Minister Zdrowia

Warszawa, 12 kwietnia 2019

NKA.093.1.2019.3.KCZ

Pani
Ewa Polkowska Wiceprezes
Najwyższej Izby Kontroli ul.
Filtrowa 57 00-950 Warszawa

Szanowna Pani Prezes,

w nawiązaniu do Informacji Najwyższej Izby Kontroli o wynikach kontroli P/17/082 *Działania organów administracji publicznej w zakresie ochrony zdrowia przed promieniowaniem elektromagnetycznym pochodzącym od urządzeń telefonii komórkowej* przekazanej pismem z dnia 29 marca 2019 r. o znaku: LLU.430.006.2018, uprzejmie proszę o przyjęcie poniższego stanowiska do przedmiotowego dokumentu.

1) **Strona 6 zdanie:** *„Brak w środowisku naukowym konsensusu odnośnie wpływu PEM na człowieka*

Najwyższa Izba Kontroli odwołuje się tutaj do analizy Collegium Medicum Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie i w konsekwencji do reguły ALARA, którą zaleca stosować. Reguła ta odnosi się jednak do promieniowania jonizującego, a więc innego niż PEM. „Zasada ALARA to polityka minimalizacji ryzyka poprzez utrzymanie ekspozycji na najniższym poziomie pod względem kosztów, technologii i korzyści dla zdrowia. Stosując zasadę ALARA badania diagnostyczne z zastosowaniem promieniowania jonizującego powinno wykonywać się w sposób gwarantujący osiągnięcie wymaganego rezultatu przy możliwie najmniejszej dawce promieniowania".

Ministerstwo Zdrowia Telefon: (22) 63 49 460
ul Miodowa 15 e-mail: kancelana@mz.gov pl
00-952 Warszawa wwwmz.gov.pl

niepodległa MZ

(www.radioembolizacja.org.pl; www.ochronaradiologiczna.pl). O ile w przypadku promieniowania jonizującego, szczególnie w warunkach laboratoryjnych, jest to łatwe, o tyle w przypadku promieniowania elektromagnetycznego wymagałoby to wyłączenia wszystkich jego źródeł, czyli praktycznie wszystkich urządzeń elektrycznych, elektronicznych, jak i komunikacyjnych.

2) Strony 73-77, pkt 5.4. Działania Oświatowo-Zdrowotne w Zakresie Ochrony Przed Promieniowaniem Elektromagnetycznym Pochodzącym od Urządzeń Telefonii Komórkowej oraz strona 22, pkt II, wniosek nr 1 skierowany do Ministra Zdrowia.

Uprzejmie informuję, że podejmowanie inicjatyw profilaktycznych wpływających na poprawę zdrowia ludności stanowi dla Państwowej Inspekcji Sanitarnej jeden z głównych priorytetów z obszaru zdrowia publicznego. Zgodnie z ustawą z dnia 14 marca 1985 r. o Państwowej Inspekcji Sanitarnej', realizacja zadań z zakresu zdrowia publicznego polega m.in. na prowadzeniu działalności zapobiegawczej i przeciwepidemicznej w zakresie chorób zakaźnych i innych chorób powodowanych warunkami środowiska, a także na prowadzeniu działalności oświatowo-zdrowotnej. Wybór działań realizowanych w zakresie oświaty zdrowotnej dokonywany jest w oparciu o analizę sytuacji epidemiologicznej w kraju, zgodnie z procedurą GIS-ZSZ-PL-05 - Konstruowanie i koordynowanie interwencji w zakresie profilaktyki chorób i promocji zdrowia oraz wskazań kierunków działań o charakterze priorytetowym. Prowadzenie działalności oświatowo-zdrowotnej zmierzającej do zaznajomienia społeczeństwa ze sposobem korzystania z urządzeń telefonii komórkowej ograniczającymi narażenie na promieniowanie elektromagnetyczne wymaga dotarcia do różnych grup odbiorców za pośrednictwem odpowiednio dobranych kanałów komunikacji, właściwie dobranej strategii spójnej pod względem realizowanego celu, jak również przekazującej informacje służące promowaniu właściwych postaw oraz zachowań, i która powinna charakteryzować się długofalowością działań nastawionych na kontynuację i rozwijanie wątków podjętych w początkowym etapie. Realizacja działań planowanych w tak szerokim zakresie wymaga zdiagnozowania ich. jako priorytetowych do realizacji oraz przyznania odpowiednich środków finansowych na realizację zadania.

Problematyka zapewnienia bezpieczeństwa przed promieniowaniem pola elektromagnetycznego pochodzącym od urządzeń telefonii komórkowej jest zagadnieniem zdrowia publicznego wymagającym podjęcia stosownych działań.

---

[1] Dz. U. z 2019 r. poz. 59.

W związku z powyższym Główny Inspektorat Sanitarny (dalej także „GIS") rozpoczął popularyzację treści edukacyjnych w formie infografik na kanałach informacyjnych dotyczących PEM oraz właściwego korzystania z telefonów komórkowych. Opublikowane materiały dotarły do 110 tys. osób poprzez portale społecznościowe prowadzone przez urząd.

Jednocześnie, w związku z rozwojem rynku usług telekomunikacyjnych w Polsce oraz brakiem w społeczeństwie szerszej wiedzy odnośnie do skutków oddziaływania PEM na zdrowie, GIS

dostrzega konieczność kontynuowania oraz rozszerzenia działalności edukacyjnej w powyższym zakresie.

Nadto informuję, że w miarę dostępności środków finansowych zostanie rozważona przez Ministerstwo Zdrowia możliwość zainicjowania działań edukacyjnych dotyczących właściwego korzystania z urządzeń mobilnych, ukierunkowanych w szczególności na dzieci i młodzież powszechnie korzystające z usług telefonii ruchomej.

3) Strona 22, pkt II, wniosek nr 2 skierowany przez NIK do Ministra Zdrowia.

Wskazuję, że zgodnie z obowiązującymi przepisami organy władzy publicznej działają na podstawie i w granicach prawa. Oznacza to, że wszelkie działania organu administracji publicznej są oparte o wyraźnie określoną normę kompetencyjną. Wymóg działania organów władzy publicznej na podstawie prawa oznacza w szczególności nakaz podejmowania przez te organy działań tylko w przypadkach prawem przewidzianych.

Jak wskazano w art. 123 ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska[1] oceny poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku i obserwacji zmian dokonuje się w ramach państwowego monitoringu środowiska. Jednocześnie w ww. ustawie wskazano, iż Główny Inspektor Ochrony Środowiska prowadzi okresowe badania poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku. Zakres i sposób prowadzenia ww. badań został określony w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 12 listopada 2007 r. w sprawie zakresu i sposobu prowadzenia okresowych badań poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku[2]. Dopuszczalne poziomy pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposoby sprawdzania dotrzymania tych poziomów zostały natomiast określone w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów'

W art. 122a ust. 2 ww. ustawy wskazano, iż wyniki pomiarów poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku, do których wykonania jest zobowiązany prowadzący instalację oraz użytkownik urządzenia emitującego pola elektromagnetyczne, które są stacjami elektroenergetycznymi lub napowietrznymi liniami elektroenergetycznymi o napięciu znamionowym nie niższym niż 110 kV, lub instalacjami radiokomunikacyjnymi, radionawigacyjnymi lub radiolokacyjnymi, emitującymi pola elektromagnetyczne, których równoważna moc promieniowana izotropowe wynosi nie mniej niż 15 W. emitującymi pola elektromagnetyczne o częstotliwościach od 30 kHz do 300 GHz, przekazuje się Głównemu Inspektorowi Ochrony Środowiska i państwowemu wojewódzkiemu inspektorowi sanitarnemu.

Zakres działania Państwowej Inspekcji Sanitarnej determinują natomiast przepisy ustawy z

[1] Dz. U. z 2018 r. poz. 799, z późn. zm.
[2] Dz. U. Nr 221, poz. 1645.

dnia 14 marca 1985 r. o Państwowej Inspekcji Sanitarnej dotyczące m.in. aspektów związanych z zapobieganiem i eliminowaniem negatywnego wpływu czynników i zjawisk fizycznych, chemicznych i biologicznych na zdrowie ludzi. Przepisy ww. ustawy regulują także kwestie uprawnień organów Państwowej Inspekcji Sanitarnej w sytuacjach, w których mogłoby nastąpić zagrożenie życia lub zdrowia ludzi.

Jednocześnie należy nadmienić, iż obowiązujące w Polsce rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów określa, jako wartości dopuszczalne, gęstość mocy 0,1 W/m2, czy odpowiadające mu natężenie pola elektrycznego 7 V/m.

Energia oddziałująca na organizm człowieka przy założeniu dotrzymania tych wartości jest od czterdziestu pięciu do stokrotnie niższa od dozwolonej w większości Państw Unii Europejskiej, czy świata. Nie istnieje jednocześnie żadna obiektywna wartość progowa, którą można przyjąć jako absolutnie, całkowicie obojętną z punktu widzenia oddziaływania PEM. Każde, nawet najsłabsze PEM, jest ze swej natury nośnikiem energii, której jakąś część układy biologiczne absorbują, co może mieć na nie wpływ, choć nie musi się on przekładać w żaden sposób na skutki zdrowotne. Ustalenie wielkości PEM dopuszczalnych dla populacji jest zatem formą kompromisu pomiędzy istniejącym stanem badań naukowych, a potrzebami wynikającymi z rozwoju technologii. [3] Wykładnię tego kompromisu stanowi, stosowana już powszechnie na całym świecie w ochronie przed promieniowaniem jonizującym, a coraz częściej również w odniesieniu do pól niejonizujących, zasada ALARA (As *LowAs Reasonably Achievable),* sugerująca by ekspozycja była tak niska, jak to jest osiągalne w rozsądny sposób. Przy istniejącym stanie wiedzy obecne przepisy chroniące populację polską przed PEM wydają się wystarczające, szczególnie, że normy w większości krajów są znacznie bardziej liberalne.

Jednocześnie należy zauważyć, że z prowadzonych na całym świecie badań naukowych nie można wyciągnąć jednoznacznych wniosków świadczących o znaczącej szkodliwości pola elektromagnetycznego (PEM) emitowanego przez stacje bazowe telefonii komórkowej. Na dzień dzisiejszy nie znane są dowody naukowe na szkodliwe oddziaływanie stacji bazowych na stan zdrowia mieszkańców okolic miejsc ich lokalizacji. Istnieje jedynie kilka dobrych metodologicznie prac wskazujących na zwiększenie ryzyka wystąpienia symptomów subiektywnych ze strony centralnego układu nerwowego (bóle głowy, zaburzenia snu, drażliwość itp.) u mieszkańców okolic stacji bazowych. Jednakże nawet uznanie tego związku za udowodniony wymaga dalszych intensywnych badań[4].

Dodatkowo stacje bazowe telefonii komórkowej nie stanowią najważniejszego czynnika

---

•' Dz. U. Nr 192, poz. 1883.

[4] M. Zmyślony, E. M Nowosielska (red.) Ochrona przed promieniowaniem jonizującym i niejonizującym Nowe uregulowania prawne, źródła, problemy pomiarowe. WAT, Warszawa, 2015, s. 259.

zagrożenia. Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) w opracowaniu pt. Jakie są czynniki ryzyka zdrowotnego związanego z telefonami komórkowymi i stacjami bazowymi?" konkluduje: *„Ponieważ ekspozycja na PEM emitowane przez telefony komórkowe jest ponad 1000 razy większa niż ekspozycja na PEM emitowane przez stacje bazowe, a* w *konsekwencji większe prawdopodobieństwo niekorzystnych efektów pochodzi od komórek, to badania naukowe koncentrują się prawie wyłącznie na możliwych skutkach wynikających z ekspozycji na PEM emitowane przez telefony komórkowe".*

Główny Inspektorat Sanitarny podjął stosowne działania dotyczące planowania, prowadzenia i dokumentowania pomiarów kontrolnych PEM realizowanych, zarówno na wniosek, jak i z własnej inicjatywy. Działania państwowych wojewódzkich inspektorów sanitarnych (dalej „PWIS") zostaną, w tym zakresie, skoordynowane i ujednolicone.

W grudniu 2018 r. w siedzibie GIS miało miejsce spotkanie kierowników nadzoru i laboratoriów higieny radiacyjnej w strukturach Państwowej Inspekcji Sanitarnej Jego celem było m.in. wypracowanie jednolitych metod postępowania w przypadku konieczności wykonywania pomiarów PEM w lokalach prywatnych. Na tym spotkaniu omówiono także problem jednolitego traktowania protokołów kontrolno-pomiarowych przesyłanych przez operatorów stacji bazowych telefonii komórkowej (dalej „SBTK") do PWIS. Stwierdzono, że ujednolicenia wymaga sam Rejestr protokołów pod kątem ujętych w nim pozycji (nazwa SBTK, lokalizacja, emitowane moce, itd.). Projekt takiego Rejestru powstaje w GIS. Po konsultacji z PWIS zostanie wdrożony do stosowania.

4) Strony 8-9, zarzut o braku koordynacji przez Główny Inspektorat Sanitarny kontroli dokonywanych z inicjatywy organu ukierunkowanych na miejsca najbardziej narażone na ponadnormatywne poziomy PEM.

Należy jeszcze raz wskazać, iż stosownie do artykułu 7 Konstytucji RP organy władzy publicznej działają na podstawie i w granicach prawa.

Minister Środowiska nie skorzystał z upoważnienia fakultatywnego zawartego w art. 122a ust 3 ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska do wydania rozporządzenia określającego wymagania dotyczące wyników pomiarów poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku. Wobec tego wszelkie próby Głównego Inspektora Sanitarnego zmierzające do ujednolicenia sposobów oceny wyników pomiarów mogących służyć wyznaczaniu na podstawie wiedzy fachowej miejsc najbardziej narażonych na ponadnormatywne poziomy PEM rodziłyby zarzut działania *contra legem* i przekroczenia uprawnień. Przykładowo zarzut taki został postawiony Głównemu Inspektorowi Sanitarnemu w Informacji o wynikach kontroli LBY.430.001.2018 Nr ewid. 153/2018/P/17/064/LBY *Finansowanie i realizacja „Programu inwestycji rozwojowych i modernizacyjnych w szpitalach wojewódzkich na lata 2009-2016"* w *województwie kujawsko-pomorskim.* W opisanym w ww. Informacji przypadku Główny

Inspektor Sanitarny, wobec braku przepisu wykonawczego o zasadach opiniowania podmiotów leczniczych, wydał własne zalecenia, które zostały ocenione przez NIK jako „nie mające umocowania w przepisach prawa".

Brak ww. rozporządzenia utrudnia wypracowanie jednolitego i jednoznacznego podejścia oraz interpretację sprawozdań z pomiarów przedkładanych przez przedsiębiorców telekomunikacyjnych.

Należy nadmienić, iż rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 12 listopada 2007 r. w sprawie zakresu i sposobu prowadzenia okresowych badań poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku odnosi się wyłącznie do badań prowadzonych przez wojewódzkich inspektorów ochrony środowiska.

5) Strona 11, dotyczy zarzutu, iż nie organizowano szkoleń z zakresu metodyki pomiarów PEM

Należy wskazać, iż pracownicy pionu higieny radiacyjnej Państwowej Inspekcji Sanitarnej podnoszą swoje kwalifikacje poprzez udział: w Jesiennych Szkołach PEM organizowanych przez Instytut Medycyny Pracy im. prof. Jerzego Nofera w Łodzi (dalej „IMP") i corocznych naradach pionu higieny radiacyjnej na które zapraszani są specjaliści od PEM z IMP.

6) Polityka Rady Ministrów w kontrolowanym przez NIK obszarze.

Rada Ministrów konsekwentnie od 2016 r. prowadzi szereg działań związanych z kwestiami dotyczącymi ochrony przed promieniowaniem elektromagnetycznym w środowisku. Podejmowane działania (podkreślić należy, iż wiodącym resortem w tej materii jest Ministerstwo Cyfryzacji) mają zarówno charakter legislacyjny, jak i pozalegislacyjny oraz wpisują się w szereg sformułowanych przez NIK w ww. Informacji wniosków. Wskazać tu przede wszystkim należy takie działania jak:

a) procedowany aktualnie projekt ustawy o zmianie ustawy o wspieraniu rozwoju usług i sieci telekomunikacyjnych oraz niektórych innych ustaw (wpisany do wykazu prac legislacyjnych pod nr UD 172 - aktualny etap prac legislacyjnych - po Komitecie Rady Ministrów ds. Cyfryzacji, projekt skierowany na Stały Komitet Rady Ministrów), który w zakresie kwestii związanych z ochroną przed promieniowanie elektromagnetycznym tworzy system informacyjny o instalacjach wytwarzających promieniowanie elektromagnetyczne, czyli publiczną bazę danych zawierającą informacje o polu elektromagnetycznym w środowisku, którą będzie prowadził minister właściwy do spraw informatyzacji.

Jak wskazano w uzasadnieniu do projektu ustawy: „Zgodnie z kierunkami rozwoju gospodarczego, w tym Strategii na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju (SOR), powszechny dostęp do nowoczesnych usług publicznych uwarunkowany jest

szczególnie rozwojem sieci komunikacyjnych. Ograniczony dostęp do zasobów widma radiowego powoduje konieczność zwiększania liczby urządzeń nadawczych dla uzyskania zadowalających parametrów transmisyjnych, a tym samym zagwarantowania jakości tych usług. Obywatele coraz częściej oczekują od Państwa zapewnienia, iż systemy łączności radiowej nie wpływają ujemnie na stan ich zdrowia i jakość życia. Jednym z istotnych elementów ochrony obywateli przed potencjalnymi zagrożeniami, jakie mogłyby mieć miejsce w sytuacji, gdyby wartości dopuszczalne poziomów pól elektromagnetycznych (PEM) występujących w środowisku nie byłyby dotrzymane, jest stworzenie i udostępnienie systemu bazującego na nowoczesnych narzędziach, zapewniającego skuteczną i sprawną kontrolę społeczną oraz monitoring źródeł promieniowania elektromagnetycznego. Zgodnie z zapisami Strategii na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju takim narzędziem, planowanym do wdrożenia do 2030 roku, jest „jednolity system informatyczny, umożliwiający publiczny dostęp do danych technicznych instalacji oraz sprawozdań z pomiarów poziomów pól elektromagnetycznych".

Jednocześnie brak jest ogólnodostępnego i otwartego systemu monitoringu i kontroli emisji PEM, pozwalającego na realną, rzetelną, a przede wszystkim, co najistotniejsze, kompleksową ocenę sumarycznych wartości PEM będących superpozycją pól wytwarzanych przez różne instalacje radiokomunikacyjne oraz ocenę całości możliwych do wystąpienia zjawisk związanych z występowaniem kumulacji pól elektromagnetycznych, mogących mieć potencjalny wpływ na środowisko naturalne oraz zdrowie człowieka.

Utworzona i prowadzona w ramach zbudowanego systemu baza danych przyczyni się do:

- zapewnienia jednoznaczności, kompletności i spójności danych odnoszących się do instalacji radiowych wytwarzających pole elektromagnetyczne z radiowego zakresu częstotliwości,
- skutecznego monitorowania i raportowania wyników badania pól elektromagnetycznych z zakresu radiowego, przy czym raportowane wyniki dotyczące różnych instalacji radiokomunikacyjnych pozwolą na określenie wartości skumulowanych PEM, które będą istotne nie tylko ze względu na swój charakter społeczny, ale także w związku z planowaniem i projektowaniem nowych sieci radiokomunikacyjnych przez prowadzących instalacje, dając informacje o dostępnym zapasie poziomu PEM w stosunku do określonej przepisem prawa wartości dopuszczalnej w środowisku - dzięki temu dotrzymanie właściwych poziomów PEM w środowisku będzie bardziej skuteczne,
- opracowania narzędzi teleinformatycznych oraz modeli obliczeniowych

umożliwiających przetwarzanie danych administracyjnych, agregację i przetwarzanie danych pomiarowych z różnych dostępnych źródeł oraz precyzyjną estymację ciągłych rozkładów PEM w oparciu o pomiary i analizy symulacyjne wypadkowych wartości PEM na bazie opracowanych modeli matematycznych i inżynierskich,

- ułatwienia dostępu do istotnych danych środowiskowych, jakimi są dane dotyczące poziomów PEM. dla obywateli, administracji, przedsiębiorców, naukowców, etc.,
- jednocześnie działania te przyczynią się do zwiększenia transparentności procesu podejmowania przez odpowiednie organy Państwa decyzji, mającej na celu wydawanie stosownych pozwoleń w tym obszarze, a także usprawnienia tego procesu w nadchodzącej erze technologii 5G.

W art. 29h w ust. 1 projektu ustawy o zmianie ustawy o wspieraniu rozwoju usług i sieci telekomunikacyjnych oraz niektórych innych ustaw dookreślono, do jakich informacji, prezentowanych za pomocą map cyfrowych i tabel, system zapewnia dostęp publiczny. Ustęp 2 wskazuje, że informacje gromadzi się w bazie danych prowadzonej w systemie teleinformatycznym zapewniającym gromadzenie, aktualizację i udostępnianie tych informacji w sposób jednolity dla obszaru całego kraju. W ust. 3 wskazane zostały funkcjonalności systemu. W ust. 4 wymienione zostały podmioty posiadające dostęp do funkcjonalności systemu umożliwiających wykonywanie przez te podmioty obowiązków ustawowych. W ust. 5 dookreślono, że udostępnianie informacji z systemu jest bezpłatne. Z kolei w art. 29i wskazane zostało, kto i w jakim terminie przekazuje informacje do systemu."

Przewidziany do wprowadzenia w projekcie ustawy system (dalej „SI2PEM") wprost wpisuje się w szereg wniosków wskazanych przez NIK w Informacji, przede wszystkim we wskazywane przez NIK utworzenie systemu informatycznego pozwalającego na gromadzenia i wizualizację publicznie dostępnych podstawowych danych na temat SBTK i wyników pomiarów PEM (wniosek nr 11 — adresat Prezes Rady Ministrów), jak i inne wnioski NIK związane z wypracowaniem skutecznego systemu kontroli dotrzymywania dopuszczalnego poziomu PEM w środowisku (wnioski adresowane do Prezesa Rady Ministrów nr 1 - badanie potencjalnego narażenia na ponadnormatywne poziomy PEM już na etapie poprzedzającym powstanie lub modernizację SBTK, na podstawie rozkładów przestrzennych PEM w otoczeniu instalacji radiokomunikacyjnych, wyznaczanych w drodze obliczeń na podstawie jednolitych zasad czy wniosek nr 5 - metody identyfikacji lokalizacji STBK, w otoczeniu których występują miejsca potencjalnie narażone na występowanie ponadnormatywnych poziomów PEM). Sam system SI2PEM realizowany jest - na mocy zawartego przez Ministerstwo Cyfryzacji porozumienia - przez Instytut Łączności - Państwowy Instytut Badawczy, co realizuje także wniosek NIK dotyczący zasadności wykorzystania w pracach nad systemem kontroli dotrzymywania

dopuszczalnego poziomu PEM w otoczeniu SBTK potencjału państwowych instytutów badawczych oraz ośrodków i towarzystw naukowych zajmujących się problematyką pomiarów PEM;

b) **przewiduje zmiany w ustawie Prawo ochrony środowiska -** m in. w zakresie obowiązku wykonywania pomiarów poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku bezpośrednio przed (w aktualnym stanie prawnym - po) rozpoczęciem użytkowania instalacji lub urządzenia (art. 122a ust. 1 ww. ustawy) oraz wprowadzenia obowiązku (art. 152 ust. 7a ww. ustawy) przekazywania przez organ ochrony środowiska informacji zawartych w zgłoszeniu instalacji zarówno państwowemu wojewódzkiemu inspektorowi sanitarnemu, jak i wojewódzkiemu inspektorowi ochrony środowiska (na kwestie braku posiadania przez organy inspekcji ochrony środowiska informacji zawartych w zgłoszeniu, w tym m.in. kwestię lokalizacji instalacji, NIK wskazywał w kilku fragmentach Informacji);

c) **wprowadza zmiany w delegacji do wydania rozporządzenia przewidzianego w art. 122 ustawy Prawo ochrony środowiska** - zgodnie z którymi, rozporządzenie określające dopuszczalne poziomy pól elektromagnetycznych w środowisku będzie wydane przez ministra właściwego do spraw zdrowia publicznego w porozumieniu z ministrem właściwym do spraw informatyzacji, z kolei rozporządzenie określające sposoby sprawdzania dotrzymania tych poziomów będzie wydane przez ministra właściwego do spraw środowiska, w porozumieniu z ministrem właściwym do spraw informatyzacji oraz ministrem właściwym do spraw energii. W zakresie drugiego z tych rozporządzeń (dotyczącego sposobu sprawdzania dotrzymania tych poziomów) jako preferowana metoda pomiaru - nie przesądzając oczywiście w tym miejscu tej kwestii ostatecznie - proponowana będzie metoda selektywna, co wpisuje się w zawarte w Informacji NIK adresowane do Prezesa Rady Ministrów wnioski nr 8 (kryteria obligujące do przeprowadzenia pomiarów PEM w otoczeniu SBTK metodą selektywną, uzależnioną w szczególności od występowania kilku wielosystemowych SBTK w danej lokalizacji, mocy emisyjnej zainstalowanych anten oraz gęstości zabudowy) oraz wniosku nr 9 (metodyka pomiarów, adekwatna do stanu rozwoju technik nadawczych w telefonii komórkowej (...));

d) **przewiduje (w OSR do projektu ustawy) środki w wysokości 5,26 min zł (w okresie 10 lat) na zakup mierników dla wszystkich wojewódzkich inspektorów ochrony środowiska - jak wskazano w OSR** *„W związku z wprowadzeniem zmian dotyczących kwestii związanych z oddziaływaniem pola elektromagnetycznego oraz możliwością nakładania kar na prowadzących instalacje lub użytkowników urządzeń emitujących pole elektromagnetyczne w przypadku stwierdzenia w wyniku kontroli przekroczenia dopuszczalnych poziomów tych pól* w *środowisku konieczne jest wyposażenie wojewódzkich inspektorów ochrony środowiska w niezbędną aparaturę pomiarową. W celu identyfikacji podmiotu, który powoduje przekroczenie dopuszczalnych poziomów pól*

elektromagnetycznych w środowisku konieczne jest przeprowadzenie pomiarów selektywnych częstotliwościowe. IV *związku z nowym ustawowym obowiązkiem (rozwiązaniem) konieczny jest zakup mierników dla wszystkich wojewódzkich inspektorów ochrony środowiska. Szacunki zakupu aparatury oparto na informacjach pochodzących z Instytutu Łączności - Państwowego Instytutu Badawczego, który zakupił mierniki na potrzeby prowadzenia kampanii pomiarowych PEM. Koszt zakupu jednego zestawu aparatury pomiarowej wynosi ok. 51.000 EUR netto (miernik z anteną do 3 GHz - 20.000 EUR, antena do 6 GHz - 10.000 EUR, dekoder UMTS - 7.000 EUR, dekoder LTE FDD - 7.000 EUR, dekoder LTE TDD - 7.000 EUR). Dla oszacowania przyjęto kurs na poziomie 4,30 PLN za 1 EUR. Dodatkowo co dwa lata aparatura pomiarowa musi przejść wzorcowanie, którego koszt wynosi 12.000 PLN za zestaw z dwoma antenami".* Powyższe wpisuje się w wykonanie wniosku NIK nr 3 (wykonywanie pomiarów kontrolnych PEM za pomocą urządzeń adekwatnych do stanu rozwoju technik nadawczych w telefonii komórkowej).

7) Inicjatywy związane z pomiarem PEM wytwarzanego przez stacje bazowe telefonii komórkowej - kampanie pomiarowe PEM.

W 2017 r. Instytut Łączności przeprowadził na zlecenie Ministerstwa Cyfryzacji badania poziomu natężenia PEM w otoczeniu stacji bazowych telefonii komórkowych. Badania te były prowadzone w 64 lokalizacjach na terenie całego kraju, obejmujących przede wszystkim miasta wojewódzkie. Było to już drugie badanie poziomu PEM ze stacji bazowych telefonii komórkowych zlecone przez Ministerstwo Cyfryzacji. Pierwsze, z 2016 r., obejmowało pilotażowe pomiary w Rzeszowie i Krakowie. Omawiane badanie jest pierwszym tego typu prowadzonym w Polsce - zarówno biorąc pod uwagę skalę (badanie ogólnopolskie), jak i sposób jego prowadzenia. W badaniu wykorzystywano urządzenia pomiarowe pozwalające na tzw. pomiar selektywny (symuluje teoretyczną sytuację, w której mierzona stacja oraz wszystkie inne stacje w okolicy pracują pod 100% obciążeniem), jak i na tradycyjny pomiar szerokopasmowy. W ramach obecnego badania przeanalizowano 3090 kompletów dokumentacji zgłoszeń instalacji, wybierając wstępnie 286 z nich. To pozwoliło na wytypowanie konkretnych lokalizacji do badań Warto dodać, iż Instytut Łączności razem z Ministerstwem Cyfryzacji przed rozpoczęciem kampanii pomiarowej typuje lokalizacje szczególnie wrażliwe - czyli takie, w których z dokumentacji wynika, że jest przynajmniej połowa wartości dopuszczalnej, a więc 3,5 V/m. Właściwe pomiary przeprowadzono w 2010 punktach pomiarowych. W trakcie pomiaru szerokopasmowego jedynie w jednym punkcie (z 2010) odnotowano przekroczenie dopuszczalnej wartości pola. Przekroczenie to wyniosło 10%. Inaczej przedstawiają się wyniki tzw. pomiaru selektywnego. W tym przypadku oszacowano, że do przekroczenia wartości granicznej może dojść w 23 punktach pomiarowych bez tzw. rozszerzonej

niepewności pomiaru i w 94 punktach pomiarowych, z uwzględnieniem rozszerzonej niepewności pomiaru. W najbliższym czasie planowana jest natomiast publikacja wyników badań przeprowadzonych przez Instytut Łączności na zlecenie Ministerstwa Cyfryzacji w 2018 r.

8) Prowadzone z inicjatywy Ministerstwa Cyfryzacji szkolenia.

Obecnie trwa kolejna edycja projektu Akademii Inwestycji Szerokopasmowych (szkolenia skierowane m.in. dla jednostek samorządu terytorialnego obejmujące także całodniowe szkolenie Budowa sieci szerokopasmowych mobilnych ze szczególnym uwzględnieniem kwestii środowiskowych).

Ponadto, są planowane w ramach realizowanego z Instytutem Łączności projektu dotyczącego budowy SI2PEM, szkolenia przeznaczone dla pracowników podmiotów wykonujących zadania publiczne, który nie są pracownikami IT, objętych wsparciem szkoleniowym podnoszącym umiejętności z zakresu promieniowania elektromagnetycznego, źródeł promieniowania i jego wpływu na środowisko naturalne oraz zdrowie.

Powyższe może się wpisywać pomocniczo w szereg wniosków NIK związanych z kwestiami edukacyjno-szkoleniowymi - takich jak choćby doskonalenie zawodowe pracowników organu kontrolnego wykonujących pomiary PEM w otoczeniu SBTK oraz weryfikujących wyniki pomiarów realizowanych na zlecenie przedsiębiorców telekomunikacyjnych (wniosek nr 4 adresowany do Prezesa Rady Ministrów).

Z wyrazami szacunku

z upoważnienia Ministra Zdrowia

Janusz Cieszyński

Podsekretarz Stanu

/dokument podpisany elektronicznie/

Potwierdzam zgodność kopii *i* dokumentem elektronicznym:

Identyfikator dokumentu	1644763.4035811.3339045
Nazwa dokumentu	NKA.093.1.2019.3.KCZ stanowisko MZ do Informacji NIK.pdf
Tytuł dokumentu	NKA.093.1.2019.3.KCZ stanowisko MZ do Informacji NIK
Sygnatura dokumentu	NKA.093.1.2019
Data dokumentu	2019-04-12 15:32:13
Skrót dokumentu	542EB8053C5ADA762DE49E992C5E05BB062B5A87
Wersja dokumentu	1.10
Data podpisu	2019-04-12 15:32:10
Podpisane przez	Janusz Antoni Cieszyński Podsekretarz Stanu
	EZO 3.81.26.26 14538
Data wydruku:	2019-04-12 16:38:45
Autor wydruku.	Czajkowski Krzysztof Główny specjalista

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

Przegląd danych literaturowych

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

Promieniowanie elektromagnetyczne

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

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

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

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

Możliwość wnikania PEM w skórę i ciało zależy od przenikalności i przewodności tkanek, oraz od długości fali, która jest odwrotnie proporcjonalna do częstotliwości (im wyższa częstotliwość, tym krótsza fala), im niższa częstotliwość tym głębokość wnikania pola elektromagnetycznego w tkanki jest wyższa. W związku z tym urządzenia działające na

częstotliwościach w zakresie 900MHz będą bardziej napromicniowywać ciało niż urządzenia działające na częstotliwościach w zakresie 1800MHz (około 25% ciała u ludzi przy 900MHz w porównaniu z 20% penetracją przy 1800 MHz). Wnikanie pola w tkanki różni się od siebie (Houston *i in.,* 2016) w związku z tym penetracja do mózgu, czy jąder może być silniejsza niż do innych tkanek. Szczególnie jądra nic są chronione przez inne tkanki, bardziej odporne na wnikanie pola.

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

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

Promieniowanie jonizujące i niejonizujące

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

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

Efekty termiczne i nieteriniczne oddziaływania pola elektromagnetycznego.

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

W pracy (Lindholm *i in.,* 2011) autorzy przeprowadzili badanie zmian temperatury 26 chłopców w wieku 15-161at w kanale słuchowym oraz na skórze w kilku miejscach na głowic, tułowiu i kończynach. Czas trwania ekspozycji telefonem GSM 900 wynosił 15 minut dla każdej próby, a testy przeprowadzono w komorze klimatycznej w kontrolowanych warunkach neutralnych termicznie. Badania wykazały, że w populacji chłopców w wieku dojrzewania temperatura w kanale słuchowym i temperatura powierzchniowa głowy nie wzrosły podczas 15-minutowcj ekspozycji wytwarzanej przez telefon komórkowy GSM.

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

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

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

Opinie naukowców odnośnie oddziaływania promieniowania elektromagnetycznego pochodzącego od telefonów komórkowych i routerów Wi-Fi są mocno podzielone np. artykuł (Ogunbanjo, 2017) oraz odpowiedź na niego (Mortazavi i Mortazavi, 2018). Prof. Ogunbanjo w swoim krótkim artykule podaje argumenty, że oddziaływanie elektromagnetyczne telefonów komórkowych na organizm człowieka nie powoduje nadmiernego grzania się tkanek w organizmie, ze względu na silne tłumienie pola w zewnętrznych tkankach (np. skórze). Twierdzi także, żc na podstawie dotychczas przeprowadzonych badań na zwierzętach nie da się powiązać występującego nagrzewania się tkanek pod wpływem pola elektromagnetycznego a zwiększoną zachorowalnością na raka. Za główne zagrożenie wynikające z użytkowania telefonów komórkowych uważa rozproszenie uwagi wynikające ze skupienia na telefonie, zamiast na innych zadaniach (np. w trakcie prowadzenia auta). Autorzy (Mortazavi i Mortazavi, 2018) w odpowiedzi na wspomniany artykuł (Ogunbanjo, 2017) zwracają uwagę na najnowsze wyniki programu US National Toxicology Program (NTP), które wykazało statystycznie istotny wzrost raka u gryzoni, które były narażone na sygnały GSM lub CDMA przez dwa lata. Częstotliwość zachorowania na raka zwiększała się również na skutek zwiększenia intensywności promieniowania (Wyde *i in.,* 2016).

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

które używane są m.in. przez nadajniki telewizyjne. Częstotliwość telefonii komórkowej jest więc znacząco bliższa częstotliwości rezonansowej dziecka niż osoby dorosłej.

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

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

Przeprowadzone badania dotyczące poziomów narażenia ludności na środowiskowe źródła energii o częstotliwości radiowej pokazują, że największym składnikiem ekspozycji, na jaką narażony jest człowiek pochodzi bezpośrednio z jego telefonu komórkowego. Poniżej tego poziomu znajdują się sygnały z telefonów komórkowych obsługiwanych w pobliżu osoby. Średnio jeszcze niższe są sygnały z wielu innych źródeł w otoczeniu: wieże komórkowe, nadajniki transmisji i komunikacji poza domem oraz kuchenki mikrofalowe, bezprzewodowe nianie, telefony bezprzewodowe, Wi-Fi i inne urządzenia emitujące fale radiowe. Skumulowane narażenie ze wszystkich źródeł w zwykłym środowisku jest niezmiennie ułamkiem ustalonych limitów bezpieczeństwa. Limity te zostały opracowane w celu zapewnienia odpowiedniej ochrony przed wszystkimi stwierdzonymi zagrożeniami związanymi z energią częstotliwości radiowej i mikrofalowej przez cały czas ekspozycji.

W pracy (Birks *i in.,* 2018) poddano analizie narażenie na działanie PEM o częstotliwościach radiowych i mikrofalowych w środowisku u 529 dzieci w wieku 8- 18 lat w kilku krajach Europejskich. Do pomiarów gęstości strumienia mocy w pW/m2 wykorzystano osobiste przenośne mierniki ekspozycji. Pomiar trwał 3 dni w okresie między 2014 a 2016r., w grupie 28 dzieci badania zostały powtórzone rok później. Mierniki rejestrowały pole elektromagnetyczne w 16 pasmach częstotliwości co 4s jednocześnie rejestrując GPS. W celu zebrania informacji o lokalizacji dzieci, użyciu urządzeń przenośnych i obecności wewnętrznych źródeł PEM wykorzystano dzienniki aktywności oraz kwestionariusze. Zdefiniowano sześć ogólnych pasm częstotliwości: całkowite, cyfrowa ulepszona telekomunikacja bezprzewodowa (DECT), anteny telewizyjne i radiowe (transmisja), telefony komórkowe (łącze w górę), stacje bazowe telefonii komórkowej (łącze w dół) i łączność bezprzewodową (Wi-Fi). Mediana całkowitej osobistej ekspozycji na PEM wyniosła 75,5 pW/m2. Największy udział w całkowitej ekspozycji miało łącze w dół (sygnał z telefonu komórkowego), a następnie emisja radiowa i telewizyjna (9,9 pW/m2). Ekspozycja z łącza zwrotnego była niższa (4,7 pW/m2) była znacznie niższa. Pasma Wi-Fi i DECT miały niewielki udział w- całkowitej ekspozycji. Oszacowano związki między nawykami korzystania z. urządzeń przenośnych i wewnętrznych źródeł PEM o częstotliwościach radiowych i mikrofalowych z osobistą ekspozycją na PEM. Ekspozycja na PEM była wyższa w ciągu dnia

(94,2 pW/m2) niż w nocy (23,0 pW/m2) i nieco wyższa w weekendy niż w dni powszednie, chociaż różniła się w zależności od regionu. Mediana ekspozycji była najwyższa, gdy dzieci były na zewnątrz (157,0 uW/m2) lub w podróży (171,3 pW/m2), i znacznie niższa w domu (33,0 pW/m2) lub w' szkole (35,1 pW/m2). Dzieci mieszkające w środowisku miejskim miały wyższy poziom narażenia niż dzieci w środowisku wiejskim. Starsze dzieci i użytkownicy telefonów komórkowych mieli wyższy udział pasma łącza w górę, ale nic całkowite narażenie, w porównaniu do młodszych dzieci i tych, które nie korzystały z telefonów- komórkowych. Pow-tarzalność z dnia na dzień była umiarkowana do wysokiej dla większości ogólnych pasm częstotliwości, oraz dla sumarycznej ekspozycji, emisji i łącza w dół analizując powtarzalność z roku na rok dla podpróbki grupy badanej. Największy udział w- całkowitej osobistej ekspozycji PEM na środowisko miały łącza wykazujące wysoką powtarzalność. Najważniejszym wyznacznikiem była urbanistyka, natomiast całkowita ekspozycja i użycie telefonu komórkow-ego były najważniejszym składnikiem ekspozycji. Ważne jest, aby kontynuować badanie narażenia na PEM u dzieci gdyż nawyki korzystania z urządzenia, poziomy narażenia i główny wkład źródła mogą ulec zmianie.

Telefony komórkowe

Prace przeglądowe

W literaturze poza artykułami dotyczącymi wyników konkretnych badań wpływu PEM na organizmy, można znaleźć prace przeglądowe (Pall, 2018).(Politański, Bortkiewicz i Zmyślony, 2016), (IARC, 201 I). Autorzy tych artykułów podkreślają, że wyniki przeprowadzonych przez różnych badaczy badań różnią się często znacznie, od wskazania istotnych oddziaływań pól elektromagnetycznych na zdrowie człowieka, do wykazania, że wpływ pola o podobnych parametrach jest całkowicie nieznaczący dla człowieka. Jednocześnie autorzy prac przeglądowych zazwyczaj podkreślają, że prowadzone badania różnią się od siebie i są trudne do porównania pod względem metodologicznym.

Telefony komórkowe a układ nerwowy

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

niewielkiego, lub żadnego wpływu na sen uzyskano w kilku innych prowadzonych badaniach (Loughran *i in.,* 2012), (Schmid, Loughran, *i in.,* 2012), (Lowden *i in.,* 2019). Jednak we wcześniejszych badaniach ostatniego z wymienionych zespołów (Lowden *i in.,* 2011) zauważono pewne zmiany w pierwszej fazie snu.

W wymienionych powyżej pracach badano również wpływ PEM na parametry zapisu EEG prowadzonego podczas snu osób badanych. W pracy (Loughran *i in.,* 2012) zauważono, że występują różnice osobnicze w efektach PEM na zapis EEG. W praktyce można na tej podstawie postawić hipotezę, że poprzednie negatywne wyniki oddziaływania na człowieka nie są wystarczającym dowodem na brak takiego oddziaływania na całość populacji. Wyniki badań dotyczących zwiększenia widma EEG w różnych zakresach częstotliwości nie są jednak spójne. Część autorów (Loughran *i in.,* 2012), (Schmid, Murbach, *i in.,* 2012), (Schmid, Murbach, *i in.,* 2012), (Lowden *i in.,* 2011) stwierdziło zwiększenie mocy widma EEG, natomiast w pracy (Nakatani-Enomoto *i in.,* 2013) nic stwierdzono żadnego wpływu ekspozycji na PEM telefonu przed zaśnięciem na zapis EEG podczas snu. Należy jednak pamiętać, że badania różnią się parametrami sygnału i czasem ekspozycji. Jeśli przyjmiemy tezę o osobniczych różnicach wrażliwości na PEM to porównanie otrzymanych wyników staje się jeszcze trudniejsze.

Analizując wpływ pola elektromagnetycznego badano również moc widma spoczynkowego. Dotychczas nic stwierdzono wpływu PEM telefonów UMTS na zapis spoczynkowy EEG. Pole elektromagnetyczne pochodzące z systemu GSM, jak pokazują badania, ma wpływ na moc widma spoczynkowego, szczególnie w paśmie częstotliwości « (podstawowy rytm dla 85% populacji). Badania wykazały też różnice w zależności od grupy wiekowej (Croft *i in.,* 2010), (Vecchio *i in.,* 2010) (Loughran *i in.,* 2013). Wyniki badań wskazują podwyższoną wrażliwość osób starszych na PEM z zakresu częstotliwości GSM. W badaniach (Croft *i in.,* 2010), (Loughran *i in.,* 2013) badano wpływ na młodzież (odpowiednio 13-15 lat oraz ll-131at) i nie wykryto wpływu na zapis EEG w fazie spoczynkowej.

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

funkcjonowanie na poziomic mózgu i zachowania.

Telefony komórkowe a nowotwory

Z punktu widzenia rakotwórczości duże znaczenie mają wyniki pracy zespołu IARC (Baan *i in.,* 201 I). W 201 1 roku grupa dokonała przeglądu ponad 40 badań, w tym siedem dwuletnich, oceniających rakotwórczość PEM o częstotliwościach radiowych i mikrofalowych u gryzoni. W badaniach uwzględniono ekspozycje na częstotliwości z zakresów używanych przez telefony komórkowe i Wi-li. W żadnym z długoterminowych testów biologicznych nie wykazano zwiększonego występowania jakiegokolwiek rodzaju nowotworu w tkankach lub narządach zwierząt narażonych na PEM przez 2 lata.

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

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

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

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

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

W wyniku międzynarodowego projektu (Sadctzki z *in.,* 2014), w którym udział brali uczestnicy w wieku 7-191at z 14 krajów stwierdzono, że nie ma istotnej statystycznie zależności między rakiem mózgu a używaniem telefonu w sposób regularny o normalnej intensywności (jedna rozmowa tygodniowo przez minimum 6 miesięcy) (Aydin *i in.,* 2011). Statystyczna zależność rośnie jednak wraz z czasem, który upłynął od pierwszego użycia telefonu. Nie zaobserwowano zwiększonego ryzyka guzów mózgu w obszarach mózgu, które otrzymały najwyższą ekspozycję. Brak związku między ekspozycją a reakcją, zarówno pod względem ilości korzystania z telefonu komórkowego, jak i lokalizacji guza mózgu, przemawia przeciwko zależności raka mózgu u dzieci z korzystaniem z telefonu komórkowego w standardowy sposób. W pracy nie zbadano efektów długoterminowych korzystania z

telefonów komórkowych, najdłuższy czas używania telefonu u dzieci wynosił 5 lat.

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

Telefon komórkowy - płodność

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

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

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

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

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

Analizując wyniki tych badań należy pamiętać, że nie jest możliwe wyizolowanie czynników środowiskowych, mogących mieć wpływ na wynik tych badań. Fale o tej samej częstotliwości mogły być emitowane do środowiska przez inne urządzenia znajdujące się w pobliżu. Można przypuszczać, że osoby intensywnie korzystające z telefonów komórkowych częściej wykonują pracę siedzącą, co sprzyja podwyższeniu temperatury w okolicy moszny i

niepłodności. Osoby rozmawiające przez telefon w większym stopniu mogą być narażone na stres, który wpływając na poziom hormonów może przyczynić się do problemów z nasieniem.

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

Badania dotyczące wpływu sieci bezprzewodowych Wi-Fi

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

W niektórych szkołach na terenie Stanów Zjednoczonych korzystanie z cyfrowych form uczenia oraz łączności bezprzewodowej stało się silnie zakorzenione, niektórzy nauczyciele uważają nawet, że szybki dostęp do Internetu jest warunkiem skutecznego nauczania (Foster, 2019). Również w polskich podręcznikach pojawiają się zadania domowe wymagające użycia Internetu. Jednocześnie znaczna liczba osób ma obawy dotyczące zdrowia związane z częstotliwościami mikrofalowymi, emitowanymi przez urządzenia Wi-Fi, nawet, jeśli poziomy narażenia są znacznie poniżej limitów bezpieczeństwa określonych przez rząd. W skrajnych przypadkach ekspozycje na częstotliwości ze źródeł o niskich mocach takich jak Wi-Fi obwiniane są za szereg szkodliwych skutków zdrowotnych takich jak bóle głowy, utrata słuchu, nowotwory, choroba Alzheimera. Wśród zwolenników tych teorii można także znaleźć naukowców i lekarzy.

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

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

sprzęcie medycznym, grzejnikach przemysłowych i wielu innych urządzeniach.

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

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

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

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

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

Na przykład we Francji Agencja ds. Żywności, Środowiska i Bezpieczeństwa i Higieny Pracy (ANSES - Agencc nationalc dc securite sanitaire dc 1’aliinentation, dc l’environnement et du travail) szczegółowo przeanalizowała kwestię narażenia na promieniowanie radiowe i mikrofalowe. Szesnastu niezależnych ekspertów pracowało przez trzy lata, organizując wiele spotkań i konsultacji publicznych. W raporcie końcowym wydanym w 2013 r. *(ANSES,* 2013). Stwierdzono, że „brak dostępnych danych umożliwia zaproponowanie nowych dopuszczalnych wartości narażenia dla populacji ogólnej”, ale postawiono szereg pytań wymagających dalszych badań.

W 2016 r. ta sama francuska agencja wydała opinię na temat narażenia na promieniowanie częstotliwości radiowych i mikrofalowych na dzieci w wieku sześciu lat i

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

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

Bez wątpienia najczęściej cytowanym dokumentem potwierdzającym to stanowisko jest BioInitiative Report („Bioinitiative", 2012), prawne 1500 stronicowy przegląd badań nad biologicznymi skutkami pól elektromagnetycznych w szerokim zakresie ekspozycji, opracowany przez grupę samowybranych autorów. W przeciwieństwie do agencji zdrowia (WHO, ANSES, 1ARC). które poddają badania krytycznym recenzjom, redaktorzy raportu nie podejmowali żadnych prób oceny jakości metodologicznej omawianych badań ani oceny spójności wyników różnych badań. W raporcie uwaga zwrócona jest w znacznie większym stopniu na badania zgłaszające skutki biologiczne niż na te. w których nic stwierdzono żadnych skutków.

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

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

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

Drugim problemem zdrowotnym podniesionym przez osoby przeciwne narażeniu na promieniowanie o częstotliwościach radiowych i mikrofalowych jest „nadwrażliwość elektromagnetyczna", zespól charakteryzujący się niespecyficznymi objawami, takimi jak ból głowy, problemy ze snem i lęk, które wiele osób przypisuje niskim częstotliwościom pola radiowego. Nie ma wątpliwości, że wiele z osób zgłaszających nadwrażliwość na promieniowanie o częstotliwościach radiowych i mikrofalowych ma poważne problemy

zdrowotne; ich objawy są prawdziwe. Jednak wiele dobrze kontrolowanych badań nie powiązało jakiegokolwiek rodzaju ekspozycji na pole elektromagnetyczne z tymi objawami. W kontrolowanych testach osoby „wrażliwe" elektromagnetycznie zazwyczaj zgłaszają objawy, gdy myślą, że są narażone na energię pola elektromagnetycznego, niekoniecznie, gdy są wyraźnie widoczne.

Nadwrażliwość na pole elektromagnetyczne

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

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

Przeprowadzone badania wskazują jednak jednocześnie, że indywidualne cechy osobnicze (Lcung *i in.,* 201 I) oraz wiek (Croft *i in.,* 2010) mogą mieć wpływ na reakcję organizmu na działanie PEM.

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

Podsumowanie

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

Bibliografia

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

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

Atasoy. II. 1. *i in.* (2013) „Immunohistopathologic demonstration of dcletcrious effects on growing rat testes of radiofrequency waves cmittcd from conventional Wi- Fi devices", *Journal of Pediatrie Urology,* 9(2), ss. 223-229. doi: 10.1016/j.jpurol.2012.02.015.

Aydin, D. *i in.* (2011) „Mobile Phone Use and Brain Tumors in Children and Adolcsccnts: A Multiccntcr Case-Control Study", *JNCI Journal of the National Cancer In.stitute,* 103(16), ss. 1264-1276. doi: IO.IO93/jnci/djr244.

Baan, R. *i in.* (2011) „Carcinogenicity of radiofrequency electromagnetic fields.", *The lancet oncology,* ss. 624 626. doi: 10.1016/s 1470-2045(11)70147-4.

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

„Bioinitiative" (2012). Dostępne na: https://bioinitiativc.org/.

Birks, L. E. *i in.* (2018) „Spatial and temporal variability of personal environmenta! exposure to radio frcqucncy electromagnetic fields in children in Europo", *Environment International.* Elsevicr Ltd, 117, ss. 204-214. doi: 10.1016/j.cnvint.2018.04.026.

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

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

Chen, Z. N. (red.) (2007) *Antennas for Portahle Derices.* Chichester, UK: John Wilcy & Sons, Ltd. doi: 10.1002/9780470319642.

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

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

Danker-Hopfe, II. *i in.* (2011) „Effects of electromagnetic fields cmittcd by mobile phones (GSM 900 and WCDMA/UMTS) on the macrostructure of slccp", *Journal of Sleep Research,* 20(1 PART 1), ss. 73-81. doi: 10.111 I/j.I365-2869.2010.00850.x.

Dcsai, N. R., Kcsari, K. K. i Agarwal, A. (2009) „Pathophysiology of celi phone radiation: Oxidative stress and carcinogcncsis with focus on małe rcproductivc system", *Reproductive Biology and Endocrinology,* s. 1 14. doi: 10.1186/1477-7827-7- 114.

Eeftcns, M. *i in.* (2018) „Personal cxposurc to radio-frcqucncy electromagnetic fields in Europę: Is there a generation gap?", *Enrironment International,* 121, ss. 216- 226. doi: 10.1016/j.envint.2018.09.002.

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

Erogul, O. *i in.* (2006) „Effects of Electromagnetic Radiation from a Ccllular Phone on Humań Sperm Motility: An In Vilro Siudy", *Archives of Medical Research,* 37(7), ss. 840 843. doi: 10.1016/j.arcmed.2006.05.003.

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

Fejes, 1. *i in.* (2005) „Is therc a relationship between celi phone use and semen qualily?", *Archives of Andrology,* 51(5), ss. 385-393. doi: 10.1080/014850190924520.

Femandez, C. *i in.* (2018) „Absorption of wircless radiation in the child versus adult brain and eye from celi phone conversation or virtual reality", *Environmentał Research,* 167, ss. 694-699. doi: 10.1016/j.envres.2018.05.013.

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

Gandhi, O. P. *i in.* (2012) „Exposurc Limits: The underestimation of absorbed celi phone radiation, cspccially in children", *Electromagnetic Biology and Medicine,* 31(1), ss. 34-51. doi: 10.3109/15368378.2011.622827.

Gorpinchcnko, I. *i in.* (2014) „The influence of direct mobile phone radiation on sperm quality", *Central European Journal ofUrology.* Polish Urological Association, 67(1), ss. 65 71. doi: 10.5173/ccju.2014.01.art 14.

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

Hardell, L. i Carlbcrg, M. (2015) „Mobile phone and cordless phone use and the risk for glioina - Analysis of poolcd case-control studies in Sweden, 1997-2003 and 2007-2009", *Pathophysiology,* 22(1), ss. 1 13. doi: I0.1016/j.pathophys.20l4.10.00l.

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

Hareuveny, R. *i in.* (201 I) „Cognitive effects of ccllular phones: A possiblc role of non-radiofrequency radiation factors", *Bioelectromagnetics,* 32(7), ss. 585-588. doi: IO.lOO2/bem.2O671.

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

Hruby, R. *i in.* (2008) „Study on potential effects of "902-MHz GSM-type Wirelcss Comrnunication Signals" on DMBA-induced mammary tumours in Sprague- Dawlcy rats", *Mulat Res,* 649. ss. 34-44.

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

Dc luliis, G. N. *i in.* (2009) „Mobile phone radiation induccs reactive oxygen specics production and DNA damage in human spermatozoa in vitro", *PLoS ONE,* 4(7). doi: 10.1371/journal.pone.0006446.

lyare. R. N„ Volskiy, V. i Yandenbosch, G. A. E. (2019) „Siudy of the correlation between

outdoor and indoor electroniagnetic exposure ncar cellular base stations in Leuvcn, Bclgium", *Environmental Research.* Academic Press Inc., 168. ss. 428 -438. doi: 10.1016/j.envres.2018.08.025.

Leung, S. *i in.* (2011) „Effects of 2G and 3G mobile phones on performance and elcctrophysiology in adolcsccnts, young adults and oldcr adults", *Clinical Neurophysiology,* 122(11), ss. 2203-2216. doi: 10.l016/j.clinph.2011.04.006.

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

Loughran, S. P. *i in.* (2012) „lndividual diffcrcnces in thc cffccts of mobile phone exposure on hurnan sleep: Rethinking the problem", *Bioelectromagnetics,* 33(1), ss. 86-93. doi: 10.1002/bem.20691.

Loughran, S. P. *i in.* (2013) „No inereased sensitivity in brain activity of adolcsccnts cxposcd to mobile phonc-likc cmissions", *Clinical Neurophysiology,* 124(7), ss. 1303-1308. doi: 10.1016/j.clinph.2013.01.010.

Lowden, A. *i in.* (2011) „Sleep after mobile phone exposurc in subjccts with mobile phone-rclatcd symptoms", *Bioelectromagnetics,* 32(1). ss. 4-14. doi: 10.1002/bem.20609.

Lowden, A. *i in.* (2019) „Effects of evening cxposure to electroniagnetic fields emitted by 3G mobile phones on health and night sleep EEG architecture", *Journal of Sleep Research,* 28(4), s. e12813. doi: 10.111 l/jsr. 12813.

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

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

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

Mortazavi, S. M. J. i Mortazavi, S. A. R. (2018) „Comment on 'Celi phone usc and ill health: is thcrc a definite relationship?'", *South African Family Practice.* Taylor & Francis, 60(6), ss. 212-213. doi: 10.1080/20786190.2018.1432140.

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

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

Ogunbanjo, G. (2017) „Celi phone usc and ill health: Is thcrc a definite relationship?", *Official Journal of the South African Academy of Family Practice/Primary Care,* 59(September 2010), s. 3.

Ózorak, A. *i in.* (2013) „Wi-Fi (2.45 GHz)- and mobile phone (900 and 1800 MHz)-lnduced risks on oxidative stress and elements in kidney and testis of rats during prcgnancy and thc development of offspring", *Biological Tracę Element Research.* Humana Press Inc., 156(1-3), ss. 221-229. doi: 10.1007/s12011-013-9836- *7.*

Pall, M. L. (2016) „Microwave frcquency electroniagnetic fields (EMFs) produce widespread neuropsychiatric effects incliiding depression", *Journal of Chemical Neuroanatomy.* Elsevier B.V., ss. 43 51. doi: IOJ016/j.jchemneu.2O15.08.001.

Pall, M. L. (2018) „Wi-Fi is an important threat to human hcallh", *Environmental Research.* Academic Press Inc., 164, ss. 405 416. doi: 10.1016/j.envres.2018.01.035.

Pole elektromagnetyczne a człowiek (2019) *Instytut Łączności Państwowy Instytut*

Badawczy. Dostępne na: https://www.gov.pl/web/5g/biala-ksiegal.

Politański, P., Bortkiewicz, A. i Zmyślony, M. (2016) „Effects of radio- and microwavcs cmittcd by wircless communication devices on the functions of the nervous system selccted elemcnts", *Medycyna Pracy,* 67(3), ss. 411-421. doi: 10.13075/mp.5893.00343.

Przytulski, A. (2010) „Efekty termiczne w ciele człowieka wywołane szybkozmiennym polem elektromagnetycznym". *Pomiary Automatyka Robotyka,* 14(12).

Repacholi, M. *i in.* (1997) „Lymphomas in E mu-Piml transgenic mice exposed to pulsed 900 MHZ electromagnetic fields", *Radiat Res,* 147, ss. 631-640.

rezerwacje częstotliwości (brak daty) -. Dostępne na: https://ukc.gov.pl/ (Udostępniono: 24 listopad 2019).

Rowe, P. .1. i World Health Organization. (2000) *WHO manuał for the standardized inves(igation, diagnosis, and management of the infertile małe.* Published on behalf of the World Health Organization by Cambridge University Press.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów (2003).

Sadetzki, S. *i in.* (2014) „The MOBl-Kids study protocol: Challenges in assessing childhood and adolescent exposure to electromagnetic fields from wircless telecommunication technologies and possiblc association with brain tumor risk". *Front iers in Public Health.* Frontiers Media S. A, 2(SEP). doi: 10.3389/fpubh.2014.00124.

Schmid, M. R.» Loughran, S. P., *i in.* (2012) „Slccp EEG alterations: Effects of different pulsc-modulated radio frequency electromagnetic fields", *Journal of Sleep Research.* 21(1), ss. 50-58. doi: 10.1111/j. 1365-2869.2011.00918.x.

Schmid. M. R., Murbach, M., *i in.* (2012) „Slccp EEG alterations: Effects of pulsed magnetic fields versus pulse-modulated radio frequency electromagnetic fields". *Journal of Sleep Research,* 21(6), ss. 620-629. doi: 10.111 l/j.1365- 2869.2012.01025.x.

Schooneveld, II. i Kuiper, J. (2007) *Electrohypersensitivity (EHS) in the Netherlands a ąuestionnaire survey.*

Sobiczcwska, E. i Szmigielski, S. (2009) „Nadwrażliwość na pola elektromagnetyczne", *Medycyna Pracy,* 60(3), ss. 235 241.

Szmigielski, S. *i in.* (1982) „Accelerated development of spontaneous and benzopyrcne-induced skin cancer in mice exposcd to 2450-MHz microwave radiation", *Bioełectromagnetics,* 3, ss. 179-191.

Yecchio, F. *i in.* (2010) „Mobile phone cmission modulates inter-hemispherie functional coupling of EEG alpha rhythms in elderly compared to young subjccts", *Clinical Neurophysiology,* 121(2). ss. 163 171. doi: 10.10l6/j.clinph.2009.11.002.

Wdowiak. A., Wdowiak, L. i Wiktor, II. (2007) „Evaluation of the effect of using mobile phones on małe fcrtilily", *Annałs ofAgricultural and Environmental Medicine,* 14(1), ss. 169-172.

Wyde, M. *i in.* (2016) „Report of Partial findings from the National Toxicology Program Carcinogcncsis Studies of Celi Phone Radiofrequency Radiation in Hsd: Sprague Dawley SD rals (Whole Body Exposurc)", *bioRxiv,* s. 055699. doi: 10.1101/055699.

Załata. A. *i in.* (2015) „In Vitro Effect of Ccii Phone Radiation on Motility, DNAFragnientation and Clusterin Genc Expressionin Humań Sperm", *International Journal of Fertility & Sterility.* Royan Institute, 9(1), s. 129. doi: 10.22074/IJFS.2015.4217.

Zradziński, P. *i in.* (2013) „Assessment Of The Portable Radiophone Uscrs' Exposure To Electroniagnetic Fields, With Use Of Numerical Simulations And Dircctive 2013/35/Eu Requirements", *Medycyna Pracy,* 64(6), ss. 817-827. doi: IO.13O75/mp.5893.2OI3.OO7O.

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

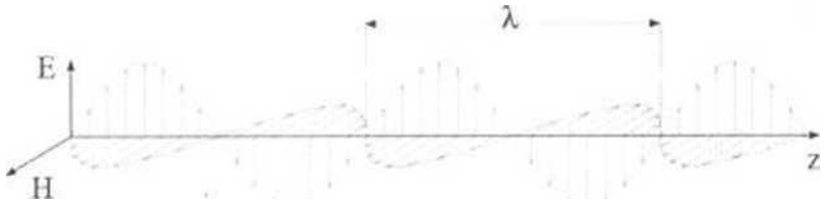
Warszawa, listopad 2019 r.

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.

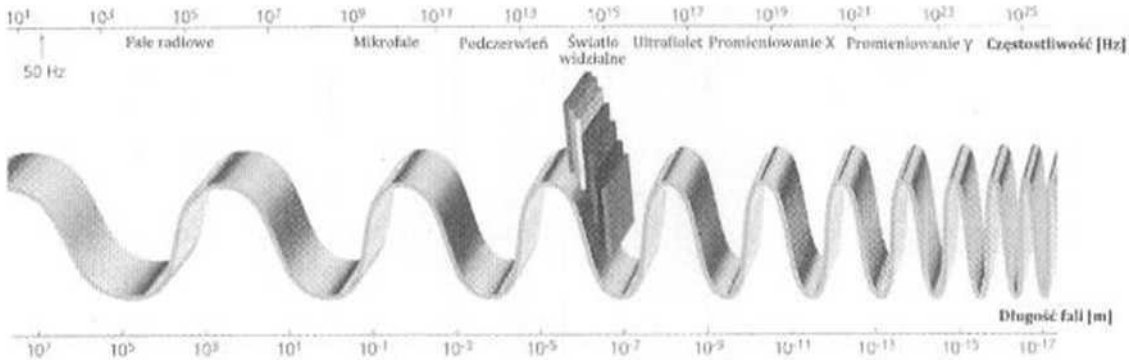


Rysunek i. Fala elektromagnetyczna (składowa elektryczna i magnetyczna) [1]

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,
- v [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,
- A [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 przestawione jest widmo promieniowania elektromagnetycznego z zaznaczoną długością fali elektromagnetycznej (A) oraz częstotliwością (v).



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 ogromniej 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 przestawione 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	Gęstość mocy [W/m^l]
	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	O(3-3OOGHz	7	-	°>^{1} J

*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 generał public to electromagnetic 6n6lds (o 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
1	0 -1 Hz	-	$3,2 \cdot 10^4$	
2	1-8 Hz	10000	$3,2 \cdot 10^4/f^J$	
3	8 -25 Hz	10000	4000/f	
4	0,025 - 0,8 kHz	250/f*	4/f	
5	0,8-3 kHz	250/f	5	
6	3-150 kHz	87	5	
7	0,15-1 MHz	87	0,73/f	
8	1-10 MHz	87/f'^{2}	o,73/f	
9	10-400 MHz	28	0,073	2
10	400 -2000 MHz	1,375 f^{,l}	0,0037 f$^{p/5}$	f/200
11	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 Ratę), 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-lonizing 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][s]. 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 dostarczanej 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]-

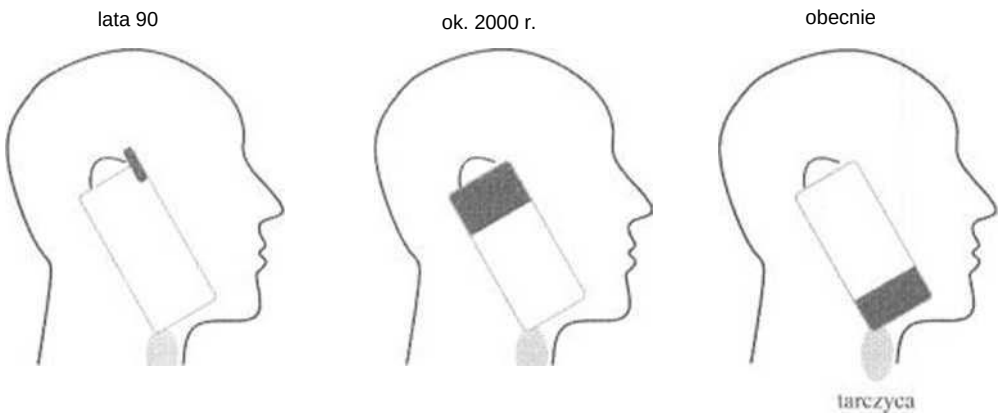
Telefony komórkowe komunikują się jedynie ze stacjami bazowymi, nigdy między sobą. Kontakt ten możliwy jest w miejscach znajdujących się w zasięgu stacji bazowych telefonii komórkowej, czyli w miejscach gdzie dociera emitowane przez nie promieniowanie elektromagnetyczne. Poziom tego promieniowania emitowanego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

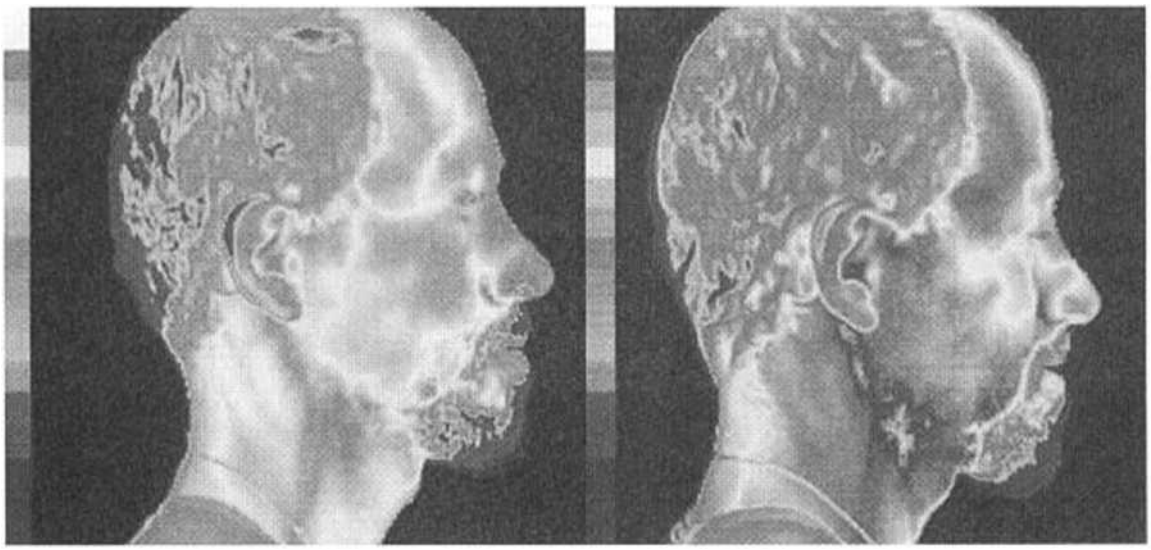
Drugie z badań w ramach Narodowego Programu Toksykologicznego przeprowadzane było na myszach. Zwierzęta poddawane były ekspozycji na pole elektromagnetyczne o częstotliwości 1,9 GHz. Badania wykonano również przy różnych poziomach współczynnika absorpcji swoistej SAR - o (grupa kontrolna), 2,5,5 i 10 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 kancerogennego 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.

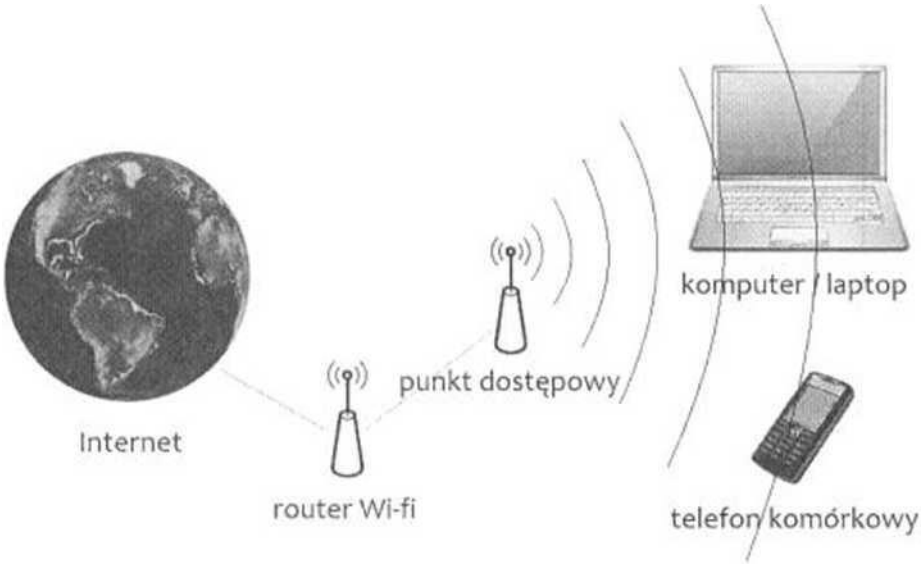
Z powodu braku spójnych i jednoznacznych dowodów z przeprowadzonych badań oraz w związku z ciągłym wzrostem wykorzystania telefonów komórkowych (okres powszechnego użytkowania to ponad 15 lat) Światowa Organizacja Zdrowia zleciła dodatkowe badania związane

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 podłączenie 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/m^2 w odległości 20 cm oraz 13 mW/m' 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	25

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 uradzenia) [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 generał public to electromagnetic fields (o 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 wyniósł)' 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/m^2 (laptopy) oraz 87 mW/m^2 (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). Pomiary 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. Pomiary wykonane 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/m^2, 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^1]	Rekomendacji Rady Europejskiej -10000 mW/m^1	dopuszczalnej w Polsce -100 mW/m'
kawiarnia	0,2	183	1,83%	183%
lotnisko	3,o	1,86	0,0186%	1,86%
teren zewnętrzny 1 - śródmieście	5,o	0,10	0,001 %	0,10%
teren zewnętrzny 2 - śródmieście	5,o	o,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 poziomu 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 2OO3r., 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 pW/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-lonizing 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 działaniowi 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) jakoś nasienia u osobników męskich szczurów ulegała pogorszeniu (najgorsza jakoś 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

(przeciwne) doniesienia. Bez wątpienia 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/m^{l}[2i]. 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 jaki 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 są 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 postępem 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 udowadniany jest kancerogenny 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, Rocz Państw Zakl Hig. 2Oig;7o(3):225-234, doi: 0.32394/^(1.2019.0073

[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 2OO}r., Nr 192, poz. 1883)

[4] Council Recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the generał public to electromagnetic fields (o 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- lonizing Radiation Protection, Health Phys. 1998 Apr;74(4):494-522

[6] *Foster K.* R., *MoulderJ. E.,* Wi-Fi and health: review of current status of research, Health Phys., 2013,105(6): 561-75, doi: io.iO97/HP.oboi3e3i829b49bb

[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. 2O14ȷ15(4):5366-87, doi: 10.3390/001515045366

[8] *Carlberg M., Hedendahl* L, Ahonen *M.ᵣ Koppel T., Hardell L.,* Increasing incidence of thyroid cancer in the Nordic countries with main focus on Swedish data, BMC Cancer. 2016 Jul 7;ı6:426, doi: 10.1186/512885-016-2429-4

[9] *Panagopoulos D. J., Johansson O., Carlo* G. L, Real versus Simulated Mobile Phone Exposures in Experimental Studies, Biomed Res Int. 2O15;2O15:6O7O53, doi: 10.1155/2015/607053

[10] *Freudenstein F., Correia L.* M., *Oliveira C, Sebastiao 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: io.339o/ijerphi2iii4i77

[11] *Wyde M., Gęsta M., Blystone* C, *Elmore* S., *Foster P., Hooth* M., *Kissling* G., *Malarkey D.ᵣ Sills R., Stout M., Walker N., Witt* K., *Wolfe M., Bucher* J., Report of Partial Findings from the National Toxicology Program Carcinogenesis Studies of Celi Phone Radiofrequency Radiation in Hsd: Sprague Dawley® SD Rats (Whole Body Exposure). BioRxiv 055699, 2016, doi: https://doi.0rg/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 Celi Phones, 2018

[13] ICNIRP Notę 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 - Epidemiologie studies of cancer, disease of the central nervous system and arrhythmia-related heart disease, Scand J Work Environ Health 200430 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, Celi J. 2015 Summer; 17(2): 322-331, doi: 10.22074Zcellj.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- 3ec2-4oed-8ea8-ede88cd8ia7f

[18] *Szulewski* P., *Ostrowski I.,* Wstępna analiza możliwości zastosowania sieci WiFi do komunikacji z robotem mobilnym w środowisku przemysłowym, Gospodarka Materiałowa & 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;ioo(6):594-6i2. doi: io.iO97/HP.oboi3e3i82Ooe2O3

[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: io.iO93/rpd/nczi62

[22] *Bachalska* M., Wpływ pól elektromagnetycznych na organizmy żywe: rośliny, ptaki, zwierzęta, Med Pr. 2OO7;58(ı):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: io.iO93/rpd/ncw37O

[24] *Foster K.R.,* Radiofrequency exposure from wireless LANs utilizing Wi-Fi technology, Health Phys. 2007 Mar;92(3):28o-9, doi: 10.1097/01.HP.0000248117.74843.34

[25] *Schmid* G., *Preiner P., Lager D., Uberbacher* R., *Georg R.,* Exposure of the generał public due to wireless LAN applications in public places, Radiat Prot Dosimetry. 2OO7;i24(i):48-52. Epub 2007 Jun 11, io.iO93/rpd/ncm32O

[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 755(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/TEMC.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. 2OO7;i24(i):58-62. Epub 2007 Jun 11, io.W93/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 11240:197- 201. doi: 10.1016Zj.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 małe rats, Neurol Sci. 2017 Jun;38(6):io69-iO76, doi: 10.1007/510072-017-29207