

Oddziaływanie aplikatorów pola magnetycznego na otoczenie w zależności od kształtu sygnału zasilającego

Streszczenie. W artykule dokonano analizy zasięgu strefy, w której przekroczone są zalecane poziomy dopuszczalne pola magnetycznego od urządzeń generujących pole magnetyczne, tj. aplikatorów stosowanych w magnetoterapii. Poziomy dopuszczalne w poszczególnych pasmach rozpatrywano zarówno na podstawie zaleceń dla miejsc ogólnodostępnych, jak i dla stanowisk pracy. Analizowany jest również wpływ wymuszeń zawierających wyższe harmoniczne. Zasięg stosownych stref od urządzenia generującego pole magnetyczne odniesiono do rozmiarów potencjalnego pacjenta.

Abstract. The article outlines the extent of the zone, within the appropriate recommendations concerning the level of the magnetic field from devices that generate magnetic field are unfulfilled, i.e. applicators used in magnetotherapy. Limits on individual bands were considered both based on the reference levels for occupational exposure to time varying magnetic fields and for general public exposure. The impact of distorted signals containing higher harmonics is also analyzed. The range of relevant zones for equipment that generates a magnetic field, are related to the extents of the potential patient. (The impact of the magnetic field of applicators on the environment depending on the signal's parameters).

Słowa kluczowe: pole magnetyczne, magnetoterapia, strefy bezpieczeństwa.

Keywords: magnetic field, magnetotherapy, safety zones.

Wstęp

Negatywne oddziaływanie pola magnetycznego na ludzi może wystąpić zarówno, gdy osoba postronna lub pracownik ekspozycyjni są długotrwale, jak również gdy znajdują się w strefie o wartościach niedopuszczalnych przypadkowo. Ocenie wpływu pola elektromagnetycznego na rozrusznik serca poświęcono wiele badań, a ich wyniki przedstawiono w szeregu prac [1,2]. W pracach [3-5], zwrócono uwagę, że w polu magnetycznym o częstotliwości 50 Hz i indukcji powyżej 100 μ T, może dojść do zakłóceń pracy rozrusznika serca. Według zaleceń [6], dla pola magnetycznego w zakresie częstotliwości od 1 Hz do 10 MHz, wyróżnia się 5 lub 6 pasm, dla których podane są dopuszczalne poziomy wartości skutecznych. Należy rozróżnić dwa rodzaje ekspozycji: dotyczącą ludności oraz zawodową.

Tabela 1. Poziom dopuszczalny pola magnetycznego w miejscach ogólnodostępnych dla ludności [6]

Częstotliwość [Hz]	Natężenie pola magnetycznego [A/m]	Indukcja pola magnetycznego [T]
1 Hz – 8 Hz	$3,2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^{-2} / f^2$
8 Hz – 25 Hz	$4 \times 10^3 / f$	$5 \times 10^{-3} / f$
25 Hz – 50 Hz	$1,6 \times 10^2$	2×10^{-4}
50 Hz – 400 Hz	$1,6 \times 10^2$	2×10^{-4}
400 Hz – 3 kHz	$3,2 \times 10^4 / f$	$8 \times 10^{-2} / f$
3 kHz – 10 MHz	21	$2,7 \times 10^{-5}$

f-częstotliwość sygnału

Bardziej rygorystyczne przepisy dotyczą miejsc ogólnodostępnych dla ludności (tabela 1), ograniczenia na niższym poziomie dotyczą ekspozycji pracowników (tabela 2).

Tabela 2. Poziom dopuszczalny pola magnetycznego na stanowiskach pracy [6]

Częstotliwość [Hz]	Natężenie pola magnetycznego [A/m]	Indukcja pola magnetycznego [T]
1 Hz – 8 Hz	$1,63 \times 10^5 / f^2$	$0,2 / f^2$
8 Hz – 25 Hz	$2 \times 10^3 / f$	$2,5 \times 10^{-2} / f$
25 Hz – 300 Hz	8×10^2	1×10^{-3}
300 Hz – 3 kHz	$2,4 \times 10^5 / f$	$0,3 / f$
3 kHz – 10 MHz	80	1×10^{-4}

Analizując widmo większości sygnałów okresowych, wartości skuteczne poszczególnych składowych maleją wraz ze wzrostem częstotliwości, jednak efekt oddziaływania zmiennego pola magnetycznego, czyli np.

rozkład gęstości prądów wirowych, zależy nie tylko od wartości wymuszenia ale jest też proporcjonalny do zmian w czasie [7].

W artykule przedstawiono zasięg strefy, w której przekroczone są zalecane poziomy dopuszczalne dotyczące poziomu pola magnetycznego od urządzeń generujących pole magnetyczne, tj. aplikatorów stosowanych w magnetoterapii. Poziomy dopuszczalne w poszczególnych pasmach rozpatrywano zarówno na podstawie zaleceń dla miejsc ogólnodostępnych, jak i dla stanowisk pracy. Analizowany jest również wpływ wymuszeń zawierających wyższe harmoniczne. Zasięg stosownych stref od urządzenia generującego pole magnetyczne odniesiono do rozmiarów potencjalnego pacjenta na podstawie modelu numerycznego ciała z tzw. wirtualnej rodziny [8].

Kształt sygnału zasilającego cewkę aplikatora oraz sposób określania zasięgu stref ochronnych

W rozważaniach założono, że cewkę wzbudzającą pole magnetyczne zasilą prąd zmienny, okresowy, może zatem być aproksymowany za pomocą szeregu zawierającego funkcje sinusoidalne. Dla każdego sygnału poddawanemu analizie, określany jest współczynnik zawartości harmonicznych (THD), według formuły:

$$(1) \quad \text{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{j=2}^N I_j^2}}{I_1}$$

gdzie: I_1 – wartość skuteczna podstawowej harmonicznej, I_j – wartość skuteczna j -harmonicznej.

W badaniach symulacyjnych przyjęto, że wartości chwilowe rozkładu modułu indukcji pola magnetycznego w otoczeniu aplikatora, mają taki sam charakter jak wymuszenie (prąd). W przypadku ekspozycji w polach harmonicznych o różnych częstotliwościach, uwzględnia się każde z nich, a poziom bezpieczeństwa oraz możliwość dostępności przestrzeni dla ludności określa się na podstawie współczynnika:

$$(2) \quad \alpha = \sum_{j=0\text{Hz}}^{10\text{MHz}} \frac{B_j}{B_{R,j}}$$

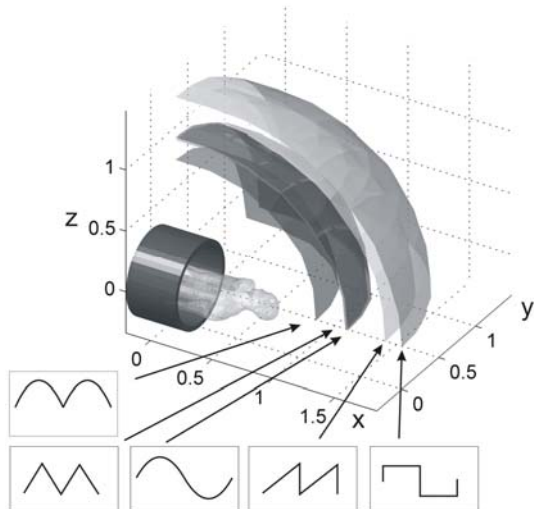
gdzie: B_J – wartość skuteczna indukcji pola magnetycznego dla składowej o częstotliwości J , $B_{R,J}$ – poziom dopuszczalny indukcji pola magnetycznego dla J harmonicznej.

Wyznaczając w przestrzeni otaczającej aplikator pole skalarnie parametru α , możliwe jest przedstawienie powierzchni ekwiskalarnej ($\alpha = 1$), oddzielającej podobszar, w którym niewskazane jest przebywanie osób postronnych.

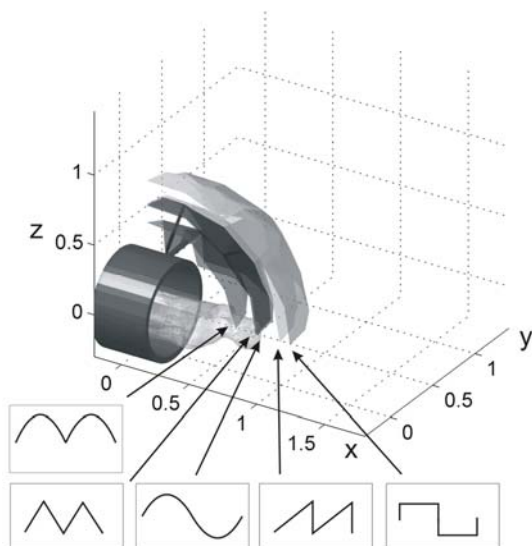
W artykule przedstawiono wyniki dla pięciu rodzajów sygnałów stosowanych w magnetoterapii, których najważniejsze parametry przedstawiono w tabeli 3.

Rezultaty badań

Prezentowano wyniki badań dla aplikatora solenoidalnego o średnicy 600 mm, długości 400 mm, przy założeniu, że zasilanie dane jest przebiegami jak w tabeli 3, o częstotliwości 50 Hz, a wartość maksymalna (chwilowa) indukcji pola magnetycznego w osi aplikatora wynosi 20 mT.



Rys. 1. Granica $\alpha=1$ dla przebiegów okresowych o jednakowej amplitudzie, okresie. Poziomy dopuszczalne dla miejsc dostępnych dla ludności



Rys. 2. Granica $\alpha=1$ dla przebiegów okresowych o jednakowej amplitudzie, okresie. Poziomy dopuszczalne dla ekspozycji zawodowej

Tabela 3. Parametry wykorzystanych sygnałów okresowych; założona amplituda równa 1

Przebieg	Wartość skuteczna	THD
sinusoidalny	0,707	0
prostokątny bipolarny	1	0,483
trójkątny bipolarny (piłokształtny)	0,577	0,802
trójkątny bipolarny (symetryczny)	0,577	0,121
sinusoidalny wyprostowany dwupołkowy	0,707	0,225

Wnioski

Urządzenia do magnetoterapii wyposażone są w interfejs umożliwiający wybór kształtu przebiegu, przy zadanej wartości amplitudy. Zmiana sygnału prowadzi nie tylko do zmian widma, współczynnika THD, ale też wartości skutecznej sygnału, a to przekłada się na zasięg strefy, w której (przypadkowo) znajdujące się osoby mogą być narażone np. na zakłócenia pracy rozrusznika serca. Zastosowanie przebiegu prostokątnego, według uzyskanych wyników, powoduje największy zasięg rozważanej strefy – odpowiednio 1,6 metra od urządzenia w przypadku miejsc dostępnych dla ludności, oraz 0,9 metra w przypadku ekspozycji zawodowej.

Odrębną kwestią pozostaje zbadanie wpływu kształtu impulsu na powstające w tkankach prądy wirowe; w tym przypadku, oprócz przewodności elektrycznej, to kształt impulsu ma decydujący wpływ na charakter rozkładu pola elektrycznego.

LITERATURA

- [1] Krawczyk A., Pławiak-Mowna A.: Kardiostryulatory w polu elektromagnetycznym emitowanym przez telefony komórkowe, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2002, nr.8, 230-235
- [2] Krawczyk A., Pławiak-Mowna A.: Kompatybilność elektromagnetyczna w biologii i medycynie, Instytut Naukowo-Badawczy ZTUREK, Warszawa, 2003
- [3] Trigano A., Blandeau O., Souques M., Gernez J.P., Magne I.: Clinical study of interference with cardiac pacemakers by a magnetic field at power frequencies, *J Am Coll Cardiol.*, 2005, 15; 45(6), 896-900
- [4] Karpowicz J., Gryz K., Zradziński P.: Pola magnetyczne przy urządzeniach do magnetoterapii – ocena ryzyka zawodowego, *Bezpieczeństwo Pracy*, 9 (2008), 21-25
- [5] 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
- [6] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz – 100 kHz), published in: *Health Physics*, 99 (2010), n.6, 818-836
- [7] Canova A., Freschi F., Giaccone L., Repetto M.: Exposure of working population to pulsed magnetic fields, *IEEE Transactions on Magnetics*, 46 (2010), n.8., 2819-2822
- [8] Christ A., Kainz W., Hahn E.G., Honegger K., Zeffner M., Neufeld E., Rascher W., Janka R., Bautz W., Chen J., Kiefer B., Schmitt P., Hollenbach H.P., Shen J.X., Oberle M., Szczerba D., Kam A., Guag J.W., Kuster N.: The Virtual Family – Development of surface-based anatomical models of two adults and two children for dosimetric simulations, *Physics in Medicine and Biology*, 55 (2010), n.2, N23-N38

Autorzy: dr inż. Przemysław Syrek, e-mail: syrekp@agh.edu.pl, dr hab. inż. Antoni Cieśla (prof. n. AGH), e-mail: aciesla@agh.edu.pl; dr inż. Wojciech Kraszewski, e-mail: wkraszew@agh.edu.pl; dr inż. Mikołaj Skowron, e-mail: mskowron@agh.edu.pl. AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Katedra Elektrotechniki i Elektroenergetyki, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków