

## Wpływ składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego 50 Hz na zmiany hemodynamiki organizmu człowieka

**Streszczenie.** Referat prezentuje wyniki badań wpływu składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego 50 Hz na zmiany hemodynamiki organizmu człowieka przeprowadzone na zaprojektowanym w Instytucie Elektroenergetyki Politechniki Wrocławskiej stanowisku badawczym generującym pole magnetyczne 50 Hz o wartościach oraz homogeniczności zbieżnej z polami generowanymi przez obiekty elektroenergetyczne. Badania przeprowadzone zostały we współpracy z Katedrą Medycyny Ratunkowej Uniwersytetu Medycznego we Wrocławiu.

**Abstract.** The results of tests on influence of magnetic field with variable frequency at 50 Hz on the human cardiac chemo-dynamic processes, conducted on testing stand constructed at the Institute of Electrical Power Engineering, Wrocław University of Technology are presented. The unique research stand generates 50 Hz magnetic field of homogeneity parameters coincident with the fields generated by electrical power facilities. The presented study was carried out in collaboration with the Medical University in Wrocław. (**Influence of magnetic field with variable frequency at 50 Hz on the human cardiac chemo-dynamic processes**)

**Słowa kluczowe:** pole magnetyczne 50 Hz, badania w czasie rzeczywistym, hemodynamika, układ krążenia, linie najwyższych napięć  
**Keywords:** magnetic field 50 Hz, real-time, cardiac chemo-dynamics, blood circulatory system, power lines.

doi:10.12915/pe.2014.02.60

### Wstęp

Prąd przemienny o częstotliwości przemysłowej (50/60Hz) jest wykorzystywany w przemyśle oraz gospodarstwach domowych człowieka od około 100 lat, a jego eksploatacji towarzyszy emisja do środowiska wielu czynników fizycznych oraz chemicznych. Do najważniejszych z nich zaliczyć możemy:

- składową magnetyczną pola elektromagnetycznego 50/60 Hz,
- składową elektryczną pola elektromagnetycznego 50/60 Hz,
- hałas oraz wibracje,
- ozon.

Ludzie coraz częściej zadają sobie pytanie, czy przebywanie w bezpośrednim zasięgu tych źródeł pól elektromagnetycznych ma wpływ na ich zdrowie teraz lub może mieć negatywne konsekwencje w przyszłości. Przeprowadzone dotychczas badania eksperymentalne opisywane w literaturze dotyczące oddziaływań pola elektromagnetycznego najniższych częstotliwości (ELF) z materią żywą opisują istnienie różnych zjawisk biologicznych zachodzących pod jego wpływem [1,2,3]. Z powodu znikomej znajomości oddziaływań pól ELF na organizmy żywe, budowa nowych obiektów elektroenergetycznych, w tym napowietrznych linii wysokiego napięcia, często budzi zaniepokojenie oraz protesty ludzi zamieszkujących w ich sąsiedztwie [4] (Rys.1.). Jednocześnie środki masowego przekazu podają przeważnie negatywne lub o sensacyjnym zabarwieniu wiadomości o zagrożeniach od pól elektromagnetycznych (np. chorobami nowotworowymi), które docierając w nieprecyzyjnej postaci do społeczeństwa wywołują poczucie zagrożenia. Takie niepoparte dostatecznymi argumentami informacje tworzą przekonanie, że życie i praca w pobliżu obiektów, które emitują pola elektromagnetyczne o częstotliwości sieciowej są niebezpieczne dla człowieka i środowiska, w którym żyje. Rozpatrując omawiany problem, należy zauważyć, że wpływ pól elektromagnetycznych na organizm człowieka nie pozostaje obojętny, a analiza dostępnej literatury nie daje jednoznacznej odpowiedzi odnośnie wszystkich potencjalnych skutków zdrowotnych związanych z eksploatacją tego typu obiektów znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie siedzib ludzkich. Zagadnienia te są jeszcze słabo poznane i konieczne jest prowadzenie badań w tej dziedzinie [5,6,7]. Dlatego

rzeczowa i obiektywna analiza tego typu zagadnień powinna być przedmiotem analiz naukowych zespołów specjalistów złożonych z różnych dziedzin nauki, a uzyskanie wiarygodnych wyników jest możliwe tylko na poziomie prac interdyscyplinarnych. Z tego powodu Zakład Elektroenergetyki Przemysłowej Politechniki Wrocławskiej nawiązał współpracę z Katedrą Medycyny Ratunkowej i Katastrof Uniwersytetu Medycznego we Wrocławiu, a zaprezentowane poniżej wyniki badań są rezultatem wspólnie przeprowadzonych badań eksperymentalnych.

### Organizmy żywe w polach elektromagnetycznych niskich częstotliwości

Wpływ pól elektromagnetycznych na procesy biologiczne zaczęto badać w XIX wieku, a następnie kontynuowano je od połowy lat pięćdziesiątych ubiegłego wieku. Badania te dotyczyły głównie wpływu pól elektromagnetycznych o bardzo niskiej częstotliwości na agregaty komórkowe, zwierzęta i ludzi. Dotyczyły one takich zagadnień jak: choroby nowotworowe, układ odpornościowy organizmu, układ nerwowy i kostny [8,9]. W niektórych pracach ich autorzy starają się nakreślać w sposób teoretyczny działanie pola na materię żywą sugerując różne możliwe mechanizmy jego działania [10]. Jednak wyjaśniania obserwowanych zjawisk pozostają jak dotychczas bardziej w sferze domysłów niż jednolitych teorii, które wyjaśniałyby w sposób kompleksowy i oczywisty obserwowane zjawiska. Jednocześnie należy zauważyć, że pola magnetyczne najniższych częstotliwości wykazują (oprócz omówionych, potencjalnie negatywnych oddziaływań na organizmy żywe) także oddziaływania pozytywne, które znajdują coraz częściej zastosowanie w leczeniu różnych zespołów chorobowych. Terapie z tego zakresu możemy podzielić na dwie kategorie: magnetoterapię oraz magnetostymulację. Obie terapie różnią się głównie poziomem natężeń stosowanych w nich pól magnetycznych ELF. W szczególności magnetoterapia znajduje zastosowanie między innymi w leczeniu takich chorób jak: osteoporoza, endokrynooftalmopatie, w leczeniu chorób skóry, tkanek miękkich, owrzodzeniach, zmianach troficznych podudzi czy czynności nerwów czaszkowych. Innym ważnym obszarem, w którym coraz częściej znajdują zastosowania pola ELF-MF jest neuropsychiatria. Stosowana tam metoda to, przeczaszkowa stymulacja magnetyczna (TMS) – *Transcranial Magnetic Stimulation*

[11,12]. Jest to bezinwazyjna metoda mająca na celu stymulację neuronów w mózgu. Metoda ta znajduje coraz szersze zastosowanie w leczeniu choroby Parkinsona oraz zespołów depresyjnych. Okazuje się, że jest ona skuteczna nawet w tych przypadkach, w których nie skutkują już preparaty chemiczne. W 2010 roku w czasopiśmie PNAS zespół naukowców z Harvard, Cambridge University, Massachusetts Institute of Technology oraz Beth Israel Deaconess Medical Center opublikowali artykuł poświęcony wpływowi pól magnetycznych ELF-MF na centralny układ nerwowy człowieka, jego umysł oraz psychikę. Opisany w nim eksperyment wykazał istotny wpływ pola ELF na ocenę postrzegania zachowań moralnych ludzi poddanych działaniu tego pola oraz ujawnił na jak wiele reakcji dotąd niebranych pod uwagę może mieć wpływ pole magnetyczne najniższych częstotliwości [13]. Reasumując można stwierdzić, że w ostatnich latach ukazało się wiele prac omawiających obserwowane efekty działania pól ELF- MF na organizmy żywe. Jednak nie wszystkie z efektów tych oddziaływań zostały dotychczas w pełni wyjaśnione, a w odniesieniu do niektórych z nich ścierają się przeciwstawne poglądy. Między innymi niewyjaśnione dotychczas są mechanizmy interakcji pól ELF-MF z organizmami żywymi oraz potencjalne ryzyko zdrowotne z tym związane [14]. Uzasadnia to celowość prowadzenia dalszych badań w tym zakresie.



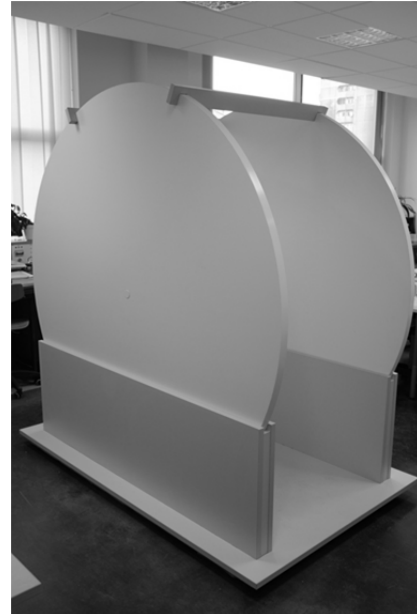
Rys. 1. Jedna z wielu linii elektroenergetycznych 110 kV usytuowanych w pobliżu osad ludzkich

#### Materiały i metody zastosowane w badaniach

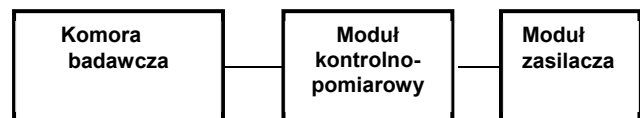
W przeprowadzonych badaniach do ekspozycji ludzi w polu magnetycznym 50 Hz wykorzystano zaprojektowane i zbudowane w Zakładzie Elektroenergetyki Przemysłowej stanowisko badawcze (rys.2.). Stanowisko to skonstruowano w oparciu o układ cewek Helmholtza, które charakteryzuje się stosunkowo prostą konstrukcją, łatwością określania rozkładu pola w przestrzeni ekspozycyjnej oraz relatywnie niską ceną wykonania, zapewniając jednocześnie wysoką jednorodność generowanego pola magnetycznego. Układ taki nie

wymaga również specjalnych systemów zasilających. Jest to więc najkorzystniejsze rozwiązanie służące do ekspozycji organizmów żywych o znacznych rozmiarach (zwierzęta, ludzie), jak również w zastosowaniach do badań układów komórkowych w pracach in-vitro.

Schemat blokowy zastosowanego stanowiska badawczego ilustruje rysunek 3. W przeprowadzonych badaniach do monitorowania warunków polowych zastosowano następujące przyrządy pomiarowe: Emdex II, Holaday HI-3627, Power Quality analyzer Fluke 43, Multimeter Fluke 45, Multimeter Fluke 8846A, a pomiary parametrów hemodynamicznych serca badanych osób wykonano przy pomocy urządzenia Uscom 1 (rys.4,5.).



Rys. 2. Widok skonstruowanej i zbudowanej w Instytucie Energoelektryki komory do ekspozycji ludzi w polu magnetycznym



Rys. 3. Schemat blokowy stanowiska badawczego do ekspozycji ludzi w przemiennym polu magnetycznym

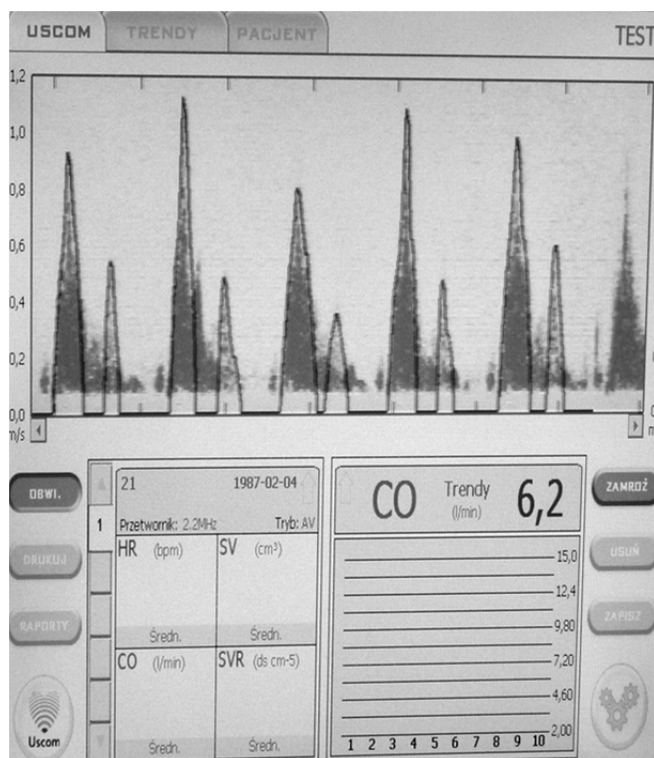
#### Badania wpływu pola magnetycznego 50 Hz na parametry hemodynamiczne serca badanych osób

Przeprowadzone badania miały charakter nieinwazyjny. W badaniach uczestniczyła grupa 38 zdrowych ochotników w wieku od 20 do 68 lat. Wykonane badania dotyczyły oceny wpływu pola magnetycznego o częstotliwości sieciowej na hemodynamikę serca u badanych osób. W pomieszczeniu laboratoryjnym zlokalizowanym na Uniwersytecie Medycznym we Wrocławiu, w którym prowadzono badanie przeprowadzono pomiary tła, którego celem była lokalizacja składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego 50 Hz.

Pomiary te miały na celu zlokalizowanie potencjalnych źródeł pasożytniczych tego typu pól mogących mieć wpływ na wyniki prowadzonych badań. Po wykonaniu niezbędnych pomiarów zlokalizowano miejsce, w którym poziom tła był zerowy (na granicy czułości zastosowanych przyrządów pomiarowych). W miejscu tym zlokalizowano komorę badawczą do ekspozycji ludzi w przemiennym polu magnetycznym 50 Hz. Następnie zainstalowano stanowisko badawcze oraz pomiarowe zastosowane w badaniach.



Rys. 4. Monitor do nieinwazyjnego pomiaru rzutu serca USCUM 1A firmy USCUM LTD



Rys. 5. Raport hemodynamiczny jednego z ochotników zarejestrowany przy pomocy monitora nieinwazyjnego pomiaru rzutu serca USCUM 1

Badanie polegało na umieszczeniu osoby badanej w komorze ekspozycyjnej generującej przemienne pole magnetyczne 50 Hz z możliwością zmiany jego natężenia w zakresie od 0 - do 60 A/m, przy czym większa wartość odpowiada warunkom dopuszczalnej ekspozycji na składową magnetyczną 50 Hz, określoną w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzenia dotrzymania tych poziomów (Dz. U. nr 192 poz.1883).

Cykl badawczy składał się z trzech etapów. W pierwszym etapie u badanych osób uczestniczących w projekcie badawczym dokonano wstępnej oceny stanu zdrowia. Ocena ta polegała na przeprowadzeniu wywiadu z badanym. Następnie wykonano nieinwazyjny pomiar

hemodynamiki serca. W jego skład wchodziły następujące pomiary: pojemności minutowej serca, wskaźnika sercowego, wskaźnika objętości wyrzutowej serca. Pomiaru opisanych powyżej parametrów dokonywano przy użyciu urządzenia USCUM 1A, firmy Uscom Ltd. Urządzenie to wykonuje pomiary wykorzystując dopplerowską falę ciągłą. Wykonanie tego badania polega na przyłożeniu ultradźwiękowej głowicy bezpośrednio nad łukiem aorty wstępującej serca badanego pacjenta. Wskaźnik sercowy (Cardiac Index - CI) - to jeden z parametrów hemodynamicznych oceniających pracę serca, jako pompy tłoczącej krew. Jest on znormalizowaną wartością pojemności minutowej serca, (CO) przeliczoną na powierzchnię ciała badanego pacjenta. Drugim parametrem hemodynamicznym uwzględnionym podczas przeprowadzonych badań był, CO - minutowa pojemność serca lub rzut serca (Cardiac output), który dostarcza nam informacji o ilości (objętości) krwi, którą serce przepompowuje przez lewą, prawą komorę do naczyń krwionośnych w czasie 60 sekund. U dorosłego, zdrowego mężczyzny wartość tego parametru zawiera się w granicach od 3000 - 3500 ml/m<sup>2</sup>. Wskaźnik, CO w połączeniu z oporem obwodowym decydują o średniej wartości ciśnienia tętniczego. Z tego powodu zaliczamy go do najważniejszych parametrów hemodynamicznych określających pracę serca. Do niedawna był parametrem trudnym do zmierzenia ze względu na inwazyjność stosowanych metod pomiaru. Najpowszechniejszą metodą do jego oznaczania jest metoda termodylucji z wykorzystaniem cewnika Swan-Ganza wprowadzanego bezpośrednio do tętnicy płucnej badanego. Metoda ta wiąże się z dużą liczbą powikłań często kończących się śmiercią pacjenta. Dlatego w prowadzonych badaniach zastosowano urządzenie nieinwazyjne wykorzystujące efekt Dopplera.

Trzecim z mierzonych parametrów był wskaźnik SVI - (stroke volume indeks) jest to tzw. wskaźnik objętości wyrzutowej serca. Parametr ten określa nam objętość krwi przepompowywanej przy każdym skurczu serca w przeliczeniu na metr kwadratowy powierzchni ciała badanej osoby. Drugi etap badania polegał na umieszczeniu badanej osoby w komorze ekspozycyjnej przeznaczonej do ekspozycji ludzi w jednorodnym polu magnetycznym o częstotliwości przemysłowej (50 Hz). Cykl ekspozycyjny podzielony został na trzy następujące po sobie przedziały ekspozycyjne. Każdy przedział czasowy miał długość wynoszącą 20 minut. Cały cykl ekspozycyjny trwał godzinę. Trzeci etap badania polegał na powtórzeniu oceny ogólnego stanu zdrowia uczestników badania po ekspozycji na pole magnetyczne 50 Hz oraz powtórne wykonanie nieinwazyjnego pomiaru hemodynamiki serca dokonując pomiarów: pojemności minutowej serca, wskaźnika sercowego, wskaźnika objętości wyrzutowej serca (analogicznie jak w etapie 1 omawianego badania).

Wyniki uzyskanych badań poddano opracowaniu statystycznemu z wykorzystaniem komputerowego pakietu programów statystycznych EPIINFO Ver. 3.5.2. Jednorodność wariancji wszystkich parametrów przed i po ekspozycji sprawdzano testem Bartlett'a. W celu stwierdzenia, czy porównywane rozkłady poszczególnych parametrów z przed i po ekspozycji różnią się między sobą istotnie przeprowadzono weryfikację hipotezy o równości średnich  $\bar{X}$  tych parametrów. W grupach zależnych, w których stwierdzono jednorodność wariancji, weryfikację tę przeprowadzono z zastosowaniem testu parametrycznego T Studenta dla zmiennych zależnych. W przypadku braku jednorodności wariancji (tylko dla CO) weryfikację hipotezy o równości średnich przeprowadzono testem nieparametrycznym kolejności par Wilcoxon. W analizie tej przyjęto jako krytyczny poziom istotności  $P \leq 0.05$ ,

określający prawdopodobieństwo popełnienia błędu polegającego na odrzuceniu hipotezy o równości średnich.

### Dyskusja wyników z przeprowadzonych badań

Wyniki analizowanych parametrów hemodynamicznych serc badanych osób oraz wyniki ich statystycznego opracowania zestawiono w tabelach 1. oraz 2. W tabelach tych zastosowano następujące oznaczenia badanych wielkości (parametrów) oraz parametrów ich rozkładu statystycznego:

Symbole badanych wielkości hemodynamicznych:

- SVI - wskaźnik objętości wyrzutowej, w [ml/m<sup>2</sup>],
- CO – minutowa pojemność wyrzutowa, w [l/min],
- CI - indeks sercowy, w [l/min/m<sup>2</sup>].

Symbole parametrów rozkładu statystycznego badanych wielkości:

- m - wartości średnie,
- SD - odchylenie standardowe,
- MIN - wartość minimalna,
- MAX - wartość maksymalna,
- 25Q - dolny kwartył,
- M - mediana,
- 75Q - górny kwartył,
- p-value- graniczny poziom istotności.

Tabela 1. Wyniki parametrów krążeniowych w badanej populacji przed ekspozycją w polu magnetycznym 50 Hz

Badany parameter	Przed ekspozycją							p-value
	m	SD	MIN	MAX	25Q	M	75Q	
SVI [ml/m <sup>2</sup> ]	33,0	9,3	16,0	60,0	26,0	32,5	40,0	0,723
CO [l/min]	3,52	0,62	1,90	5,00	3,10	3,75	4,00	<b>0,0239*</b>
CI [l/min/m <sup>2</sup> ]	2,26	0,56	0,87	3,00	2,00	2,35	2,70	0,0639

Tabela 2. Wyniki parametrów krążeniowych w badanej populacji po ekspozycji w polu magnetycznym 50 Hz

Badany parameter	Po ekspozycją							p-value
	m	SD	MIN	MAX	25Q	M	75Q	
SVI [ml/m <sup>2</sup> ]	33,6	13,9	9,3	104,0	30,0	32,0	38,0	0,723
CO [l/min]	3,80	1,29	0,55	8,70	3,30	3,70	4,50	<b>0,0239*</b>
CI [l/min/m <sup>2</sup> ]	2,41	0,62	1,20	4,60	2,10	2,30	2,80	0,0639

Przeprowadzone analizy z badań organizmów ludzi pozwalają na stwierdzenie, że pole magnetyczne 50 Hz o natężeniu odpowiadającym natężeniom pól wytwarzanych przez urządzenia elektroenergetyczne prądu przemiennego 50 Hz wykazały wpływ na poziomie istotności  $\alpha = 5\%$  w stosunku do jednego spośród rozpatrywanych parametrów (parametrem tym jest CO dla którego wartości ( $p < \alpha$ ) p-value jest mniejsze od granicznego poziomu istotności).

Analizy wyników z przeprowadzonych badań wskazują na potrzebę kontynuowania i rozszerzenia zakresu

badawczego z rozwinięciem badań o mechanizmy autoregulacji i ich zmiany pod wpływem przemiennych pól magnetycznych 50 Hz z zakresu różnych wartości. W pierwszej kolejności dotyczyć one powinny przedziału zakresów wartości pól magnetycznych 50 Hz dopuszczonych w ekspozycji zawodowej na terenie Polski. Badania te mogą pozwolić na wyjaśnienie mechanizmów oddziaływań wolnozmiennych pól elektromagnetycznych 50 Hz na organizmy żywe, w tym organizm człowieka.

### LITERATURA

- [1] Beck E., Drzazga Z.: A study of the low frequency electromagnetic fields penetrating biological substances. Med. Biol. Eng. Comput., 1999, 37, 249-250.
- [2] Dees C., Garret S., Henley D., Travis C.: Effects of 60Hz fields, estradiol and xenoestrogens on human breast cancer cells. Radiat. Res., 1996, 146, 444-452.
- [3] Ericson A. i wsp.: An epidemiological study of work with video screens and pregnancy outcome II. A case-control study. Am. Journ. Ind. Med., 1986, vol. 9, pp. 459-475.
- [4] Sztafowski. D, Łukaszewicz M, Wróblewski Z.: Evaluation of how low frequency magnetic field 50 Hz affect living cells. Przegląd Elektrotechniczny 2011/2.
- [5] Santini M.T., Rainaldi, G., Indovina P.L.: Cellular effects of extremely low frequency (ELF) electromagnetic fields. Int J Radiat Biol 85: 294 – 343, 2009
- [6] Portier C.J., Wolfe M.S.: NIEHS Working Group Report: Assessment of health effects from exposure to power-line frequency electric and magnetic fields. Research Triangle Park, National Institute of Health. 1998.
- [7] Vijayalaxmi, Prihoda T.j.: Genetic damage in mammalian somatic cells exposed to extremely low frequency electro – magnetic fields: A meta – analysis of data from 87 publications (1990 – 2007). Int J Radiat. Biol 85: 196 – 213, 2009
- [8] Wertheimer N., Leeper E.: Adult cancer related to electrical wires near home. American Journal Epidemiology, 1982, vol. 11, pp.345-355.
- [9] Myers A. i wsp.: Childhood cancer and overhead power lines. A case-control study. Br. J. Cancer. 1990, vol. 62, pp. 1008-1011.
- [10] Sztafowski. D, Łukaszewicz M, Wróblewski Z.: Evaluation of how low frequency magnetic field 50 Hz affect living cells. Przegląd Elektrotechniczny 2011/2
- [11] Liane Young, Joan Albert Camprodón, Marc Hauser, Alvaro Pascual-Leone, and Rebecca Saxe Disruption of the right temporoparietal junction with transcranial magnetic stimulation reduces the role of beliefs in moral judgments, Proc Natl Acad Sci U S A. 2010 April 13; 107(15): 6753–6758.
- [12] Zyss T.: Bezpieczeństwo stosowania magnetoterapii przy stymulacji magnetycznej w okolicach głowy. Fizjoterapia. 1997, 5, 28-31.
- [13] Young L., Camprodón, J., Hauser, Pascual-Leone, Saxe R, Disruption of the right temporoparietal junction with transcranial magnetic stimulation reduces the role of beliefs in moral judgments. PNAS. 2010.
- [14] Burda H., Begall S., Červený J. Neef J. Němec P. Extremely low-frequency electromagnetic fields disrupt magnetic alignment of ruminants. PNAS. 2009.

**Autorzy:** prof. dr hab. inż. Zbigniew Wróblewski, dr Dariusz Sztafowski, Politechnika Wroclawska, Instytut Energoelektryki, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, prof. dr hab. med Juliusz Jakubaszko, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, Katedra Medycyny Ratunkowej i Katastrof, ul. Bujwida 44a Wrocław E-mail: [juliusz.jakubaszko@am.wroc.pl](mailto:juliusz.jakubaszko@am.wroc.pl), [zbigniew.wroblewski@pwr.wroc.pl](mailto:zbigniew.wroblewski@pwr.wroc.pl), [dariusz.sztafowski@pwr.wroc.pl](mailto:dariusz.sztafowski@pwr.wroc.pl)