Politechnika Warszawska
Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych

DZIEKAN I RADA WYDZIAŁU ELEKTRONIKI I TECHNIK INFORMACYJNYCH
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

zawiadamiają o

PUBLICZNEJ OBRONIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr. inż. Grzegorza Tomaszewskiego

która odbędzie się w dniu 5 listopada 2019 r. o godzinie 12.00

na Wydziale Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej
Gmach im. Janusza Groszkowskiego, Warszawa ul. Nowowiejska 15/19, w sali nr 116

Tytuł rozprawy doktorskiej*:* „Badanie uwarunkowań realizacji w druku strumieniowym wybranych struktur antenowych dla układów pozyskiwania energii"

promotor: dr hab. inż. Jerzy Potencki, prof. PRz Wydział Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej

recenzenci: prof. dr hab. inż. Leszek Golonka Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki Politechniki Wrocławskiej,

prof. dr hab. inż. Małgorzata Jakubowska Wydział Mechatroniki Politechniki Warszawskiej.

Na stronie internetowej wydziału **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.

Dziekan

prof. dr hab. inż. Krzysztof Zaremba

Instytut Technologii Elektronowej
Zakład Mikroelektroniki
Mgr inż. Grzegorz Tomaszewski

Streszczenie rozprawy doktorskiej

Badanie uwarunkowań realizacji w druku strumieniowym wybranych struktur antenowych dla układów pozyskiwania energii

Celem pracy było wykazanie, że znana z przemysłu poligraficznego metoda druku strumieniowego może być użyta z nowoczesnymi nanomateriałami w przemyśle elektronicznym do realizacji planarnych struktur antenowych mających zastosowanie w układach, w których występuje potrzeba pozyskiwania energii z pola elektromagnetycznego.
Cel pracy zrealizowano poprzez dokonanie szeregu badań w zakresie wyselekcjonowanej pod kątem danej aplikacji bazy materiałowej, a także sposobu prowadzenia procesu technologicznego i uzyskiwanych w tym procesie parametrów struktur.
Pierwsza część rozprawy zawiera charakterystykę bazy materiałowej możliwej do użycia do realizacji struktur antenowych oraz procesu druku strumieniowego. W drugiej części wskazano obszar elektroniki, w którym tą technologię można zastosować. Trzecia część zawiera przegląd rozwiązań technologiczno-konstrukcyjnych będących przedmiotem badań w literaturze tematu.
W kolejnych częściach doświadczalnych przeprowadzono badania w zakresie sposobu generacji kropel tuszu przez głowicę piezoelektryczną, rozpływu tuszu na różnych podłożach, dokładności odtwarzania wzorów na podłożu oraz parametrów prostych struktur uzyskiwanych w wyniku procesu druku strumieniowego. Na podstawie otrzymanych wyników wstępnych opracowano parametry procesów technologicznych, w których zrealizowano szereg różnych konstrukcji antenowych dla pasma częstotliwości HF i UHF. Parametry wykonanych anten zostały zmierzone i powiązane z aspektami materiałowo-technologicznymi. Wybrane konstrukcje anten porównano do identycznych konstrukcji wykonanych innymi alternatywnymi technologiami. Zrealizowane anteny pasywnych znaczników RFID poddano narażeniom klimatycznym i testom aplikacyjnym.
Przeprowadzone badania zostały silnie powiązane z dokładnością odtwarzania wzorów w czasie druku na podłożach foliowych i wpływem tej dokładności na parametry elektryczne finalnie uzyskiwanych struktur.
Badania wskazały, iż w druku strumieniowym można efektywnie wytwarzać struktury antenowe przeznaczone do pracy w układach, w których efektywny proces pozyskiwania energii jest niezbędny do działania układu elektronicznego. Uzyskane wyniki wskazują na mocne i słabe strony druku strumieniowego, a także typują obszary niezbędne do prowadzenia dalszych badań w stopniu pogłębionym dla upowszechnienia technologii.

Instytut Technologii Elektronowej
Department of Microelectronics
M.Sc.Eng. Grzegorz Tomaszewski

Abstract of PhD thesis

Investigation of the fabrication conditions of the antenna structures performed in inkjet printing technology for energy harvesting applications

The aim of the thesis was to confirm that inkjet printing method known from printing industry could be used in electronic industry for fabrication of planar antenna structures in radio-frequency energy harvesting applications.
The proper material base was selected in order to use for considered applications. Different investigations related to the considered technological processes and parameters of the printed structures were performed. The first part of the thesis contains the characterisation of the material base compatibility with the inkjet printing technology and planar antenna structure requirements. In the second part, the specific electronics areas, in which this technology could be used, were identified. The third part contains the technological and construction solutions overview which can be identified in the literature. In the following experimental parts, the studies of ink drop generation, ink spreading, accuracy of pattern transfer onto a substrate and parameters of inkjet printed simple structures were performed. Based on the obtained preliminary results, the parameters of technological processes for fabrication various antenna constructions for HF and UHF frequency range were elaborated. The parameters of structures were determined and referred to the material and technological aspects. The selected antenna solutions were compared with other analogues prepared in alternative technologies. The manufactured antennas of passive RFID tags were subjected to climatic exposures and application tests. The research was related to the projection accuracy of patterns during the printing on the foil substrates and it's influence on the electrical parameters of final structures. The research indicates that antenna structures for radio-frequency energy harvesting applications can be effectively manufactured in inkjet printing technology. The results show the advantages and disadvantages of inkjet printing technology and exhibit the research areas to conduct further attempts for this technology dissemination.

Prof. dr hab. inż. Małgorzata Jakubowska
Wydział Mechatroniki
Politechnika Warszawska

Warszawa, 27.08.2019

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

Mgr inż. Grzegorza Tomaszewskiego

pt. Badanie uwarunkowań realizacji w druku strumieniowym wybranych struktur antenowych dla układów pozyskiwania energii

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Grzegorza Tomaszewskiego pt. Badanie uwarunkowań realizacji w druku strumieniowym wybranych struktur antenowych dla układów pozyskiwania energii została wykonana Instytucie Technologii Elektronowej pod kierunkiem dr hab. inż. Jerzego Potenckiego.

Rozprawa ma charakter doświadczalno-technologiczny. Celem pracy było wszechstronne zbadanie procesu druku strumieniowego i określenie wpływu parametrów tego procesu na właściwości wytwarzanych tą techniką warstw oraz stwierdzenie przydatności tej techniki do wytwarzania elastycznego, planarnego przetwornika pozyskującego energię z pola elektromagnetycznego. Teza oraz cel pracy zostały jasno sformułowane, chociaż uważam, że wystarczyłby wyłącznie cel pracy. W pracach mających charakter technologiczny zwykle teza pokrywa się z celem. Bowiem powszechnie wiadomo, że technika druku strumieniowego jest od kilkunastu lat powszechnie stosowana do wytwarzania elementów elektroniki drukowanej na podłożach elastycznych takich jak folie polimerowe, papier czy tkaniny. Autor wykazał, że możliwe jest zastosowanie tej techniki do wytwarzania konkretnego przetwornika i to pokrywa się z celem pracy.

Rozprawa doktorska liczy 168 stron 6 stron składa się 9 rozdziałów pokazującego strategię druku. Na początku pracy podano także spis najważniejszych akronimów i symboli używanych w pracy. Wykaz literatury, umieszczony na końcu obejmuje 217 pozycji w większości aktualnych, z czego 9 to prace własne autora.

Analizę stanu wiedzy zawarto w rozdziale 2, gdzie na 36 stronach przedstawiono problematykę związana z technikami druku stosowanymi w elektronice drukowanej,

materiałami podłożowymi, procesem technologicznym druku strumieniowego, materiałami do druku strumieniowego oraz problematykę związaną z drugą częścią pracy , tzn. z pozyskiwaniem energii, w tym z pola elektromagnetycznego oraz systemami RFID. Analiza literaturowa została wykonana rzetelnie. Świadczy ona o dużej wiedzy Autora. Wnioski wynikające z tego rozdziału sformułowano prawidłowo i pozwoliły one na pokazanie motywacji rozprawy (rozdział 3) oraz sformułowanie tezy pracy (rozdział 4) i celu pracy (rozdział 5).

W dalszych rozdziałach stanowiących zasadniczą część rozprawy, Autor opisał stanowisko badawcze (rozdział 6), a w rozdziałach 7 i 8, które stanowią zasadnicza część pracy, Autor przedstawił wyniki swoich badań dotyczących badań techniczno-materiałowych elementów związanych z technika druku strumieniowego (rozdział 7) oraz badania związane z wytworzeniem i badaniem planarnych struktur antenowych (rozdział 9). Ostatni rozdział 9 to podsumowanie pracy.

Przedstawione wyniki badań wskazują, że Doktorant rozwiązał postawione zagadnienie. Metodą druku strumieniowego, na elastycznych podłożach, wytworzył struktury antenowe służące do przetworników pozyskiwania energii z pola elektromagnetycznego. Tym samym wykazała, że technika druku strumieniowego jest przydatna do wytwarzania tego rodzaju układów. A więc przyjęte przez Autora założenia są prawidłowe.

Samodzielny i oryginalny dorobek Autora stanowi opracowanie oryginalnej konstrukcji przetwornika do pozyskiwania energii metodami elektroniki drukowanej. Zagadnienie to zostało poprzedzone badaniami nad procesem druku strumieniowego, w tym metody obróbki materiałów podłożowych do druku, badania kompatybilności materiałów podłożowych i tuszów z procesem technologicznym, badania w zakresie doboru parametrów druku, badania wpływu warunków synteryzacji na wartości uzyskiwanej rezystancji powierzchniowej struktur wykonanych różnymi tuszami, badania środowiskowe struktur prostych wykonanych z różnymi parametrami procesu druku strumieniowego. W drugiej części pracy obejmującej wykonanie samej konstrukcji przetwornika Autor również wykonał kompleksowe badania technologiczne i szeroko zbadał wytworzona strukturę. W szczególności opracował parametry procesów technologicznych dla realizacji konstrukcji antenowych o różnych geometriach z wykorzystaniem różnych materiałów podłożowych, wykonał różne konstrukcje anten HF i UHF, oraz wykonał analizy symulacyjne wpływu defektów na parametry anten UHF. Autor porównał także właściwości wykonanych anten metodą druku strumieniowego z antenami wykonanymi innymi technikami.

To kompleksowe podejście do rozwiązywanego w pracy zagadnienie stanowi największą wartość pracy. Mnogość problemów które dostrzegł doktorant i które starał się rozwiązać jest godna uznania i plasuje tę rozprawę na światowym poziomie.

Autor w sposób niezwykle szczegółowy przedstawił wyniki swoich oryginalnych badań w rozdziałach 7 i 8 oraz opis stanowisk badawczych w rozdziale 6. Rozdziały te zawierają one 100 rysunków i 35 tabel. Rozprawa zawiera ogromny materiał, szczegółowy opis badań, wielką liczbę wyników. Jednak materiał ten nie został przedstawiony w sposób przejrzysty, przez co niezwykle trudna jest jego analiza. Brakuje podsumowań w poszczególnych rozdziałach. Brak również wniosków pod koniec każdego rozdziału i na końcu rozprawy. Również podsumowanie przedstawia osiągnięte rezultaty w sposób bardzo ogólny. Brak jest wniosków i przedstawienia konkretnych parametrów technologicznych, przy których Autor otrzymała najlepsze rezultaty.

Praca jest napisana poprawnym językiem, ale pod względem redakcyjnym posiada pewne mankamenty. Auror w wyodrębnia w podrozdziałach 2.1, 6.1 i rozdziale 10 tylko jedną podsekcję. Natomiast w rozdziale 2.6 brak jest podsekcji 2.6.1. Te usterki nie umniejszają jednak pozytywnej oceny całej pracy.

Do słabych stron pracy należy zaliczyć przeprowadzenie badań korzystając z opracowanego przez Autora „tuszu testowego", Opracowany przez doktoranta tusz składa się z kompozycji rozpuszczalników i surfaktantu oraz barwnika. Autor nie podał co to jest za barwnik, czy jest rozpuszczalny w kompozycji rozpuszczalników, a jeśli nie, to jaką ma wielkość ziarna. Tusz ten nie przewodzi prądu. Nie uwzględnienie w składzie metalicznej fazy stałej stanowi, moim zdaniem, błąd. Stosowane bowiem tusze do wytwarzania elementów elektronicznych tusze zawierają w znakomitej większości fazę funkcjonalną o określonych właściwościach elektrycznych, np. przewodzących, dielektrycznych, itp. Autor zresztą sam korzystał z tuszy zawierających nanosrebro do wytwarzania anten. Technika druku strumieniowego jest, w porównaniu z innymi technikami druku, bardzo czuła na zmiany składu używanego tuszu. Nawet niewielkie zmiany składu skutkują zmianą jego reologii, a zwłaszcza napięcia powierzchniowego, co pociąga za sobą konieczność dostosowania parametrów druku, aby wytworzyć warstwę o pożądanych właściwościach. Powoduje to diametralną zmianę zachowania tuszu w procesie druku strumieniowego oraz jego zachowania na podłożu. Szkoda więc, że przeprowadzając badania Autor nie próbował wprowadzić do opracowywanej kompozycji np. nanosrebra, które biorąc pod uwagę niewielką ilość zużywanego w czasie druku materiału nie jest aż tak bardzo kosztowne. Uzyskane wówczas przez Niego wyniki znacznie bardziej przystawałyby do technologii wytwarzanych drukiem strumieniowym elementów elektronicznych, a w prezentowanej postaci raczej są pomocne w druku elementów poligraficznych.

Kolejną słabą stroną pracy jest brak uzasadnienia dlaczego Autor użył takich, a nie innych materiałów i to zarówno przy opracowywaniu tuszu testowego, jak i wybierając inne materiały , w tym tusze nanosrebrowe do wytwarzania anten. Na stronie 75 autor opsuje wykorzystanie jednego rodzaju tuszu, a na stornie 100 opisuje wykorzystanie

innego. Dlaczego nastąpiła zmiana materiału. Autor nie podał także błędów pomiarowych, co uzasadniałoby przyjętą liczebność próbek.

Mimo tych usterek, stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Grzegorza Tomaszewskiego jest wartościową pracą naukową dla elektroniki, a zwłaszcza dla elektroniki drukowanej/ Jest to niezwykle szybko rozwijająca się gałąź elektroniki na świecie, która wykorzystuje techniki poligraficzne do wytwarzania elementów elektronicznych na giętkich podłożach, co skutkuje przede wszystkim niską ceną elementów, a także możliwością wytwarzania elektroniki wielkopowierzchniowej.

Wszystkie zagadnienia naukowe, postawione przez Autora zostały rozwiązane z wynikiem pozytywnym. Stanowi ona dowód wysokich umiejętności Autora, który wykazał się dobrym opanowaniem aktualnego stanu wiedzy z zakresu uprawianej dyscypliny. Przedstawione wyniki wskazują na to, że rozprawy cel został osiągnięty, a przedstawiona teza udowodniona. Całość pracy stanowi dobrze udokumentowany materiał badawczy uwieńczony pozytywnym wynikiem aplikacyjnym. Stanowi to ważny przyczynek do rozwoju elektroniki drukowanej.

Prezentowane w rozprawie wyniki badań zostały opublikowane w czasopismach polskich i zagranicznych w sumie w 18 artykułach, niektórych z listy JCR oraz były prezentowane na wielu międzynarodowych konferencjach.

Biorąc powyższe pod uwagę oraz szerokie spektrum przeprowadzonych badań stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr Grzegorza Tomaszewskiego pt. Badanie uwarunkowań realizacji w druku strumieniowym wybranych struktur antenowych dla układów pozyskiwania energii spełnia z nadmiarem wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy przez Ustawę z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki i wnoszę o dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.

M Molinkowska

Prof. dr hab. inż. Leszek Golonka
Politechnika Wrocławska
Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki

30.07.2019 r.

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

Tytuł rozprawy: Badanie uwarunkowań realizacji w druku strumieniowym wybranych struktur antenowych dla układów pozyskiwania energii

Autor rozprawy: mgr inż. Grzegorz Tomaszewski

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)?

Autor pracy zamieszcza bardzo długą tezę rozprawy: "Technika druku strumieniowego będąca metodą zaczerpniętą z przemysłu poligraficznego umożliwia realizację elastycznego, planarnego przetwornika pozyskującego energię z pola elektromagnetycznego w wybranym paśmie częstotliwości, natomiast baza materiałowa i sposób prowadzenia procesu technologicznego, w którym ten przetwornik jest wytwarzany, mają istotny wpływ na jego parametry i efektywność procesu pozyskiwania energii". Głównym celem pracy jest wykazanie, że metoda druku strumieniowego może być zastosowana w przemyśle elektronicznym do wytwarzania planarnych struktur antenowych mających zastosowanie w układach, w których występuje potrzeba pozyskiwania energii z pola elektromagnetycznego. Teza i cel pracy zostały jasno sformułowane przez Autora. Rozprawa doktorska ma charakter doświadczalny.

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 przekonywujący?

W rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę literatury światowej. Spis publikacji zawiera 217 pozycji (w tym 9 prac własnych). Cytowano 78 pozycji z lat 2014-2019. W rozdziale 2 „Analiza literatury i stanu wiedzy" opisano techniki druku strumieniowego i materiały podłożowe oraz podano aktualne informacje o różnych tuszach drukarskich stosowanych do wykonywania układów elektronicznych. W rozdziale przedstawiono również problematykę związaną z drugą częścią rozprawy – opisano sposoby pozyskiwania energii z pola elektromagnetycznego i dokonano przeglądu anten będących planarnymi przetwornikami energii. Omówiono zastosowanie anten w systemach RFID. Na końcu rozdziału przedstawiono struktury antenowe wykonywane techniką druku strumieniowego. Ponadto, na podstawie danych literaturowych, opisano systemy RFID oraz różne mechanizmy transmisji energii do identyfikatora. Zaprezentowany stan wiedzy i opis zastosowań w praktyce świadczy o dużej wiedzy Autora. Wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonywujący.

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

Autor rozwiązał postawione zagadnienia. Przyjęte założenia były uzasadnione. Zostały użyte właściwe metody badania procesu druku strumieniowego, przygotowania powierzchni podłoży, określenia właściwości naniesionych warstw, pomiaru parametrów elektrycznych wykonanych anten i elementów elektronicznych oraz określenia wpływu narażeń klimatycznych na te parametry. Wykazano, że metoda druku strumieniowego może być zastosowana w przemyśle elektronicznym do wytwarzania planarnych struktur antenowych mających zastosowanie w układach, w których występuje potrzeba pozyskiwania energii z pola elektromagnetycznego. Planarne anteny zostały wykonane na elastycznych podłożach. Tą samą metodą wykonano na podłożach inne elementy układu elektronicznego. Opracowano sposób obróbki powierzchni podłoży umożliwiający druk strumieniowy, dobrano odpowiednie parametry druku i procesu obróbki termicznej naniesionej warstwy.

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?**

Samodzielny i oryginalny dorobek Autora stanowią wyniki przeprowadzonych przez Niego badań nad procesem druku strumieniowego elementów elektronicznych. Określono przydatność tuszy zawierających różne materiały typowe i nanomateriały, opracowano metody obróbki powierzchni materiałów podłożowych, dokładnie analizowano proces druku strumieniowego, przeprowadzono analizę wpływu warunków procesu termicznego wygrzewania na właściwości warstw. Wykonano różne konstrukcje anten HF i UHF oraz zmierzono ich właściwości elektryczne. Przeprowadzono badania starzeniowe i określono wpływ narażeń klimatycznych na parametry elektryczne anten. Autor wykonał oryginalne badania termiczne pozwalające na określenie defektów w warstwie oraz badania symulacyjne wpływu różnych czynników na parametry elektryczne anten. Interesujące są badania sprawności odczytu wykonanych pasywnych identyfikatorów UHF. Autor rozprawy opracował procesy technologiczne wytwarzania metodą druku strumieniowego na elastycznym podłożu planarnych struktur antenowych umożliwiających pozyskiwanie energii z pola elektromagnetycznego. Interesujące jest porównanie właściwości anten wykonanych różnymi technikami. Poziom rozprawy odpowiada stanowi wiedzy i techniki reprezentowanym w literaturze światowej.

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

Autor zamieścił bardzo dużą ilość wyników prac doświadczalnych. Podstawowe informacje o badaniach technologiczno - materiałowych (rozdział 7) zostały zamieszczone na 56 stronach, 54 rysunkach i w 9 tabelach. Opis przeprowadzonych badań jest bardzo szczegółowy. Omówiono dokładnie aparaturę technologiczną i pomiarową oraz stosowane metody badawcze. Autor poprawnie przedstawił uzyskane przez siebie wyniki, ale ze względu na ich ilość i sposób opisu są one trudne do analizy. Powinna być większa zwięzłość i jasność prezentacji uzyskanych przez Autora wyników. Moim zdaniem analiza wyników mogła być napisana bardziej przejrzyście z wyraźnym podaniem najodpowiedniejszych (według Autora) procesów technologicznych i ich parametrów.
Rozprawa jest napisana poprawnie pod względem redakcyjnym.

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

Słabą stroną rozprawy jest nie wykorzystanie metody planowania eksperymentu (DOE) w celu doboru parametrów druku strumieniowego. Rozprawa doktorska jest napisana poprawnie pod względem edytorskim, zawiera jedynie pojedyncze usterki redakcyjne, np.: brak skali na rys. 7.89, błąd w opisie osi y na rys. 8.120 b, opis na rysunku 8.144 b nieczytelny, niekompletna informacja w spisie literatury pozycje [177], [181]. W niektórych miejscach budzi zastrzeżenia język polski („większa temperatura", „większe częstotliwości"). Brakuje podsumowań z podaniem dokładnych danych na temat najważniejszych rezultatów badań na końcu każdego z rozdziałów. Przedstawiono bardzo dużą ilość wyników doświadczalnych i dlatego końcowe podsumowania powinny być bardziej szczegółowe, a nie ogólne. Jest to konieczne dla jasności obrazu wykonanych badań i wynikających z nich informacji. W końcowym rozdziale „9. Podsumowanie" wymieniono kilkadziesiąt wykonanych badań. Przedstawiono bardzo ogólne wnioski. Nie umieszczono konkretnych parametrów i informacji z wykonanych prac.

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Przedstawiona rozprawa stanowi obszerny raport z przeprowadzonych prac technologicznych i wykonanych badań. Prezentowane wyniki są wartościowe i ważne z punktu widzenia możliwości zastosowania w praktyce. Doktorant osiągnął założone cele. Tematyka rozprawy jest aktualna. Za najważniejsze osiągnięcia Autora rozprawy uważam opracowanie procesów technologicznych wytwarzania metodą druku strumieniowego na elastycznym podłożu planarnych struktur antenowych umożliwiających pozyskiwanie energii z pola elektromagnetycznego, wykonanie anten i określenie ich właściwości.

8. Do której z następujących 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

Rozprawę zaliczam do prac spełniających wymagania z wyraźnym nadmiarem.

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

podpis