., Stout M., Walker N., Witt K., Wolfe M., Bucher J.*, 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* 055699, 2016, doi: <https://doi.org/10.1101/055699>
 18. 5G Strategy for Poland, Ministry of Digital Affairs, January 2018. Available <https://www.gov.pl/web/cyfryzacja/strategia-5g-dla-Polski> (Accessed 16.07.2019).
- Otrzymano: 12.06.2019
Zaakceptowano: 17.07.2019