

Politechnika Warszawska  
Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych

Warszawa, 19 grudnia 2017 r.

D z i e k a n a t

Uprzejmie informuję, że na Wydziale Elektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Warszawskiej odbędzie się w dniu 9 stycznia 2018 r. publiczna obrona rozprawy doktorskiej

**mgr inż. Konrada Godziszewskiego**

**temat:** „Charakteryzacja materiałów dielektrycznych w zakresie częstotliwości subterahercowych”

**promotor – prof. dr hab. inż. Yevhen Yashchyshyn z Politechniki Warszawskiej**

**recenzenci:**

dr hab. inż. Piotr Słobodzian, prof. Politechniki Wrocławskiej

dr hab. inż. Adama Abramowicz, prof. Politechniki Warszawskiej

Obrona odbędzie się w dniu 9 stycznia 2018 r. w sali 116 na Wydziale Elektroniki i Technik Informatycznych – Gmach im. Janusza Groszkowskiego, Warszawa, ul. Nowowiejska 15/19; początek godz. 9.00.

Po adresem: [www.elka.pw.edu.pl/Wydzial/Rada-Wydzialu/Harmonogram-obron-doktorskich-streszczenia-i-recenzje](http://www.elka.pw.edu.pl/Wydzial/Rada-Wydzialu/Harmonogram-obron-doktorskich-streszczenia-i-recenzje) zapewniony jest na stronie Wydziału dostęp do tekstów streszczenia rozprawy i recenzji, jak również do tekstu rozprawy umieszczonej w Bazie Wiedzy Politechniki Warszawskiej.

Dziekan



prof. dr hab. inż. Krzysztof Zaremba

Autor- mgr inż. Konrad Godziszewski

Tytuł rozprawy: Charakteryzacja materiałów dielektrycznych w zakresie częstotliwości subterahercowych.

promotor – prof. dr hab. inż. Yevhen Yashchyshyn

Streszczenie:

Rozprawa poświęcona jest metodom charakteryzacji materiałów dielektrycznych w zakresie częstotliwości subterahercowych. Zawiera przegląd technik pomiaru zespolonej przenikalności elektrycznej stosowanych w różnych przedziałach częstotliwości i dla różnych materiałów. Opisane zostały zalety i ograniczenia poszczególnych rozwiązań.

W ramach pracy zostało stworzone i przebadane quasi-optyczne stanowisko pomiarowe do charakteryzacji materiałów w zakresie 50-500 GHz. Opracowane zostały także dwie nowe metody pozwalające na określenie parametrów elektrycznych dielektryków.

Metody te łączą znane koncepcje z możliwościami współczesnej aparatury pomiarowej i nie wymagają rozwiązywania zawiłych równań matematycznych lub skomplikowanego przetwarzania danych pomiarowych.

Część rozprawy poświęcono problemom związanym z badaniem trzech specyficznych grup materiałów: ceramiki LTCC, ferroelektrycznych kompozytów ceramiczno-polimerowych i materiałów imitujących tkanki biologiczne. Każdy z typów charakteryzuje się odmiennymi właściwościami elektrycznymi i fizycznymi, które muszą być uwzględnione, aby otrzymać wiarygodne wyniki pomiaru.

Yevhen Yashchyshyn



tytuł, stopień, imię i nazwisko  
dr hab. inż. Adam Abramowicz

data 27.11.2017 r.

miejsce pracy  
Politechnika Warszawska  
Instytut Systemów Elektronicznych

**KWESTIONARIUSZ- RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY  
WYDZIAŁU ELEKTRONIKI I TECHNIK INFORMACYJNYCH  
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

**Tytuł rozprawy:**

*Charakteryzacja materiałów dielektrycznych w zakresie częstotliwości subterahercowych*

**Autor rozprawy:**

mgr inż. Konrad Godziszewski

**1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy /teza rozprawy/ i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?**

Rozprawa dotyczy metod pomiaru parametrów elektrycznych materiałów dielektrycznych w zakresie częstotliwości subterahercowych (50 GHz – 500 GHz). Materiały dielektryczne rozważane i mierzone przez autora były najczęściej izotropowymi dielektrykami, ale też niejednorodnymi (warstwowo) dielektrykami oraz ferroelektrykami (kompozyty ceramiczno-polimerowe). Autor sformułował dwie tezy: 1. „Nowoczesna aparatura pomiarowa umożliwia opracowanie nowych metod charakteryzacji materiałów, dla których wymagania stawiane badanym próbkom są znacząco złagodzone”, 2. „Możliwe jest opracowanie wąskopasmowych i szerokopasmowych metod charakteryzacji materiałów dielektrycznych w zakresie subterahercowym, jednak wybór metody powinien być dobrany do pasma częstotliwości oraz do wstępnie określonych parametrów próbki (elektrycznych, geometrycznych, mechanicznych, temperaturowych itd.” Tezy są sformułowane jasno i jednoznacznie, jednocześnie są do pewnego stopnia ogólne. Z tak postawionych tez wynikają cele pracy, które zawierają również opracowanie i przygotowanie stanowiska pomiarowego, określenie niepewności pomiarowych, zbadanie wpływu specyficznych właściwości materiałów związanych z technologią ich wytwarzania oraz pomiary. Praca ma zatem charakter teoretyczno-doświadczalny. Autor opracował metody pomiarowe, zrealizował układ pomiarowy i zmierzył parametry przykładowych materiałów.

**2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł /w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle/ świadczącej o dostatecznej wiedzy autora. Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?**

Lista odwołań bibliograficznych obejmuje 123 pozycje. W rozdziale drugim autor dokonał analizy stanu wiedzy i przeglądu literatury dotyczącej metod pomiarowych parametrów dielektryków. Odwołania dotyczą zarówno publikacji w czasopiśmie i na konferencjach, jak też kilku



podstawowych pozycji książkowych. Prace zostały świadomie wybrane i układają się w logiczny ciąg. Wnioski z prac poprzedników zostały wykorzystane przy tworzeniu koncepcji metod pomiarowych. Autor ma wystarczającą wiedzę i orientację w literaturze przedmiotu dotyczącej rozprawy, jak też w praktycznych realizacjach układów scalonych i ich pomiarów. W spisie publikacji znajdują się również prace autora (5 referatów konferencyjnych z lat 2012-2015) bezpośrednio związane z przedmiotem rozprawy jest 11 publikacji z czego 6 to artykuły w czasopiśmie w jeden artykuł w IEEE Trans. on Instrumentation and Measurements. Ponadto autor powołuje się na 6 kolejnych publikacji, których jest współautorem niezwiązanych ściśle z tematyką rozprawy.

### **3. Czy autor rozwiązał postawione zagadnienie, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?**

Aby zrealizować cel pracy i potwierdzić tezy autor opracował dwie metody charakteryzacji materiałów w zakresie częstotliwości od kilkudziesięciu do kilkuset gigaherców. Zmodyfikowana interferometryczna metoda pomiarowa wykorzystuje właściwości sprzętu pomiarowego (wektorowego analizatora sieci) zdecydowanie upraszczając układ pomiarowy. Druga z metod bazująca na szerokopasmowym pomiarze współczynnika odbicia do pewnego stopnia nie wymaga znajomości grubości mierzonej próbki ułatwiając jej przygotowanie. Obie metody opisane w rozdziale trzecim, stanowią właściwe potwierdzenie słuszności tez sformułowanych w rozdziale pierwszym. Praktyczna weryfikacja skuteczności opracowanych metod poprzez wykonane pomiary potwierdza zrealizowanie celów pracy. Autor użył właściwych metod opartych o poprawne założenia. Opracowane nowe metody pomiarowe umożliwiają charakteryzację materiałów z niepewnościami porównywalnymi z najlepszymi metodami. Opisane w rozdziale czwartym zagadnienia pomiarów struktur wielowarstwowych oraz kompozytów ferroelektrycznych i substytutów tkanek biologicznych są interesującym dodatkiem do rozprawy.

### **4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy i poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową.**

Autor zaproponował dwie nowe metody pomiarowe parametrów dielektryków w zakresie subterahercowym. Zmodyfikowana interferometryczna metoda pomiarowa wykorzystuje możliwości wektorowego analizatora sieci do wykonywania operacji matematycznych na zebranych rezultatach pomiarowych zdecydowanie upraszczając układ pomiarowy poprzez eliminację jednego z ramion w klasycznym interferometrze. Charakterystyki pomiarowe (transmisyjne) są otrzymywane dwukrotnie bez próbki przy dwóch pozycjach odbiornika różniących się o pół długości fali, aby otrzymać minimum interferencyjne dla założonej częstotliwości pomiarowej. Po umieszczeniu próbki w torze pomiarowym dąży się do zmiany położenia odbiornika tak aby uzyskać minimum interferencyjne na założonej częstotliwości. Następnie wyznacza się przenikalność elektryczną materiału z prostej zależności. Pomijając problemy jednoznaczności i mechanicznej orientacji próbki metoda jest równoważna metodzie z interferometrem Macha-Zendera. Jak w metodach rezonansowych wynik uzyskuje się na jednej częstotliwości. Natomiast zaproponowana metoda ma zaletę, że może być stosowana bez zmiany sprzętu pomiarowego w całym zakresie dostępnych częstotliwości VNA (głowic rozszerzających zakres pomiarowy). Druga opracowana metoda jest metodą odbiciową. Polega na pomiarze zespolonego współczynnika odbicia w szerokim zakresie częstotliwości. Autor zaproponował przeliczenie zespolonego współczynnika odbicia na ZWFS, którego definicję zaproponował i nazwał zespolonym współczynnikiem fali stojącej. Na podstawie wyznaczonych charakterystyk ZWFS możliwe jest wyznaczenie parametrów mierzonego dielektryka. Autor dokonał szacowania niepewności pomiarowych obu metod oraz wykonał przykładowe pomiary. Ponadto praca zawiera szereg oryginalnych badań i rozwiązań związanych z pomiarami materiałów warstwowych



i ferroelektrycznych. Istotnym osiągnięciem jest samo zaprojektowanie i ustawienie układu pomiarowego choć nie do końca precyzyjny opis pozostawia wątpliwości dotyczące wkładu autora np. w zaprojektowanie soczewek.

### **5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników /zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy/?**

Rozprawa ma 160 stron objętości podzielonej na 5 rozdziałów, dodatki i bibliografię. Rozprawa jest napisana dobrze. Wywód autora jest logiczny i jak wskazuje rozmiar pracy przynajmniej w większości szczegółowy. Przedstawiane wyniki są jasne i w tekście najczęściej dobrze opisane. Kolejność prezentacji poszczególnych zagadnień jest prawidłowa. Podział zagadnień pomiędzy rozdziały świadczy o starannym przemyśleniu układu pracy i zawartych w niej. Występują natomiast pewne na szczęście niezbyt liczne niedostatki redakcyjne, literówki, niezręczne lub nieprecyzyjne sformułowania, nie w pełni opisane rysunki oraz brak cytowań np. przy podawanych zależnościach. Autor używał też podwójnych oznaczeń współczynnika odbicia (również w spisie oznaczeń). Parametry macierzy rozproszenia powinny być oznaczane małą literą s. Biorąc pod uwagę rozmiar pracy niedostatki redakcyjne są stosunkowo nieznaczne.

### **6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?**

Kilka zagadnień opisanych w rozprawie zostało opisanych nieprecyzyjnie lub też nie zawsze w pełni zostały przeprowadzone analizy. Lista podanych niżej niedociągnięć nie jest decydująca dla oceny rozprawy i raczej nie dotyczy kategorii główne wady rozprawy. Na stronach 65-69 przedstawiono rezultaty symulacji elektromagnetycznych układu pomiarowego. W opisie nie zostały podane dane dotyczące odległości między soczewkami oraz nie przedstawiono rozkładów pól z obiektem mierzonym. W analizie niepewności pomiarowych zostały prawidłowo zidentyfikowane źródła błędów, lecz nie wszystkie zostały określone w sposób liczbowy i uwzględnione we wzorze na niepewność (3.13). Nie ma również informacji o wartości m. Rezultaty pomiarowe na stronach 79-81 nie zawierają informacji o grubościach próbek L. Na rysunkach 3.17, 3.19 i 3.20 rozkłady obwiedni pól nazwano rozkładem znormalizowanej amplitudy pola elektrycznego. Brak opisu warunków uzyskania zależności przedstawionych na rys. 3.31 i 3.32. Nie jest jasne jak rozrzut pomiarów fazy na poziomie  $\pm 15^\circ$  przekłada się na pomiar materiałów stratnych w kontekście wykorzystania argumentu ZWFS (rys. 3.25). W Tabeli 3.6 średnia przenikalność  $9.09 \pm 0.15$  nie wynika w sposób oczywisty z danych na różnych częstotliwościach. Dane przedstawione na rys. 4.6 nie zgadzają się z opisem na stronie 108. W związku z ostatnim zdaniem pierwszego podrozdziału 4.3 trzeba zauważyć, że fale elektromagnetyczne wywołują efekt termiczny, ale nie mają wpływu na jego występowanie. Dalej w podrozdziale 4.3 w ostatnim zdaniu parametry elektromagnetyczne powinny zostać nazwane parametrami elektrycznymi. Nie wiadomo co oznacza różnica między założonymi, a wyznaczonymi przebiegami zespolonej przenikalności elektrycznej na wykresach 4.23.

### **7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?**

Praca ma znaczenie dla rozwoju szeregu zastosowań w zakresie subterahercowym umożliwiając lepszą i szybszą charakteryzację paramentów materiałów. Opracowane metody są łatwe w implementacji i umożliwiają każdemu laboratorium wyposażonemu w wektorowy analizator sieci wykonywanie pomiarów. Praca mieści się w szerokim nurcie prac, które łączą aspekty naukowe i techniczne, poznawcze i zapewne komercyjne, dlatego jest istotna dla rozwoju nauk technicznych w zakresie zastosowań materiałów oraz badań ich parametrów w trudnym zakresie teraherców.

### **8. Do której z wymienionych kategorii Recenzent zalicza rozprawę:**

**a/ nie spełniająca wymagań stawianych rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy**

**b/ wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania**

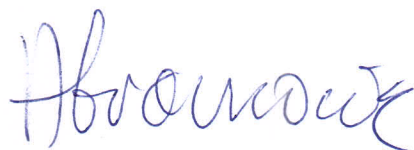
**c/ spełniająca wymagania**

**d/ spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem**

**e/ wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie**

Powyższe pytania mają charakter pomocniczy. Wskazane jest takie formułowanie treści recenzji, by można ją było odczytywać bez przeczytania pytań.

Podpis





Dr hab. inż. Piotr Słobodzian, prof. PWR  
Katedra Telekomunikacji i Teleinformatyki  
Politechnika Wrocławska  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27  
50-370 Wrocław

Wrocław, 20 października 2017r.

**Kwestionariusz-Recenzja**  
**rozprawy doktorskiej dla Rady Wydziału Elektroniki i Technik Informatycznych**  
**Politechniki Warszawskiej**

**Tytuł rozprawy:** *Charakteryzacja materiałów dielektrycznych w zakresie częstotliwości subterahercowych.*

**Autor rozprawy:** *mgr inż. Konrad Godziszewski*

Rozprawa dotyczy metod charakteryzacji materiałów dielektrycznych w zakresie częstotliwości subterahercowych, tj. od 30 GHz do 1 THz. Doktorant oparł swoje rozważania na quasi-optycznych pomiarach parametrów transmisyjnych i odbiciowych fali elektromagnetycznej oświetlającej w otwartej przestrzeni planarną próbkę badanego materiału. W rozprawie Doktorant postawił tezę, że:

- 1) *Nowoczesna aparatura pomiarowa umożliwia opracowanie nowych metod charakteryzacji materiałów, dla których wymagania stawiane badanym próbkom są znacząco złagodzone.*
- 2) *Możliwe jest opracowanie wąskopasmowych i szerokopasmowych metod charakteryzacji materiałów dielektrycznych w zakresie subterahercowym, jednak wybór metody powinien być dobrany do pasma częstotliwości oraz wstępnie określonych parametrów próbki (elektrycznych, geometrycznych, mechanicznych temperaturowych itd.).*

Teza została sformułowana jasno. Zawarte w niej stwierdzenia nie są trywialne, a ich udowodnienie wymaga rzetelnych badań zarówno teoretycznych jak i eksperymentalnych, i taki właśnie charakter ma rozprawa pana mgra Godziszewskiego.

W celu wykazania potrzeby rozwiązania problemu postawionego w rozprawie, Doktorant przeprowadził bardzo obszerny przegląd metod stosowanych do elektromagnetycznej charakteryzacji materiałów. Na ponad 30 stronach rozprawy opisał wszystkie znane grupy metod pomiarowych i scharakteryzował ich główne zalety oraz wady. Przegląd został oparty na rzetelnej analizie stanu wiedzy w oparciu o źródła literatury światowej i krajowej. W pracy zacytowano ponad 120 artykułów. Doktorant nie zapomniał wymienić znaczących osiągnięć polskich zespołów badawczych. Przeprowadzona analiza stanu wiedzy została podsumowana w rozdz.2.5. Sformułowane tam wnioski są jasne



i jednoznacznie pokazują, że istnieje potrzeba opracowania prostych w implementacji i jednocześnie dostatecznie dokładnych metod charakteryzacji materiałów w zakresie częstotliwości subterahercowych.

Dowód tezy postawionej w pracy został przedstawiony w rozdziale trzecim. Doktorant przedstawił tam wyniki swoich badań naukowych i prac eksperymentalnych nad nowymi metodami charakteryzacji materiałów dielektrycznych. Wymienione metody zostały oparte na quasi-optycznych pomiarach interakcji subterahercowej fali elektromagnetycznej z planarną próbką badanego materiału. Doktorant zaproponował dwie nowe metody pomiarowe, tj. zmodyfikowaną metodę interferometryczną (z natury wąskopasmową), oraz metodę polegającą na szerokopasmowym pomiarze odbicia fali elektromagnetycznej od powierzchni planarnej próbki.

Opracowanie każdej z metod zostało wsparte rzetelną analizą teoretyczną. Przyjęte w analizie założenia zostały uzasadnione, a ich słuszność potwierdzona na drodze symulacji obliczeniowych w Matlabie. Dokładność obu metod pomiarowych została określona za pomocą analizy błędów, a następnie potwierdzona w drodze eksperymentu. W celu weryfikacji poprawności opracowanych metod Doktorant zaprojektował i zbudował zautomatyzowany quasi-optyczny system do pomiaru parametrów transmisyjnych i odbiciowych. Poprawność konfiguracji układu pomiarowego zweryfikował w oparciu o wyniki analiz elektromagnetycznych za pomocą oprogramowania FEKO. Należy uznać, że przyjęte przez Doktoranta metody i narzędzia badawcze są właściwe i zgodne z obecnym nurtem badań w przedmiotowej dziedzinie.

Doktorant rozwiązał zadanie postawione w rozprawie. Pokazał, że pierwsza z metod pomiarowych jest prostsza w implementacji od istniejących metod, a przy tym charakteryzuje się zadowalającą dokładnością. W przypadku drugiej metody uzyskał możliwość dostatecznie dokładnej szerokopasmowej charakteryzacji materiału jedynie na podstawie obserwacji odbicia fali elektromagnetycznej bez konieczności określania grubości próbki, co ułatwia i przyspiesza proces charakteryzacji.

Zaproponowane przez Doktoranta metody stanowią o oryginalności całej rozprawy. Pierwsza z metod jest zmodyfikowaną metodą interferometryczną, w której wyeliminowano konieczność zastosowania kanału odniesienia. Metoda jest współautorska, została opracowana przy współpracy z międzynarodowym zespołem badawczym. Wyniki badań opublikowano w renomowanym czasopiśmie z serii *IEEE Transactions*. Druga z metod, jest autorską metodą Doktoranta. Jej oryginalność polega na szerokopasmowym pomiarze współczynnika odbicia lub współczynnika fali stojącej od powierzchni planarnej próbki. Doktorant pokazał, że w przypadku materiału bezstratnego możliwe jest wyznaczenie jego stałej dielektrycznej wyłącznie na podstawie współczynnika fali stojącej. Z kolei, w przypadku stratnych dielektryków potrzebna jest informacja o zespolonym współczynniku odbicia, ale w zamian, oprócz stałej dielektrycznej, można wyznaczyć również tangens kąta stratności badanego materiału. Według mojej wiedzy wymieniona metoda nie była do tej pory zaproponowana w pomiarach quasi-optycznych w zakresie częstotliwości subterahercowych. Pozostały oryginalny i samodzielny dorobek doktoranta stanowią:



- określenie niepewności pomiarowej zaproponowanych metod pomiarowych,
- zbadanie i określenie zakresu stosowalności tych metod,
- opracowanie i zbudowanie quasi-optycznego stanowiska do praktycznej implementacji opracowanych metod pomiarowych.

Wszystkie zagadnienia opisane w rozprawie doktorskiej są przedstawione przekonująco i w większości przypadków poprawnie. Doktorant w zrozumiały sposób przedstawia swoje rozważania i wyniki badań, bez ich nadmiernego rozwijania. W umiejętny sposób odsyła do właściwych źródeł literaturowych. Redakcja rozprawy jest poprawna. Rysunki i wykresy właściwie ilustrują omawiane zagadnienia. Doktorant posługuje się poprawnym językiem technicznym.

Praca nie jest jednak wolna od drobnych błędów, nieścisłości i niefortunnnych sformułowań. Do najważniejszych mankamentów zaliczam:

- 1) Niefortunne wprowadzenie zespolonego współczynnika fali stojącej (ZWFS). Wielkość, w oparciu o którą Doktorant zdefiniował ZWFS jest niczym innym jak unormowaną admitancją widzianą na wejściu układu warstw z próbką (unormowaną względem impedancji wolnej przestrzeni i z przeciwnym znakiem). Znany jest związek impedancji/admitancji z WFS (teoria wykresu Smitha), na podstawie którego, w szczególnych przypadkach, można wprost odczytywać unormowaną impedancję/admitancję jako wartości WFS. Jednak nikt nie nazywa w tym przypadku admitancji zespolonym WFS. W rozprawie impedancja/admitancja opisuje związek pomiędzy polami E i H, a nie falę stojącą jak to ma miejsce w przypadku WFS.
- 2) Równania od (3.22) do (3.24) opisujące ZWFS dla bardzo stratnego dielektryka nie są poprawne z matematycznego punktu widzenia. Części rzeczywista i urojona ZWFS dążą do wielkości opisanych w zaproponowanych wzorach tylko wtedy, gdy  $f \rightarrow \infty$  lub  $tg\delta \rightarrow \infty$ . Doktorant powinien w zapisie użyć właściwej granicy (*lim*), zamiast pisać bezpośrednio znak równości.
- 3) Brak wyprowadzeń (choćby w dodatku do rozprawy) wzorów (3.22), (3.23) i (3.24), które stanowią istotę zaproponowanej metody. Zapisane wzory są poprawne, ale nie zostały w rozprawie udowodnione. Niestety obniża to moją ocenę umiejętności Doktoranta w zakresie matematycznego modelowania metod pomiarowych.
- 4) W równaniu (3.28) Doktorant wprowadza bez uzasadnienia odwrotną transformację Fouriera parametru ZWFS, po czym sprowadza ją do zwykłej całki, za pomocą której definiuje się wartość średnią funkcji w zadanym przedziale zmiennosci argumentu. Wprowadzenie transformacji Fouriera jest nieuzasadnione, ponieważ nie niesie żadnej dodatkowej interpretacji i wprowadza niepotrzebne zamieszanie.
- 5) Doktorant wyjaśnia sposób obliczania średniej opisanej w rów. (3.29) i (3.30), ale nie uzasadnia/udowadnia przyjętego podejścia (brak stosownych wyprowadzeń).
- 6) Analiza błędów przeprowadzona dla interferometrycznej metody pomiaru stałej dielektrycznej (rozd.3.2) jest w mojej opinii niepełna. Pomimo wyprowadzenia

wzoru do określania niepewności Doktorant nie przedyskutował i nie zilustrował zależności niepewności pomiarowej od podstawowych parametrów próbki, tj. jej grubości i stałej dielektrycznej. Dodatkowo wydaje się, że w opisie weryfikacji pomiarowej zaproponowanej metody (rozdz.3.2.3) błędnie podano grubości próbek dla tlenku glinu i teflonu. Ponadto, według mojej opinii, dokładność wyników pomiarów zamieszczonych w tabeli 3.3 została wyznaczona błędnie (prawdopodobnie na skutek błędów w obliczeniach).

Pomimo powyższych niedociągnięć pracę oceniam wysoko, głównie ze względu na dużą pomysłowość Doktoranta i innowacyjność przedstawionych rozwiązań. Doceniam również ogrom pracy włożony przez Doktoranta w przeprowadzone badania.

Doktorant zaprezentował praktyczną przydatność wyników swoich badań dla nauk technicznych. W rozdziale 4 rozprawy wykazał, że istnieją klasy materiałów dielektrycznych, ważne dla rozwoju elektroniki i telekomunikacji, które można charakteryzować przy użyciu zaproponowanych w rozprawie metod pomiarowych. W tym celu zademonstrował użycie tych metod w badaniach naukowych nad opracowaniem nowych, kompozytowych materiałów ferroelektrycznych oraz w badaniach oddziaływanie pól subterahercowych na materiały biologiczne. Na koniec Doktorant wskazał również zagadnienia, które nie zostały przez niego do końca rozwiązane i określił wymagane kierunki dalszych badań naukowych w zakresie subterahercowej charakteryzacji materiałów.

## **Wniosek końcowy**

Rozprawa doktorska pt. „*Charakteryzacja materiałów dielektrycznych w zakresie częstotliwości subterahercowych*” autorstwa pana mgra inż. Konrada Godziszewskiego **spełnia z wyraźnym nadmiarem wymagania** stawiane przez obowiązujące przepisy.

