

Analiza rozkładu pola magnetycznego generowanego przez urządzenia do fizykoterapii

Streszczenie. Wpływ pola elektromagnetycznego na organizmy żywe budził od dawna zainteresowanie wielu naukowców. Przeprowadzone badania nad wykorzystaniem terapeutycznym wolnozmiennych pól magnetycznych obejmują różne doświadczenia, począwszy od badań submolekularnych do eksperymentów na zwierzętach doświadczalnych. Największą dynamiką charakteryzują się jednak badania kliniczne. Zastosowanie zmiennych pól magnetycznych w terapii mieści się w ramach specjalizacji medycznej noszącej nazwę medycyny fizykalnej. W tej dziedzinie zdecydowanie nie powiedziano jednak jeszcze ostatniego słowa. Rozwój medycyny i postęp technologiczny pozwala na stworzenie nowych urządzeń wykorzystywanych w magnetoterapii. Stwarza to nowe możliwości leczenia. Małogabarytowe cewki aplikatorów mogą być stosowane w warunkach domowych. Z kolei wizualizacja wnikania pola do kończyny pozwoli dobrać kształt aplikatora do rodzaju leczonej choroby oraz do kształtu i wymiarów uszkodzonego miejsca ciała

Abstract. The influence of electromagnetic field on living organisms has been of interest to scientists for centuries. The researches on the therapeutic effect of low-frequency magnetic fields cover various experiments: from submolecular mechanisms analyses to laboratory experiments on animals. However, the clinical experiments turned out to be most dynamic. The therapeutic use of low-frequency magnetic fields stays within the domain of the so-called physical medicine. Still much is to be done in this respect. The evolution of medicine and technological development allows for creating new devices applied in magnetotherapy, which opens up new possibilities for treating diseases. There are small coil applicators which can be used at home. Moreover, the visualization of field penetration through the limb may be helpful when selecting the most desirable shape of the applicator in view of the type of the disease, shape and size of the damaged part of the body. (**Analysis of the distribution of the magnetic field generated by the physiotherapy device**).

Słowa kluczowe: fizjoterapia, magnetoterapia, wolnozmiennne pole magnetyczne, aplikatory.

Keywords: physiotherapy, magnetotherapy, low frequency magnetic field, applicators.

Wprowadzenie

Przeprowadzone doświadczenia wykazują, że oddziaływanie wolnozmiennych pól elektromagnetycznych (w szczególności magnetycznych) może powodować różne skutki zdrowotne [4, 5, 6]. Warto zwrócić uwagę na fakt, że stwierdzenie to poszerza i uzupełnia powszechnie stosowany paradygmat medyczny, nakazujący traktować organizm jako swoisty reaktor chemiczny, w którym zachodzą różne procesy dające się obserwować poprzez oznaczanie w tkankach zawartości określonych substancji chemicznych (przykładem są tu różne biochemiczne badania krwi i innych płynów ustrojowych) oraz dające się regulować poprzez dodawanie do tego reaktora chemicznego różnych substancji. Skutkiem obowiązywania tego paradygmatu jest praktyka leczenia chorób poprzez dostarczanie do organizmu określonych substancji chemicznych (farmakologicznych), których liczba i częstość stosowania ostatnio niepokojąco rośnie. W ostatnich latach prace badawcze wykazały jednak, że obok biochemicznego modelu funkcjonowania organizmu człowieka, którego przydatności nikt nie kwestionuje, możliwe i celowe jest korzystanie także z modelu biofizycznego. W tym drugim przypadku choroba jest traktowana jako zaburzenie dotykające także określonych procesów biofizycznych charakterystycznych dla stanu dobrego zdrowia.

Przy przyjęciu tego paradygmatu prawidłowym sposobem leczenia może być zastosowanie (obok środków farmakologicznych) także czynnika fizycznego, suplementującego i regulującego naturalne procesy biofizyczne. Przy przyjęciu takiego punktu widzenia celowe jest użycie jako czynnika leczącego oddziaływana fizycznego, a narzędziem leczniczym staje się urządzenie techniczne wytwarzające i odpowiednio aplikujące to fizyczne oddziaływanie. W dużym uproszczeniu oznacza to, że maszyna zaczyna być czynnikiem leczącym organizm, gdy postrzegany jest on także jako swoista maszyna, podobnie jak pigułka czy zastrzyk są czynnikiem leczącym organizm, gdy postrzegany jest on jako reaktor chemiczny.

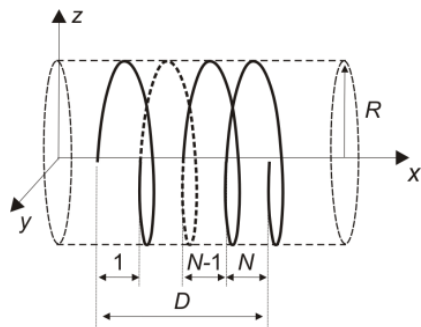
Można wskazać różne czynniki fizyczne, które są wykorzystywane przy leczeniu [6, 7, 8]. W artykule

rozważane będzie wyłącznie pole magnetyczne. Zaletą tego czynnika jest różnorodność osiągalnych przy jego pomocy oddziaływań, stwarzająca teoretycznie nieograniczone możliwości terapeutycznego wykorzystania wykrytego przez biofizyków oddziaływania pól elektromagnetycznych na materię żywą. Zastosowanie pól magnetycznych w medycynie należy obecnie do najbardziej rozwijanych interdyscyplinarnych kierunków współpracy pomiędzy lekarzami, inżynierami i fizykami, co zapewni dynamiczny rozwój tej dziedziny inżynierii biomedycznej oraz medycyny.

Matematyczne modele aplikatorów

Dla prawidłowego wykorzystania zalet aplikatorów celowym wydaje się opracowanie jego modelu matematycznego, a następnie wizualizacja pola magnetycznego, jakie aplikator ten wytwarza. Wykorzystanie technik komputerowych do zobrazowania tego pola wpłynie na dokładniejsze lokalizowanie i dopasowanie aplikatora do konkretnych potrzeb fizykoterapeutów. W przypadku magnetoterapii stosowanej w warunkach klinicznych gwarantem poprawnego terapeutycznego użycia pola magnetycznego jest doświadczenie personelu obsługującego aparaturę i odpowiednio ustawiającego pacjenta oraz aplikatora. Modelowanie przestrzenne pola oraz graficzna (łatwa do interpretacji) wizualizacja wyniku modelowania odgrywają bardzo istotną rolę. Warto dodać, że taka wizualizacja pola magnetycznego ułatwi także konstruowanie aplikatorów o różnych kształtach i parametrach, które znajdą zastosowanie nie tylko w magnetoterapii.

W artykule przedstawiono dwa typy aplikatorów. Pierwszy to najczęściej spotykany w gabinetach fizykoterapeutów w kształcie cylindra. Stosuje się go w szerokim zakresie chorób, w szczególności dla przyspieszenia leczenia urazów ortopedycznych. Do rozwiązań matematycznych aplikator przedstawiono jako cylinder na którym nawinięty jest drut.



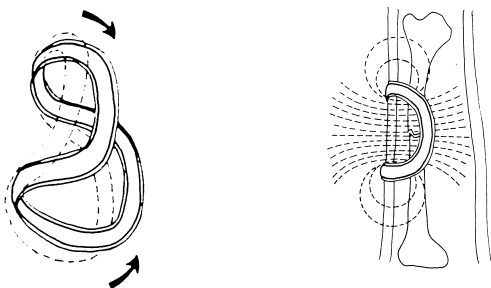
Rys. 1. Aplikator cylindryczny wraz z krzywymi parametrycznymi opisującymi jego kształt

Do matematycznego opisu modelu aplikatora wykorzystano krzywe parametryczne. Sposób ten polega na wprowadzeniu odwzorowania przyporządkowującego punktom dziedziny (zbiorowi parametrów) punkty przestrzeni, w której leży rozpatrywana figura. W tym przypadku figurą jest krzywa określona przez kształt cewki aplikatora [9].

$$(1) \quad \mathbf{r}(t) = \begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t \\ R \cos \frac{2\pi N t}{D} \\ R \sin \frac{2\pi N t}{D} \end{bmatrix}$$

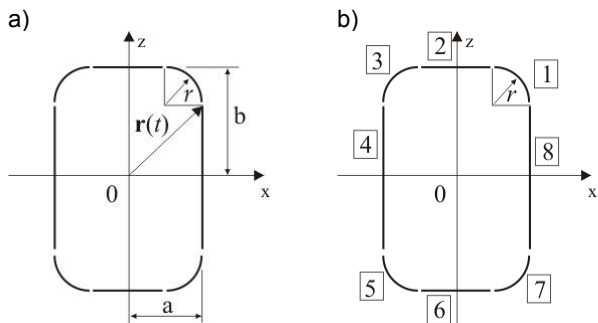
gdzie $t \in \langle 0, D \rangle$

Drugim rozważanym typem aplikatorów przez autorów jest mobilna dopasowująca się do kształtu kończyny cewka małowabarytowa. Omawiany aplikator małowabarytowy przypomina ramkę prostokątną z zaokrąglonymi narożnikami, która nakładana jest na leczoną kończynę (Rys.2).

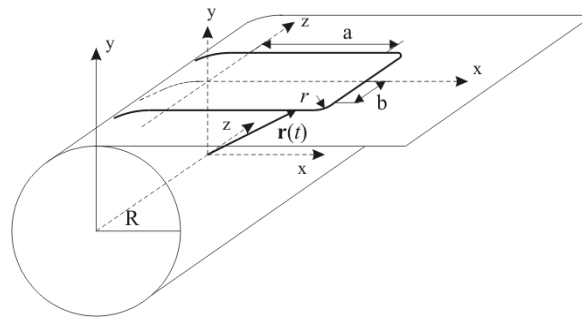


Rys. 2. Aplikator małowabarytowy

Do analizy i symulacji komputerowych został przyjęty uproszczony model kształtu aplikatora przedstawiony na rysunku 3.



Rys. 3. Opis aplikatora małowabarytowego a) za pomocą krzywych parametrycznych, b) numeracja krawędzi



Rys. 4. Sposób nałożenia cewki o kształcie ramki prostokątnej na powierzchnię walca

Po nałożeniu opisanej płaszczyzny na powierzchnię walca (imitującego kończynę) o promieniu R (Rys. 4), przedstawiono wzory opisujące krzywą w przestrzeni trójwymiarowej. W uproszczonym zapisie, wykorzystując funkcję signum, równania na łuki (Rys. 3a, b) sformułowano w postaci:

(2)

$$\mathbf{r}(t) = \begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R \cos \left(\operatorname{sgn} \left(\sin \left(t - \frac{\pi}{2} \right) \right) \cdot \frac{(a-r)}{R} + \frac{\pi}{2} - \frac{r}{R} \cos t \right) \\ R \sin \left(\operatorname{sgn} \left(\sin \left(t - \frac{\pi}{2} \right) \right) \cdot \frac{(a-r)}{R} + \frac{\pi}{2} - \frac{r}{R} \cos t \right) \\ r \sin(t) + \operatorname{sgn}(\sin(t)) \cdot (b-r) \end{bmatrix}$$

gdzie $t \in \langle 0, 2\pi \rangle$.

Z kolei długości odcinków zapisano następującymi zależnościami:

Dla odcinka 2 (Rys. 3b):

$$(3) \quad \mathbf{r}(t) = \begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R \cos \left(\frac{\pi}{2} + t \right) \\ R \sin \left(\frac{\pi}{2} + t \right) \\ b \end{bmatrix}$$

gdzie $t \in \left\langle -\frac{a-r}{R}, \frac{a-r}{R} \right\rangle$.

Dla odcinka 4 (Rys. 3b):

$$(4) \quad \mathbf{r}(t) = \begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R \cos \left(\frac{\pi}{2} + \frac{a}{R} \right) \\ R \sin \left(\frac{\pi}{2} + \frac{a}{R} \right) \\ t \end{bmatrix}$$

gdzie $t \in \langle -b-r, -(b-r) \rangle$.

Analogicznie należy zapisać równania dla kolejnych odcinków (6 i 8 dla Rys. 3b).

Dla zadanego kształtu aplikatora, wyznaczono potencjał wektorowy w punkcie dla każdego nieskończenie małego elementu liniowego cewki, następnie zsumowano potencjały na wszystkich segmentach i zapisano jako [10]:

$$(5) \quad \mathbf{A} \approx \mathbf{A}_K = \frac{\mu I}{4\pi} \sum_{j=1}^K \int_{r_j}^{r_{j+1}} \frac{d\mathbf{r}'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|}.$$

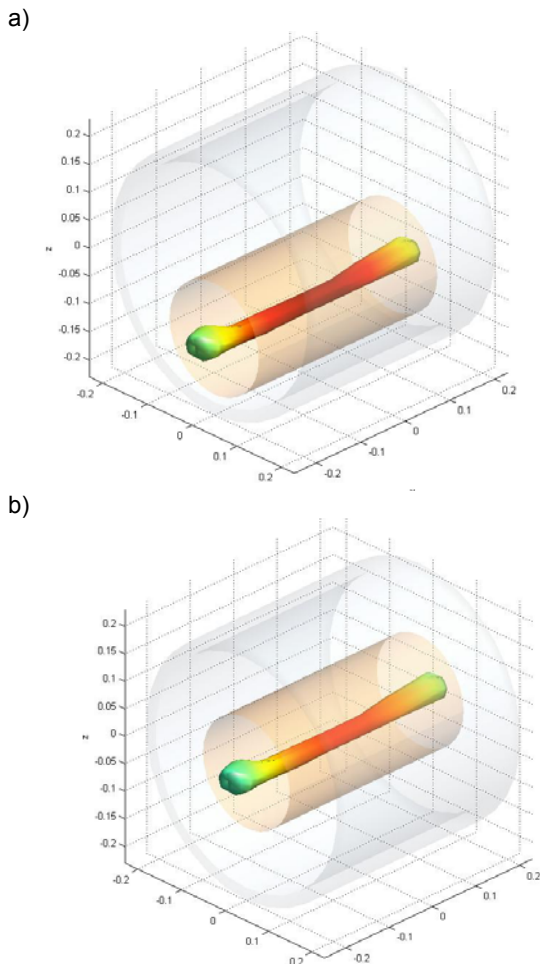
W celu obliczenia indukcji pola magnetycznego w punkcie P zapisano jako rotację otrzymanego potencjału wektorowego:

$$(6) \quad \mathbf{B}(\mathbf{r}) = \text{rot } \mathbf{A}(\mathbf{r}).$$

Wyniki symulacji

Powyższe równania pozwoliły stworzyć program do przedstawienia rozkładu modułu indukcji pola magnetycznego na powierzchni kości. Pożądanym jest taki dobór parametrów aplikatora, aby rozkład natężenia pola magnetycznego w miejscu złamania miał równe wartości w całym otoczeniu. Przedstawione wyniki symulacji mają charakter jakościowy. Pozwala to na ocenę wpływu kształtu i parametrów aplikatora na rozkład pola magnetycznego. Rozmiary cewki zależą od wielkości leczonej kończyny i typu schorzenia.

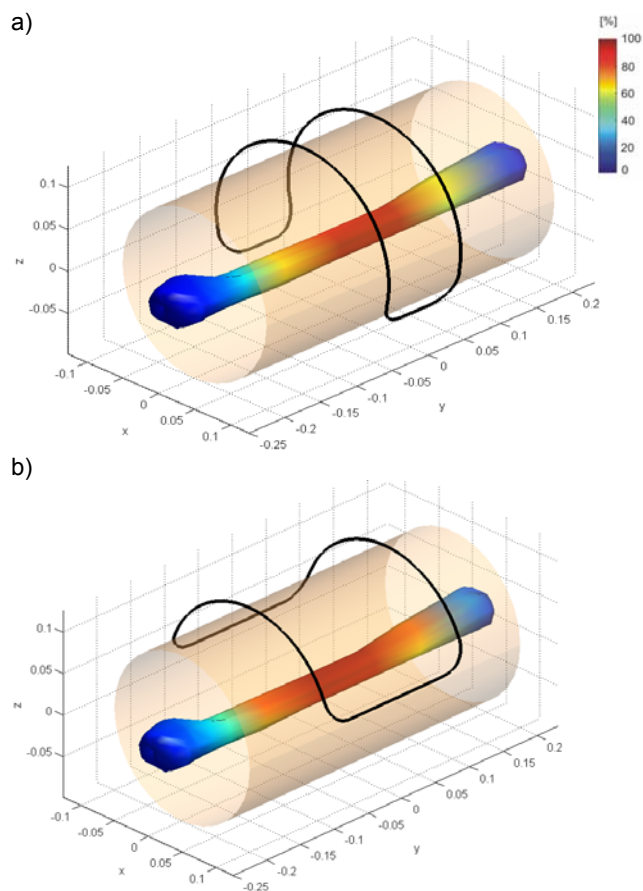
Przedstawiony model matematyczny został zaimplementowany do środowiska programu Matlab.



Rys. 5. Rozkład indukcji pola magnetycznego wytworzonego przez aplikator cylindryczny: a) kończyna spoczywa swobodnie na aplikatorze, b) kończyna znajduje się w osi aplikatora.

Symulacje komputerowe przedstawiają jak ważne jest ułożenie kończyny wewnątrz cylindrycznego aplikatora. Pożądana dla celów terapeutycznych wartość indukcji pola magnetycznego jest wyższa dla przypadku, gdy kończyna swobodnie spoczywa na aplikatorze (Rys. 5a). Zmienia się wartość indukcji wraz z umieszczeniem kończyny na różnych wysokościach w cylindrze aplikatora. W osi

aplikatora wartość ta jest zdecydowanie mniejsza i należy o tym pamiętać dobierając odpowiednio parametry chcąc uzyskać pożądany skutek terapeutyczny. Przy dobrze dobranych parametrach generatora a złym umiejscowieniu kończyny efekt terapeutyczny będzie zdecydowanie mniejszy (nawet brak).



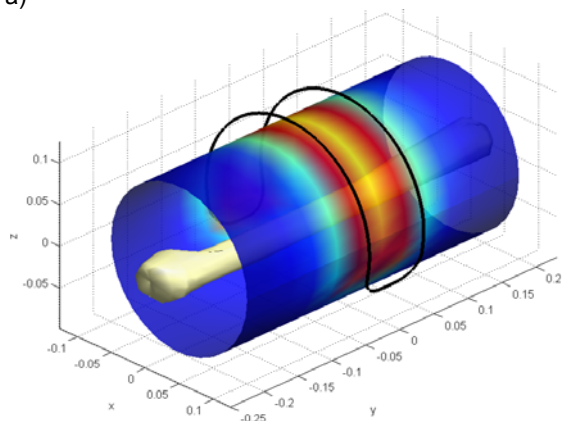
Rys. 6. Rozkład indukcji pola magnetycznego na kości dla: a) pojedynczego złamania na środku długości kończyny, b) złożonego złamania kończyny

Następnie przeprowadzono symulacje dla mobilnego aplikatora małogabarytowego. Przedstawiono przypadek złamania pojedynczego. Maksymalna, dla rozpatrywanego schorzenia pożądana wartość indukcji magnetycznej, skupiona jest na środku kości w miejscu złamania. Dla skomplikowanych złamań (w kilku miejscach kończyny) można zastosować ten sam aplikator zmieniając jego kształt (operując odpowiednio parametrami a i b (z rysunku 3)) tak, aby pole magnetyczne docierało do większego obszaru kości (Rys. 6b).

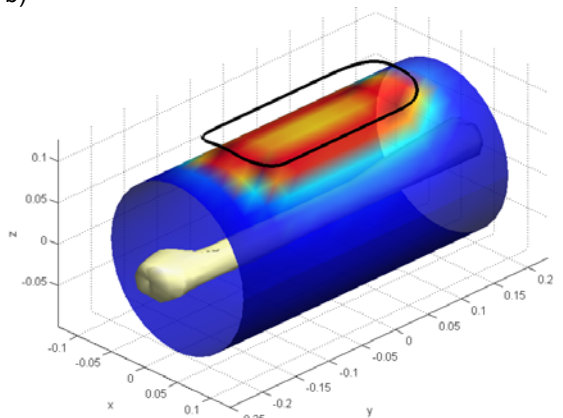
W gabinetach fizykoterapeutów stosuje się pole magnetyczne nie tylko do złamań, ale i do leczenia ciężko gojących się ran, oparzeń, chorób skóry itp. Na rysunku 7 przedstawiono rozkład indukcji pola magnetycznego na powierzchni skóry. W zależności od miejsca, wielkości oraz rozłożystości schorzenia skóry dobierany jest inny kształt aplikatora (Rys. 7 a i b).

Przedstawione przykłady wskazują na istotność doboru parametrów indukcji pola magnetycznego jak również umiejscowienia kończyny i kształtu samego aplikatora.

a)



b)



Rys. 7. Rozkład indukcji pola magnetycznego na powierzchni skóry dla: a) niewielkiego schorzenia, b) rozległego schorzenia.

Podsumowanie

Skuteczne oddziaływanie wolnozmiennego pola magnetycznego na organizmy (ludzkie, zwierzęce) zostało udowodnione licznymi badaniami i doświadczeniami prowadzonymi od wielu lat [5, 11]. Ze względu na konieczny (ze względów medycznych) długi czas stosowania magnetoterapii – celowe jest zmierzanie do takich rozwiązań, które mogą być stosowane w domu pacjenta. Do tego celu potrzebne są jednak narzędzie wspomagające pacjenta w procesie samoobsługi urządzenia do magnetoterapii.

Przeprowadzone symulacje komputerowe przemawiają za koniecznością odpowiedniego dopasowania rozmiaru, położenia kończyny i aplikatora oraz parametrów (częstotliwość, natężenie, czas ekspozycji, przebieg i kształt impulsu) pola magnetycznego stosowanego w czasie magnetoterapii. Prawidłowo dobrana wielkość i kształt aplikatora oraz parametry mogą wpłynąć na skrócenie czasu leczenia schorzenia. Stosując cylindryczny kształt aplikatora istotne staje się ułożenie kończyny w aplikatorze. Przedstawiony w artykule kształt aplikatora mobilnego wraz z aparaturą będzie spełniać

wymagania nie tylko terapeutyczne i techniczne, ale przede wszystkim oczekiwania pacjentów i ich lekarzy.

Stworzenie matematycznego opisu pola magnetycznego oraz kształtu cewki aplikatora pozwoli na wykonanie symulacji numerycznych potrzebnych przy takim wspomaganie. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń i ich wizualizacji lekarz będzie w stanie precyzyjniej dobrać parametry aplikatorów oraz dokładniej wyznaczyć fragment kończyny, który powinien być poddany stymulacji. Obliczenia przedstawione w sposób graficzny będą bardziej zrozumiałe i przejrzyste dla pacjentów. Pole magnetyczne generowane od aplikatorów małowymiarowych będzie skupione w miejscu, które ma być poddawane jego działaniu.

REFERENCES

- [1] Krawczyk A., Łada-Tondyra E.: Pierwsze próby stymulacji magnetycznej – historia odkryć dwóch uczonych, *Przegląd Elektrotechniczny*, 86 12/2010, 202-207
- [2] Ślusarek B.: Pole magnetyczne w medycynie, *Elektromagnetyzm w medycynie i biologii*, PTZE, Warszawa 2004, 73-80
- [3] Markov M.S.: Pulsed electromagnetic field therapy history, state of the art and future, *Springer Science+Business Media*, LLC 2007
- [4] Zmysłony M.: Biofizyczne mechanizmy działania pól elektromagnetycznych a skutki zdrowotne, *Medycyna Pracy*, 2006; 57(1): 29-39
- [5] Sieroń A.: Zastosowanie pól magnetycznych w medycynie, *α-medica Press*, Bielsko-Biala, 2002
- [6] Bryl A., Paluszak J., Piątek J., Łabędzka M., Krawczyk J.: Wpływ wolnozmiennego pola magnetycznego na zmniejszenie nasilenia objawów somatycznych i poprawę stanu u chorych z objawami depresji, *Nowiny Lekarskie* 2004, 73, 4, 263-267
- [7] Gas P., Transient Temperature Distribution inside Human Brain during Interstitial Microwave Hyperthermia, *Przegląd Elektrotechniczny*, Vol. 89 (2013), No. 3a, 274-276.
- [8] Sieroń A., Pasek J., Cieśla G.: Variable magnetic fields in the conservative analgesic treatment of peritoneal adhesions, *Przegląd Elektrotechniczny*, 87 12b/2011, 149-151
- [9] Cieśla A., Syrek P.: Parametric curves in the specification of windings of applicators used in magnetotherapy, *Przegląd Elektrotechniczny*, 88 9a/2012, 213-216
- [10] Cieśla A., Kraszewski W., Tadeusiewicz R.: Visualization of field generated by portable coil designed for magnetotherapy, *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 88 NR 10a/2012, 127-131
- [11] Oglódek E., Mo D., The effect of extremely low frequency magnetic fields on osteogenesis, *Borgis – New Medicine*, 3/2009, 58-60

Authors: dr hab. inż. Antoni Cieśla, prof. AGH, E-mail: aciesla@agh.edu.pl; dr inż. Wojciech Kraszewski, E-mail: wkraszew@agh.edu.pl; dr inż. Mikołaj Skowron, E-mail: miskowron@agh.edu.pl; dr inż. Przemysław Syrek, E-mail: syrekp@agh.edu.pl. AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie; Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej, Katedra Elektroenergetyki i Elektroenergetyki.