

EKSPERTYZA

WPŁYW PROMIENIOWANIA ELEKTROMAGNETYCZNEGO POCHODZĄCEGO OD TELEFONÓW KOMÓRKOWYCH ORAZ ROUTERÓW SIECI WI-FI NA STAN ZDROWIA LUDZI, W SZCZEGÓLNOŚCI DZIECI I MŁODZIEŻY



NARODOWY INSTYTUT ZDROWIA PUBLICZNEGO – PAŃSTWOWY ZAKŁAD HIGIENY
ZAKŁAD BEZPIECZEŃSTWA ZDROWOTNEGO ŚRODOWISKA

Mgr inż. Andrzej Magiera

dr hab. n. med. Jolanta Solecka, prof. NIZP-PZH

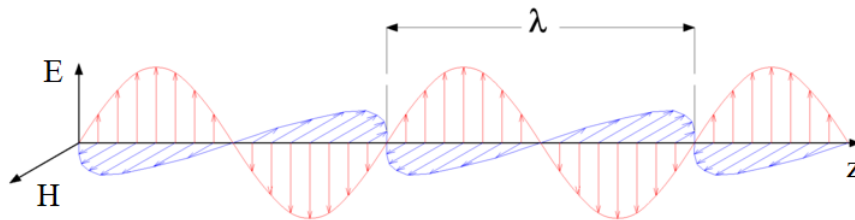
Warszawa, listopad 2019 r.

SPIS TREŚCI

| | |
|--|----|
| FALE ELEKTROMAGNETYCZNE | 3 |
| ŹRÓDŁA PROMIENIOWANIA ELEKTROMAGNETYCZNEGO W ŚRODOWISKU | 4 |
| REGULACJE PRAWNE W POLSCE I NA ŚWIECIE | 4 |
| TELEFONY KOMÓRKOWE..... | 7 |
| BADANIA DOTYCZĄCE WPŁYWU TELEFONÓW KOMÓRKOWYCH NA ZDROWIE..... | 9 |
| Wi-Fi..... | 12 |
| BADANIA DOTYCZĄCE WPŁYWU Wi-Fi NA ZDROWIE..... | 15 |
| PODSUMOWANIE..... | 22 |
| BIBLIOGRAFIA | 24 |

FALE ELEKTROMAGNETYCZNE

Promieniowanie to sposób przekazywania energii pomiędzy źródłem emisji a odbiornikiem, który odbywa się poprzez emisję cząstek lub fal elektromagnetycznych, niewymagający istnienia ośrodka materialnego. Fale elektromagnetyczne mogą rozchodzić się m. in. 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 jest zmienne. Zmienne pole magnetyczne indukuje zmienne pole elektryczne a zmienne pole elektryczne indukuje zmienne pole magnetyczne. 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 wraz ze wzrostem odległości. Na rysunku 1 przedstawiona jest fala elektromagnetyczna.

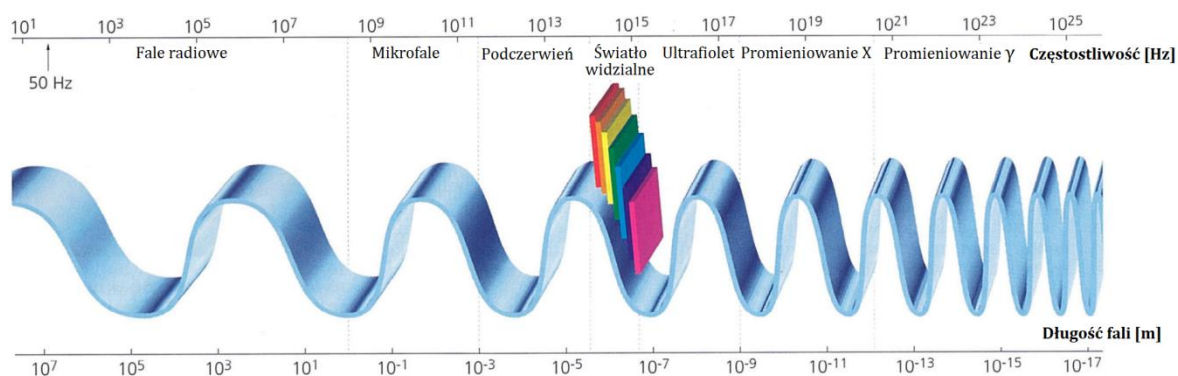


Rysunek 1. Fala elektromagnetyczna (składowa elektryczna i magnetyczna) [1]

Falę elektromagnetyczną można scharakteryzować poprzez następujące wielkości fizyczne:

- E [V/m] – natężenie składowej elektrycznej,
- H [A/m] – natężenie składowej magnetycznej,
- v [m/s] – prędkość rozchodzenia się fali elektromagnetycznej,
- ν [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,
- λ [m] – długość fali – odległość między sąsiednimi punktami, w których pole elektryczne i magnetyczne mają taką samą fazę.

Pole elektryczne, magnetyczne i elektromagnetyczne są nieodłącznymi elementami środowiska i występują w nim w sposób naturalny. Promieniowanie elektromagnetyczne można traktować zarówno jako falę elektromagnetyczną oraz jako strumień małych porcji energii – fotonów. Zjawisko to nosi nazwę dualizmu korpuskularno-falowego. Na rysunku 2 przedstawione jest widmo promieniowania elektromagnetycznego z zaznaczoną długością fali elektromagnetycznej (λ) oraz częstotliwością (ν).



Rysunek 2. Widmo promieniowania elektromagnetycznego [1], [15]

ŹRÓDŁA PROMIENIOWANIA ELEKTROMAGNETYCZNEGO W ŚRODOWISKU

Promieniowanie elektromagnetyczne jest nieodłącznie związane ze środowiskiem. Pole elektryczne i magnetyczne występują naturalnie np. stałe pole elektryczne Ziemi powstaje wskutek różnicy potencjałów pomiędzy dodatnio naładowaną jonosferą a ujemnie naładowaną powierzchnią Ziemi. Wartości natężenia pola elektrycznego Ziemi wynoszą od 100 do 150 V/m [22]. Sztuczne pola elektromagnetyczne związane są z rozwojem nauki, techniki czy działalnością człowieka. Każde urządzenie podłączone do prądu wytwarza pole elektryczne i magnetyczne, co podnosi poziom pola elektromagnetycznego w środowisku. Przykładami źródeł promieniowania elektromagnetycznego są m. in. telefony komórkowe oraz urządzenia korzystające z Wi-Fi (np. routery). W związku z rozwojem technologii problem narażenia na promieniowanie pochodzące od telefonów komórkowych i Wi-Fi stał się przedmiotem badań i analiz, gdyż dotyczy on obecnie większości społeczeństwa. Narażenie dotyczy nie tylko osób korzystających z tych urządzeń, ale także ludzi przebywających w obszarze ich promieniowania. Problem ten jest nasilony na obszarach gęsto zaludnionych – głównie w dużych miastach, gdzie liczba użytkowników telefonów komórkowych oraz liczba punktów dostępowych Wi-Fi jest największa. Zarówno telefony komórkowe (podczas wykonywania połączeń), jak i urządzenia wykorzystujące Wi-Fi (także telefony komórkowe) pracują obecnie na podobnych (wysokich) częstotliwościach, dlatego charakter narażenia na to promieniowanie w obu przypadkach jest podobny.

REGULACJE PRAWNE W POLSCE I NA ŚWIECIE

W związku z obecnością w środowisku naturalnym ogromnej ilości źródeł wytwarzających promieniowanie elektromagnetyczne (w tym telefony komórkowe i urządzenia wykorzystujące Wi-Fi), w Polsce i na świecie istnieją 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 2019 r., poz. 1396). Art. 121 ustawy mówi, iż ochrona przed polami elektromagnetycznymi polega na zapewnieniu jak najlepszego stanu środowiska poprzez:

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

Zgodnie z art. 122 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 (kolorem niebieskim zaznaczone są pasma częstotliwości, w których pracują telefony komórkowe i urządzenia korzystające z Wi-Fi).

Tabela 1. Wartości składowych elektrycznej i magnetycznej oraz gęstości mocy w zależności od zakresu częstotliwości pola elektromagnetycznego dla terenów przeznaczonych pod zabudowę mieszkaniową [3]

| 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 [3]

| 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 |

*f – częstotliwość w jednostkach podanych w kolumnie 1

Podstawowym aktem prawnym w Unii Europejskiej jest 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). W tabeli 3 przedstawione w są również wartości dopuszczalne składowych elektrycznej i magnetycznej pola elektromagnetycznego (kolorem niebieskim zaznaczone są pasma częstotliwości, w których pracują telefony komórkowe i urządzenia korzystające z Wi-Fi).

Tabela 3. Wartości składowych elektrycznej i magnetycznej oraz gęstości mocy w zależności od zakresu częstotliwości pola elektromagnetycznego [4]

| 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 |

*f – częstotliwość w jednostkach podanych w kolumnie 1

W aktach prawnych zdefiniowane są tzw. **ograniczenia podstawowe** (związane ze zjawiskami oddziałującymi na człowieka bezpośrednio) oraz **poziomy odniesienia** (wprowadzone w celu pomiaru i oceny przekroczeń ograniczeń podstawowych). Ograniczenia podstawowe wyrażone są w rekomendacji Rady Europejskiej poprzez 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). Zgodnie z rekomendacją Rady Europejskiej oraz ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection – Międzynarodowa Komisja ds. Ochrony Przed Promieniowaniem Niejonizującym) dla całego ciała człowieka (graniczna) wartość uśredniona SAR (dla częstotliwości od 10 MHz do 10 GHz) wynosi 0,08 W/kg, dla narażenia głowy i tułowia 2 W/kg, dla kończyn 4 W/kg [4][5]. Współczynnika absorpcji swoistej SAR używa się do określenia narażenia pochodzącego od urządzeń emitujących promieniowanie elektromagnetyczne znajdujących się w niewielkich odległościach od ciała [6]. W przypadku wyznaczania poziomu SAR u człowieka problem jest bardzo skomplikowany przez m. in. zdolności człowieka do termoregulacji

(tkanki mają zdolność odprowadzania dostarczonej energii cieplnej) [17]. Poziomy odniesienia wyrażone są poprzez natężenie składowej elektrycznej i magnetycznej pola elektromagnetycznego (ozn. poprzez E i H) oraz gęstość mocy S . Ograniczenia podstawowe nie zostaną przekroczone niezależnie od długości przebywania w miejscu gdzie występuje narażenie na promieniowanie elektromagnetyczne jeśli nie zostaną przekroczone poziomy odniesienia.

Dla wysokich częstotliwości związanych z pracą telefonów komórkowych i urządzeń korzystających z Wi-Fi 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.

TELEFONY KOMÓRKOWE

W ostatnich latach bardzo dynamicznie rozwinęła się dziedzina telekomunikacji, która spowodowała gwałtowny wzrost liczby użytkowników telefonów komórkowych. Telefon komórkowy to urządzenie elektroniczne, które pozwala użytkownikowi na kontakt z siecią telefoniczną oraz przekazywanie informacji (prowadzenie rozmowy, przesyłanie wiadomości tekstowych, korzystanie z Internetu bezprzewodowego poprzez Wi-Fi). 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 pojawią 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 [1].

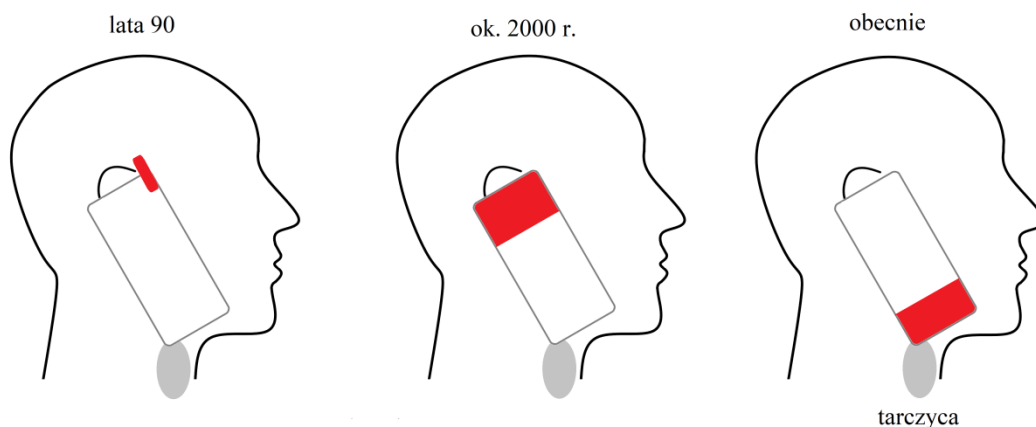
Telefony komórkowe komunikują się jedynie ze stacjami bazowymi, nigdy między sobą. Kontakt ten możliwy jest w miejscach znajdujących się w zasięgu stacji bazowych telefonii komórkowej, czyli w miejscach gdzie dociera emitowane przez nie promieniowanie elektromagnetyczne. Poziom tego promieniowania emitowanego 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) [1].

Promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu częstotliwości radiowych przechodząc przez 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 [1], [17].

Pole elektromagnetyczne o wysokich częstotliwościach (od ok. 1 MHz do ok. 10 GHz) wnika w głąb tkanek i deponuje część 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 [7]. Znając częstotliwość fali oraz rodzaj tkanki przez jaki ta fala przechodzi, można określić głębokość wnikania fali a tym samym maksymalny zasięg efektów termicznych w tkance. Pola elektromagnetyczne o częstotliwości powyżej 10 GHz są w większej części absorbowane przez ludzką skórę i tylko niewielka część energii może dotrzeć do głębszych warstw ciała (w tym organów wewnętrznych) [7].

Jeśli chodzi o szacowanie ryzyka związanego z ekspozycją na pola elektromagnetyczne to należy do tego podchodzić ostrożnie. W przeciągu ostatnich lat obserwuje się bardzo wzrost zachorowań na nowotwory, w tym nowotwory tarczycy. Wzrost spowodowany jest coraz większą dostępnością procedur diagnostycznych związanych z promieniowaniem jonizującym – promieniowaniem rentgenowskim (radiologia stomatologiczna, tomografia komputerowa itp.). W tym samym czasie nastąpił rozwój telefonii komórkowej, która pociągnęła za sobą wzrost ekspozycji na promieniowanie elektromagnetyczne. Można zauważyć, że w tym samym czasie pojawiły się różne czynniki środowiskowe, które oddziałują na człowieka i środowisko równocześnie. [8]

W ciągu ostatnich lat lokalizacja anten zamontowanych w telefonach komórkowych nieco się zmieniła. Współczesne modele telefonów 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 [1]. Usytuowanie anten zainstalowanych w telefonach komórkowych przedstawione jest na rysunku 3.



Rysunek 3. Usytuowanie anten zainstalowanych w telefonach komórkowych od lat 90 do czasów obecnych [1].

Podczas używania telefonu komórkowego (rozmowa telefoniczna) aparat znajduje się przy samej głowie człowieka. Głowa jest bardzo wrażliwa na promieniowanie elektromagnetyczne, które może spowodować zagrożenie dla organizmu człowieka pomimo niewielkiej mocy sygnału. **Gdy użytkownik telefonu komórkowego używa podczas rozmowy zestawu słuchawkowego lub słuchawek może w znacznym stopniu ograniczyć ilość energii pochłanianej przez głowę.**

BADANIA DOTYCZĄCE WPŁYWU TELEFONÓW KOMÓRKOWYCH NA ZDROWIE

Badania dotyczące wpływu telefonów komórkowych na zdrowie uznaje się za niezbyt dokładne. Niejednoznaczność ich wyników może pochodzić ze sposobu symulowania pól elektromagnetycznych. Telefony komórkowe używane obecnie różnią się emisją promieniowania elektromagnetycznego w porównaniu do generatorów i telefonów testowych wykorzystywanych w badaniach eksperymentalnych. Promieniowanie elektromagnetyczne emitowane podczas rzeczywistej pracy telefonu komórkowego charakteryzuje się dużą zmiennością w czasie, przez co stanowi większe zagrożenie dla organizmów żywych, które są mniej odporne na zmienne czynniki środowiskowe. Pomimo dużej krytyki badań, m.in. przez Międzynarodową Agencję Badań nad Rakiem, w których wykorzystuje się rzeczywiste warunki pracy telefonów komórkowych (zmienna częstotliwość pracy i natężenie promieniowania elektromagnetycznego) coraz więcej eksperymentów prowadzi się w takich właśnie warunkach. Istnieje przekonanie, że jedynie badania prowadzone w realnych warunkach pracy tych urządzeń mogą dać jednoznaczną odpowiedź i informacje na temat narażenia człowieka na promieniowanie niejonizujące – elektromagnetyczne [9].

Większość badań epidemiologicznych związanych z narażeniem na promieniowanie elektromagnetyczne związanych z użytkowaniem telefonów komórkowych to badania ankietowe. Badania te są niedokładne i obarczone dużą niepewnością. Związek ma to z niewiedzą społeczeństwa na temat wpływu pól elektromagnetycznych na zdrowie.

Poziom narażenia postrzegany przez społeczeństwo znacznie różni się od rzeczywistego narażenia pochodzącego od danego źródła [10].

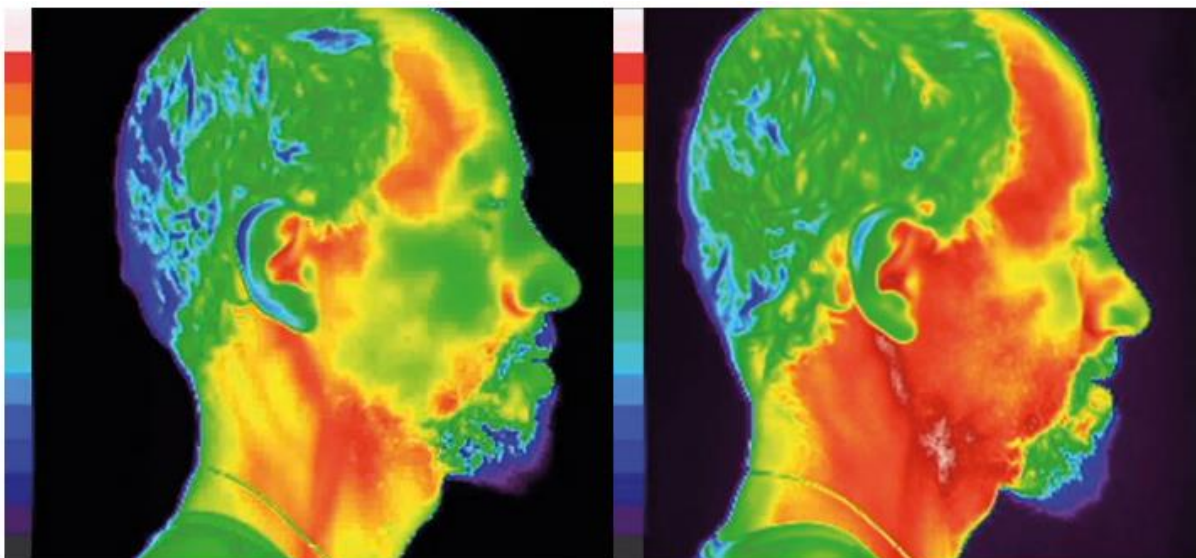
Departament Zdrowia i Ochrony Społecznej w Stanach Zjednoczonych w ramach Narodowego Programu Toksykologicznego przedstawił dwa raporty ogłoszone na początku 2018 roku. Opublikowano w nich wyniki wieloletnich eksperymentów dotyczących wpływu pola elektromagnetycznego i związanych z nim niewielkim wzrostem zachorowań na nowotwory złośliwe mózgu (glejak) i nerwiaki osłonkowe (schwannoma) serca wśród zwierząt: szczurów i mysz [1]. W pierwszym z badań zwierzęta (szczury) przebywały w polu elektromagnetycznym pochodzącym od 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 działaniu promieniowania elektromagnetycznego wymaganego do osiągnięcia wartości współczynnika absorpcji swoistej SAR na poziomach 0 (grupa kontrolna), 1,5, 3 i 6 W/kg przez 18 godzin w ciągu dnia (ekspozycja 10 minutowa, przerwa 10 minutowa) 7 dni w tygodniu. Wielkość narażenia na pole elektromagnetyczne była dopasowywana tak, aby wraz ze wzrostem masy szczurów poziomy SAR nie zmieniały się w czasie. Badania wykazały wzrost liczby nerwiaków osłonkowych serca w przypadku 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 zwierząt [11].

Drugie z badań w ramach Narodowego Programu Toksykologicznego przeprowadzane było na myszach. Zwierzęta poddawane były ekspozycji na pole elektromagnetyczne o częstotliwości 1,9 GHz. Badania wykonano również przy różnych poziomach współczynnika absorpcji swoistej SAR – 0 (grupa kontrolna), 2,5, 5 i 10 W/kg (po 90 osobników żeńskich i 90 męskich w każdej z grup). Napromienianie odbywało się w sposób cykliczny (10 minut ekspozycji, 10 minut przerwy) przez 18 godzin 20 minut dziennie 7 dni w tygodniu od fazy prenatalnej przez 106 (samce myszy) i 108 tygodni (samice myszy). Z eksperymentu otrzymano niejednoznaczne dowody na występowanie nowotworów u męskich i żeńskich osobników [12].

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

Międzynarodowa Komisja ds. Ochrony Przed Promieniowaniem Niejonizującym (ICNIRP) odniosła się krytycznie do wyników powyższych badań, uznając te wyniki za niejednoznaczne jeśli chodzi o wnioski na temat rakotwórczego wpływu promieniowania elektromagnetycznego pochodzącego od telefonów komórkowych. Wyniki powyższych badań na zwierzętach nie mogą według komisji stanowić podstawy do oceny narażenia ludzi na ten czynnik środowiskowy. Konieczne jest przeprowadzenie dalszych badań dotyczących wpływu promieniowania niejonizującego na organizmy żywe [13].

Dotychczas przeprowadzono bardzo dużą liczbę badań związanych z narażeniem na promieniowanie elektromagnetyczne częstotliwości radiowych pochodzących od telefonów komórkowych. Do chwili obecnej nie ukazały się jednak żadne badania potwierdzające rakotwórczy wpływ promieniowania elektromagnetycznego wytwarzanego przez telefony komórkowe. Podstawowym efektem podczas pracy telefonów komórkowych jest nagrzewanie tkanek (efekt termiczny). Na rysunku 4 przedstawione jest nagrzewanie tkanek przed i po 15 minutowej rozmowie telefonicznej (telefon znajdował się bezpośrednio przy głowie użytkownika).



Rysunek 4. Efekt termiczny (przed i po 15 minutowej rozmowie telefonicznej) [17]

Nie ma wystarczających dowodów na negatywne skutki związane z podwyższeniem temperatury w ludzkim organizmie. Podwyższona temperatura może wywoływać m. in. zmianę syntezy białek czy szybkość zachodzenia reakcji biochemicznych. Jednak podobne efekty obserwowane są przy wysiłku fizycznym, podczas którego temperatura ciała też wzrasta. Lokalne podniesienie temperatury w organizmie sterowane jest przez mechanizmy termoregulacji [17], [22].

W przypadku wysokich częstotliwości, które emitowane są przez telefony komórkowe, większość energii jest absorbowana przez skórę. Jedynie niewielka jej część wnika w głąb ciała (na niewielkie głębokości) [17]. Zatem przenikanie promieniowania do

narządów wewnętrznych (w tym mózgu) może być pominięte. W przypadku negatywnego wpływu pola elektromagnetycznego na sen, tętno, ciśnienie krwi, funkcje poznawcze oraz aktywność mózgu nie otrzymano również dotychczas żadnych spójnych dowodów [14].

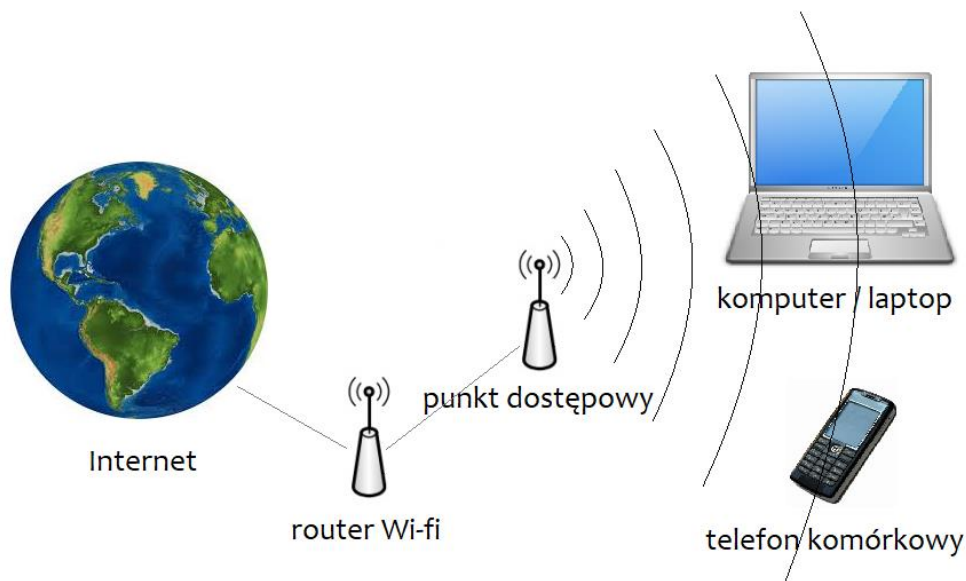
W przypadku badań epidemiologicznych i ich potencjalnych efektów długoterminowych bada się głównie zwiększone występowanie nowotworów. W przypadku telefonów komórkowych są to głównie nowotwory mózgu. Wykrywanie nowotworów po krótkim czasie od pojawienia się narażenia jest wielką trudnością w analizie otrzymywanych wyników. Dodatkowo, eksperymenty dokonywane na zwierzętach nie wykazują w jednoznaczny sposób wzrostu ryzyka spowodowanego wpływem promieniowania elektromagnetycznego z zakresu częstotliwości radiowych.

Z powodu braku spójnych i jednoznacznych dowodów z przeprowadzonych badań oraz w związku z ciągłym wzrostem wykorzystania telefonów komórkowych (okres powszechnego użytkowania to ponad 15 lat) Światowa Organizacja Zdrowia zleciła dodatkowe badania związane ze ewentualnym wzrostem występowania nowotworów podczas używania telefonów komórkowych. W szczególności, ze względu na dużą popularność tych urządzeń, wśród ludzi młodych (dzieci, młodzież). Osoby te powinny być obserwowane i badane ze względu na trwający dłużej (niż w przypadku osób dorosłych) okres narażenia na promieniowanie elektromagnetyczne emitowane przez telefony komórkowe [14].

Wi-Fi

Wi-Fi jest techniką transmisji bezprzewodowej do użytku w sieciach lokalnych, która działa w pasmach częstotliwości 2,4 GHz i 5 GHz. Są to podobne częstotliwości (zakres mikrofalowy) jak te wykorzystywane przez współcześnie używane telefony komórkowe.

We współczesnym społeczeństwie w ostatnich latach Wi-Fi stało się wszechobecne. Urządzenia Wi-Fi obsługują bezprzewodowe sieci lokalne (WLAN – z ang. wireless local area networks). Ich najbardziej powszechnym i znanym zastosowaniem jest zapewnienie dostępu do Internetu komputerom przenośnym, jednak są używane również w przypadku innych urządzeń komunikacyjnych, w tym niektórych liczników energii elektrycznej. Początkowo Wi-Fi opracowane zostało jako bezprzewodowy zamiennik kabla Ethernet do łączenia komputerów z sieciami lokalnymi. Obecnie jest podstawą praktycznie wszystkich bezprzewodowych sieci lokalnych obecnych w domach, biurach i innych środowiskach. Praktycznie każdy nowoczesny laptop i telefon komórkowy jest wyposażony w Wi-Fi. Coraz częściej urządzenia gospodarstwa domowego (np. wagi łazienkowe, urządzenia do gier, sprzęt audio) używają Wi-Fi, aby umożliwić m.in. ich zdalne programowanie i użytkowanie [6]. Korzystanie z Wi-Fi jest bardzo wygodne w dzisiejszych czasach, gdyż umożliwia przemieszczanie się i obsługiwanie różnych urządzeń mobilnych. Na rysunku 5 przedstawiony jest prosty schemat bezprzewodowej sieci lokalnej WLAN.



Rysunek 5. Bezprzewodowa sieć lokalna WLAN.

Router Wi-Fi może być zintegrowany z punktem dostępowym lub stanowić odrębne urządzenie. Jest to urządzenie, które pozwala na połączenie do sieci bezprzewodowej.

Większość urządzeń Wi-Fi działa w zakresie częstotliwości 2,400-2,4835 GHz (2,4 GHz) (podobnych pasm częstotliwości używają telefony komórkowe – sieć trzeciej generacji 3G – 2100 MHz). Te częstotliwości należą to tzw. pasma ISM (z ang. industrial-scientific-medical). Ten wycinek pasma częstotliwości (2,4-2,5 GHz) jest też przeznaczony do innych celów, np. komunikacji urządzeń domowych takich jak m.in. telefony bezprzewodowe czy też urządzenia niekomunikacyjne – kuchenki mikrofalowe [6]. Sieć Wi-Fi wykorzystuje także większe częstotliwości – 4,915-5,825 GHz (5 GHz) [18].

Prosty model propagacji promieniowania elektromagnetycznego w wolnej przestrzeni pozwala oszacować ekspozycję na promieniowanie pochodzące od urządzeń używających Wi-Fi. W przypadku anteny emitującej moc P (pomijając odbicia od innych powierzchni) gęstość mocy S w odległości R wynosi:

$$S = \frac{PG}{4\pi r^2} = \frac{EIRP}{4\pi r^2},$$

gdzie:

- G – (z ang. gain) – zysk anteny – wyrażony w jednostkach dBi informuje o jaką wartość w dB (decybel) zysk anteny jest większy w stosunku do hipotetycznej anteny izotropowej (nieskończenie małego punktu w próżni, emitującego promieniowanie izotropowo w każdym kierunku bez odbić i strat),
- $EIRP$ – (z ang. effective isotropic radiated Power) – efektywna izotropowa moc promieniowania – moc, jaką musiałaby wypromieniować antena izotropowa, aby

otrzymać taki sam poziom sygnału na kierunku maksymalnego promieniowania danej anteny,

- R – odległość od źródła promieniowania.

Dla prostej bezstratnej anteny dipolowej, która stanowi dobre przybliżenie anten występujących w wielu transmiterach Wi-Fi, zysk anteny G wynosi 1,65. Typowe urządzenia korzystające z Wi-Fi pracujące z mocą około 0,1 W produkuje zatem szczytową gęstość mocy na poziomie ok. 330 mW/m² w odległości 20 cm oraz 13 mW/m² w odległości 1 m. Powyższe równanie nie uwzględnia odbić od powierzchni, co jest zjawiskiem znaczącym podczas propagacji fali elektromagnetycznej częstotliwości radiowych w budynkach. Jednak jest to dość dobre przybliżenie propagacji fal wewnątrz pomieszczeń budynków (dla odległości kilku metrów od anteny). Rzeczywiste transmitery Wi-Fi pracują jednak na dużo niższych poziomach niż tych wynikających z powyższego równania [6].

Rzeczywiste warunki propagacji fal elektromagnetycznych pochodzących m. in. od routerów Wi-Fi wewnątrz budynków są inne niż te w wolnej przestrzeni. Fala elektromagnetyczna napotyka na swojej drodze różne przeszkody, takie jak ściany, różnorodny sprzęt a także człowieka. Następuje przez to wiele zjawisk fizycznych takich jak: tłumienie czy odbicie fali, dyfrakcja na krawędziach ścian. W tabeli 4 przedstawione są przykładowe wartości tłumienia przez poszczególne elementy budynku dla częstotliwości 2,4 GHz.

Tabela 4. Tłumienie poszczególnych charakterystycznych elementów w środowisku wewnątrzbudynkowym w paśmie 2,4 GHz [19]

| Nazwa elementu | Materiał | Grubość [cm] | Tłumienie [dB] |
|-------------------|------------------------|--------------------------|----------------|
| Ściana wewnętrzna | Cegła | 10 | 7 |
| Ściana zewnętrzna | Cegła | 30 | 9 |
| Ściana działowa | Regips i wełna szklana | 7 | 2 |
| Strop | Beton | 30 | 11 |
| Okno | Szkło | 2 x szyba + 1 cm przerwy | 4,5 |
| Drzwi | Drewno | 4 | 2,5 |

Dla przykładu: tłumienie 3dB oznacza dwukrotny spadek mocy sygnału, tłumienie 9 dB oznacza ok. 8-krotny spadek mocy sygnału a tłumienie 11 dB to ponaddwunastokrotna strata sygnału radiowego w danym paśmie.

Anteny zamontowane wewnątrz laptopów czy innych urządzeń korzystających z Wi-Fi są zazwyczaj bardzo małe, rzędu kilku centymetrów. Jest to bardzo mały rozmiar w porównaniu do odległości pomiędzy urządzeniem a użytkownikiem. To oznacza, że narażenie od tych urządzeń spada gwałtownie wraz ze wzrostem odległości od urządzenia

emitującego fale elektromagnetyczne (narażenie jest odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości). Jednak warto zauważyć, że użytkownicy urządzeń wykorzystujących Wi-Fi znajdują się w odległościach dużo większych niż podczas użytkowania telefonów komórkowych (głównie chodzi tu o odległość głowy od urządzenia) [20].

BADANIA DOTYCZĄCE WPŁYWU WI-FI NA ZDROWIE

W przeprowadzanych badaniach dotyczących ewentualnego negatywnego wpływu pochodzącego od promieniowania elektromagnetycznego częstotliwości radiowych i mikrofalowych mierzy się albo za pomocą wielkości fizycznych takich jak natężenie składowej elektrycznej i gęstość mocy, które porównywane są do poziomów referencyjnych zawartych w odpowiednich przepisach prawnych, albo poprzez współczynnik absorpcji swoistej SAR, który określa możliwe skutki promieniowania na tkanki ludzkie [21]. Ostatnie eksperymenty dotyczące wpływu promieniowania elektromagnetycznego pochodzącego od urządzeń Wi-Fi można podzielić na dwa typy: oceniające typową ekspozycję (warunki normalne) społeczeństwa w środowisku oraz te, które badały narażenie w warunkach powodujących wyższe niż typowe narażenia, np. z antenami nadającymi w sposób ciągły i w odległości kilku cm od ciała. Przeprowadzono zarówno badania eksperymentalne jak i symulacje numeryczne, część z badań również na zwierzętach. Poniżej przedstawiono wybrane wyniki.

W badaniu przeprowadzonym przez Karipisa i innych w 2017 r. mierzono poziom narażenia na promieniowanie elektromagnetyczne pochodzące od Wi-Fi i innych źródeł w 23 szkołach w Australii. Sprawdzane były wartości średnie i szczytowe poziomów pól elektromagnetycznych częstotliwości radiowych. Wszystkie pomiary wykazały dużo niższe poziomy tych w stosunku do poziomów referencyjnych zawartych w obowiązujących przepisach prawnych (w rekomendacji 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)). Zmierzone wartości w salach lekcyjnych (pustych oraz wraz z przebywającymi w nich uczniami) stanowiły od około 0,0001% (wartości średnie) do około 0,01% (wartości szczytowe) wartości granicznych z rekomendacji Rady Europejskiej. Uznano, iż poziomy ekspozycji pochodzące od Wi-Fi w badaniu są dużo niższe niż te otrzymywane przez inne pracujące urządzenia, takie jak radio, telewizor czy telefon komórkowy [23].

W kolejnym z badań przeprowadzonym przez Peymana i innych w 2011 r. poddano pomiarom promieniowanie elektromagnetyczne pochodzące od pracujących 15 laptopów i 12 punktów dostępowych w szkołach Wielkiej Brytanii. Mierzono składową elektryczną pola elektromagnetycznego. Maksymalne wartości tej wielkości fizycznej w odległości 0,5 m od urządzeń – laptopów i routerów Wi-Fi wyniosły odpowiednio 2,893 mV/m oraz 5,716 mV/m. Wartości te stanowią odpowiednio 0,005% i 0,01% wartości poziomów odniesienia zalecanych w Unii Europejskiej. Również nie przekraczają bardzo restrykcyjnych poziomów

zawartych w polskim rozporządzeniu (stanowią jedynie 0,04% i 0,08% wartości dopuszczalnych dla tych zakresów częstotliwości). W odległości 0,5 m gęstość mocy wyniosła 22 mW/m² (laptopy) oraz 87 mW/m² (punkty dostępowe Wi-Fi). Również te wyniki nie przekraczają wartości rekomendowanych (stanowią 0,22% oraz 0,87% wartości z rekomendacji Rady Europejskiej, 22% i 87% z polskich przepisów prawnych). Dokonano również pomiarów dla innych odległości (większych niż 0,5 m). Pomiar wykazały, że dla dwa razy większej odległości (1 m) wartości gęstości mocy spadają około czterokrotnie [20], co jest zgodne z naturą spadku poziomu promieniowania w zależności od odległości od jego źródła.

W roku 2007 zostały przeprowadzone przez Fostera badania wpływu promieniowania elektromagnetycznego pochodzącego od Wi-Fi w różnorodnych środowiskach i krajach. Łącznie wykonano 365 pomiarów w 55 miastach 4 krajów (Stany Zjednoczone Ameryki Północnej, Francja, Niemcy i Szwecja) w różnych miejscach przebywania ludzi, takich jak biura, sklepy, placówki służby zdrowia itp. Pomiar wykonywane w niewielkich odległościach od urządzeń (1 m od laptopa, który korzysta z Wi-Fi) wykazały poziomy narażenia dużo niższe niż zalecane graniczne w międzynarodowych aktach prawnych (również rekomendacji Międzynarodowej Komisji ds. Ochrony Przed Promieniowaniem Niejonizującym). Dodatkowo wykonano pomiary podczas pobierania przez komputer dużych plików (urządzenia pracują wtedy z największą mocą). Także w tym przypadku poziom promieniowania elektromagnetycznego (wyrażony za pomocą gęstości mocy) był o wiele niższy niż ten zawarty w międzynarodowych i polskich uregulowaniach prawnych. Wyniki pomiarów wyniosły od 0,001 do 0,010 W/m², co stanowi od 0,01% do 0,1% wartości granicznych stosowanych w większości krajów Unii Europejskiej oraz od 1% do 10% poziomów w polskich aktach prawnych [24].

Inne badania zostały przeprowadzone przez Schmidta w 2007 r. dla normalnych warunków pracy urządzeń korzystających z bezprzewodowych sieci lokalnych (WLAN) w pomieszczeniach zamkniętych takich jak (mniejsze pomieszczenia) kawiarnie, (większe) lotniska oraz przestrzeni otwartej (m. in. miejsca publiczne z dostępem do Internetu – śródmieście i osiedla mieszkaniowe) znajdujące się na terenie Niemiec. Wszystkie zmierzone wartości gęstości mocy były na poziomie o kilka rzędów wielkości niższym niż wartości dopuszczalne. Nawet dla odległości rzędu 20 cm (dla kawiarni) pomiary nie przekroczyły wartości granicznych. W przypadku pomiarów w otwartej przestrzeni, ze względu na dużo większe odległości od urządzeń) wartości te były o wiele niższe niż dla pomiarów w pomieszczeniach [25]. W tabeli 5 można znaleźć wyniki tych badań.

Tabela 5. Maksymalne zmierzone wartości gęstości mocy w różnych punktach pomiarowych [25].

| Miejsce pomiaru | Minimalna odległość od anteny [m] | Maksymalna zmierzona wartość | Udział zmierzonej wartości w stosunku do wartości dopuszczalnej w | Udział zmierzonej wartości w stosunku do wartości |
|-----------------|-----------------------------------|------------------------------|---|---|
|-----------------|-----------------------------------|------------------------------|---|---|

| | | gęstości mocy [mW/m ²] | Rekomendacji Rady Europejskiej – 10000 mW/m ² | dopuszczalnej w Polsce – 100 mW/m ² |
|--|------|---------------------------------------|--|---|
| kawiarnia | 0,2 | 183 | 1,83 % | 183 % |
| lotnisko | 3,0 | 1,86 | 0,0186 % | 1,86 % |
| teren zewnętrzny 1 – śródmieście | 5,0 | 0,10 | 0,001 % | 0,10 % |
| teren zewnętrzny 2 – śródmieście | 5,0 | 0,34 | 0,0034 % | 0,34 % |
| teren zewnętrzny 1 – osiedle mieszkaniowe | 50,0 | 0,002 | 0,00002 % | 0,002 % |
| teren zewnętrzny 2 – osiedle mieszkaniowe | 50,0 | 0,004 | 0,00004 % | 0,004 % |

Jedyna wartość w tabeli (kawiarnia, pomiar w odległości 20 cm od anteny) przekroczona została wartość poziomego odniesienia (jaką jest gęstość mocy) dla polskich przepisów prawnych. Należy tu zaznaczyć, że wartości dopuszczalne zawarte w polskim prawodawstwie są bardzo restrykcyjne. Ponadto ww. wyniki pomiarów to wartości szczytowe (maksymalne zmierzone). Dla rzeczywistych (uśrednionych) wartości, które są o około 2 rzędy wielkości mniejsze niż szczytowe, wartości te nie przekroczyłyby również limitów zawartych w polskim Rozporządzeniu 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).

Eksperyment przeprowadzony również przez Findlaya i Dimbylowa w 2010 r. na fantomie wokselowym (symulacja komputerowa ciała człowieka) dziesięcioletniego dziecka. Zasymulowana została ekspozycja na promieniowanie elektromagnetyczne charakterystyczne dla urządzeń Wi-Fi – dla częstotliwości 2,4 oraz 5 GHz. We wszystkich pomiarach wykonanych w tym eksperymencie wartości SAR były na znacznie niższych poziomach od tych zawartych w odpowiednich obowiązujących przepisach prawnych. Najwyższa zmierzona wartość SAR dla całego ciała wyniosła 19,1 $\mu\text{W/kg}$ przypadająca na 1 V/m (wartość znormalizowana dla 1 V/m). Aby przekroczyć wartości SAR zalecane w rekomendacji Rady Europejskiej (tj. 0,08 W/kg dla całego ciała) człowiek musiałby przebywać w polu elektromagnetycznym o wartości składowej elektrycznej 64,7 V/m. Typowe mierzone wartości składowej elektrycznej w odległości 1 m od punktów dostępu do Wi-Fi wynoszą poniżej 2 V/m, a więc o wiele niższe niż te, przy których wystąpiłoby przekroczenie SAR. Przeprowadzono również pomiary wartości SAR dla głowy i tułowia w zależności od odległości od anteny. Nawet przy najmniejszych odległościach (w badaniu odległość głowa-antena wynosiła 3 cm) maksymalna zmierzona wartość SAR wyniosła 81,7 mW/kg (wartość obliczona z uwzględnieniem współczynnika obciążenia/wykorzystania 1/10 w antenach Wi-Fi laptopów (założenie, gdy 10 osób używa punktu dostępowego jednocześnie) oraz typowej mocy anteny Wi-Fi, która nie przekracza 100 mW, co daje średnią moc 10 mW). Wartości SAR rekomendowane przez ICNIRP (International

Commission on Non-Ionizing Radiation Protection – Międzynarodowa Komisja ds. Ochrony Przed Promieniowaniem Niejonizującym) dla głowy wynoszą 2 W/kg, a więc otrzymane wartości są znacznie poniżej tych wytycznych (stanowią maksymalnie 4% wartości dopuszczalnych). Dla wszystkich pomiarów przeprowadzonych w różnych odległościach podczas użytkowania komputera z dostępem do Wi-Fi wszystkie otrzymane wartości SAR nie zostały przekroczone oraz były na znacznie niższych poziomach niż dopuszczalne w przepisach prawnych [26].

Oprócz badań przeprowadzonych w warunkach normalnej (standardowej pracy) urządzeń korzystających z Wi-Fi, część badań została przeprowadzona w warunkach bardziej niekorzystnych. W badaniach tych sprawdzano narażenie na promieniowanie elektromagnetyczne pochodzące od urządzeń znajdujących się w bardzo małych odległościach od punktów pomiarowych (tak, jakby znajdowały się blisko ciała użytkownika), lub pracowały z maksymalnymi (lub dużo wyższymi niż przy normalnym użytkowaniu) mocami. W jednym z badań przeprowadzonym przez Kuhna i innych w 2007 r. sprawdzano poziom składowej elektrycznej pola i wartości SAR dla 100 cm od urządzenia używającego Wi-Fi dla najgorszych możliwych warunków pracy (urządzenia pracowały z maksymalną mocą). W przypadku routerów Wi-Fi pracujących w zakresach częstotliwości 2,400-2,484 GHz, wartości składowej elektrycznej pola wyniosły 1,1 V/m, dla częstotliwości 5,200/5,800 GHz – 0,9 V/m. Wartości SAR wyniosły odpowiednio 0,36 W/kg oraz 0,81 W/kg nie przekraczając tym samym wartości poziomów odniesienia i ograniczeń podstawowych (również nie przekroczyły granicznych wartości tych wielkości fizycznych zawartych w polskich przepisach prawnych). **Bliskiej odległości od tego typu urządzeń można uniknąć poprzez montowanie ich na ścianie powyżej głów użytkowników [27].**

W badaniu przeprowadzonym przez Schmidta i innych w 2007 r. sprawdzone zostały urządzenia systemu nadzoru wizyjnego niemowląt (tzw. „elektroniczna niania”), system cyfrowej telekomunikacji bezprzewodowej (DECT), urządzenia korzystające z funkcji Bluetooth oraz sieć bezprzewodowa WLAN. Zmierzone wartości gęstości mocy nie przekroczyły w żadnym ze sprawdzanych punktów wartości dopuszczalnych, stanowiąc maksymalnie (dla wartości średnich) 0,004% wartości granicznych [28]. Gdyby odnieść wartości tych pomiarów do wartości poziomów odniesienia w Polsce (które są dużo bardziej restrykcyjne) stanowiłyby one zaledwie 0,4% (wartości dopuszczalnych). W tym samym eksperymencie dla wybranych urządzeń, w tym dla urządzeń korzystającej z bezprzewodowej sieci lokalnej WLAN zmierzono wartości SAR dla bardzo niekorzystnych warunków użytkowania (urządzenie emitujące promieniowanie elektromagnetyczne z anteny stykało się z powierzchnią fantomu, gdzie mierzony był poziom SAR). Dla laptopa korzystającego z Wi-Fi maksymalna wartość SAR wyniosła 0,05 W/kg (wartość dopuszczalna dla kończyn wynosi 4 W/kg, dla głowy i tułowia 2 W/kg) [4], [5].

Oprócz licznych badań przeprowadzonych na przestrzeni lat, w których sprawdzane zostały w różnych miejscach i w różnych warunkach pracy urządzenia

korzystające z Wi-Fi (anteny w laptopach, routery Wi-Fi, punkty dostępowe) poziomy wielkości fizycznych związanych z narażeniem na promieniowanie elektromagnetyczne wysokich częstotliwości, dokonano również eksperymentów na organizmach żywych – zwierzętach oraz ludziach. W badaniach sprawdzany był wpływ promieniowania elektromagnetycznego na zachowania i efekty biologiczne występujące u żywych organizmów.

Badania związane z efektami długotrwałej ekspozycji na promieniowanie elektromagnetyczne pochodzące od sygnału Wi-Fi o częstotliwości 2,4 GHz przeprowadzone zostały przez Banaceura i innych w 2013 r. Badaniom zostały poddane myszy. Przez 2 godziny dziennie przez miesiąc zwierzęta zostały poddawane działaniu promieniowania osiągając wartość współczynnika absorpcji swoistej SAR 1,6 W/kg. Wynik eksperymentu pokazał, że ekspozycja na pole elektromagnetyczne może wpływać na poprawę pamięci w chorobie Alzheimera oraz polepszać zdolności poznawcze badanych zwierząt [29].

Shokri i inni przeprowadzili inny eksperyment w 2015 r. na szczurach. Zwierzęta poddawane badaniu podzielono na trzy grupy: grupa pierwsza – kontrolna składająca się z 9 zdrowych osobników nie była poddawana działaniu promieniowania elektromagnetycznego pochodzącego z anten (urządzeń Wi-Fi), grupa druga składająca się z 9 osobników napromienianych promieniowaniem elektromagnetycznym o częstotliwości 2,45 GHz przez 1 godzinę dziennie przez dwa miesiące, grupa trzecia składająca się z 9 osobników napromienianych promieniowaniem elektromagnetycznym o częstotliwości 2,45 GHz przez 7 godzin dziennie przez dwa miesiące. Badanie polegało na zbadaniu głównie parametrów nasienia zwierząt. Badanie pokazało, że w zależności od długości ekspozycji (im dłuższa, tym większy negatywny wpływ) jakość nasienia u osobników męskich szczurów ulegała pogorszeniu (najgorsza jakość zaobserwowana u osobników z trzeciej grupy). Powyższe badanie pokazało zależność skutków zdrowotnych od czasu narażenia na czynnik szkodliwy jakim jest promieniowanie elektromagnetyczne wysokiej częstotliwości. Autorzy badania doszli do wniosku, że powinna istnieć obawa o zależne od czasu narażenie naszego ciała na pola elektromagnetyczne pochodzące od anten Wi-Fi [16]. Jednak ze względu na bardzo małą liczbę zwierząt, które zostały poddane badaniu, wyniki ww. eksperymentu są mało wiarygodne.

Badanie przeprowadzone przez Hassanshahiego i innych w 2017 r. miało na celu ocenę wpływu przewlekłej ekspozycji promieniowania elektromagnetycznego pochodzącego od Wi-Fi na zdolności uczenia się u szczurów. Wyniki eksperymentu wykazały, że sygnały Wi-Fi upośledzają zdolność zwierząt do rozróżniania nowych i znanych obiektów. W oparciu o wyniki tego badania, które wykazują możliwy niekorzystny wpływ promieniowania elektromagnetycznego pochodzącego od Wi-Fi, szczególnie interesującym powinno być zbadanie możliwych efektów Wi-Fi na poziom zachowań poznawczych zarówno u zwierząt jak i ludzi [30].

W większości przeprowadzonych badań na zwierzętach przedstawiany jest negatywny wpływ promieniowania elektromagnetycznego. Pojawiają się równocześnie zupełnie inne (przeciwnie) doniesienia. Bez wątplenia ten czynnik środowiskowy powoduje absorpcję energii przez żywe organizmy. U organizmów narażonych na promieniowanie elektromagnetyczne wysokich częstotliwości (dla wartości SAR niepowodujących efektów termicznych) obserwuje się m. in. zmiany stężenia hormonów czy zmiany aktywności zakończeń nerwowych mózgu. Dla wyższych wartości SAR (około 6,8 W/kg) może pojawiać się znaczne skrócenie długości życia zwierząt poddawanych badaniom. W tabeli 6 przedstawione są przykłady efektów biologicznych wywołanych przez pole elektromagnetyczne wysokich częstotliwości dla różnych organizmów w zależności od wartości SAR.

Tabela 6. Przykłady efektów biologicznych wywoływanych przez pole elektromagnetyczne wysokiej częstotliwości [22].

| Rodzaj efektu | Obiekt | SAR [W/kg] | Przyrost temperatury [°C] |
|---|------------------|------------|---------------------------|
| Zaćma soczewki | królik | 100-150 | 3-6 |
| Wady wrodzone | szczur | 6-10 | 2-3 |
| Reakcje hormonalne | szczur, naczelne | 3-4 | 1-2 |
| Upośledzenie wykonywania wyuczonych czynności | szczur, naczelne | 2-5 | 1 |
| Obniżenie aktywności lokomotorycznej | naczelne | 1-3 | poniżej 1 |
| Uruchomienie mechanizmów termoregulacyjnych | naczelne | 0,7-1 | poniżej 1 |
| Obniżenie poziomu przemiany materii | naczelne | 0,7-1 | poniżej 1 |
| Sensacje słuchowe | człowiek, szczur | 0,01-0,1 | brak |
| Zmiany w EKG | królik | 0,01-0,5 | brak |
| Zwiększona przepuszczalność bariery krew/mózg | szczur, królik | 0,05-0,1 | brak |

Dotychczasowe wyniki badań uznają jednak pole elektromagnetyczne częstotliwości radiowych i mikrofalowych za słaby czynnik biologiczny [22].

Ze względów etycznych istnieje wielka trudność przeprowadzania na ludziach badań dotyczących wpływu promieniowania elektromagnetycznego na zdrowie. Problem polega na zapewnieniu odpowiednich warunków (pełny zakres mocy pracujących urządzeń, badanie tej samej populacji przez wiele lat). Dlatego jedynymi możliwymi badaniami to eksperymenty przeprowadzane na zwierzętach czy na tzw. hodowlach komórkowych. Jednak każde z tych rozwiązań ma pewne ograniczenia i wady. Nie

wiadomo czy można wyciągać wnioski z badań przeprowadzanych na zwierzętach i przenosić je bezpośrednio na ludzi. Dlatego wiele z przeprowadzonych badań uznaje się za niejednoznaczne [17].

W jednym z najnowszych przeprowadzonych na ludziach badań przez Hosseiniego w 2019 r. celem było pokazanie ewentualnego wpływu krótkotrwałych sygnałów pochodzących od Wi-Fi na funkcje poznawcze mózgu/umysłu. Po uzyskaniu pozwolenia od lokalnego komitetu etyki Uniwersytetu Medycznego w Shiraz w Iranie i zgody irańskiego rejestru badań klinicznych, 45 studentów z Uniwersytetu Medycznego w Shiraz zgłosiło się do udziału w tym badaniu. Byli narażeni na sygnały Wi-Fi podczas dwóch sesji: jedna z ekspozycją na promieniowanie elektromagnetyczne a druga bez (pozorowana). Każda z sesji trwała 2 godziny. Po ukończeniu sesji wzięli oni udział w testach czasu reakcji, pamięci krótkotrwałej i umiejętności rozumowania. Wyniki nie wykazały istotnych statystycznie różnic między średnimi wynikami czasu reakcji, pamięci krótkotrwałej a zdolnością rozumowania w obu sesjach (pozorowanej i z udziałem promieniowania). Podczas eksperymentu zmierzono wartości poziomów odniesienia – natężenia składowej elektrycznej pola oraz gęstość mocy. Wartości otrzymane dla pomiaru w odległości 1,5 m i wysokości 1,2 m (typowe podczas użytkowania urządzeń Wi-Fi) wyniosły odpowiednio: 4,1 V/m oraz 0,0446 W/m² [21]. Wartości te stanowią 7% wartości dopuszczalnej w większości krajów Unii Europejskiej dla natężenia składowej elektrycznej pola oraz 0,4% w przypadku gęstości mocy. Gdyby odnieść otrzymane wartości do zaleceń w polskich przepisach prawnych, które są bardzo restrykcyjne, wartości również nie byłyby przekroczone. Stanowiłyby odpowiednio 59% i 45%.

Od lat 50 przeprowadzono wiele badań dotyczących biologicznych skutków oddziaływania promieniowania elektromagnetycznego na żywe organizmy. Badania te dotyczyły zarówno wpływu telefonów komórkowych jak i Wi-Fi. Z ww. badań wynika, że dotychczas nie ma udowodnionego ryzyka związanego z pracą tych urządzeń, o ile nie przekraczane są wartości graniczne (ograniczenia podstawowe i poziomy odniesienia) zawarte w odpowiednich przepisach prawnych na świecie [6].

PODSUMOWANIE

Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem (IARC – International Agency for Research on Cancer) umieściła czynnik środowiskowy jakim jest promieniowanie elektromagnetyczne w grupie 2B – grupie czynników przypuszczalnie rakotwórczych dla człowieka. W grupie tej znajduje się również wiele innych czynników występujących w życiu codziennym m. in. talk czy wyciąg z liści aloesu. Promieniowanie elektromagnetyczne zakresu radiowego i mikrofalowego jest promieniowaniem niejonizującym. Nie jest ono w stanie zniszczyć struktur cząsteczek w układach biologicznych, gdyż energie tego

promieniowania są zbyt niskie. Możliwym efektem promieniowania elektromagnetycznego wysokich częstotliwości jest m.in. podniesienie temperatury tkanek (efekt termiczny).

W przypadku badania wpływu promieniowania elektromagnetycznego pochodzącego zarówno od telefonów komórkowych jak i urządzeń używających Wi-Fi (m.in. routery) należy zauważyć, że moc wyjściowa pochodząca od urządzenia typu router Wi-Fi jest na dużo niższym poziomie niż moc pochodząca od telefonów komórkowych. W przypadku analizy poziomów narażenia pochodzącego od Wi-Fi wyniki należy odnosić nie tylko do poziomów dopuszczalnych zawartych w krajowych czy europejskich przepisach prawnych ale także do poziomów narażenia pochodzących od telefonów komórkowych (które używane bezprzewodowo często korzystają z Wi-Fi). Gdy porównujemy wpływ tego typu promieniowania od różnych źródeł (w tym przypadku są to telefony komórkowe i Wi-Fi) należy uwzględnić kilka parametrów jakimi są:

- moc wyjściowa urządzenia,
- odległość używanego urządzenia (telefonu komórkowego, routera Wi-Fi) od ciała człowieka,
- częstotliwość promieniowania elektromagnetycznego.

Zarówno telefony komórkowe jak i urządzenia wykorzystujące Wi-Fi pracują w podobnych zakresach częstotliwości. Moc wyjściowa urządzeń jakimi są telefony komórkowe jest znacznie wyższa od urządzeń wykorzystujących Wi-Fi. Dlatego narażenie na promieniowanie elektromagnetyczne pochodzące od Wi-Fi jest niższe w porównaniu z telefonami komórkowymi. Routery Wi-Fi znajdują się w dużo większych odległościach od ciała ludzkiego niż telefony komórkowe, które podczas używania znajdują się kilka cm od ciała lub tuż przy samej głowie. Dlatego największe narażenie występuje podczas ich normalnej pracy – rozmowy telefonicznej.

Większość badań związanych z narażeniem na promieniowanie elektromagnetyczne pochodzącym od Wi-Fi przeprowadzona została w warunkach znacznie gorszych (wyższe wartości mocy – wartości szczytowe a nie średnie, mniejsze odległości od rzeczywistych). Nawet w powyższych przypadkach wyniki otrzymanych badań nie przekraczały wartości dopuszczalnych zawartych w różnych przepisach prawnych na świecie.

W związku ciągłym postępowaniem w nauce 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 komórkowej (wykorzystywanie pasm o różnych, coraz wyższych częstotliwościach) prowadzonych jest wiele badań dotyczących ewentualnego negatywnego (także kancerogennego) wpływu promieniowania elektromagnetycznego na organizmy żywe, w

tym człowieka [1]. Większość przeprowadzonych dotychczas badań nie wykazała związku pomiędzy wpływem promieniowania elektromagnetycznego a zwiększonym ryzykiem występowaniem nowotworów [22]. Choć równolegle pojawiają się publikacje, które pokazują zupełnie przeciwne wyniki, w których udowodniony jest kancerogeny wpływ promieniowania elektromagnetycznego związanego z telefonią komórkową, to część z tych badań wymaga powtórzenia i oceny rzetelności oraz weryfikacji wyników przez innych naukowców. Międzynarodowe komisje i organizacje zajmujące się promieniowaniem niejonizującym zleciły dodatkowe badania wpływu promieniowania elektromagnetycznego częstotliwości radiowych na zdrowie ludzi ze względu na niejednoznaczność publikowanych badań oraz stale rozwijające się technologie związane z telefonią komórkową. Okazuje się, że największą trudnością w interpretacji i wyciąganiu wniosków z badań przeprowadzonych na zwierzętach jest przenoszenie tych wyników na ewentualny wpływ na zdrowie ludzi. Z tego względu wiele z przeprowadzonych dotychczas badań uznaje się za niejednoznaczne lub niedające ostatecznej odpowiedzi na temat ewentualnego negatywnego wpływu na zdrowie człowieka. W związku z ciągłym rozwojem technologii dotyczącej telefonii komórkowej i sieci bezprzewodowej istnieje konieczność prowadzenia dalszych badań w tym temacie.

Czas użytkowania telefonów komórkowych oraz urządzeń wykorzystujących Wi-Fi (m.in. routery) jest stosunkowo krótki (ok. 15-20 lat). Urządzenia te stają się coraz bardziej wszechobecne we współczesnym świecie. Ze względu na ich dużą popularność wśród dzieci i młodych ludzi oraz ze względu na trwający dłużej (niż w przypadku osób dorosłych) okres narażenia na promieniowanie elektromagnetyczne te właśnie grupy ludzi powinny być obserwowane i poddawane ewentualnym badaniom. Ponadto, proponuje się stosowanie przez użytkowników ww. urządzeń prostych zasad, które znacznie ograniczają narażenie na ten czynnik środowiskowy:

- **stosowanie podczas rozmowy poprzez telefon komórkowy zestawu słuchawkowego lub słuchawek, ograniczając w znacznym stopniu ilość energii docierającej do głowy użytkownika,**
- **montowanie urządzeń typu router Wi-Fi na ścianie powyżej głów użytkowników.**

BIBLIOGRAFIA

- [1] Magiera A., Solecka J., Mobile telephony and its effects on human health, Roczniki Państwowego Zakładu Higieny. 2019;70(3):225-234, doi: 0.32394/rpzh.2019.0073
- [2] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (t.j. z 2019 r., poz. 1396)
- [3] 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)
- [4] 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)
 - [5] Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Health Phys. 1998 Apr;74(4):494-522
 - [6] Foster K. R., Moulder J. E., Wi-Fi and health: review of current status of research, Health Phys., 2013, 105(6): 561-75, doi: 10.1097/HP.ob013e31829b49bb
 - [7] 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
 - [8] Carlberg M., Hedendahl L., Ahonen M., Koppel T., Hardell L., Increasing incidence of thyroid cancer in the Nordic countries with main focus on Swedish data, BMC Cancer. 2016 Jul 7;16:426, doi: 10.1186/s12885-016-2429-4
 - [9] Panagopoulos D. J., Johansson O., Carlo G. L., Real versus Simulated Mobile Phone Exposures in Experimental Studies, Biomed Res Int. 2015;2015:607053, doi: 10.1155/2015/607053
 - [10] Freudenstein F., Correia L. M., Oliveira C., Sebastião D., Wiedemann P. M., Exposure knowledge and perception of wireless communication technologies, Int J Environ Res Public Health. 2015 Nov; 12(11): 14177-14191, doi: 10.3390/ijerph121114177
 - [11] 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>
 - [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, 2018
 - [13] ICNIRP Note on Recent Animal Carcinogenesis Studies, <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPnote2018.pdf>
 - [14] 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>
 - [15] 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

- [16] Shokri S., Soltani A., Kazemi M., Sardari D., Mofrad F. B., Effects of Wi-Fi (2.45 GHz) Exposure on Apoptosis, Sperm Parameters and Testicular Histomorphometry in Rats: A Time Course Study, *Cell J.* 2015 Summer; 17(2): 322–331, doi: 10.22074/cellj.2016.3740
- [17] Biała Księga – Pole elektromagnetyczne a człowiek. O fizyce, biologii, medycynie, normach i sieci 5G, Ministerstwo Cyfryzacji, Instytut Łączności – Państwowy Instytut Badawczy, <https://www.gov.pl/attachment/856baf55-3ec2-40ed-8ea8-ed88cd81a7f>
- [18] Szulewski P., Ostrowski I., Wstępna analiza możliwości zastosowania sieci WiFi do komunikacji z robotem mobilnym w środowisku przemysłowym, *Gospodarka Materialowa & Logistyka*, 2015; (4): 5180–5187.
- [19] Jasiński Ł., Analiza i porównanie modeli propagacyjnych dla środowiska wewnątrzbudynkowego, 2011
- [20] Peyman A., Khalid M., Calderon C., Addison D., Mee T., Maslanyj M., Mann S., Assessment of exposure to electromagnetic fields from wireless computer networks (wi-fi) in schools; results of laboratory measurements, *Health Phys.* 2011 Jun;100(6):594-612. doi: 10.1097/HP.0b013e318200e203
- [21] Hosseini M.A., Hosseini A., Jarideh S., Argasi H., Shekoohi-Shooli F., Zamani A., Taeb S., Haghani M., Evaluating short-term exposure to Wi-Fi signals on students' reaction time, short-term memory and reasoning ability, *Radiation Protection Dosimetry*, 2019, doi: 10.1093/rpd/ncz162
- [22] Rochalska M., Wpływ pól elektromagnetycznych na organizmy żywe: rośliny, ptaki, zwierzęta, *Med Pr.* 2007;58(1):37-48
- [23] Karipidis K., Henderson S., Wijayasinghe D., Tjong L., Tinker R., Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields From Wi-Fi in Australian Schools, *Radiat Prot Dosimetry*, 2017, 175(4): 432-439, doi: 10.1093/rpd/ncw370
- [24] Foster K.R., Radiofrequency exposure from wireless LANs utilizing Wi-Fi technology, *Health Phys.* 2007 Mar;92(3):280-9, doi: 10.1097/01.HP.0000248117.74843.34
- [25] Schmid G., Preiner P., Lager D., Uberbacher R., Georg R., Exposure of the general public due to wireless LAN applications in public places, *Radiat Prot Dosimetry.* 2007;124(1):48-52. Epub 2007 Jun 11, 10.1093/rpd/ncm320
- [26] Findlay R., Dimbylow P.J., SAR in a child voxel phantom from exposure to wireless computer networks (Wi-Fi). *Phys Med Biol.* 2010 Aug 7;55(15):N405-11. doi: 10.1088/0031-9155/55/15/N01
- [27] Kuhn S., Lott U., Kramer A., Kuster N., Assessment Methods for Demonstrating Compliance With Safety Limits of Wireless Devices Used in Home and Office Environments, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* 3(3):519 - 525 · September 2007, doi: 10.1109/TEM.2007.903042
- [28] Schmid G., Lager D., Preiner P., Uberbacher R., Cecil S., Exposure caused by wireless technologies used for short-range indoor communication in homes and

Office, Radiat Prot Dosimetry. 2007;124(1):58-62. Epub 2007 Jun 11, 10.1093/rpd/ncm245

- [29] Banaceur S., Banasr S., Sakly M., Abdelmelek H., Whole body exposure to 2.4 GHz WIFI signals: effects on cognitive impairment in adult triple transgenic mouse models of Alzheimer's disease (3xTg-AD), Behav Brain Res. 2013 Mar 1;240:197-201. doi: 10.1016/j.bbr.2012.11.021
- [30] Hassanshahi A., Shafeie S. A., Fatemi I., Hassanshahi E., Allahtavakoli M., Shabani M., Roohbakhsh A., Shamsizadeh A., The effect of Wi-Fi electromagnetic waves in unimodal and multimodal object recognition tasks in male rats, Neurol Sci. 2017 Jun;38(6):1069-1076, doi: 10.1007/s10072-017-2920-y