

Szczecin 18.12.2024

Dr hab. Barbara Grochowalska, prof. ZUT
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Wydział Elektryczny
ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Macieja Ślota pod tytułem: „Wykorzystanie spektroskopii dielektrycznej w badaniach materiałowych i diagnostyce medycznej”.

Podstawa:

Recenzja została opracowana na podstawie zlecenia zastępcy przewodniczącej Komisji ds. stopni naukowych w dyscyplinie nauki fizyczne Uniwersytetu Łódzkiego – profesora doktora habilitowanego Tadeusza Balcerzaka - pismo nr 32019/2024 otrzymane dnia 31 października 2024 r.

Ogólna i formalna charakterystyka pracy:

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska podejmuje temat wykorzystania spektroskopii dielektrycznej w zakresie mikrofalowym w dwóch aspektach – do wykrywania obecności płynu w płucach (co może umożliwić diagnostykę chorób kardiologicznych) oraz do oceny jakości obiektów produkowanych techniką addytywną. Badania mikrofalowe są jedną z dobrze znanych technik badań nieniszczących, wykorzystywanych w różnych dziedzinach szeroko pojętej techniki. Zakres zastosowania spektroskopii mikrofalowej obejmuje między innymi pomiary właściwości dielektrycznych materiałów, wykrywanie różnego rodzaju defektów w materiałach przewodzących i nie przewodzących (również w bardzo istotnych obecnie kompozytach), badanie poziomu zawilgocenia, czy struktury wewnętrznej różnych konstrukcji inżynierii lądowej, obrazowanie struktur ukrytych (np. podziemnych) techniką radaru ziemnego, czy tak zwany monitoring strukturalny (z ang. Structural Health Monitoring – SHM), na przykład z wykorzystaniem czujników na bazie anten mikropaskowych. Prowadzone są również prace nad wykorzystaniem tego narzędzia do różnego rodzaju badań medycznych –

począwszy od podjętego przez Autora tematu wykrywania płynu w płucach, poprzez detekcję raka piersi, czy jako narzędzie wspomagające przy operacji tętniaka aorty.

W swojej pracy Autor podejmuje dwa bardzo różne zagadnienia, które łączy wspólny mianownik, czyli wykorzystanie spektroskopii mikrofalowej. W aspekcie badań medycznych należy podkreślić, że Autor przedstawia zarówno koncepcję wykorzystania anten helikalnych, jak i wstępne badania symulacyjne, badania eksperymentalne obejmujące kalibrację zaproponowanego układu oraz, co najważniejsze, badania kliniczne, wykonane na grupie ochotników za pomocą autorskiego układu badawczego. W aspekcie badań materiałów produkowanych techniką druku 3D, Autor przedstawia w pracy funkcjonalny i tani układ, który umożliwia w pewnym stopniu monitorowanie procesu druku, identyfikację użytego filamentu, jak również wykrycie różnego rodzaju wad wyprodukowanych obiektów. Przedstawiona do oceny praca obejmuje zarówno część analityczną, jak i praktyczną, wspartą wynikami eksperymentalnymi, które prowadzą do opracowania użytecznych rozwiązań o potencjale wdrożeniowym w zastosowaniach medycznych i przemysłowych. W związku z tym można stwierdzić, że praca ma charakter badań stosowanych, a zaproponowane rozwiązania mogą znaleźć zastosowanie w praktyce badawczej.

Doktorant przedstawił pracę składającą się ze 149 stron maszynopisu obejmujących streszczenie w języku polskim i angielskim, osiem rozdziałów opisujących podjętą tematykę badawczą, wykaz literatury zawierający 119 pozycji oraz listę własnych osiągnięć naukowych, na które składają się: 5 artykułów naukowych (w tym publikacja w czasopiśmie *Virtual and Physical Prototyping* z IF 10.2), 2 międzynarodowe zgłoszenia patentowe, jeden przyznany patent oraz informacje na temat wystąpień na konferencjach i pozyskanych grantach. Na szczególne podkreślenie zasługuje tutaj fakt, że rozprawa doktorska była realizowana w ramach dwóch grantów Ministerstwa Edukacji i Nauki, których Autor był kierownikiem i głównym wykonawcą.

Poniżej przedstawiam krótką charakterystykę przedstawionej pracy:

Rozdział 1 – w tym rozdziale Autor przedstawia zwięźle cel pracy, który definiuje jako zaprojektowanie i wykonanie prototypu dwóch czujników wykorzystujących metodę spektroskopii dielektrycznej: układu do diagnostyki kardiologicznej pozwalającej na badanie obecności zastoju w płucach, oraz układu defektoskopii w drukach 3D pozwalającego na kontrolę jakości druku w czasie trwania procesu tworzenia próbki. Następnie Autor opisuje podstawy techniki spektroskopowej, ze szczególnym uwzględnieniem spektroskopii

mikrofalowej. W kolejnym podrozdziale bardzo szczegółowo został przedstawiony przegląd literatury i dostępnych podobnych rozwiązań technicznych zarówno w kontekście wykorzystania spektroskopii mikrofalowej do wykrywania zastoju w płucach, jak i w kontekście badania wydruków 3D. Autor przedstawia też ogólnie problematykę druku 3D i możliwe wady, które mogą pojawić się w trakcie tworzenia obiektu. W tym rozdziale Doktorant prezentuje również podstawy miernictwa mikrofalowego oraz omawia możliwość wykorzystania techniki spektroskopii mikrofalowej w swoich badaniach.

Rozdział 2 – w tym rozdziale Doktorant przedstawia problematykę projektowania i konstrukcji użytych w dalszych badaniach anten i sond mikrofalowych. W pierwszej kolejności omówione zostały użyteczne parametry projektowanych urządzeń oraz proces projektowania anten wykorzystanych potem w diagnostyce zastoju w płucach, a także sond wykorzystanych do badań materiałów drukowanych. W kontekście projektowania anten do badań medycznych autor po kolei opisuje etapy swoich prac: dobór zakresu częstotliwości anteny oraz rodzaju anteny (tutaj Autor opisuje proces bardzo dokładnie, przedstawiając również rozwiązania, które uznał za nieudane). W pracy zaproponowano i uzasadniono użycie anten helikalnych. Anteny te zostały odpowiednio zmodyfikowane w celu dopasowania ich wymiarów do zaplanowanego zadania, zadbano tutaj również o odpowiednie dopasowanie impedancyjne układu. W dalszym etapie prac zaproponowano również użycie dodatkowego reflektora wewnętrznego, dzięki któremu uzyskano lepszą kierunkowość anteny. Zbudowane anteny zostały zasymulowane za pomocą środowisk Antenna Magus i Matlab z odpowiednim pakietem rozszerzeń, oraz przebadane w komorze bezchłowej. W kontekście badań materiałowych, w opisywanym rozdziale Autor, podobnie jak poprzednio, opisuje proces doboru odpowiedniej anteny mikrofalowej, wskazując istotne warunki jakie musi spełniać projektowana antena. W związku między innymi z koniecznością integracji projektowanego sensora z drukarką 3D oraz żądaną wysoką rozdzielczością obrazów wynikowych, wybrano sondy bazujące na złączach SMA i N.

Rozdział 3 – zawiera opis przeprowadzonych symulacji numerycznych propagacji sygnału mikrofalowego przez klatkę piersiową pacjenta. Wykorzystano w tym celu oprogramowanie CSR Studio Suite, dysponujące modelami ciała ludzkiego w postaci kilku różniących się od siebie fantomów. Autor przedstawia symulacje, wykorzystujące zaprojektowane wcześniej anteny oraz uwzględniające różnice w wartościach parametrów dielektrycznych fantomów, które obrazują zwiększenie ilości płynu w płucach. W wyniku analizy symulowanych sygnałów Autor potwierdza możliwość wykorzystania układu do detekcji zastoju płucnego, określa wymagania dotyczące wykonywania pomiarów w warunkach rzeczywistych (odległość między

anteną a klatką piersiową, różne ustawienia anteny w przypadku badania kobiet i mężczyzn) oraz szacuje wielkość prognozowanych zmian w parametrach S_{11} i S_{21} . W rozdziale tym skonstruowano również model klatki piersiowej z uwzględnieniem parametrów dielektrycznych różnych warstw ciała w celu analizy potencjału obrazowania mikrofalowego za pomocą parametru odbiciowego. Niestety nie został zaprezentowany wynik takiej symulacji.

Rozdział 4 – rozdział ten zawiera opis procedury pomiarowej dedykowanej pomiarom związanym z detekcją płynu w płucach przy wykorzystaniu zaprojektowanego wcześniej układu. Autor słusznie zauważa, że układ badawczy w opisywanym przypadku jest niezwykle skomplikowany i proponuje oprócz detekcję płynu w płucach jedynie na parametrze opisującym zakłócenia w transmisji sygnału mikrofalowego między dwoma antenami – to jest na części urojonej zespolonej przenikalności dielektrycznej. Oczywiście w takim przypadku konieczny jest dokładny pomiar tej wielkości, dlatego Doktorant proponuje zastosowanie w tym celu odpowiednio zmodyfikowanej procedury spektroskopii dielektrycznej w wolnej przestrzeni. Autor opisuje dalej proces kalibracji analizatora oraz całego układu przy zastosowaniu trzech sytuacji pomiarowych, gdzie kolejno między antenami umieszczono: metalową płytę, nie umieszczono nic i umieszczono obiekt badany. Stanowisko badawcze zostało skonstruowane z elementów nieprzewodzących (chwytaki wykonane z PLA, drewniany stelaż) oraz odseparowane od otoczenia za pomocą absorberów mikrofalowych. Autor przedstawia korektę współczynników rozpraszania. W ostatniej części tego rozdziału opisana jest procedura bramkowania sygnału w dziedzinie czasu, co pozwala na odizolowanie wybranych komponentów sygnału, co jest przydatne w sytuacji, gdy na sygnał wpływa wiele nieokreślonych zewnętrznych czynników.

Rozdział 5 – w tym rozdziale Autor opisuje cały proces pomiarowy: od pomiarów kalibracyjnych wykonanych na wanienkach z wodą, poprzez badanie fantomu klatki piersiowej wykonanego z mięsa świni, aż po badania kliniczne przeprowadzone na grupie ochotników składających się z pacjentów Kliniki Kardiologii i Wad Wrodzonych Dorosłych w Instytucie Centrum Zdrowia Matki Polki oraz z osób zdrowych. W pierwszym etapie badania zostały przeprowadzone przy wykorzystaniu waniek polistyrenowych wypełnianych wodą demineralizowaną. Wykazano, że obecność samej wanienki tylko minimalnym stopniu wpływa na pomiar. W kolejnym etapie do wanienki wiano wodę. Wykresy parametrów rozproszenia przedstawione na rysunku 5.2 wskazują na znaczne zmniejszenie parametru transmisji dla wanienki z wodą. Autor przedstawia też tutaj wyniki symulacji badanego układu w programie CST Studio, wskazując, że symulacyjne i pomiarowe wartości współczynników rozproszenia

są zgodne w wybranym zakresie częstotliwości. Brak tutaj przedstawienia geometrii symulowanego obiektu, a przedstawiony wykres 5.3 wskazuje jednak na zbyt duże rozbieżności między symulacją a pomiarem, żeby można mówić o zgodności. Kolejne pomiary wstępne przeprowadzono dla soli fizjologicznej i roztworach chlorku sodu o różnym stężeniu w celu porównania wyników otrzymanych w pomiarach z danymi referencyjnymi. Dane tablicowe zostały zaczerpnięte z jednego z artykułów, przedstawiony rysunek 5.4 nie pozwala jednak na precyzyjne odczytanie wartości dla małych stężeń, które były badane przez Autora. W tabeli 5.1 Autor zamieścił porównanie wyników literaturowych z wynikami swoich pomiarów, wskazując na ich dużą zgodność. Niestety, nie jestem w stanie tego potwierdzić na podstawie przedstawionych danych. W kolejnym etapie w układzie pomiarowym zasymulowano zmienną ilość wody, przy zachowaniu stałych wymiarów geometrycznych, za pomocą gąbki nasączanej wodą w różnych proporcjach. Autor nie analizuje samej gąbki, ale normalizuje otrzymane wyniki względem suchej gąbki, co daje w wyniku obraz zmienności straty dielektrycznej wywołanej tylko obecnością wody. W kolejnym etapie skonstruowano układ warstwowy składający się z dwóch waniek polistyrenowych, gdzie pierwsza wanieka napełniona była stałą objętością wody, a w drugiej objętość wody ulegała zmianie. Przedstawiony wykres zmian parametrów rozproszenia w dziedzinie częstotliwości (rysunek 5.6) przedstawia dobrą separację sygnałów w wąskim zakresie wokół wybranej przez Autora częstotliwości. Autor deklaruje też zgodność wyników z przeprowadzonymi symulacjami, ale ich nie prezentuje. Dalej Doktorant opisuje wyniki badań przeprowadzone na fantomie wykonanym z mięsa świni, odpowiadającym klatce piersiowej. Obecność wody w płucach, a tak naprawdę całe płuco, symulowane było poprzez umieszczenie wanieki z wodą pomiędzy odpowiednimi warstwami mięsa. Znowo wyniki przedstawione na rysunku 5.8 wskazują na dobrą separację sygnału odpowiadającego za transmisję w układzie. Autor przedstawia też wyniki propagacji sygnału przez różne tkanki (kości, skóra, tłuszcz). W ostatnim etapie badań fantomu wykonanego z mięsa świni, Autor wyznaczył prawdopodobną dolną granicę czułości układu na 38g wody w waniencie symulującej płuco.

Kolejnym etapem były badania kliniczne wykonane w Klinice Kardiologii i Wad Wrodzonych Dorosłych w Instytucie Centrum Zdrowia Matki Polki. Na rysunkach 5.11 i 5.12 Autor przedstawia ostateczny projekt i realizację układu badawczego, który w sposób znaczny różni się od prototypu laboratoryjnego. Zdecydowanie więcej jest tutaj elementów metalowych, dodane zostały obudowy anten oraz brak w układzie absorberów. Autor lakonicznie wspomina o procedurze kalibracji nowego układu, nie wyjaśniając dokładnie wpływu poszczególnych

różnic w budowie układu na ostateczne wyniki. Wstępne pomiary, przedstawione na rysunku 5.13 wykazują dobrą zgodność z przeprowadzonymi wcześniej w środowisku CST Studio symulacjami wykorzystującymi kilka fantomów ciała ludzkiego. Dalej Autor opisuje procedurę skalowania uogólnionej wartości straty dielektrycznej. Niestety procedura ta opisana jest w sposób pobieżny. Dalej Autor przedstawia dość dobrą stabilność układu poprzez prezentację wyników badania siebie samego w stałych odstępach czasu.

KLAUZULA POUFNOŚCI

Rozdział 6 – w tym rozdziale Autor podsumowuje prace związane z wykrywaniem płynu w płucach. Porównuje otrzymane w pracy wyniki z wynikami literaturowymi, wskazuje na ograniczenia metody (np. wpływ rozbudowanej tkanki mięśniowej na wynik badania) oraz

wskazuje kierunki dalszych badań nad ulepszeniem metody: zwiększenie częstotliwości rezonansowej anteny, integracja pomiarów bioimpedancyjnych oraz analiza danych z rozszerzonego pasma częstotliwości. Autor przeprowadza w tym rozdziale również dyskusję możliwości zastosowania tej metody w trybie odbiciowym, wskazując na fakt, że przy rozważanych długościach fali rozdzielczość otrzymywanych obrazów byłaby niska, a koszt urządzeń byłby znacząco wyższy.

Rozdział 7 – w tym rozdziale Autor opisuje proces badania defektów w wydrukach 3D. W pierwszej kolejności opisuje skonstruowane stanowisko pomiarowe składające się z drukarki 3D zintegrowanej z sondą mikrofalową (w postaci złącza SMA, N lub komercyjną sondą pola bliskiego), analizatora wektorowego zsynchronizowanego z drukarką. Autor uzasadnia dalej dobór rozdzielczości skanowania, będący kompromisem między czasem potrzebnym na pomiar, a jakością otrzymywanych obrazów. Jako parametr najlepiej obrazujący zmiany w badanej próbce dobrano fazę parametru S_{11} , co zwizualizowano na rysunku 7.5. Na rysunku 7.6 przedstawiono ponadto wpływ odległości sondy od obiektu na jakość otrzymywanego sygnału i porównano to z wynikami symulacji przeprowadzonymi w CST Studio. Niestety na rysunku widać jedynie przykładowe wyniki przedstawiające rozkład pola wokół sondy, ale nie przedstawiono ani geometrii wyjściowej symulacji numerycznych, ani ich założeń. Dalej Autor przedstawia procedurę doboru sondy – w tym wypadku najlepszą rozdzielczość otrzymano dla sondy SMA. Wstępne testy potwierdziły możliwość wykrycia próbek wyprodukowanych z różnych filamentów o niskiej przenikalności dielektrycznej, a także potencjalną możliwość identyfikacji użytego materiału. Zastosowano również prostą technikę obróbki obrazu w celu podniesienia jakości otrzymywanych wyników, zauważając, że jest to ważny kierunek dalszych badań. Jednym z najciekawszych wyników jest rozróżnienie domieszki innego (przewodzącego) filamentu w wydrukowanym obiekcie, co zaprezentowano na rysunku 7.14. W związku ze skanowaniem warstwa po warstwie możliwa jest również wizualizacja 3D struktury wewnętrznej obiektu, co stanowi bardzo przydatną opcję.

Rozdział 8 - w tym ostatnim rozdziale Autor podsumowuje swoje prace nad wykrywaniem defektów w wydrukach 3D i wskazuje dalsze kierunki badań, np. opracowanie podobnej metody również dla drukarek innych typów (np. SLS), rozbudowa układu poprzez dodanie zsynchronizowanych dodatkowych sond czy stworzenie bazy danych, która posłuży do automatyzacji identyfikacji wykrytych defektów.

Ocena tematu, celu i zakresu pracy:

Przedstawiona do oceny praca ma dość specyficzny układ – tak naprawdę Autor podjął się rozwiązania dwóch oddzielnych zagadnień naukowo-technicznych, które co prawda mają wspólny mianownik (spektroskopię mikrofalową), ale są powiązane dość luźno. W obu zagadnieniach użyto kompletnie innych częstotliwości, układów pomiarowych, oraz trybów pomiarowych (w przypadku badania obecności płynu w płucach był to tryb transmisyjny, w przypadku badania wydruków 3D – tryb odbiciowy), w związku z tym inny był też charakter otrzymanych sygnałów i, co za tym idzie – inne techniki ich interpretacji. Być może skupienie się na jednym z tych problemów poprawiłoby czytelność pracy.

Praca zawiera sformułowany przez Autora jasno cel, który definiuje jako zaprojektowanie i wykonanie prototypu dwóch czujników wykorzystujących metodę spektroskopii dielektrycznej: układu do diagnostyki kardiologicznej pozwalającej na badanie obecności zastoju w płucach oraz układu defektoskopii w drukach 3D pozwalającego na kontrolę jakości druku w czasie trwania procesu tworzenia próbki. Niestety brak jest wyraźnie sformułowanej tezy pracy. Zakres przedstawionej pracy jest bardzo szeroki: od koncepcji, poprzez wykonanie wstępnych prototypów, prototypu końcowego wraz z kalibracją oraz w przypadku układu do badań medycznych – przeprowadzenie badań klinicznych. Całość uzupełniają dodatkowe symulacje numeryczne, stanowiące wsparcie na etapie projektowania układów. Co jest istotne praca wpisuje się w charakter nowoczesnych prac badawczych obejmujących interdyscyplinarny stan wiedzy oraz badania teoretyczne, badania eksperymentalne oraz prace programistyczne. Przedstawiony zakres pracy prowadzi ponadto przez identyfikację problemów, zaproponowanie rozwiązań oraz stworzenie narzędzi pozwalających na interpretację otrzymywanych sygnałów. Patent i zgłoszenia patentowe, których Autor jest współautorem, świadczą o wysokim walorze praktycznym pracy. Przedstawiona praca przedstawia logicznie połączony tok myślowy prowadzący do przedstawienia określonego rozwiązania dwóch problemów naukowo-technicznych. Biorąc powyższe pod uwagę **uważam, iż podjęcie zaproponowanej tematyki jest uzasadnione, celowe i użyteczne** a praca z uwagi na jej zakres obejmujący modelowanie i badania eksperymentalne ma walor użytkowy. Dodatkowo przeprowadzone badania kliniczne pozwalają przypuszczać, że zaproponowany układ może być w niedługim czasie przystosowany do pracy w warunkach szpitalnych.

Ocena rozprawy:

Nie mam żadnych wątpliwości, że wybór tematyki w obu przypadkach – i w zakresie badań medycznych i materiałowych jest słuszny i potrzebny. W przypadku badań medycznych poszukiwania metod diagnostyki, opartych na bezpiecznych dla człowieka zjawiskach fizycznych, jest niezmiernie istotne. Co ważne, opracowana metodyka diagnostyczna nie stanowi dla pacjenta również dyskomfortu, co sprawia, że ma ona potencjał wdrożeniowy. Również podjęta tematyka badań materiałowych jest bardzo istotna – obecnie druk 3D jest jedną z najprężniej rozwijających się gałęzi techniki. Drukowane, bardzo precyzyjne obiekty nie są tylko prototypami, ale często też produktem końcowym, stąd potrzeba precyzyjnej metody badań nieniszczących pozwalającej na monitorowanie jakości wydruku. Zaproponowana przez Autora metoda pozwala (po dopracowaniu) na monitoring w trybie on-line. Istotny jest również fakt, że Autor pamiętał o utylitarnym znaczeniu jego pracy i zaproponował rozwiązania tanie, co jest ważne np. aspekcie zastosowania w niedrogich drukarkach pół-profesjonalnych drukujących w technice FDM. Stwierdzam, na podstawie zaprezentowanych badań zarówno symulacyjnych jak i eksperymentalnych przy zastosowaniu własnych autorskich modeli i stanowisk pomiarowych, że autor wykazał się wiedzą teoretyczną i praktyczną w zakresie dyscypliny naukowej, której dotyczy dysertacja.

Do podstawowych zalet rozprawy pod względem opisu przedstawionych problemów, wyboru metod i zakresu badań oraz sposobów ich rozwiązania zaliczam:

- bardzo praktyczną i ważną tematykę pracy – zarówno w aspekcie badań medycznych jak i materiałowych;
- pełne przedstawienie procesu koncepcyjnego w obu aspektach, poprzez analizę różnych układów, również tych, które nie dawały pozytywnych wyników;
- bardzo kompleksowe podejście do projektowania układów i metodyki pomiarowej, wraz z bardzo szczegółową kalibracją: zaprojektowano oraz przetestowano wiele anten, wykonano symulacje, niektóre wykonane anteny zmierzono w komorze bezodbiciowej, przygotowano prototyp układu, który poddano kalibracji wstępnej i przetestowano na fantomie wykonanym z mięsa;
- opracowanie oryginalnych rozwiązań konstrukcyjnych opracowywanych układów pomiarowych: wykonano prototypy układów do badań materiałowych oraz medycznych, a dla układu do badań medycznych wykonano również drugi układ przeznaczony do badania pacjentów;

- **przeprowadzenie badań nie tylko na fantomach, ale również na ochotnikach w trakcie badań klinicznych;**
- możliwość wykorzystania przeprowadzonych badań, układów i opracowanych metod przetwarzania sygnałów w praktyce.

Jak każda obszerna praca, również i ta nie jest wolna od różnego rodzaju błędów. W tej pracy Autor musiał powiązać ze sobą dość różne tematy, co miało negatywny wpływ na klarowność przedstawionego manuskryptu. Do wad edycyjnych pracy zaliczam:

- brak wykazu oznaczeń i symboli stosowanych wielkości powszechnie umieszczanych na początku prac, brak też spisu rysunków i tabel;
- w związku z tym, że praca podejmuje dwa różne tematy, praca ma dość specyficzny układ, przez to czytelnik przerzucany jest między tematami. Chyba lepiej byłoby opisać dwa te zagadnienia bardziej oddzielnie;
- rozdział „Detekcja płynu w płucach” jest jednym z najważniejszych rozdziałów w pracy i zdecydowanie powinien być podzielony na podrozdziały, które poprawiłyby jego czytelność;
- rozdział „Przygotowanie do detekcji płynu w płucach” przedstawia w dużej mierze aspekty teoretyczne i mógłby być połączony z podrozdziałem „Rodzaje spektroskopii dielektrycznej”, poprawiłoby to logikę pracy;
- wiele rysunków jest niskiej rozdzielczości, są to najczęściej skany z innych prac. Czcionka jest nieczytelna lub sam rysunek jest rozmyty, np. 1. 20, 1.21, 1.14;
- Rysunek 1.18 jest nieco źle opisany, rysunek nie prezentuje wyniku pomiaru, ale koncepcję wykresu Smitha
- w podanym wzorze na VSWR jest błąd;
- na rysunku 2.3 Autor przedstawia układ pomiarowy wykorzystujący anteny mikropaskowe, ale niestety rysunek jest zbyt mały i nie ma na nim opisu prezentowanych układów;
- na rysunku 3.7 Autor zamieszcza bezpośrednio zrzut ekranu z programu CST Studio, wizualizacja jest więc mocno ograniczona. Trzeba zaznaczyć, że jest to jedyny rysunek przedstawiający rozkład pola dla fantomu człowieka, a sposób wizualizacji uniemożliwia praktycznie ocenę układu;

- rysunek 4.2, będący właściwie tabelą parametrów analizatora, dostarczoną przez producenta mógłby być całkowicie pominięty, istotne z punktu widzenia projektowanego układu parametry mogły być po prostu wymienione;
- niepotrzebne są też pełne zrzuty z pomiarów wagą bioimpedancyjną (rysunki 5.17, 5.18 i 5.19), istotne dla analizy dane mogły być zebrane w jednej tabeli, co byłoby zdecydowanie bardziej czytelne;
- brak jest ogólnego podsumowania pracy (każdy z dwóch podjętych tematów został podsumowany w oddzielnych rozdziałach), co podkreśla brak spójności pracy;
- wiele rysunków jest zbyt dużych, co zaburza układ pracy – wiele stron jest nawet w połowie pustych (np. rysunek 2.16 po lekkim zmniejszeniu mógłby się znaleźć na stronie 56, która obecnie jest w połowie pusta), a podpisy pod rysunkiem znajdują się na stronie sąsiedniej. Ponadto podpisy pod rysunkami są napisane identyczną czcionką jak tekst główny, co bardzo utrudnia czytanie pracy;
- wzory często nie są numerowane. Nie ma też konsekwentnej metody numerowania wzorów (np. na stronie 120 wzory numerowane są jako 1G i 2G);
- we wzorach Autor często używa kursywy do zapisania wielkości nie będących zmiennymi: np. do zapisu funkcji;
- na wielu rysunkach przedstawiających parametry rozproszenia w dziedzinie częstotliwości, Autor nie zaznacza wybranej częstotliwości rezonansowej, a nie zawsze łatwo odczytać to z rysunku, czasem Autor przedstawia oba analizowane parametry na jednym rysunku, a czasami na dwóch oddzielnych, co stanowi pewną niekonsekwencję. Ponadto czasami w przypadku zastosowania dwóch wykresów, jeden pod drugim, częstotliwości są względem siebie przesunięte, co utrudnia interpretację i właściwą ocenę wyników;
- bardzo często występują złe odwołania do rysunków: np. na stronie 72 Autor odwołuje się do rysunku 3.7, a chodziło raczej o 3.6, odwołanie do rysunku 5.12 opisano jako E13 (strona 95), do rysunku 7.6 jako G6, 7.8 jako G8 itd.
- rysunek 5.11 przedstawiający projekt stelaża ma ponumerowane elementy, które nie zostały w żaden sposób opisane;
- wiele jest też innych błędów stylistycznych i edycyjnych.

Pytania i wątpliwości jakie pojawiły się podczas analizy niniejszej pracy są następujące:

1. Uważam, że dobór częstotliwości do zadania wykrywania płynu w płucach (ustalonej w końcu na 1.25 GHz) nie jest wystarczająco uzasadniony. Zagadnienie to było podstawą koncepcji całego układu, stąd brak tutaj odpowiedniej analizy rozkładu pola dla różnych częstotliwości stanowi dla mnie dość poważny brak, szczególnie, że Autor w końcowych wnioskach sam stwierdza, że podwyższenie częstotliwości do 2 GHz może być uzasadnione. Czy Autor przeprowadził podobną analizę dla wyższych częstotliwości? Jak zmiana częstotliwości do 2 i więcej GHz wpłynie na rozmiar anteny i zakres analizowanego obszaru ciała?
2. W rozdziale 2.1 Autor mówi o wykonaniu wielu symulacji anten uzmienniając różne parametry. Na jakiej podstawie wybrano ostateczny projekt anteny? Czy przeprowadzona została formalna optymalizacja?
3. Na rysunku 2.8 Autor przedstawia porównanie zmierzonej charakterystyki impedancyjnej anteny z wynikami symulacji. Proszę o skomentowanie różnic między otrzymanymi wynikami.
4. Autor przedstawia poglądowe rysunki prezentujące położenie anteny względem badanego człowieka pochodzące z symulacji (rysunek 3.3 oraz 3.7 – bardzo nieczytelny). Brak jest zdjęcia rzeczywistego ustawienia człowieka między antenami oraz analizy optymalnego ustawienia anten względem klatki piersiowej. Jak widać na rysunku 3.7 rozkład pola obejmuje duży obszar ciała i nie tylko odległość anteny od klatki piersiowej (która jest szczegółowo analizowana) ale też jej położenie góra-dół może mieć wpływ na wynik. Proszę o komentarz w tej sprawie.
- 5.

KLAUZULA POUFNOŚCI

6. Proszę o szersze wyjaśnienie wyprowadzenia wzorów (9) i (10) ze strony 79.
7. Na stronie 86 Autor przedstawia tabelę porównującą zmierzone wartości straty dielektrycznej dla dwóch różnych stężeń NaCl w wodzie z wartościami

przedstawionymi w artykule [106], obliczonymi tam na podstawie modelu Cole'a-Cole'a. Z przedstawionego rysunku ciężko odczytać dane, ale wartość wydaje się być bliższa 7 niż 2. Czy dokonano tutaj jakiejś normalizacji wyników wzorcowych?

8. Przedstawiony prototyp układu, dla którego przedstawiono cały proces kalibracji i pomiarów wstępnych bardzo różni się od układu ostatecznie dostarczonego do Kliniki (rysunek 5.12). Proszę o uszczegółowienie w jaki sposób przeprowadzono kalibrację drugiego układu? Układ ma dużo więcej elementów metalowych (cały stelaż jest aluminiowy) – w jaki sposób wpływa to na pomiar? Jak wpływa na wynik obecność obudowy anteny? Czy w układzie ostatecznym również stosowano absorbery?

9. KLAUZULA POUFNOŚCI

10. Na jakiej podstawie Autor stwierdza, że wartość 69 (strona 104) jest podwyższoną wartością straty dielektrycznej? Czy podjęto próbę wyznaczenia wartości normatywnych?

11.

KLAUZULA POUFNOŚCI

12. Proszę o doprecyzowanie jakie metody statystyczne użyte zostały do porównania wartości w tabeli 5.3.

13. Jakie są minimalne rozmiary wady geometrycznej możliwej do wykrycia za pomocą zaproponowanej metody?

14. Praca była realizowana przy wsparciu dwóch grantów ministerialnych (których Autor był kierownikiem, co podkreśla jego samodzielność i dodatkowo umiejętności współpracy i kierowania zespołem), co oznacza, że była w praktyce realizowana przez zespół ludzi. W związku z tym uważam za zasadne oszacowanie procentowego wkładu Autora w poszczególne elementy pracy. Poproszę też o procentowe oszacowanie wkładu autora w publikacje oraz patenty.

Wniosek końcowy:

Praca doktorska przedstawiona przez mgr. inż. Macieja Ślota oraz jej zawartość i forma pomimo przedstawionych nieścisłości wskazuje na jego bardzo dużą wiedzę i doświadczenie w zakresie opracowania i walidowania metod spektroskopii dielektrycznej do badań medycznych i materiałowych. Należy podkreślić, że zakres przedstawionej pracy jest bardzo duży i świadczy o bardzo dobrej organizacji pracy badawczej samego Autora jak i umiejętność współpracy z zespołem. Na podstawie przedstawionej pracy uważam, iż Doktorant umie samodzielnie przygotować i zrealizować rozwiązanie problemu naukowego na podstawie badań analitycznych i eksperymentalnych. Podsumowując uważam, że poziom przedstawionej pracy spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w rozumieniu ustawy z dnia 20 lipca 2018 Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018, poz.1668, z późn. zm.). W związku z powyższym wnioskuję o dopuszczenie mgr. inż. Michała Ślota do obrony jego rozprawy.

Barbara Gnochowska