

Piotr Politański<sup>1</sup>Alicja Bortkiewicz<sup>2</sup>Marek Zmysłony<sup>1</sup>

## WPŁYW PÓL ELEKTROMAGNETYCZNYCH ZAKRESU RADIOWEGO I MIKROFALOWEGO, EMITOWANYCH PRZEZ URZĄDZENIA ŁĄCZNOŚCI BEZPRZEWODOWEJ, NA FUNKCJONOWANIE WYBRANYCH ELEMENTÓW UKŁADU NERWOWEGO

EFFECTS OF RADIO- AND MICROWAVES EMITTED BY WIRELESS COMMUNICATION DEVICES  
ON THE FUNCTIONS OF THE NERVOUS SYSTEM SELECTED ELEMENTS

Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera / Nofer Institute of Occupational Medicine, Łódź, Poland

<sup>1</sup> Zakład Ochrony Radiologicznej / Department of Radiological Protection

<sup>2</sup> Zakład Fizjologii Pracy i Ergonomii / Department of Work Physiology and Ergonomics

### STRESZCZENIE

W organizmie ludzkim do układów najbardziej „elektrycznych” należy układ nerwowy oparty na elektroprzewodzących sieciach neuronalnych. W związku z tym od lat prowadzone są badania mające na celu sprawdzenie wpływu pól elektromagnetycznych (PEM) o różnych częstotliwościach na jego funkcjonowanie. W pracy zaprezentowano wyniki przeglądu literatury naukowej poświęconej oddziaływaniu PEM na funkcjonowanie ludzkiego układu nerwowego, przy czym szczególnie nacisk położono na najnowsze prace dotyczące współczesnych bezprzewodowych systemów łączności i transmisji danych. Wyniki opublikowanych prac w większości analizowanych obszarów nie wykazują wpływu PEM na układ nerwowy. Wyjątkami są oddziaływanie sygnału telefonii GSM na zapis EEG – spoczynkowy i podczas snu badanych osób – oraz wpływ częstotliwości radiofalaowych na regulację układu krążenia. W pozostałych analizowanych obszarach (wpływ na sen, potencjały wywołane i procesy poznawcze) nie ma spójnych wyników prac świadczących zdecydowanie o oddziaływaniu PEM. Neurofizjologiczne badania wpływu fal radiowych i mikrofal na funkcje mózgu u ludzi nie przyniosły dotychczas jednoznacznych wyników. Przyczynami tego są m.in. różne warunki ekspozycji, duża liczba badanych zmiennych, brak powtarzalności badań i wątpliwości natury statystycznej. Istnieją już jednak wskazówki metodyczne dające szansę na ujednoczenie badań, które zdecydowanie nadal powinny być prowadzone, żeby określić biofizyczne mechanizmy oddziaływania PEM na układ nerwowy. Jednym z aspektów, na które coraz częściej zwraca się uwagę, jest uwzględnianie w badaniach oddziaływania PEM różnic osobniczych. Med. Pr. 2016;67(3):411–421

**Słowa kluczowe:** EEG, zaburzenia snu, pole elektromagnetyczne, telefonia komórkowa, układ nerwowy, regulacja układu krążenia

### ABSTRACT

Nervous system is the most “electric” system in the human body. The research of the effects of electromagnetic fields (EMFs) of different frequencies on its functioning have been carried out for years. This paper presents the results of the scientific literature review on the EMF influence on the functioning of the human nervous system with a particular emphasis on the recent studies of the modern wireless communication and data transmission systems. In the majority of the analyzed areas the published research results do not show EMF effects on the nervous system, except for the influence of GSM telephony signal on resting EEG and EEG during patients’ sleep and the influence of radiofrequency EMF on the cardiovascular regulation. In other analyzed areas (EMF impact on sleep, the evoked potentials and cognitive processes), there are no consistent results supporting any influence of electromagnetic fields. Neurophysiological studies of the effect of radio- and microwaves on the brain functions in humans are still considered inconclusive. This is among others due to, different exposure conditions, a large number of variables tested, deficiencies in repeatability of research and statistical uncertainties. However, methodological guidelines are already available giving a chance of unifying research that definitely needs to be continued in order to identify biophysical mechanisms of interaction between EMFs and the nervous system. One of the EMF research aspects, on which more and more attention is paid, are inter-individual differences. Med Pr 2016;67(3):411–421

**Key words:** EEG, sleep disorders, electromagnetic field, mobile phones, nervous system, cardiovascular physiological phenomena

Autor do korespondencji / Corresponding author: Piotr Politański, Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera, Zakład Ochrony Radiologicznej, ul. św. Teresy 8, 91-348 Łódź, e-mail: piopolit@imp.lodz.pl

Nadesłano: 2 sierpnia 2015, zatwierdzono: 8 grudnia 2015

## WSTĘP

Pola elektromagnetyczne (PEM) są integralną częścią środowiska naturalnego człowieka. Naturalne PEM są wynikiem jonizacji zewnętrznej warstwy atmosfery, magnetycznych właściwości Ziemi, istnienia radiogwiazd i wielu innych czynników. W ostatnich dziesięcioleciach znacząco wzrosło nasycenie środowiska życia ludzi sztucznymi źródłami PEM. Wraz z rozwojem technik wykorzystujących PEM wielkiej częstotliwości – zwłaszcza do łączności (telefonii komórkowej) i celów radio- i telenadawczych – oprócz wszechobecnej ekspozycji na PEM sieciowe (50/60 Hz) pochodzące od urządzeń zasilanych prądem elektrycznym i linii energetycznych pojawia się coraz większy poziom ekspozycji na radio- i mikrofałę.

Obecnie wszystkie tereny zamieszkałe są pokryte sieciami łączności bezprzewodowej kilku operatorów, a w niemal każdym gospodarstwie domowym znajduje się przynajmniej jeden telefon komórkowy. Jeżeli dodatkowo uwzględnimy to, że łączność z siecią Internet jest najczęściej realizowana z użyciem routerów bezprzewodowych, a większość telefonów stacjonarnych także pracuje w bezprzewodowym systemie DECT (digital enhanced cordless telecommunications – system cyfrowej łączności bezprzewodowej na niewielkich odległościach), możemy stwierdzić, że ekspozycja na PEM wielkiej częstotliwości gwałtownie wzrasta. Jednocześnie ewentualne skutki jego oddziaływania powodują zaniepokojenie społeczeństwa i związane z tym zaniepokojeniem zainteresowanie środowiska naukowego.

Wpływ zewnętrznych PEM na funkcjonowanie organizmu człowieka jest niewątpliwy. Wynika on z „elektrycznej” budowy jego ciała (z cząsteczek obdarzonych ładunkami elektrycznymi i magnetycznymi) i „elektrycznej” zasady funkcjonowania ciała (przepływ ładunków elektrycznych jest głównym mechanizmem fizycznym bardzo wielu procesów życiowych). Do układów najbardziej „elektrycznych” należy układ nerwowy, oparty na elektroprzewodzących sieciach neuronalnych. Odpowiada on za sterowanie organizmem, nadzorowanie jego działania, jego homeostazę (m.in. częstość akcji serca, ciśnienie tętnicze krwi, równowagę wodno-elektrolitową, temperaturę ciała), a także wyższe funkcje nerwowe (funkcje poznawcze, popędowe, pamięć i uczenie się). W związku z tym od lat prowadzone są badania mające na celu sprawdzenie wpływu PEM o różnych częstotliwościach na funkcjonowanie ludzkiego układu nerwowego [1–3]. Badania te zintensyfikowały się wraz z wprowadzeniem do użytku systemów telefonii komór-

kowej, która jest stosunkowo silnym źródłem PEM zlokalizowanym w bezpośrednim sąsiedztwie mózgu (telefony doreczne) albo źródłem słabszym, ale działającym w otoczeniu człowieka nieprzerwanie, także podczas jego snu (stacje bazowe).

Pierwsze prace poświęcone oddziaływaniu na układ nerwowy PEM częstotliwości radiowych emitowanego przez telefony komórkowe dotyczyły zapisów elektroencefalograficznych (EEG) [4], struktury snu [5] i wpływu na procesy poznawcze [6,7]. Nie wszystkie wstępne obserwacje zostały w późniejszych badaniach potwierdzone, nawet przez samych autorów cytowanych publikacji. Na przykład Freude [6] stwierdził wpływ PEM telefonów komórkowych na EEG podczas wykonywania skomplikowanych zadań i brak takiego efektu w EEG spoczynkowym lub podczas wykonywania zadań prostych. Nie udało się powtórzyć również części wyników obserwacji dotyczących wpływu PEM na zapis EEG podczas snu [8,9]. Opublikowano też wyniki prac wskazujące na całkowity brak wpływu PEM na zapis EEG [10].

Zainteresowanie badaczy dotyczyło także wpływu na stan funkcji poznawczych, takich jak pamięć, uwaga, koncentracja, a szczególnie na ocenę pamięci krótkotrwałej, funkcje zapamiętywania, wybiórczość uwagi i szybkość podejmowania decyzji [11–13]. W cytowanych badaniach stwierdzono m.in. skrócenie czasu odpowiedzi w reakcji prostej i zadaniach mierzących czujność oraz skrócenie czasu potrzebnego do wykonania zadań arytmetycznych. Według autorów świadczyło to o tym, że takie PEM ułatwiają pracę mózgu, zwłaszcza przy zadaniach wymagających uwagi i manipulowania informacjami w pamięci operacyjnej [12,13].

Jako kolejny potencjalny elektrofizjologiczny marker zaburzeń centralnego układu nerwowego w przypadku narażenia na PEM emitowane przez telefony komórkowe wybrano potencjały wywołane [14,15]. Wyniki tych badań także były niejednoznaczne. Hładky i wsp. [14] stwierdzili wpływ telefonu komórkowego pracującego w zakresie GSM 900 (global system for mobile communications) – którego moc zmieniała się od 0,02 W do 2 W – na latencję wzrokowego potencjału wywołanego N1, podczas gdy Urban i wsp. [15] nie stwierdzili żadnego wpływu PEM o podobnych parametrach.

Ważnym zadaniem układu nerwowego jest regulacja neurovegetatywna, w tym regulacja układu krążenia. Bortkiewicz i wsp. [16] wykazali, że krótkotrwała ekspozycja na pola elektromagnetyczne emitowane przez telefon komórkowy (ekspozycja przerywana: 4 razy po 15 min, z 15-minutowymi przerwami, lub

ekspozycja ciągła: 1-godzinna) powodowała zmiany ciśnienia tętniczego zależne od rodzaju ekspozycji. Zaobserwowane zmiany występowały nie tylko podczas ekspozycji i zaraz po jej zakończeniu, lecz także w nocy po ekspozycji. Przegląd tych wczesnych opublikowanych prac przedstawili Sińczuk-Walczak i wsp. w 2004 r. [17].

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie, po ponad 10 latach od poprzedniego, wyżej cytowanego przeglądu aktualnego stanu wiedzy na temat wpływu PEM zakresu radiowego i mikrofalowego na układ nerwowy. W związku z tym dokonano przeglądu literatury naukowej poświęconej oddziaływaniu PEM na funkcjonowanie ludzkiego układu nerwowego, kładąc szczególny nacisk na najnowsze prace dotyczące współczesnych bezprzewodowych systemów łączności i transmisji danych.

## METODY PRZEGLĄDU

W przeglądzie uwzględniono prace w języku polskim i angielskim, które ukazały się po roku 2000 i które wyłoniono w wyniku przeglądu baz PubMed i Web of Science oraz analizy piśmiennictwa prac poświęconych rozważanemu zagadnieniu. Z wyszukanych prac wybrano do omówienia te z precyzyjnym opisem warunków ekspozycji badanych osób na PEM. Jest to szczególnie istotny aspekt badań oddziaływania PEM na organizm człowieka, pozwalający na zapewnienie powtarzalności badań i weryfikację spójności wyników uzyskanych w różnych ośrodkach badawczych. Tymczasem mimo rosnącego merytorycznego poziomu publikacji dotyczących oddziaływania PEM na ludzi nadal można znaleźć w literaturze prace o niskiej wartości merytorycznej (takie jak autorstwa Ahameda i wsp. [18]), w których analizowany jest wpływ PEM emitowanego przez telefon komórkowy, który podczas ekspozycji nie emituje PEM lub emituje je w sposób całkowicie niekontrolowany.

## WYNIKI PRZEGLĄDU

### Wpływ PEM telefonów komórkowych na sen

W pracach opublikowanych po roku 2000 ponownie, jak w pracach Manna i Röschkego [5] oraz Hubera i wsp. [4], zaobserwowano u badanych przejściowy niewielki wpływ PEM emitowanych przez telefony komórkowe na EEG oraz wzory i strukturę snu [19–22]. Ponownie również opublikowano wyniki badań, w których nie zaobserwowano żadnych skutków, nawet po wielokrotnym narażeniu na PEM stacji bazowej GSM 1800 [23].

Ze względu na charakter ekspozycji (24-godzinna) interesujący jest wpływ PEM emitowanych przez stacje bazowe na strukturę snu. W jedynej pracy poświęconej temu zagadnieniu Danker-Hopfe i wsp. [24] nie stwierdzili żadnego wpływu PEM emitowanego ze stacji bazowych (GSM 900 i GSM 1800, 0,01–9 V/m) na sen 335 pobliskich mieszkańców (wydajność snu, latencję faz NREM1 i NREM2, średni czas nocnych przebudzeń, czas snu i łączny czas spędzony w łóżku). W badaniu tego samego zespołu z 2011 r. [25], poświęconym oddziaływaniu telefonów doręcznych, stwierdzono słaby wpływ 8-godzinnej ekspozycji na PEM o strukturze sygnału telefonii GSM (900 MHz, modulowane impulsowo częstotliwością 217 Hz,  $SAR_{10g} = 2$  W/kg) oraz UMTS (universal mobile telecommunications system – uniwersalny system telekomunikacji ruchomej, 1966 MHz,  $SAR_{10g} = 2$  W/kg) łącznie na 16 spośród 354 analizowanych parametrów (13 ze 177 dla GSM i 3 ze 177 dla UMTS). Parametry te wskazywały na zwiększenie czasu snu w fazie REM i skrócenie czasu fazy NREM2.

Podobne wyniki – słabe efekty wpływu telefonów komórkowych na sen lub całkowity brak takich efektów – opisały 4 inne zespoły badawcze [26–29]. W badaniach Loughran i wsp. [26] oraz Schmida i wsp. [27] nie stwierdzono żadnego efektu oddziaływania PEM (pasmo 900 MHz modulowane impulsowo zgodnie ze strukturą sygnału GSM, odpowiednio w cytowanych publikacjach:  $SAR_{10g} = 0,674$  W/kg i  $SAR_{10g} = 2$  W/kg) na strukturę snu. W kolejnym badaniu [28] stwierdzono wpływ 30-minutowej ekspozycji poprzedzającej sen na modulowane amplitudowo pole 900 MHz ( $SAR_{10g} = 2$  W/kg) na 1 z 18 analizowanych parametrów (skrócenie czasu snu w fazie REM podczas drugiego cyklu snu u osób eksponowanych na PEM). W ostatniej z cytowanych prac [29] wykazano marginalny wpływ całonocnej ekspozycji na PEM 900 MHz modulowane impulsowo na 3 parametry spośród 8 analizowanych (skrócenie czasu snu, zmniejszenie jego efektywności i wydłużenie średniego czasu nocnych przebudzeń).

Brak spójności wyników uzyskiwanych przez różne zespoły badawcze można zaobserwować w badaniu Lowden i wsp. [30]. Stwierdzono w nim wpływ 3-godzinnej ekspozycji przed snem na PEM o strukturze sygnału telefonii GSM (884 MHz, modulowane impulsowo częstotliwościami 2 Hz, 8 Hz, 217 Hz i 1736 Hz,  $SAR_{10g} = 1,4$  W/kg) na wydłużenie fazy NREM2, skrócenie fazy NREM4 i snu wolnofalowego oraz wzrost latencji fazy NREM3. Wydłużenie fazy NREM2 jest nie-spójne z prezentowanymi wcześniej wynikami zespołu Danker-Hopfe i wsp. [25].

Również Nakatani-Enomoto i wsp. [31] nie stwierdzili żadnego wpływu na parametry snu 3-godzinnej ekspozycji na PEM telefonu doręcznego UMTS w ciągu 5 godz. przed zaśnięciem (1950 MHz,  $SAR_{10g} = 1,52$  W/kg).

### **Wpływ PEM telefonów komórkowych na zapis EEG**

#### **Zapis EEG podczas snu**

Spójniejsze rezultaty otrzymano w badaniach dotyczących wpływu PEM na parametry zapisu EEG prowadzonego podczas snu osób badanych. W 5 pracach poświęconych temu obszarowi badawczemu [26–30] autorzy, analizując wpływ sygnału analogicznego do emitowanego przez telefony doręczne GSM, stwierdzili zwiększenie mocy widma EEG u osób ekspozycyjnych na PEM w różnych zakresach częstotliwości. Wyróżnić należy badanie Schmida i wsp. [28], w którym poza ekspozycją na PEM telefonii komórkowej GSM (w opisanym powyżej układzie ekspozycyjnym) analizowano również wpływ pola magnetycznego niskich częstotliwości (odpowiadających modulacji występującej w telefonii GSM). Wykazano jego wpływ na moc widmową w częstotliwościach delta i theta przy jednoczesnym braku widocznego działania na moc widmową w częstotliwości wrzecion (salwy o częstotliwości 11–15 Hz, ale najczęściej 12–14 Hz, zazwyczaj o różnej topografii, które są charakterystycznym elementem drugiego stadium snu wolnofalowego).

Loughran i wsp. [26] stwierdzili ponadto różnice osobnicze między efektami oddziaływania PEM na zapis EEG, przy czym u tych samych osób zachodziła powtarzalność w sile i kierunku oddziaływania PEM. Co więcej, silniejsze efekty obserwowane były u kobiet, które wcześniej zazwyczaj nie były werbowane do badań. Według cytowanych autorów obserwacja ta prowadzi do daleko posuniętych implikacji dotyczących obecnego stanu wiedzy o oddziaływaniu PEM. Jeśli bowiem „efekt oddziaływania słabych PEM okazał się wrażliwy na osobniczą zmienność, to sugeruje, że poprzednie negatywne badania EEG w czasie snu nie są mocnym dowodem na brak oddziaływania telefonów komórkowych. Ponadto aktualne wyniki mają ważne konsekwencje nie tylko dla badań wpływu PEM na sen, ale dla wszystkich badań efektów biologicznych oddziaływania PEM, ponieważ opierają się one na założeniu, że jakkolwiek jego wpływ będzie stosunkowo zgodny u poszczególnych osób. Biorąc pod uwagę odległe skutki wywołane przez telefony komórkowe, być może musimy przemyśleć interpretację i spo-

sób realizacji badań w tej dziedzinie i stwierdzić, że obecnie nie wiemy, czy telefony komórkowe wpływają na zdrowie” [26].

Z kolei Nakatani-Enomoto i wsp. [31] w swojej pracy nie stwierdzili żadnego wpływu 3-godzinnej ekspozycji na PEM telefonu doręcznego UMTS w ciągu 5 godz. przed zaśnięciem (1950 MHz,  $SAR_{10g} = 1,52$  W/kg) na zapis EEG podczas snu.

#### **Spoczynkowe EEG**

W literaturze przedmiotu opisywano wpływ ekspozycji na PEM nie tylko na moc widma EEG rejestrowanego podczas snu, ale również na moc widma spoczynkowego EEG. Szczególnie pasmo częstotliwości  $\alpha$  (podstawowy rytm spoczynkowy EEG dla ok. 85% populacji) wydaje się wrażliwe na oddziaływanie PEM.

Dla PEM emitowanych przez telefony osobiste pracujące w systemie GSM potwierdzają to badania z ostatnich lat [32–35]. Autorzy większości przywoływanych prac potwierdzają również opisaną powyżej hipotezę Loughran i wsp. [26] dotyczącą podatności osobniczej, wykazując nie tylko oddziaływanie PEM na moc fali alfa w zapisie EEG, ale także działanie jedynie w określonych grupach – w tym przypadku w grupach wiekowych (Croft i wsp. [33] u osób 19–40-letnich, przy braku efektu u 13–15- i 55–70-letnich; Vecchio i wsp. [34] u osób 47–84-letnich, przy braku efektu u 20–37-letnich). Badania Loughran i wsp. [36], przeprowadzone w grupie nastolatków (11–13 lat), nie wykazały wpływu PEM telefonii komórkowej GSM na zapis spoczynkowy EEG i jest to spójne z cytowanymi badaniami, które wskazują na zwiększoną podatność osób starszych na oddziaływanie PEM [33,34].

W żadnym dotychczas opublikowanym badaniu nie wykazano efektów oddziaływania PEM telefonów doręcznych UMTS na zapis spoczynkowy EEG [33,37].

#### **Wpływ PEM na potencjały wywołane**

Potencjały wywołane są śladami odpowiedzi mózgu na bodźce. Zwykle reakcja jest mała i w pojedynczym zapisie najczęściej niewidoczna wśród czynności pochodzących od wielu innych procesów zachodzących w tym samym czasie w mózgu. Wyodrębnienie potencjałów wywołanych z tzw. tła EEG wymaga zapisu wielu odpowiedzi na powtórzenia tego samego bodźca, cyfrowo uśrednianych w kolejnych fragmentach EEG i zsynchronizowanych według momentu wystąpienia bodźca.

Potencjały wywołane dzieli się na wzrokowe, somatosensoryczne, słuchowe i ruchowe. Jak wspomniano

we wstępie niniejszej publikacji, potencjały wywołane są elektrofizjologicznym markerem zaburzeń centralnego układu nerwowego. Ponieważ ucho sąsiaduje ze źródłem PEM, którym jest telefon komórkowy, większość badań ukierunkowywano na sprawdzenie oddziaływania PEM na układu słuchowy, w tym na słuchowe potencjały wywołane – w trakcie lub po ekspozycji, a nawet po ekspozycji wielokrotnej. Nie zaobserwowano w tych badaniach żadnych skutków oddziaływania PEM [37–46]. Również badania na zwierzętach nie wykazały takiego oddziaływania [47].

De Tommaso i wsp. [48] wykazali zmniejszenie się amplitudy iCNV (initial contingent negative variation – początkowe negatywne fale tzw. odpowiedzi sytuacyjnych w EEG), co więcej – efekt ten zachodził również przy wyłączonej emisji PEM telefonii komórkowej GSM, jedynie przy włączonym telefonie. Jest to jedno z niewielu badań wykazujących ewentualny wpływ PEM bardzo niskich częstotliwości na układ nerwowy. Ciekawe jest również badanie zespołu Leung i wsp. [49], którzy, analizując słuchowe potencjały wywołane dla kilku grup wiekowych, wykazali zwiększenie amplitudy fali N1 pod wpływem ekspozycji na PEM o strukturze sygnału GSM (894,6 MHz modulowane impulsowo,  $SAR_{10g} = 0,7$  W/kg). Zachodziło ono niezależnie od badanej grupy wyselekcjonowanej ze względu na wiek oraz przy jednoczesnym braku wpływu na amplitudę fal P3a, P3b i wszystkie 3 badane latencje fal. Badanie to nie jest spójne z wcześniej publikowanymi, a Leung i wsp. jako jedną z hipotez wyjaśniających tę niespójność podają prawdopodobną większą czułość przeprowadzanego przez siebie badania.

W kolejnym badaniu – Bąka i wsp. [50] – wykazano zmniejszenie amplitudy fali P300 występujące tylko podczas ekspozycji na PEM telefonii komórkowej GSM (935 MHz modulowane impulsowo częstotliwością 217 Hz,  $SAR_{10g} = 0,81$  W/kg). Efekt ten zanikał po wyłączeniu emisji PEM. Badanie to jest interesujące, ponieważ wskazuje na możliwość występowania efektów oddziaływania PEM, które zachodzą tylko podczas ekspozycji i są niewykrywalne po jej zakończeniu, podczas gdy w wielu badaniach realizowanych na świecie [41,42,51] analizowano potencjalny wpływ PEM, ale już po zakończeniu ekspozycji. Jedyne dotychczas badanie, w którym analizowano wpływ PEM emitowanego z routerów Wi-Fi na falę P300 [52], potwierdza w pełni wyniki opublikowane przez Bąka. Wykazano w nim, że w obecności PEM następowało zmniejszenie amplitudy fali P300 u mężczyzn, natomiast takiego efektu nie obserwowano u kobiet.

### **Wpływ PEM na układ krążenia i jego regulację**

Niewiele jest również prac poświęconych analizie wpływu PEM na zaburzenia układu krążenia. W dwóch z nich [53,54] nie wykazano wpływu PEM telefonii komórkowej GSM (902,4 MHz,  $SAR_{10g} = 2$  W/kg) [53] ani UMTS (1950 MHz,  $SAR_{10g} = 2$  W/kg) [54] na lokalne krążenie w ekspozowanych częściach ciała. W badaniu Spichtig i wsp. [55] stwierdzono wzrost częstości skurczów serca w grupie ekspozowanej na sygnał UMTS (1900 MHz,  $SAR_{10g} = 1,8$  W/kg). Razem z tym efektem występowało zmniejszenie stężenia hemoglobiny nieutlenowanej. Podobnie zmniejszenie stężenia hemoglobiny utlenowanej oraz hemoglobiny całkowitej przy braku wpływu na częstość skurczów serca, zostało zaobserwowane podczas ekspozycji na słabsze PEM UMTS (1900 MHz,  $SAR_{10g} = 0,18$  W/kg) [55].

Opublikowano również bardzo ciekawe wyniki badań epidemiologicznych wpływu PEM różnych częstotliwości na zaburzenia zmienności rytmu serca [56]. Nie dotyczyły one bezpośrednio telefonii komórkowej, ale ekspozycji zawodowej na PEM w radiowych i telewizyjnych stacjach nadawczych, gdzie występują PEM o częstotliwościach do 727 MHz – czyli bardzo zbliżonych do emitowanych przez stacje bazowe GSM 900. W badaniu wykazano u pracowników zwiększone ryzyko zaburzeń funkcjonowania układu krążenia (istotny wzrost ryzyka zaburzeń ciśnienia tętniczego i jego regulacji) i autonomicznego układu nerwowego (przewaga aktywności układu współczulnego nad przywspółczulnym). Ryzyko pojawienia się zaburzeń rosło wraz ze wzrostem życiowej dozy ekspozycji na PEM i średniej wartości pola, na które badane osoby były ekspozowane.

Badania te mogłyby wyjaśniać subiektywne symptomy zgłaszane przez osoby zamieszkujące w pobliżu stacji bazowych, takie jak bóle głowy, zawroty głowy, zaburzenia snu, rozdrażnienie czy przemęczenie [57–59]. Należy jednak zauważyć, że cytowane prace dotyczące symptomów subiektywnych zostały skrytykowane przez międzynarodowy zespół ekspertów z powodu znaczących niedociągnięć metodologicznych [60]. Trzeba również nadmienić, że ww. objawy – będące podstawą do uznania „nadwrażliwości elektromagnetycznej” jako rodzaju niepełnosprawności – są coraz częściej traktowane jako niezwiązane z rzeczywistą ekspozycją na PEM, a związane bardziej z efektem nocebo [61,62]. Potwierdza to wiele badań z podwójnie ślepą próbą prowokowaną u osób uważających się za „nadwrażliwe” [24,26–28,33,55,63–69], podczas których badani nie zgłaszali żadnych subiektywnych

symptomów poza zwiększeniem częstości bólów głowy w grupie nieeksponowanej na PEM [63] i zmniejszeniem częstości występowania uczucia swędzenia skóry u osób eksponowanych na PEM [64].

### Wpływ PEM na procesy poznawcze

Mimo niezwykle obiecujących wyników badań z 2000 r. [12,13] do ok. 2005 r. stwierdzano głównie niewielki przemijający wpływ oddziaływania PEM na procesy pamięciowe i poznawcze [70,71]. W pracach późniejszych, w miarę poprawiania się metodyki badań dotyczących tego problemu, coraz częściej nie stwierdzano żadnych efektów oddziaływania PEM telefonii komórkowej na procesy poznawcze. Takie wnioski przedstawiono w większości prac z ostatnich lat [27,28,36,49,72–74].

Wprawdzie Luria i wsp. [73] stwierdzili wydłużenie się czasu reakcji prawej ręki w teście operacyjnej pamięci przestrzennej u osób eksponowanych na PEM, którego źródłem był telefon usytuowany przy lewym uchu, jednak następne badanie tego samego zespołu [69] wykazało, żeby efekt ten był wynikiem wpływu mikrofalowych PEM. Autorzy wskazali na nagrzewanie się telefonu lub działanie słabych PEM o niższych częstotliwościach, emitowanych przez elektronikę telefonu, jako potencjalne przyczyny obserwowanego efektu. Podobnie Leung i wsp. [49] stwierdzili istotne różnice tylko w jednym z 24 analizowanych parametrów (zmniejszenie dokładności odpowiedzi pod wpływem ekspozycji telefonii komórkowej UMTS w grupie badanych nastolatków). Podobnie jak wcześniej cytowani autorzy [26], Leung i wsp. sugerują możliwość istnienia osobniczej wrażliwości na PEM i postulują uwzględnianie jej na etapie planowania doświadczeń [49].

Vecchio i wsp. [75] obserwowali skrócenie czasu reakcji w teście „go / no go” po 45 min ekspozycji na PEM telefonii komórkowej GSM (902,4 MHz modulowane impulsowo częstotliwościami 217 Hz i 8,33 Hz,  $SAR_{10g} = 0,5$  W/kg). Wynik ten był również skorelowany z mocą fali alfa w zapisie EEG uzyskiwanym podczas badania.

Niewielki i praktycznie niewytłumaczalny wpływ mikrofalowych PEM obserwowany był w ostatniej omawianej pracy z tego zakresu – Sauter i wsp. [76] stwierdzili, że czas reakcji w zadaniu testującym podzielność uwagi był znacznie wydłużony w trakcie ekspozycji na PEM telefonii komórkowej UMTS (1966 MHz,  $SAR_{10g} = 2$  W/kg) podczas badania w porannej sesji (w sesji popołudniowej się nie wydłużał) i tylko w odniesieniu do wzrokowej części testu. Z kolei lepszą niż w godzinach popołudniowych wydajność badanych

w zadaniu dotyczącym czujności stwierdzono przy ekspozycji na PEM telefonii komórkowej GSM (900 MHz modulowane impulsowo,  $SAR_{10g} = 2$  W/kg) podczas badania porannego.

### WNIOSKI

Neurofizjologiczne badania wpływu fal radiowych na funkcje mózgu u ludzi nie przyniosły dotychczas jednoznacznych wyników. Przyczynami są m.in. różne warunki ekspozycji, duża liczba badanych zmiennych, brak powtarzalności badań i wątpliwości natury statystycznej. W ostatnich latach pojawiło się jednak coraz więcej badań poprawnych metodologicznie, które wykazują związek między PEM a zaburzeniami układu nerwowego [28,56,75].

Poważnym problemem w tych badaniach jest dobór odpowiedniej grupy eksponowanej. Większość badań przeprowadzono u osób młodych, najczęściej mężczyzn. Parametry neurofizjologiczne zmieniają się z wiekiem, natomiast dotychczas nie wiadomo, czy efekty oddziaływania PEM mogą mieć różny wpływ na osoby starsze i młodsze. Na taką możliwość wskazuje jednak kilka badań [33,34]. Prawdopodobnie wpływ PEM na układ nerwowy może być różnicowany również przez płeć i ewentualnie współistniejące schorzenia (np. padaczkę) [26,35]. W przeglądzie krytycznym Regel i Achermann [77] prezentują podobne zdanie, podając przy tym wskazówki metodyczne do realizacji badań w tej dziedzinie. Podkreślają również konieczność prowadzenia dalszych badań w celu ewentualnego zidentyfikowania mechanizmu biofizycznego, który stoi u podstaw oddziaływania PEM na układ nerwowy człowieka.

Trzeba zauważyć, że od ukazania się w 2009 r. przeglądu przeprowadzonego przez van Rongena i wsp. [78] ukazało się wprawdzie kilkanaście prac poświęconych oddziaływaniu PEM na układ nerwowy człowieka, jednak nadal nie można sformułować bardziej zdecydowanych wniosków niż zawarte w cytowanym przeglądzie. Wnioski te wskazują na słabe oddziaływanie telefonii GSM na zapis EEG (spoczynkowy i podczas snu), ale nie potwierdzają jej wpływu na inne funkcje układu nerwowego.

Technologia wciąż się rozwija i bezprzewodowe urządzenia łączności wykorzystują coraz nowsze systemy. Oprócz systemu GSM wprowadzono system UMTS (nieuwzględniony w przeglądzie van Rongena i wsp. [78]), któremu poświęcono już część prac z ostatnich lat, jednak w większości z nich nie wy-

kazano oddziaływania UMTS na układ nerwowy [25,31,33,37,51,54]. Wyjątkiem było badanie Spich-tig i wsp. [55], w którym stwierdzono wzrost częstości skurczów serca w grupie eksponowanej na sygnał UMTS. Obecnie w najnowszych telefonach komórkowych działa także system przesyłu danych LTE (Long Term Evolution), a system Wi-Fi, umożliwiający bezprzewodowe połączenie z Internetem, jest coraz szerzej wykorzystywany w urządzeniach domowych. Sprawia to, że badania dotyczące wpływu PEM zakresu radiowego i mikrofalowego, emitowanych przez urządzenia łączności bezprzewodowej, na funkcjonowanie układu nerwowego są szczególnie trudne. Zwłaszcza że oprócz zagwarantowania obiektywności badań (podwójnie ślepe próby) i ich powtarzalności (precyzyjny opis układu ekspozycyjnego) należy zapewnić podczas planowania badań także możliwość uwzględnienia w nich różnic osobniczych, których istnienie wykazują coraz częściej różni autorzy.

Na zakończenie należy podkreślić niemal brak opublikowanych prac poświęconych wpływowi na ludzki układ nerwowy źródeł innych niż telefony komórkowe. Tylko pojedyncze publikacje, spośród wszystkich przeanalizowanych w niniejszym przeglądzie, dotyczyły rodzajów PEM innych niż telefonacja komórkowa. Były to prace, w których analizowano oddziaływanie PEM emitowanego przez router Wi-Fi na układ nerwowy [52], wpływ PEM z radiowych i telewizyjnych stacji nadawczych na ryzyko zaburzeń funkcjonowania układu krążenia i autonomicznego układu nerwowego [56] oraz ekspozycję na sygnał radia TETRA i związane z nią subiektywne symptomy [64]. Wydaje się, że tak znaczne zmarginalizowanie w badaniach naukowych innych źródeł, mimo powszechnej i dominującej obecności telefonów komórkowych, jest znaczącym zaniedbaniem.

## PIŚMIENNICTWO

1. Bawin S.M., Gavalas-Medici R.J., Adey W.R.: Effects of modulated very high frequency fields on specific brain rhythms in cats. *Brain Res.* 1973;58:365–370, [http://dx.doi.org/10.1016/0006-8993\(73\)90008-5](http://dx.doi.org/10.1016/0006-8993(73)90008-5)
2. Shandala M.G., Dumanskii U.D., Ruohvev M.I., Ershova L.K., Los I.P.: Study of nonionizing microwave radiation effects upon the central nervous system and behavior reactions. *Environ. Health Perspect.* 1979;30:115–121, <http://dx.doi.org/10.2307/3429111>
3. Thuroczy G., Kubinyi G., Bodo M., Bakos J., Szabo L.D.: Simultaneous response of brain electrical activity (EEG) and cerebral circulation (REG) to microwave exposure in rats. *Rev. Environ. Health* 1994;10:135–142, <http://dx.doi.org/10.1515/REVEH.1994.10.2.135>
4. Huber R., Graf T., Cote K.A., Wittmann L., Gallmann E., Matter D. i wsp.: Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG. *Neuroreport* 2000;11:3321–3325, <http://dx.doi.org/10.1097/00001756-200010200-00012>
5. Mann K., Roschke J.: Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on human sleep. *Neuropsychobiology* 1996;33:41–47, <http://dx.doi.org/10.1159/000119247>
6. Freude G., Ullsperger P., Eggert S., Ruppe I.: Microwaves emitted by cellular telephones affect human slow brain potentials. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2000;81(1–2):18–27, <http://dx.doi.org/10.1007/PL00013791>
7. Krause C.M., Sillanmaki L., Koivisto M., Haggqvist A., Saarela C., Revonsuo A. i wsp.: Effects of electromagnetic field emitted by cellular phones on the EEG during a memory task. *Neuroreport* 2000;11:761–764, <http://dx.doi.org/10.1097/00001756-200003200-00021>
8. Wagner P., Roschke J., Mann K., Hiller W., Frank C.: Human sleep under the influence of pulsed radiofrequency electromagnetic fields: A polysomnographic study using standardized conditions. *Bioelectromagnetics* 1998;19:199–202, [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-186X\(1998\)19:3<199::AID-BEM8>3.0.CO;2-X](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1521-186X(1998)19:3<199::AID-BEM8>3.0.CO;2-X)
9. Wagner P., Roschke J., Mann K., Fell J., Hiller W., Frank C. i wsp.: Human sleep EEG under the influence of pulsed radio frequency electromagnetic fields – Results from polysomnographies using submaximal high power flux densities. *Neuropsychobiology* 2000;42:207–212, <http://dx.doi.org/10.1159/000026695>
10. Röschke J., Mann K.: No short-term effects of digital mobile radio telephone on the awake human electroencephalogram. *Bioelectromagnetics* 1997;18:172–176, [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-186X\(1997\)18:2<172::AID-BEM10>3.0.CO;2-T](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1521-186X(1997)18:2<172::AID-BEM10>3.0.CO;2-T)
11. Preece A.W., Iwi G., Davies-Smith A., Wesnes K., Butler S., Lim E. i wsp.: Effect of a 915-MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in man. *Int. J. Radiat. Biol.* 1999;75:447–452, <http://dx.doi.org/10.1080/095530099140375>
12. Koivisto M., Krause C.M., Revonsuo A., Laine M., Hamalainen H.: The effects of electromagnetic field emitted by GSM phones on working memory. *Neuroreport* 2000;11:1641–1643, <http://dx.doi.org/10.1097/00001756-200006050-00009>
13. Koivisto M., Revonsuo A., Krause C., Haarala C., Sillanmaki L., Laine M. i wsp.: Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response

- times in humans. *Neuroreport* 2000;11:413–415, <http://dx.doi.org/10.1097/00001756-200002070-00038>
14. Hladký A., Musil J., Roth Z., Urban P., Blažkova V.: Acute effects of using a mobile phone on CNS functions. *Centr. Eur. J. Public Health* 1999;7(4):165–167
  15. Urban P., Lukáš E., Roth Z.: Does acute exposure to the electromagnetic field emitted by a mobile phone influence visual evoked potentials? *Centr. Eur. J. Public Health* 1998;6(4):288–290
  16. Bortkiewicz A., Jarput S., Kawabata A., Tokura H., Szymczak W., Gadzicka E.: Heart rate and blood pressure during exposure to cellular phone – Experimental study. W: Werner J., Hexamer M. [red.]. *Environmental Ergonomics IX. The 9th International Conference on Environmental Ergonomics*; 30 lipca – 4 sierpnia 2000; Dortmund, Germany. Aachen, Shaker Verlag 2000, ss. 227–230
  17. Sińczuk-Walczak H., Bortkiewicz A., Zmysłony M.: Effects of electromagnetic fields generated by mobile phones on the nervous system. *Med. Pr.* 2004;55(5): 435–438
  18. Ahamed V.I.T., Karthick N.G., Joseph P.K.: Effect of mobile phone radiation on heart rate variability. *Comput. Biol. Med.* 2008;38:709–712, <http://dx.doi.org/10.1016/j.combiomed.2008.03.004>
  19. Huber R., Treyer V., Borbely A.A., Schuderer J., Gottselig J.M., Landolt H.P. i wsp.: Electromagnetic fields, such as those from mobile phones, alter regional cerebral blood flow and sleep and waking EEG. *J. Sleep Res.* 2002;11:289–295, <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2869.2002.00314.x>
  20. D'Costa H., Trueman G., Tang L., Abdel-Rahman U., Abdel-Rahman W., Ong K. i wsp.: Human brain wave activity during exposure to radiofrequency field emissions from mobile phones. *Australas Phys. Eng. Sci. Med.* 2003;26:162–167, <http://dx.doi.org/10.1007/BF03179176>
  21. Cook C.M., Thomas A.W., Prato F.S.: Human electrophysiological and cognitive effects of exposure to ELF magnetic and ELF modulated RF and microwave fields: A review of recent studies. *Bioelectromagnetics* 2002;23:144–157, <http://dx.doi.org/10.1002/bem.107>
  22. Loughran S.P., Wood A.W., Barton J.M., Croft R.J., Thompson B., Stough C.: The effect of electromagnetic fields emitted by mobile phones on human sleep. *Neuroreport* 2005;16:1973–1976, <http://dx.doi.org/10.1097/01.wnr.0000186593.79705.3c>
  23. Hinrichs H., Heinze H.-J., Rotte M.: Human sleep under the influence of a GSM 1800 electromagnetic far field. *Somnologie* 2005;9:185–191, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-054X.2005.00069.x>
  24. Danker-Hopfe H., Dorn H., Bornkessel C., Sauter C.: Do mobile phone base stations affect sleep of residents? Results from an experimental double-blind sham-controlled field study. *Am. J. Hum. Biol.* 2010;22:613–618, <http://dx.doi.org/10.1002/ajhb.21053>
  25. Danker-Hopfe H., Dorn H., Bahr A., Anderer P., Sauter C.: Effects of electromagnetic fields emitted by mobile phones (GSM 900 and WCDMA/UMTS) on the macrostructure of sleep. *J. Sleep Res.* 2011;20:73–81, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2869.2010.00850.x>
  26. Loughran S.P., McKenzie R.J., Jackson M.L., Howard M.E., Croft R.J.: Individual differences in the effects of mobile phone exposure on human sleep: Rethinking the problem. *Bioelectromagnetics* 2012;33:86–93, <http://dx.doi.org/10.1002/bem.20691>
  27. Schmid M., Loughran S., Regel S.J., Murbach M., Bratic Grunauer A., Rusterholz T. i wsp.: Sleep EEG alterations: Effects of different pulse modulated radio-frequency electromagnetic fields. *J. Sleep Res.* 2012;21:50–58, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2869.2011.00918.x>
  28. Schmid M., Murbach M., Lustenberger C., Maire M., Kuster N., Achermann P. i wsp.: Sleep EEG alterations: Effects of pulsed magnetic fields versus pulse-modulated radio frequency electromagnetic fields. *J. Sleep Res.* 2012;21(6):620–629, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2869.2012.01025.x>
  29. Lustenberger C., Murbach M., Dürr R., Schmid M.R., Kuster N., Achermann P. i wsp.: Stimulation of the brain with radiofrequency electromagnetic field pulses affects 24 sleep-dependent performance improvement. *Brain Stimul.* 2013;6(5):805–811, <http://dx.doi.org/10.1016/j.brs.2013.01.017>
  30. Lowden A., Åkerstedt T., Ingre M., Wiholm C., Hillert L., Kuster N. i wsp.: Sleep after mobile phone exposure in subjects with mobile phone-related symptoms. *Bioelectromagnetics* 2011;32:4–14, <http://dx.doi.org/10.1002/bem.20609>
  31. Nakatani-Enomoto S., Furubayashi T., Ushiyama A., Groiss S.J., Ueshima K., Sokejima S. i wsp.: Effects of electromagnetic fields emitted from W-CDMA-like mobile phones on sleep in humans. *Bioelectromagnetics* 2013;34(8):589–598, <http://dx.doi.org/10.1002/bem.21809>
  32. Curcio G., Ferrara M., Moroni F., D'Inzeo G., Bertini M., de Gennaro L.: Is the brain influenced by a phone call? An EEG study of resting wakefulness. *Neurosci. Res.* 2005;53(3):265–270, <http://dx.doi.org/10.1016/j.neures.2005.07.003>
  33. Croft R.J., Leung S., McKenzie R.J., Loughran S.P., Iskra S., Hamblin D.L. i wsp.: Effects of 2G and 3G mo-



- bile phones on human alpha rhythms: Resting EEG in adolescents, young adults and the elderly. *Bioelectromagnetics* 2010;31:434–444, <http://dx.doi.org/10.1002/bem.20583>
34. Vecchio F., Babiloni C., Ferreri F., Buffo P., Cibelli G., Curcio G. i wsp.: Mobile phone emission modulates inter-hemispheric functional coupling of EEG alpha rhythms in elderly compared to young subjects. *Clin. Neurophys.* 2010;121:163–171, <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinph.2009.11.002>
35. Vecchio F., Tombini M., Buffo P., Assenza G., Pellegrino G., Benvenga A. i wsp.: Mobile phone emission increases inter-hemispheric functional coupling of electroencephalographic alpha rhythms in epileptic patients. *Int. J. Psychophysiol.* 2012;11(84):164–171, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2012.02.002>
36. Loughran S.P., Benz D.C., Schmid M.R., Murbach M., Kuster N., Achermann P.: No increased sensitivity in brain activity of adolescents exposed to mobile phone-like emissions. *Clin. Neurophys.* 2013;124(7):1303–1308, <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinph.2013.01.010>
37. Trunk A., Stefanics G., Zentai N., Kovács-Bálint Z., Thuróczy G., Hernádi I.: No effects of a single 3G UMTS mobile phone exposure on spontaneous EEG activity, ERP correlates, and automatic deviance detection. *Bioelectromagnetics* 2013;34(1):31–42, <http://dx.doi.org/10.1002/bem.21740>
38. Ozturan O., Erdem T., Miman M.C., Kalcioglu M.T., Oncel S.: Effects of the electromagnetic field of mobile telephones on hearing. *Acta Otolaryngol.* 2002;122:289–293, <http://dx.doi.org/10.1080/000164802753648178>
39. Arai N., Enomoto H., Okabe S., Yuasa K., Kamimura Y., Ugawa Y.: Thirty minutes mobile phone use has no short-term adverse effects on central auditory pathway. *Clin. Neurophysiol.* 2003;114:1390–1394, [http://dx.doi.org/10.1016/S1388-2457\(03\)00124-X](http://dx.doi.org/10.1016/S1388-2457(03)00124-X)
40. Bąk M., Śliwiska-Kowalska M., Zmysłony M., Dudarewicz A.: No effects of acute exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on brainstem auditory potentials in young volunteers. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health* 2003;16:201–208.
41. Parazzini M., Bell S., Thuróczy G., Molnar F., Tognola G., Lutman M.E. i wsp.: Influence on the mechanisms of generation of distortion product otoacoustic emissions of mobile phone exposure. *Hear. Res.* 2005;208:68–78, <http://dx.doi.org/10.1016/j.heares.2005.04.013>
42. Uloziene I., Uloza V., Gradauskiene E., Saferis V.: Assessment of potential effects of the electromagnetic fields of mobile phones on hearing. *BMC Public Health* 2005;5:39, <http://dx.doi.org/10.1186/1471-2458-5-39>
43. Stefanics G., Thuróczy G., Kellényi L., Hernádi I.: Effects of twenty-minute 3G mobile phone irradiation on event related potential components and early gamma synchronization in auditory oddball paradigm. *Neuroscience* 2008;157(2):453–462, <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroscience.2008.08.066>
44. Kwon M.S., Koivisto M., Laine M., Hämäläinen H.: Perception of the electromagnetic field emitted by a mobile phone. *Bioelectromagnetics* 2008;29(2):154–159, <http://dx.doi.org/10.1002/bem.20375>
45. Kwon M.S., Kujala T., Huotilainen M., Shestakova A., Kujala T., Näätänen R. i wsp.: No effects of mobile phone use on cortical auditory change-detection in children: An ERP study. *Bioelectromagnetics* 2010;31:191–199
46. Kwon M.S., Jääskeläinen S.K., Tolvo T., Hämäläinen H.: No effects of mobile phone electromagnetic field auditory brainstem response. *Bioelectromagnetics* 2010;31:48–55
47. Aran J.M., Carrere N., Chalan Y., Dulou P.E., Larrieu S., Letenneur L. i wsp.: Effects of exposure of the ear to GSM microwaves: *In vivo* and *in vitro* experimental studies. *Int. J. Audiology* 2004;43:245–254, <http://dx.doi.org/10.1080/14992020400050069>
48. De Tommaso M., Rossi P., Falsaperla R., Francesco V.V., Santoro R., Federici A.: Mobile phones exposure induces changes of contingent negative variation. *Neurosci. Lett.* 2009;464:79–83, <http://dx.doi.org/10.1016/j.neulet.2009.08.045>
49. Leung S., Croft R.J., McKenzie R.J., Iskra S., Silber B., Cooper N.R. i wsp.: Effects of 2G and 3G mobile phones on performance and electrophysiology in adolescents, young adults and older adults. *Clin. Neurophys.* 2011;122(11):2203–2216, <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinph.2011.04.006>
50. Bąk M., Dudarewicz A., Zmysłony M., Śliwiska-Kowalska M.: Effects of GSM signals during exposure to event related potentials (ERPs). *Int. J. Occup. Med. Environ. Health* 2010;23(2):191–199, <http://dx.doi.org/10.2478/v10001-010-0021-8>
51. Parazzini M., Lutman M.E., Moulin A., Barnel C., Śliwiska-Kowalska M., Zmysłony M. i wsp.: Absence of short-term effects of UMTS exposure on the human auditory system. *Radiat. Res.* 2010;173:91–97, <http://dx.doi.org/10.1667/RR1870.1>
52. Papageorgiou C.C., Hountala C.D., Maganioti A.E., Kyprianou M.A., Rabavilas A.D., Papadimitriou G.N. i wsp.: Effects of Wi-Fi signals on the P300 component of event related potentials during an auditory Hayling task. *J. Integr. Neurosci.* 2011;10:189–202, <http://dx.doi.org/10.1142/S0219635211002695>

53. Lindholm H., Alanko T., Rintamäki H., Kännälä S., Toivonen T., Sistonen H. i wsp.: Thermal effects of mobile phone RF fields on children: A provocation study. *Prog. Biophys. Mol. Biol.* 2011;107(3):399–403, <http://dx.doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2011.09.004>
54. Mizuno Y., Moriguchi Y., Hikage T., Terao Y., Ohnishi T., Nojima T. i wsp.: Effects of WCDMA 1950 MHz EMF emitted by mobile phones on regional cerebral blood flow in humans. *Bioelectromagnetics* 2009;30:536–544, <http://dx.doi.org/10.1002/bem.20508>
55. Spichtig S., Scholkmann F., Chin L., Lehmann H., Wolf M.: Assessment of intermittent UMTS electromagnetic field effects on blood circulation in the human auditory region using a near-infrared system. *Bioelectromagnetics* 2012;33:40–54, <http://dx.doi.org/10.1002/bem.20682>
56. Bortkiewicz A., Gadzicka E., Szymczak W., Zmysłony M.: Heart rate variability (HRV) analysis in radio and TV broadcasting stations workers. *Int. J. Occup. Environ. Health* 2012;25(4):446–455, <http://dx.doi.org/10.2478/s13382-012-0059-x>
57. Navarro E.A., Segura J., Portoles M., Gomez-Peretta C.: The microwave syndrome: A preliminary study in Spain. *Electromag. Biol. Med.* 2003;22:161–169, <http://dx.doi.org/10.1081/JBC-120024625>
58. Santini R., Santini P., le Ruz P., Danze J.M., Seigne M.: Survey study of people living in the vicinity of cellular phone base stations. *Electromag. Biol. Med.* 2003;1:41–49, <http://dx.doi.org/10.1081/JBC-120020353>
59. Hutter H.P., Moshamer H., Wallner P., Kundi M.: Subjective symptoms, sleeping problems and cognitive performance in subjects living near mobile phone base stations. *Occup. Environ. Med.* 2006;63:307–313, <http://dx.doi.org/10.1136/oem.2005.020784>
60. Neubauer G., Feychting M., Hamnerius Y., Kheifets L., Kuster N., Ruiz I. i wsp.: Feasibility of future epidemiological studies on possible health effects of mobile phone base stations. *Bioelectromagnetics* 2007;28(3):224–230, <http://dx.doi.org/10.1002/bem.20298>
61. Rubin G.J., Nieto-Hernandez R., Wessely S.: Idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields (formerly ‘electromagnetic hypersensitivity’): An updated systematic review of provocation studies. *Bioelectromagnetics* 2010;31:1–11
62. Baliatsas C., van Kamp I., Bolte J., Schipper M., Yzermans J., Lebrecht E.: Non-specific physical symptoms and electromagnetic field exposure in the general population: Can we get more specific? A systematic review. *Environ. Int.* 2012;41:15–28, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2011.12.002>
63. Curcio G., Ferrara M., Limongi T., Tempesta D., di Sante G., de Gennaro L. i wsp.: Acute mobile phones exposure affects frontal cortex hemodynamics as evidenced by functional near-infrared spectroscopy. *J. Cereb. Blood Flow Metab.* 2009;29:903–910, <http://dx.doi.org/10.1038/jcbfm.2009.14>
64. Nieto-Hernandez R., Williams J., Cleare A.J., Landau S., Wessely S., Rubin G.J.: Can exposure to a terrestrial trunked radio (TETRA)-like signal cause symptoms? A randomised double blind provocation study. *Occup. Environ. Med.* 2011;68:339–344, <http://dx.doi.org/10.1136/oem.2010.055889>
65. Kwon M.K., Choi J.Y., Kim S.K., Yoo T.K., Kim D.W.: Effects of radiation emitted by WCDMA mobile phones on electromagnetic hypersensitive subjects. *Environ. Health* 2012;11:69, <http://dx.doi.org/10.1186/1476-069x-11-69>
66. Nam K.C., Lee J.H., Noh H.W., Cha E.J., Kim N.H., Kim D.W.: Hypersensitivity to RF fields emitted from CDMA cellular phones: A provocation study. *Bioelectromagnetics* 2009;30:641–650, <http://dx.doi.org/10.1002/bem.20518>
67. Riddervold I.S., Kjaergaard S.K., Pedersen G.F., Andersen N.T., Franek O., Pedersen A.D. i wsp.: No effect of hand portable transmission signals on human cognitive function and symptoms. *Bioelectromagnetics* 2010;31:380–390, <http://dx.doi.org/10.1002/bem.20571>
68. Wallace D., Eltiti S., Ridgewell A., Garner K., Russo R., Sepulveda F. i wsp.: Do TETRA (airwave) base station signals have a short-term impact on health and well-being? A randomized double-blind provocation study. *Environ. Health Perspect.* 2010;118:735–741, <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.0901416>
69. Leitgeb N., Schrottner J., Cech R., Kerbl R.: EMF-protection sleep study near mobile phone base stations. *Somnologie* 2008;12:234–243, <http://dx.doi.org/10.1007/s11818-008-0353-9>
70. Hossmann K.A., Hermann D.M.: Effects of electromagnetic radiation of mobile phones on the central nervous system. *Bioelectromagnetics* 2003;24(1):49–62, <http://dx.doi.org/10.1002/bem.10068>
71. Sienkiewicz Z., Jones N., Bottomley A.: Neurobehavioural effects of electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics* 2005;S7:116–126, <http://dx.doi.org/10.1002/bem.20141>
72. Eltiti S., Wallace D., Ridgewell A., Zougkou K., Russo R., Sepulveda F. i wsp.: Short-term exposure to mobile phone base station signals does not affect cognitive functioning or physiological measures in individuals who report sensitivity to electromagnetic fields and controls. *Bioelectromagnetics* 2009;30:556–563, <http://dx.doi.org/10.1002/bem.20504>

73. Luria R., Eliyahu I., Hareuveny R., Margaliot M., Meiran N.: Cognitive effects of radiation emitted by cellular phones: The influence of exposure side and time. *Bioelectromagnetics* 2009;30:198–204, <http://dx.doi.org/10.1002/bem.20458>
74. Hareuveny R., Eliyahu I., Luria R., Meiran N., Margaliot M.: Cognitive effects of cellular phones: A possible role of non-radiofrequency radiation factors. *Bioelectromagnetics* 2011;32:585–588, <http://dx.doi.org/10.1002/bem.20671>
75. Vecchio F., Buffo P., Sergio S., Iacoviello D., Rossini P.M., Babiloni C.: Mobile phone emission modulates event-related desynchronization of alpha rhythms and cognitive-motor performance in healthy humans. *Clin. Neurophys.* 2012;123:121–128, <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinph.2011.06.019>
76. Sauter C., Dorn H., Bahr A., Hansen M.L., Peter A., Bajbouj M. i wsp.: Effects of exposure to electromagnetic fields emitted by GSM 900 and WCDMA mobile phones on cognitive function in young male subjects. *Bioelectromagnetics* 2011;32:179–190, <http://dx.doi.org/10.1002/bem.20623>
77. Regel S.J., Achermann P.: Cognitive performance measures in bioelectromagnetic research – Critical evaluation and recommendations. *Environ. Health* 2011;10:10, <http://dx.doi.org/10.1186/1476-069X-10-10>
78. Van Rongen E., Croft R., Juutilainen J., Lagroye I., Miyakoshi J., Saunders R. i wsp.: Effects of radiofrequency electromagnetic fields on the human nervous system. *J. Toxicol. Environ. Health B Crit. Rev.* 2009;12(8):572–597, <http://dx.doi.org/10.1080/10937400903458940>