

# Politechnika Warszawska

## Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych

DZIEKAN I RADA WYDZIAŁU ELEKTRONIKI I TECHNIK INFORMATYCZNYCH  
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

zawiadamiają o

PUBLICZNEJ OBRONIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

**mgr. inż. Przemysław Piaseckiego**

która odbędzie się w trybie zdalnym w dniu 14 września r. o godzinie 10.00

Tytuł rozprawy doktorskiej: **„Anteny sub-THz w technologii LTCC”**

promotor: prof. dr hab. inż. Yevhen Yashchyshyn Wydział Elektroniki i  
Technik Informatycznych Politechniki Warszawskiej

recenzenci: dr hab. inż. Krzysztof Nyka, prof. uczelni Wydział Elektroniki,  
Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej

prof. dr hab. inż. Krzysztof Wincza Wydział Informatyki, Elektroniki i  
Telekomunikacji Akademii Górniczo-Hutniczej

Na stronie internetowej wydziału [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) znajdują się streszczenie rozprawy oraz recenzje, jak również dostęp do tekstu rozprawy umieszczonej w Bazie Wiedzy Politechniki Warszawskiej.

Sposób uczestniczenia w publicznej obronie:

[https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19%3ameeting\\_MjRiZGQwMmMtOTI2YS00YTY1LTgxZmYtNTY3NTVjYmY4M2Jj%40thread.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%223b50229c-cd78-4588-9bcf-97b7629e2f0f%22%2c%22Oid%22%3a%22393ff735-7b26-4f34-bdcd-f7ccab968b42%22%7d](https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19%3ameeting_MjRiZGQwMmMtOTI2YS00YTY1LTgxZmYtNTY3NTVjYmY4M2Jj%40thread.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%223b50229c-cd78-4588-9bcf-97b7629e2f0f%22%2c%22Oid%22%3a%22393ff735-7b26-4f34-bdcd-f7ccab968b42%22%7d)

Dziekan



prof. dr hab. inż. Michał Malinowski

Mgr inż. Przemysław Piasecki

Promotor – prof. dr hab. inż. Yevhen Yashchyshyn

tytuł rozprawy doktorskiej:” Anteny sub-THz w technologii LTCC”

---

## Streszczenie

Niniejsza rozprawa poświęcona jest antenom wykonanym w technologii współwypalania ceramiki w niskiej temperaturze LTCC (ang. *Low Temperature Co-fired Ceramics*), pobudzanych falą powierzchniową w zakresie częstotliwości subterahercowych (sub-THz). Praca przedstawia przegląd rozwiązań antenowych, wykorzystywanych technologii oraz materiałów stosowanych do ich wytwarzania w różnych podzakresach pasma sub-THz. Ponadto, w rozprawie przedstawiono różne aspekty projektowania odpowiednich struktur mogących wzbudzić fale powierzchniowe zasilające elementy promieniujące anten. Opisano również zalety i ograniczenia poszczególnych rozwiązań.

W ramach pracy wykonano wiele symulacji elektromagnetycznych, pokazujących możliwości projektowania anten z falą wyciekającą oraz odpowiednich struktur zasilających anteny. Przeprowadzono badania sposobu pobudzania rozważanych modeli anten oraz przejść zaprojektowanych z uwzględnieniem aspektów technologicznych LTCC. Przedstawiono poza tym koncepcje anten zintegrowanych z zaprojektowanymi wcześniej elementami zasilającymi. Wykonano także modele anten w technologii LTCC, pracujących w zakresie częstotliwości powyżej 100 GHz oraz zbadano ich charakterystyki promieniowania. Badania przeprowadzono na stanowiskach specjalnie przygotowanych do pomiaru tych charakterystyk - w strefie bliskiej oraz dalekiej dla wskazanego zakresu częstotliwości.

W pracy zaprezentowano również analityczne podejście do projektowania anten z falą wyciekającą w przybliżeniu impedancyjnym oraz skonfrontowano je z badaniami symulacyjnymi i wykonanymi pomiarami.

Kraków, dn. 08.07.2020r.

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Wincza  
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie  
Wydział Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji  
Katedra Elektroniki  
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

**KWESTIONARIUSZ – RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY NAUKOWEJ DISCYPLINY  
INFORMATYKA TECHNICZNA I TELEKOMUNIKACJA**

**Tytuł rozprawy: Anteny sub-THz w technologii LTCC**

**Autor rozprawy: Przemysław Piasecki**

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

Praca mgr. inż. Przemysława Piaseckiego pt. „Anteny sub-THz w technologii LTCC” poświęcona jest zagadnieniom projektowania i wykonywania w technologii LTCC anten z falą wyciekającą pracujących w zakresie częstotliwości powyżej 100 GHz. Rozprawa podejmuje ważne zagadnienie realizacji anten w zakresie częstotliwości sub-THz zwłaszcza w kontekście ewentualnych przyszłych zastosowań. Obecnie dla systemów transmisji bezprzewodowych i radarowych alokowane są coraz wyższe zakresy częstotliwości z zakresu fal milimetrowych, ze względu na dostępne szersze pasmo pracy oraz mniejsze rozmiary projektowanych urządzeń. Należy podkreślić, że opracowywanie urządzeń i układów pracujących w zakresie częstotliwości powyżej 100 GHz jest zagadnieniem niezwykle trudnym i złożonym, nie tylko pod względem projektowym ale również technologicznym, gdyż w tym zakresie częstotliwości opracowanie nawet prostej przewodnicy falowej może okazać się dużym wyzwaniem. Realizacja układów antenowych pracujących w zakresie częstotliwości powyżej 100 GHz wymaga nie tylko opracowania struktur promieniujących ale również elementów zasilających, które mogą znacząco pogarszać parametry projektowanych anten.

Cel pracy został jasno sformułowany we wstępie pracy, w którym Autor formułuje trzy tezy dotyczące zastosowania technologii LTCC do realizacji anten w zakresie fal sub-THz, Prawdziwości tych tez Autor dowodzi w treści rozprawy. Praca ma charakter teoretyczno-eksperymentalny z dużym naciskiem na badania eksperymentalne i technologiczne i składa się z 7 rozdziałów, w tym wstępu i podsumowania. W rozdziale drugim przedstawiony jest przegląd znanych z literatury rozwiązań anten pracujących w zakresie częstotliwości sub-THz, stanowiąc wstęp do zagadnień omawianych w rozprawie. W rozdziale trzecim Autor dokonuje analizy możliwości zastosowania technologii LTCC w zakresie częstotliwości powyżej 100 GHz, omawiając wybór materiału ceramicznego oraz takie procesy technologiczne jak,



proces nanoszenia pasty przewodzącej, metalizację otworów, proces laminacji czy współwypalanie ceramiki. Rozdziały czwarty i piąty stanowią zasadniczą część rozprawy. W rozdziale czwartym Autor przedstawia własne wyniki badań dotyczące opracowania układów zasilania z wykorzystaniem wielowarstwowej technologii LTCC. Rozdział przedstawia wyniki badań podstawowych przewodnic falowych takich jak linia mikropaskowa czy uziemiona koplanarna oraz bardziej złożonych elementów takich jak przejście pomiędzy uziemioną linią koplanarną a falowodem SIW. W rozdziale piątym przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych opracowanych anten zasilanych wprost z falowodu oraz poprzez opracowane wcześniej przejścia. Rozprawę uzupełnia rozdział szósty, w którym opisano stanowisko do pomiarów parametrów anten zarówno w strefie bliskiej jak i dalekiej. Rozdział siódmy podsumowuje rozprawę formułując wnioski dowodzące postawionych tez oraz wskazując dalsze kierunki badań w tematyce rozprawy.

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

Przedstawiony wykaz literatury obejmuje 110 pozycji, wśród których przeważają prace opublikowane na przestrzeni ostatnich dwudziestu lat. Z jednej strony świadczy to o dobrej orientacji Autora rozprawy w zakresie najnowszej literatury a z drugiej strony jest zbieżne z rozwojem technologii LTCC. Rozprawa doktorska została dobrze zarysowana na tle światowej literatury, w kontekście zarówno realizacji anten pracujących w paśmie sub-THz jak również w odniesieniu do samej technologii LTCC i aspektów wytwarzania układów mikrofalowych i antenowych w tej technologii w zakresie częstotliwości powyżej 100 GHz. W rozprawie doktorskiej poświęcono jeden rozdział na przedstawienie stanu wiedzy w obszarze anten pracujących w zakresie częstotliwości powyżej 100 GHz a wyciągnięte wnioski posłużyły do sprecyzowania celu prac badawczych.

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

Celem pracy było opracowanie anten realizowanych w technologii LTCC pracujących w zakresie częstotliwości powyżej 100 GHz. Cel ten został osiągnięty a otrzymane wyniki są szczegółowo przedstawione w rozdziale 5. Wykonanie poszczególnych modeli anten było poprzedzone obliczeniami teoretycznymi oraz szczegółową analizą pełnofalową z wykorzystaniem oprogramowania CST, w trakcie której zamodelowane zostały takie elementy jak podłączenie sond, czy też przejście pomiędzy uziemioną linią koplanarną a falowodem SIW. W pracy przyjęto właściwe założenie, że głównym ograniczeniem technologii LTCC w realizacji anten w

zakresie częstotliwości powyżej 100 GHz jest realizacja układów zasilania oraz elementów przewodzących. Tezy te zostały potwierdzone zarówno poprzez symulacje elektromagnetyczne jak i wykonane badania eksperymentalne.

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

Do oryginalnych osiągnięć Autora rozprawy, można zaliczyć przede wszystkim:

- opracowanie anten z falą wyciekającą pracujących w zakresie częstotliwości powyżej 100 GHz,
- zaprojektowanie anten z wykorzystaniem przybliżeń analitycznych i porównanie ich parametrów z wynikami otrzymanymi na drodze symulacji elektromagnetycznych oraz pomiarów wykonanych modeli,
- opracowanie oraz szczegółowa analiza elementów zasilania anten oraz przewodnic falowych pracujących w zakresie częstotliwości sub-THz i wykonywanych w technologii LTCC,
- opracowanie falowodów SIW w technologii LTCC w wersji zmodyfikowanej, w której zamiast przelotek stosuje się zwierające rynienki w celu poprawy parametrów elektrycznych,
- wykazanie ograniczeń technologii LTCC do realizacji układów w zakresie częstotliwości sub-THz oraz metod poprawy wykonania realizowanych układów w tej technologii,
- opracowanie stanowisk do pomiarów parametrów anten w strefie dalekiej i bliskiej w zakresie częstotliwości 90-140 GHz.

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

Rozprawa napisana jest w języku polskim, w sposób przejrzysty prezentując najważniejsze osiągnięcia i wnioski wynikające z poszczególnych etapów projektowania i realizacji układów antenowych. Zawiera szczegółowy opis poszczególnych etapów wykonywania układów w technologii LTCC oraz przedstawia obecny stan wiedzy i najważniejsze rozwiązania dotyczące anten stosowanych w zakresie częstotliwości sub-THz. Wnioski wynikające z wykonanych analiz teoretycznych i pomiarów poparte są znaczną ilością rysunków i zdjęć, co poprawia czytelność przedstawionej metodyki projektowania. Uwagę zwraca znaczna ilość literówek, błędów językowych oraz stosowanie wyrażeń żargonowych, których powinno się unikać w pracach naukowych.



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

Praca poświęcona jest opracowaniu anten pracujących w zakresie częstotliwości sub-THz i wykonywanych w technologii LTCC. Rozprawa w zwięzły sposób formułuje cel i prezentuje otrzymane wyniki. Do słabszych stron rozprawy należy zaliczyć:

- dużą ilość literówek, błędów językowych, a także stosowanie słownictwa żargonowego, np. „przewód gorący”, „zimne palce”;
- sporadyczne błędne odniesienia do wzorów, np. str. 153, czy też błędne odniesienia do rysunków, np. str. 192;
- brak wyjaśnienia dlaczego akurat ten rodzaj anten, tzn. anteny z falą wyciekającą, został wybrany do realizacji;

Ponadto Autor rozprawy wskazał w pracy dwa główne ograniczenia technologii LTCC w zastosowaniu do realizacji anten pracujących w paśmie sub-THz. Który z wymienionych czynników wpływa w większym stopniu na uzyskiwane parametry anten, zwłaszcza w odniesieniu do zysku energetycznego?

Przedstawione wyżej uwagi nie wpływają na ogólną dobrą ocenę rozprawy. Część z nich ma charakter dyskusyjny i nie należy ich traktować jako słabych stron rozprawy doktorskiej. Niewątpliwą wadą rozprawy jest fakt, że opracowane rozwiązania były publikowane głównie w formie komunikatów konferencyjnych a w dorobku naukowym dotyczącym tematyki rozprawy doktorskiej Autora znajduje się tylko jeden artykuł opublikowany w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym.

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

Rozprawa stanowi istotny wkład w rozwój układów mikrofalowych i antenowych pracujących w zakresie częstotliwości sub-THz. Należy podkreślić, że w tym zakresie częstotliwości opracowanie nawet najprostszych elementów, takich jak prowadnice falowe czy przejścia pomiędzy różnymi prowadnicami może być dużym wyzwaniem pod względem zarówno projektowym jak i technologicznym. Z tego względu praca stanowi istotne uzupełnienie znanych rozwiązań anten i układów antenowych pracujących w zakresie częstotliwości powyżej 100 GHz. Wykazane w pracy ograniczenia technologii LTCC, szczegółowo opisane etapy wykonywania układów ze wskazaniem krytycznych etapów technologicznych oraz metod poprawy procesów pozwala stwierdzić, że przydatność rozprawy dla nauk inżynieryjno-technicznych jest duża a opracowane układy mają potencjał wdrożeniowy.

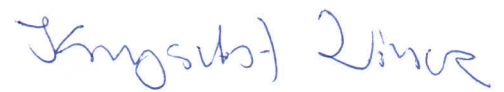
## **8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:**

Pracę niewątpliwie można zaliczyć jako spełniającą wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy.

**9. Wniosek końcowy:**

Podsumowując stwierdzam, że przedstawiona do oceny praca stanowi oryginalny wkład w rozwój dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja. Mgr inż. Przemysław Piasecki dowiódł postawionych we wstępie rozprawy tez, osiągnął zamierzony cel rozprawy i wykazał się niezbędną wiedzą wymaganą dla uzyskania stopnia doktora nauk technicznych. Rozprawa doktorska spełnia wymagania stawiane przez odpowiednią ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym i z tego względu wnioskuję o dopuszczenie jej do dalszych etapów postępowania o nadania stopnia doktora.

Krzysztof Wincza



Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki,  
Politechnika Gdańska,  
Narutowicza 11/12  
80-233 Gdańsk

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA  
RADY NAUKOWEJ DYSCYPLINY INFORMATYKA TECHNICZNA I TELEKOMUNIKACJA  
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

Tytuł rozprawy: **Anteny sub-THz w technologii LTCC**

Autor rozprawy: **mgr inż. Przemysław Piasecki**

**1. Sformułowanie zagadnienia naukowego – tezy pracy.**

Zagadnienie naukowe, jakim doktorant zajmuje się w pracy, poprawnie wpisuje się w tytuł rozprawy i zostało jasno sformułowane przez doktoranta. W szczególności obejmuje one badanie uwarunkowań technologicznych mających istotny wpływ na parametry oraz projektowanie pasywnych elementów występujących w antenach sub-THz, zwłaszcza w antenach z falą wyciekającą, realizowanych w technologii LTCC w pasmie częstotliwości 120-145 GHz. Tematyka pracy jest bardzo aktualna, gdyż wpisuje się w trend zajmowania coraz wyższych zakresów częstotliwości w celu zwiększania przepływności systemów komunikacji bezprzewodowej, co znajduje swoje potwierdzenie w przewidywanych planach częstotliwości przyszłych systemów 6G. Zakres sub-THz jest również atrakcyjny w zastosowaniach niekomunikacyjnych, takich jak obrazowanie oparte na radiolokacji i radiometrii wysokiej rozdzielczości do diagnostyki medycznej, monitorowania atmosfery, czy w systemach bezpieczeństwa. Ponadto, uzasadniony jest wybór technologii LTCC, gdyż od lat świetnie sprawdza się w zintegrowanych układach wielowarstwowych w zakresach mikrofalowych oraz fal milimetrowych, jednak możliwości jej wykorzystania na częstotliwościach powyżej 100 GHz nie zostały jeszcze dostatecznie zbadane.

Na podstawie wstępnych badań, doktorant sformułował następujące tezy, które są poprawnie skorelowane z tematyką i zakresem pracy:

- 1) Technologia LTCC może być zastosowana do opracowania i realizacji anten z falą wyciekającą pracujących w paśmie sub-THz.
- 2) Istotny wpływ na charakterystyki anten mają elementy przewodzące, które wymagają znaczącej poprawy jakości wytwarzanych warstw oraz ich przewodności.
- 3) Głównym ograniczeniem stosowania technologii LTCC do budowy anten z falą wyciekającą, pracujących w paśmie sub-THz jest sieć lub element zasilający antenę.

Rozprawa ma w zdecydowanej większości charakter doświadczalny, co bezpośrednio wynika z przyjętego zagadnienia naukowego, jednak tam gdzie to było konieczne, została uzupełniona analizą teoretyczną oraz obszernymi badaniami symulacyjnymi.



## 2. Analizy stanu wiedzy.

Analizę stanu wiedzy doktorant przeprowadził poprawnie na podstawie 110 pozycji literatury dzieląc ją na dwa obszerne rozdziały rozprawy zawierające przegląd konstrukcji anten sub-THz oraz analizę możliwości zastosowania technologii LTCC w zakresie sub-THz. Całość przedstawiona na 54 stronach świadczy o wystarczająco rozległej i dogłębnej wiedzy autora. Wnioski sformułowane zostały w sposób przekonujący i stanowią właściwe uzasadnienie postawionych tez pracy oraz dobry punkt wyjścia do rozwiązania zagadnienia badawczego.

## 3. Sposób rozwiązania zagadnienia naukowego.

Aby udowodnić postawione w rozprawie tezy, doktorant sformułował następujące cele pracy, które zostały poprawie wybrane:

- opracowanie oraz zbadanie przewodnic falowych wykonanych w technologii LTCC,
- zbadanie sposobu zasilania uziemionej linii koplarnarnej oraz przejść CPWG-SIW wykonanych w technologii LTCC dla zakresu sub-THz,
- zintegrowanie anten z odpowiednimi strukturami pobudzającymi,
- opracowanie stanowisk pomiarowych przystosowanych do zbadania wykonanych struktur LTCC.

Powyższe cele zostały osiągnięte, a tym samym pozwoliły rozwiązać postawione zagadnienie badawcze.

Ponieważ osią pracy jest badanie uwarunkowań technologicznych anten sub-THz, doktorant w przeważającej większości stosował metody doświadczalne. Jest to w pełni uzasadnione założenie, gdyż jedynie pomiary struktur testowych oraz wnikliwa inspekcja wizualna są w stanie wychwycić konsekwencje niedoskonałości procesu technologicznego rzutujące na parametry elektryczne badanych struktur. Ponadto, takie podejście umożliwia wskazać i ocenić istotne pod tym względem parametry oraz właściwości technologii LTCC, takie jak deformacje struktury w wyniku spiekania ultra-cienkich warstw folii ceramicznych czy duża porowatość powierzchni metalizowanych, które są szczególnie krytyczne przy bardzo małych wymiarach elementów struktury występujących w zakresie sub-THz. Aby właściwie opracować plan badań eksperymentalnych, doktorant przeprowadził szczegółową analizę możliwości i ograniczeń technologii LTCC w zakresie sub-THz.

Oprócz dominujących w rozprawie badań eksperymentalnych, doktorant szeroko stosował pełnofalowe symulacje elektromagnetyczne wykonywane za pomocą zaawansowanego pakietu oprogramowania do analizy 3D, jakim jest CST Microwave Studio. Narzędzie to zostało wybrane poprawnie, a samo wykorzystanie symulacji elektromagnetycznych jest jak najbardziej uzasadnione, a wręcz konieczne w przyjętej przez doktoranta procedurze badawczej. Symulacje służyły nie tylko do projektowania wszystkich struktur przeznaczonych do testów pomiarowych, ale również do generacji wyników referencyjnych, które pozwoliły wychwycić efekty nieidealności procesu technologicznego. Bardzo ciekawe i cenne były próby modelowania tych efektów poprzez deformacje geometrii modeli symulacyjnych na podstawie rzeczywistych kształtów i wymiarów wytworzonych struktur.

Na szczególną uwagę zasługuje fakt, iż doktorant znacznie poszerzył zakres badań w stosunku do tego, co sugerowałby tytuł rozprawy i nie ograniczył się do samych anten (przedstawione dopiero w końcowej części rozprawy na stronach 151-214), lecz znaczną część pracy poświęcił wnikliwym badaniom struktur zasilających anteny, w szczególności przewodnic falowych mikropaskowych i koplarnarnych (CPWG) oraz przejść z linii CPWG do falowodu zintegrowanego SIW. Doktorant słusznie zdecydował, aby szczególną uwagę poświęcić tak newralgicznym elementom przewodnic CPWG i SIW

oraz struktur wielowarstwowych jak metalizowane otwory. W odpowiedzi na ograniczenia technologiczne zaproponował i przebadął oryginalne rozwiązanie alternatywne, jakim są metalizowane rynienki realizujące zwarcie masy linii CPWG i falowodów SIW.

W części dotyczącej anten doktorant odniósł się do teorii projektowania anten z falą wyciekającą, weryfikując metodę opartą na przybliżeniu impedancyjnym w zakresie ponad 100 GHz za pomocą symulacji elektromagnetycznych i pomiarów.

Należy zaznaczyć, że wszystkie zadania badawcze zostały wykonane z sposób potwierdzający bardzo wysokie kompetencje doktoranta w szerokim zakresie obejmującym wiedzę teoretyczną i problemy związane z projektowaniem, symulacjami elektromagnetycznymi oraz realizacją i pomiarami wielowarstwowych struktur pasywnych w tak wymagających zakresach częstotliwości jak sub-THz.

#### **4. Oryginalność rozprawy w stosunku do stanu wiedzy i poziomu techniki**

Praca jest oryginalna, gdyż w ramach badań doktorant wykorzystywał uzyskane przez siebie wyniki oraz analizował zaprojektowane przez siebie elementy i układy. Ponadto, posługiwał się opracowanym przez siebie stanowiskiem pomiarowym. Pracę cechują też znaczna oryginalność pod względem nowości uzyskanych wyników w stosunku do stanu wiedzy, gdyż możliwości wykorzystania technologii LTCC w zakresie sub-THz nie zostały wcześniej dostatecznie zbadane, o czym świadczy przedstawiony przez doktoranta wnikliwy przegląd literatury. Doktorant stosował przy tym najnowocześniejsze narzędzia symulacyjne i pomiarowe, które gwarantują wysoką jakość uzyskanych wyników. Wybrane wyniki zostały zawarte w 13 publikacjach, w tym jednej w czasopiśmie JCR. Pozostałe pozycje stanowią komunikaty na konferencjach międzynarodowych i publikacje w czasopismach krajowych. Dorobek ten, choć nie jest imponujący, w wystarczającym stopniu potwierdza nowość przedstawionych w rozprawie wyników badań. Należy przy tym zaznaczyć, że eksperymentalne badania uwarunkowań technologicznych znanych technologii, nawet w nowym zakresie zastosowań, są dość trudne do publikowania, gdyż, mimo niezaprzeczalnej wartości pod względem poznawczym, na ogół nie są nastawione na proponowanie nowych rozwiązań dotyczących teorii, metod analizy, czy projektów i konstrukcji. Mimo to, sama rozprawa nie jest ich pozbawiona, gdyż doktorant zaproponował alternatywne rozwiązanie realizacji uziemienia za pomocą metalizowanych rynienek zamiast otworów.

#### **5. Ocena prezentacji wyników**

Rozprawa ma logiczną strukturę i jest bardzo starannie zredagowana. Autor pisze językiem zwięzłym i bardzo jasno prezentuje sam problem badawczy, poszczególne zadania badawcze oraz sposób ich rozwiązywania i wyniki. Uwagę zwraca bardzo duża liczba ilustracji własnych. Są to fotografie powiększonych detali zrealizowanych struktur ilustrujących nieidealności technologiczne, widoki geometrii realistycznych modeli symulacyjnych, liczne wykresy symulowanych i pomierzonych charakterystyk badanych struktur oraz szczegółowe fotografie stanowisk pomiarowych. Całość świadczy o bardzo rzetelnym podejściu do dokumentowania prezentowanej procedury badawczej. Mimo tych niezaprzeczalnych walorów redakcyjnych, autor nie ustrzegł się pewnej niespójności dotyczącej ilustracji zapożyczonych. Część z nich przywołuje źródłową pozycję literatury w samym podpisie, co jest wskazane, a część tylko w tekście.

## 6. Słabe strony rozprawy

Rozprawa zwraca uwagę czytelnika bardzo wnikliwym i kompletnym potraktowaniem rozwiązywanego problemu badawczego. Jest obszerna (zajmuje 242 strony), bardzo treściwa i pokazuje ogrom pracy włożonej w uzyskanie prezentowanych wyników, tym samym nie posiada istotnych słabych stron. Dwie rzeczy pozostawiają jednak pewien niedosyt. Pierwsza z nich nie dotyczy samej rozprawy i jest nią niezbyt imponujący dorobek publikacyjny pod względem rangi czasopism. Wśród 13 publikacji autor opublikował tylko jeden artykuł w czasopiśmie JCR, jednak można to wytłumaczyć doświadczalnym charakterem pracy, co zostało już wcześniej omówione w niniejszej recenzji. Drugą kwestią, która mogłaby zostać w rozprawie potraktowana szerzej to typy badanych anten. Autor ograniczył się do anten z falą wyciekającą i choć ich wybór jest uzasadniony, pozostawia bez odpowiedzi ważne pytania o możliwości realizacji innych konstrukcji anten w technologii LTCC. Recenzent całkowicie zdaje sobie przy tym sprawę z faktu, że uzupełnienie rozprawy o choć jeden dodatkowy typ anten, przy tak wnikliwej analizie nadmiernie poszerzyłby i tak znaczna objętość opracowania. Ponieważ aktualny zakres jest wystraszający pod względem oczekiwań wobec rozprawy doktorskiej, można by więc raczej zawęzić sam jej tytuł do „Anteny sub-THz z falą wyciekającą w technologii LTCC”. Nadmiernie ogólny tytuł nie jest jednak istotnym mankamentem pracy, gdyż świadczy o tym, jak trudna do przewidzenia była skala problemów związanych zastosowaniem technologii LTCC w zakresach tak wysokich częstotliwości jak sub-THz. Można wręcz doszukać się tu wartości pracy polegającej na tym, że rozwiązane zagadnienie było złożone, nietrywialne i wcześniej niedostatecznie zbadane.

## 7. Przydatność rozprawy dla nauk technicznych

Z powodu nietrywialnego i bardzo aktualnego problemu badawczego, który został rozwiązany rzetelnie i wnikliwie, rozprawa jest bardzo przydatna dla nauk technicznych. Rozprawa zawiera wartościową wiedzę praktyczną uzyskaną w wyniku pracochłonnych i kosztownych prac eksperymentalnych, która jest bardzo cenna dla projektantów anten i innych układów pasywnych w zakresie sub-THz. Z jednej strony otwiera nowe możliwości oferowane przez technologię LTCC, z drugiej wskazuje na jej ograniczenia pozwalając uniknąć kosztownych błędów projektowych.

## 8. Ocena końcowa rozprawy

Przedłożona do recenzji rozprawa porusza aktualny i oryginalny problem naukowy. Zaproponowane rozwiązanie jest oryginalne, poprawne i bardzo rzetelne przedstawione. Kandydat prezentuje obszerną wiedzę teoretyczną i praktyczną w zakresie projektowania, realizacji i pomiarów mikrofalowych układów pasywnych, zwłaszcza na częstotliwościach sub-THz, który mieści się w dyscyplinie Informatyka Techniczna i Telekomunikacja. Doświadczalny charakter pracy i bardzo wnikliwe rozwiązanie problemu badawczego składają się na jej dużą przydatność dla nauk technicznych. Reasumując, przedłożona do recenzji rozprawa mgr. inż. Przemysława Piaseckiego jest oryginalną i samodzielną pracą naukową **spełniająca wymagania** ustawowe stawiane pracom doktorskim. W związku z powyższym, wnioskuję o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

