

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. Michała Marzęckiego

która odbędzie się w dniu 5 listopada 2019 r. o godzinie 10.00

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

Tytuł rozprawy doktorskiej: „Opracowanie konstrukcji i parametrów technologicznych zintegrowanego detektora punktu rosy wykonanego w technice druku strumieniowego”

promotor: prof. dr hab. inż. Ryszard Jachowicz Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Warszawskiej

recenzenci: prof. dr hab. inż. Antoni Nowakowski Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej,

prof. dr hab. inż. Katarzyna Zakrzewska 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 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

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ dla RADY WYDZIAŁU ELEKTRONIKI
I TECHNIK INFORMACYJNYCH POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

„Opracowanie konstrukcji i parametrów technologicznych zintegrowanego detektora punktu rosy wykonanego w technice druku strumieniowego”
magistra inżyniera **Michała Marka Marzęckiego**

Recenzja ma charakter odpowiedzi na pytania kwestionariusza RW ETI PW.

Ad.1.

Doktorant zdefiniował *explicite* jako główny **cel rozprawy** „*opracowanie optymalnej konstrukcji zintegrowanego detektora punktu rosy (ZDPR) w oparciu o komputerowe modelowania i symulacje pracy jego elementów składowych oraz opracowanie optymalnych parametrów technologicznych składających się na cały proces wytwarzania.*”

Ponadto zdefiniował cele poboczne:

- *opracowanie modelu numerycznego ZDPR na potrzeby optymalizacji konstrukcji oraz analizy rozkładu temperatury i transportu ciepła;*
- *opracowania procedur technologicznych do wytwarzania zaprojektowanych elementów – detektora molekuł wody, termorezystora i grzejnika na ceramicznej powierzchni ogniwa Peltiera;*
- *określenie parametrów i zakresu działania opracowanego higrometru punktu rosy.*

Podjął się udowodnienia następującej tezy rozprawy:

Przy zastosowaniu druku strumieniowego można wykonać wielowarstwową strukturę zintegrowanego detektora punktu rosy bezpośrednio na ogniwie Peltiera.

Zdefiniował też tezy pomocnicze – *możliwe jest wykonanie drukowanych w technologii druku strumieniowego:*

- *detektora molekuł wody;*
- *czujników temperatury;*
- *elementów grzewczych.*

Rozprawa omawia istotne problemy nowoczesnych technologii czujników pomiarowych, a uwaga skupiona jest na technologii elektroniki drukowanej. Zdefiniowane cele rozprawy i tezy są sformułowane jasno i jednoznacznie. Praca ma charakter konstrukcyjno-technologiczny, zawiera też elementy badań analitycznych w postaci opracowania numerycznych modeli podzespołów przetwornika pomiarowego i analiz symulacyjnych pracy tych podzespołów, w celu optymalizacji ich konstrukcji.

Ad. 2.

Wprowadzenie do tematyki pracy oparte na przeglądzie literatury jest omówione na około trzydziestu stronach rozdziału trzeciego, zawierających opis znanych technik drukarskich w elektronice drukowanej, przegląd stosowanych materiałów i zastosowań elektroniki drukowanej. Kolejne dziesięć stron rozdziału czwartego poświęcono omówieniu stanu wiedzy w zakresie działania i konstrukcji higrometrów punktu rosy. W tym zakresie doktorant miał uproszczone zadanie, gdyż laboratorium prof. Jachowicza, w którym realizowana jest praca doktorska, jest uznanym światowym liderem w zakresie takich przetworników, a konstrukcja będąca przedmiotem rozprawy całkowicie opiera się na wcześniejszym higrometrze ze scaloną strukturą MEMS oraz na drukowanym układzie prototypowym, którego konstrukcję opisano w 2015 roku. Literatura światowa dotycząca technologii czujników i elektroniki drukowanej obejmuje wiele set pozycji, a Doktorant skupił uwagę na przeglądzie jedynie wybranych z nich, reprezentujących nie wszystkie najważniejsze cytowania, można jednak uznać, że ograniczony wybór jest uzasadnionym rozwiązaniem, gdyż tekst rozprawy powinien być zawarty w rozsądnej objętości. Prezentowany w rozprawie przegląd literatury obejmuje 73 pozycje bibliograficzne z okresu głównie ostatnich dziesięciu lat, a więc pokazuje aktualny stan badań oraz 12 oryginalnych, współautorskich prac własnych, z których dwie najważniejsze, bo opisujące wyniki prac zrealizowanych w trakcie badań doktorskich, są sygnowane na pierwszym miejscu nazwiskiem autora dysertacji. Cytowana literatura świadczy o dostatecznej wiedzy autora, a przedstawione wnioski są prawidłowo wykorzystane w części badawczej rozprawy. W bazie WoS przy nazwisku Michał Marzęcki wymieniono 11 prac, 20 cytowań; h=3.

Ad. 3.

Odpowiedź na zadane pytania brzmi – tak, autor rozwiązał postawione zadania i osiągnął założone cele stosując właściwe metody, przy prawidłowo przyjętych założeniach. Doktorant skupił uwagę na następujących problemach:

1. opracował model numeryczny zintegrowanego detektora punktu rosy na potrzeby optymalizacji konstrukcji zawierającej struktury: ogniwo Peltiera, grzejnik, termorezystor i detektor molekuł wody oraz przeprowadził szereg analiz pracy tych podzespołów na drodze symulacji rozkładu temperatury i transportu ciepła w warunkach ustalonych i dynamicznych, w różnych konfiguracjach geometrycznych i strukturalnych; modelowanie i badania symulacyjne wykonał z wykorzystaniem chyba najbardziej obecnie popularnej platformy COMSOL Multiphysics;
2. opracował projekt grzejnika na podstawie symulacji różnych jego powierzchni, kształtów, w tym szerokości elektrod, na drodze analizy rozkładów potencjału, rozkładów temperatury i prędkości nagrzewania i chłodzenia; najlepsze wyniki uzyskał dla grzejnika wykonanego na samodzielnej warstwie pokrywającej całą powierzchnię ogniwa Peltiera;
3. opracował projekt termorezystora; najkorzystniejsze właściwości metrologiczne ma rozwiązanie z rozdzielonymi w różnych płaszczyznach czujnikami; prawdziwym problemem jest stabilność czasowa parametrów drukowanego termorezystora, co dotyczy dalszych badań;
4. opracował projekt konstrukcji detektora molekuł wody, optymalnym okazał się klasyczny symetryczny czujnik impedancji elektrycznej;

5. najistotniejszym z punktu widzenia praktycznego wykonania higrometru o parametrach nadających się do wdrożenia było opracowanie procedur technologicznych do wytwarzania zaprojektowanych elementów – detektora molekuł wody, termorezystora i grzejnika na ceramicznej powierzchni ogniwa Peltiera; doktorant sprawdził w eksperymentach laboratoryjnych szereg opcji technologicznych, jak wydruk grzejnika na ceramice, wpływ orientacji wydruku, procedury utwardzania tuszu, wydruk warstw dielektrycznych, wydruk termorezystora, wreszcie wydruk detektora molekuł wody. Sprawdził stabilność wydrukowanych struktur i przeprowadził kompleksowe pomiary ich właściwości, m.in. badając termograficznie rozkłady temperatury jak i właściwości elektryczne czujników. Wykazał przydatność praktyczną skonstruowanego prototypu zintegrowanego detektora punktu rosy;
6. określił parametry i zakres działania opracowanego higrometru punktu rosy.

Ad. 4.

Przeprowadzone badania wykazują, że cel pracy, jakim było *opracowanie optymalnej konstrukcji zintegrowanego detektora punktu rosy (ZDPR) w oparciu o komputerowe modelowanie i symulacje pracy jego elementów składowych oraz opracowanie optymalnych parametrów technologicznych składających się na cały proces wytwarzania* został osiągnięty. Problem jest aktualny i ważny z praktycznego punktu widzenia potencjalnych aplikacji diagnostycznych metody w tanich i masowo produkowanych drukowanych higrometrach punktu rosy. Zaproponowane podejście jest nowatorskie i ważne, w związku z możliwością zastosowania opracowanej metody do szybkich pomiarów wilgotności, np. w domowych stacjach hydrologicznych. Udowodnienie praktycznej przydatności zaproponowanej technologii drukowanej do wytwarzania higrometrów punktu rosy wystarcza z punktu widzenia uznania rozprawy doktorskiej. Przeprowadzone prace niewątpliwie mają charakter badań naukowych o charakterze doświadczalnym i technologicznym, popartym stosownymi konstrukcjami i rozważaniami analitycznymi. Zastosowane metody badań odpowiadają aktualnemu poziomowi prac na świecie.

Niewątpliwie ciągłe pomiary wilgotności należą do nowoczesnej dziedziny metod pomiarowo-diagnostycznych, mają szerokie aplikacje praktyczne m.in. w określaniu komfortu w środowisku pracy i w domu i są w ostatnich latach intensywnie rozwijane. Zastosowane środki techniczne jak i opracowane procedury okazały się efektywne i jak wykazano w części eksperymentalnej, z powodzeniem mogą być zastosowane w praktyce pomiarowej. Warto podkreślić, że opracowanie technologii wytwarzania elektroniki drukowanej i wymienionych procedur testowych wiązało się z koniecznością zestawienia zaawansowanych technicznie stanowisk technologiczno-pomiarowych, jak i wykonania szeregu badań z użyciem opracowanego, zaawansowanego i nowoczesnego sprzętu. Wykonanie badań wymagało też poznania i zrozumienia procesów zachodzących w testowanych układach w warunkach statycznych i dynamicznych. Dla przeprowadzenia stosownej analizy Doktorant opracował modele badanych struktur i dokonał analizy ich pracy w celu doboru zoptymalizowanych parametrów procedur testowych. Podsumowanie rozprawy obejmuje dyskusję wyników i jest zakończone wnioskami, co do praktycznej przydatności przeprowadzonych badań.

Reasumując, stosując prawidłowe metody analizy, w tym opracowane własne modele cyfrowe i badania symulacyjne, Autor udowodnił zasadność postawionych założeń i wartość zaproponowanych technologii, jak i możliwość praktycznej aplikacji zaproponowanej metody,

a więc rozwiązał postawiony problem naukowy, który ma odniesienie do praktyki pomiarów wilgotności w wielu zastosowaniach praktycznych i w diagnostyce, np. meteorologicznej.

Za najważniejsze oryginalne osiągnięcia uważam następujące elementy rozprawy:

1. udowodnienie tezy rozprawy: *Przy zastosowaniu druku strumieniowego można wykonać wielowarstwową strukturę zintegrowanego detektora punktu rosy bezpośrednio na ogniwie Peltiera.*
2. opracowanie modeli numerycznych i przeprowadzenie badań symulacyjnych podzespołów ZPDP w celu optymalizacji ich konstrukcji;
3. opracowanie i wykonanie specjalistycznej aparatury technologicznej i pomiarowej umożliwiających przeprowadzenie badań laboratoryjnych i praktyczną weryfikację zaproponowanych rozwiązań;
4. określenie warunków optymalizacji pobudzeń dla pomiarów sondy higrometru punktu rosy;
5. udowodnienie tez pomocniczych – *możliwe jest wykonanie drukowanych w technologii druku strumieniowego:*
 - *detektora molekuł wody;*
 - *czujników temperatury;*
 - *elementów grzewczych.*

Warto podkreślić znaczenie praktyczne rozprawy, gdyż jej wyniki mogą być bezpośrednio wdrożone w produkcji nowoczesnych systemów i tanich aplikacji elektroniki strumieniowej.

Ad. 5.

Warto odpowiedzieć na pytanie, czy rozprawa napisana jest poprawnie językowo i stylistycznie? Generalnie, praca jest napisana starannie, szata graficzna rozprawy jest przejrzysta, a zaprezentowane rysunki, fotografie i wykresy są w zasadzie starannie opracowane i czytelne. Język pracy jest poprawny. Usterki edycyjne są typowe i nie odbiegają poziomem od innych dysertacji doktorskich. Zaproponowaną metodologię można uznać za prawidłową. Niedosyt budzi momentami zbyt zwięzła, jak na rozprawę doktorską prezentacja wyników prowadzonych badań i prezentacji wyników eksperymentów, o czym w kolejnym punkcie.

Ad.6.

Odpowiedź jakie są wady i słabe strony rozprawy poniżej.

- Opis nie uwzględnia jasnego wskazania jaki jest wkład własny Autora rozprawy w wykonanie poszczególnych fragmentów pracy. Wszystkie cytowania prac własnych wskazują na zespołowy charakter pracy, a na podstawie cytowanych pozycji nie wiadomo, gdzie wkład Doktoranta jest rzeczywiście autorski. Proszę o jednoznaczne deklaracje, które pomysły i badania są autorstwa Doktoranta, które uważa za oryginalne i ważne badawczo.

- Warto było jasno wskazać w założeniach projektowych 5.1, które konstrukcje wcześniej opracowanego w zespole prof. Jachowicza scalonego higrometru stanowią inspirację pracy i jak wygląda algorytm cyklu pomiarowego. Obecnie opis wygląda sztucznie, rysunki 40 i 41 to nie są schematy ilustrujące wpływ błędu, a po prostu przebiegi czasowe temperatury i pojemności w trakcie pracy higrometru. Powinny one być jednoznacznie związane z obszarami konstrukcyjnymi, co ułatwiłoby czytanie tekstu.
- Punkt 5.2.2 i kolejne – proszę o podanie szczegółów opracowanych modeli cyfrowych.
- Nie opisano procedury kalibracji pomiaru ani nie porównano uzyskanych parametrów z oryginałem scalonego higrometru punktu rosy. Kiedy zastosować technologię strumieniową, a kiedy scalony higrometr?
- Brakuje szczegółów pozwalających na pełną ocenę wartości proponowanej technologii – ile czasu trwają poszczególne fazy wytwórcze, jakie są praktyczne ograniczenia metody itd?
- Tab. 2 – czy to rzeczywiście psychometr?

Przedstawione uwagi mają znaczenie drugorzędne i nie wpływają na pozytywną ocenę rozprawy doktorskiej.

Ad.7.

Rozprawa stanowi raport z przeprowadzonych badań i pozwala na stwierdzenie, że Doktorant wykazał, iż cel rozprawy, jakim było *Opracowanie konstrukcji i parametrów technologicznych zintegrowanego detektora punktu rosy wykonanego w technice druku strumieniowego* jest ważny i możliwy do osiągnięcia w rozwiązaniach praktycznych, a weryfikacja metody na drodze symulacji eksperymentów w celu optymalizacji podzespołów konstrukcji i praktyczne wykonanie prototypowych konstrukcji potwierdzają osiągnięcie założonego celu i udowodnienia tez rozprawy, a więc **potwierdzają możliwość wdrożenia taniej technologii elektroniki strumieniowej do produkcji higrometru punktu rosy.**

Ad.8.

Biorąc pod uwagę opublikowanie wyników badań w czasopiśmie Sensors and Actuators B-Chemical – pierwszy autor doktorant i promotorzy, IF 5,4, rozprawę zaliczam do kategorii e/ wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie.

Biorąc pod uwagę przedstawioną powyżej, pozytywną ocenę rozprawy doktorskiej Pana Michała Marzęckiego wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Prof. dr hab. inż. Antoni Nowakowski



Prof. dr hab. inż. Katarzyna Zakrzewska

.....
tytuł, stopień, mię i nazwisko

14.09.2019

.....
data

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica
w Krakowie, Wydział Informatyki, Elektroniki
i Telekomunikacji, Katedra Elektroniki
miejsce pracy

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

Tytuł rozprawy:

**„Opracowanie konstrukcji i parametrów technologicznych zintegrowanego
detektora punktu rosy wykonanego w technice druku strumieniowego”**

Autor rozprawy: **mgr inż. Michał Marek Marzęcki**
Promotor: **prof. dr hab. inż. Ryszard Jachowicz**
Promotor pomocniczy: **dr inż. Grzegorz Tarapata**

1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy (teza rozprawy) i czy zostało on dostatecznie jasno sformułowane przez Autora?

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska porusza istotne z praktycznego punktu widzenia zagadnienie wykonania wielowarstwowego czujnika punktu rosy do detekcji molekuł wody. Autor wybrał w tym celu technologię druku strumieniowego. Celem naukowym tej rozprawy według Autora jest „*opracowanie optymalnej konstrukcji zintegrowanego detektora punktu rosy (ZDPR) w oparciu o komputerowe modelowanie i symulacje pracy jego elementów składowych oraz opracowanie optymalnych cząstkowych parametrów technologicznych wytwarzania tych detektorów poprzez wielokrotne modyfikowanie procesów technologicznych składających się na cały proces wytwarzania*”. Autor osiąga ten cel poprzez opracowanie modelu numerycznego drukowanych detektorów i ich elementów składowych, opracowanie procedur technologicznych prowadzących do wytworzenia detektora na ceramicznej powierzchni ogniwa Peltiera, określenie parametrów pracy i zakresu działania urządzenia. Zasadnicza teza pracy została jasno sformułowana przez Autora w brzmieniu: „*Przy zastosowaniu druku strumieniowego można wykonać wielowarstwową strukturę zintegrowanego detektora punktu rosy bezpośrednio na ogniwie Peltiera*”. Autor rozprawy wyszczególnia również tezy (hipotezy) pomocnicze rozróżniając trzy zasadnicze elementy zintegrowanego higrometru tj. detektor H₂O, czujnik temperatury i element grzewczy. W mojej opinii tak postawiona teza rozprawy została udokumentowana badaniami przedstawionymi w dalszej części rozprawy.

2. Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, konstrukcyjny)?

Rozprawa ma zasadniczo charakter konstrukcyjny. Jednak opiera się na dogłębnej analizie teoretycznej i nie brak jej elementów stanowiących o jej aspekcie doświadczalnym. Wynika to z układu pracy, która składa się z części wprowadzającej i literaturowej (Rozdz. 1-4), części projektowej (Rozdz. 5), części technologicznej (Rozdz. 6) oraz części eksperymentalnej opisującej testowanie skonstruowanego urządzenia (Rozdz. 7). Część projektowa obejmuje zarówno założenia przyjęte przez Doktoranta jak i symulacje numeryczne zarówno grzejnika, jak i termorezystora oraz detektora molekuł wody przeprowadzone przez Autora pracy. W części technologicznej opisano szczegółowo trudności jakie towarzyszą wydrukowi elementów składowych ZDPR i podano przyjęte rozwiązania. Część eksperymentalna została potraktowana dość skrótowo i obejmuje badania właściwości cieplnych (7.1), pomiarowych detektora molekuł wody (7.2) i funkcjonalnych ZDPR (7.3). Taki układ pracy świadczy o kompleksowym podejściu Doktoranta do rozwiązania postawionego problemu.

3. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł (w tym literatury światowej i stanu zagadnień w przemyśle) świadczących o dostatecznej wiedzy autora. Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

Bibliografia rozprawy obejmuje 73 referencje w tym odnośniki do istotnych dla tematu pracy publikacji w czasopismach o zasięgu międzynarodowym jak i do materiałów dostępnych na stronach internetowych. Prawidłowa analiza źródeł świadczy o odpowiedniej wiedzy Autora rozprawy w tej dziedzinie. Wnioski z przeglądu literatury zostały przedstawione w sposób czytelny i uzasadniony.

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

Bazując na wcześniejszych doświadczeniach z zastosowaniem technologii drukowanej do konstrukcji higrometru punktu rosy na elastycznej folii (praca G. Tarapata, M. Marzęcki, R. Selma, D. Paczesny, and R. Jachowicz, *Novel dew point hygrometer fabricated with inkjet printing technology*, *Procedia Eng.*, vol.120, pp. 1099-1102, 2015) Doktorant podjął próbę wykorzystania druku strumieniowego do wykonania ZDPR bezpośrednio na podłożu ceramicznym. Motywacją do podjęcia tych działań były, jak opisano w § 4.3 pt. *Drukowany higrometr punktu rosy*, niezadawalająca dokładność pomiaru punktu rosy i długi czas odpowiedzi pierwszego detektora wykonanego w 2015 r. na podłożu elastycznym. Technologia drukowana została zastosowana przez Autora rozprawy jako alternatywa do technologii półprzewodnikowych, wykorzystywanych w czujnikach MEMS z powodu prostoty i niższego kosztu. W rozdziale 1 Wstęp czytamy: „*W niniejszej pracy autor stara się wyjść naprzeciw tym trendom, adaptując konstrukcję mikrosystemu zaprojektowanego dla technologii półprzewodnikowej do produkcji w technologii drukowanej. Technologia drukowana, choć z definicji przeznaczona do produkcji nieskomplikowanych elementów i układów, użyta została do wytworzenia złożonego i precyzyjnego urządzenia pomiarowego*”. Doktorant używa określenia „*ambitny plan*” w odniesieniu do realizacji tego zadania z czym można się w pełni zgodzić. Trudnością była „*konieczność opracowania całego ciągu technologicznego i zastosowanie nietypowego w technologii drukowanej podłoża ceramicznego*”. Autor rozprawy opisuje szczegółowo założenia projektowe, model struktury detektora, przeprowadzone symulacje komputerowe, realizację rzeczywistego detektora oraz jego testowanie. Metody i założenia przyjęte w pracy są uzasadnione.

5. 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.

Oryginalność rozprawy polega na wykorzystaniu metody druku strumieniowego do wytworzenia skomplikowanego detektora punktu rosy złożonego z trzech elementów na podłożu ceramicznym. Podłoże to stwarza wiele problemów w przypadku tego typu technologii nanoszenia ze względu na procesy wnikanania osadzanego materiału do wnętrza podłoża i rozpyływanie się po powierzchni. Tego

typu trudności Autor rozprawy napotkał, przeanalizował i znalazł pewne optymalne rozwiązania. Samodzielny i oryginalny wkład Autora to rozwiązanie problemu konstrukcji detektora nie metodami „prób i błędów” jak to często można zaobserwować lecz w sposób metodyczny prowadząc analizę numeryczną każdego elementu detektora. Tematyka rozprawy mieści się w głównym nurcie badań w tej dziedzinie prowadzonych w renomowanych ośrodkach naukowych na świecie. Pewnym niedociągnięciem przygotowanej rozprawy jest brak bezpośredniego porównania wyników własnych z obecnymi osiągnięciami tych ośrodków. Odniesieniem dla Doktoranta jest działalność naukowa grupy, z którą pracuje czyli szeroko cytowane prace Profesora Ryszarda Jachowicza. To podejście jest zrozumiałe lecz oczekiwałoby się od Doktoranta szerszej analizy porównawczej.

Do najważniejszych osiągnięć rozprawy należy zaliczyć:

- Przeprowadzenie szczegółowych symulacji (przy użyciu oprogramowania opartego na metodzie elementów skończonych COMSOL Multiphysics) pracy grzejnika, termorezystora i detektora molekuł wody analizując wpływ wielu parametrów w tym przede wszystkim geometrii elektrod, na rozkład temperatury i błędy pomiarowe.
- Opracowanie teoretyczne trzech modeli (konstrukcji) ZDPR powiązane z analizą ich przydatności do pracy w warunkach rzeczywistych
- Wykonanie detektora ZDPR i przeprowadzenie testów jego pracy w warunkach laboratoryjnych. Uzyskanie wystarczająco dobrych parametrów pracy: zakres pomiaru punktu rosy od -4°C do 20°C z dokładnością $0,5\text{ K}$ i czasem odpowiedzi $0,5\text{ s}$.

6. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjną rozprawy)?

Autor rozprawy w jej pierwszej części skupił się na uzasadnieniu podjętych działań w zakresie technologii drukowanej w tym metod i materiałów oraz zastosowań. Należy przyznać, że zrobił to w sposób przekonujący lecz znacznie wykraczający poza zakres tematyczny rozprawy. Dla przykładu, w § 3.3 pt. „Zastosowania elektroniki drukowanej” oprócz czujników Autor analizuje w moim odczuciu zbyt szczegółowo ogniwa fotowoltaiczne, wyświetlacze i anteny. W ten sposób praca traci zwięzłość lecz przyznać należy, że układ rozprawy jest prawidłowy i jasny dla czytelnika. Strona redakcyjna rozprawy wymaga dopracowania. Uważne przeczytanie pracy przed jej ostatecznym złożeniem pozwoliłoby uniknąć wielu „literówek”. Podpisy pod rysunkami nie są czytelne ze względu na przyjęty format. W podpisach nie zawsze znajdujemy źródło np. Rys.3-5, Rys.12, Rys. 33-34. Wydaje się, że legenda dotycząca P_g na Rys.114 została błędnie przypisana danym. Na tym samym rysunku początkowa temperatura wynosi 40°C a w tekście mamy informacje o 20°C (str. 132). Drobne błędy redakcyjne nie obniżają jednak wartości merytorycznej rozprawy.

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

Każda praca naukowa ma swoje słabsze i mocniejsze strony. Ich ocena jest często subiektywna lecz stwarza możliwość dyskusji merytorycznej. Moje uwagi mają zatem charakter polemiczny.

- Na etapie projektowania (§ 5.1.6. Konstrukcja ZDPR) Doktorant zaproponował trzy konstrukcje ZDPR (Rys. 43). Poszczególne konstrukcje różnią się rozmieszczeniem podstawowych elementów detektora na podłożu ceramicznym. Jedynie w przypadku wariantu 2 termorezystor i grzejnik są bezpośrednio naniesione na podłoże ceramiczne realizując tezę pracy. Którą konstrukcję wybrał Autor rozprawy ostatecznie do wykonania? Nie jest dla mnie jasne, której konstrukcji dotyczą wyniki przedstawione w Rozdz. 7.
- W szczegółowych podsumowaniach do projektów: grzejnika § 5.3.7 i termorezystora § 5.4.4 znajdujemy informacje dotyczące zalet i wad różnych wariantów konstrukcji. Podsumowania do projektu detektora molekuł wody (§ 5.5) brak. W przypadku projektu grzejnika § 5.3.7 wybór wydaje się być oczywisty: najbardziej optymalne są konstrukcje 2 i 3 ze względu na równomierny rozkład temperatury w obszarze lustra. Jednak brak takiego wniosku w pracy. W przypadku projektu termorezystora § 5.4.4 Doktorant jednoznacznie wskazuje na konstrukcję 3 ze względu na rozkład temperatury. Brak globalnego porównania i jednoznacznego wskazania jaka konstrukcja ZDPR jest optymalna według Autora pracy.

- O ile część pracy dotycząca symulacji parametrów ZDPR została bardzo wnikliwie potraktowana przez Doktoranta, odnoszę wrażenie, że pozostałe części w tym technologia i badania parametrów ZDPR nie zostały w wystarczający sposób opracowane. W przypadku badań eksperymentalnych detektora punktu rosy brak jest wyraźnie sprecyzowanego protokołu pomiarów. Zestawione stanowisko pomiarowe do charakteryzacji parametrów funkcjonalnych ZDPR nie zostało w wystarczający sposób opisane. Brak informacji nt. poziomu wilgotności testowanych próbek. Brak odniesienia do koncentracji molekuł wody. Brak weryfikacji uzyskanych wyników w oparciu o pomiary przy pomocy referencyjnego detektora wilgotności.
- Istotne wydaje się być opisanie metodologii wyznaczenia punktu rosy na podstawie pomiaru impedancji w przypadku IDE § 7.2. Ze względu na szczegółową dyskusję dotyczącą analizy teoretycznej w § 5.5 *Projekt detektora molekuł wody*, interesujące byłoby porównanie czy do wyznaczenia charakterystyk rezystancyjnej i pojemnościowej przedstawionych na Rys. 116-117 użyto tego samego schematu zastępczego jak na Rys. 78? Jak zdefiniowano punkt, dla którego obserwuje się największą zmianę parametrów elektrycznych?
- Autor rozprawy stwierdza na str. 135, że „*najmniej regularne są charakterystyki dla modułu impedancji $|Z|$ i rezystancji detektora R* ”. Nie jest to dla mnie oczywiste co oznacza w tym kontekście słowo „regularne”. Wszystkie charakterystyki wyglądają podobnie w sensie ciągłości i szumów.
- Na Rys. 114 przedstawiającym temperaturę lustra w czasie cyklicznej pracy, obserwujemy wyraźny, skokowy wzrost T_1 w momencie wyłączenia zasilania grzejnika. Dlaczego?
- We wzorze na graniczny błąd pomiaru temperatury lustra (32) znajdujemy 4 przyczynki. Porównanie ze wzorami 10 i 12 wskazuje na brak zgodności. Wydaje się, że powinno się podać wzór ogólny a później uwzględnić przypadki szczególne.

8. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Czy i jaka jest przydatność praktyczna rozprawy dla gospodarki narodowej?

Praktyczna przydatność rozprawy dla nauk technicznych i gospodarki nie budzi wątpliwości. Wykorzystanie sensorów substancji chemicznych i wielkości fizycznych w tym detektorów wilgotności do kontroli stanu środowiska stało się w ostatnich latach zadaniem priorytetowym dla rządów wielu państw. Ograniczenie poziomu zanieczyszczeń powietrza oraz koncepcja Internetu Rzeczy motywują naukowców do poszukiwania nowych rozwiązań w zakresie budowy nowych detektorów w tańszych technologiach. Praca Doktoranta dobrze wpisuje się w ten nurt.

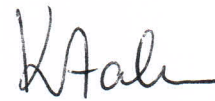
9. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę?

- 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

Wniosek końcowy:

Podsumowując, przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska stanowi cenny i oryginalny wkład w rozwój dyscypliny naukowej jaką jest automatyka, elektronika i elektrotechnika. W szczególności, wyniki uzyskane w ramach tej pracy wpisują się w rozwijany obecnie na świecie nurt badań nad materiałami funkcjonalnymi dla sensoryki i elektroniki drukowanej. Rozprawa spełnia wymagania określone Ustawą z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i

tytule w zakresie sztuki (Dz.U. Nr 65, poz. 595, z późn. zm.). Wnoszę zatem o dopuszczenie mgr inż. Michała Marka Marzęckiego do dalszych etapów procedury doktorskiej. Praca spełnia wymagania z wyraznym nadmiarem ze względu na jej merytoryczną zawartość jak również z powodu dobrego dorobku publikacyjnego Autora (przynajmniej 3 publikacje w czasopismach o wysokim IF, Sensors and Actuators B, A, and Optics Letters). Nie wykluczam, że w przypadku pozytywnego przebiegu obrony pracy, przy zadawalającej odpowiedzi na recenzje, będzie można postawić wniosek o wyróżnienie.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'K. A. A.', is positioned in the upper right quadrant of the page.