

Badania wpływu pola elektromagnetycznego na materię poprzez wyznaczenie współczynników absorpcji dla wybranych częstotliwości oraz substancji

Aleksandra Kłos-Witkowska^{1*}, Kacper Kubiś², Vasyl Martsenyuk³

¹ *University of Bielsko-Biala, Willowa 2, 43-300 Bielsko-Biala, Poland, aklos@ubb.edu.pl*

² *University of Bielsko-Biala, Willowa 2, 43-300 Bielsko-Biala, Poland, kubis.kacper@gmail.com*

³ *University of Bielsko-Biala, Willowa 2, 43-300 Bielsko-Biala, Poland, vmartseyuk@ubb.edu.pl*

* *Aleksandra Kłos-Witkowska, aklos@ubb.edu.pl*

Streszczenie: W prezentowanej pracy przedstawiono rezultaty badań i ich analizę na temat wpływu pola elektromagnetycznego na materię poprzez wyznaczenie współczynników absorpcji. Wybrano sygnał sinusoidalny. Na podstawie zmiany amplitudy sygnału dla różnych grubości próbki wyznaczono współczynniki absorpcji. Badania wykonano dla wybranych częstotliwości oraz substancji. Analizy współczynnika absorpcji wykazały większą absorpcję w ciele stałym niż w wodzie i roztworze. Zauważono zależność od częstotliwości

Keywords: pole elektromagnetyczne, absorpcja, współczynnik absorpcji, r-r BSA, FeO₄S

Studies of the effect of electromagnetic fields on matter by determining absorption coefficients for selected frequencies and substances

Aleksandra Kłos-Witkowska^{1*}, Kacper Kubiś², Vasyl Martsenyuk³

¹ *University of Bielsko-Biala, Willowa 2, 43-300 Bielsko-Biala, Poland, aklos@ubb.edu.pl*

² *University of Bielsko-Biala, Willowa 2, 43-300 Bielsko-Biala, Poland, kubis.kacper@gmail.com*

³ *University of Bielsko-Biala, Willowa 2, 43-300 Bielsko-Biala, Poland, vmartseyuk@ubb.edu.pl*

* *Aleksandra Kłos-Witkowska, aklos@ubb.edu.pl*

Abstract: The paper presents the results of research and its analysis on the effect of electromagnetic field on matter by determining absorption coefficients. A sinusoidal signal was chosen. Based on the change in signal amplitude for different sample thicknesses, absorption coefficients were determined. Tests were performed for selected frequencies and substances. Absorption coefficient analyses showed greater absorption in the solid than in water and solution. A frequency dependence was noted

Słowa kluczowe: electromagnetic field, absorption, absorption coefficient; r-r BSA, FeO₄S

1. Wstęp

Wpływ pola elektromagnetycznego na materię stanowi jedno z kluczowych zagadnień współczesnej fizyki i inżynierii biomedycznej [1-4]. W obliczu rosnącego wykorzystania technologii opartych na promieniowaniu

elektromagnetycznym, takich jak telekomunikacja, medycyna czy przemysł elektroniczny, zrozumienie mechanizmów oddziaływania fal elektromagnetycznych z różnymi substancjami stanowi istotne zagadnienie.

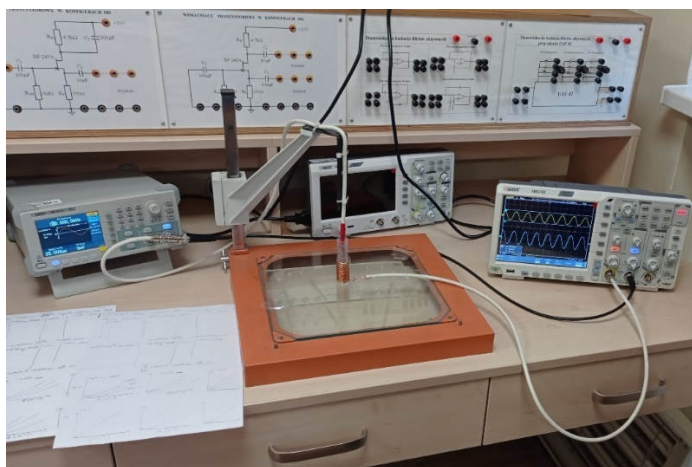
Obecnie badania rozwijają się w dwóch równoległych uzupełniających się nurtach teoretycznym i eksperymentalnym. W ramach nurtu teoretycznego można wyróżnić tworzenie modeli oddziaływania oraz predykcje efektów związanych z oddziaływaniem pól (zarówno na materię żywą i nieżywą)[5]. Nurt eksperymentalny natomiast skupia się na pomiarach pól, interpretacji zaobserwowanych zjawisk próbie wyjaśnienia mechanizmów interakcji między materiałem a polem [6-7].

Prezentowany artykuł koncentruje się na badaniu wpływu pola elektromagnetycznego na materię poprzez wyznaczenie współczynników absorpcji dla wybranych częstotliwości oraz substancji. Współczynnik absorpcji, będący miarą ilości energii pochłanianej przez materiał podczas przechodzenia przez niego fali elektromagnetycznej, stanowi kluczowy parametr w ocenie podatności danej substancji na działanie promieniowania. Badania tego rodzaju są istotne nie tylko dla fundamentalnej nauki, ale również dla zastosowań praktycznych, takich jak projektowanie materiałów ochronnych, optymalizacja procesów przemysłowych czy ocenę bezpieczeństwa urządzeń emitujących promieniowanie.

W artykule przedstawiono metodykę pomiaru, sposób wyznaczania współczynników absorpcji dla wybranych częstotliwości z zakresu radiowego oraz dla różnych substancji. Wyniki badań dostarczają cennych informacji na temat zachowania materii w polu elektromagnetycznym oraz umożliwiają lepsze zrozumienie procesów absorpcji i ich wpływu na właściwości materiałów.

2. Materiał i Metoda

Do badań wpływu pola elektromagnetycznego na materię użyto specjalnie skonstruowanego stanowiska pomiarowego składającego się z: generatora WON AG GS1F, sondy pomiarowej wraz ze specjalnym stojakiem, oscyloskopu XDS3102A. Zobrazowanie stanowiska pomiarowego przedstawia rysunek 1 (Rys 1)



Rysunek 1. Stanowisko pomiarowe

Badania wykonano dla częstotliwości: 0,1 MHz, 0,5 MHz, 1 MHz, 2 MHz, 3 MHz, 4 MHz. Eksperyment wykonano badając amplitudę sygnału po przejściu przez wodę, roztwór wodny Albuminy Wołowej (BSA) (2mg/ml), ciało stałe FeO_4S (siarczan żelaza(VI))

Próbkę oraz sondę umieszczono w pobliżu cewki w obszarze pola indukcyjnego. Sonda zawsze była umieszczana bezpośrednio nad badaną warstwą próbki. Mierzono amplitudę sygnału po przejściu przez badaną substancję. Eksperymenty przeprowadzono przy różnych grubościach próbek (0,5 cm, 1 cm, 1,5 cm, 2 cm, 2,5 cm, 3 cm).

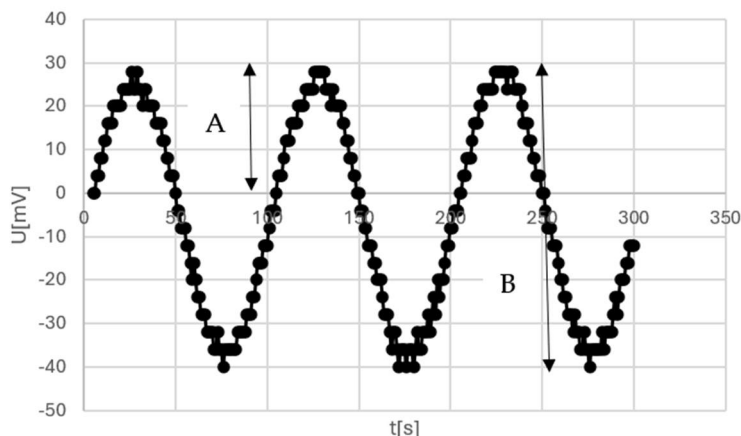
Badania wykonano w trzech seriach pomiarowych, aby wyeliminować błędy przypadkowe.

W badaniach wykorzystano Albuminę Wołową (BSA; lot: SLBK3063V) otrzymaną z firmy Sigma Aldrich. Eksperymentowi poddano wodne roztwory białka o stężeniu 2mg/mL oraz ciało stałe w formie proszkowej (siarczan żelaza(VI) (FeO_4S ; lot:SLBL6319V). Aplikowany sygnał był o kształcie sinusoidy.

3. Rezultaty i Dyskusja

Rysunek 2 (Rys 2) przedstawia przykładowe widmo z oscyloskopu dla zakresu czasu 300s. Widać kształt sinusoidalny o charakterze periodycznym. Zaznaczono na min „B” jako parametr nazywany wartością międzyszczytową. Średnia jej

wartość dla całego spektrum była automatycznie pobierana z oscyloskopu. Połowa wartości szczytowej to amplituda, oznaczona na rysunku jako "A". Amplituda była później wykorzystywana w dalszych analizach.

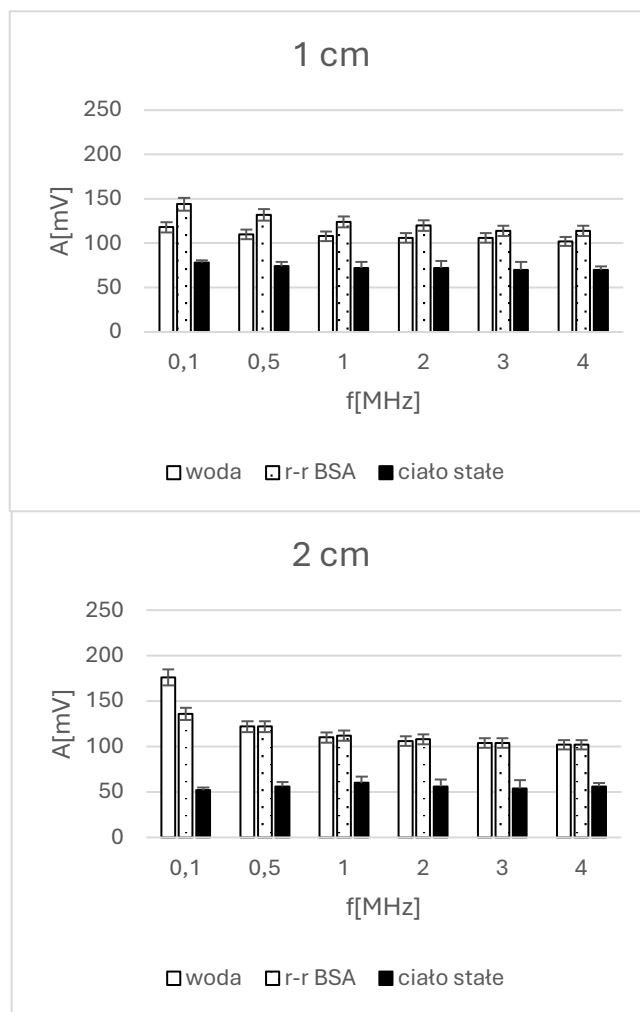
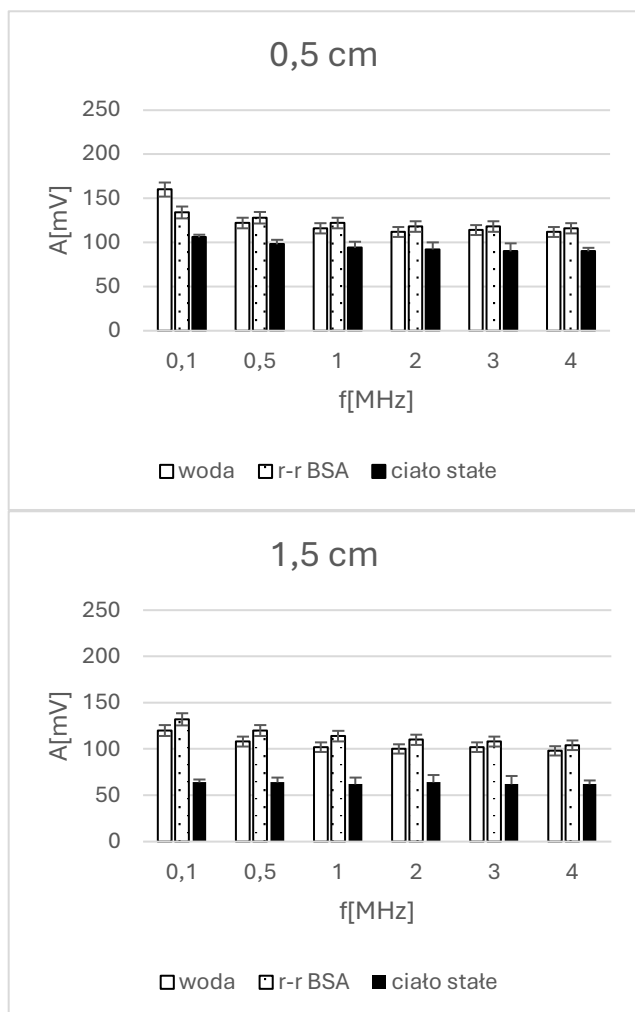


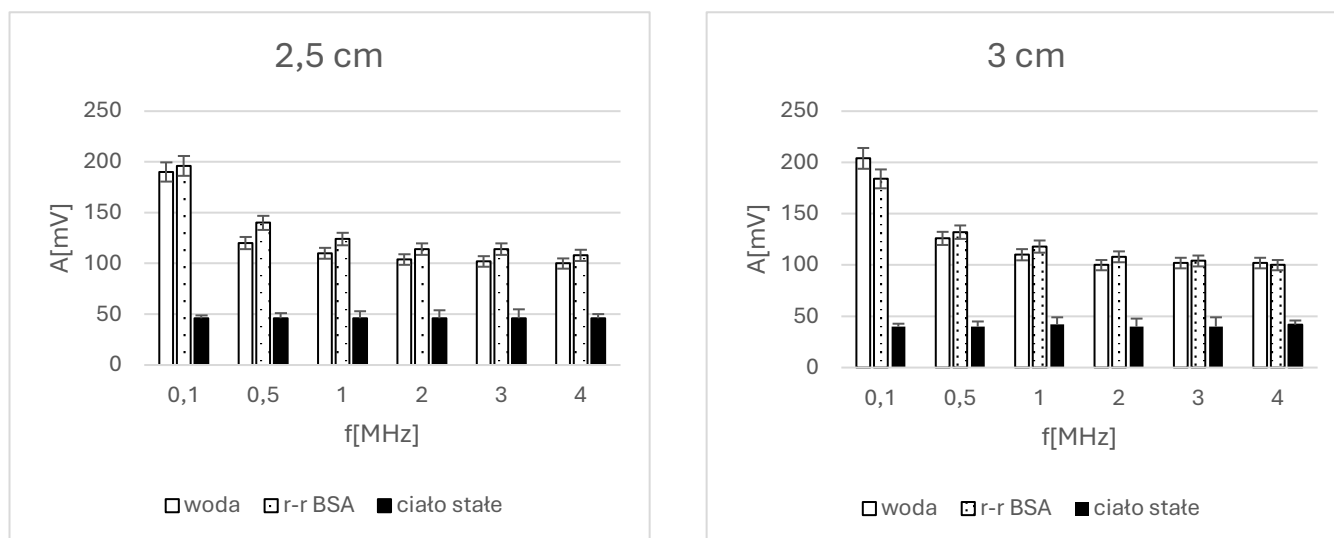
Rysunek 2. Przykładowe widmo impulsu

Na rysunku 3 widać zmiany amplitudy sygnału w zależności od badanej substancji i aplikowanej częstotliwości dla grubości próbki (0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3cm).

Widać że amplituda sygnału zależała od rodzaju substancji oraz przyłożonej częstotliwości.

Porównując zmiany amplitudy sygnału po przejściu przez ciało stałe, wodę i wodny roztwór białkowy zauważono większy spadek amplitudy po przejściu przez ciało stałe niż wodę i roztwór. Można zatem powiedzieć, że absorpcja w ciele stałym jest większa niż w wodzie i roztworze.



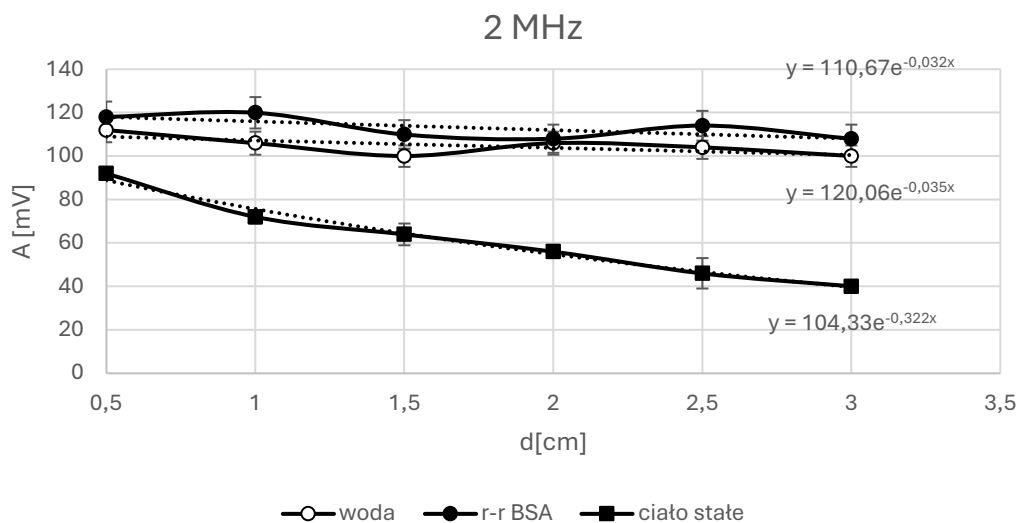


Rysunek 3. Zmiany amplitudy sygnału w zależności od badanej substancji i aplikowanej częstotliwości dla grubości próbki (0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3cm)

Absorpcja pola elektromagnetycznego w ciele stałym jest często większa niż w roztworze ze względu na kilka kluczowych czynników: (I) gęstość materii: W ciałach stałych atomy lub cząsteczki są upakowane znacznie gęściej niż w roztworach. To większe zagęszczenie powoduje, że fale elektromagnetyczne oddziałują z większą liczbą cząsteczek na jednostkę objętości, co zwiększa prawdopodobieństwo absorpcji energii [8], (II) interakcje międzycząsteczkowe: W ciałach stałych występują silniejsze oddziaływania międzycząsteczkowe (np. wiązania jonowe, kowalencyjne, van der Waalsa), które mogą skuteczniej absorbować i rozpraszać energię elektromagnetyczną. W roztworach, cząsteczki mogą być bardziej rozproszone i oddziaływania te są słabsze, co może zmniejszać efektywną absorpcję [9], (III) przewodnictwo: wiele ciał stałych, zwłaszcza metali, ma wysokie przewodnictwo elektryczne, co powoduje, że ruch elektronów w odpowiedzi na pole elektromagnetyczne prowadzi do silnej absorpcji energii. W roztworach, przewodnictwo zależy od obecności jonów, które są zwykle mniej liczne niż swobodne elektrony w metalach, (IV) stan skupienia: w ciałach stałych struktura krystaliczna lub amorficzna może prowadzić do rezonansu z falami elektromagnetycznymi w określonych zakresach częstotliwości, zwiększając absorpcję. Roztwory nie mają tej uporządkowanej struktury, co może skutkować mniejszą absorpcją, (V) tłumienie i rozpraszanie. W ciałach stałych energia fal elektromagnetycznych może być również tłumiona i rozpraszana przez defekty, zanieczyszczenia lub niejednorodności w strukturze materiału, co dodatkowo zwiększa absorpcję. W roztworach, gdzie materiały są zazwyczaj bardziej jednorodne, takie zjawiska mogą występować w mniejszym stopniu.

Te czynniki razem sprawiają, że absorpcja pola elektromagnetycznego w ciele stałym jest zwykle większa niż w roztworze [10]. Zwraca uwagę fakt, że dla roztworu i wody (zwłaszcza dla częstotliwości 0,1 oraz 0,5 MHz) amplituda sygnału dla roztworów i wody 2,5cm oraz 3cm jest większa niż dla 0,5cm i 1 cm pomimo zwiększonej grubości próbki. Efekt ten jest związany z wielokrotnymi wewnętrznymi odbiciami, które mogą wystąpić w środowisku hydrofobowym. Powszechnie zjawisko to tłumaczy Efekt Grossa.

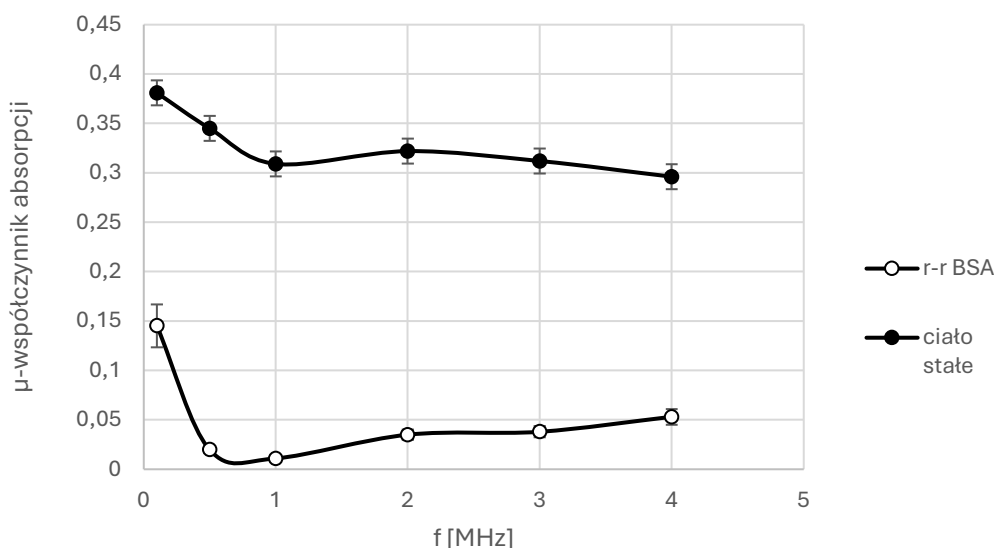
Rysunek 4 przedstawia zmianę amplitudy sygnału po przejściu przez ciało stałe (FeO_4S), roztwór wodny proteiny BSA oraz wodę i stanowi ilustrację do przeprowadzonych analiz. Przykładowy wykres dla częstotliwości 2 MHz pokazuje zmianę amplitudy sygnału w zależności od grubości próbki. Zauważono, że wraz ze wzrostem grubości próbki, amplituda sygnału elektromagnetycznego maleje. Spadek ten opisano za pomocą funkcji eksponencjalnej $y = ae^{-\mu x}$, gdzie parametr „u” (jego wartość bezwzględna) jest współczynnikiem absorpcji. Sygnał elektromagnetyczny maleje wraz z grubością próbki z powodu zjawiska absorpcji i rozpraszania fali elektromagnetycznej przez materiał, przez który sygnał przechodzi. Kiedy fala elektromagnetyczna wnika w próbkę, część jej energii jest pochłaniana przez cząsteczki materiału, co prowadzi do zmniejszenia intensywności sygnału. Wzrost grubości próbki oznacza, że fala musi przejść przez większą ilość materiału, co skutkuje większą ilością pochłanianej energii i tym samym dalszym osłabieniem sygnału.



Rysunek 4. Zmiana amplitudy sygnału w zależności od badanej substancji dla częstotliwości 2MHz i grubości próbki (0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3 cm). Fitowanie funkcją eksponencjalną: $y=ae^{-\mu x}$

Dodatkowo, w miarę jak fala elektromagnetyczna przemieszcza się przez materiał, może ulegać rozpraszaniu na cząsteczkach lub strukturach wewnątrz próbki, co również przyczynia się do zmniejszenia intensywności sygnału. Całkowity efekt tych procesów jest opisany przez wspomniany współczynnik absorpcji, który określa, jak szybko energia fali elektromagnetycznej maleje w funkcji odległości, czyli grubości materiału [11,12]. Właśnie ze względu na występujące rozproszenia możemy w widmie zauważyć fluktuacje sygnału w wodzie oraz w roztworze białkowym. Porównując wartość amplitudy sygnału po przejściu przez roztwór, ciało stałe i wodę widać, że amplituda sygnału jest mniejsza dla ciała stałego niż wody i roztworu. Oznacza to, że większa absorpcja wystąpiła w ciałach stałych niż w wodzie i w roztworze. Ponadto zauważono, że zmiany w amplitudzie sygnału między wodą a roztworem są nieznaczne (na granicy błędów doświadczalnych)

Rysunek 5 (Rys. 5) oraz tabela 1 (Tab.1) przedstawia porównania współczynników absorpcji (bezwzględne wartości) dla wody, roztworu białkowego (r-r BSA 2mg/ml) oraz ciała stałego FeO_4S w badanych częstotliwościach (0,1-4 MHz). Na wykresie widać wyraźną różnicę pomiędzy współczynnikiem absorpcji w wodzie i ciele stałym, który ma większą wartość dla ciała stałego niż dla wody



Rysunek 5. Współczynnik absorpcji “μ” dla wody (pełnione koła) oraz ciała stałego FeO_4S (puste koła) w częstotliwościach (0,1-4 MHz)

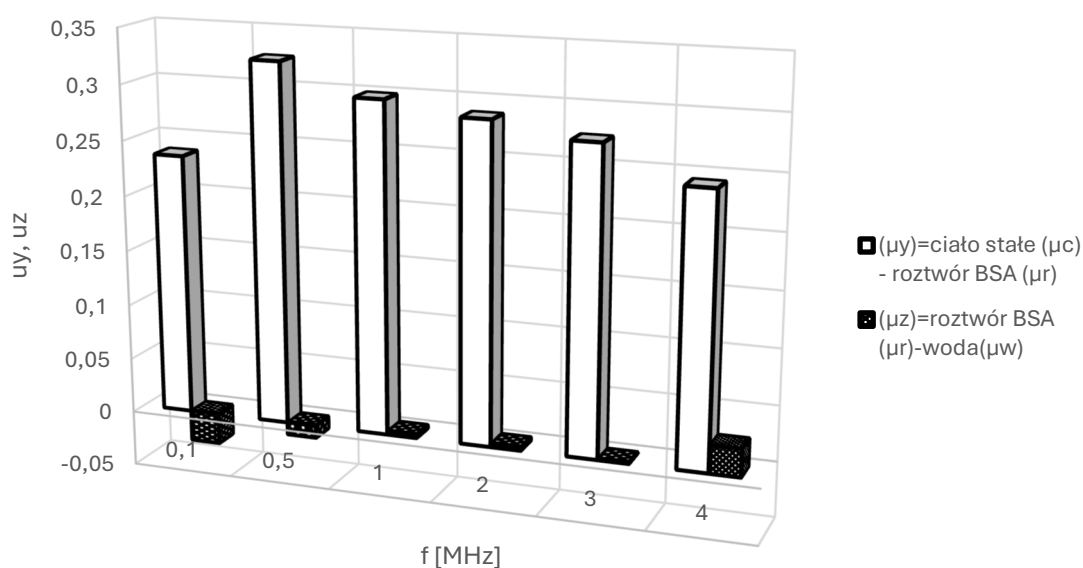
Powszechnie wiadomo [13], że przy falach radiowych z zakresu niskiej częstotliwości radiowej które mają dość długą długość fali, właściwości absorpcyjne różnych materiałów są dość specyficzne. Woda dla niskich częstotliwości ma relatywnie niski współczynnik absorpcji, charakteryzuje się dużą przenikalnością elektryczną, co oznacza, że może pochłaniać pewną ilość energii pola elektromagnetycznego, ale nie jest szczególnie efektywna w absorpcji. W przypadku ciał stałych (metali) współczynnik absorpcji jest bardzo wysoki. Metale są doskonałymi przewodnikami prądu elektrycznego, a niskie częstotliwości fal elektromagnetycznych indukują prądy wirowe, co powoduje bardzo efektywną absorpcję energii (zgodnie z prawem Ohma). W ciałach stałych, które są dielektrykami, współczynnik absorpcji może być znacznie niższy niż w przypadku metali, ale wciąż wyższy niż w przypadku wody. Dielektryki mogą pochłaniać energię pola elektromagnetycznego, ale efektywność tego procesu jest różna i zależy od właściwości materiału [13]. Niemniej jednak współczynnik absorpcji pola elektromagnetycznego dla większości ciał stałych jest znacznie wyższy niż dla wody. Woda jest dość przezroczysta dla niskich częstotliwości, podczas gdy ciała stałe, szczególnie przewodzące, mogą bardzo efektywnie absorbować tę energię.

Tabela 1 oprócz prezentacji wartości liczbowych współczynnika absorpcji dla wody i ciała stałego przedstawia także współczynniki dla roztworu proteinowego. Widać, że wartości współczynników niewiele różnią się od siebie, aczkolwiek można zauważyć słaby trend większej absorpcji w roztworze niż w wodzie.

Tabela 1. Wartości współczynników absorpcji " μ " dla wody, roztworu białkowego (r-r BSA 2mg/ml) oraz ciała stałego FeO₄S w badanych częstotliwościach (0,1-4 MHz)

częstotliwość f [MHz]	μ -współczynnik absorpcji								
	woda			r-r BSA 2mg/ml			ciało stałe		
0,1	0,173	±	0,009	0,1452	±	0,007	0,381	±	0,057
0,5	0,031	±	0,002	0,0198	±	0,001	0,345	±	0,052
1	0,008	±	0,000	0,011	±	0,001	0,309	±	0,046
2	0,032	±	0,002	0,035	±	0,002	0,322	±	0,048
3	0,037	±	0,002	0,038	±	0,002	0,312	±	0,047
4	0,028	±	0,001	0,053	±	0,003	0,296	±	0,044

Kolejnym punktem przeprowadzanych analiz było wyznaczenie różnic we współczynnikach absorpcji. Rezultaty prezentuje Rysunek 6 oraz Tabela 2



Rysunek 6. Różnice współczynników absorpcji: (μ_y)=ciało stałe (μ_c) - roztwór BSA (μ_r) oraz (μ_z)=roztwór BSA (μ_r)-woda(μ_w)

Na diagramie przedstawiono różnice wartości współczynników absorpcji pomiędzy ciałem stałym (μ_c) i roztworem BSA (μ_r) oznaczone jako „uy” oraz pomiędzy roztworem BSA (μ_r) i wodą (μ_w). Można zauważyć znaczne różnice pomiędzy substancjami o różnym stanie skupienia w przeciwieństwie do tych, w których stan skupienia jest jednakowy. Wynikają one najprawdopodobniej z fundamentalnych różnic w ich strukturze molekularnej oraz w oddziaływaniach międzycząsteczkowych. W ciałach stałych, cząsteczki są ułożone w regularne, uporządkowane struktury, tworząc sieci krystaliczne. Oddziaływania międzycząsteczkowe, takie jak wiązania jonowe, kowalencyjne, wodorowe, czy siły van der Waalsa, są silne i trzymają cząsteczki blisko siebie w stałych pozycjach. W cieczach cząsteczki mają więcej swobody ruchu, ale nadal są ściśle związane oddziaływaniami międzycząsteczkowymi, choć te oddziaływania są zazwyczaj słabsze niż w ciałach stałych. Struktura zatem wpływa znacząco na oddziaływanie materiału z polem elektromagnetycznym, co przekłada się bezpośrednio na różnice we współczynnikach absorpcji. Na diagramie zwracają uwagę różnice we współczynnikach absorpcji pomiędzy roztworem a wodą dla częstotliwości 0,1 MHz oraz 0,5 MHz. Tłumaczyć je można efektem Maxwela-Wagnera, który dotyczy dyspersji w koloidach i emulsjach i wynika z odmiennych właściwości dielektrycznych medium oraz substancji rozpuszczonej. Zjawisko to nie powstaje w wyniku dielektrycznej relaksacji, która może mieć miejsce, ale jest konsekwencją zmian fazy pola w wyniku oddziaływania z zawiesiną [14].

Tabela 2. Różnice między współczynnika absorpcji (μ) pomiędzy wodą, roztworem a ciałem stałym

Różnice między współczynnika absorpcji (μ) pomiędzy wodą, roztworem a ciałem stałym									
częstotliwość f [MHz]	(μ_x) =ciało stałe (μ_c) - woda(μ_w)			(μ_y) =ciało stałe (μ_c) - roztwór BSA (μ_r)			(μ_z) =roztwór BSA (μ_r) - woda(μ_w)		
0,1	0,208	±	0,010	0,2358	±	0,012	-0,0278	±	0,001
0,5	0,314	±	0,016	0,3252	±	0,016	-0,0112	±	0,003
1	0,301	±	0,015	0,298	±	0,015	0,003	±	0,002
2	0,29	±	0,015	0,287	±	0,014	0,003	±	0,005
3	0,275	±	0,014	0,274	±	0,014	0,001	±	0,004
4	0,268	±	0,013	0,243	±	0,012	0,025	±	0,002

W celu otrzymania pełnego obrazu przedstawionych analiz wykonano Tabelę 2, która dodatkowo prezentuje różnice we współczynnikach absorpcji pomiędzy ciałem stałym (μ_c) i wodą (μ_w). Oznaczono je jako „ μ_x ”. Widać, że charakter ich jest bardzo podobny do różnic między ciałem stałym i roztworem co potwierdza wcześniejszą interpretację związaną ze stanami skupienia badanych substancji i ich oddziaływaniem z polem elektromagnetycznym.

4. Podsumowanie

W pracy przedstawiono wyniki badań oddziaływania pola elektromagnetycznego z materiały otrzymane za pomocą specjalnie skonstruowanego stanowiska pomiarowego.

Eksperymenty wykonano dla substancji o różnych stanach skupienia: cieczy (wodnego roztworu białka i wody) oraz ciała stałego w formie proszkowej dla częstotliwości (0,1-4 MHz).

Wyznaczono współczynniki absorpcji oraz obliczono różnice między nimi.

Przeprowadzone badania wykazały, że oddziaływanie pola elektromagnetycznego z materiały zależało od rodzaju substancji oraz przyłożonej częstotliwości. Porównując zmiany amplitudy sygnału po przejściu przez ciało stałe, wodę i wodny roztwór białkowy zauważono większy spadek amplitudy po przejściu przez ciało stałe niż wodę i roztwór. można zatem powiedzieć, że absorpcja w ciele stałym jest większa niż w wodzie i roztworze.

Dla badanych substancji zaobserwowano absorpcje promieniowania elektromagnetycznego, która jest zjawiskiem dominującym w przeprowadzonym eksperymencie nad zjawiskami dyspersyjnymi i refrakcyjnymi (które również w bardzo małym i nieznacznym stopniu zaobserwowano i zinterpretowano jako Efekt Maxwella-Wagnera oraz efekt Grossa). Wykazano selektywne oddziaływania pola elektromagnetycznego z materiały ze względu na rodzaj substancji i aplikowaną częstotliwość. Na efekt ten najprawdopodobniej wpływa: gęstość materii, interakcje międzycząsteczkowe, przewodnictwo oraz stan skupienia. W pracy wyznaczono współczynniki absorpcji, które były większe dla siarczanu żelaza(VI) niż dla wodnego roztworu Albuminy Wołowej i wody. Pokazano różnice pomiędzy nimi.

Podziękowania

Ta praca była częściowo wspierana przez projekt Erasmus + nr 2023-2-PL01-KA220-HED-000179445

Literatura

1. Braidotti M, Vinante A, Cromb M, Sandakumar A, Faccio D, Ulbricht H. Amplification of electromagnetic fields by a rotating body. *Nature Communications*, 2024, 15, Article number 5453. DOI:10.1038/s41467-024-49689-w
2. Tamii A, Kobayashi N. Studies on electromagnetic dipole responses of atomic nuclei at RCNP. *AAPPS Bulletin*, 2024, 34, Article number 7. DOI: 10.1007/s43673-023-00108-0
3. Kłos-Witkowska. Influence of fractional electromagnetic radiation doses on biosensor matrix component stability, *Acta Physica Polonica A*, 2018, 133 (1), 101-104
4. Stam R. New developments in cosmetic applications of electromagnetic fields: Client and occupational hazard assessment. *Bioelectromagnetics*, 2024, 45(6), 251-259. DOI: 10.1002/bem.22503
5. Siauve N, Scorretti R, Burais N, Nicolas L, Nicolas A. Electromagnetic fields and human body: A new challenge for the electromagnetic field computation. *COMPEL The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering*, 2003, 22(3):457-469. DOI: 10.1108/03321640310474868
6. Kłos-Witkowska A, Martsenyuk V, Sverstiuk A. Badania stabilności w czasie i pod wpływem pola elektromagnetycznego roztworów komponentu sieciującego warstw receptorowych biosensorów. *Pomiary Automatyka Robotyka* 23 (4), 71-76
7. Nevoit G, Bumblyte I, Potyazhenko M, Minser O, Vainoras A. Modern biophysical view of electromagnetic processes of the phenomenon of life of living biological systems as a promising basis for the development of complex medicine: the role of biophotons. *Journal of Complexity in Health Sciences*, 2024, 6(1), 1-15. DOI: 10.21595/chs.2023.23443
8. Lai W, Wang Y, Wnag H. Electromagnetic Wave Absorption Properties of Structural Conductive ABS Fabricated by Fused Deposition Modeling. *Polymers* 2020, 12(6), 1217. DOI: 10.3390/polym12061217
9. Shaganov I, Perova T, Mukhina M, Martynenko I, Baranov A, Fedorov A, Gérard V, Gunko Y. Influence of intermolecular interactions on spectroscopic characteristics of metal nanoparticles and their composites. *Physical Chemistry Chemical Physics* 2014, 16, 24536- 24548
10. Bahri-Laleh N, Didehban K, Yarahmadi E, Mirmohammadi S, Guowei W. Microwave Absorption Properties of Polyaniline/Carbonyl Iron Composites. *Silicon* 2018, 10, 1337-1343. DOI: 10.1007/s12633-017-9609-y
11. Jackson, J. D. (1998). *Classical Electrodynamics* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
12. Ramo, S., Whinnery, J. R., & Van Duzer, T. *Fields and Waves in Communication Electronics* (3rd ed.). John Wiley & Sons, 1994
13. Polk C, Postow E, *Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields* 2nd Edition, CRC Press; 2nd edition 1995
14. Higenfield B, Strahmel E, Haueisen J, Active magnetic shielding for biomagnetic measurement using spatial gradient fields, *Physiological Measurement* 2