

Lab-payload dla biologicznego satelity typu CebeSat



Patrycja Śniadek

Dr inż.

Politechnika Wrocławska Wydział
Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów

ORCID: 0000-0003-1752-2350

patrycja.sniadek@pwr.edu.pl

Streszczenie: Coraz większa eksploracja kosmosu powoduje wzrost zapotrzebowania na nanosatelity i metodologie biomedyczne. Najnowszym trendem jest prowadzenie badań z wykorzystaniem autonomicznych satelitów w standardzie CubeSat zawierających ładunek biomedyczny. W artykule opisano lab-payload dla pierwszego europejskiego bio-nanosatelity typu CubeSat. Platforma umożliwia długoterminową hodowlę 3 eksperymentów biologicznych jednocześnie. Platforma ta wyposażona jest w dedykowane lab-on-chipy, pojemniki z pożywką, system dozowania pożywki, system detekcji optycznej, oświetlenie, system ogrzewania oraz czujniki do odczytu temperatury, wilgotności, ciśnienia i promieniowania wewnątrz termosu.

Słowa kluczowe: Payload; Lab-chip; Astrobiologia; CubeSat

Wstęp

Eksploracja kosmosu jest obecnie jednym z głównych kierunków rozwoju jakie są podejmowane przez naukowców, instytucje państwowe oraz sektor prywatny. Wiadomo, że warunki panujące w przestrzeni kosmicznej mogą różnie wpływać na organizmy żywe, zatem każda próba prześledzenia tego wpływu jest bardzo istotna dla dalszego rozwoju badań kosmicznych. W tym celu większość prac badawczych na początkowym etapie wykorzystuje urządzenia symulujące mikrograwitację (RPM, RWV) na Ziemi [1]. Jednak nie jest możliwe wytworzenie i zasymulowanie w laboratoriach naziemnych środowiska kosmicznego. Dlatego wiele kluczowych badań jest przeprowadzanych w przestrzeni kosmicznej, gdzie jednocześnie można zaobserwować wpływ mikrograwitacji, obniżonego ciśnienia oraz zmiennego promieniowania jonizującego.

Znaczącą rolę w badaniach kosmicznych zajmuje Międzynarodowa Stacja Kosmiczna – ISS. Na jej pokładzie przeprowadzonych zostało ok. 2500 różnych badań naukowych, w tym kilkadziesiąt dotyczących biologii, medycyny i biotechnologii. Jednak zapewnienie szerokiego wachlarza usług generuje duże koszty dla pojedynczego eksperymentu. Pojawiają się również problemy z bardzo złożonymi wymaganiami dotyczącymi planowania misji oraz długim czasem realizacji eksperymentu ze względu na

duży popyt tych badań. Problem stanowi również własność intelektualna uzyskanych wyników badań. Dlatego można zauważyć rozwój i adaptację innych rozwiązań w celu prowadzenia badań bio-medycznych w kosmosie.

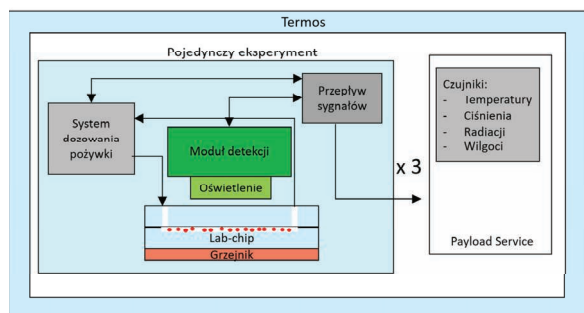
Istotny jest tutaj rozwój małych satelitów w standardzie CubeSat, których jednostką podstawową jest sześciąt o boku 10 cm (jednostka 1U). Standard ten został bardzo rozpowszechniony i znalazł zastosowanie między innymi w telekomunikacji, czy obserwacji Ziemi [2]. Rozwój tych satelitów zaowocował powstaniem pojęcia nanosatelity wykorzystywanego do prowadzenia badań biologicznych zwanego bio-nanosatelitą. Do tej pory przeprowadzonych zostało 11 misji biologicznych z udziałem tego typu satelitów (w tym prezentowana w poniższym artykule). Jednym z głównych elementów konstrukcyjnych tego typu satelitów jest ładunek, w którym umieszczane są planowane eksperymenty biomedyczne – payload. Musi on zapewnić odpowiednie warunki dla prowadzenia eksperymentu biomedycznego, a co za tym idzie kontrolę temperatury, ciśnienia, promieniowania, właściwe czynniki umożliwiające wzrost takie jak pożywka, atmosfera gazowa, oświetlenie, detekcję sygnału z akwizycją danych oraz przesłanie ich na Ziemię. W artykule tym zaprezentowany zostanie lab-payload dla pierwszej europejskiej misji kosmicznej umożliwiający prowadzenie hodowli takich obiektów biologicznych jak grzyby oraz ziarno.

Lab-payload koncepcja

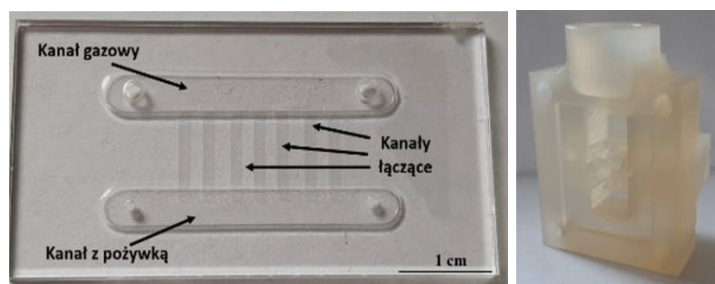
Bio-nanosatelita miał wymiary 3U z czego payload zawierał się w przestrzeni 2U (10x10x20cm³). Zaplanowana została obsługa jednocześnie trzech eksperymentów biologicznych. Każdy z nich zawierał dedykowanego lab-chipa dla danych obiektów biologicznych, utrzymaną odpowiednią temperaturę dla prowadzonej hodowli, właściwe dozowanie pożywki, oświetlenie oraz detekcję sygnału w postaci zarejestrowanych zdjęć. Wybrane eksperymenty zostały zamknięte w termosie (2U) zapewniającym ciśnieniem atmosferycznym, odpowiednie oczujnikowanie oraz komunikację z komputerem zarządzającym procesem hodowli (Rys. 1).

Elementy konstrukcyjne lab-payloadu

Zaprojektowane i wykonane zostały dedykowane lab-chipy umożliwiające prowadzenie hodowli grzybów (Rys. 2). Jako materiał do konstrukcji lab-chipów wybrane zostało szkło boro-krzemowe (Borofloat33, Schott). Topologię układu dobrano tak, aby zapewnić optymalny rozwój hodowli. Przeprowadzona została strukturyzacja podłoży szklanych wykorzystując proces trawienia mokrego, wiercenia mechanicznego oraz bondingu niskotemperaturowego. Wykonana została również, z wykorzystaniem druku 3D, mikrodoniczka umożliwiająca prowadzenie hodowli pojedynczego



1. Koncepcja lab-payloadu



2. Lab-chipy do prowadzenia hodowli grzybów (po lewej) oraz ziarna (po prawej)

ziarna (Rys. 2).

Zostały przeprowadzone wstępne hodowle w symulowanej mikrogravitacji z wykorzystaniem RWV oraz RPM. Można było zaobserwować, że zarodniki grzybów lepiej rozwijały się w symulowanej mikrogravitacji [3]. Natomiast ziarno rzeżuchy wykazywało problem z prawidłowym wzrostem [4].

Istotnym elementem układu było dozowanie pożywki, które odbywało się w układzie zamkniętym. Zastosowana została pompka perystaltyczna firmy Takasago (Japan) oraz pojemniki na pożywkę firmy Eppendorf. Szybkość przepływu pożywki była dopasowana dla każdej z prowadzonych hodowli i tak dla grzybów była to praca impulsowa i wynosiła 200 µl/min co 10 h, natomiast dla ziarna 500 µl/min co 12 godzin (Rys. 3).

W celu wykonania zdjęć umożliwiających ocenę parametryczną prowadzonej hodowli konieczne było oświetlenie każdego z eksperymentów. W tym celu zastosowano oświetlenie LED umożliwiające obserwację badanych próbek w odbiciowym trybie pracy. Zastosowano miniaturową kamerę CMOS o rozdzielczości 8 MP z interfejsem USB oraz specjalnie dobrany sterowany elektromagnetycznie focus, który umożliwiał ustawienie ostrości na badanym obiekcie. Istotne było zamontowanie kamery z focusiem i oświetleniem tuż nad powierzchnią chipa, tak aby system mógł wytrzymać przeciążenie 10G generowane podczas startu rakiety. Zestawiony układ detekcji umożliwiał obserwację obiektów o rozmiarach 8 µm (Rys. 4).

Realizacja lab-payloadu

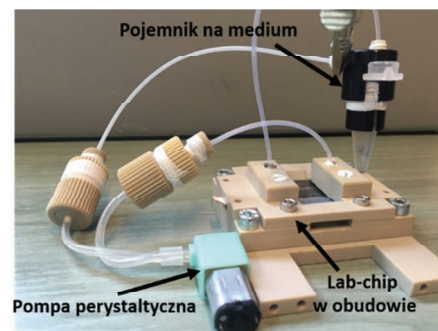
Poszczególne elementy układu zostały umieszczone w payloadzie 2U. Zawierał on w sobie 3 eksperymenty. Dwa z nich dedykowane zostały hodowli grzybów

z rodziny *Fusarium Culmorum*, a jeden hodowli ziarna rzeżuchy. Każdy z eksperymentów posiadał opisany wcześniej dedykowany układ dozujący pożywkę, układ detekcji optycznej oraz układ do kontroli termiki. Cała konstrukcja ładunku została umieszczona w specjalnym termosie do podtrzymywania atmosfery i połączenia z jednostką bazową satelity, co zapewniało kontrolę nad eksperymentami. Bardzo ważnym elementem było zamontowanie wszystkich systemów wewnątrz termosu laboratoryjnego, tak aby zapewnić bezpieczne wystąpienie na niską orbitę okołoziemską (LEO) – Rys. 5.

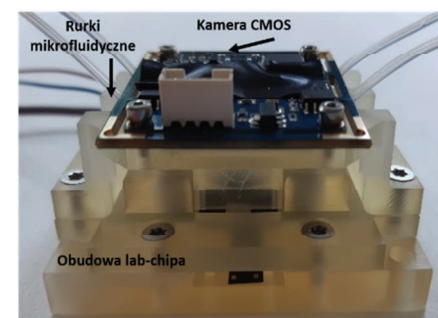
Lab-payload został zintegrowany ze strukturą satelity i w styczniu 2022 został wystrzelony na LEO. Sukcesem misji było uzyskanie zdjęć początkowego etapu kiełkowania ziarna. Sprawdzone i potwierdzone zostało prawidłowe działanie wszystkie elementów lab-payloadu umożliwiających podtrzymanie życia hodowli oraz układu optycznego gwarantującego parametryczną ocenę prowadzonych badań.

Podziękowania

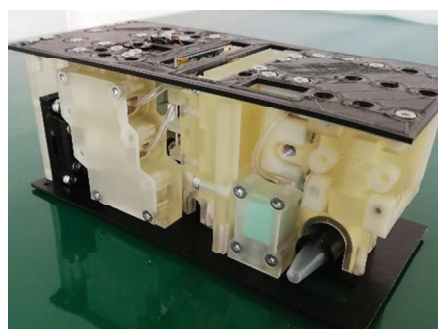
Praca została sfinansowana przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach projektu nr: POIR.04.01.01-00-0010/19 pt. „Bio-nanosatelita z wykorzystaniem zminiaturyzowanych instrumentów typu lab-on-chip oraz metodologia prowadzenia badań biomedycznych badania z wykorzystaniem jej w warunkach mikrogravitacji”. Składam podziękowania dr inż. Agnieszce Krakos, dr inż. Bartoszowi Kawię, dr inż. Marcinowi Białasowi, dr inż. Wojciechowi Kubickiemu, prof. dr hab. inż. Rafałowi Walczakowi, prof. dr hab. inż. Janowi Dziubanowi, którzy przyczynili się do powstania lab-payloadu dla satelity BioSat.



3. Układ dozowania



4. Układ detekcji



5. Realizacja lab-payloadu dla bio-nanosatelity

Materiały źródłowe

- [1] P. Zabel et al., Life Sciences in Space Research, 2016,10, 1-16
- [2] O. Koudelka et al., PTA Proceedings, 2017, vol. 5. 63-71.
- [3] A. Krakos et al., Applied Sciences, 2022, 11(20), 10625
- [4] B. Kawa et al., Sensors, 2023, 23(4), 1974