

Aleksandra KŁOS-WITKOWSKA¹

BADANIE ODDZIAŁYWANIA POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO Z MATERIAŁ NA PODSTAWIE ANALIZY GŁĘBOKOŚCI WNIKANIA

Streszczenie: W prezentowanej pracy przedstawiono wyniki badań oddziaływania pola elektromagnetycznego z materiałem na podstawie analizy głębokości wnikania. Eksperymenty przeprowadzono dla N-Acetyl-L-aspartic acid (NAA) i jego roztworów oraz dla różnych częstotliwości pola elektromagnetycznego. Otrzymano większą głębokość wnikania w roztworach niż w ciele stałym. Zauważono zależność głębokości wnikania od częstotliwości

Słowa kluczowe: pole elektromagnetyczne, głębokość wnikania, NAA (N-Acetyl-L- aspartic acid)

INTERACTION STUDY OF ELECTROMAGNETIC FIELD WITH MATTER ON THE BASIS OF PENETRATION DEPTH ANALYSIS

Summary: The paper presents the results of research on the interaction of electromagnetic field with matter based on the analysis of penetration depth. The experiments were carried out for N-Acetyl-L- aspartic acid (NAA) and its solutions and for different frequencies of electromagnetic field. A greater penetration depth in solutions was obtained than in the solid. The dependence of the penetration depth on the frequency of applied electromagnetic field was observed.

Keywords: electromagnetic field, penetration depth, NAA (N-Acetyl-L- aspartic acid)

1. Wstęp

Oddziaływania pola elektromagnetycznego z materiałem jest tematem aktualnym, rozwijającym się obecnie bardzo dynamicznie ze względu na zagadnienia związane z transmisją sygnału, rozwojem telefonii komórkowej, a także z zastosowaniem pól elektromagnetycznych w medycynie czy też w kosmetologii; dlatego podejmowany problem głębokości wnikania w zależności od częstotliwości jest szczególnie ważny. Obecnie badania na temat pól elektromagnetycznych oraz efektów wynikających z ich oddziaływania z materiałem prowadzone są w dwóch niezależnych uzupełniających się nurtach. Mianowicie w kierunku badań teoretycznych koncentrujących się na

¹ dr, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, email: awitkowska@ath.bielsko.pl

tworzeniu i analizie uproszczonych modeli [1] oraz w kierunku badań eksperymentalnych skupiających się na pomiarze wewnętrznych pól, interakcji pól elektromagnetycznych z materią oraz wyznaczania współczynników absorpcji (SAR) w zależności od warunków ekspozycji [1-5].

W medycynie oraz w kosmetologii szczególnie ważne jest określenie głębokości wnikania w materię ze względu na zamierzone efekty lecznicze.

Ze względu na przeznaczenie terapeutyczne pola elektromagnetyczne stosuje się w elektroterapii [6], do symulacji osteogenezy, oraz przy wspomaganiu leczenia [7,8].

Fale elektromagnetyczne oddziałują z każdym rodzajem materii. W najogólniejszej postaci (w oparciu o elektrodynamikę kwantową) hamiltonian oddziaływania fali elektromagnetycznej z elektronami ma postać:

$$H \cong \sum_{i=1}^N \left\{ \left[\frac{\hbar^2}{2m_e} \nabla_i^2 + \frac{e}{m_e} A_i \cdot p_i + \frac{e\hbar}{2m_e i} \nabla \cdot A_i \right] + e\phi_i(x,t) \right\} \quad (1)$$

Opisany powyżej hamiltonian opisuje oddziaływanie układu N elektronów materii wystawionej na działanie fali elektromagnetycznej, opisanej przez potencjały $A(x, t)$ (skalarny) i $\phi(x, t)$ (wektorowy). Niestety bezpośrednie zastosowanie tego formalizmu (układu wielu elektronów) jak i hamiltonianu jest bardzo trudnym i nierozwiązanym do tej pory zagadnieniem wielu ciał. Dlatego dalsze rozważania opierać się będą na analogiach do prostych przypadków.

Wszystkie systemy biologiczne posiadają zdolność do absorbowania elektromagnetycznej energii. Zdolność modyfikacji aktywności systemów biologicznych przez pole elektromagnetyczne jest przedmiotem wielu badań [9, 10]. Wśród znanych mechanizmów oddziaływania pola elektromagnetycznego z materią można wyróżnić: Efekt Maxwella Wagnera, mechanizm bipolarnej relaksacji, model Grossa a także efekt radioecha.

Przeprowadzone eksperymenty miały na celu zbadanie oddziaływania pola elektromagnetycznego o różnych częstotliwościach z materią.

Analizowanym materiałem był metabolit mózgowy (N- Acetyl- L- aspartic acid) oraz jego roztwory.

Wybrana substancja jest ważna z medycznego punktu widzenia. Znajduje się w neuronach [11, 12] oraz używana jest jako marker gęstości neuronalnej.

2. Materiały i metody

Do badania oddziaływania pola elektromagnetycznego z materią zastosowano specjalny układ pomiarowy zawierający: zasilacz, analizator widma, sondę, oraz zestaw próbek: N- Acetyl-L- aspartic acid (NAA) w formie rozdrobnionego ciała stałego (proszek) oraz w formie wodnych roztworów NAA o stężeniach 0,7mg/ml oraz czterokrotnie większego 2,8mg/ml, a także wodę i powietrze.

Źródłem pola elektromagnetycznego był falomierz- generator (FG) RUGF-4 zaopatrzony w wymienne cewki. FG generował sygnały wysokich częstotliwości w zakresie (0,1-250 MHz).

Badania przeprowadzono dla częstotliwości: 1,5 MHz, 27,13 MHz, 32 MHz, 37 MHz, 42 MHz, 77 MHz, 105 MHz, 220 MHz.

Badaną próbkę oraz sondę analizatora umieszczono blisko cewki w indukcyjnej strefie pola. Dokonano pomiarów amplitudy sygnału po przejściu przez badaną

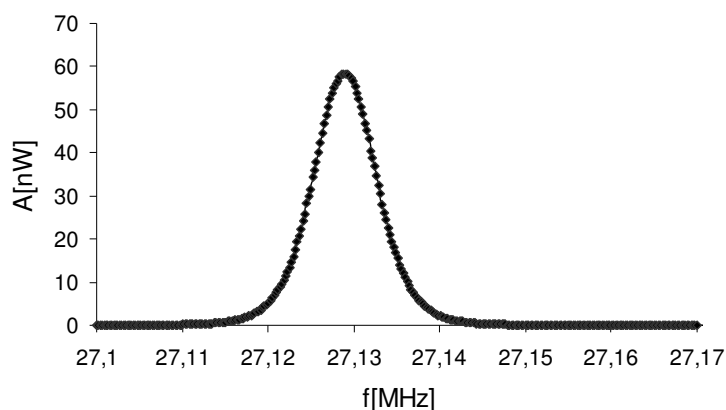
substancję. Eksperymenty przeprowadzona dla zmiennej grubości próbki 0,5cm; 1cm; 1,5cm; 2 cm; 2,5cm; 3cm. Badania wykonano w 3 seriach pomiarowych w celu wykluczenia błędów przypadkowych.

3. Rezultaty i dyskusja

Rysunek 1 przedstawia przykładowe widmo analizowanego impulsu pola elektromagnetycznego. Kształt przypominający rozkład normalny przedstawia zależność pomiędzy amplitudą sygnału a częstotliwością.

Maksymalna wartość amplitudy sygnału rzutowana na oś x wyznacza badaną częstotliwość.

Parametr mierzalny stanowiła wartość amplitudy sygnału odczytana z osi y. Podczas wykonywania badań zauważono różnice w amplitudzie sygnału pomiędzy zadanymi częstotliwościami oraz rodzajem substancji.



Rysunek 1. Przykładowe widmo impulsu

Na rysunku 2 (Rys 2) zobrazowano względną zmianę wartości amplitudy sygnału po przejściu przez badaną materię : NAA ciało stałe o dużym stopniu rozdrobnienia (proszek) oraz poziom referencyjny do NAA w formie proszku czyli powietrze, a także roztwory NAA o stężeniach odpowiednio 0,7 mg/ml , czterokrotnie większym stężeniu 2,8mg/ml a także wodę.

Poprzez „A” oznaczono amplitudę sygnału po przejściu przez odpowiednią warstwę próbki, natomiast „A₀” to wartość sygnału bezpośrednio przy źródle.

Prezentowany wykres dla 220 MHz obrazuje względną zmianę amplitudy sygnału w funkcji grubości próbki.

Widać, że wraz ze wzrostem grubości próbki amplituda sygnału pola elektromagnetycznego maleje.

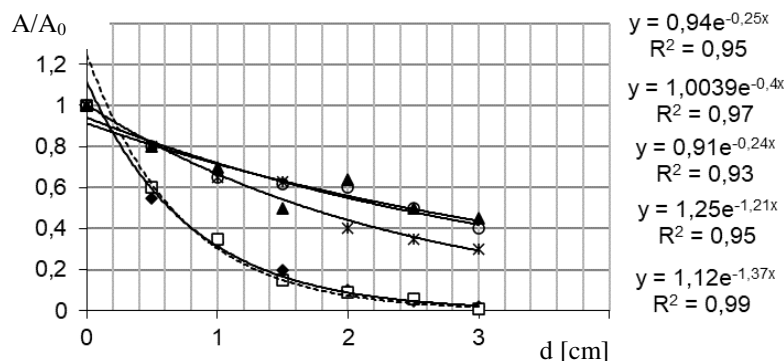
Ekspotencjalny spadek filtrowano funkcją e^{-ux} , gdzie parametr „u „ może być rozumiany jako współczynnik absorpcji a jego odwrotność jako głębokość wnikania pola elektromagnetycznego w próbkę [1].

Zauważalna jest wyraźna różnica w amplitudzie pomiędzy badaną substancją w formie rozdrobnionego ciała stałego a w formie roztworów.

Zauważono, że dla proszku zmiana następuje o wiele bardziej gwałtownie niż dla roztworów.

Analogiczne analizy wykonano dla wszystkich pozostałych badanych częstotliwości i substancji.

Na ich podstawie wyznaczono współczynniki absorpcji promieniowania elektromagnetycznego dla badanych próbek. Wyniki przedstawione są w tabeli 1 (Tab.1).



Rysunek 2. Względna zmiana amplitudy sygnału w funkcji grubości próbki dla NAA w formie rozdrobnionego ciała stałego (pusty kwadrat), powietrza (pełny romb), roztworu NAA (0,7 mg/ml) (koła), roztworu NAA (2,8 mg/ml) (pełny trójkąt), wody (gwiazda)

Analizując wartości współczynników absorpcji, można powiedzieć, że wraz ze wzrostem częstotliwości następuje wzrost współczynnika. Tendencja taka zauważalna jest zarówno dla ciała stałego, powietrza, wody oraz roztworów o stężeniach 0,7 mg/ml oraz 2,8 mg/ml. Porównując wartości współczynników dla ciała stałego oraz roztworów można zauważyć, iż wartość u jest mniejsza dla roztworów niż proszku. Biorąc pod uwagę wartości współczynników pomiędzy roztworami w różnych stężeniach (0,7 mg/ml, 2,8 mg/ml) można powiedzieć, iż różnią się między sobą w sposób nieznaczny.

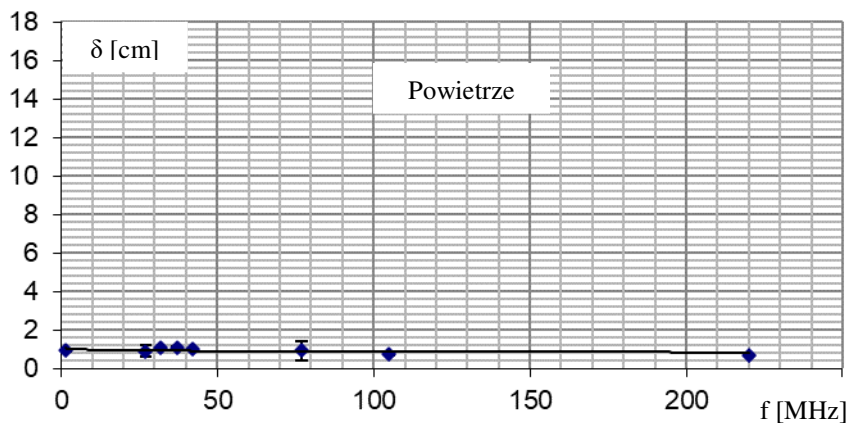
Tabela 1. Wartości współczynnika absorpcji w zależności do częstotliwości oraz rodzaju substancji

u- współczynnik absorpcji					
f [MHz]	powietrze	ciało stałe	woda	NAA 0,7 mg/ml	NAA 2,8 mg/ml
1,5	0,9 ± 0,02	0,9 ± 0,01	0,10 ± 0,03	0,08 ± 0,02	0,07 ± 0,07
27,13	0,91 ± 0,03	0,89 ± 0,03	0,12 ± 0,04	0,11 ± 0,01	0,08 ± 0,02
32	0,92 ± 0,04	0,84 ± 0,01	0,13 ± 0,04	0,15 ± 0,03	0,10 ± 0,03
37	0,93 ± 0,01	0,85 ± 0,01	0,14 ± 0,02	0,14 ± 0,02	0,11 ± 0,02
42	0,98 ± 0,02	0,88 ± 0,02	0,17 ± 0,03	0,16 ± 0,02	0,13 ± 0,01
77	1,05 ± 0,05	0,93 ± 0,03	0,24 ± 0,05	0,21 ± 0,04	0,16 ± 0,01
105	1,32 ± 0,02	1,20 ± 0,02	0,31 ± 0,02	0,23 ± 0,07	0,22 ± 0,05
220	1,37 ± 0,01	1,21 ± 0,05	0,4 ± 0,04	0,25 ± 0,04	0,24 ± 0,04

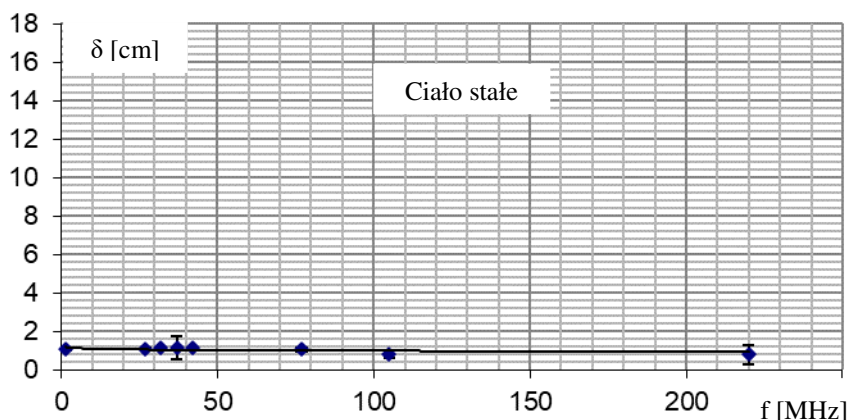
Na rys 3 (Rys. 3) widoczna jest zmiana głębokości wnikania w funkcji częstotliwości dla badanych materiałów i odpowiadającym im poziomom referencyjnym. Dla rozdrobnionego NAA było to powietrze dla roztworów natomiast poziom odniesienia stanowiła woda..

Analizując przedstawione wykresy można powiedzieć, że istnieje zależność pomiędzy głębokością wnikania a częstotliwością. Im wyższa częstotliwość tym głębokość wnikania mniejsza i tak dla roztworu NAA 2,8 mg/ml głębokość wnikania przyjmuje wartości od 4,16 cm do 14,5cm dla częstotliwości 220 MHz. Dla stężenia NAA 0,7 mg/ml wartość maksymalna głębokości wnikania to 12,5cm dla 1,5 MHz podczas gdy minimalna to 4 cm dla 220 MHz

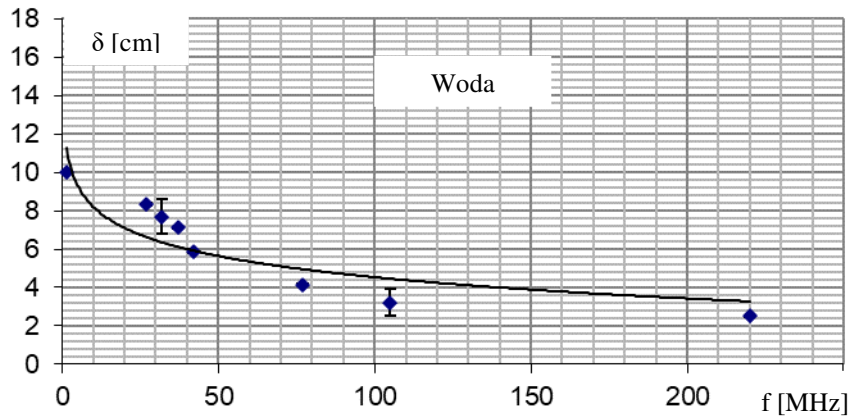
a)



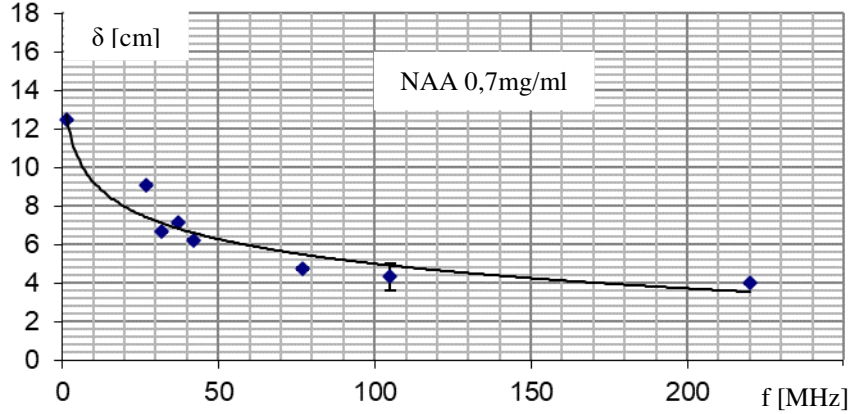
b)



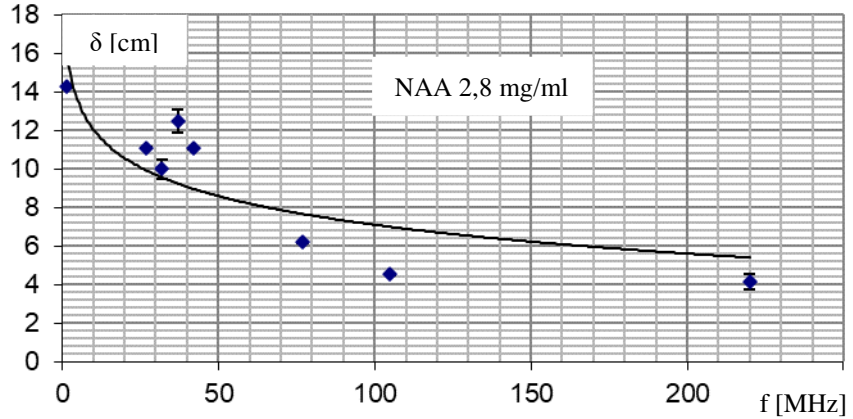
c)



d)



e)



Rysunek 3. Zmiana głębokości wnikania wraz z częstotliwością dla: a) powietrza, b) ciała stałego (NAA), c) wody, d) roztworu NAA 0,7mg/ml, e) roztworu NAA 2,8 mg/ml

W przypadku rozdrobnionego ciała stałego NAA (proszek) zmiany głębokości wnikania są bardzo subtelne i wynoszą odpowiednio: dla 220 MHz to 0,82 cm, natomiast dla 1,5 MHz to 1,07cm.

Porównując głębokości wnikania roztworów o dwóch stężeniach można powiedzieć, że głębokość wnikania dla badanych stężeń różni się między sobą nieznacznie.

Dokonując jednak porównania pomiędzy głębokością wnikania NAA w formie rozdrobnionego ciała stałego a roztworów wodnych NAA o stężeniach 0,7mg/ml oraz 2,8 mg/ml, widać, że głębokość wnikania w cieczy jest większa niż w ciele stałym.

Przeprowadzone badania wykazały, że zarówno parametr μ jak i głębokość wnikania zależą od częstotliwości aplikowanego pola elektromagnetycznego.

Interpretacja otrzymanych wyników jest skomplikowana głównie, ze względu na występujące podczas transmisji pola przez badaną materię zjawiska takie jak: zmiana fazy fali przy transmisji, odbicia, lokalne rezonanse pochodzące z otoczenia, energia dysypacji,

Utrudniają one interpretację otrzymanych wyników.

Warto również zwrócić uwagę na fakt, że eksperymenty przeprowadzono w polu bliskim, gdzie nieuformowane pole elektromagnetyczne może powodować fluktuacje.

4. Podsumowanie

W przedstawionej pracy zaprezentowano wyniki badań oddziaływania pola elektromagnetycznego z materia ą poprzez wyznaczenie głębokości wnikania w funkcji częstotliwości dla NAA w formie rozdrobnionego ciała stałego, roztworów wodnych NAA o stężeniach 0,7 mg/ml oraz 2,8 mg/ml oraz wody i powietrza

Zauważono, że dla badanych substancji istnieje zależność pomiędzy głębokością wnikania a częstotliwością.

Im większa częstotliwość pola elektromagnetycznego tym głębokość wnikania jest mniejsza.

Głębokości wnikania zleżały również od substancji.

I tak dla rozdrobnionego ciała stałego (NAA proszek) głębokość wnikania była znacznie mniejsza niż dla roztworów NAA 0,7mg/ml i 2,8 mg/ml oraz wody.

LITERATURA

1. POLK C., POSTOW E.: Handbook of biological effects of electromagnetic fields. Praca zbiorowa pod red. C. Polk , E Postow, Wyd.2, CRC Press, 1996
2. KARWOWSKI A.: Czy promieniowanie stacji bazowych telefonii komórkowej stanowi zagrożenie? Cz II Przegląd Telekomunikacyjny Rocznik LXXV i Wiadomości Telekomunikacyjne LXXXI 2, (2002), 101-118.
3. WYSZKOWSKA J., JANKOWSKA M., GAS P.: Electromagnetic fields and neurodegenerative diseases. Przegląd Elektrotechniczny, **95** (2019), 129-133.
4. STAVROULAKIS P.: Biological Effects of Electromagnetic Fields” Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2003).

5. HIGENFELD B., STRAHMEL E., HAUEISEN J.: Active magnetic shielding for biomagnetic measurement using spatial gradient fields. *Physiological Measurement* **24**(2003), 1-9.
6. BRAUMGART M., KAPSA A., WEBER-RAJEK M., RADZIMIŃSKA A., SZYPER S., SZPINDA M., ZUKOW W.: Ocena skuteczności różnych form elektroterapii w leczeniu objawów zmian zwyrodnieniowych stawów kolanowych. *Journal of Education, Health and Sport* **6**(5), 131-138.
7. MITKOWSKI P., CHMIELEWSKA-MICHALAK L., SMUKOWSKI T., MIGAJ J., BARCZYŃSKI M., WAŚNIEWSKI M., SENIUK W., LESIAK M., OCHOTNY R.: Umiejętności z zakresu kardiologii interwencyjnej ułatwiają osiągnięcie sukcesu w elektroterapii. *Kardiologia Inwazyjna* **13**(2018)4, 8-12.
8. CHUDORLIŃSKI J., KSIĄŻEK L., KUCHARZEK M., PRYSTUPIUK P.: Układ zasilania i diagnostyki urządzeń medycznych do fizykoterapii polem magnetycznym i światłem. *Przegląd elektrotechniczny* **95**(2019)12, 101-104.
9. CADOSI R.: Clinical application of non-ionizing electromagnetic energie” proc of Medicon 2004-IX.
10. BIANCO B., CHIABRERA M.: From the Lorentz to the Zeeman model effect on ligand-receptor binding. *Biochem Bioenerg* **28**(1992), 355-365.
11. BASLOW M.: Function of N-Acetyl-L-Aspartate and N-Acetyl-L-Aspartylglutamate in the vertebrate brain . Role in glial cell-specific signalling. *Journal of Neurochemistry* **75** (2000), 453-459
12. CLARK J.: N-Acetyl-Aspartate a marker for neuronal loss or mitochondria dysfunction. *Developmental Neuroscience* **20**(1998), 271-276.