

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 w 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 związaną 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 zasadniczą część pracy, Autor przedstawił wyniki swoich badań dotyczących badań techniczno-materiałowych elementów związanych z techniką 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. Autor 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 pożądanym 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 stronie 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 czasopiśmie 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. Jolubowska