

Aleksandra KŁOS-WITKOWSKA¹, Michał KRZYSTECZKO²,
Vasyl MARTSENYUK³

Opiekun naukowy: Aleksandra KŁOS-WITKOWSKA

DYSTRYBUCJA POLA ELEKTRONAGNETYCZNEGO PO PRZEJŚCIU PRZEZ CIAŁA STAŁE. ANALIZA PORÓWNAWCZA

Streszczenie: Celem pracy było zbadanie dystrybucji pola elektromagnetycznego po przejściu przez: krzem, żelazo, cynk. Eksperyment wykonano dla 0,1; 5; 10; 50; 100; 150; 170; 190; 200; 230; 250 MHz. Analiza skanów wykazała zmiany parametrów pola w zależności od częstotliwości i substancji. Efekt wytłumaczono za pomocą mechanizmów oddziaływania pola elektromagnetycznego z materią.

Słowa kluczowe: pole elektromagnetyczne, ciała stałe, dystrybucja pola

DISTRIBUTION OF THE ELECTROMAGNETIC FIELD AFTER PASSAGE THROUGH SOLIDS. COMPARATIVE ANALYSIS

Summary: The aim of the study was to investigate the distribution of the electromagnetic field after passage through: silicon, iron, zinc. The experiment was performed for 0,1; 5; 10; 50; 100; 150; 170; 190; 200; 230; 250 MHz. Analysis of the scans showed changes in field parameters as a function of frequency and substance. The effect was explained using the mechanisms of electromagnetic field interaction with matter.

Keywords: electromagnetic field, solids, field distribution

1. Wstęp

Wraz z postępowaniem cywilizacyjnym zwiększył się wpływ promieniowania elektromagnetycznego emitowanego przez urządzenia codziennego użytku na człowieka. Z drugiej strony energia elektromagnetyczna jest wykorzystywana w medycynie do diagnostyki i terapii. Niestety w większości przypadków interpretacja oddziaływań pól elektromagnetycznych z materią bazuje na obserwacjach [1-3].

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

² Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, mk055815@student.ath.edu.pl

³ Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, vmartsenyuk@ath.bielsko.pl

Dlatego też, zrozumienie interakcji pola elektromagnetycznego z ciałami stałymi wydaje się być bardzo interesujące i ważne.

Obecnie badania rozwijają się w dwóch równoległych uzupełniających się nurtach: teoretycznym i eksperymentalnym. Podczas gdy badania teoretyczne koncentrują się głównie na tworzeniu teorii oraz modelowaniu [4,5], badania eksperymentalne dotyczą pomiarów pól w obszarze bliskim [6,7]. Efekty oddziaływania pól elektromagnetycznych z materią są złożoną funkcją wielu parametrów. Dobrze znana jest zależność od kształtu fali, częstotliwości i parametrów medium, takich jak stałej dielektrycznej czy przewodności. Elektrodynamika kwantowa opisuje oddziaływania fali elektromagnetycznej z elektronami za pomocą hamiltonianu. Niestety bezpośrednie zastosowanie tego formalizmu jest bardzo trudnym i nierozwiązywalnym zagadnieniem wielu ciał. Zdolności modyfikacji systemów przez pola elektromagnetyczne są przedmiotem wielu badań [8].

Obecnie wiele chorób, w różnych dziedzinach medycyny, leczonych jest za pomocą niejonizującej energii elektromagnetycznej, chociaż mechanizm działania nie jest w pełni wyjaśniony. Aby lepiej zrozumieć związek pomiędzy polem elektromagnetycznym o częstotliwości radiowej (RF) a jego oddziaływaniem z materią zbadano pole elektromagnetyczne przenikające przez wybrane materiały.

Bazując na skanach dystrybucji starano się znaleźć zmiany w amplitudzie sygnału będące odpowiedzią układu na aplikowane pole elektromagnetyczne

2. Materiały i metody

Badania dystrybucji pola elektromagnetycznego po przejściu przez ciała stałe wykonano za pomocą specjalnie skonstruowanego stanowiska pomiarowego zawierającego: Źródło pola elektromagnetycznego, analizator widma z sondą pola bliskiego, skaner pola elektromagnetycznego model RSE321 firmy ASTAT, komputer oraz zestaw próbek. Próbkami były ciała stałe w formie proszku: krzemu (Si), żelaza (Fe) oraz cynku (Zn), które zostały umieszczone w specjalnych pojemnikach z pleksi o wymiarach: 1cm x 3cm x 6cm. Wykorzystane substancje pochodziły: Fe oraz Si z firmy Sigma-Aldrich, natomiast Zn z firmy Fluka. Podczas wykonywania eksperymentu sonda pola bliskiego była przesuwana automatycznie przez skaner do określonych punktów pomiarowych z krokiem co 2 mm, gdzie odbywał się punktowy pomiar amplitudy sygnału. Na tej podstawie za pomocą specjalistycznego oprogramowania utworzono skany pola elektromagnetycznego. Skany były wykonywane w płaszczyźnie 3cm x 6cm bezpośrednio za próbką. Dla porównania badania wykonano również dla warstwy referencyjnej, którą był pusty pojemnik pomiarowy. Na podstawie otrzymanych skanów dystrybucji za pomocą oprogramowania specjalistycznego skanera określono wartość maksymalną i minimalną amplitudy pola elektromagnetycznego w skanowanym obszarze. Na tej podstawie dokonano analizy porównawczej dystrybucji pola elektromagnetycznego ze względu na rodzaj substancji i aplikowaną częstotliwość. Źródłem pola elektromagnetycznego był falomierz-generator (FG) RUF4-4 zaopatrzony w wymienne cewki. FG generował sygnały wysokich częstotliwości w zakresie (0,1-250 MHz). Częstotliwości generowanej fali zależały od parametrów wymiennych cewek. Badania przeprowadzono dla częstotliwości: 0,1; 5, 10, 50, 100,

150, 170, 190, 200, 250 MHz. Eksperyment wykonano w trzech seriach pomiarowych, aby uniknąć błędów przypadkowych.

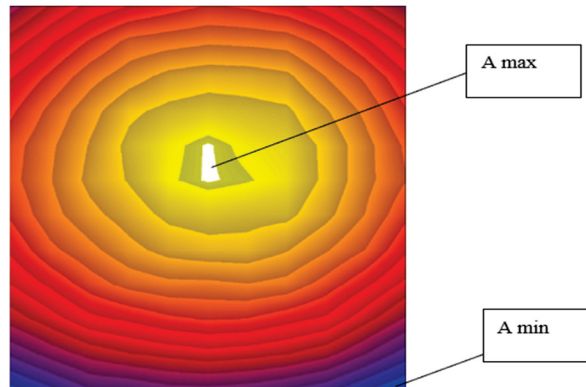
3. Rezultaty i dyskusja

Rys.1 to przykładowy skan pola elektromagnetycznego po przejściu przez warstwę żelaza (Fe) dla 200 MHz. Obrazuje on dystrybucję pola w płaszczyźnie YZ bezpośrednio za próbką.

Kolor biały odpowiada najwyższej wartości amplitudy pola (31,42-30,48 dBuV) Zakres amplitud oznaczonego kolorem żółtym to (30,47-30,17 dBuV), kolor pomarańczowy jasny (30,16-29,51 dBuV), pomarańczowy ciemny (29,50-29,15 dBuV), czerwony (29,14-28,43 dBuV), fioletowy (28,42-27,65 dBuV) , natomiast kolorowi niebieskiemu odpowiada amplituda z zakresu (27,59-27,23 dBuV)

Na rysunku zaznaczono punkt w których amplituda jest maksymalna (A max). W większości otrzymanych skanów punkt ten znajdował się w centralnej części skanu. Natomiast punkt o amplitudzie minimalnej (Amin), zwykle zlokalizowany był na obrzeżach skanu. Taka dystrybucja pola związana była z ułożeniem źródła pola elektromagnetycznego, które przyłożone było centralnie na środek próbki.

Im dalej od źródła pola tym amplituda sygnału ulega osłabieniu co jest zgodne z prawami Maxwella. Wartości maksymalnych i minimalnych amplitud na skanie określone zostały automatycznie za pomocą oprogramowania skanera a ich wartości podane zostały numerycznie przez program na wydruku.



Rysunek 1. Scan pola elektromagnetycznego z zaznaczeniem miejsca amplitudy maksymalnej (Amax) i minimalnej (Amin) po przejściu przez warstwę Fe dla częstotliwości 200 MHz

Tabela 1 oraz tabela 2 pokazują wartości otrzymanych z eksperymentu skanów wraz z odchyleniami standardowymi odpowiednio dla wartości amplitudy maksymalnej (Tabela 1) oraz dla wartości amplitudy minimalnej (Tabela 2).

Tabela 1. Wartości maksymalnej amplitudy sygnału w zależności do częstotliwości oraz rodzaju substancji

<i>Amplituda maksymalna [dBuV]</i>				
f [MHz]	Si	Fe	Zn	Referencja
0,1	19,25 ± 0,38	17,09 ± 0,26	19,08 ± 0,19	29,08 ± 0,14
5	27,03 ± 0,54	24,14 ± 0,04	27,12 ± 0,27	42,17 ± 0,21
10	33,16 ± 0,66	30,16 ± 0,45	33,16 ± 0,33	33,18 ± 0,17
50	39,23 ± 0,78	36,22 ± 0,54	39,05 ± 0,39	55,16 ± 0,28
100	44,12 ± 0,88	40,12 ± 0,61	44,23 ± 0,44	61,27 ± 0,31
150	51,01 ± 0,12	36,28 ± 0,09	51,11 ± 0,51	61,18 ± 0,31
170	48,09 ± 0,96	44,24 ± 0,66	48,07 ± 0,48	61,12 ± 0,31
190	46,11 ± 0,92	42,09 ± 0,63	45,08 ± 0,45	61,13 ± 0,32
200	43,18 ± 0,86	38,15 ± 0,57	42,11 ± 0,42	61,11 ± 0,31
230	43,12 ± 0,86	38,34 ± 0,57	42,18 ± 0,42	58,09 ± 0,29
250	36,24 ± 0,72	31,25 ± 0,47	35,09 ± 0,35	56,06 ± 0,28

Tabela 2. Wartości minimalnej amplitudy sygnału w zależności do częstotliwości oraz rodzaju substancji

<i>Amplituda minimalna [dBuV]</i>				
f [MHz]	Si	Fe	Zn	Referencja
0,1	14,21 ± 0,28	13,11 ± 0,24	14,27 ± 0,14	15,11 ± 0,24
5	23,41 ± 0,46	20,24 ± 0,32	23,03 ± 0,23	27,23 ± 0,34
10	11,23 ± 0,22	17,49 ± 0,26	11,09 ± 0,11	11,47 ± 0,15
50	5,05 ± 0,12	4,17 ± 0,06	5,12 ± 0,05	20,24 ± 0,21
100	21,30 ± 0,42	21,25 ± 0,32	21,24 ± 0,21	27,16 ± 0,34
150	41,38 ± 0,82	6,23 ± 0,09	41,41 ± 0,41	25,08 ± 0,33
170	45,14 ± 0,11	42,21 ± 0,63	44,38 ± 0,44	49,22 ± 0,51
190	42,22 ± 0,24	38,47 ± 0,57	41,16 ± 0,41	47,12 ± 0,52
200	38,42 ± 0,76	34,40 ± 0,51	37,22 ± 0,37	42,15 ± 0,38
230	38,36 ± 0,76	35,09 ± 0,53	38,27 ± 0,38	43,19 ± 0,37
250	32,15 ± 0,64	27,12 ± 0,41	31,07 ± 0,31	38,11 ± 0,40

Analizując powyższe tabele zarówno poprzez wielkość amplitudy maksymalnej (Tabela 1) jak i minimalnej (Tabela 2) można zauważyć mniejsze wartości amplitudy sygnału po przejściu przez substancję (Si, Fe, Zn) w porównaniu z warstwą referencyjną.

Świadczy to o zachodzącym zjawisku absorpcji promieniowania elektromagnetycznego przez materię.

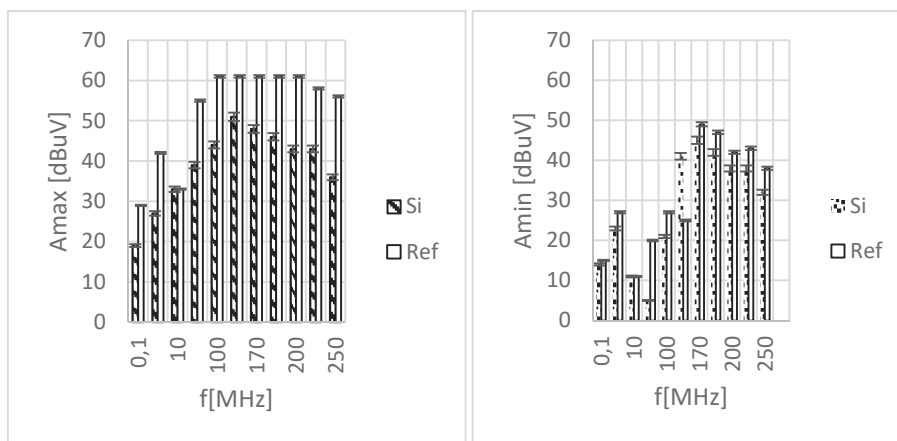
Jak widać z powyższych danych absorpcja ta jest zależna od rodzaju badanej substancji oraz aplikowanej częstotliwości pola elektromagnetycznego.

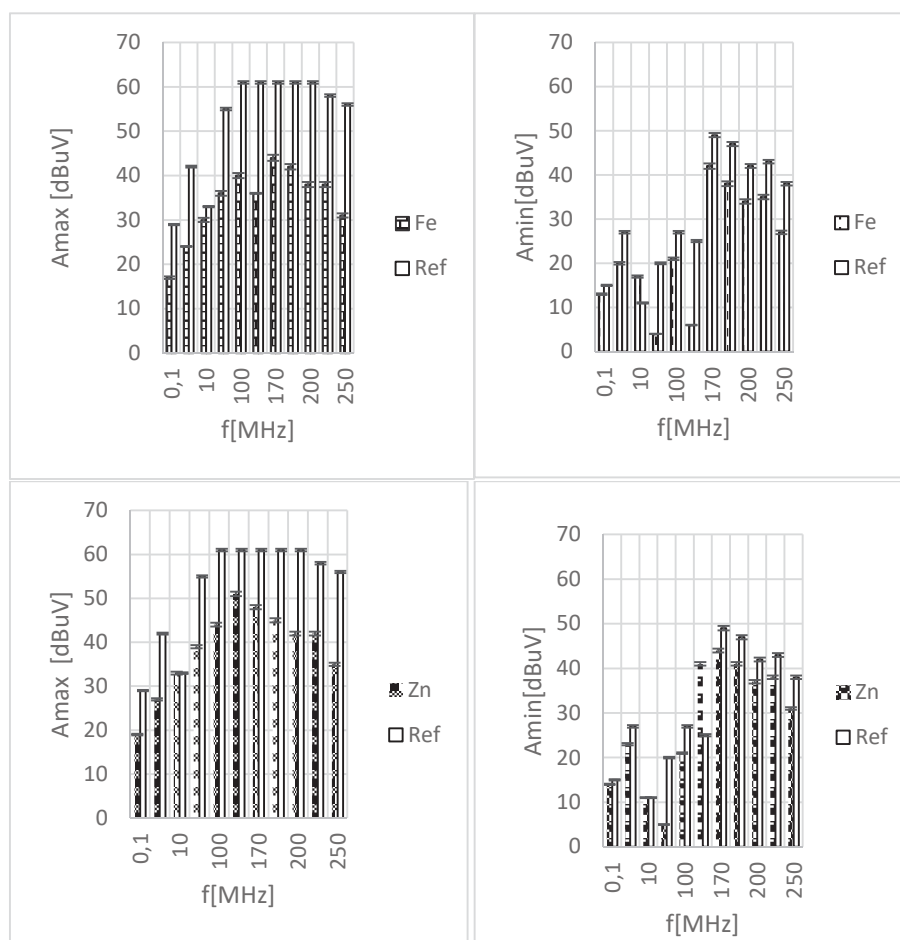
Promieniowanie elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej rozchodząc się w dowolnym ośrodku, wytraca energię przekazując ją do ośrodka [9]. Spadek natężenia promieniowania elektromagnetycznego związany jest z głębokością wnikania, a ta zależy od współczynnika absorpcji skorelowanego z częstotliwością promieniowania oraz właściwościami charakterystycznymi dla substancji: przewodnością (σ), przenikalnością elektryczną (ϵ) oraz przenikalnością magnetyczną (μ).

Jak podaje literatura [10] W zakresie od 1 MHz do 300 GHz dominującym efektem oddziaływania fal elektromagnetycznych z materią jest wzrost temperatury (tzw. efekt termiczny). Wynika on z tego, że podczas ekspozycji część energii promieniowania zostaje pochłonięta i zamieniona na energię wewnętrzną (termiczną).

W organizmach żywych lokalny wzrost temperatury jest częściowo kompensowany w procesie termoregulacji, w którym energia cieplna jest rozprowadzana po całym ciele wraz z krążącą krwią. W przeprowadzonym eksperymencie nie mamy jednak do czynienia z tym zjawiskiem z uwagi na niską moc promieniowania elektromagnetycznego oraz krótkotrwałą ekspozycję. Oba te czynniki nie wywołały podniesienia temperatury układu, której wzrost definiuje efekty termiczne [11], zatem w przeprowadzonych badaniach występują efekty nietermiczne związane z właściwościami badanych substancji oraz aplikowaną częstotliwością.

Warto również zwrócić uwagę na fakt, że badania były prowadzone w polu bliskim gdzie wektor elektryczny i wektor magnetyczny nie są do siebie prostopadłe, a ich orientacja zmienia się od punktu do punktu w przestrzeni. W związku z tym prosty związek gęstości mocy promieniowania i natężenia pola elektrycznego/magnetycznego nie stosuje się w tym obszarze i mogą wystąpić fluktuacje pola. Dlatego też, aby przyjrzeć się dokładniej dystrybucji pola o danych częstotliwościach po przejściu przez badane substancje wykonano zestawienie wartości maksymalnych amplitud sygnału (A_{max}) i minimalnych (A_{min}) w stosunku do warstwy referencyjnej dla badanych substancji (Si, Fe, Zn) (Rys 2).





Rysunek 2. Zestawienie wartości maksymalnych amplitud sygnału (A_{max}) i minimalnych (A_{min}) w stosunku do wartości referencyjnej dla badanych substancji (Si, Fe, Zn)

Przedstawiona analiza wyników eksperymentu wskazuje na selektywne oddziaływanie pola elektromagnetycznego. Obserwowane zmiany są większe niż błąd pomiarowy. Zarówno analiza prowadzona przez wartość maksymalną (A_{max}) amplitudy sygnału jak i wartość minimalną (A_{min}) wskazują na podobny trend w selektywnym zaburzeniu pól oraz zjawisko absorpcji. Wygodniej jest jednak analizować przedstawioną dystrybucję w oparciu o maksymalną wartość amplitudy (A_{max}), gdyż różnice pomiędzy warstwą referencyjną a warstwą po przejściu przez substancje są bardziej wyraźne. Obserwowana absorpcja promieniowania elektromagnetycznego jest zjawiskiem dominującym w przeprowadzonym eksperymencie nad zjawiskami dyspersyjnymi, które objawiałyby się jako wzrost amplitudy sygnału po przejściu przez próbkę czy też efektami odbiciowymi, które również byłyby obserwowane jako wzrost amplitudy sygnału. Otrzymane wyniki jednoznacznie potwierdzają absorpcję. Najprawdopodobniej małe efekty dyspersyjne również miały miejsce podczas

badania, są one zazwyczaj efektami towarzyszącymi tego rodzaju eksperymentom. Niemniej jednak nie wpłynęły one w sposób znaczący na absorpcję i były one mało znaczące podobnie jak efekty refrakcyjne. Warto również zwrócić uwagę na selektywne zaburzenie zastosowanego pola, które mogą wskazywać na rezonansowy charakter oddziaływań związanych z samą substancją oraz jej wrażliwością na pole elektromagnetyczne wybranych częstotliwości.

Tabela 3. Różnice w wartości maksymalnej amplitudy sygnału (A_{max}) pomiędzy warstwą referencyjną a warstwą badanej substancji [dBuV]

Różnice w wartości maksymalnej amplitudy sygnału (A_{max}) pomiędzy warstwą referencyjną a warstwą badanej substancji [dBuV]			
f[MHz]	Ref-Si	Ref-Fe	Ref-Zn
0,1	9,83 ± 0,52	11,99 ± 0,40	10,00 ± 0,33
5	15,14 ± 0,75	18,03 ± 0,25	15,05 ± 0,48
10	0,02 ± 0,83	3,02 ± 0,62	0,02 ± 0,50
50	15,93 ± 1,06	18,94 ± 0,82	16,11 ± 0,67
100	17,15 ± 1,19	21,15 ± 0,92	17,04 ± 0,75
150	10,17 ± 0,43	24,90 ± 0,40	10,07 ± 0,82
170	13,03 ± 1,27	16,88 ± 0,97	13,05 ± 0,79
190	15,02 ± 1,24	19,04 ± 0,95	16,05 ± 0,77
200	17,93 ± 1,17	22,96 ± 0,88	19,00 ± 0,73
230	14,97 ± 1,15	19,75 ± 0,86	15,91 ± 0,71
250	19,82 ± 1,00	24,81 ± 0,75	20,97 ± 0,63

Tabela 3 oraz Tabela 4 prezentują różnice w wartości maksymalnej amplitudy sygnału (A_{max}) (Tab 3) oraz minimalnej (A_{min}) (Tab 4) pomiędzy warstwą referencyjną a warstwą badanej substancji. Zarówno analiza poprzez pryzmat wartości A_{max} jak i A_{min} wykazują podobny trend zmian. Największe różnice otrzymano po przejściu promieniowania elektromagnetycznego przez warstwę żelaza (Fe), podczas gdy dla krzemu (Si) oraz cynku (Zn) zmiany były mniejsze, a ich charakter był bardzo podobny. Można zatem powiedzieć, że wśród badanych substancji z polem elektromagnetycznym najbardziej oddziaływało żelazo (Fe), znacznie bardziej niż krzem (Si) i cynk (Zn). Pojawiające się ujemne różnice dla częstotliwości 150 MHz (Ref-Si) oraz (Ref-Zn) a także dla 10 MHz (Ref-Fe), najprawdopodobniej związane są z fluktuacjami pola w strefie bliskiej, w której może dochodzić do zaburzeń dystrybucji pola elektromagnetycznego.

Tabela 4. Różnice w wartości minimalnej amplitudy sygnału (A_{min}) pomiędzy warstwą referencyjną a warstwą badanej substancji [dBuV]

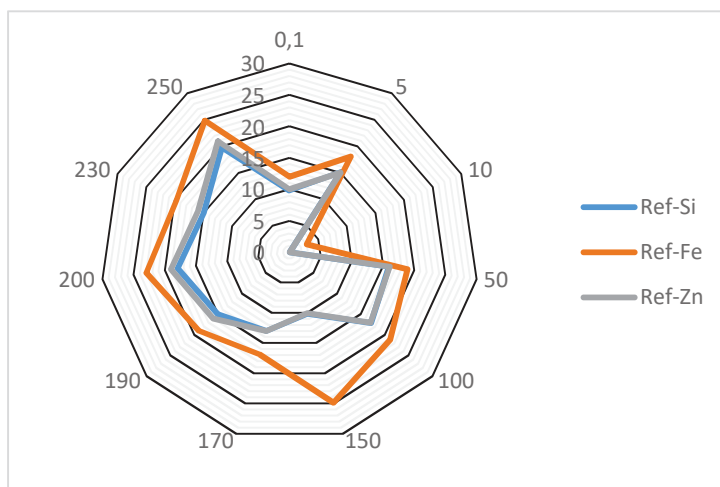
Różnice w wartości minimalnej amplitudy sygnału pomiędzy warstwą referencyjną a warstwą badanej substancji [dBuV]			
F [MHz]	Ref-Si	Ref-Fe	Ref-Zn
0,1	0,90 ± 0,52	2,00 ± 0,48	0,84 ± 0,38
5	3,82 ± 0,8	6,99 ± 0,66	4,20 ± 0,57
10	0,24 ± 0,37	-6,02 ± 0,41	0,38 ± 0,26
50	15,19 ± 0,33	16,07 ± 0,27	15,12 ± 0,26
100	5,86 ± 0,76	5,91 ± 0,66	5,92 ± 0,55
150	-16,3 ± 1,15	18,85 ± 0,42	-16,33 ± 0,74
170	4,08 ± 0,62	7,01 ± 1,14	4,84 ± 0,95
190	4,90 ± 0,76	8,65 ± 1,09	5,96 ± 0,93
200	3,73 ± 1,14	7,75 ± 0,89	4,93 ± 0,75
230	4,83 ± 1,13	8,10 ± 0,9	4,92 ± 0,75
250	5,96 ± 1,04	10,99 ± 0,81	7,04 ± 0,71

Rysunek 3 i rysunek 4 pokazują zestawienie różnic dla wartości maksymalnej (A_{max}) i minimalnej (A_{min}) amplitudy sygnału pomiędzy warstwą referencyjną a warstwą badanej substancji w funkcji częstotliwości.

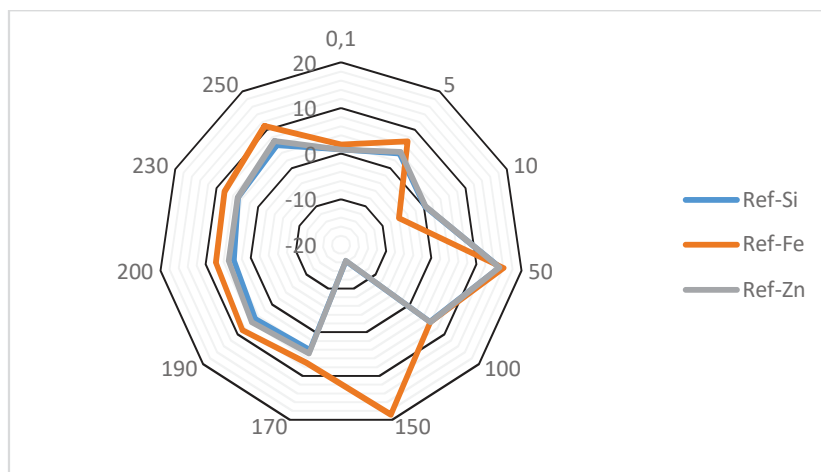
Prezentowane diagramy wskazują na większą absorpcję promieniowania elektromagnetycznego w częstotliwościach wyższych (powyżej 50 MHz) niż w częstotliwościach niższych (0,1; 5; 10 MHz).

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 dyssypacji. Utrudniają one interpretację otrzymanych wyników

Warto również zwrócić uwagę na fakt, że eksperymenty przeprowadzono w polu bliskim, gdzie nieuformowane pole elektromagnetyczne może powodować fluktuacje. W częstotliwościach niższych można zauważyć takie fluktuacje, które mogą być związane z długością fali, która dla częstotliwości niższych jest dłuższa. Bazując na otrzymanych wynikach można powiedzieć, że w przeprowadzonym eksperymencie fluktuacje są większe dla niższych częstotliwości.



Rysunek 3. Zestawienie różnic w wartości maksymalnej (A_{max}) amplitudy sygnału pomiędzy warstwą referencyjną a warstwą badanej substancji w funkcji częstotliwości.



Rysunek 4. Zestawienie różnic w wartości minimalnej (A_{min}) amplitudy sygnału pomiędzy warstwą referencyjną a warstwą badanej substancji w funkcji częstotliwości.

4. Podsumowanie

W przedstawionej pracy zaprezentowano wyniki badań oddziaływania pola elektromagnetycznego z materią poprzez analizę dystrybucji pola po przejściu przez warstwy: żelaza (Fe), krzemu (Si), cynku (Zn). W badaniach nie zaobserwowano wzrostu temperatury układu pod wpływem aplikowanego pola ze względu na małą moc promieniowania oraz krótkotrwałą ekspozycję, zatem analizowane zjawiska dotyczą nietermicznych efektów oddziaływania promieniowania niejonizującego

z materia. Dla badanych substancji zaobserwowano absorpcję promieniowania elektromagnetycznego, która jest zjawiskiem dominującym w przeprowadzonym eksperymencie nad zjawiskami dyspersyjnymi i refrakcyjnymi, z uwagi na spadek amplitudy sygnału po przejściu przez absorbent.

Wykazano również selektywne oddziaływania pola elektromagnetycznego z materia ze względu na rodzaj substancji oraz aplikowaną częstotliwość.

Eksperyment wykazał większą absorpcję promieniowania dla żelaza (Fe) niż dla krzemu (Si) i cynku (Zn). Ponadto poprzez analizę skanów dystrybucji pola wykazano, że dla częstotliwości niższych tzn.: 0,1;5;10 MHz absorpcja jest mniejsza niż dla częstotliwości wyższych (powyżej 50 MHz). Efekt ten najprawdopodobniej jest związany z długością fali, która dla częstotliwości niższych jest dłuższa. Warto również pamiętać, że badania prowadzone były w polu bliskim, który ma charakter fluktuacyjny.

LITERATURA

1. PASEK J., PASEK T., SIEROŃ-SŁOTNY K., CIEŚLAR G., SIEROŃ A.: Electromagnetic fields in medicine - The state of art. *Electromagn Biol Med*, **35** (2016), 170-175.
2. POOMPAVAI S., GROWRI SREE V.: Dielectric Property Measurement of breast- tumor phantom model under pulsed electric field treatment. *IEEE Transactions on Radiation and Plasma Medical Science*, **6** (2018), 608-617.
3. MARKX G.; The use of electric fields in tissue engineering: A review. *Organogenesis*, **4** (2008), 11-17.
4. BATKUS P., KURCEVSKIS S., TOLVAISIENE S., GRAINYS A.: Computer model of the high frequency up to 30 kV/cm electric field generator", 2017 5th IEEE Workshop on Advances in Information, Electronic and Electrical Engineering (AIEEE) (2017) 1-3.
5. PREISIG B., HERVAIS -ADELMAN A.: The Predictive Value of Individual Electric Field Modeling for Transcranial Alternating Current Stimulation Induced Brain Modulation. *Frontiers in Cellular Neuroscience*, **16**, (2022), 818703.
6. BIANCO B., CHIABRERA A.: From the Longevin-Lorentz to the Zeeman model effects on ligand-receptor binding. *Bioelectrochem. Bioenerg*, **28**, (1992), 355-365
7. SAKURAIL A., IWAMOTO K., MIWA Y., HORI H., ISHIKAWA A., UCHIYAMAK., KOBAYASHIK, KISHINO K., SAKAI M.: Scanning near-field optical spectroscopy and carrier transport based analysis in mesoscopic regions for two-dimensional semiconductors. *Scientific Reports*, **12**, (2022), 10348.
8. MEVISSINA M., WRADB J., KOPP-SCHNEIDER., MACNAMEED A., WOOD E., RIVERO T., THAYERG K., STRAIF K.: Effects of radiofrequency electromagnetic fields (RF EMF) on cancer in laboratory animal studies: A protocol for a systematic review. *Environment International*, **161**, (2022), 107106
9. CIEŚLAR K.: Promieniowanie elektromagnetyczne i jego wpływ na organizm człowieka, *Neutrino*, **38** (2017).
10. BARENS F., GREENEBAUM B.: Biological and Medical Aspects of Electromagnetic Fields. Greenbaum B, editor. Boca Raton: CRC Press; 2007.
11. Handbook of biological effects of electromagnetic fields. Praca zbiorowa pod red. C. Polk E. Postow, Wyd.2, CRC Press, 1996.