

Tomasz DŁUGOSZ¹

DOKŁADNOŚĆ BADAŃ BIOELEKTROMAGNETYCZNYCH – ROLA INŻYNIERA W MEDYCYNIE

Artykuł poświęcony jest zagadnieniu dokładności badań biomedycznych wykorzystujących pole elektromagnetyczne. Przedstawiono w nim wybrane źródła niepewności, które mogą prowadzić do całkowitego zafałszowania otrzymywanych rezultatów. Jednym z nich jest wzajemne oddziaływanie pomiędzy badanymi obiektami umieszczonymi w polu elektromagnetycznym układu ekspozycyjnego. W pracy zaproponowano rozwiązanie eliminujące to zjawisko. Jest nim urządzenie do ekspozycji obiektów biologicznych w postaci klatki dielektrycznej. Innym źródłem niepewności, które omówiono w pracy jest stosowanie tylko pola elektromagnetycznego o polaryzacji liniowej. W badaniach biomedycznych *in vivo* z wykorzystaniem pola elektromagnetycznego bardzo często wykorzystywana jest polaryzacja liniowa. W związku z tym, żeby zapewnić jednakową dawkę pola wszystkim badanym obiektom należy je unieruchomić, co powoduje wywołanie stresu u badanych zwierząt, a to z kolei może mieć wpływ na wyniki eksperymentu. W przypadku, gdy badane zwierzęta poruszają się swobodnie ilość zabsorbowanej mocy jest funkcją ich położenia w stosunku do wektorów pola, a to z kolei powoduje obciążenie uzyskanych wyników znaczącym błędem. Żeby temu zapobiec zaproponowano rozwiązanie w postaci układu ekspozycyjnego generującego pole elektromagnetyczne o polaryzacji quasi-sferycznej, co umożliwia zapewnienie jednakowych warunków wszystkim badanym obiektom, niezależnie od ich położenia. W badaniach wykorzystano metody numeryczne, które umożliwiły sprawne przeprowadzenie symulacji komputerowych. Analizowane zagadnienia, jak i wnioski odniesione zostały do aktualnie prowadzonych badań.

Słowa kluczowe: badania bioelektromagnetyczne, pole elektromagnetyczne, oddziaływania wzajemne, układy ekspozycyjne, polaryzacja quasi-sferyczna

1. Wstęp

Rozwój cywilizacji przyniósł ludzkości wiele udogodnień w różnych aspektach życia. W telekomunikacji (dyscyplinie najbardziej interesującej autora) jest to m. in. stały dostęp do Internetu, możliwość korzystania z telefonów komórkowych, czy systemów radiowo-telewizyjnych. Tradycyjne nadajniki radiowe i

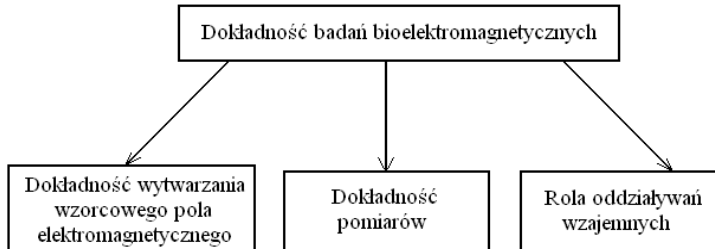
¹ Tomasz Długosz, Katedra Telekomunikacji i Teleinformatyki, Wydział Elektroniki, Politechnika Wrocławska, ul. Janiszewskiego 11/17, 50-372 Wrocław, Tomasz.Dlugosz@pwr.edu.pl

telewizyjne, stacje bazowe, czy punkty dostępne bezprzewodowych sieci komputerowych stały się już właściwie stałą częścią krajobrazu. W rezultacie wytwarzane przez nie pole elektromagnetyczne (PEM) zdominowało nasze środowisko. W związku z tym zachodzi pytanie: czy i jakie zagrożenia niosą ze sobą te osiągnięcia techniki.

Wpływ promieniowania PEM ze sztucznych źródeł, pożądany i szkodliwy, jest przedmiotem zainteresowania badaczy od dziesięcioleci. Badania te są badaniami interdyscyplinarnymi, które łączą w sobie nauki techniczne (elektronika, elektrotechnika, telekomunikacja), medyczne i biologiczne.

Autor, jako inżynier, nie wypowiada się na tematy biologiczne, czy też medyczne, a swoją pracę poświęcił wybranym technicznym aspektom dotyczącym dokładności ekspozycji na PEM, typowo w zastosowaniach biomedycznych. Wiąże się to ze szczegółową analizą następującej grupy zagadnień (rys. 1):

- wytwarzanie wzorcowych PEM wykorzystywanych do atestacji narzędzi pomiarowych (wykorzystywanych, jako wzorce wtórne, lub układy ekspozycyjne, np. w badaniach biomedycznych) lub do badania wpływu PEM na dowolne obiekty materialne (np. własności materii poddanej działaniu PEM, wrażliwość organizmów i tkanek (*in vivo* lub/i *in vitro*) na działanie PEM, susceptybilność urządzeń technicznych, punkt detonacji lub samozapłonu materiałów i mieszanek wybuchowych pod wpływem działania PEM),
- dokładność w metrologii PEM,
- dokładność eksperymentu z obiektem biologicznym, polegająca na uwzględnieniu oddziaływań wzajemnych, które pojawiają się w tego typu badaniach.



Rys. 1. Grupy czynników wpływające na dokładność badań bioelektromagnetycznych

Fig. 1. Factors affecting the results of bioelectromagnetic research

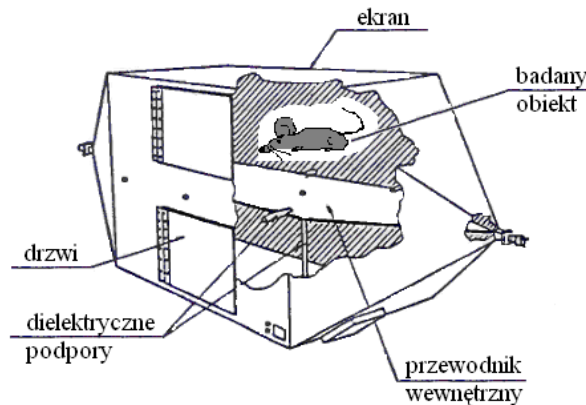
Zagadnienia dotyczące wytwarzania PEM i jego pomiaru zostały dokładnie omówione przez autora m. in. w [5, 8, 9]. Dalsza część pracy poświęcona jest roli oddziaływań wzajemnych, które zdaniem autora są kluczowe w badaniach bioelektromagnetycznych.

2. Charakterystyka badań bioelektromagnetycznych

Przeprowadzenie badań bioelektromagnetycznych, w których bada się skutki wpływu PEM na obiekt biologiczny wymaga wytworzenia pola o znanych parametrach. W tym celu stosowane są układy ekspozycyjne, do których, w zależności od zakresu częstotliwości, można zaliczyć: cewki Helmholtza, odcinki falowodów, komory TEM (ang. Transverse Electromagnetic), komory rewerberacyjne i bezechowe, czy anteny aperturowe [16, 17, 19]. Najczęściej wykorzystywana jest komora TEM (rys. 2), która cechuje się szerokim pasmem pracy (do 1 GHz), niezależnością natężenia pola od częstotliwości i jego prostym sposobem wyznaczania:

$$E = U / d = \left(\sqrt{P \cdot Z_0} \right) / d \quad (1)$$

gdzie: E – natężenie pola elektrycznego wewnątrz komory, U , P – napięcie lub moc doprowadzona do układu, d – odległość między ekranem i przewodnikiem wewnętrznym, Z_0 – impedancja swobodnej przestrzeni.



Rys. 2. Komora TEM

Fig. 2. TEM cell

Badania elektromagnetyczne, a zwłaszcza bioelektromagnetyczne, są jednymi z najmniej dokładnych i trudnych do przeprowadzenia. W wielu przypadkach wykonywane są w warunkach, w których ekspozycja PEM znacznie odbiega od tej, w której badany obiekt znajduje się będąc w warunkach naturalnych. Dodatkowo podczas prezentacji rezultatów z eksperymentów rzadko dyskutowane są źródła niepewności, które mogą obarczyć wynik dużym błędem. Wystarczy przejrzeć najnowsze publikacje w renomowanych czasopismach, aby zauważyć, że problem niedokładności badań bioelektromagnetycznych związany

z wytwarzaniem PEM, jego polaryzacją, czy oddziaływaniami wzajemnymi zostaje pomijany [14, 15].

Oszacowania przeprowadzone przez autora pokazują, że na skutek istnienia sprzężeń między badanymi obiektami i układem ekspozycyjnym oraz między samymi obiektami, powstają błędy, które mogą osiągać nawet kilkadziesiąt procent [2, 6].

3. Rola oddziaływań wzajemnych w badaniach bioelektromagnetycznych

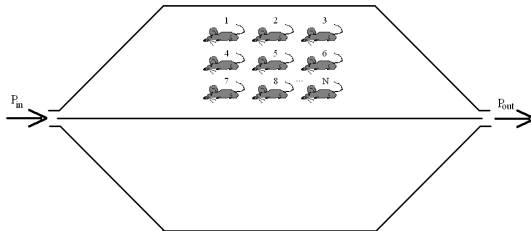
3.1. Analiza problemu

Bardzo często w badaniach bioelektromagnetycznych jednoczesnej ekspozycji poddaje się znaczną liczbę badanych obiektów – od kilku nawet do kilkadziesiątu [1, 11, 13, 14], dzięki czemu zyskuje się oszczędność czasu i redukcję kosztów eksperymentu, ale znacznie obniża się dokładność otrzymanych wyników badań. Niestety nie zawsze zwracana jest na to uwaga.

W tego typu przypadkach moc pochłoniętą przez badane objekty uznaje się za identyczną i wyznacza na podstawie bilansu mocy i podzieleniu mocy traconej w układzie ekspozycyjnym przez ilość badanych obiektów (rys. 3):

$$P_i = (P_{in} - P_{out}) / N \quad (2)$$

gdzie: P_i – moc pochłonięta przez i -ty obiekt, P_{in} – moc doprowadzona do układu, P_{out} – moc zmierzona na wyjściu układu, N – liczba obiektów poddanych jednoczesnej ekspozycji.

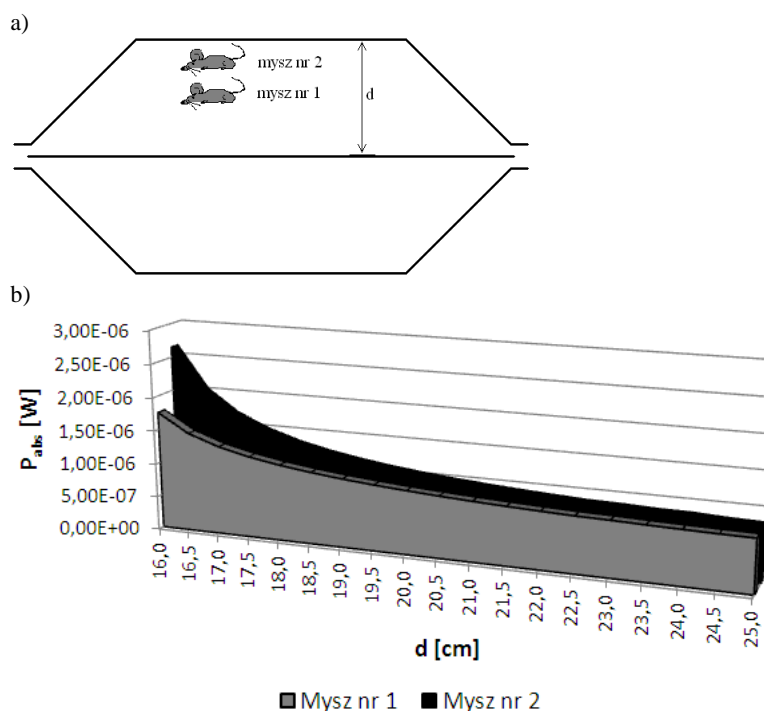


Rys. 3. Jednoczesna ekspozycja wielu obiektów w komorze TEM

Fig. 3. Simultaneous exposition of many biological objects

Wykazano, że podejście takie nie uwzględnia zjawiska oddziaływań wzajemnych między obiektami. W celu ilustracji zjawiska przytoczony zostanie przykład pokazany na rys. 4, który wraz z innymi możliwymi scenariuszami omówiono m. in. w [4, 6].

W symulacjach komputerowych, przeprowadzonych za pomocą oprogramowania Feko stosującego do obliczeń metodę momentów, nie wykorzystano rzeczywistego modelu myszy – zastąpiono go modelem prostopadłościennym, który w pierwszym przybliżeniu jest zupełnie wystarczający, albowiem chodzi tu jedynie o zasygnalizowanie występowania pewnego zjawiska, a nie o dokładną analizę rozkładu PEM w myszy. Na rysunkach pokazywane są myszy w celu jaśniejszego przedstawienia rozpatrywanego problemu. Parametry elektryczne obiektu biologicznego, przenikalność elektryczną i konduktywność, ustawiono odpowiednio na: $\epsilon_r = 80$ i $\sigma = 0,84$ S/m.



Rys. 4. Różnice w mocy pochłanianej przez dwie myszy umieszczone w komórce TEM: a) układ ekspozycyjny, b) wyniki symulacji komputerowych

Fig. 4. Differences in absorber power by two mice in TEM cell: a) exposure system, b) computer simulation results

W omawianym przykładzie (rys. 4a) mysz nr 1 umieszczona została w geometrycznym środku górnej części komory TEM, a mysz nr 2 pośrodku między myszą nr 1, a przewodem zewnętrznym (ekranem). Jak można zauważyć z wykresu przedstawionego na rys. 4b, moc pochłonięta przez mysz nr 2, którą umieszczono bliżej metalowej płyty, jest większa od mocy pochłoniętej przez mysz nr 1, znajdującą się w środku układu. Stosunek mocy pochłoniętej przez

mysz nr 2 do mocy pochłoniętej przez mysz nr 1 wynosi ok. 1,5, gdy płyty są w pobliżu myszy i ok. 1,0, gdy płyty są oddalone, co można zaobserwować w postaci zbiegających się ze sobą krzywych.

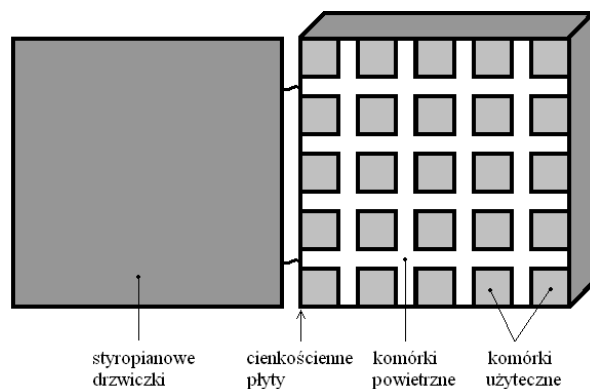
Występujące tu zjawisko może prowadzić do znacznych różnic w wynikach badań laboratoryjnych prowadzonych w różnych ośrodkach, a uznawanych za prowadzone w identycznych warunkach i należy je uwzględnić w postaci stosownych poprawek.

3.2. Proponowane rozwiązania

W celu wyeliminowania omówionego zjawiska przeprowadzono szereg badań, analiz, symulacji komputerowych z wykorzystaniem metod numerycznych oraz eksperymentów. W rezultacie zaproponowano dwa rozwiązania w postaci specjalnego układu do ekspozycji obiektów biologicznych i nowego rodzaju polaryzacji.

3.2.1. Nowy układ do ekspozycji obiektów biologicznych

Wyeliminowanie wzajemnych oddziaływań między badanymi obiektami możliwe było poprzez odpowiednie rozmieszczenie obiektów biologicznych w układzie ekspozycyjnym. W tym celu zaproponowane zostało urządzenie w postaci klatki wykonanej z materiału dielektrycznego. Klatka zawiera komórki użyteczne, w których umieszczone są badane obiekty oraz komórki powietrzne, których zadaniem jest izolacja komórek użytecznych (rys. 5). Wysokość i szerokość komórek użytecznych jest równa co najmniej dwukrotnej wysokości i szerokości komórek powietrznych, przy czym łączna wysokość i szerokość obu komórek jest co najmniej równa minimalnej odległości pomiędzy badanymi obiektami [10].

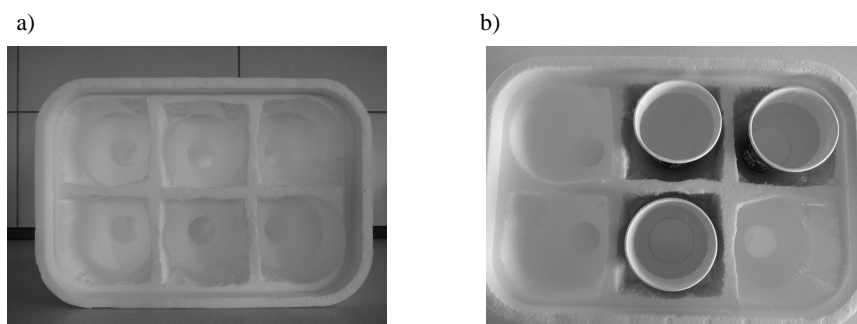


Rys. 5. Nowe urządzenie do ekspozycji obiektów biologicznych

Fig. 5. New device for biological objects exposition

Komórki użyteczne muszą mieć odpowiednio duży rozmiar, aby badanym zwierzętom umożliwić swobodne poruszanie, to z kolei może ograniczyć wpływ czynnika stresogennego na wyniki badań. Niedopuszczalne natomiast jest unieruchamianie zwierząt, jak to pokazano np. w [12]. Może to znacząco wpływać na rezultat eksperymentu.

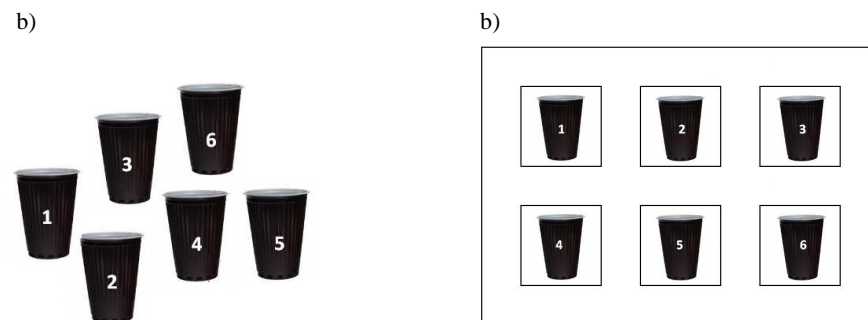
Na zaproponowanym rozwiązaniu przeprowadzono szereg symulacji komputerowych i eksperymentów [2, 3]. W dalszej części omówiony zostanie przebieg eksperymentu, na potrzeby którego wykonano klatkę (rys. 6a). Jako badany obiekt wykorzystano roztwór wody o parametrach elektrycznych $\epsilon_r = 88$, $\sigma = 2$ mS/m, który wlało do papierowych kubków (rys. 6b). Całość umieszczono w kuchni mikrofalowej o dysponowanej mocy 700 W.



Rys. 6. Urządzenie do ekspozycji obiektów biologicznych: a) klatka, b) kubki z roztworem umieszczone w klatce

Fig. 6. A device for biological objects exposition: a) a cage, b) cups with an aqueous solution

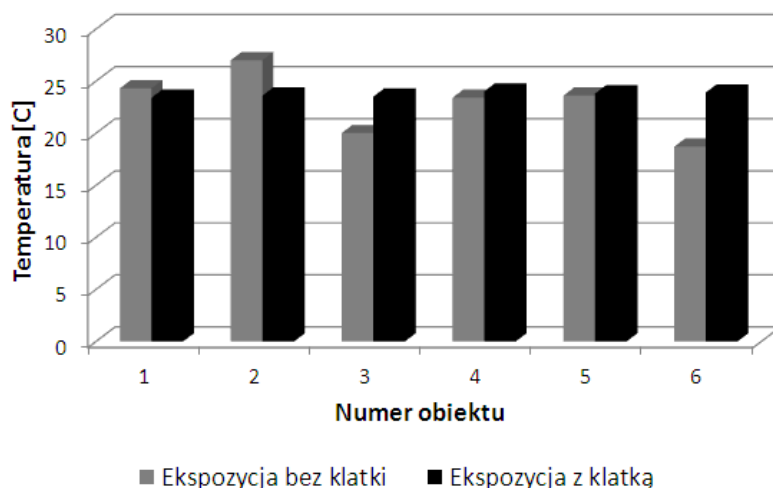
Po ustalonym czasie nagrzewania mierzony był przyrost temperatury dla obiektów umieszczonych w kuchni dowolnie (rys. 7a) i obiektów poddawanych ekspozycji w omawianej klatce (rys. 7b).



Rys. 7. Rozmieszczenie obiektów w układzie ekspozycyjnym: a) dowolne, b) w klatce

Fig. 7. Position of objects in exposure system: a) any, b) in the cage

Zgodnie z przedstawionymi wcześniej założeniami, jeśli obiekty umieszczone są dowolnie w układzie ekspozycyjnym (rys. 7a), to każde z nich zaabsorbuje inną dawkę energii, zatem również powinien zostać zaobserwowany inny przyrost temperatury podczas napromieniowania. Umieszczenie obiektów w zaproponowanej klatce (rys. 7b) powoduje wyeliminowanie wzajemnych oddziaływań między badanymi obiektami, co skutkuje równomierną absorpcją mocy przez badane obiekty, co potwierdzają wyniki eksperymentu (rys. 8).



Rys. 8. Wyniki eksperymentu

Fig. 8. Results of experiment

W przypadku umieszczenia obiektów w układzie bez klatki do ekspozycji (rys. 7a) temperatura poszczególnych obiektów zmieniała się w przedziale od 18,7°C do 24,3°C, a średnia wyniosła 22,8°C. W sytuacji, kiedy zastosowano urządzenie do ekspozycji w postaci zaproponowanej klatki (rys. 7b), to zmiany temperatury dla badanych obiektów wahały się w zakresie od 23,4°C do 24°C, a ich średnia wyniosła 23,7°C.

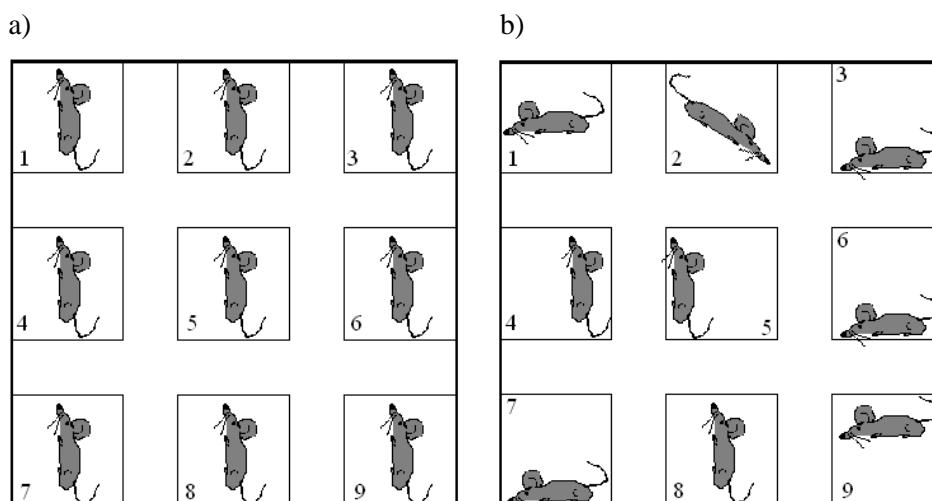
Z przeprowadzonego eksperymentu jasno wynika, że klatka spełnia swoje zadanie i eliminuje sprzężenia pomiędzy badanymi obiektami.

3.2.2. Polaryzacja quasi-sferyczna

Kolejnym istotnym czynnikiem mającym wpływ na dokładność badań bioelektromagnetycznych jest wpływ polaryzacji PEM na ilość zaabsorbowanej energii. Samo odseparowanie badanych obiektów od siebie nie jest wystarczające, gdyż eliminuje tylko oddziaływania wzajemne, ale należy pamiętać, że obiekt powinien się swobodnie poruszać, a to z kolei implikuje pewne wymaga-

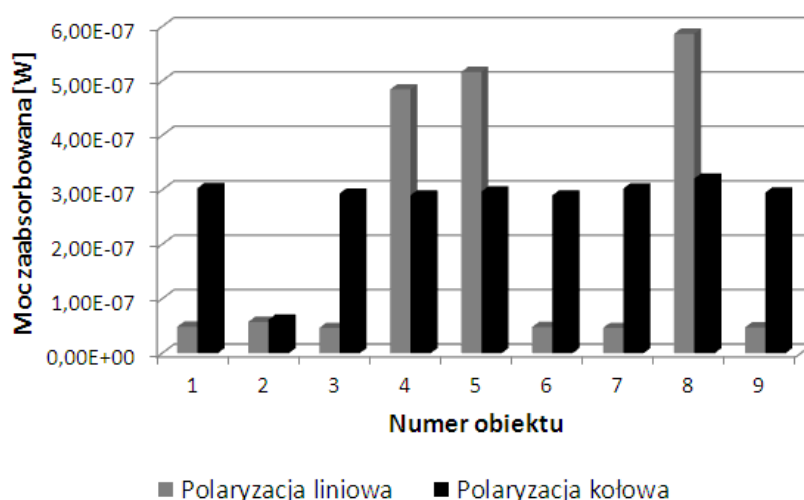
nia dotyczące polaryzacji PEM użytego do napromieniowania. Zazwyczaj w takich badaniach wykorzystywane jest pole o polaryzacji liniowej [15], czasami o polaryzacji kołowej [18], jednak do równomiernego napromieniowania swobodnie poruszających się obiektów nie jest to wystarczające.

Rozważmy dwa różne ułożenia obiektów biologicznych w zaproponowanej klatce do badań bioelektromagnetycznych (rys. 9). Jeśli badane obiekty umieszczone są jednakowo (rys. 9a), to do uzyskania równomiernego napromieniowania wystarczy PEM o polaryzacji liniowej (rys. 10). Niestety unieruchomienie zwierząt powoduje nie uwzględnienie innych czynników na wynik badania, jak np. stresu związanego ze wspomnianym unieruchomieniem. W przypadku obiektów poruszających się swobodnie (rys. 9b) pole o polaryzacji liniowej, ani kołowej nie są wystarczające i nie dają jednakowego napromieniowania badanych zwierząt (rys. 10). Możliwe jest to dopiero dzięki zastosowaniu PEM o polaryzacji quasi-sferycznej [7]. Dopiero w tym przypadku każdy z obiektów poddanych ekspozycji zaabsorbuje jednakową dawkę mocy (rys. 11).



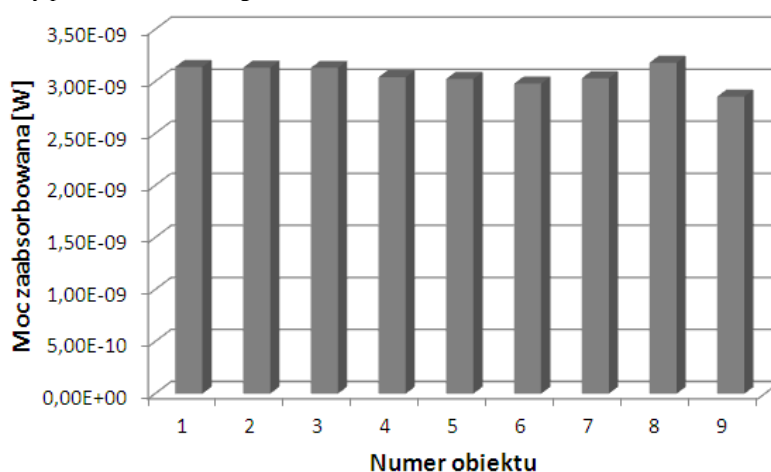
Rys. 9. Wybrane sposoby rozmieszczenia obiektów biologicznych w klatce do badań bioelektromagnetycznych: a) jednakowe, b) dowolne

Fig. 9. Selected arrangements of biological objects in the cage for bioelectromagnetic experiments: a) the same, b) any



Rys. 10. Wyniki absorpcji mocy przez obiekty umieszczone w klatce napromieniowanej PEM o polaryzacji liniowej i kołowej

Fig. 10. Results of absorber power by objected placed in exposure system with linearly and circularly polarized electromagnetic fields

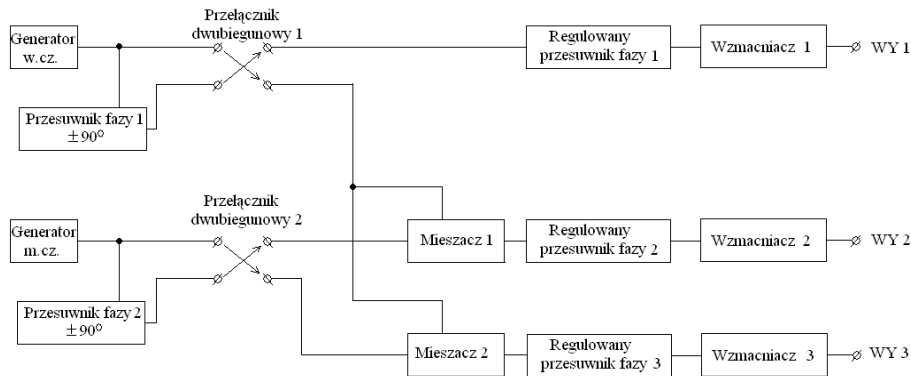


Rys. 11. Wyniki absorpcji mocy przez obiekty umieszczone w klatce napromieniowanej PEM o polaryzacji quasi-sferycznej

Fig. 11. Results of absorber power by objected placed in exposure system with quasi-spherically polarized electromagnetic fields

Polaryzację quasi-sferyczną można uzyskać dzięki urządzeniu, które zawiera dwa generatory, małej i wielkiej częstotliwości, podłączone z przesuwnikami fazy poprzez przełączniki dwubiegunowe (rys. 12). Dalej w torze nr 1

sygnał podawany jest na regulowany przesuwnik fazy i wzmacniacz, a wyjście toru podłączane jest do pierwszego elementu promieniującego. W torach nr 2 i 3 dodatkowo sygnał jest mieszany, a wyjścia torów podłącza się do kolejnych dwóch elementów promieniujących. Elementami promieniującymi mogą być np. kondensatory płaskie, cewki lub anteny logarytmiczno-periodyczne.



Rys. 12. Układ do wytwarzania PEM o polaryzacji quasi-sferycznej

Fig. 12. A set for generation quasi-spherically polarized electromagnetic fields

4. Podsumowanie

Wpływ promieniowania PEM na zdrowie człowieka jest przedmiotem zainteresowania i badań elektromagnetycznych od dziesięcioleci. Badania te są badaniami interdyscyplinarnymi, łączącymi w sobie nauki medyczne, biologiczne i techniczne. W niniejszym artykule zwrócono uwagę na techniczny aspekt tego typu badań, co podkreśla istotną rolę inżyniera w takich eksperymentach. Jak wykazano w pracy rola ta często jest pomijana, a przedstawiane w publikacjach wyniki badań odnoszą się często tylko do aspektów biologicznych. Przykładem mogą być publikacje ukazujące się w czasopiśmie *Bioelectromagnetics*, gdzie techniczne aspekty często są pomijane, a jak widać na podstawie omówionych w artykule wybranych zagadnień, mają istotny wpływ na końcowy wynik eksperymentu.

Literatura

- [1] Celik M.S., Gur A., Akdag Z., Akpolat V., Guven K., Celik Y., Sarac A.J., Otcu S.: The Effects of Long-Term Exposure to Extremely Low-Frequency Magnetic Fields on Bone Formation in Ovariectomized Rats., *Bioelectromagnetics*, Vol. 33, Issue 7, 2012, s. 543-549.

- [2] Długosz T.: A new solution for biomedical experiments, *Electromagnetic Biology and Medicine*, Vol. 33, Issue 3, 2014, s. 236-240.
- [3] Długosz T.: Problemy w ekspozycji obiektów biologicznych na pole elektromagnetyczne, *Przegląd Telekomunikacyjny i Wiadomości Telekomunikacyjne*, R. 82, nr 6, 2009, s. 601-603.
- [4] Długosz T.: Wzajemne oddziaływanie linii transmisyjnej TEM i badanego w niej obiektu, rozprawa doktorska, raport Instytutu Telekomunikacji, Teleinformatyki i Akustyki Politechniki Wrocławskiej, seria I28/07/P-004, Wrocław 2007.
- [5] Długosz T., Trzaska H.: A new calibration method for non-stationary electromagnetic fields measurements, *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, vol. 23, nr 17-18, 2009, s. 2471-2480.
- [6] Długosz T., Trzaska H.: Mutual interactions in bioelectromagnetics, *Environmentalist*, vol. 27, nr 4, 2007, s. 403-409.
- [7] Długosz T., Trzaska H.: Polarization Problems in Bioelectromagnetic Experiments, 7th International Workshop on Biological Effects of Electromagnetic Fields, Malta, October 8-12, 2012, CD Proceedings, ss. 1-7
- [8] Długosz T., Trzaska H.: Pomiary PEM w polu bliskim a dalekim, *Przegląd Telekomunikacyjny i Wiadomości Telekomunikacyjne*, R. 79, nr 8-9, 2006, s. 251-253.
- [9] Długosz T., Trzaska H.: Proximity effects in the near-field EMF metrology, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 57, nr 11, 2008, s. 626-630.
- [10] Długosz T., Trzaska H.: Sposób ekspozycji na pole elektromagnetyczne obiektów materialnych, zwłaszcza biologicznych i urządzenie do ekspozycji na pole elektromagnetyczne obiektów materialnych, zwłaszcza biologicznych, patent nr 215545, zgłoszenie patentowe nr P 385094 z 05.05.2008, opublikowano 31.12.2013.
- [11] Duan W., Liu C., Wu H., Chen C., Zhang T., Gao P., Luo X., Yu Z., Zhou Z.: Effects of Exposure to Extremely Low Frequency Magnetic Fields on Spermatogenesis in Adult Rats, *Bioelectromagnetics* Vol. 35, Issue 1, 2014, s. 58-69.
- [12] Faraone A, Luengas W, Chebrolu S, Ballen M, Bit-Babik G, Gessner AV, Kanda MY, Babij T, Swicord ML, Chou CK.: Radiofrequency dosimetry for the Ferris-wheel mouse exposure system, *Radiation Research*, vol. 165, issue 1., 2006, s. 105-112
- [13] Kim H.S., Paik M.-J., Kim Y.J., Lee G., Lee Y.-S., Choi H.-D., Kim B.C., Park J.-K., Kim N., Ahn Y.H.: Effects of Whole Body Exposure to 915 MHz RFID on Secretory Functions of the Thyroid System in Rats., *Bioelectromagnetics*, Vol. 34, Issue 7, 2013, s. 521-529.
- [14] Kleijn S., Trentelman J., Arts J, Cuppen J, De Jager L., Ferwerda G, Hermans P., . Verburg-van Kemenade L.: Extremely low frequency electromagnetic field exposure modulates stress regulation in mice, 33rd Annual Meeting of The Bioelectromagnetics Society, 12-17 June, 2011, <http://www.bems.org>
- [15] Li C., Chen Z., Yang L., Lv B., Liu J., Varsier N., Hadjem A., Wiart J., Xie Y., Ma L., Wu T.: Generation of Infant Anatomical Models for Evaluating Electromagnetic Field Exposures, *Bioelectromagnetics*, vol. 36, issue 1, 2015, s.10-26.
- [16] Liang S., Xu J., Ding J., Huo Y.: Experimental investigation of the antenna layout in source stirring reverberation chamber, *Electromagnetic Compatibility (APEMC)*, 2010 Asia-Pacific Symposium on, s: 582 – 585.

- [17] Rostamzadeh C., Archambeault B., Connor S.: FDTD analysis of symmetric TEM cell, *Electromagnetic Compatibility*, 2005. EMC 2005. 2005 International Symposium on, Vol. 2 Volume: 2, 8-12 Aug. 2005, s. 525 - 529
- [18] Shirai T., Imai N., Wang J., Takahashi S., Kawabe M., Wake K., Kawai H., Watanabe S.-I., Furukawa F., Fujiwara O.: Multigenerational Effects of Whole Body Exposure to 2.14 GHz W-CDMA Cellular Phone Signals on Brain Function in Rats, *Bioelectromagnetics*, Vol. 35, Issue 7, 2014, s. 497-511.
- [19] Shuanggang L., Jiadong X., Jianjin D., Yanning H.: Experimental investigation of the antenna layout in source stirring reverberation chamber, *Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility (APEMC)*, 12-16 April, 2010, s. 582-585.

ACCURACY OF BIOELECTROMAGNETICS STUDIES – ROLE OF ENGINEER IN MEDICINE

Summary

The paper is devoted to the issue of the accuracy of biomedical experiments where electromagnetic fields are used. Selected sources of uncertainty were presented. One of them is mutual interactions between tested objects placed in exposure system. The paper proposes a solution to eliminate this phenomenon. It is the device for exposure of biological objects in the form of dielectric cage. Another source of uncertainty that is discussed in this work is the use of electromagnetic field with linear polarization only. In laboratory studies of bioeffects caused by an exposure to electromagnetic field performed *in vivo* usually linear polarized fields are in use. In order to have a possibility to quite accurate estimate the absorbed energy usually an animal under test is kept non-moving, that may lead to a stress that may cause effects exceeding that of the resulted by the exposure. In the case of the animal free behavior in the exposure system the quantity of absorbed energy is a function of animal position in relation to the field vectors and, as a result, in the case calculations of the absorbed energy quantity is loaded with remarkable error. To prevent this a new solution was proposed. It is an exposure system that would allow to expose animals that may move freely during the exposure. A quasispherical exposure system for this purpose is proposed.

The study used numerical methods that enabled the efficient computer simulations. Analyzed issues are referred to the current research.

Keywords: bioelectromagnetics studies, electromagnetic field, mutual interactions, exposure systems, quasi-spherical polarization

DOI: 10.7862/re.2015.1

Tekst złożono w redakcji: luty 2015

Przyjęto do druku: marzec 2015