



Politechnika Wroclawska



Wydział Elektroniki,
Fotoniki i Mikrosystemów

Wrocław, 9 czerwca 2023

dr hab. inż. Grzegorz Świrniak., prof. PWr
Katedra Metrologii Elektronicznej i Fotonicznej
Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów
Politechnika Wroclawska
ul. B. Prusa 53/55, 50-317 Wrocław
e-mail: grzegorz.swirniak@pwr.edu.pl
tel. +48 71 320 62 32

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Wiktorii Kalus
pt.: „Eksperymentalne badania procesu generowania siły elektroadhezyjnej
w kontekście zmiennych parametrów pracy padów”

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Jarosław Zygarlicki, prof. PO
Promotor pomocniczy: dr inż. Łukasz Nagi

Podstawa formalna opracowania recenzji

Recenzję wykonano w odpowiedzi na uchwałę Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne z 20 kwietnia 2023 r., zgodnie z zapisami Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z 20 lipca 2018 r.

1. Rozwiązany problem naukowy

Tematyka pracy doktorskiej została jasno sformułowana we wstępie manuskryptu i koncentruje się na analizie zjawiska elektroadhezji i jej praktycznego wykorzystania. Wytwarzanie siły elektroadhezyjnej realizowane jest z wykorzystaniem tzw. padów elektroadhezyjnych o oryginalnej konstrukcji, umożliwiającym przyciąganie i chwytanie przedmiotów przewodzących jak i izolacyjnych. Zastosowania elektroadhezji obejmują m.in. przemysł, rolnictwo i kosmonautykę. Z powyższego wynika, że prace badawcze w tym obszarze mają duże znaczenie praktyczne.

Motywacją badań była potrzeba zbadania problemów wiążących się z zastosowaniem elektroadhezji w praktyce. **Rozwiązanym problemem naukowym było opracowanie**

oryginalnych rozwiązań technicznych umożliwiających skuteczne i bezpieczne wykorzystywanie zjawiska elektroadhezji w praktyce. Tak postawiony problem ma charakter nowatorski, ponieważ, jak dotąd, nie przeprowadzono systematycznych analiz w tym obszarze. Jest on właściwy dla pracy doktorskiej w dziedzinie nauk inżynierjno-technicznych, w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne wg aktualnej klasyfikacji.

Cel pracy (str. 7) sformułowano jako weryfikację zjawiska elektroadhezji i analizę problemów powstających podczas wytwarzania siły elektroadhezyjnej.

Zakres przeprowadzonych badań podzielono na kilka głównych etapów. Należały do nich (str. 7): (i) identyfikacja czynników wpływających na wartość siły elektroadhezyjnej, (ii) badanie wpływu geometrii pada elektroadhezyjnego na wartość tej siły, (iii) zaproponowanie rozwiązań technicznych poprawiających bezpieczeństwo w zastosowaniach praktycznych, (iv) realizacja badań numerycznych uzupełniających przeprowadzone badania praktyczne, (v) zaprojektowanie zestawu padów o optymalnej konstrukcji, (vi) badania praktyczne mające na celu określenie wpływu struktury powierzchni przyciąganego przedmiotu na wartość siły elektroadhezyjnej.

Teza pracy została sformułowana poprawnie (str. 7) i brzmi następująco: „Dobór sposobu budowy padów elektroadhezyjnych oraz materiałów elementów konstrukcyjnych systemu elektroadhezyjnego, przy modyfikacji algorytmu sterowania napięciem zasilania padów, pozwala zapewnić bezpieczeństwo elektryczne oraz toksykologiczne pracy personelu obsługującego system, przy zachowaniu jego istotnych parametrów użytkowych takich jak wartość generowanej siły elektroadhezyjnej, czy całkowite gabaryty urządzenia”.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedstawiona rozprawa doktorska mgr inż. Wiktorii Kalus składa się z 13 wyróżnionych części zajmujących łącznie 140 stron tekstu, w tym sześciu rozdziałów numerowanych. Rozdział 1 prezentuje tło badań, rozwiązywany problem i tezę pracy. Informacje te są ujęte w syntetyczny sposób, co ułatwia zrozumienie kontekstu przeprowadzonych prac i lekturę dalszych rozdziałów. W rozdziale 2 przedstawiono najważniejsze informacje na temat zjawiska elektroadhezji i problematyki jego wykorzystania w praktyce oraz dokonano ogólnego przeglądu literatury dziedziny badań. Rozdziały 3, 4 i 5 stanowią zasadniczą część dysertacji. Rozdział 3 poświęcono przedstawieniu konstrukcji autorskich padów elektroadhezyjnych i wyników ich badań, takich jak przebicia elektryczne zachodzące na powierzchni, pomiary tzw. siły zrywu dla różnych konstrukcji padów i określenie wpływu polaryzacji i wartości napięcia na siłę elektroadhezyjną. W rozdziale 4 przedstawiono wyniki analiz numerycznych dotyczących działania padów elektroadhezyjnych przy wykorzystaniu dostępnego oprogramowania. Analizy te potwierdziły w ograniczonym zakresie wcześniejsze wnioski z badań praktycznych. W rozdziale 5 opisano eksperymenty praktyczne mające na celu analizę przebieg zachodzących na powierzchni padów. Dokonano także oceny ilości toksycznego ozonu powstającego w wyniku wyładowań niezupełnych. W rozdziale 6 przedstawiono całościowe podsumowanie pracy. Układ pracy jest logiczny i odzwierciedla klasyczny schemat prac naukowych.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

Analiza stanu wiedzy

Autorka dokonała starannego rozeznania literaturowego w wielu obszarach powiązanych tematycznie z dziedziną pracy. Wykaz literatury zamieszczony w dysertacji zawiera 129 pozycji w postaci książek i artykułów naukowych, w większości wydane w ostatnim dziesięcioleciu, co świadczy o aktualnym stanie wiedzy, którą posługuje się Autorka.

Metodyka pracy

Metodyka pracy jest prawidłowa. Obejmuje opis problemu badawczego, elementy rozeznania literaturowego i uporządkowania wiedzy w obszarze związanym z tematyką pracy badawczej, przeprowadzenie pomiarów w warunkach laboratoryjnych, analizy komputerowe mające na celu zbudowanie modeli numerycznych i potwierdzenie zjawisk zaobserwowanych empirycznie, analizę i upowszechnienie uzyskanych wyników, oraz końcowe wnioski. Pewnym mankamentem w opinii recenzenta jest brak odniesienia do aktualnego stanu wiedzy z zaznaczeniem roli własnych badań naukowych. Na uwagę zasługuje umiejętność poruszania się Autorki w wielu obszarach nauki i techniki, w tym: zasad elektryczności i magnetyzmu, techniki wysokich napięć, konstrukcji układów elektronicznych, symulacji komputerowych, programowania i analizy danych. Kolejnym wartościowym wynikiem pracy jest stanowisko pomiarowe umożliwiające zautomatyzowany pomiar siły elektroadhezyjnej. Warto podkreślić, że pozytywne wyniki badań to nie tylko zasługa przyjętej metodyki badań, ale również wiedzy, zaangażowania i pracowitości Autorki.

Oryginalność rozwiązania problemu naukowego

Postawiony problem naukowy – opracowanie oryginalnych rozwiązań technicznych umożliwiających skuteczne i bezpieczne wykorzystywanie zjawiska elektroadhezji w praktyce, jest prawidłowo zidentyfikowanym zadaniem w obszarze dyscypliny naukowej *automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne*. Podjęcie tej problematyki wynika z potrzeb przeprowadzenia systematycznych analiz mających na celu udoskonalenie konstrukcji padów elektroadhezyjnych, udoskonalenie systemów sterowania, oraz przebadanie problemów towarzyszących, takich jak powstawanie nieporządných wyładowań niezupełnych i wytwarzanie ozonu.

Oryginalność naukową recenzowanej pracy cechuje zarówno jakość uzyskanych wyników, które mają charakter poznawczy i użytkarny, jak i metody i narzędzia badawcze, którymi Autorka się posługiwała. **Do oryginalnych cech recenzowanej pracy zaliczam:**

- 1) **Zaproponowanie padów elektroadhezyjnych o optymalnych parametrach i konstrukcji podnoszącej bezpieczeństwo użytkowania;**
- 2) **Zaproponowanie układów sterująco – pomiarowych realizujących zautomatyzowane pomiary siły elektroadhezyjnej;**
- 3) **Zaplanowanie i zrealizowanie dużej liczby eksperymentów na stanowisku laboratoryjnym o oryginalnej konstrukcji;**

4) Wskazanie nowych rozwiązań technicznych mających na celu redukcję stężenia toksycznego ozonu, wytwarzanego podczas pracy systemu elektroadhezyjnego.

Oryginalność wkładu w dyscyplinę *automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne* dokumentują liczne publikacje, których Pani mgr inż. Wiktora Kalus jest autorką bądź współautorką: **1** artykuł w międzynarodowym periodyku z listy JCR (Energies, IF = 3.252), **10** artykułów w innych międzynarodowych wydawnictwach oraz **2** referaty przedstawione na międzynarodowych konferencjach naukowych. Jest również współautorką **zgłoszenia patentowego** pt. „Pad elektroadhezyjny” z 2021 r. (Pat.240042).

Redakcja rozprawy

Praca napisana jest ładnym językiem polskim na dobrym poziomie edytorskim. Treść jest komunikatywna i wystarczająco precyzyjna. Obecne są błędy językowe i edytorskie, np. nagminnie stosowany jest błędny zapis nazwiska francuskiego uczonego, badacza elektrostatyki i magnetyzmu, Charles'a Coulomba (w dysertacji jest „Culomba”). Moje zastrzeżenia budzi także użycie sformułowania „Rozprawa pracy doktorskiej” na stronie tytułowej dysertacji, bo przecież jest to „Rozprawa doktorska” lub po prostu „Praca doktorska”. Uciążliwym mankamentem są nieprawidłowe odniesienia do wykazu literatury (np. str. 25, 32, 39, 100, 106, 113, 126), utrudniające analizę materiału badawczego. Inne błędy językowe nie zasługują na to, aby wymieniać je w zasadniczej części recenzji, dlatego zaznaczono je w tekście manuskryptu do wglądu Autorki.

Dużym walorem pracy są rysunki i zdjęcia o dobrej jakości, znakomicie ilustrujące opisywane zagadnienia. Wartościowe są także podsumowania kończące rozdziały 3–5, które syntetyczne zestawiają poczynania badawcze i porządkują wiedzę. Ważnym elementem pracy jest także konfrontacja wyników badań symulacyjnych (rodz. 4.3) z badaniami praktycznymi (rozd. 3).

4. Uwagi krytyczne, zagadnienia do dyskusji

Dysertacja doktorska mgr inż. Wiktorii Kalus wymaga kilku dodatkowych komentarzy. Poniżej zamieszczam najważniejsze z nich.

- 1) Jak wcześniej stwierdzono, w dysertacji brakuje odniesienia do aktualnego stanu wiedzy z zaznaczeniem roli własnych badań naukowych. Krytyczna analiza postawionego problemu naukowego w świetle aktualnego stanu wiedzy na podstawie literatury jest ważną fazą procesu poznawczego, która powinna być dokonywana już na początku naukowych poczyniń. Właściwym miejscem takiej dyskusji wydaje się rozdział 1 lub 2 dysertacji. W dalszej części pracy Autorka stosuje co prawda sformułowania porównawcze, np. (str. 44) „Ten autorski model pada wyróżniał się na tle padów przedstawionych w literaturze.”, ale bez odniesienia do źródeł zawartych w wykazie literatury i analizy własnych i cudzych rozwiązań. Proszę o ustosunkowanie się do tego zagadnienia.
- 2) W pomiarach tzw. siły zrywu (rozd. 3.4 i nast.) występują szczeliny powietrzne pomiędzy padem elektroadhezyjnym i materiałem, wynikające ze struktury powierzchni. Jaki mają one wpływ na wyniki pomiaru tej siły?

- 3) W rozdz. 3.4 podano, że liczba pomiarów siły zrywu z polaryzacją dodatnią wynosiła 60, zaś w testach wykonanych po depolaryzacji liczbę pomiarów ograniczono do 30. Nie wyjaśniono przyczyn takiej sytuacji. Skąd wiadomo, że uzyskane wyniki są reprezentatywne?
- 4) Proszę o uzasadnienie, dlaczego w analizach statystycznych wyników pomiarów siły zrywu (rozdział 3.4) pominięto ocenę istotności statystycznej tych testów? Czy obliczone średnie arytmetyczne są trafnymi wartościami określającymi otrzymane wyniki?
- 5) W opisie eksperymentów pomiarowych brakuje niektórych informacji:
 - i) Jaką metodą dokonano aproksymacji danych pomiarowych w rozdz. 3.5 (rysunki 3.38–3.43)?
 - ii) Z jaką dokładnością odbywały się pomiary siły przyciągania w układzie pomiarowym opisanym w rozdziale 3.5? Jaki wpływ ma ta dokładność na wykresy ilustrujące zmienność siły elektroadhezyjnej w rozdz. 3.5?
 - iii) W opisie parametrów czujnika ozonu (str. 106) również pominięto informację o jego dokładności pomiarowej. Jaki wpływ ma błąd pomiaru czujnika ozonu na wyniki pomiarów (np. wykresy stężenia ozonu w funkcji czasu, Rys. 5.11 i następne) oraz wnioski płynące z tych wyników?
- 6) Jakie obserwacje uzasadniają zdanie (str. 79): „Podczas wszystkich eksperymentów można było zaobserwować, że korzystniej jest dobrać napięcie około 7 kV” ?
- 7) Str. 74: Aby stwierdzenie „Pod koniec pomiaru następował lekki wzrost siły w granicach 136 N/m^2 oraz ujemnej od 105 N/m^2 do 135 N/m^2 ” oraz dalsza konkluzja „Powodem tego mogło być pole elektromagnetyczne wytwarzające się wokół pada, które prawdopodobnie spowodowało zakłócenia urządzeń pomiarowych (...)” były uzasadnione, należałoby dokonać analizy czynników wpływających na dokładność pomiaru siły. Proszę o komentarz.
- 8) Symulacje komputerowe przeprowadzono na modelach numerycznych o ustalonych parametrach fizycznych (np. przenikalności elektrycznej). Czy i w jakim zakresie modele symulacyjne są zgodne z modelami empirycznymi, opisanymi w rozdziale 3? (w rozdziale 3 nie ma informacji o przenikalności elektrycznej materiałów użytych do budowy padów).
- 9) Na Str. 85 Autorka pisze, że „Obliczone punkty symulacji połączono krzywą utworzoną na podstawie dobieranego modelu aproksymacji.” Jakimi kryteriami posłużono się przy doborze tego modelu? Proszę o uzasadnienie (bez konieczności analizy kodu Matlab).
- 10) Str. 114: Autorka dokonuje ciekawych obserwacji na podstawie serii eksperymentów ze strukturami pokrytymi grafenem, lecz nie dokonuje interpretacji otrzymanych danych. Jakie są korzyści stosowania powłok nanowęglowych? Dlaczego rodzaj atmosfery gazowej i jej parametry wpływają na przebieg i intensywność wyładowań

elektrycznych? Dlaczego ciśnienie gazu wpływa na widmo wyładowań elektrycznych? Jakie znaczenie mają te badania dla praktycznych zastosowań techniki elektroadhezyjnej?

- 11) Z Rys. 5.11 wynika, że włączenie pada elektroadhezyjnego nastąpiło zanim wskazania czujnika ozonu ustabilizowały się. Ponadto, Rys. 5.11–5.16 pokazują, że pomiary zostały zakończone zanim stężenie ozonu w naczyniu pomiarowym osiągnęło stan kwazirównowagi. Proszę o uzasadnienie.
- 12) Niedociągnięciem jest brak jasno sprecyzowanego wkładu Autorki w przedstawione wyniki pracy. Chociaż w końcowej części dysertacji znajduje się wykaz prac jedno- i wieloautorskich (w pracach wieloautorskich Pani mgr inż. Wiktoria Kalus jest pierwszym autorem), to jednak brakuje informacji o jakościowym wkładzie merytorycznym (tj. w budowę stanowisk laboratoryjnych, pomiary, analizę danych, symulacje numeryczne i proces wyciągania głównych wniosków), który powinien być jednoznacznie sprecyzowany w dysertacji. Proszę o uzupełnienie tych informacji.

5. Wnioski końcowe

Dokonując ogólnej oceny pracy stwierdzam, że przedstawiona rozprawa doktorska mgr inż. Wiktorii Kalus jest pracą wartościową, stojącą na wysokim poziomie naukowym. Zawartość dysertacji wskazuje, że została ona wykonana w obszarze dyscypliny naukowej *automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne*.

Praca zawiera szereg wymienionych wcześniej elementów oryginalnych. Przedstawione w recenzji uwagi krytyczne nie dotyczą zasadniczych walorów merytorycznych i tym samym nie pomniejszają wartości naukowych osiągnięć.

Cel pracy został osiągnięty, a postawiona na wstępie teza udowodniona. Przyjęta metodyka badań, zakres prac oraz uzyskane wyniki świadczą o pracowitości, zaangażowaniu, kreatywności i umiejętności samodzielnego prowadzenia badań naukowych przez Autorkę.

Biorąc pod uwagę powyższą ocenę dysertacji, wykazującą oryginalność rozwiązania postawionego problemu naukowego stwierdzam, że praca doktorska pt. „Eksperymentalne badania procesu generowania siły elektroadhezyjnej w kontekście zmiennych parametrów pracy padów” spełnia wymagania wynikające z przepisów Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (z późniejszymi zmianami), w związku z czym **stawiam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Wiktorii Kalus do publicznej obrony przedłożonej pracy.**

Grzegorz Świątek