



Warszawa, 23 lipca 2024.

**Prof. nadzw. dr hab. Hanna Rothkaehl**  
Centrum Badań Kosmicznych PAN

### **Recenzja**

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Adrianny Graji**

**pt. „Zminiaturyzowany ładunek użyteczny (payload) do prowadzenia badań biologicznych na niskiej orbicie okołoziemskiej z wykorzystaniem nanosatelitów w standardzie CubeSat”**

Przedmiotem recenzowanej pracy, mgr inż. Adrianny Graji jest zaprojektowanie i realizacja biologiczno-medycznego projektu na pokładzie nanosatelitów typu CubeSat w ramach dostępnych w Polsce technologii i rozwiązań systemowych stosowanych w technologiach i badań kosmicznych. Praca ta powstała w ramach projektu pt.: „Bio-nanosatelita wykorzystujący zminiaturyzowane instrumenty lab-on-chip oraz metodologia prowadzenia badań biomedycznych z jego wykorzystaniem w warunkach mikrogravitacji”, finansowanego przez NCBiR (Narodowe Centrum Badań i Rozwoju), w ramach programu Operacyjny Inteligentny Rozwój na lata 2014-2020.

Autorka w aby udowodnić postawioną tezę, zaprojektowała i brała czynny udział w wykonaniu aparatury pokładowej subminiaturowego, autonomicznego laboratorium, wykorzystującego układy lab-on-chip (LOC) oraz jego testach podczas naziemnych badań



laboratoryjnych, jak podczas rutynowych testów podczas integracji z satelitą. Przygotowała ona także, program obserwacyjny projektu, jak też jest autorką opracowań wyników z przeprowadzonego eksperymentu satelitarnego w przestrzeni okołozemskiej.

Dzięki rozwojowi technologii platform satelitarnych i miniaturyzacji systemów elektronicznych tego typu prace projektowe prowadzone są w wielu ośrodkach na całym świecie i nabrały szczególnego znaczenia w dobie coraz większego wykorzystania przestrzeni kosmicznej w szerokiej gamie technologii i w różnych aspektach życia codziennego. Ponadto badanie wpływu środowiska kosmicznego na życie biologiczne, nabiera szczególnego znaczenia w dobie programu eksploracji począwszy od orbitalnych stacji kosmicznych wokół Ziemi, poprzez środowisko Księżyca aż do planet i księżyców układu Słonecznego. W związku z tym podjęty przez autorkę ambitny problem badawczy, usytuowany na granicy badań interdyscyplinarnych automatyki, elektroniki, badań kosmicznych i biologii, jawi się szczególnie istotnym i znaczącą kontrybucja w skali światowych badań i prac aplikacyjnych.

W przejrzystym wprowadzeniu autorka przedstawił zakres pracy, celowość jej podjęcia oraz aktualny stan badań i spektrum metod badawczych. W rozdziale tym również krótko omówiona została treść poszczególnych rozdziałów. Na podkreślenie zasługuje szerokie spectrum informacji potwierdzone cynowaniami, dotyczące zarówno historycznego aspektu proponowanych badań jak i analizą krytyczną przeprowadzonych dotychczas światowych badań w tym zakresie.

W rozdziale trzecim, autorka niezwykle jasno acz, szczegółowo opisała cele projektu, strukturę satelity i związane z środowiskiem kosmicznym wymagania i ograniczenia, które wpływają na konstrukcje ładunku badawczego satelity oraz szczególne uwarunkowania i wywania dotyczące badanego obiektu próbek biologicznych. Należy podkreślić iż, autorka wykazała się dużą znajomością zarówno metod pomiarowych na pokładach sztucznych satelitów jak i metod walidacji, testowania poszczególnych podzespołów satelity oraz procedur integracji i testów. Obszerny fragment rozdziału poświęcony jest rozważaniu wpływu warunków środowiska kosmicznego i konfiguracji orbity satelity zarówno na parametry wewnątrz satelity jak i na właściwości próbki. Lektura tego rozdziału utwierdza recenzenta w przekonaniu iż, autorka zdaje sobie sprawę z wymagań środowiskowych związanych z planowanym eksperymentem. Autorka korzystała z oszacowań z istniejących modeli zarówno tych opisujących charakterystykę plazmy i promieniowania na wysokościach LEO jak i typowe oszacowania termiczne związane z konfiguracją statku



kosmicznego. Wymagania środowiskowe uwzględniane przy planowaniu misji ze względu na szeroki możliwy zakres parametrów środowiskowych muszą być szczegółowe a mimo to zawierać odpowiedni margines aby uniknąć ryzyka uszkodzenia podczas trwania eksperymentu. Ze względu na zakres zmienności parametrów środowiskowych na orbitach LEO proponowane rozwiązanie powinno być aplikowane dla całego zakresu cyklu aktywności słonecznej. Brakuje więc w pracy dyskusji analizy skali ryzyka dla proponowanej konfiguracji i architektury projektu.

Zasadnicze rozwinięcie tematu rozprawy zawarto w dwóch kolejnych rozdziałach 4 i 5, znajdujemy tu szczegółową dyskusję i opisy związane z konstrukcją platformy LOC, mechanicznej struktury ładunku i satelity, systemu operacyjnego, systemu zasilającego oraz systemu kontroli warunków środowiskowych. Ponadto opisano założenia i wyniki testów dla modelu inżynierskiego, lotnego oraz testy integracyjne na pokładzie satelity oraz założenia planu operacyjnego na orbicie.

Doktorantka dokonała ogromnej pracy w opracowaniu i wybraniu odpowiedniej technologii materiałowej jak i doboru komponentów elektronicznych użytych zarówno do konstrukcji ładunku jak i systemów kontrolnych. W tej części pracy w sposób bardzo szczegółowy i przejrzysty opisana została metoda adaptacji dotychczas wykorzystywanych komponentów platform LOC. Przeprowadzono analizę warunków termicznych, zaprojektowano i wykonano system grzania lab-chipów (układów hodowlanych) o dużej dokładności. Zaprojektowano i skonstruowano systemy operacyjne autonomicznych subminiaturowych laboratoriów biologicznych, układy pomiarowe adekwatne do warunków pracy payloadu, hermetyczną obudowę, zapewniającą utrzymywanie w jej wnętrzu, powietrza atmosferycznego o odpowiedniej wilgotności oraz ochronę przed szkodliwym promieniowaniem. Wyniki badań autorka przedstawiła na szeregu bardzo ciekawie opracowanych wykresach i rysunkach. Natomiast na szczególne wyróżnienie zasługuje fakt, iż autorka bardzo pieczołowicie zanalizowała poszczególne kampanie testowe, z dogłębną analizą wpływu różnego rodzaju czynników zewnętrznych i wewnętrznych oraz korelacji przyszłych obserwacji w przestrzeni kosmicznej z testami laboratoryjnymi. Autorka wykazała, też wiele pomysłowości w adekwatnym przygotowaniu programu obserwacyjnego i jego sposobie kontroli i przygotowaniu operacji naprawczych.



Do pełnej ekspertyzy brakuje dyskusji i analizy pomiarów zakłóceń elektromagnetycznych EMC na poziomie ładunku LOC oraz podczas jego integracji z pokładem satelity. Ponieważ iż,

system diagnozowania zmian próbek biologicznych podczas lotu, oparty jest na diagnostyce optycznej nie w pełni oszacowano i przetestowano podwyższone wymagania czystości dla komponentów optycznych.

Ale podsumowując całość praca ta, charakteryzuje się kompleksową analizą w zakresie interdyscyplinarnym i z pewnością doczeka się wielu cytowań i zastosowań w innych pracach badawczych i konstruktorskich.

W rozdziale 6 niniejszej rozprawy doktorantka przedstawiła wnioski końcowe i podjęła analizę krytyczną prezentowanego eksperymentu. Jej propozycje i wnioski dotyczące ulepszenia metod diagnostyki i konstrukcji zminiaturyzowanych laboratoriów biologicznych w przyszłości wydają się bardzo trafne i konstruktywne.

Wybór bibliografii uważam za właściwy i reprezentatywny.

### **Wnioski końcowe**

W zakończeniu recenzji stwierdzam, że temat rozprawy jest adekwatny do zawartej w niej treści. Postawiony cel doktorantka osiągnęła przez wykazanie słuszności postawionej tezy. Praca ma charakter interdyscyplinarny z zakresu automatyki, elektroniki i badań kosmicznych a także, leży w głównym nurcie aktualnie prowadzonych na świecie eksperymentów za pomocą małych satelitów typu CubeSat. Wnioski końcowe sformułowane są jasno i poprawnie. Przedstawiona do recenzji rozprawa wykazuje, że doktorantka w stopniu bardzo dobrym opanowała duży zakres wiedzy z dziedziny wymienionych wyżej dziedzin. Potrafi ona samodzielnie prowadzić prace zarówno o charakterze konstruktorskim, inżynierskim i organizacyjnym. Na podkreślenie zasługuje fakt szerokiej znajomości trendów w badaniach kosmicznych oraz inżynierii z zakresu; automatyki, elektroniki technologii materiałowej oraz metod organizacji i zarządzania eksperymentami kosmicznymi. Generalnie praca jest napisana poprawnym językiem i jest bardzo dobrze zredagowana pod względem edytorskim. W tekście załazałam tylko nieliczne uchybienia językowe dotyczące



stylu i skróty myślowe. Moją jedyną uwagę dotyczy przyszłej aktywności doktorantki na polu eksperymentów kosmicznych. Poprzez zdobyte doświadczenie powinna ona raczej skoncentrować się na jednej specjalizacji np.; projektowanie układów elektronicznych, diagnostyce pomiarowej lub opracowanie podstaw inżynierskich lub organizacyjnych eksperymentu a pozostałe aktywności scedować na innych członków zespołu projektowego.

Reasumując stwierdzam, że praca wnosi istotny oryginalny wkład w światowe opracowanie strategii i planów badawczych biologicznych eksperymentów w przestrzeni kosmicznej.

Wnioskuje o wyróżnienie prezentowanej pracy.

Poprzez niniejszą rozprawę mgr inż. Adrianna Graja wykazała, że opanowała wiedzę teoretyczną i nabyła adekwatne umiejętności praktyczne umożliwiające jej dalsze prowadzenia prac naukowo-badawczych.

Z pełnym przekonaniem stwierdzam, że praca mgr inż. Adrianny Graji spełnia ustawowe warunki rozprawy doktorskiej i opowiadam się za dopuszczenie jej do publicznej obrony.

*Jana Rothkuehl*