

Aktualizacja Raportu

„Aspekty medyczne i biofizyczne promieniowania elektromagnetycznego o częstotliwości radiowej”

Prof. dr hab. Eugeniusz Rokita

Dr hab. Grzegorz Tatoń

Uniwersytet Jagielloński Collegium Medicum,

Wydział Lekarski, Katedra Fizjologii, Zakład Biofizyki

Listopad 2018

1. Wprowadzenie

W opisie oddziaływania zmiennych w czasie pól elektromagnetycznych (PEM) o częstotliwościach mniejszych od 30 GHz z układami biologicznymi można teoretycznie wyróżnić wiele mechanizmów, z których tylko niewielka część została potwierdzona eksperymentalnie. Niepełny opis oddziaływania w zestawieniu z faktem, że w/w zakres częstotliwości obejmuje także częstotliwości szeroko stosowane w nowoczesnych technologiach telekomunikacyjnych, których występowanie w środowisku gwałtownie wzrasta w ostatnich latach, automatycznie generuje badania skutków działania PEM na organizm człowieka. W rezultacie tematyka ta jest przedmiotem intensywnych prac prowadzonych w wielu laboratoriach. W opracowaniu podjęto próbę usystematyzowania opisu oddziaływania PEM na organizm człowieka z jednoczesnym przedstawieniem przeglądu najważniejszych prac opublikowanych w ostatnich dwóch latach.

W opisie biofizycznym oddziaływania PEM z układami biologicznymi można wyróżnić pięć etapów. Etapem pierwszym jest ilościowy opis źródła promieniowania, który obecnie można precyzyjnie wykonać na drodze weryfikowalnych eksperymentalnie rozważań teoretycznych. W kolejnym etapie należy obliczyć parametry PEM w miejscu lokalizacji układu biologicznego. Należy wyraźnie podkreślić, że bez znajomości wartości parametrów charakteryzujących dowolny czynnik fizyczny działający na układ biologiczny, poprawny opis jego oddziaływania z układem nie jest możliwy. Etap trzeci obejmuje opis propagacji PEM w układzie biologicznym lub jego wyróżnionej części. W rezultacie otrzymujemy wartości parametrów PEM, które działają w określonym miejscu układu. Następny etap polega na wyróżnieniu i opisie efektu(ów) biologicznego będącego wynikiem działania PEM. Postuluje się występowanie efektów zarówno w skali mikro (jony, molekuly, komórki) jak i w skali makro (cały układ i/lub jego makroskopowe części). Ostatnim etapem jest określenie wpływu postulowanych efektów na funkcjonowanie układu biologicznego. Potencjalne zaburzenie homeostazy musi doprowadzić do zmiany parametrów charakteryzujących funkcjonowanie układu, co dla organizmu człowieka przekłada się na zmianę wartości wyznaczanych na drodze badań klinicznych parametrów.

W/w schemat dotyczy wszystkich zakresów PEM występujących w środowisku naturalnym. Poniższe opracowanie koncentruje się na zakresie częstotliwości 0,5 ÷ 5 GHz, co jest związane z dominacją tego zakresu w różnych technikach telekomunikacyjnych. W opracowaniu dla oznaczenia tego zakresu PEM będzie stosowany skrót „PEM RF”. Należy podkreślić, że nie jest to jedyny zakres PEM stanowiący zainteresowanie różnych grup badawczych. Badania oddziaływania promieniowania w zakresie niskich częstotliwości (< 3 kHz), który pokrywa się z zakresem endogennych pól elektromagnetycznych dla organizmu człowieka jak i zakresy częstotliwości kilo-, mega- i tera-hercowych (0,3 ÷ 3 THz) są prowadzone w różnych laboratoriach¹. Dodatkowym czynnikiem, niestety pomijanym w większości opracowań jest fakt, że w

¹ Bua L, Tibaldi E, Falcioni L, Lauriola M, De Angelis L, Gnudi F, et al. Results of lifespan exposure to continuous

środowisku naturalnym występuje PEM w bardzo szerokim zakresie częstotliwości. W związku z tym obserwowane efekty biologiczne mogą być wynikiem jednoczesnego działania na układ PEM (bodźców) pochodzących z różnych zakresów częstotliwości. Należy podkreślić, że dla każdego układu biologicznego efekt finalny działania dwóch lub większej liczby bodźców może być zarówno sumą efektów od poszczególnych bodźców (zasada superpozycji) jak i efekt finalny może być wzmocniony w stosunku do sumy efektów składowych (zjawisko synergii). Opisane rozważania mają charakter czysto teoretyczny i nie zostały potwierdzone eksperymentalnie. Międzynarodowa Komisja ds. Ochrony przed Promieniowaniem Niejonizującym (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection ICNIRP) podaje wartości graniczne dla poszczególnych zakresów częstotliwości, które nie uwzględniają wyżej opisanych efektów.

Warto także podkreślić, że pola elektromagnetyczne z różnych zakresów częstotliwości są stosowane do celów terapeutycznych i diagnostycznych od bardzo wielu lat². Stosowane metody są powszechnie uznane za całkowicie bezpieczne dla pacjenta, czego najlepszym przykładem jest tomografia rezonansu magnetycznego. Ciągłe testowane są i wprowadzane do praktyki klinicznej nowe metody diagnostyki i terapii oparte na zastosowaniu PEM. Ograniczając się do kilku przykładów można wymienić pobudzanie osteogenezy w różnych schorzeniach kości³, obrazowanie mikrofalowe (~GHz) stosowane w diagnostyce nowotworów sutka⁴, czy wykorzystanie rezonansowej absorpcji mikrofal (462 MHz, 930 MHz, 1395 MHz) do diagnostyki raka prostaty⁵.

and intermittent extremely low frequency electromagnetic fields (ELFEMF) administered alone to Sprague Dawley rats. *Environ Res.* Elsevier Inc.; 2018;164(March):271–9.

Yu C, Peng R-Y. Biological effects and mechanisms of shortwave radiation: a review. *Mil Med Res. Military Medical Research*; 2017;4(1):24.

Gajšek P, Ravazzani P, Grellier J, Samaras T, Bakos J, Thuróczy G. Review of studies concerning electromagnetic field (EMF) exposure assessment in Europe: Low frequency fields (50 Hz–100 kHz). *Int J Environ Res Public Health.* 2016;13(9):1–14.

Romanenko S, Begley R, Harvey AR, Hool L, Wallace VP. The interaction between electromagnetic fields at megahertz, gigahertz and terahertz frequencies with cells, tissues and organisms: Risks and potential. *J R Soc Interface.* 2017;14(137).

Petri A-K, Schmiedchen K, Stunder D, Dechent D, Kraus T, Bailey WH, et al. Biological effects of exposure to static electric fields in humans and vertebrates: a systematic review. *Environ Heal. Environmental Health*; 2017;16(1):41.

² Waldorff EI, Zhang N, Ryaby JT. Pulsed electromagnetic field applications: A corporate perspective. *J Orthop Transl.* Elsevier Ltd; 2017;9:60–8.

³ Jing D, Zhai M, Tong S, Xu F, Cai J, Shen G, et al. Pulsed electromagnetic fields promote osteogenesis and osseointegration of porous titanium implants in bone defect repair through a Wnt/ β -catenin signaling-associated mechanism. *Sci Rep.* Nature Publishing Group; 2016;6(February):1–13.

⁴ Rahman A, Islam MT, Singh MJ, Kibria S, Akhtaruzzaman M. Electromagnetic Performances Analysis of an Ultra-wideband and Flexible Material Antenna in Microwave Breast Imaging: To Implement A Wearable Medical Bra. *Sci Rep.* Nature Publishing Group; 2016;6(November):1–11.

⁵ Rinaldi L, Lastoria S, Vedruccio C, Adinolfi LE, Berretta M. EDITORIAL – TISSUE RESONANCE INTERACTION METHOD : A CHALLENGE FOR THE EARLY AND NON-INVASIVE DIAGNOSIS OF SOLID CANCERS. 2016;4(1):2016–8.

W poniższej aktualizacji raportu omówione zostaną najnowsze doniesienia odnoszące się do w/w etapów działania PEM na organizm człowieka. Oprócz wyników dotyczących bezpośredniego działania na organizm zostaną także przedstawione wyniki eksperymentów na zwierzętach laboratoryjnych. Jest to związane z faktem, że w wielu przypadkach eksperymenty zwierzęce stanowią jedyną możliwość przeprowadzenia badań. Pominięty zostanie natomiast, z dwóch powodów, pierwszy z etapów. Po pierwsze, zagadnienie to jest merytorycznie słabo związane z kolejnymi etapami. Dodatkowo, pole emitowane z dowolnej anteny można bardzo precyzyjnie opisać na drodze rozważań teoretycznych jak i wyznaczyć eksperymentalnie od wielu lat. W ostatnim okresie w tym temacie nie nastąpiły żadne zmiany. Należy jednak podkreślić, także często pomijany w opublikowanych pracach fakt, że w opisie fizycznym anteny w zależności od odległości od jej apertury, można wyróżnić trzy strefy: bliską, pośrednią oraz daleką. W przypadku dużych odległości od anteny (odległość $> \sim 6$ cm dla częstotliwości 900 MHz i wymiaru anteny 10 cm) mamy do czynienia ze strefą daleką, w której fala elektromagnetyczna ma charakter fali płaskiej. W obszarze strefy pośredniej i strefy bliskiej (odległość $< \sim 6$ cm dla w/w wartości parametrów) opis fizyczny pola elektromagnetycznego jest dużo bardziej skomplikowany. Przy porównywaniu działania na organizm człowieka PEM emitowanego przez antenę zlokalizowaną w dużej (stacja bazowa) i małej (telefon komórkowy) odległości, problem ten powinien zostać uwzględniony. Zagadnienie to powinno także zostać uwzględnione przy interpretacji wyników eksperymentów przeprowadzanych z wykorzystaniem małych zwierząt laboratoryjnych.

2. Określenie parametrów PEM w środowisku

Problem określenia rzeczywistych parametrów PEM RF w miejscu lokalizacji układu biologicznego ma fundamentalne znaczenie dla opisu oddziaływania z układem. Niestety, w wielu pracach dotyczących tej tematyki zagadnienie to jest pomijane, co praktycznie uniemożliwia porównywanie uzyskanych wyników i jest najprawdopodobniej podstawową przyczyną obserwowanych rozbieżności. Należy podkreślić, że standardowe procedury polegają na określeniu natężenia pola elektrycznego w pobliżu stacji bazowej telefonii komórkowej dla ściśle określonych częstotliwości emisji i porównaniu wyników z obowiązującymi wartościami dopuszczalnymi odnoszącymi się do PEM w środowisku⁶. Podobnie sprawdzane są narażenia zawodowe związane z pracą w pobliżu nadajników generujących pola elektromagnetyczne⁷.

⁶ Instytut Łączności Państwowy Instytut Badawczy. Sprawozdanie z badań poziomu pól elektromagnetycznych w otoczeniu stacji bazowej: ID Stacji: 8516 KAMPUS UJ 2 (28251_KKR_KRAKOW_KAMPUSUJII), przeprowadzonych w ramach umowy 1/DT z dnia 26 kwietnia 2016 r. 2016.

⁷ Stam R, Yamaguchi-Sekino S. Occupational exposure to electromagnetic fields from medical sources. *Ind Health*. 2017;96–105.

Vila J, Bowman JD, Figuerola J, Morina D, Kincl L, Richardson L, et al. Development of a source-exposure matrix for occupational exposure assessment of electromagnetic fields in the INTEROCC study. *J Expo Sci Env Epidemiol*. 2017;27(4):398–408.

W ostatnich latach zrozumienie konieczności wykonywania pomiarów PEM w badaniach wpływu pól na układy biologiczne staje się coraz bardziej powszechne⁸.

Należy także podkreślić, że pomiar parametrów PEM w miejscu lokalizacji układu biologicznego nie jest trywialnym problemem nawet przy ograniczeniu się do zakresu PEM RF. W pierwszej kolejności należy zidentyfikować i uwzględnić wiele źródeł emisji, jak na przykład działające w pobliżu telefony komórkowe, czy bezprzewodowe sieci komputerowe. Nawet obecność innych osób czy też problemy związane z uziemieniem mogą w sposób istotny zmieniać rozkład PEM. Osobny problem stanowi zmienność czasowa emisji zarówno w skali doby, jak i w perspektywie miesięcy czy nawet lat. Uwzględniając istotność problemu, w rzetelnie wykonanych badaniach oddziaływania PEM RF na organizm człowieka, dokonuje się oszacowania parametrów PEM RF stosując kilka różnych sposobów.

Pierwszy sposób opiera się na przeprowadzeniu rozważań teoretycznych⁹. Proces propagacji fal elektromagnetycznych w ośrodkach materialnych jest w pełni opisany na gruncie praw fizyki (równania Maxwella). Uzyskane równania można rozwiązać numerycznie dla zadanej geometrii układu i wartości parametrów charakteryzujących ośrodek. W praktyce stosuje się kilka różnych metod numerycznych¹⁰, które pozwalają precyzyjnie obliczyć rozkłady PEM. Problemem obliczeń teoretycznych jest znajomość wartości parametrów (stała dielektryczna, przewodność) charakteryzujących rozważany ośrodek oraz fakt, że parametry te są funkcjami częstotliwości. W wielu wypadkach brak danych wymusza jednak konieczność interpolacji/ekstrapolacji dostępnych wartości parametrów, co automatycznie ogranicza dokładność przeprowadzonych obliczeń. Osobnym problemem jest precyzyjny opis geometrii ośrodka. W rezultacie podejście to jest głównie stosowane w badaniach narażenia zawodowego¹¹. Należy nadmienić, że dostępne są komercyjne programy umożliwiające przeprowadzenie tego typu oszacowań.

Drugie podejście ma charakter czysto eksperymentalny i jest oparte na zastosowaniu ekspozymetrów pola elektromagnetycznego (ekspozymetr RF). Jest to w istocie proste przeniesie metody stosowanej powszechnie do oceny dawki od promieniowania jonizującego na zakres PEM RF¹². Na rynku dostępnych jest wiele tego typu urządzeń umożliwiających pomiar PEM

⁸ Belyaev I, Dean A, Eger H, Hubmann G, Jandrisovits R, Kern M, et al. EUROPAEM EMF Guideline 2016 for the prevention, diagnosis and treatment of EMF-related health problems and illnesses. *Rev Environ Health*. 2016 Jan 1;31(3):363–97.

⁹ Barnes FS GB (EDS). *BIOENGINEERING AND BIOPHYSICAL ASPECTS OF ELECTROMAGNETIC FIELDS*. CRC PRESS; 2018.

¹⁰ European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC). *Basic standard on measurement and calculation procedures for human exposure to electric, magnetic and electromagnetic fields (0 Hz–300 GHz)*. (Standard No. EN 50413:2009). Brussels; 2009.

¹¹ Zradziński PZ. Difficulties in applying numerical simulations to an evaluation of occupational hazards caused by electromagnetic fields. *Int J Occup Saf Ergon*. JOSE; 2015;21(2):213–20.

¹² Aminzadeh R, Thielens A, Agneessens S, Van Torre P, Van Den Bossche M, Dongus S, et al. A multi-band body-worn distributed radio-frequency exposure meter: Design, on-body calibration and study of body morphology. *Sensors (Switzerland)*. 2018;18(1):1–19.

w różnych zakresach częstotliwości i różnych skalach czasowych. Istotnym czynnikiem dostępności jest także stosunkowo niska cena urządzenia (poniżej 1000 zł). Wykorzystanie przenośnych ekspozymetrów RF związane jest jednak z całym szeregiem ograniczeń, zarówno obiektywnych jak i subiektywnych, które mogą znacząco wpływać na wynik pomiarów. Uzyskane wyniki zależą od miejsca umieszczenia ekspozymetru na ciele oraz od położenia ciała względem źródeł PEM. Istotna jest także obecność innych osób i przedmiotów (duże metalowe elementy, ruch uliczny) w pobliżu osoby używającej ekspozymetru oraz ich uziemienie. Czynniki te mogą powodować zafałszowanie uzyskanych wyników. Dodatkowo, pomiary są z reguły wykonywane przez ochotników, którzy mogą manipulować pomiarami umieszczając ekspozymetr w pobliżu źródła lub dostarczać nieprecyzyjnych informacji o miejscu lokalizacji urządzenia pomiarowego¹³. Przeprowadzone oszacowania¹⁴ potwierdzają, że pomiary wykonane przy użyciu ekspozymetrów RF różnią się od pomiarów rzeczywistego PEM w granicach $-90 \div 130\%$. Jest to podstawową wadą tej metody pomiarowej.

Kolejną metodą ilościowego charakteryzowania PEM RF jest wykonywanie pomiarów środowiskowych¹⁵. W tym przypadku, stosując specjalistyczny sprzęt obsługiwany przez wykwalifikowany personel, dokonujemy pomiarów średnich wartości PEM RF na określonym obszarze w wybranych okresach czasu. Otwartym problemem jest dobór reprezentatywnej wielkości obszaru. Możliwe są pomiary punktowe jak i wyznaczanie wartości średnich z wielu punktów pomiarowych uzyskiwanych z urządzeń stacjonarnych lub mobilnych. Wydaje się, że ta metoda pomiaru pozwala uzyskać miarodajną informację o parametrach PEM RF w środowisku naturalnym. Przeprowadzone pomiary¹⁶ dowodzą na przykład, że różnica w wartościach natężenia pola elektrycznego może dochodzić nawet do jednego rzędu wielkości. Należy także wyraźnie podkreślić, że dane te nie są równoznaczne z rzeczywistymi parametrami PEM RF działającego na konkretnego osobnika.

Czwarta metoda określania parametrów PEM RF polega na wykonaniu badań w warunkach laboratoryjnych. W tym przypadku wytwarzamy pole o zadanych parametrach w ograniczonym obszarze, co technicznie może być zrealizowane na różne sposoby. W kolejnym kroku badań umieszczamy układ biologiczny w polu o dokładnie znanych parametrach, co stanowi rozwiązanie problemu. Niestety podejście to ma również istotne ograniczenia. Długotrwałe

Elmagroud B, Kwate RK, Taybi C, Ziyat A, Picard D. Electromagnetic exposure assessment for telecommunication equipments using RF dosimeter. In: 2016 International Conference on Information Technology for Organizations Development (IT4OD). IEEE; 2016. p. 1–6.

¹³ Bolte JFB, Eikelboom T. Personal radiofrequency electromagnetic field measurements in the Netherlands: Exposure level and variability for everyday activities, times of day and types of area. *Environ Int.* Elsevier Ltd; 2012;48:133–42.

¹⁴ Gryz K, Zradziński P, Karpowicz J. The role of the location of personal exposimeters on the human body in their use for assessing exposure to the electromagnetic field in the radiofrequency range 98-2450 MHz and compliance analysis: Evaluation by virtual measurements. *Biomed Res Int.* Hindawi Publishing Corporation; 2015;2015.

¹⁵ Sagar S, Adem SM, Struchen B, Loughran SP, Brunjes ME, Arangua L, et al. Comparison of radiofrequency electromagnetic field exposure levels in different everyday microenvironments in an international context. *Environ Int.* Elsevier; 2018;114(March):297–306.

¹⁶ j.w.

badania tego typu możliwe są jedynie dla hodowli komórkowych i materiału zwierzęcego, co znajduje odbicie w literaturze tematu¹⁷. Niewątpliwą wadą tego podejścia jest konieczność ekstrapolowania wyników eksperymentów, z reguły wykonywanych na małych zwierzętach laboratoryjnych, na organizm człowieka. W przypadku badań ludzi realne są tylko badania prowokacyjne¹⁸ o stosunkowo krótkiej perspektywie czasowej (maksymalny czas rzędu godziny). Eliminuje to oczywiście możliwość badania potencjalnych efektów długofalowych, jak na przykład ewentualne wywoływanie przez PEM RF niektórych stanów chorobowych.

Wyżej podany przegląd stosowanych w badaniach metod oceny wartości parametrów PEM ER w miejscu lokalizacji układu biologicznego jednoznacznie dowodzi, że każda z metod ma swoje istotne zalety i wady. Nie uwzględnienie tego czynnika wydaje się poważnym błędem metodycznym badań. Mimo to są publikowane prace, w których parametry PEM są określone jedynie na podstawie odległości od stacji bazowej telefonii komórkowej¹⁹. W standardowo stosowanym podejściu do ilościowego opisu PEM działającego na układ biologiczny podaje się wartości natężenia pola elektrycznego w powietrzu lub obliczone wartości współczynnika SAR (Specific Absorption Rate). Jest to poprawne podejście przy założeniu, że układ biologiczny znajduje się w strefie dalekiej anteny oraz, że działanie pola na układ wywołuje jedynie efekty termiczne. Wnioskowanie o występowaniu efektów nietermicznych, jak na przykład występowanie określonych stanów chorobowych w przypadku organizmu człowieka, na podstawie współczynnika SAR jest z biofizycznego punktu bardzo problematyczne. Należy jednak podkreślić, że do tej pory żaden parametr charakteryzujący działanie PEM na układ biologiczny w aspekcie występowania efektów nietermicznych nie został wprowadzony.

3. Opis biofizyczny oddziaływania PEM na układy biologiczne

Emitowane przez źródło pole elektromagnetyczne może być modyfikowane na drodze różnych procesów fizycznych (interferencja, dyfrakcja). W uproszczonym opisie fala elektromagnetyczna docierając do granicy dwóch ośrodków (np. powietrze/układ biologiczny) będzie ulegała częściowemu odbiciu a częściowo będzie penetrowała granicę (refrakcja). W przy-

¹⁷ Bua L, Tibaldi E, Falcioni L, Lauriola M, De Angelis L, Gnudi F, et al. Results of lifespan exposure to continuous and intermittent extremely low frequency electromagnetic fields (ELFEMF) administered alone to Sprague Dawley rats. *Environ Res. Elsevier Inc.*; 2018;164(March):271–9.

Falcioni L, Bua L, Tibaldi E, Lauriola M, De Angelis L, Gnudi F, et al. Report of final results regarding brain and heart tumors in Sprague-Dawley rats exposed from prenatal life until natural death to mobile phone radiofrequency field representative of a 1.8 GHz GSM base station environmental emission. *Environ Res. Elsevier Inc.*; 2018;165(March):496–503.

Wyde M, Cesta M, Blystone C, Elmore S, Foster P, Hooth M, et al. Report of Partial findings from the National Toxicology Program Carcinogenesis Studies of Cell Phone Radiofrequency Radiation in Hsd: Sprague Dawley SD rats (Whole Body Exposure). *bioRxiv*. 2016;055699.

¹⁸ Verrender A, Loughran SP, Anderson V, Hillert L, Rubin GJ, Oftedal G, et al. IEI-EMF provocation case studies: A novel approach to testing sensitive individuals. *Bioelectromagnetics*. 2018;39(2):132–43.

¹⁹ Khurana VG, Lennatd Hardell, Everaert J, Bortkiewicz A, Michael Carlberg, Ahonen M. Epidemiological evidence for a health risk from mobile phone base stations. *Int J Occup Environ Heal*. 2010;16(3):263–7.

padku ciała ludzkiego, w pierwszej kolejności powstaje problem ilościowego opisu zachowania się PEM RF na granicy powietrza/skóra²⁰. Podobny problem pojawia się na każdej granicy dwóch struktur tkankowych wewnątrz organizmu, czyli na granicy dwóch ośrodków charakteryzujących się różnymi parametrami dielektrycznymi. Odbicie lub przenikanie fali elektromagnetycznej do tkanki jest w istocie funkcją dwóch parametrów: częstotliwości (długości) fali oraz stopnia uwodnienia tkanki. Stała dielektryczna spada, natomiast przewodność elektryczna wzrasta wraz ze wzrostem częstotliwości. W rezultacie głębokość penetracji zmniejsza się ze wzrostem częstotliwości. Dla danej częstotliwości, tkanki o niskiej zawartości wody (tkanka tłuszczowa i kostna, skóra) charakteryzują się mniejszymi wartościami stałej dielektrycznej i przewodności niż tkanki wysoko uwodnione (tkanki miękkie), co przekłada się na zwiększenie głębokości penetracji dla tkanek o niskim uwodnieniu.

Pole elektromagnetyczne penetrując jednorodny ośrodek, wytraca eksponencjalnie energię przekazując ją do ośrodka, co powoduje finalnie wzrost temperatury układu²¹. Współczynnik absorpcji jest funkcją częstotliwości emisji fali elektromagnetycznej oraz przewodności, przenikalności elektrycznej i przenikalności magnetycznej ośrodka. Ilościowy opis działania PEM na układy biologiczne wymaga znajomości zależności parametrów charakteryzujących własności elektryczne układu (przewodność i przenikalność) od częstotliwości. Z reguły, rozważane są sinusoidalnie zmienne pola i liniowa odpowiedź układu. Dla większości układów biologicznych przenikalność magnetyczna niewiele różni się od przenikalności magnetycznej próżni, co oznacza, że oddziaływanie ze składową magnetyczną PEM jest bardzo słabe i dodatkowo nie zależy od częstotliwości zastosowanego pola zewnętrznego. W literaturze tematu są dostępne dane podające wartości parametrów dielektrycznych w funkcji częstotliwości dla większości tkanek ciała ludzkiego²². Należy podkreślić, że pomiary dielektryczne dla tkanek ciała człowieka nie są popularną tematyką badawczą i powszechnie wykorzystywane są dane zgromadzone kilkanaście lat temu.

Pełniejszą informację o działaniu PEM uzyskujemy wyznaczając rozkład pola elektrycznego wewnątrz układu biologicznego. Zadanie to można zrealizować korzystając z wielu metod obliczeniowych podobnie jak czyni się to dla dowolnego ośrodka materialnego. Stosowane metody można podzielić na dwie grupy. Pierwsza grupa metod opiera się na wykorzystaniu rozwiązań analitycznych do opisu rozkładu pola elektrycznego. Rozwiązania analityczne są możliwe jedynie w przypadku przyjęcia uproszczonej geometrii układu biologicznego. Druga grupa metod opiera się na zastosowaniu metod numerycznych²³ i wykorzystaniu możliwie jak najbardziej realistycznego modelu geometrycznego.

Podstawowym problemem, skorelowanym z obliczeniami rozkładu pola i energii zabsorbowanej w układzie, jest modelowanie geometrii obiektów biologicznych. Proste modele geo-

²⁰ Barnes FS GB (EDS). BIOENGINEERING ..., op. cit.

²¹ j.w.

²² Peyman A, Holden S, Gabriel C. Dielectric Properties ..., op. cit.

²³ Zradziński PZ. Difficulties in applying numerical simulations..., op. cit.

metrii (sześcián, prostokąt, kula, sferoida) są stosowane w przypadku obliczeń szacunkowych²⁴. Realistyczne modele geometrii są obecnie tworzone w oparciu o pomiary z wykorzystaniem różnych technik obrazowania medycznego i zaawansowane techniki grafiki komputerowej. W rezultacie otrzymujemy precyzyjny opis geometrii ciała ludzkiego lub określonej jego części przy pomocy wielu milionów voxelów²⁵. O zaawansowaniu obecnie stosowanych modeli ciała ludzkiego najlepiej świadczy fakt uwzględniania w konstrukcji modelu zarówno wieku jak i płci osobnika. Zastosowanie zaawansowanych modeli geometrycznych zapewnia bardzo dokładne obliczenie przestrzennej absorpcji energii w dowolnym układzie biologicznym poddanego oddziaływaniu na PEM RF o określonych parametrach. Należy podkreślić, że bezpośrednia weryfikacja obliczeń dla organizmu człowieka jest możliwa tylko w eksperymentach, w których wykorzystujemy fantomy. W badaniach *in vivo* możliwe są jedynie pomiary z wykorzystaniem zwierząt laboratoryjnych²⁶.

Wyżej opisane techniki umożliwiają obliczenia rozkładu pola elektrycznego wewnątrz układu biologicznego, co dalej umożliwia wyznaczenie rozkładu współczynnika absorpcji właściwej (SAR). Dodatkowo, wykorzystując równanie Pennesa możemy wyznaczyć rozkład temperatury wewnątrz układu. Wartości SAR i przyrostu temperatury są najczęściej wykorzystywanymi parametrami do oceny skutków działania PEM RF na układy biologiczne. Prace prezentujące tego typu obliczenia są regularnie publikowane²⁷. Nowatorskość ukazujących się publikacji polega na uwzględnianiu dodatkowych członów w równaniu Pennesa lub na przeprowadzeniu obliczeń w strefie bliskiej anteny²⁸. Zainteresowanie tą tematyką jednoznacznie dowodzi, że problem precyzyjnych obliczeń współczynnika SAR nie został jeszcze w pełni rozwiązany. Dodatkowym problemem związanym z obliczaniem wartości SAR jest określenie masy tkanki, dla której współczynnik jest obliczany. W opublikowanych pracach, zgodnie z przyjętą w różnych krajach metodologią, stosuje się obliczanie wartości SAR dla 1 g tkanki, 10 g tkanki lub dla całego organizmu. W przypadku lokalnego działania termicznego PEM (telefon komórkowy) ma to bardzo istotne znaczenie.

²⁴ Gong F, Wei Z, Cong Y, Chi H, Yin B, Sun M. Analysis of SAR distribution in human head of antenna used in wireless power transform based on magnetic resonance. *Technol Heal Care*. 2017;25(S1):S387–97.

²⁵ Nagaoka T, Watanabe S, Sakurai K, Kunieda E, Watanabe S, Taki M, et al. Development of realistic high-resolution whole-body voxel models of Japanese adult males and females of average height and weight, and application of models to radio-frequency electromagnetic-field dosimetry. *Phys Med Biol*. 2004 Jan 7;49(1):1–15.

²⁶ Kodera S, Gomez-Tames J, Hirata A, Masuda H, Arima T, Watanabe S. Multiphysics and thermal response models to improve accuracy of local temperature estimation in rat cortex under microwave exposure. *Int J Environ Res Public Health*. 2017;14(4).

²⁷ Kodera S, Gomez-Tames J, Hirata A. Temperature elevation in the human brain and skin with thermoregulation during exposure to RF energy. *Biomed Eng Online*. *BioMed Central*; 2018;17(1):1–17. Morimoto R, Hirata A, Laakso I, Ziskin MC, Foster KR. Time constants for temperature elevation in human models exposed to dipole antennas and beams in the frequency range from 1 to 30 GHz. *Phys Med Biol*. *IOP Publishing*; 2017;62(5):1676–99.

²⁸ Laakso I, Morimoto R, Hirata A, Onishi T. Computational Dosimetry of the Human Head Exposed to Near-Field Microwaves Using Measured Blood Flow. *IEEE Trans Electromagn Compat*. 2017 Apr;59(2):739–46.

4. Efekty bio-medyczne oddziaływania PEM na organizm człowieka

Skutki biologiczne ekspozycji związane bezpośrednio lub pośrednio ze wzrostem temperatury określamy mianem efektów termicznych. W sytuacji, gdy ewentualnych skutków biologicznych nie można skorelować z ogrzewaniem tkanki, mówimy o występowaniu efektów nietermicznych. Dla przeprowadzenia klasyfikacji efektów jako termiczne i nietermiczne, konieczne jest ustalenie granicznej wartości wzrostu temperatury ΔT , poniżej której efekt będzie klasyfikowany jako efekt nietermiczny. Bazując na danych zebranych z różnych metod wywoływania hipertermii oraz na dobowych zmianach temperatury ciała, można przyjąć $\Delta T = 1K$. Należy wyraźnie podkreślić, że efekt hipertermii wywołany naświetlaniem organizmu PEM RF jest w dalszym ciągu jedynym efektem, który możemy ilościowo opisać na gruncie rozważań fizycznych i w tym temacie nie nastąpiła żadna zmiana w ostatnich latach.

Lokalne podwyższenie temperatury ciała człowieka może powodować wiele skutków w organizmie. Efekty mogą być ograniczone do małych struktur biologicznych (pojedyncza komórka) lub mogą być związane z większą objętością tkanki (mm^3 lub większa). Na poziomie pojedynczej komórki najważniejszymi postulowanymi efektami są możliwość modyfikacji szybkości reakcji biochemicznych oraz zmiany syntezy białek szoku cieplnego (HSP – Heat Shock Protein). Oczywiście lokalne podniesienie temperatury ciała powoduje również zmiany wartości wielu parametrów, istotnych z punktu widzenia homeostazy całego organizmu. Lepkość płynów ustrojowych, rozpuszczalność gazów w płynach ustrojowych, ciepło właściwe tkanek, współczynniki dyfuzji, przewodności elektryczne tkanek są funkcjami temperatury. Możliwość istotnego wpływu w/w czynników na funkcjonowanie ustroju człowieka opiera się głównie na teoretycznych rozważaniach lub jest wynikiem eksperymentów laboratoryjnych. Na obecnym poziomie wiedzy niemożliwe jest jednoznaczne określenie, czy dana ekspozycja PEM RF będzie powodować znaczące skutki w organizmie człowieka. Sytuacja nie uległa zmianie na przestrzeni ostatnich lat. Dodatkowo, analizując literaturę tematu można jednoznacznie stwierdzić, że popularność badań efektów termicznych wywołanych PEM wyraźnie spada. Najprawdopodobniej wynika to z faktu, że w sumie niewielkie (maksymalnie $1 \div 2K$) lokalne przyrosty temperatury wywołane PEM są kompensowane w organizmie przez mechanizmy termoregulacji. Trzeba także uwzględnić fakt, że z biofizycznego punktu widzenia organizm człowieka jest układem produkującym energię. Parametrem, który pozwala oszacować ilość wytwarzanej w organizmie energii jest przemiana podstawowa (BMR – Basal Metabolic Rate). Oszacowana wartość BMR (wzór Harrisa i Benedicta) dla mężczyzny o masie ciała 70 kg, wzroście 180 cm i wieku 30 lat wynosi 1730 kcal/d ($\sim 80 W$). Dla tej ilości produkowanej energii, działające w organizmie człowieka mechanizmy termoregulacji są w stanie zapewnić stałość temperatury ciała. Powstanie dodatkowego, lokalnego źródła ciepła w wyniku działania PEM RF nie może zaburzyć homeostazy organizmu.

Również w badaniach efektów nietermicznych (omówione szczegółowo w dalszej części raportu) towarzyszących działaniu PEM RF na organizm człowieka nie nastąpiły przełomowe odkrycia w ostatnich latach. Jest oczywiste, że ograniczenia fizyczne wynikłe z relacji energii

kwantów PEM RF do energii wiązania molekuł oraz fluktuacji endogennych potencjałów elektrycznych powodowanych ruchami termicznymi w relacji do wartości pól elektrycznych wywoływanych przez PEM RF wewnątrz ciała człowieka, są niepodważalne. Powoduje to, że lista możliwych efektów powodowanych ekspozycją na PEM RF pozostaje niezmienna od około 10-ciu lat²⁹. Trzeba jednak nadmienić, że podejmowane są dyskusyjne próby nowego szacowania istotności pewnych efektów, jak na przykład polaryzacji fali elektromagnetycznej³⁰.

Należy wyraźnie podkreślić, że rozważania dotyczące nietermicznych efektów towarzyszących działaniu PEM na organizm człowieka mają swoje umocowanie w rozważaniach na gruncie biofizyki teoretycznej. Istnieją układy biologiczne, których ewolucja czasowa, opisana układem nieliniowych równań różniczkowych, bardzo silnie zależy od wartości parametrów charakteryzujących układ. Dodatkowo, niewielkie zmiany wartości parametrów (na poziomie 0,001 wartości lub nawet mniejsze) mogą wywołać diametralne zmiany diagramu fazowego układu powodując, na przykład deterministyczny chaos. Ponieważ nie można *a priori* wykluczyć, że PEM RF działając na układ biologiczny wywołuje niewielkie perturbacje wartości parametrów (na przykład pól elektrycznych), hipotezy o istnieniu efektów nietermicznych nie można na podstawie rozważań teoretycznych odrzucić.

Warto zwrócić uwagę na fakt, że parametry charakteryzujące każdy układ biologiczny (temperatura, stężenia substancji, natężenia endogennych pól elektrycznych) nie są stałe w czasie. Odchylenia od wartości średnich (szумы) są zjawiskiem fizjologicznym i nie powodują zaburzenia funkcjonowania układu. Dla wywołania efektów nietermicznych działanie PEM musi powodować zmiany parametrów przekraczających fizjologiczne fluktuacje powodowane przez szумы. Niestety ilościowa charakterystyka widma szumów jak i wyznaczenie niezbędnego stosunku sygnału do szumu dla zaburzenia stanu fizjologicznego nie zostało do tej pory przeprowadzone. W rezultacie, dla opisu działania PEM RF na układy biologiczne nie opracowano powszechnie akceptowanej teorii. Z biofizycznego punktu widzenia można jednoznacznie stwierdzić, że w ostatnich latach nie nastąpił żaden przełom w opisie działania PEM RF na układy biologiczne.

Badania dotyczące potencjalnych skutków działania PEM RF na organizm człowieka koncentrują się obecnie na dwóch typach zagadnień. Pierwszy typ dotyczy potencjalnych skutków medycznych, tj. efektów w skali makro, które mogą być rozpoznawane różnymi metodami

²⁹ Sheppard AR, Swicord ML, Balzano Q. Quantitative evaluations of mechanisms of radiofrequency interactions with biological molecules and processes. *Health Phys.* 2008;95(4):365–96.

³⁰ Panagopoulos DJ, Johansson O, Carlo GL. Polarization: A Key Difference between Man-made and Natural Electromagnetic Fields, in regard to Biological Activity. *Sci Rep.* Nature Publishing Group; 2015;5(February):14914.

diagnostycznymi. Badania te dotyczą wybranych narządów³¹ lub pewnych aspektów funkcjonowania organizmu³². Otrzymywane wyniki są niejednoznaczne³³, co automatycznie przekłada się na różną ich interpretację. Dla niektórych autorów³⁴ wyniki dowodzą szkodliwego działania PEM RF na organizm człowieka, natomiast dla innych wnioski o szkodliwości pola elektromagnetycznego są nadinterpretacją i zagadnienie wymaga dalszych badań. Drugi typ badań stanowią eksperymenty zwierzęce, których wyniki są ekstrapolowane na organizm człowieka³⁵. Podejście to ma oczywiste ograniczenia szczególnie w przypadku wykorzystywania małych zwierząt laboratoryjnych. Nie zmienia to faktu, że w ostatnich latach zostały opublikowane prace, sugerujące rakotwórcze działanie PEM RF w eksperymentach przeprowadzonych na szczurach i myszach³⁶.

Tematyką bardzo popularną w ostatnich latach jest problem nadwrażliwości elektromagnetycznej (EHS – Electromagnetic Hyper Sensitivity). Jest to zagadnienie obecne w opisie działania PEM na organizm człowieka od kilkunastu lat³⁷. EHS to schorzenie zaliczane do grupy schorzeń idiopatycznych (schorzenia o nieznannej etiologii) wywołanych przez bliżej nieokreślone czynniki środowiskowe (IEI – Idiopathic Environmental Intolerance) podobnie jak fibromialgia czy zespół przewlekłego zmęczenia. EHS jest charakteryzowane przez zespół objawów (nasilone zmęczenie, ból głowy, szum w uszach, bezsenność, zaburzenia pamięci, bóle w różnych częściach ciała, dysfunkcje kardiologiczne, odczucie ciepła, nudności, zawroty głowy), które są praktycznie niemożliwe do obiektywnej oceny. Występowanie EHS nie zostało aktualnie powszechnie zaakceptowane, co jest niewątpliwie podstawową przyczyną zainteresowania wielu zespołów badawczych.

5. Ocena wpływu PEM na choroby nowotworowe

³¹ Zhi W-J, Wang L-F, Hu X-J. Recent advances in the effects of microwave radiation on brains. *Mil Med Res. Military Medical Research*; 2017;4(1):29.

Keykhosravi A, Neamatshahi M, Mahmoodi R, Navipour E. Radiation Effects of Mobile Phones and Tablets on the Skin: A Systematic Review. *Adv Med. Hindawi*; 2018;2018:9242718.

³² Pall ML. Microwave frequency electromagnetic fields (EMFs) produce widespread neuropsychiatric effects including depression. *J Chem Neuroanat. Elsevier B.V.*; 2015;75:43–51.

³³ Pall ML. Wi-Fi is an important threat to human health. *Environ Res. Elsevier Inc.*; 2018;164(March):405–16. Saliev T, Begimbetova D, Masoud AR, Matkarimov B. Biological effects of non-ionizing electromagnetic fields: Two sides of a coin. *Prog Biophys Mol Biol. Elsevier Ltd*; 2018;

³⁴ Pall ML. Microwave frequency electromagnetic fields (EMFs)..., op. cit.

Pall ML. Wi-Fi is an important threat ..., op. cit.

³⁵ Bua L, Tibaldi E, Falcioni L, Lauriola M, De Angelis L, Gnudi F, et al. Results of lifespan exposure ..., op. cit.

Falcioni L, Bua L, Tibaldi E, Lauriola M, De Angelis L, Gnudi F, et al. Report of final results ..., op. cit.

³⁶ j.w.

Wyde M, Cesta M, Blystone C, Elmore S, Foster P, Hooth M, et al. Report of Partial ..., op. cit.

³⁷ Genuis SJ, Lipp CT. Electromagnetic hypersensitivity: Fact or fiction? *Sci Total Environ.* 2012;414:103–12.

Carpenter DO. The microwave syndrome or electro-hypersensitivity: Historical background. *Rev Environ Health.* 2015;30(4):217–22.

Gruber MJ, Palmquist E, Nordin S. Characteristics of perceived electromagnetic hypersensitivity in the general population. *Scand J Psychol.* 2018;59(4):422–7.

5.1. Klasyfikacja IARC

Nadal aktualną konkluzją z raportu przygotowanego dwa lata temu jest konieczność prowadzenia działań edukacyjnych mających na celu rozwijanie wiedzy społeczeństwa na temat oddziaływania PEM RF na zdrowie ludzkie. Z jednej strony pozwoli to uniknąć niepotrzebnego niepokoju, a z drugiej może zapewnić właściwe korzystanie z urządzeń stanowiących źródła takiego pola, co z kolei przełoży się na mniejszą ekspozycję obywateli na potencjalnie niekorzystne ich działanie. Na podstawie doświadczeń ostatnich dwóch lat i analizy aktualnej literatury pragniemy uwypuklić problem, który nie został właściwie podjęty w wersji raportu z 2016 roku, a który jest niezwykle ważny w kontekście potencjalnych zagrożeń związanych z obecnością PEM RF w środowisku. Problemem, który niewątpliwie należy poruszyć jest potencjalnie rakotwórcze działanie PEM RF.

„W roku 2011 Międzynarodowa Agencja do Badań nad Rakiem (International Agency for Research on Cancer – IARC) zakwalifikowała PEM o częstotliwościach radiowych do grupy 2B czynników kancerogennych”³⁸. Informacja tego typu najczęściej pojawia się niemal dokładnie w formie użytego powyżej stwierdzenia i jest przekazywana opinii publicznej, bez żadnych wyjaśnień i komentarzy. Najczęściej przez osoby ze środowisk niekoniecznie naukowych, natomiast z różnych powodów jawnie głoszących niekorzystne oddziaływanie PEM na zdrowie i życie ludzkie. Stwierdzenie takie powoduje w społeczeństwie niepotrzebny niepokój i prowadzi do wielu nieporozumień³⁹.

Osobie nie posiadającej odpowiedniej wiedzy fachowej łatwiej dokonać oceny stopnia zagrożenia chorobami nowotworowymi przez PEM, jeśli poda się przykłady innych, lepiej znanych ogółowi, czynników również zakwalifikowanych do grupy 2B. Czynników tych jest obecnie 311 i należą do nich m.in.: ekstrakt z liści aloesu, kwas kawowy, chloroform, olej napędowy, benzyna, implantowane ciała obce zawierające metaliczny nikiel (kolczyki), naftalen, piklowane warzywa, tlenek propylenu, puder do ciała na bazie talku.

Jednym z zadań jakie postawiła sobie IARC jest klasyfikacja czynników środowiskowych ze względu na prawdopodobieństwo ich kancerogennego oddziaływania na ludzi. Prawdopodobieństwo to określane jest przez panel ekspertów na podstawie literatury fachowej. I tak czynniki potencjalnie rakotwórcze podzielone zostały na pięć grup: 1, 2A, 2B, 3 i 4⁴⁰:

- Grupa 1: substancje rakotwórcze dla człowieka
- Grupa 2A: substancje prawdopodobnie rakotwórcze dla człowieka
- Grupa 2B: substancje możliwie rakotwórcze dla człowieka

³⁸ Gałdzińska-calik B, Wójcik-Piotrowicz K, Thor PJ. Electromagnetic field induced biological effects in humans. Efekty biologiczne indukowane oddziaływaniem pola elektromagnetycznego na ludzi. *Przegl Lek.* 2015;72(11):636–41.

³⁹ Wiedemann PM, Boerner FU, Repacholi MH. Do people understand IARC’s 2B categorization of RF fields from cell phones? *Bioelectromagnetics.* 2014;35(5):373–8.

⁴⁰ IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, World Health Organization., International Agency for Research on Cancer. Non-ionizing radiation. Part 2, Radiofrequency electromagnetic fields. 460 p.

- Grupa 3: substancje niemożliwe do zaklasyfikowania jako rakotwórcze dla człowieka
- Grupa 4: substancje prawdopodobnie nierakotwórcze dla człowieka.

Na pierwszy rzut oka substancje zakwalifikowane do grupy 2B, są równie niebezpieczne jak te z grupy 2A. Nieporozumienie wynika z trudności w tłumaczeniu dwóch angielskich słów użytych w definicjach określających grupę 2A i 2B. W języku angielskim obydwie grupy są zdefiniowane w sposób następujący:

“Group 2A: The agent is probably carcinogenic to humans.

Group 2B: The agent is possibly carcinogenic to humans.”

Obydwe frazy można przetłumaczyć na język polski jako “czynnik prawdopodobnie kancerogeny dla człowieka”, ponieważ w języku polskim nie istnieją słowa określające silniejsze, lub słabsze prawdopodobieństwo. Bez względu na to, jak wysokie jest prawdopodobieństwo wystąpienia zjawiska użyjemy tego samego „prawdopodobne” dodając co najwyżej np. przysłówek „mało”, „średnio” lub „wysoko”. Można śmiało przyjąć, że angielskie „possibly” oznacza w języku polskim prawdopodobieństwo raczej niskie, np. mniejsze niż 50%, podczas, gdy słowo „probably” oznacza prawdopodobieństwo raczej wysokie, np. większe niż 50%.

Klasyfikacja PEM RF do grupy 2B wynika z faktu, że IARC stoi już od siedmiu lat na stanowisku, że dowody naukowe potwierdzające kancerogeny charakter tego promieniowania są zbyt słabe. Zgodnie z preambułą IARC: *“This category (2B – dopisek autorów niniejszego raportu) is used for agents for which there is limited evidence of carcinogenicity in humans and less than sufficient evidence of carcinogenicity in experimental animals. It may also be used when there is inadequate evidence of carcinogenicity in humans but there is sufficient evidence of carcinogenicity in experimental animals. In some instances, an agent for which there is inadequate evidence of carcinogenicity in humans and less than sufficient evidence of carcinogenicity in experimental animals together with supporting evidence from mechanistic and other relevant data may be placed in this group. An agent may be classified in this category solely on the basis of strong evidence from mechanistic and other relevant data.”* [46]. Co należy przetłumaczyć następująco: *“Ta kategoria (2B – dopisek autorów niniejszego raportu) jest używana w odniesieniu do czynników, dla których dowody działania rakotwórczego u ludzi są ograniczone i istnieją mniej niż wystarczające dowody na ich rakotwórczość u zwierząt doświadczalnych. Może być również zastosowana w odniesieniu do czynników, dla których istnieją niewystarczające dowody na rakotwórczość u ludzi, ale dowody na rakotwórczość u zwierząt doświadczalnych są wystarczające. W niektórych przypadkach do grupy tej można zakwalifikować czynnik, dla którego dowody działania rakotwórczego u ludzi są niewystarczające i mniej niż wystarczające w przypadku zwierząt doświadczalnych, o ile istnieją dowody mechanistyczne, albo inne istotne dane sugerujące taką klasyfikację. Czynnik może być zaliczony do tej kategorii wyłącznie w oparciu o mocne dowody mechanistyczne oraz inne istotne dane.”* Pojęcie „dowody mechanistyczne” należy rozumieć, jako wynikające wprost z praw nauk podstawowych np. fizyki, fizjologii, biochemii, biofizyki itd.

Klasyfikacja IARC określa na podstawie analizy doniesień naukowych prawdopodobieństwo, że konkretny czynnik może być rakotwórczy, ale nie określa w jakim stopniu/stężeniu/natężeniu/dawce, czy okolicznościach może następować jego kancerogenne oddziaływanie.

Fakt, że definicja grupy 2B określa, iż dowody naukowe na kancerogenny charakter PEM RF są niewystarczające jest jednym z powodów dla których temat ich oddziaływania na zdrowie ludzkie jest bardzo aktualny w badaniach. W okresie ostatnich kilku lat przeprowadzone zostały dwa eksperymenty mające na celu dostarczenie mocnych dowodów na kancerogenny charakter oddziaływania PEM RF na zwierzęta doświadczalne. Zamierzeniem pomysłodawców obydwu badań jest potwierdzenie obecnej klasyfikacji IARC, lub też jej aktualizacja.

Jednym z projektów jest eksperyment prowadzony od roku 2005 przez Instytut im. Bernadino Ramazzini będący częścią włoskiego Centrum Badań nad Rakiem im. Cesare Maltoni. Instytut Ramazzini zajmuje się określaniem toksyczności różnego rodzaju czynników chemicznych i niekiedy fizycznych. Instytucja ta ma długoletnie doświadczenie i jest uznanym autorytetem pod tym względem. Eksperyment dotyczy długookresowego oddziaływania PEM RF na zwierzęta doświadczalne (szczury). Wstępne wyniki badań opublikowano w bieżącym roku.

Drugim projektem jest badanie wpływu promieniowania emitowanego przez urządzenia telefonii komórkowej prowadzone na modelach zwierzęcych (myszy i szczury) w Stanach Zjednoczonych w ramach Narodowego Programu Toksykologicznego (National Toxicology Program – NTP). NTP jest amerykańskim federalnym i międzyresortowym programem mającym na celu identyfikację zagrożeń środowiskowych, które mogą mieć wpływ na zdrowie ludzkie. NTP podlega bezpośrednio National Institute of Environmental Health Sciences, który z kolei stanowi część National Institutes of Health. Projekt został zlecony przez Amerykańską Agencję Żywności i Leków (Food and Drug Administration – FDA). W roku 2016 NTP opublikował wstępny raport ze swoich badań, jego ostatnia aktualizacja miała miejsce w lutym 2018 roku, a w najbliższym czasie spodziewany jest ostateczny raport z badań.

5.2. Eksperyment Instytutu Ramazzini

Przeprowadzony eksperyment został zaplanowany jako długoterminowe doświadczenie z wykorzystaniem szczurów rasy Sprague-Dawley i polegał na badaniu skutków ekspozycji zwierząt laboratoryjnych PEM RF podobnym do tego, jakie emitują stacje bazowe telefonii komórkowej pracujące w systemie GSM (Global System for Mobile Communications) z wykorzystaniem częstotliwości 1800 MHz⁴¹. Szczury były poddane ekspozycji praktycznie od momentu poczęcia do ich naturalnej śmierci. Populację podzielono na cztery grupy. Grupę kontrolną (ok. 800 osobników obojga płci) i trzy grupy poddawane działaniu PEM RF charakteryzowanych różnymi wartościami natężenia pola elektrycznego: 5 V/m (800 osobników obojga płci), 25 V/m i 50 V/m. Grupy poddawane działaniu pola o największym natężeniu liczyły po około 400 zwierząt obojga płci. Łączna liczba zwierząt biorąca udział w eksperymencie była

⁴¹ Falcioni L, Bua L, Tibaldi E, Lauriola M, De Angelis L, Gnudi F, et al. Report of final results ..., op. cit.

naprawdę imponująca i wynosiła 2448. Zastosowanym natężeniom pola elektrycznego odpowiadały wartości SAR na poziomie odpowiednio $\sim 0,001$ W/kg, $\sim 0,03$ W/kg i $\sim 0,1$ W/kg. Eksperyment odbywał się w ekranowanych pomieszczeniach mających na celu eliminację wpływu pól zewnętrznych i zapewnienie jednorodności stosowanego pola. Zwierzęta były poddawane ekspozycji na pole przez 19 godzin dziennie. Należy podkreślić, że wartości natężenia pola elektrycznego jakie stosowano w grupach narażonych na działanie najsilniejszego pola wielokrotnie przekraczały wartość dopuszczalną w środowisku obowiązującą w naszym kraju, która wynosi 7 V/m^{42} .

Po naturalnej śmierci, tkanki zwierząt były poddawane analizie w kierunku obecności zmian nowotworowych różnego rodzaju. Pełne wyniki eksperymentu są spodziewane w przyszłości, natomiast w pierwszej połowie bieżącego roku opublikowano wyniki dotyczące dwóch rodzajów nowotworów: schwannomy serca (nerwiak osłonowy) i nowotworów mózgu. Analizowano stany pre-neoplastyczne (łagodny przerost komórek) i neoplastyczne (nowotwór). W opisie wyników autorzy twierdzą, że uzyskali znaczący statystycznie wzrost przypadków schwannomy serca u szczurów płci męskiej poddawanych działaniu pola o natężeniu 50 V/m . Ponadto stwierdzono zwiększoną częstotliwość występowania hiperplazji komórek Schwanna w sercu osobników obojga płci dla najwyższego natężenia pola elektrycznego (50 V/m), ale różnice pomiędzy grupami kontrolnymi i badanymi nie były istotne statystycznie. Podobnie zaobserwowano wzrost częstotliwości wystąpienia glejaków u szczurów płci żeńskiej przy natężeniu pola równym 50 V/m , ale wzrost ten nie był istotny statystycznie. Autorzy niejasno opisują procedury statystyczne stosowane do oceny wyników. Twierdzą, że do podkreślenia możliwych różnic pomiędzy grupami kontrolnymi i grupami poddawanych działaniu pola stosowano test chi-kwadrat i test Fishera. Stosowany poziom istotności wynosił $0,05$.

Do poważnych wątpliwości co do jakości uzyskanych wyników prowadzić może uważna analiza danych zamieszczonych przez autorów pracy. W przypadku schwannomy serca u osobników płci męskiej zaobserwowano zero przypadków w grupie kontrolnej liczącej ~ 400 osobników i trzy w grupie poddanej działaniu pola 50 V/m liczącej ~ 200 osobników. Pomimo pozytywnego wyniku testu istotności, różnice te mogą być efektem losowym. Jak piszą autorzy w swojej pracy, historyczne dane będące w posiadaniu Instytutu Ramazzini pozwalają szacować częstotliwość przypadków schwannomy u samców szczurów rasy Sprague-Dawley na $0,6\%$. Spośród 3165 zwierząt z różnych grup kontrolnych w różnych eksperymentach przeprowadzanych w latach 1984-2004 przypadki schwannomy zaobserwowano 19 razy⁴³. Średnio powinno się zaobserwować 2-3 (dokładnie 2,4) przypadków w grupie 400 osobników i 1-2 (dokładnie 1,2) przypadki w grupie 200 osobników. Ale ponieważ są to żywe i złożone organizmy reguły prostej statystyki zawodzą. Pomędzy równolicznymi grupami mogą występować różnice w liczbie obserwowanych przypadków. W kontrolnej grupie 400 osobników mniej więcej z równym prawdopodobieństwem można zaobserwować zero jak i 5 przypadków. Daje to

⁴² Gałdzińska-calik B, Wójcik-piotrowicz K, Thor PJ. Electromagnetic field ..., op.cit.

⁴³ Falcioni L, Bua L, Tibaldi E, Lauriola M, De Angelis L, Gnudi F, et al. Report of final results ..., op.cit.

nadal średnią zbliżoną do 2,4. Dostarczone przez autorów pracy dane nie pozwalają stwierdzić, czy w przypadku większej liczby obserwacji schwannomy w grupie kontrolnej samców szczurów (np. o jeden przypadek) statystyczna istotność różnic pomiędzy grupą badaną i kontrolną będzie nadal zachowana. Wydaje się, że nie będzie.

Świetnym potwierdzeniem takiego przypuszczenia jest analiza przypadków hiperplazji komórek Schwanna u szczurów płci męskiej. W grupie kontrolnej zaobserwowano 3 przypadki, a w grupie poddawanej działaniu pola o największym natężeniu 5 przypadków. Obserwowane tutaj różnice nie są istotne statystycznie.

Podobnie jest w przypadku całkowitej liczby zaobserwowanych przypadków schwannomy dla samic. W grupie kontrolnej (około 400 sztuk) zaobserwowano 4 przypadki, podczas, gdy w tak samo licznej grupie poddawanej działaniu pola 5 V/m (czyli najniższemu z badanych) zaobserwowano ich 9 (oraz 1 i 2 odpowiednio dla pól 25 V/m i 50 V/m, ale przy o połowę mniej licznych grupach). Autorzy nie wspominają, czy wynik dla samic w polu 5 V/m jest istotnie różny od wyniku dla grupy kontrolnej, ale przypuszczalnie nie jest, skoro nie podano takiej informacji. Wynik uzyskany dla częstotliwości wystąpienia schwannomy u samic jest dodatkowo kłopotliwy, gdyż w tym przypadku nie obserwuje się spodziewanej zależności „natężenie pola – liczba przypadków schwannomy”. Podsumujmy jeszcze raz za autorami pracy: grupa kontrolna – 4 przypadki, natężenie pola 5 V/m – 9 przypadków, natężenie pola 25 V/m – 1 przypadek i natężenie pola 50 V/m – 2 przypadki. Oczywiście nie jest ścisłą regułą, że liczba przypadków zawsze rośnie z parametrem określającym intensywność badanego czynnika, ale obecność monotonicznego zachowania jest mocnym dowodem na istnienie zależności przyczynowo-skutkowej pomiędzy obecnością czynnika i liczbą obserwowanych przypadków.

Analizując wyniki zamieszczone przez autorów można mieć wątpliwości co do istotności dostarczonych dowodów, mimo tego autorzy konkludują, że są one na tyle mocne, żeby skłonić IARC do weryfikacji klasyfikacji PEM RF. Przy czym wydaje się, że autorzy zdają sobie sprawę, że uzyskane przez nich statystyki są mało przekonujące, popierają raczej swoją argumentację faktem, że obserwacje podobne do ich spostrzeżeń poczyniono w eksperymencie NTP.

5.3. Eksperyment w ramach National Toxicology Program

Program ma na celu badanie długoterminowego wpływu PEM RF na myszy i szczury. Omawiany raport jest raportem częściowym opublikowanym w połowie roku 2016, dotyczy oddziaływania PEM RF jedynie na szczury i koncentruje się na zmianach w sercu i w mózgu⁴⁴.

W badaniach wykorzystano dwa systemy transmisji stosowane w amerykańskiej telefonii komórkowej: CDMA (Code Division Multiple Access) i GSM o częstotliwości 900 MHz w przypadku szczurów natomiast w przypadku myszy stosowano częstotliwość 1900 MHz. Eksperyment był prowadzony w komorze bezechowej.

⁴⁴ Wyde M, Cesta M, Blystone C, Elmore S, Foster P, Hooth M, et al. Report of Partial findings ..., op. cit.

W eksperymencie NTP wykorzystywano szczury rasy Sprague-Dawley obojga płci. Grupy kontrolne i grupy badane liczyły po 90 osobników. Grupy badane były poddawane działaniu pola praktycznie w okresie od poczęcia do eutanazji w 106-tym tygodniu życia. Zwierzęta były poddawane działaniu pola przez 18 godzin dziennie w formie 10-cio minutowych ekspozycji przeplatanych 10-cio minutowymi przerwami (ekspozycja trwała łącznie 9 godzin). Poza grupą kontrolną badano trzy grupy szczurów poddawane działaniu PEM RF o takim natężeniu, aby SAR wynosiło odpowiednio 1,5 W/kg, 3 W/kg oraz 6 W/kg w przeliczeniu na całe ciało. W celu uzyskania takiego założenia natężenie pola było regulowane odpowiednio do masy ciała zwierząt. Należy zwrócić uwagę, że SAR w przypadku każdej z grup przewyższał poziom uważany za dolną granicę oddziaływań termicznych dla człowieka⁴⁵.

Proces ewaluacji wyników i tworzenia ostatecznej wersji raportu jest przeprowadzany przez NTP bardzo rzetelnie. Każdy etap tworzenia raportu jest szczegółowo dokumentowany i podawany do publicznej wiadomości. W omawianym dokumencie⁴⁶ poza samym merytorycznym opisem eksperymentu i jego wyników autorzy zamieszczają wyniki dwuetapowej wstępnej oceny wraz z komentarzami recenzentów. Przed ostateczną publikacją pełnych wyników będzie miała miejsce kolejna analiza ostatecznej formy pracy przez zespół niezależnych recenzentów. Żadne wyniki z eksperymentu NTP nie zostały jeszcze formalnie opublikowane w ostatecznej formie. Wykonawcy planują opublikowanie czterech prac dotyczących różnych aspektów przeprowadzonych badań.

Nie zaobserwowano żadnego znaczącego wpływu ekspozycji GSM 900 MHz w badanych populacjach jeśli chodzi o nowotwory mózgu. Można obserwować jedynie pewien wzrost zachorowań w przypadku zastosowania ekspozycji CDMA. Bardzo podobne wyniki co do liczebności przypadków są obserwowane dla glejaków u samców i samic poddawanych działaniu PEM RF sygnałem CDMA:

Samce:	0 W/kg 0	1,5 W/kg 0	3 W/kg 0	6 W/kg 3
Samice:	0 W/kg 0	1,5 W/kg 3	3 W/kg 0	6 W/kg 0

Autorzy twierdzą, że różnice pomiędzy grupami są nieznaczące statystycznie, ale że widać pozytywny, znaczący statystycznie trend dla samców. Należy zwrócić uwagę, że takie wnioski są wyciągane przy takiej samej amplitudzie fluktuacji liczby przypadków (3), tyle, że w przypadku samców skok jest na końcu badanego zakresu ekspozycji, a u samic skok obserwowany jest w środku zakresu ekspozycji. Tymczasem intuicja podpowiada, że w tym przypadku wzrost u samic dla 1,5 W/kg jest bardziej znaczący niż wzrost u samców dla 6 W/kg. Wynika

⁴⁵ Gherardini L, Ciuti G, Tognarelli S, Cinti C. Searching for the perfect wave: The effect of radiofrequency electromagnetic fields on cells. *Int J Mol Sci*. 2014;15(4):5366–87.

Mortazavi SAR, Tavakkoli-Golpayegani A, Haghani M, Mortazavi SMJ. Looking at the other side of the coin: the search for possible biopositive cognitive effects of the exposure to 900 MHz GSM mobile phone radiofrequency radiation. *J Environ Heal Sci Eng*. 2014;12:75.

ICNIRP. ICNIRP NOTE ON RECENT ANIMAL CARCINOGENESIS STUDIES [Internet]. NOTE. 2018 [cited 2018 Nov 16]. p. 1–8. Available from: <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPnote2018.pdf>

⁴⁶ Wyde M, Cesta M, Blystone C, Elmore S, Foster P, Hooth M, et al. Report of Partial findings .., op. cit.

to z faktu, że historyczne dane NTP pokazują, że u samic obserwuje się znacząco mniej tego typu zmian (0,18% zakres 0 ÷ 2%) niż u samców (2% zakres 0 ÷ 8%). Drobna fluktuacja liczby przypadków w grupie kontrolnej spowodowana większą i naturalną podatnością samców na tego typu zmiany zniszczyłaby łatwo istotność statystyczną trendu. Podobne zarzuty zresztą stawiają wykonawcom eksperymentu recenzenci.

W przypadku schwannomy serca zaobserwowano pozytywny istotny statystycznie trend dla osobników płci męskiej w przypadku obydwu rodzajów modulacji. Według tej tezy wartość SAR dodatnio koreluje z liczbą obserwowanych w populacji zmian. Uzyskano następujące wyniki:

GSM:	0 W/kg 0	1,5 W/kg 2	3 W/kg 1	6 W/kg 5
CDMA:	0 W/kg 0	1,5 W/kg 2	3 W/kg 3	6 W/kg 6

Wydaje się, że twierdzenie o istotności statystycznej trendu w tym przypadku jest bardziej uzasadnione niż w przypadku glejaków, zwłaszcza w przypadku zastosowania sygnałów CDMA. Stwierdzono dodatkowo, że w przypadku sygnałów CDMA przy ich najwyższej ekspozycji liczba przypadków schwannomy (6) znacząco różni się od liczebności grupy kontrolnej (0). Natomiast wzrost w przypadku grupy poddawanej działaniu modulacji GSM nie jest statystycznie istotny.

Krytyczne podejście do uzyskanych wyników każe zwrócić uwagę na fakt, że w każdym z omawianych wyżej przypadków w grupach kontrolnych nie zaobserwowano żadnych przypadków glejaków i schwannom. Tymczasem historyczne dane prezentowane przez autorów raportu określają częstotliwość pojawiania się schwannomy u samców szczurów na 1,3% (zakres 0 ÷ 6%). Podobnie jak w przypadku wyników eksperymentu Instytutu Ramazzini można zadać pytanie, czy istotność statystyczna została zachowana, gdyby w grupie kontrolnej zaobserwowano jeden lub dwa przypadki zmian. Jeden z recenzentów pokusił się o takie obliczenia i okazało się, że wnioski o istotności statystycznej nie mogłyby być podtrzymane.

Dodatkowy zarzut wiąże się z zaobserwowaną obniżoną przeżywalnością zwierząt w grupie kontrolnej samców. Trend ten jest bardzo wyraźnie widoczny i zwrócił uwagę recenzentów. Autorzy badań nie są w stanie wyjaśnić tego zjawiska, a może to wskazywać na błędy w metodologii badań. Obniżona przeżywalność w grupie kontrolnej może być poważnym problemem, który zaważy na wynikach całego eksperymentu. Zmiany nowotworowe badane przez wykonawców są zmianami charakterystycznymi dla zaawansowanego wieku zarówno u ludzi, jak i u zwierząt doświadczalnych. U ludzi 80% nowotworów pojawia się po 65-tym roku życia. 10 lat ludzkich odpowiada około 16-tu tygodniom życia szczura. Można na tej podstawie oszacować, że 80% nowotworów u szczurów powinno się pojawić w wieku powyżej 104 tygodni. Biorąc to pod uwagę można spekulować, że niższa przeżywalność grupy kontrolnej może być przyczyną braku obserwacji glejaków i schwannom w tej grupie, a to przekłada się na wiarygodność wysuniętych wniosków.

Założenie, że zwierzęta zaangażowane w doświadczenie były poddawane eutanazji w wieku 106 tygodni może stanowić poważny błąd metodologiczny. Zwierzęta poddawano eutanazji tuż przed okresem ich życia, w którym liczba obserwowanych zachorowań powinna znacząco wzrosnąć.

Ponieważ autorzy raportu nadal nie opublikowali ostatecznej jego formy, a procedura jaka jest przyjęta w NTP w procesie przygotowania tego typu dokumentów zakłada wieloetapowy proces recenzowania trudno się wypowiedzieć w chwili obecnej jednoznacznie o istotności uzyskanych wyników. Być może autorzy w ostatecznej wersji będą w stanie odeprzeć, albo uwzględnić uwagi recenzentów. W chwili obecnej trudno wyrokować jednoznacznie, czy dostarczone w eksperymencie NTP dane doprowadzą do zmiany kwalifikacji IARC.

5.4. INCIRP NOTE

Wnioski podobne do opisanych w dwóch poprzednich rozdziałach wyciągnęli eksperci ICNIRP. W nocie opublikowanej przez ICNIRP we wrześniu 2018 roku⁴⁷ można znaleźć szczegółowe wyjaśnienia dlaczego wyniki badań NTP⁴⁸ i Instytutu Ramazzini⁴⁹ nie mogą być podstawą do rewizji obowiązujących obecnie zaleceń co do dopuszczalnych poziomów ekspozycji na PEM RF. Wskazano liczne błędy metodyczne popełnione w obydwu przypadkach i zwrócono uwagę na niespójność wyników uzyskanych przez obydwie grupy, przy braku wyników innych podobnych eksperymentów.

Oczywiście w przypadku tematów tak kontrowersyjnych jak wpływ PEM RF na zdrowie człowieka dyskusja odbywa się wielopłaszczyznowo i nie zawsze decydują merytoryczne i naukowe argumenty. Ekspertom ICNIRP można zarzucić brak bezstronności i konflikt interesów podobnie, jak to ma miejsce w przypadku ekspertów Światowej Organizacji Zdrowia (WHO – World Health Organization), którym Hardell w swoim artykule⁵⁰ zarzuca właśnie konflikt interesów wynikający z przynależności do ICNIRP. W odczuciu autorów niniejszego opracowania podnoszenie tego typu argumentów jest niewłaściwe, a dyskusja powinna się ograniczać do zagadnień naukowych i merytorycznych. Z tego też powodu nie analizujemy tutaj źródeł finansowania eksperymentów Ramazzini i NTP.

6. Analiza aktualnej literatury naukowej

Przeprowadzono wyszukiwanie aktualnej literatury dotyczącej oddziaływania PEM na zdrowie człowieka. W tym celu w bazie danych MEDLINE – PubMed zdefiniowano kwerendę. Wyszukiwano skrót „RF EMF” w zakresie dat od maja 2016 roku do chwili obecnej. Prace zgromadzone w wyniku działania kwerendy (86) zostały poddane analizie. Prace istotne z punktu widzenia oddziaływania PEM RF na zdrowie zostaną omówione w niniejszym rozdziale.

⁴⁷ ICNIRP. ICNIRP NOTE ON RECENT ANIMAL CARCINOGENESIS STUDIES [Internet] ..., op. cit.

⁴⁸ Wyde M, Cesta M, Blystone C, Elmore S, Foster P, Hooth M, et al. Report of Partial findings ..., op. cit.

⁴⁹ Falcioni L, Bua L, Tibaldi E, Lauriola M, De Angelis L, Gnudi F, et al. Report of final results regarding ..., op.cit.

⁵⁰ Hardell L. World health organization, radiofrequency radiation and health - A hard nut to crack (Review). *Int J Oncol.* 2017;51(2):405–13.

6.1. Badania wpływu PEM RF na centralny układ nerwowy

W ostatnich latach pojawiły się doniesienia dwóch szczególnie aktywnych grup naukowców w Korei Południowej, którzy zajmują się wpływem PEM RF na centralny układ nerwowy (CUN). Pierwsza z nich opublikowała serię prac o oddziaływaniu PEM RF o częstotliwości 835 MHz⁵¹. Grupa kierowana przez H.R. Kima badała różne aspekty oddziaływania PEM RF z zastosowaniem modelu zwierzęcego. Badania dotyczyły oddziaływań PEM na komórki mózgu i komórkowe mechanizmy regulacyjne.

Naukowcy poddawali ekspozycji na pole elektromagnetyczne myszy C57BL/6 uzyskując SAR na poziomie 4 W/kg. W następstwie ekspozycji stwierdzono zaburzenia intensywności autofagii w hipokampie przy braku takiego efektu w komórkach macierzystych mózgu badanych zwierząt. Zdaniem naukowców może to sugerować, że jednym z mechanizmów adaptacji CUN do ekspozycji jest degradacja autofagii⁵². Koreańscy naukowcy stwierdzili ponadto obniżenie gęstości pęcherzyków synaptycznych przechowujących neurotransmitery w neuronach korowych⁵³. Zmniejszyła się również ekspresja niektórych białek w tego typu neuronach. Zaobserwowano spowolnienie apoptozy neuronów hipokampu⁵⁴ i spowolnienie ekspresji kanałów wapniowych, co prowadzi do zaburzeń homeostazy wapnia. W ostatniej ze wspomnianych prac⁵⁵ opisano uszkodzenia osłonek mielinowych i w konsekwencji hiperaktywność badanych zwierząt.

Wyniki sugerują negatywny wpływ PEM o częstotliwości 835 MHz na korę mózgu, czyli najbardziej zewnętrzną warstwę tkanek, najbardziej narażoną na ekspozycję. Naukowcy nie tłumaczą szczegółowo mechanizmów zaobserwowanych efektów. Należy zwrócić uwagę, że zastosowano pole elektromagnetyczne o gęstości mocy, przy których osiągnięty SAR był na poziomie wyższym, niż wartość uważana za granicę oddziaływań termicznych.

⁵¹ Kim JH, Yu DH, Kim HJ, Huh YH, Cho SW, Lee JK, et al. Exposure to 835 MHz radiofrequency electromagnetic field induces autophagy in hippocampus but not in brain stem of mice. *Toxicol Ind Health*. 2018;34(1):23–35.

Kim JH, Yu DH, Kim HR. Activation of autophagy at cerebral cortex and apoptosis at brainstem are differential responses to 835 MHz RF-EMF exposure. *Korean J Physiol Pharmacol*. 2017;21(2):179–88.

Kim JH, Kim HJ, Yu DH, Kweon HS, Huh YH, Kim HR. Changes in numbers and size of synaptic vesicles of cortical neurons induced by exposure to 835 MHz radiofrequency-electromagnetic field. *PLoS One*. 2017;12(10):1–12.

Kim JH, Sohn UD, Kim HG, Kim HR. Exposure to 835 MHz RF-EMF decreases the expression of calcium channels, inhibits apoptosis, but induces autophagy in the mouse hippocampus. *Korean J Physiol Pharmacol*. 2018;22(3):277–89.

Kim JH, Yu DH, Huh YH, Lee EH, Kim HG, Kim HR. Long-term exposure to 835 MHz RF-EMF induces hyperactivity, autophagy and demyelination in the cortical neurons of mice. *Sci Rep*. Nature Publishing Group; 2017;7(July 2016):1–12.

⁵² Kim JH, Yu DH, Kim HJ, Huh YH, Cho SW, Lee JK, et al. Exposure ..., op. cit.

Kim JH, Yu DH, Kim HR. Activation of autophagy ..., op. cit.

⁵³ Kim JH, Kim HJ, Yu DH, Kweon HS, Huh YH, Kim HR. Changes in numbers ..., op. cit.

⁵⁴ j.w.

Kim JH, Sohn UD, Kim HG, Kim HR. Exposure to 835 MHz RF-EMF decreases ..., op. cit.

⁵⁵ Kim JH, Yu DH, Huh YH, Lee EH, Kim HG, Kim HR. Long-term exposure ..., op. cit.

Druga grupa kierowana przez H. J. Lee badała wpływ PEM o częstotliwościach 1950 MHz na mózg. Podobnie jak w przypadku prac omawianych wyżej stosowano ten sam model zwierzęcy (myszy C57BL/6). Osiągano SAR na poziomie 5 W/kg. W serii prac publikowanych w latach 2016-2018⁵⁶ nie stwierdzono podwyższenia poziomu stresu oksydacyjnego, uszkodzeń DNA, czy też zwiększonej apoptozy komórek nerwowych⁵⁷. Nie stwierdzono zaburzeń behawioralnych i zaburzeń pamięci⁵⁸, sugeruje się nawet korzystne działanie pola w niektórych chorobach neurodegeneracyjnych⁵⁹.

Zestawienie prac obydwu koreańskich grup obrazuje jasno niespójność uzyskiwanych wniosków w badaniach o bardzo zbliżonej tematyce, chociaż niespójność ta może wynikać z różnych zakresów zastosowanych częstotliwości.

6.2. Nadwrażliwość elektromagnetyczna

Jednym z tematów pojawiających się w publikacjach naukowych w ostatnich dwóch latach jest problem nadwrażliwości elektromagnetycznej (EHS)⁶⁰. Często używa się również określenia (tłumacząc wprost z angielskiego) zespół idiopatycznej nietolerancji środowiskowej powiązanej z oddziaływaniem pól elektromagnetycznych (IEI EMF – Idiopathic Environmental Intolerance attributed to Electromagnetic Fields).

W stosunku do osób, które zgłaszają objawy związane z oddziaływaniem pól elektromagnetycznych na ich organizmy, często odnosi się w literaturze fachowej określenie „osoby samookreślające się jako nadwrażliwe”, albo „osoby samozgłaszające objawy”⁶¹. W wielu pracach wykazano brak powiązania pomiędzy symptomami zgłaszanymi przez osoby nadwrażliwe a realną ekspozycją na pola⁶². Wydaje się, że objawy są bardziej związane z postrzeganiem zagrożenia ekspozycją.

⁵⁶ Jeong YJ, Son Y, Han NK, Choi H Do, Pack JK, Kim N, et al. Impact of long-term RF-EMF on oxidative stress and neuroinflammation in aging brains of C57BL/6 mice. *Int J Mol Sci.* 2018;19(7).

Son Y, Jeong YJ, Kwon JH, Choi H Do, Pack JK, Kim N, et al. 1950 MHz radiofrequency electromagnetic fields do not aggravate memory deficits in 5xFAD mice. *Bioelectromagnetics.* 2016;37(6):391–9.

Son Y, Kim JS, Jeong YJ, Jeong YK, Kwon JH, Choi H Do, et al. Long-term RF exposure on behavior and cerebral glucose metabolism in 5xFAD mice. *Neurosci Lett. Elsevier;* 2018;666(October 2017):64–9.

⁵⁷ Jeong YJ, Son Y, Han NK, Choi H Do, Pack JK, Kim N, et al. Impact of long-term RF-EMF ..., op. cit.

⁵⁸ Son Y, Jeong YJ, Kwon JH, Choi H Do, Pack JK, Kim N, et al. 1950 MHz ..., op. cit.

⁵⁹ Son Y, Kim JS, Jeong YJ, Jeong YK, Kwon JH, Choi H Do, et al. Long-term RF exposure ..., op. cit.

⁶⁰ Gruber MJ, Palmquist E, Nordin S. Characteristics of perceived ..., op. cit.

van Moorselaar I, Slottje P, Heller P, van Strien R, Kromhout H, Murbach M, et al. Effects of personalised ..., op. cit.

Slottje P, van Moorselaar I, van Strien R, Vermeulen R, Kromhout H, Huss A. Electromagnetic hypersensitivity (EHS) ..., op. cit.

Bogers RP, van Gils A, Clahsen SCS, Vercrujssse W, van Kamp I, Baliatsas C, et al. Individual variation ..., op. cit.

⁶¹ Gruber MJ, Palmquist E, Nordin S. Characteristics of perceived electromagnetic ..., op. cit.

Mortazavi SAR, Tavakkoli-Golpayegani A, Haghani M, Mortazavi SMJ. Looking at the other side ..., op. cit.

⁶² Verrender A, Loughran SP, Anderson V, Hillert L, Rubin GJ, Oftedal G, et al. IEI-EMF provocation ..., op. cit.

Na szczególną uwagę zasługuje praca van Moorselaar i wsp.⁶³ opublikowana w prestiżowym Environmental International (IF = 7.32). W pracy tej autorzy publikują wyniki projektu, który miał na celu sprawdzenie, czy osoby uważające się za elektrowrażliwe, są w stanie odczuwać działanie pól elektromagnetycznych w kontrolowanych warunkach w podwójnie ślepej próbie. Planując swój eksperyment autorzy starali się wyeliminować te aspekty ich poprzednich badań, które spotkały się z krytyką. Testy wykonywano w warunkach domowych, aby wyeliminować stres związany z podróżą osób badanych do laboratorium wyposażonego w komorę bezchową i samym badaniem przeprowadzanym w obcym dla badanego środowisku. Również warunki ekspozycji dobierano do tych, jakie zdaniem osób badanych wywołują ich dolegliwości. Zbadano 42 osoby uważające się za elektrowrażliwe i nie stwierdzono, aby były one w stanie odróżnić warunki prawdziwej ekspozycji od ekspozycji symulowanej.

Autorzy kolejnej pracy⁶⁴ poruszają problem częstotliwości występowania EHS. Skalę zjawiska próbuje się szacować na podstawie badania opinii osób zawodowo związanych z ochroną zdrowia, które stykają się w swojej praktyce z osobami nadwrażliwymi. Szacuje się, że 68 ÷ 75% osób zawodowo związanych z ochroną zdrowia w Europie zetknęło się z pacjentami wiążącymi swoje dolegliwości z oddziaływaniem PEM. Autorzy skoncentrowali się na badaniach społeczeństwa holenderskiego i przeprowadzili badania ankietowe wśród higienistów i lekarzy. Wyniki pokazują, że około 1/3 ankietowanych miało do czynienia z osobami nadwrażliwymi. Wielu z ankietowanych uważa do pewnego stopnia za prawdopodobne, że istnieje związek przyczynowo-skutkowy pomiędzy objawami zgłaszanymi przez pacjentów, a ekspozycją na pole elektromagnetyczne. Często zalecają swoim pacjentom redukcję ekspozycji. Ankietowani w większości narzekają na brak rzetelnych informacji o związkach PEM ze zdrowiem.

Podjęto próby charakteryzowania populacji osób elektrowrażliwych. Przykładowo autorzy pracy⁶⁵ określają osoby wrażliwe jako najczęściej kobiety w średnim wieku, określające swój stan zdrowia jako nienajlepszy. Symptomy występują u 50% populacji przynajmniej raz w tygodniu, a elektrowrażliwość jest konsekwencją jednorazowej ekspozycji na pola o wysokiej gęstości mocy, albo długotrwałej ekspozycji. Wnioski te wyciągnięto na podstawie badań ankietowych losowo wybranej populacji 3341 osób. 91 z całej tej liczby określiło się jako osoby elektrowrażliwe. Wyniki powyższe mogą sugerować odsetek osób elektrowrażliwych w społeczeństwie na poziomie ok. 3%.

Ciekawe wyniki zaprezentował zespół Bogers i wsp.⁶⁶. Autorzy zaproponowali nowe podejście do badania nadwrażliwości elektromagnetycznej. Podjęto próbę korelowania rzeczywi-

⁶³ van Moorselaar I, Slottje P, Heller P, van Strien R, Kromhout H, Murbach M, et al. Effects of personalised exposure ..., op. cit.

⁶⁴ Slottje P, van Moorselaar I, van Strien R, Vermeulen R, Kromhout H, Huss A. Electromagnetic hypersensitivity (EHS) ..., op. cit.

⁶⁵ Gruber MJ, Palmquist E, Nordin S. Characteristics of perceived electromagnetic hypersensitivity ..., op. cit.

⁶⁶ Bogers RP, van Gils A, Clahsen SCS, Vercrujjsse W, van Kamp I, Baliatsas C, et al. Individual variation ..., op. cit.

stych, zmiennych czasowo ekspozycji z objawami. Osoby badane wyposażono w indywidualne ekspozymetry i elektroniczne notesy, w których osoby badane notowały odczuwane symptomy. Korelowano obecność maksimum ekspozycji ponad określony próg i szybkość zmian ekspozycji z objawami obserwowanymi u siebie przez osoby badane. Z siedmiu osób badanych tą metodą korelacje pomiędzy ekspozycją i objawami zaobserwowano u czterech, ale u dwóch korelacja była dodatnia, a u dwóch ujemna (tzn. że parametrom związanym z wyższą ekspozycją towarzyszyło obniżenie częstości objawów). Nie zaobserwowano żadnej korelacji pomiędzy występowaniem symptomów, a uśrednioną w czasie gęstością mocy, która w tego typu badaniach wykorzystywana jest najczęściej jako miara wielkości ekspozycji.

6.3. Efekt nocebo

Działanie każdego czynnika fizycznego na organizm żywy odbywa się na trzech poziomach: fizycznym, chemicznym i biologicznym. Oddziaływanie czynnika fizycznego (np. promieniowanie jonizujące) zmienia stany energetyczne atomów i molekuł wchodzących w skład struktur biologicznych na bazie takich samych praw jakie obowiązują w przypadku oddziaływania z materią nieożywioną (np. prawo absorpcji). To z kolei prowadzi do przemian chemicznych (poziom chemiczny), które mogą mieć wpływ na komórki, tkanki, organy i układy organizmu żywego (poziom biologiczny). Wykazanie związków przyczynowo-skutkowych oddziaływań na każdym z tych poziomów pozwala jednoznacznie stwierdzić pozytywne, czy też negatywne skutki oddziaływania konkretnych czynników fizycznych. Tak jest w przypadku oddziaływań PEM w zakresach termicznych, gdy gęstość mocy promieniowania jest na tyle duża, że można obserwować nagrzewanie się tkanek do poziomów, które nie mogą być rekompensowane poprzez mechanizmy termoregulacji funkcjonujące w żywych organizmach. Jak już wspomniano wcześniej jest to podstawą do określania wartości dopuszczalnych, pozwalających chronić ludność przed niekorzystnym oddziaływaniem PEM RF na organizm człowieka. W przypadku PEM RF, żadne inne mechanizmy poza oddziaływaniem termicznym nie są znane, a te postulowane przez niektórych badaczy nie zostały potwierdzone⁶⁷.

Wobec braku wiarygodnych dowodów na oddziaływania nietermiczne na poziomie fizycznym wydawać by się mogło, że łatwo poddać w wątpliwość również efekty chemiczne i biologiczne związane z tym zakresem gęstości mocy PEM RF. Tym czasem organizmy wyższe, w tym w szczególności organizm człowieka, są na tyle skomplikowanymi układami, że niekiedy są obserwowane w nich efekty biologiczne bez obecności fizycznego bodźca. Znanymi i szeroko opisanymi w medycynie zjawiskami są efekty placebo i nocebo. Polegają one na tym, że sugestia pozytywnego (placebo), lub negatywnego (nocebo) oddziaływania czynnika fizyko-chemicznego poprzez wpływ na psychikę wywołuje konkretne i niekiedy nawet mierzalne objawy.

⁶⁷ Gherardini L, Ciuti G, Tognarelli S, Cinti C. Searching for the perfect wave: The effect of radiofrequency ..., op. cit.

Z tego powodu temat EHS w literaturze nierozzerwanie jest związany z efektem nocebo. Efekt ten jest jedną z proponowanych hipotez oddziaływania PEM na człowieka. W ostatnim okresie pojawiło się więcej prac na ten temat niż w okresie, gdy tworzona była pierwotna wersja niniejszego raportu.

Gdy założymy, że ta hipoteza jest prawdziwa, to od razu jasnym się staje bezwzględna konieczność rzetelnego informowania społeczeństwa o oddziaływaniach pól na zdrowie człowieka i jego środowisko⁶⁸. Niewłaściwa informacja może wywołać u wielu ludzi konkretne szkody zdrowotne.

Teoria efektu nocebo w oddziaływaniach PEM na zdrowie człowieka często wiązana jest z EHS, gdyż dolegliwości na jakie skarżą się osoby nadwrażliwe najczęściej są niespecyficzne i subiektywne, a przez to trudno mierzalne, co sprzyja spekulacjom i utrudnia przeprowadzenie obiektywnego badania fizykalnego.

Prace eksperymentalne badające efekt nocebo związany z PEM RF pokazują, że nie tylko bezpośrednio komunikaty o szkodliwym działaniu pól elektromagnetycznych, ale nawet zalecenia dotyczące zachowania ostrożności podczas korzystania z urządzeń komunikacji bezprzewodowej mogą u przeciętnego odbiorcy (w sensie braku fachowej wiedzy w tym temacie) wzbudzić przekonanie, że korzystanie z tego typu technologii jest niebezpieczne⁶⁹. Z kolei poczucie zagrożenia związanego z obecnością PEM RF w otoczeniu może generować efekt nocebo. Okazuje się przykładowo, że liczba i natężenie obserwowanych symptomów są mocniej związane z parametrami opisującymi ilościowo użycie telefonu komórkowego (np. liczba wysyłanych i odbieranych SMSów), niż z realną ekspozycją wytwarzaną przez te urządzenia⁷⁰. Prowadzi to do wniosku, że subiektywna ocena zagrożenia ekspozycją na PEM prowadzi często do pojawienia się konkretnych dolegliwości wśród użytkowników tych urządzeń. Należy zwrócić uwagę, że taka obserwacja przeczy jednocześnie istnieniu związku przyczynowo-skutkowego pomiędzy objawami, a realną ekspozycją na PEM.

Na szczególną uwagę zasługują wyniki długoterminowych badań przeprowadzonych w Holandii w latach 2011-2014, które zostały opublikowane w ubiegłym roku⁷¹. Badacze porównują realną ekspozycję na pole elektromagnetyczne pochodzące od stacji bazowych telefonii komórkowych z ekspozycją postrzeganą przez uczestników badania szacunkowo na podsta-

⁶⁸ Verrender A, Loughran SP, Dalecki A, Freudenstein F, Croft RJ. Can explicit suggestions about the harmfulness of EMF exposure exacerbate a nocebo response in healthy controls? *Environ Res. Elsevier Inc.*; 2018;166(June):409–17.

⁶⁹ Boehmert C, Verrender A, Pauli M, Wiedemann P. Does precautionary information about electromagnetic fields trigger nocebo responses? An experimental risk communication study. *Environ Heal A Glob Access Sci Source. Environmental Health*; 2018;17(1):1–15.

⁷⁰ Schoeni A, Roser K, Rössli M. Symptoms and the use of wireless communication devices: A prospective cohort study in Swiss adolescents. *Environ Res. Elsevier*; 2017;154(September 2016):275–83.

⁷¹ Martens AL, Slottje P, Timmermans DRM, Kromhout H, Reedijk M, Vermeulen RCH, et al. Modeled and Perceived Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields from Mobile-Phone Base Stations and the Development of Symptoms over Time in a General Population Cohort. *Am J Epidemiol*. 2017;186(2):210–9.

wie ich wiedzy i obserwacji. Ekspozycja postrzegana była szacowana na podstawie ankiet, natomiast ekspozycja realna w miejscu zamieszkania uczestników badania była obliczana na podstawie modelu matematycznego. Pierwsze badanie przeprowadzone na grupie 14309 uczestników wykazało małą korelację pomiędzy postrzeganą i realną ekspozycją. Badania ankietowe powtarzano na mniejszych podgrupach wybieranych z grupy pierwotnej. Co ciekawe, wzrost realnej ekspozycji spowodowanej rozbudową infrastruktury sieci komórkowej korelował ze wzrostem ekspozycji postrzeganej. Autorzy pracy zauważyli, że liczba symptomów związanych z oddziaływaniem stacji bazowych na zdrowie dobrze korelowała z ekspozycją postrzeganą przez uczestników badania, przy słabej korelacji z ekspozycją realną, obliczaną przy pomocy modelu matematycznego. W szczególności dotyczyło to zaburzeń snu.

Ta sama grupa osiągnęła podobne rezultaty i wyciągnęła podobne wnioski w kolejnej opublikowanej pracy⁷². W pracy tej dodatkowo poza oddziaływaniem PEM autorzy wzięli pod uwagę zanieczyszczenie powietrza i hałas. Sytuacja, w której osoby badane mogą obserwować czynniki środowiskowe prowadzi do lepszej korelacji pomiędzy ekspozycją postrzeganą i realną. Tak jest w przypadku zanieczyszczenia powietrza i hałasu, gdzie łatwiej można ocenić realne zagrożenie, niż to ma miejsce w przypadku PEM. Postrzegane zagrożenie koreluje z kolei z liczbą i nasileniem symptomów obserwowanych w badanej grupie (zaburzenia oddychania, jakość snu, objawy niespecyficzne). Z tego powodu liczba symptomów powodowanych zanieczyszczeniem powietrza i hałasem koreluje z realnym, mierzalnym nasileniem tych czynników. Podobnie jak w poprzednio cytowanej pracy, brak jest natomiast korelacji z realną ekspozycją na PEM RF. Autorzy zwracają uwagę na potrzebę brania pod uwagę zarówno realnych, jak i postrzeganych ekspozycji w przypadku badań mających na celu określenie wpływu czynników środowiskowych na zdrowie ludzi.

Inna holenderska grupa badała związek pomiędzy liczbą stacji bazowych telefonii komórkowych, a częstotliwością obserwacji niespecyficznych symptomów kojarzonych z oddziaływaniem takich urządzeń⁷³. Badanie przeprowadzono w oparciu o badania ankietowe 1069 uczestników, u których oszacowano częstotliwość występowania symptomów. Ponowna analiza dotyczyła tej samej grupy osób 7 lat później. Spośród grupy badanej wyróżniono 55 osób, które na podstawie późniejszego badania sklasyfikowano jako elektrowrażliwe. Pomimo tego, że liczba stacji bazowych wzrosła o około 30%, nie zaobserwowano nasilenia objawów w populacji ogólnej, natomiast liczba tego rodzaju symptomów u osób nadwrażliwych wzrosła tylko nieznacznie.

⁷² Martens AL, Reedijk M, Smid T, Huss A, Timmermans D, Strak M, et al. Modeled and perceived RF-EMF, noise and air pollution and symptoms in a population cohort. Is perception key in predicting symptoms? *Sci Total Environ*. Elsevier B.V.; 2018;639:75–83.

⁷³ Baliatsas C, van Kamp I, Bolte J, Kelfkens G, van Dijk C, Spreeuwenberg P, et al. Clinically defined non-specific symptoms in the vicinity of mobile phone base stations: A retrospective before-after study. *Sci Total Environ*. Elsevier B.V.; 2016;565:714–20.

Autorzy kolejnej pracy⁷⁴ dokonali metaanalizy 17-stu prac dotyczących wpływu pola elektromagnetycznego emitowanego przez stacje bazowe telefonii komórkowej na zdrowie. Wśród analizowanych prac znalazły się takie, w których wpływ tego rodzaju pól badano w próbach podwójnie ślepych, ale także takie, w których uczestnicy byli informowani o obecności ekspozycji na pole. Próby podwójnie ślepe nie wykazują powiązania pomiędzy ekspozycją, a symptomami, w przeciwieństwie do eksperymentów drugiego typu. Zdaniem autorów metaanalizy dowodzi to, iż w oddziaływaniach emisji stacji bazowych na zdrowie człowieka przynajmniej część obserwowanych efektów można wytłumaczyć efektem nocebo. Wykluczają natomiast realny fizyczny wpływ na zdrowie uczestników badań.

7. Podsumowanie

Poniższe opracowanie przedstawia aktualny stan wiedzy na temat działania pola elektromagnetycznego (PEM) w zakresie częstotliwości 0,5 ÷ 5 GHz na organizm człowieka. Ten zakres częstotliwości (PEM RF) jest obecnie powszechnie stosowany w różnych dziedzinach nauki i techniki (telekomunikacja, radiolokacja, nawigacja satelitarna, medycyna, radioastronomia, podgrzewanie mikrofalowe). W opracowaniu podjęto próbę oceny skutków działania PEM RF na człowieka. Zainteresowanie Autorów opracowania tą tematyką wynika z kilku przyczyn. Po pierwsze, opublikowane wyniki badań zagadnienia są niejednoznaczne i często są interpretowane w sposób tendencyjny. Po drugie, PEM RF nie są praktycznie wytwarzane przez naturalnie występujące źródła i kontakt z PEM w tym zakresie częstotliwości jest wynikiem działalności człowieka. Ostatnią przyczyną jest fakt, że w wielu pracach występują podstawowe błędy metodyczne, które mogą być przyczyną diametralnie różnych wyników.

Podstawowym problemem, który nie został do tej pory jednoznacznie rozwiązany jest określenie rzeczywistych parametrów PEM działającego na organizm człowieka. W praktyce stosowane są różne metody szacowania parametrów charakteryzujących pole, a strefy bliska i daleka nie są rozróżniane. Nawet powszechnie stosowany parametr SAR jest obliczany dla różnej masy tkanki (1 g, 10 g lub całe ciało). W ocenie Autorów problem ten powinien zostać poddany normalizacji w pierwszej kolejności. Ocena efektu musi być odniesiona do jednoznacznie określonego bodźca. Brak tej informacji uniemożliwia porównywanie wyników różnych eksperymentów. Ponadto, w większości opracowań zupełnie pomijany jest fakt, że w środowisku naturalnym występuje PEM w bardzo szerokim zakresie częstotliwości. W związku z tym obserwowane efekty biologiczne mogą być wynikiem jednoczesnego działania na układ PEM pochodzących z różnych zakresów częstotliwości. Jedynym rozwiązaniem problemu jest podawanie charakterystyki PEM dla całego zakresu częstotliwości. Bez wprowadzenia normalizacji wyżej opisanych zagadnień rzetelne porównywanie wyników eksperymentów nie jest możliwe.

⁷⁴ Klaps A, Ponocny I, Winker R, Kundi M, Auersperg F, Barth A. Mobile phone base stations and well-being - A meta-analysis. *Sci Total Environ.* Elsevier B.V.; 2016;544:24–30.

Należy podkreślić, że dla każdego układu biologicznego efekt finalny działania dwóch lub większej liczby bodźców może być zarówno sumą efektów od poszczególnych bodźców (zasada superpozycji) jak i efekt finalny może być wzmocniony w stosunku do sumy efektów składowych (zjawisko synergii).

PEM RF wywołuje w organizmie człowieka efekty termiczne. Stosowane strumienie mocy generują powstawanie w organizmie dodatkowych źródeł energii powodujących lokalny wzrost temperatury ($1 \div 2$ K). Przekazywana przez pole elektromagnetyczne energia stanowi niewielki procent ($< 1\%$) energii generowanej w wyniku podstawowej przemiany materii. Są to wartości poniżej fizjologicznie występujących fluktuacji i trudno uznać, że mogą być przyczyną patologii. W organizmie człowieka istnieją mechanizmy termoregulacji, z którymi spotykamy się w życiu codziennym, kompensujące znacznie większe zmiany temperatury.

Osobnym, do tej pory nierozwiązanym problemem jest wywoływanie przez PEM RF w organizmie człowieka efektów nietermicznych zarówno w perspektywie krótko-, jak i długo-czasowej. Obszerna literatura tematu nie dostarcza jednoznacznej odpowiedzi, czy ten rodzaj efektów występuje w organizmie człowieka. Przeprowadzone oszacowania teoretyczne oparte na podstawowych prawach fizyki potwierdzają, że PEM RF może wywoływać w organizmie człowieka różne efekty nietermiczne. Próby eksperymentalnego potwierdzenia występowania efektów nietermicznych, przeprowadzone to tej pory, nie dostarczają jednak jednoznacznych wniosków. Wyniki zarówno badań epidemiologicznych jak i eksperymentów zwierzęcych są bardzo często sprzeczne i problem występowania efektów nietermicznych należy traktować, jako wymagający dalszych badań. Należy podkreślić, że niekiedy dokonywana jest w publikacjach naukowych nieobiektywna interpretacja wyników lub publikowane są wyniki eksperymentów wykonanych z zastosowaniem bardzo dyskusyjnej metodologii. Bazując na tendencyjnie wybranych pracach można dowodzić negatywnych skutków działania PEM RF na organizm człowieka. Podejście to, w połączeniu z niskim stanem wiedzy o oddziaływaniu PEM z układami biologicznymi wśród ogółu społeczeństwa, wytwarza nieuprawnioną przy obecnym stanie wiedzy opinię o szkodliwym działaniu PEM.

Problemem, zupełnie pomijanym podczas omawiania działania PEM RF na organizm człowieka, jest patologiczny aspekt efektów nietermicznych. Każdy czynnik fizyko-chemiczny działający na organizm, w zależności od stosowanych dawek (stężenia, natężenia, strumienia) może wywołać zarówno negatywne jak i pozytywne skutki lub być dla organizmu obojętny. Z reguły efekt jest skorelowany z zastosowaną dawką. Uwzględniając diagnostyczne i terapeutyczne zastosowanie PEM, przyjmowanie *a priori* tezy o szkodliwości PEM RF jest zdaniem autorów nieuprawnione.

W związku z w/w niejasnościami w temacie skutków działania PEM na organizm człowieka podjęto w Zakładzie Biofizyki Collegium Medicum Uniwersytetu Jagiellońskiego we współ-

pracy z Instytutem Łączności – Państwowym Instytutem Badawczym w Warszawie pilotażowe badania nad wpływem PEM RF na zdrowie mieszkańców Krakowa. Zakończenie projektu wraz z przygotowaniem finalnego raportu planowane jest na grudzień 2018 roku.

Literatura

- 1) Bua L, Tibaldi E, Falcioni L, Lauriola M, De Angelis L, Gnudi F, et al. Results of lifespan exposure to continuous and intermittent extremely low frequency electromagnetic fields (ELFEMF) administered alone to Sprague Dawley rats. *Environ Res. Elsevier Inc.*; 2018;164(March):271–9.
- 2) Yu C, Peng R-Y. Biological effects and mechanisms of shortwave radiation: a review. *Mil Med Res. Military Medical Research*; 2017;4(1):24.
- 3) Gajšek P, Ravazzani P, Grellier J, Samaras T, Bakos J, Thuróczy G. Review of studies concerning electromagnetic field (EMF) exposure assessment in Europe: Low frequency fields (50 Hz–100 kHz). *Int J Environ Res Public Health*. 2016;13(9):1–14.
- 4) Romanenko S, Begley R, Harvey AR, Hool L, Wallace VP. The interaction between electromagnetic fields at megahertz, gigahertz and terahertz frequencies with cells, tissues and organisms: Risks and potential. *J R Soc Interface*. 2017;14(137).
- 5) Petri A-K, Schmiedchen K, Stunder D, Dechent D, Kraus T, Bailey WH, et al. Biological effects of exposure to static electric fields in humans and vertebrates: a systematic review. *Environ Heal. Environmental Health*; 2017;16(1):41.
- 6) Waldorff EI, Zhang N, Ryaby JT. Pulsed electromagnetic field applications: A corporate perspective. *J Orthop Transl. Elsevier Ltd*; 2017;9:60–8.
- 7) Jing D, Zhai M, Tong S, Xu F, Cai J, Shen G, et al. Pulsed electromagnetic fields promote osteogenesis and osseointegration of porous titanium implants in bone defect repair through a Wnt/ β -catenin signaling-associated mechanism. *Sci Rep. Nature Publishing Group*; 2016;6(February):1–13.
- 8) Rahman A, Islam MT, Singh MJ, Kibria S, Akhtaruzzaman M. Electromagnetic Performances Analysis of an Ultra-wideband and Flexible Material Antenna in Microwave Breast Imaging: To Implement A Wearable Medical Bra. *Sci Rep. Nature Publishing Group*; 2016;6(November):1–11.
- 9) Rinaldi L, Lastoria S, Vedruccio C, Adinolfi LE, Berretta M. EDITORIAL – TISSUE RESONANCE INTERACTION METHOD : A CHALLENGE FOR THE EARLY AND NON-INVASIVE DIAGNOSIS OF SOLID CANCERS. 2016;4(1):2016–8.
- 10) Instytut Łączności Państwowy Instytut Badawczy. Sprawozdanie z badań poziomu pól elektromagnetycznych w otoczeniu stacji bazowej: ID Stacji: 8516 KAMPUS UJ 2 (28251_KKR_KRAKOW_KAMPUSUJII), przeprowadzonych w ramach umowy 1/DT z dnia 26 kwietnia 2016 r. 2016.
- 11) Stam R, Yamaguchi-Sekino S. Occupational exposure to electromagnetic fields from medical sources. *Ind Health*. 2017;96–105.
- 12) Vila J, Bowman JD, Figuerola J, Morina D, Kincl L, Richardson L, et al. Development of a source-exposure matrix for occupational exposure assessment of electromagnetic fields in the INTEROCC study. *J Expo Sci Env Epidemiol*. 2017;27(4):398–408.
- 13) Belyaev I, Dean A, Eger H, Hubmann G, Jandrisovits R, Kern M, et al. EUROPAEM EMF Guideline 2016 for the prevention, diagnosis and treatment of EMF-related health problems and illnesses. *Rev Environ Health*. 2016 Jan 1;31(3):363–97.

- 14) Barnes FS GB (EDS). BIOENGINEERING AND BIOPHYSICAL ASPECTS OF ELECTROMAGNETIC FIELDS. CRC PRESS; 2018.
- 15) European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC). Basic standard on measurement and calculation procedures for human exposure to electric, magnetic and electromagnetic fields (0 Hz–300 GHz). (Standard No. EN 50413:2009). Brussels; 2009.
- 16) Zradziński PZ. Difficulties in applying numerical simulations to an evaluation of occupational hazards caused by electromagnetic fields. *Int J Occup Saf Ergon. JOSE*; 2015;21(2):213–20.
- 17) Aminzadeh R, Thielens A, Agneessens S, Van Torre P, Van Den Bossche M, Dongus S, et al. A multi-band body-worn distributed radio-frequency exposure meter: Design, on-body calibration and study of body morphology. *Sensors (Switzerland)*. 2018;18(1):1–19.
- 18) Elmagroud B, Kwate RK, Taybi C, Ziyat A, Picard D. Electromagnetic exposure assessment for telecommunication equipments using RF dosimeter. In: 2016 International Conference on Information Technology for Organizations Development (IT4OD). IEEE; 2016. p. 1–6.
- 19) Bolte JFB, Eikelboom T. Personal radiofrequency electromagnetic field measurements in the Netherlands: Exposure level and variability for everyday activities, times of day and types of area. *Environ Int. Elsevier Ltd*; 2012;48:133–42.
- 20) Gryz K, Zradziński P, Karpowicz J. The role of the location of personal exposimeters on the human body in their use for assessing exposure to the electromagnetic field in the radiofrequency range 98-2450 MHz and compliance analysis: Evaluation by virtual measurements. *Biomed Res Int. Hindawi Publishing Corporation*; 2015;2015.
- 21) Sagar S, Adem SM, Struchen B, Loughran SP, Brunjes ME, Arangua L, et al. Comparison of radiofrequency electromagnetic field exposure levels in different everyday microenvironments in an international context. *Environ Int. Elsevier*; 2018;114(March):297–306.
- 22) Falcioni L, Bua L, Tibaldi E, Lauriola M, De Angelis L, Gnudi F, et al. Report of final results regarding brain and heart tumors in Sprague-Dawley rats exposed from prenatal life until natural death to mobile phone radiofrequency field representative of a 1.8 GHz GSM base station environmental emission. *Environ Res. Elsevier Inc.*; 2018;165(March):496–503.
- 23) Wyde M, Cesta M, Blystone C, Elmore S, Foster P, Hooth M, et al. Report of Partial findings from the National Toxicology Program Carcinogenesis Studies of Cell Phone Radiofrequency Radiation in Hsd: Sprague Dawley SD rats (Whole Body Exposure). *bioRxiv*. 2016;055699. Verrender A, Loughran SP, Anderson V, Hillert L, Rubin GJ, Oftedal G, et al. IEI-EMF provocation case studies: A novel approach to testing sensitive individuals. *Bioelectromagnetics*. 2018;39(2):132–43.
- 24) Verrender A, Loughran SP, Anderson V, Hillert L, Rubin GJ, Oftedal G, et al. IEI-EMF provocation case studies: A novel approach to testing sensitive individuals. *Bioelectromagnetics*. 2018;39(2):132–43.
- 25) Khurana VG, Lennatd Hardell, Everaert J, Bortkiewicz A, Michael Carlberg, Ahonen M. Epidemiological evidence for a health risk from mobile phone base stations. *Int J Occup Environ Heal*. 2010;16(3):263–7.
- 26) Peyman A, Holden S, Gabriel C. Dielectric Properties of Tissues at Microwave Frequencies. MTHR Final Technical Report. 2005.

- 27) Gong F, Wei Z, Cong Y, Chi H, Yin B, Sun M. Analysis of SAR distribution in human head of antenna used in wireless power transform based on magnetic resonance. *Technol Heal Care*. 2017;25(S1):S387–97.
- 28) Nagaoka T, Watanabe S, Sakurai K, Kunieda E, Watanabe S, Taki M, et al. Development of realistic high-resolution whole-body voxel models of Japanese adult males and females of average height and weight, and application of models to radio-frequency electromagnetic-field dosimetry. *Phys Med Biol*. 2004 Jan 7;49(1):1–15.
- 29) Kodera S, Gomez-Tames J, Hirata A, Masuda H, Arima T, Watanabe S. Multiphysics and thermal response models to improve accuracy of local temperature estimation in rat cortex under microwave exposure. *Int J Environ Res Public Health*. 2017;14(4).
- 30) Kodera S, Gomez-Tames J, Hirata A. Temperature elevation in the human brain and skin with thermoregulation during exposure to RF energy. *Biomed Eng Online*. BioMed Central; 2018;17(1):1–17.
- 31) Morimoto R, Hirata A, Laakso I, Ziskin MC, Foster KR. Time constants for temperature elevation in human models exposed to dipole antennas and beams in the frequency range from 1 to 30 GHz. *Phys Med Biol*. IOP Publishing; 2017;62(5):1676–99.
- 32) Laakso I, Morimoto R, Hirata A, Onishi T. Computational Dosimetry of the Human Head Exposed to Near-Field Microwaves Using Measured Blood Flow. *IEEE Trans Electromagn Compat*. 2017 Apr;59(2):739–46.
- 33) Sheppard AR, Swicord ML, Balzano Q. Quantitative evaluations of mechanisms of radiofrequency interactions with biological molecules and processes. *Health Phys*. 2008;95(4):365–96.
- 34) Panagopoulos DJ, Johansson O, Carlo GL. Polarization: A Key Difference between Man-made and Natural Electromagnetic Fields, in regard to Biological Activity. *Sci Rep*. Nature Publishing Group; 2015;5(February):14914.
- 35) Zhi W-J, Wang L-F, Hu X-J. Recent advances in the effects of microwave radiation on brains. *Mil Med Res*. Military Medical Research; 2017;4(1):29.
- 36) Keykhosravi A, Neamatshahi M, Mahmoodi R, Navipour E. Radiation Effects of Mobile Phones and Tablets on the Skin: A Systematic Review. *Adv Med*. Hindawi; 2018;2018:9242718.
- 37) Pall ML. Microwave frequency electromagnetic fields (EMFs) produce widespread neuropsychiatric effects including depression. *J Chem Neuroanat*. Elsevier B.V.; 2015;75:43–51.
- 38) Pall ML. Wi-Fi is an important threat to human health. *Environ Res*. Elsevier Inc.; 2018;164(March):405–16.
- 39) Saliev T, Begimbetova D, Masoud AR, Matkarimov B. Biological effects of non-ionizing electromagnetic fields: Two sides of a coin. *Prog Biophys Mol Biol*. Elsevier Ltd; 2018;
- 40) Genuis SJ, Lipp CT. Electromagnetic hypersensitivity: Fact or fiction? *Sci Total Environ*. 2012;414:103–12.
- 41) Carpenter DO. The microwave syndrome or electro-hypersensitivity: Historical background. *Rev Environ Health*. 2015;30(4):217–22.

- 42) Gruber MJ, Palmquist E, Nordin S. Characteristics of perceived electromagnetic hypersensitivity in the general population. *Scand J Psychol.* 2018;59(4):422–7.
- 43) Gałdzińska-calik B, Wójcik-piotrowicz K, Thor PJ. Electromagnetic field induced biological effects in humans Efekty biologiczne indukowane oddziaływaniem pola elektromagnetycznego na ludzi. *Przeegl Lek.* 2015;72(11):636–41.
- 44) Wiedemann PM, Boerner FU, Repacholi MH. Do people understand IARC’s 2B categorization of RF fields from cell phones? *Bioelectromagnetics.* 2014;35(5):373–8.
- 45) IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, World Health Organization., International Agency for Research on Cancer. Non-ionizing radiation. Part 2, Radiofrequency electromagnetic fields. 460 p.
- 46) Preamble to the IARC Monographs (amended January 2006) – IARC [Internet]. [cited 2018 Oct 2]. Available from: <https://monographs.iarc.fr/preamble-to-the-iarc-monographs-amended-january-2006/>
- 47) Gherardini L, Ciuti G, Tognarelli S, Cinti C. Searching for the perfect wave: The effect of radiofrequency electromagnetic fields on cells. *Int J Mol Sci.* 2014;15(4):5366–87.
- 48) Mortazavi SAR, Tavakkoli-Golpayegani A, Haghani M, Mortazavi SMJ. Looking at the other side of the coin: the search for possible biopositive cognitive effects of the exposure to 900 MHz GSM mobile phone radiofrequency radiation. *J Environ Heal Sci Eng.* 2014;12:75.
- 49) ICNIRP. ICNIRP NOTE ON RECENT ANIMAL CARCINOGENESIS STUDIES [Internet]. NOTE. 2018 [cited 2018 Nov 16]. p. 1–8. Available from: <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPnote2018.pdf>
- 50) Hardell L. World health organization, radiofrequency radiation and health - A hard nut to crack (Review). *Int J Oncol.* 2017;51(2):405–13.
- 51) Kim JH, Yu DH, Kim HJ, Huh YH, Cho SW, Lee JK, et al. Exposure to 835 MHz radiofrequency electromagnetic field induces autophagy in hippocampus but not in brain stem of mice. *Toxicol Ind Health.* 2018;34(1):23–35.
- 52) Kim JH, Yu DH, Kim HR. Activation of autophagy at cerebral cortex and apoptosis at brainstem are differential responses to 835 MHz RF-EMF exposure. *Korean J Physiol Pharmacol.* 2017;21(2):179–88.
- 53) Kim JH, Kim HJ, Yu DH, Kweon HS, Huh YH, Kim HR. Changes in numbers and size of synaptic vesicles of cortical neurons induced by exposure to 835 MHz radiofrequency-electromagnetic field. *PLoS One.* 2017;12(10):1–12.
- 54) Kim JH, Sohn UD, Kim HG, Kim HR. Exposure to 835 MHz RF-EMF decreases the expression of calcium channels, inhibits apoptosis, but induces autophagy in the mouse hippocampus. *Korean J Physiol Pharmacol.* 2018;22(3):277–89.
- 55) Kim JH, Yu DH, Huh YH, Lee EH, Kim HG, Kim HR. Long-term exposure to 835 MHz RF-EMF induces hyperactivity, autophagy and demyelination in the cortical neurons of mice. *Sci Rep. Nature Publishing Group;* 2017;7(July 2016):1–12.
- 56) Jeong YJ, Son Y, Han NK, Choi H Do, Pack JK, Kim N, et al. Impact of long-term RF-EMF on oxidative stress and neuroinflammation in aging brains of C57BL/6 mice. *Int J Mol Sci.* 2018;19(7).

- 57) Son Y, Jeong YJ, Kwon JH, Choi H Do, Pack JK, Kim N, et al. 1950 MHz radiofrequency electromagnetic fields do not aggravate memory deficits in 5xFAD mice. *Bioelectromagnetics*. 2016;37(6):391–9.
- 58) Son Y, Kim JS, Jeong YJ, Jeong YK, Kwon JH, Choi H Do, et al. Long-term RF exposure on behavior and cerebral glucose metabolism in 5xFAD mice. *Neurosci Lett*. Elsevier; 2018;666(October 2017):64–9.
- 59) van Moorselaar I, Slottje P, Heller P, van Strien R, Kromhout H, Murbach M, et al. Effects of personalised exposure on self-rated electromagnetic hypersensitivity and sensibility – A double-blind randomised controlled trial. *Environ Int*. Elsevier Ltd; 2017;99:255–62.
- 60) Slottje P, van Moorselaar I, van Strien R, Vermeulen R, Kromhout H, Huss A. Electromagnetic hypersensitivity (EHS) in occupational and primary health care: A nation-wide survey among general practitioners, occupational physicians and hygienists in the Netherlands. *Int J Hyg Environ Health*. Elsevier GmbH.; 2017;220(2):395–400.
- 61) Bogers RP, van Gils A, Clahsen SCS, Vercruijssse W, van Kamp I, Baliatsas C, et al. Individual variation in temporal relationships between exposure to radiofrequency electromagnetic fields and non-specific physical symptoms: A new approach in studying ‘electrosensitivity.’ *Environ Int*. 2018;121(May):297–307.
- 62) Verrender A, Loughran SP, Dalecki A, Freudenstein F, Croft RJ. Can explicit suggestions about the harmfulness of EMF exposure exacerbate a nocebo response in healthy controls? *Environ Res*. Elsevier Inc.; 2018;166(June):409–17.
- 63) Boehmert C, Verrender A, Pauli M, Wiedemann P. Does precautionary information about electromagnetic fields trigger nocebo responses? An experimental risk communication study. *Environ Heal A Glob Access Sci Source*. Environmental Health; 2018;17(1):1–15.
- 64) Schoeni A, Roser K, Rössli M. Symptoms and the use of wireless communication devices: A prospective cohort study in Swiss adolescents. *Environ Res*. Elsevier; 2017;154(September 2016):275–83.
- 65) Martens AL, Slottje P, Timmermans DRM, Kromhout H, Reedijk M, Vermeulen RCH, et al. Modeled and Perceived Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields from Mobile-Phone Base Stations and the Development of Symptoms over Time in a General Population Cohort. *Am J Epidemiol*. 2017;186(2):210–9.
- 66) Martens AL, Reedijk M, Smid T, Huss A, Timmermans D, Strak M, et al. Modeled and perceived RF-EMF, noise and air pollution and symptoms in a population cohort. Is perception key in predicting symptoms? *Sci Total Environ*. Elsevier B.V.; 2018;639:75–83.
- 67) Baliatsas C, van Kamp I, Bolte J, Kelfkens G, van Dijk C, Spreeuwenberg P, et al. Clinically defined non-specific symptoms in the vicinity of mobile phone base stations: A retrospective before-after study. *Sci Total Environ*. Elsevier B.V.; 2016;565:714–20.
- 68) Klaps A, Ponocny I, Winker R, Kundi M, Auersperg F, Barth A. Mobile phone base stations and well-being - A meta-analysis. *Sci Total Environ*. Elsevier B.V.; 2016;544:24–30.