

Prof. dr hab. inż. Piotr Jasiński
Wydział Elektroniki, Telekomunikacji
i Informatyki
Politechnika Gdańska
ul. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Adrianny Grai
pt. „Zminiaturyzowany ładunek użyteczny (payload) do prowadzenia badań biologicznych na
niskiej orbicie okołoziemskiej z wykorzystaniem nanosatelitów w standardzie CubeSat”

Pismem Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i
Technologie Kosmiczne RDN AEETK/68/2024 z dnia 29.04.2024 r. otrzymałem do recenzji
rozprawę doktorską mgr inż. Adrianny Grai pt. „Zminiaturyzowany ładunek użyteczny
(payload) do prowadzenia badań biologicznych na niskiej orbicie okołoziemskiej z
wykorzystaniem nanosatelitów w standardzie CubeSat”. Promotorem rozprawy jest
prof. dr hab. inż. Jan Dziuban, zaś promotorem pomocniczym dr inż. Patrycja Śniadek.

Rozprawa jest napisana po polsku i składa się z sześciu rozdziałów - w sumie 142
strony maszynopisu. Rozdział pierwszy stanowi wprowadzenie do tematu rozprawy. Rozdział
2 przedstawia historię i rozwiązania związane z systemami do badań biologicznych w
kosmosie. W rozdziale 3 opisano założenia i koncepcję realizacji zminiaturyzowanego
systemu do badań biologicznych na orbicie okołoziemskiej, zaś w rozdziale 4 opisano projekt
realizacji oraz wyniki badań wstępnych zbudowanych elementów składowych systemu. W
rozdziale 5 przedstawiono proces integracji elementów składowych, ich uruchomienie oraz
wyniki pracy systemu na orbicie okołoziemskiej. W rozdziale 6 znajduje się podsumowanie.
Ponadto w rozprawie znajduje się wykaz skrótów i bibliografia.

Problem naukowy rozprawy

Na stronie 8 rozprawy doktorskiej Autorka wskazuje, że celem pracy jest
„...udowodnienie, że w ramach dostępnych w Polsce technologii, możliwe jest zbudowanie

RDN AEETK/126/2024

takiego subminiaturowego, autonomicznego laboratorium, wykorzystującego układy lab-on-chip (LOC), dostosowanego do nanosatelitów w standardzie CubeSat i umożliwiającego prowadzenie eksperymentów biologicznych/biomedycznych na niskiej orbicie okołoziemskiej w warunkach mikrogravitacji”. Generalnie można mieć tutaj pewne wątpliwości co do akcentów i ograniczeń w tym zapisie, tj. czy celem „udowodnienie” czy „opracowanie” oraz czy „w ramach dostępnych w Polsce” powinno znaleźć się w tym zdaniu. Wyjaśniając, słowo „udowodnienie” bardziej pasuje do tezy, których w rozprawie brakuje. Natomiast, ograniczenie się do technologii dostępnych w Polsce wydaje się niepotrzebne. Pomimo tych drobnych uwag, należy przyznać, że cel rozprawy został określony jednoznacznie i jest związany z opracowaniem autonomicznego laboratorium biologicznego dla satelity w standardzie CubeSat do pracy na orbicie okołoziemskiej. Jak już zostało wspomniane, brakuje w rozprawie tezy, które Autorka mogłaby łatwo zdefiniować na podstawie powyżej cytowanego zdania.

Podjęcie Autorki do osiągnięcia celów pracy

Rozprawę doktorską zaliczam do kategorii projektowo-konstrukcyjnych. Autorka rozprawy podeszła do osiągnięcia jej celów realizując następujące zagadnienia projektowe:

- wybór typu laboratoriów biologicznych do umieszczenia na nanosatelicie,
- określenie warunków środowiskowych panujących w trakcie oczekiwania na start, wyniesienia na orbitę oraz orbitowania laboratorium,
- określenie warunków niezbędnych do przeprowadzenia hodowli biologicznych,
- zaproponowanie rozwiązań pozwalających na przeżycie próbek biologicznych do czasu rozpoczęcia eksperymentu oraz na przeprowadzenie eksperymentów biologicznych,
- zaproponowanie rozwiązań związanych z komunikacją pomiędzy jednostką centralną nanosatelity oraz układami elektronicznymi obsługującymi laboratorium biologiczne.

W rezultacie badań literaturowych Autorka wybrała zaprojektowanie 3 eksperymentów biologicznych na orbicie:

- 2 redundantne hodowle grzybów *F. culmorum*,
- hodowlę nasiona *L. sativum* (rzeżuchy).

W tym celu wykorzystwała opracowane w Katedrze Mikrosystemów Politechniki Wrocławskiej dwa rodzaje lab-chipów, które zostały oprzyrządowane układami:

- dozowania perystaltycznego cieczy do lab-chipów z regulowaną szybkością,

- modułu optycznego z możliwości sterowania obiektywem i jasnością oświetlenia do kontroli wzrostu próbek biologicznych,
- systemu kontroli temperatury z czujnikami temperatury, grzejnikiem rezystancyjnym oraz kontrolerem PID,
- czujników wilgotności, temperatury, ciśnienia oraz skumulowanej dawki promieniowania radiacyjnego.

Autorka zaproponowała konstrukcję obudowy i mocowania w niej laboratoriów biologicznych wraz z oprzyrządowaniem. Proces integracji laboratorium wymagał przeprowadzenia szeregu testów, między innymi, szczelności obudowy i drgań mechanicznych układu. Tak przetestowany system do badań biologicznych wyposażony został w próbki biologiczne i poddany testom weryfikacyjnym zgodnie z procedurami. Następnie układ został wysłany do operatora, który w styczniu 2022 umieścił układ na orbicie w wykorzystaniu rakiety Falcon 9. Na orbicie układ działał poprawnie przez 14 dni, zaś po tym czasie utracono łączność z nanosatelitą.

Podsumowując, Autorka podeszła do osiągnięcia celów pracy wielopłaszczyznowo projektując przeprowadzenie trzech hodowli biologicznych na orbicie okołoziemskiej. Wymagało to zaprojektowania i przetestowania elementów systemu laboratorium, zintegrowania mechanicznego i elektronicznego układu laboratorium z elementami nanosatelity, poznania i dopełnienia procedur związanych w wyniesieniem obiektu na orbitę oraz wiele innych. Autorka podeszła do osiągnięcia celu właściwie, czego dowodem jest wyniesienie na orbitę układu laboratorium oraz rozpoczęcie hodowli biologicznych.

Aktualność tematyki rozprawy

Rozprawa dotyczy wykorzystania przyrządów lab-on-chip do prowadzenia badań w kosmosie. Prace te wpisują się w nurt szybko rozwijającej się pionierskiej działalności firm biorących udział w podboju kosmosu. Znaczący postęp technologiczny osiągnięty przez firmę SpaceX, związany z opracowaniem raket wielokrotnego użytku do wynoszenia ładunków na orbitę, spowodował obniżenie cen usług transportowych i znacznie przybliżył wizję osiedlenia się człowieka na Marsie. Zatem tematyka rozprawy jest nie tylko aktualna, ale tworzy również historię miniaturowych laboratoriów biologicznych wyniesionych na orbitę okołoziemską.

Opracowanie oraz konstrukcja laboratoriów biologicznych do prowadzenia eksperymentów na orbicie okołoziemskiej wchodzi w zakres tematyczny dyscypliny

automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne dziedziny nauk inżyniersko-technicznych.

Rozprawa na tle współczesnych doniesień literatury

W rozprawie Autorka cytuje prawie 150 pozycji literaturowych. Prawie 100 pozycji odnosi się do czasopism i konferencji branżowych. Ponad 50 wskazuje źródła dostępu do stron www. Uważam, że cytowania są właściwie dobrane i świadczą o dobrej wiedzy Autorki i znajomości współczesnej literatury z dyscypliny naukowej dotyczącej rozprawy.

Wady, słabe strony rozprawy oraz inne uwagi

Rozprawa napisana jest starannie i bez błędów językowych i interpunkcyjnych. Opis jest klarownie podzielony na rozdziały. Rysunki są czytelne – wyjątkiem są tutaj rysunki 72-74. Praca naszpikowana jest detalami natury technicznej i stanowi wartościowe źródło informacji o projektowaniu urządzenia mającego pracować w kosmosie i procedurach związanych z jego umieszczeniem na orbicie okołoziemskiej. W rozprawie nie zauważyłem błędów merytorycznych. Dlatego poniższe uwagi mają charakter uściślający:

- System laboratorium wymagał szeregu prac natury inżynierskiej, np. projektowanie i uruchomienie płytek elektronicznych PS1 i PS2 (strona 51). W pracy brakuje informacji, kto wykonał żmudną pracę inżyniera projektanta płytek. Inny przykład, to komendy obsługiwane przez moduł PS1 (strona 79). W pracy brakuje informacji, kto wykonał żmudną pracę programisty implementacji tych komend. Oczywiście, nie oczekuję, że wykonała te prace Autorka, gdyż są natury inżynierskiej. Ale jeżeli tak, to należy Autorkę pochwalić za opanowanie skomplikowanych umiejętności inżyniera elektronika.
- Mam pytania dotyczące regulatora PID – czy zaimplementowane serwisy regulatora PID są oparte na bibliotekach ogólnodostępnych (strona 78)? W pracy wybrano PWM grzejnika o wartości 80%. Jak ta wartość PWM ma przełożenie na parametry PID? Jakie wartości PID były ustalone w pracujących serwisach? Wartość PWM wybrana była na podstawie czasu dojścia do ustalonej temperatury (strona 61) – czy parametry PID (i PWM) nie byłoby lepiej dobrać na podstawie procedury autotunningu (np. obliczania parametrów dla regulacji dwustanowej)?
- Tabela 5 (strona 61) – czy z metrologicznego punktu widzenia prawidłowe są zaokrąglenia do 3 miejsc po przecinku temperatur w kanale suchym i na powierzchni lab-chipu?

- Tabela 7 (stronie 79) – w tabeli brakuje komend dotyczących regulatora PID, chociaż na stronie 84 pojawia się komenda *set_PID_config*. Czy brak tej komendy w tabeli 7 jest przeoczeniem, czy celowym zabiegiem?

Powyższe uwagi natury uściślającej nie wpływają negatywnie na generalnie dobry odbiór recenzowanej pracy.

Oryginalny dorobek Autorki

Do oryginalnego dorobku Autorki zaliczam zaprojektowanie, testy działania podsystemów, zintegrowanie podsystemów z nanosatelitą i weryfikacja działania w warunkach docelowych laboratorium biologicznego do hodowli grzybów i nasion na orbicie okołozemskiej.

Autorka rozprawy spełnia również wymagania stawiane kandydatom do stopnia doktora nauk inżynieryjno-technicznych w kwestiach publikacyjnych. Zgodnie z bazą Scopus Autorka rozprawy jest współautorką 9 publikacji pokonferencyjnych oraz współautorką jednej publikacji JCR (Sensors MDPI, 2022). W 3 publikacjach pokonferencyjnych, które są ściśle związane z tematem rozprawy, jest współautorem wiodącym. Należy uznać, że dorobek publikacyjny Autorki spełnia oczekiwania stawiane kandydatom do stopnia doktora.

Podsumowanie

Uważam, że rozprawa spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim i wnoszę o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

Gdańsk, 6.07.2024 r.



Piotr Jasński

