

Analiza gęstości prądów wirowych w modelu z implantem

Streszczenie. W pracy przedstawiono numeryczną analizę wolnozmiennego pola elektromagnetycznego (PEM) wykorzystywanego w magnetoterapii. W szczególności, uwzględniono wpływ pasywnego tytanowego implantu kolana na rozkład prądów wirowych w modelu kolana. Pokazano, że obecność implantu implikuje wzrost gęstości prądów wirowych w tkankach do wartości poniżej 20 mA/m^2 tym samym wykazując, że obecność implantu nie ma wpływu na efekt terapeutyczny.

Abstract. The analysis of electromagnetic field (EMF) of low frequency (ELF) applied in magnetotherapy is presented. Particularly the influence of passive metallic knee implant on the distribution of eddy currents is examined. It is shown that the presence of metallic implant causes the increase of eddy currents in tissues up to the value which does not exceed 20 mA/m^2 . Thus, it can be concluded that the presence of metallic implant does not influence the therapeutic effect. **The analysis of electromagnetic field of low frequency in metallic knee implants**

Słowa kluczowe: pole elektromagnetyczne, prądy wirowe, MES, magnetoterapia

Keywords: electromagnetic field, eddy currents, FEM, magnetotherapy

Wstęp

Badania naukowe, dotyczące zastosowania pola elektromagnetycznego (PEM) w medycynie, a prowadzone od ponad stu lat, pozwalają na udoskonalanie tych zastosowań zarówno w obszarze diagnostyki jak i terapii [1]. W dziedzinie diagnostyki PEM wykorzystuje się w rezonansie magnetycznym, magnetokardiografii czy magnetoencefalografii.

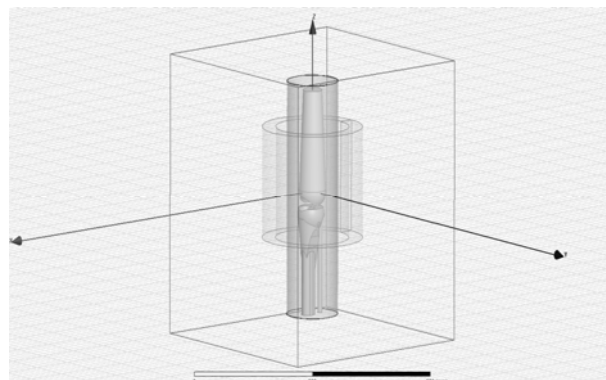
PEM wykorzystywane jest również rozlegle w terapii, zarówno w leczeniu schorzeń natury psychicznej, m.in. za pomocą przeczaszkowej stymulacji magnetycznej, jak i schorzeń fizycznych. PEM w celach leczniczych stosuje się w chirurgii, onkologii, kardiografii, neurologii i ortopedii [1]. Szerokie zastosowanie zyskała m.in. magnetoterapia. Urządzenie do magnetoterapii składa się z bloku sterującego, który pozwala na zmianę parametrów terapii oraz aplikatorów. Wartość indukcji magnetycznej PEM indukowanego w aplikatorze zależy od jego wymiarów, liczby zwojów oraz wartości prądu. Skuteczność terapii z wykorzystaniem pola elektromagnetycznego zależy przede wszystkim od wartości indukcji magnetycznej i jej rozkładu wewnątrz stosowanego aplikatora [2].

Schorzenia układu kostnego niejednokrotnie wiążą się z koniecznością wszczęcia implantu. Implanty ortopedyczne są to ciała obce wszczepiane do organizmu w celu odtworzenia naturalnej funkcji uszkodzonego organu. Implanty mają coraz więcej zwolenników zarówno wśród lekarzy, jak i pacjentów. Mimo tego istnieje niepokój związany z posiadaniem implantu. Dotyczy on zarówno odrzucenia wszzczepu, jak i funkcjonowania z metalowym elementem. To ostatnie wywodzi się z obaw dotyczących wpływu PEM na człowieka; obawy pacjentów z wszczepionym implantem metalowym zwiększają się w istotny sposób.

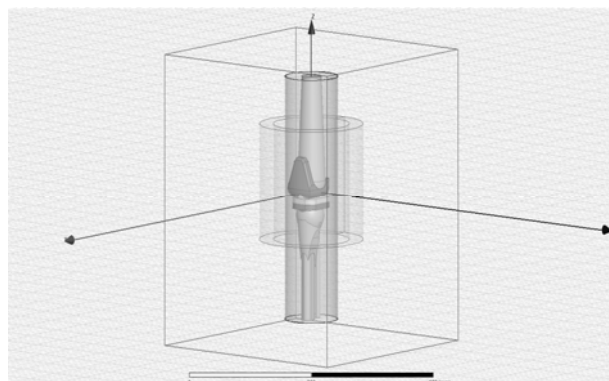
Analizę pola elektromagnetycznego wytwarzanego przez urządzenia wykorzystywane do magnetoterapii i jego wpływu na struktury bioelektromagnetyczne, ze szczególnym uwzględnieniem osób z metalowym implantem przeprowadzono z wykorzystaniem metody elementów skończonych. Modelowanie komputerowe ze względu na rozwój technologii pozwala na coraz dokładniejszą analizę zjawisk, do tej pory w ogóle niemożliwą lub obciążoną znaczącymi błędami. Nowoczesne metody symulacyjne bazujące na metodzie elementów skończonych, rozwój komputerów i dostępność oprogramowania pozwalają na modelowanie coraz bardziej złożonych struktur i zjawisk, od maszyn elektrycznych, przez inżynierię bezpieczeństwa [3], aż do tkanek biologicznych i mechanizmów w nich zachodzących.

Prądy wirowe u osób z implantami metalowymi

Wśród skutków oddziaływania PEM jest generowanie wewnątrz organizmu prądów wirowych. Ich wartości i rozkład w tkankach ma wpływ na uzyskanie odpowiedniego efektu terapeutycznego. Uważa się, że w celu osiągnięcia efektu terapeutycznego wartość gęstości prądu powinna wynosić od $1,5$ do 20 mA/m^2 . Pojawienie się wewnątrz ciała metalowego implantu może w sposób istotny zmienić rozkład prądów wirowych [4].



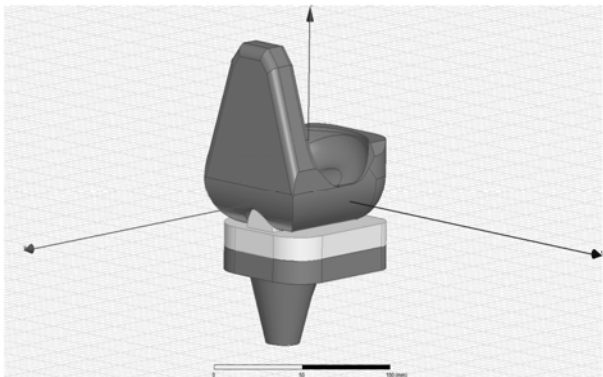
Rys. 1. Model stawu kolanowego umieszczonego w aplikatorze do magnetoterapii



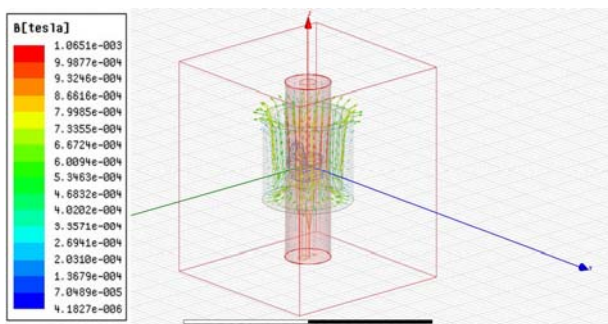
Rys. 2. Model stawu kolanowego z implantem umieszczonego w aplikatorze do magnetoterapii

Analizie zostały poddane: model kolana (rys.1) oraz model kolana wraz z wszczepionym implantem (rys.2) umieszczone w zamodelowanym aplikatorze do magnetoterapii o promieniu $0,095 \text{ m}$. Model kolana został zaprezentowany w formie walca z modelami kości strzałkowej, piszczelowej i udowej, skóry oraz tkanki

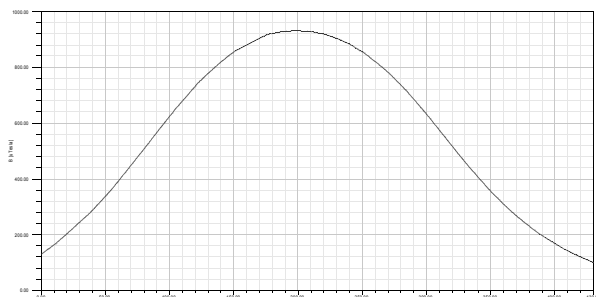
mięśniowej. Model endoprotezy stawu kolanowego (rys. 3) składa się z: tytanowej części udowej, tytanowej części piszczelowej oraz z fragmentu polietylenowego znajdującego się pomiędzy metalowymi elementami. Przeprowadzone symulacje wykonywane były dla każdorazowo przy jednakowych parametrach modelu, geometrii oraz częstotliwości $f = 50$ Hz. Na rys. 4 pokazany jest rozkład pola magnetycznego. Przebieg indukcji pola magnetycznego wzdłuż osi z modelu przedstawia rys. 5.



Rys. 3. Model implantu stawu kolanowego



Rys. 4. Rozkład indukcji magnetycznej wewnątrz aplikatora do magnetoterapii w modelu z implantem

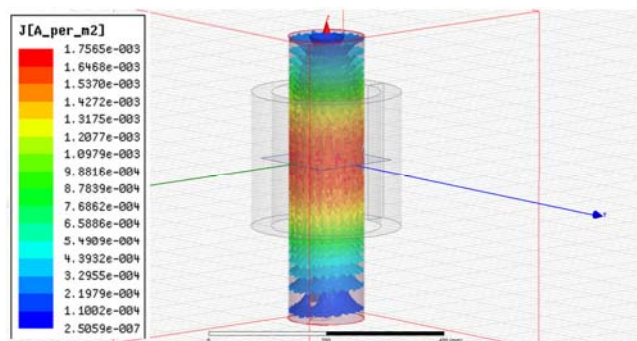


Rys. 5. Rozkład indukcji magnetycznej wewnątrz aplikatora wzdłuż osi z modelu z implantem

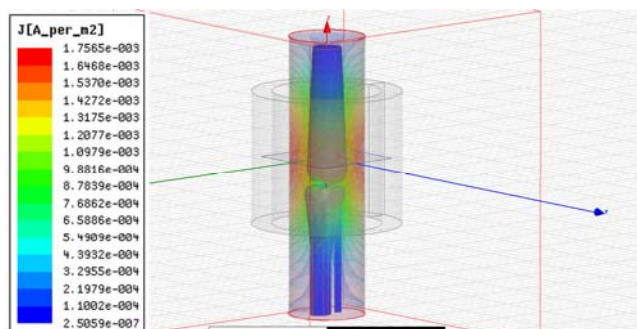
Maksymalna wartość indukcji magnetycznej wewnątrz badanego modelu aplikatora ma wartość 1 mT. Dla takiej wartości wymuszenia, przeprowadzono analizę rozkładu prądów wirowych.

Pierwszy etap dotyczył znajomości rozkładu i wartości prądów wirowych dla modelu bez implantu (rys. 6, rys. 7). Wiedza dotycząca prądów wirowych w tkankach pozwala wspomóc ocenę działania terapeutycznego pola. Niezbędna jest również w celu porównania wartości z odpowiadającymi im wynikami z modelu z implantem.

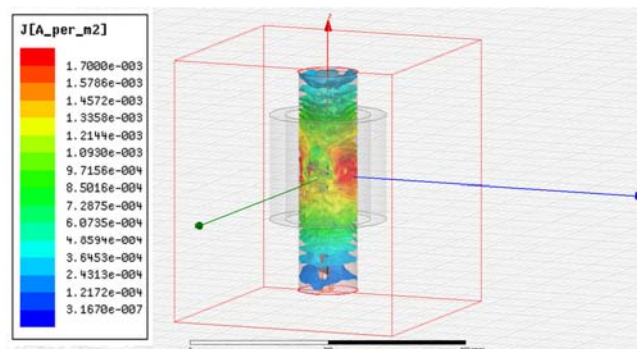
Do przedstawionego wyżej modelu wprowadzony został metalowy implant i dla takiego układu przeprowadzono analizę indukowanych prądów wirowych (rys. 8, rys. 9).



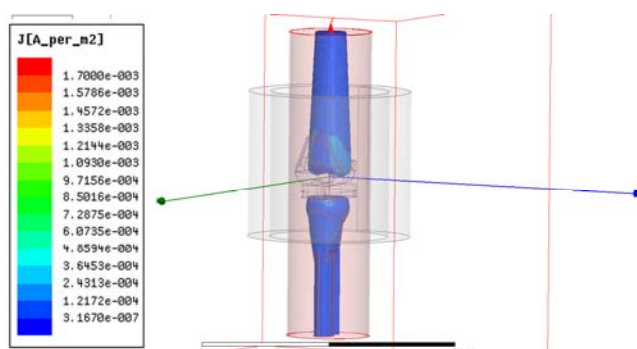
Rys. 6. Rozkład gęstości prądów wirowych w tkankach w modelu bez implantu



Rys. 7. Rozkład gęstości prądów wirowych w kościach w modelu bez implantu

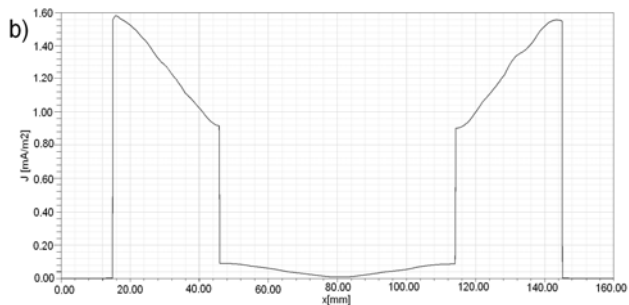
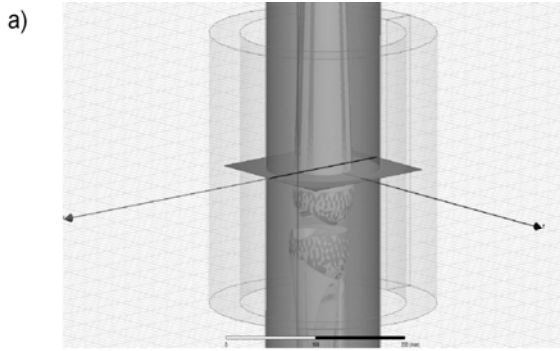


Rys. 8. Rozkład gęstości prądów wirowych w tkankach w modelu z implantem

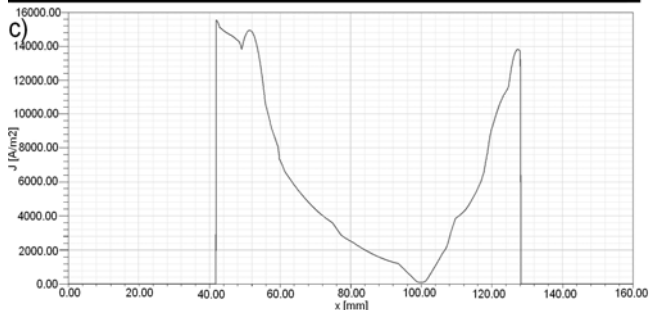
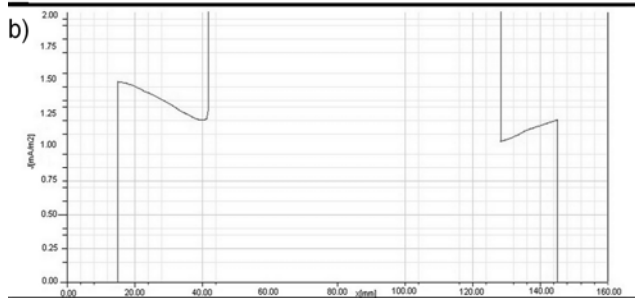
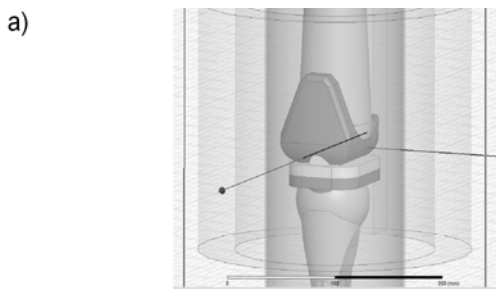


Rys. 9. Rozkład gęstości prądów wirowych w kościach w modelu z implantem

Dokonano szczegółowego scharakteryzowania rozkładu gęstości prądów wirowych wewnątrz badanego obszaru wzdłuż odcinków poprowadzonych poprzez istotne elementy modelu zarówno dla modelu bez implantu, jak również dla zaimplantowanego kolana. Przykładowe rozkłady zostały zaprezentowane na rysunkach 10 i 11.



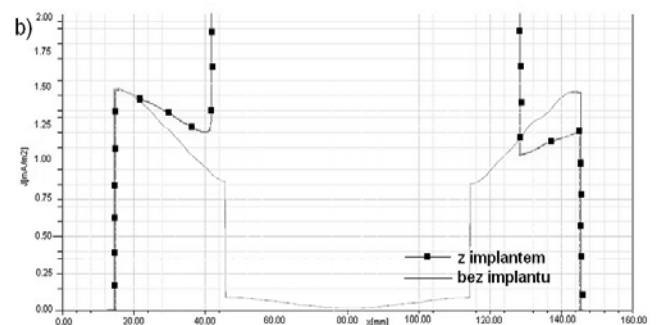
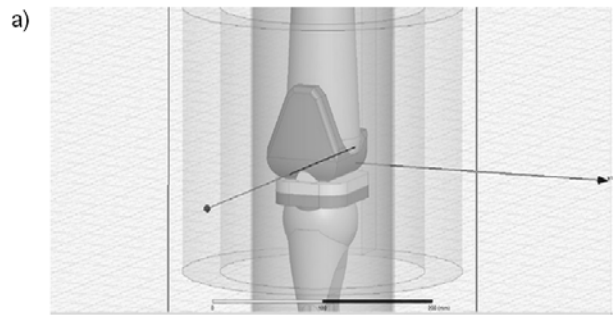
Rys. 10. Przykładowy rozkład gęstości prądów wirowych dla modelu bez implantu: a) położenie odcinka wzdłuż osi x, b) wykres gęstości prądu wzdłuż wskazanego odcinka



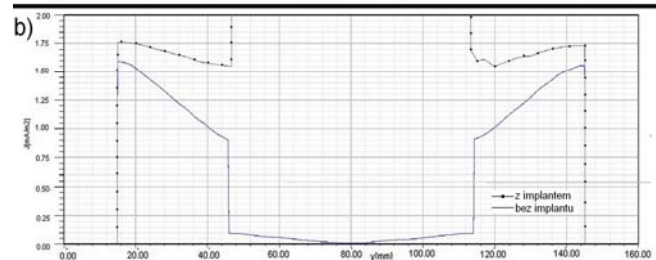
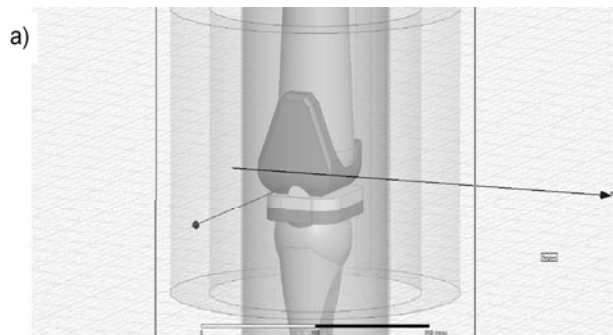
Rys. 11. Przykładowy rozkład gęstości prądów wirowych dla modelu z implantem: a) położenie odcinka wzdłuż osi x, b) wykres gęstości prądu wzdłuż wskazanego odcinka dla tkanek, c) wykres gęstości prądu wzdłuż wskazanego odcinka dla implantu

Ostatecznie, w celu oceny wpływu obecności metalowego implantu wewnątrz ciała ludzkiego na rozkład prądów wirowych w biologicznych tkankach, dokonano

analizy porównawczej rozkładu gęstości prądów wirowych wzdłuż odcinków poprowadzonych wzdłuż głównych osi modelu oraz przez istotne elementy modelu z implantem i bez implantu (rys. 12, 13, 14, 15).



Rys. 12. Porównanie rozkładu gęstości prądów wirowych w tkankach modelu z implantem i bez implantu: a) położenie odcinka wzdłuż osi x, b) wykres gęstości prądu wzdłuż wskazanego odcinka



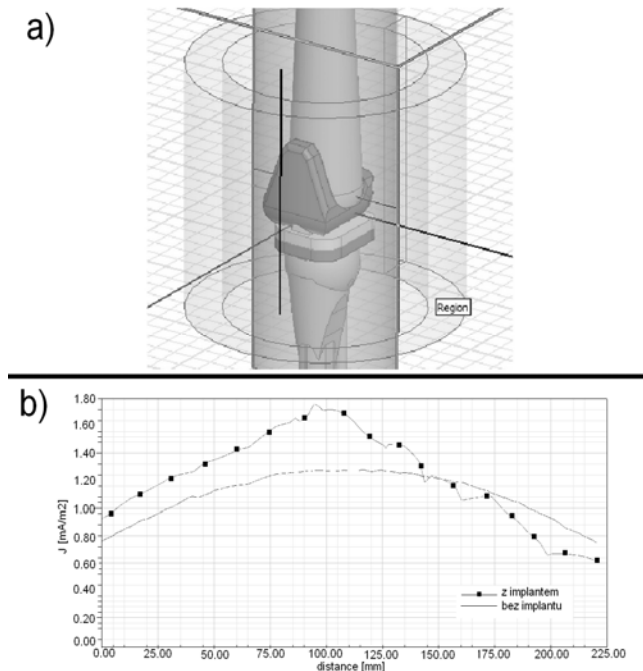
Rys. 13. Porównanie rozkładu gęstości prądów wirowych w tkankach modelu z implantem i bez implantu: a) położenie odcinka wzdłuż osi y, b) wykres gęstości prądu wzdłuż wskazanego odcinka

Wnioski

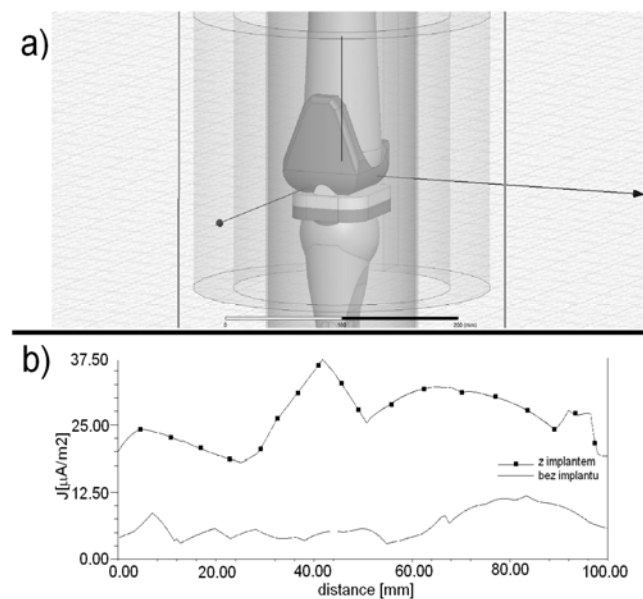
Przeprowadzone symulacje komputerowe wskazują na skutki działania PEM w ciele człowieka z wszczepionym implantem metalowym. Zestawienie wartości otrzymanych w modelu bez implantu, z wartościami w modelu z implantem, jest kluczowe do ukazania oddziaływania tytanowego elementu wszczepionego do organizmu.

Najwyższe wartości gęstości prądów wirowych, uzyskujemy ze względu na właściwości materiału w metalowym implancie, jednak to nie sama wartość prądów wirowych w implancie ma znaczenie, gdyż implant nie

stanowi elementu ciała ludzkiego. Ważny jest natomiast wpływ, jaki ten implant będzie miał na tkanki biologiczne. Wyniki badań pokazują, że obecność metalowego implantu może zmieniać rozkład pola elektromagnetycznego wewnątrz ludzkiego ciała. Powyższe wykresy pokazują różnice w osiągniętych wartościach gęstości prądów wirowych, jak i istotną zmianę w ich rozkładzie. Obecność implantu implikuje wzrost wartości gęstości prądów wirowych w tkankach znajdujących się najbliżej wszczepu. Przeprowadzone symulacje dotyczyły pola wytwarzanego przez aplikatory służące do magnetoterapii, a co za tym idzie, dotyczyły wartości wymuszenia uznawanych za dające efekt terapeutyczny.



Rys. 14. Porównanie rozkładu gęstości prądów wirowych w tkankach modelu z implantem i bez implantu: a) położenie odcinka przesuniętego względem osi z, b) wykres gęstości prądu wzdłuż wskazanego odcinka



Rys. 15. Porównanie rozkładu gęstości prądów wirowych w tkankach modelu z implantem i bez implantu: a) położenie odcinka wzdłuż osi z, b) wykres gęstości prądu wzdłuż wskazanego odcinka

W przedstawionych badaniach, zastosowano model cewki generującej PEM o indukcji maksymalnej składowej magnetycznej równej 1 mT, był to model aplikatora do magnetoterapii o promieniu 0,095 m. Wartości gęstości prądów wirowych w tkankach osiągały wartość maksymalnie 1,8 mA/m^2 . Urządzenia do magnetoterapii emitują najczęściej pole o indukcji od 1 mT do 10 mT. Takie wartości indukcji zapewniają gęstość prądu w tkankach, która, według ustaleń medycznych, zapewnia efekt terapeutyczny, czyli powyżej 1,5 mA/m^2 . Obecność implantu, mimo znaczącego wpływu na rozkład gęstości prądów wirowych w otaczających tkankach, nie stanowi więc przeciwwskazania do stosowania zabiegów magnetoterapii z udziałem zaimplantowanej kończyny przy zastosowaniu standardowych wymuszeń stosowanych w trakcie zabiegu (10 mT). Istotna jest uwaga, iż model nogi z implantem umieszczono w pozycji centralnej aplikatora, a badania dotyczące pola aplikatorów szpulowych wskazują iż maksymalna wartość indukcji osiągnięta jest przy wewnętrznej stronie ścianek aplikatora. Zastosowanie maksymalnej wartości indukcji stosowanej w standardowych urządzeniach do magnetoterapii, tj 10 mT i umieszczenie nogi, w tym metalowego implantu, w pobliżu krawędzi aplikatora, uwzględniając skrajny przypadek prawie dwukrotnego wzrost wartości prądów wirowych w bezpośrednim sąsiedztwie implantu w stosunku do nogi bez wszczepu, może skutkować przekroczeniem, uznanej za bezpieczną, granicy 20 mA/m^2 .

Przeprowadzone symulacje wskazały na potrzebę uważniejszego spojrzenia na parametry stymulacji magnetycznej prowadzonej u osób z implantami metalowymi.

Autorzy: Dr inż. Ewa Łada-Tondyra, Politechnika Częstochowska, al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, E-mail: e.lada-tondyra@el.pcz.czest.pl; Prof. dr hab. inż. Andrzej Krawczyk Politechnika Częstochowska, al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, E-mail: ankra.new@gmail.com; Płk dr inż. Piotr Murawski, Wojskowy Instytut Medyczny, ul. Szaserów 128, 04-141 Warszawa, E-mail: pmurawski@wim.mil.pl; Dr inż. Arkadiusz Miaskowski, University Przyrodniczy w Lublinie, Akademicka 13, 20-950 Lublin, Poland, E-mail: arek.miaskowski@up.lublin.pl;

LITERATURA

- [1] Sieroń A.: Pola magnetyczne w medycynie. OPM. 2005
- [2] Cieśla A., Syrek P.: Parameters and position of the applicator's effect on magnetic field distribution during magnetotherapy, Przegląd Elektrotechniczny, 88 (2012), n.12b, 124-127.
- [3] Prauzner T., Finite Element Method in an analysis of selected parameters of an inductive sensor for protective coatings measurements, Przegląd Elektrotechniczny, 91 (2015), nr.12, 205-208 ISSN 0033-2097
- [4] Miaskowski A., Krawczyk A., Ishihara Y.: A numerical evaluation of eddy currents distribution in the human knee with metallic implant, COMPEL, No.5, 2012, s. 1441-48