

# TO BEE OR NOT TO BEE? CZYLI LOT RAKIETĄ A PSZCZOŁY MIODNE (*APIS MELLIFERA*)

Dagmara Stasiowska (Kraków)

## Streszczenie

Z uwagi na coraz bardziej realną wizję kolonizacji Marsa, roztaczaną przez czołowe firmy z sektora kosmicznego na świecie, autor artykułu podejmuje kwestię zapylania potencjalnie hodowanych tam roślin. Jako najłatwiejsze rozwiązanie podaje przetransportowanie ze sobą przedstawicieli gatunku *Apis mellifera*, czyli znanej na świecie pszczoły miodnej. Artykuł opisuje podjęte badania dotyczące wpływu lotu rakieta na poprawność ich rozmnażania się oraz ogólną kondycję po locie, a także śmiertelność spowodowaną bezpośrednio przez stres wywołany tymi niezwyklejmi okolicznościami. Opisane zostają eksperymenty wykonane w ramach badań i ich efekty, budowa zaprojektowanego w tym celu ładunku raketowego oraz perspektywy dalszego rozwoju projektu.

## Abstract

Due to the more and more real vision of Mars colonization, author raises the issue of methods of pollination of plants potentially grown there. As the easiest solution is to transport specimens of *Apis mellifera* (honeybee) it should be examined rocket flight impact of rocket flight on honeybee queen reproduction correctness. The paper describes such research, honeybees overall post-flight condition and their mortality caused directly by stress caused by rocket flight. Rocket payload design, experiments conducted with its usage, their effects and project development possibilities are described.

Jedna z największych prywatnych firm sektora kosmicznego, SpaceX, zapowiada, że pierwsza załogowa misja na Marsa zostanie wysłana już w 2024 roku [5]. Od tego czasu rozpoczęty zostanie proces przystosowywania planety do przyjęcia kolejnych załóg, co wiąże się z budową stacji zasilających, budynków mieszkalnych oraz szklarni, w których hodowane będzie pożywienie dla pierwszych kolonizatorów Czerwonej Planety. W związku ze znacznym stopniem skomplikowania przedsięwzięcia od lat rozwijane są systemy mające umożliwić prawidłowy przebieg tej misji, projektowane są nowe rozwiązania dostarczające energii [4] czy roboty mające towarzyszyć i pomagać ludziom [7] w trakcie tego żmudnego, wieloletniego procesu.

Wydawać by się mogło, że przygotowania do misji są już na bardzo zaawansowanym poziomie. Nikt jednak nie wydaje się być zainteresowany tym, jak przeprowadzić na miejscu proces zapylania hodowanych tam roślin. Jak podaje Organizacja Narodów Zjednoczonych do spraw Wyżywienia i Rolnictwa, blisko 75% światowych upraw z przeznaczeniem na

spożycie przez ludzi zależy, przynajmniej w części, od zapylaczy [2]. Na Ziemi proces ten zaspokajany jest w większości miejsc przez naturalnie występujące osobniki na danym obszarze. Chcąc jednak przenieść ten proces na inną planetę, należy w pierwszej kolejności postawić sobie pytanie – czy i w jakiej kondycji potencjalne owady zapylające przetrwają sam transport? Rzecz jasna istnieją również prace nad sztucznym procesem zapylania przez małe drony, mające zastępować klasyczne pszczoły [1]. Jest to jednak projekt wymagający jeszcze lat pracy, aby był w stanie pracować tak efektywnie, jak rozwiązanie stworzone przez Matkę Naturę. W kwestii owadów pozostaje jednak również gros innych pytań bez odpowiedzi - na jaki gatunek właściwie się zdecydować? I czy stres związany z lotem rakieta nie odbije się negatywnie na samicach i ich późniejszym rozmnażaniu? Jak łatwo można się domyślić, jest to kluczowa kwestia dla podtrzymania każdego gatunku.

W celu odpowiedzi na choć część z postawionych pytań zdecydowano się podjąć próbę wyznaczenia wpływu lotu rakieta na poprawność czerwienia kró-

lowej pszczoły miodnej (*Apis mellifera*). Został zaprojektowany, jako rodzaj eksperymentu naukowego, w którym ładunek umieszczony zostaje w rakiecie i ma dostarczyć informacji swojemu twórcy na zadany temat.

### Cel eksperymentu

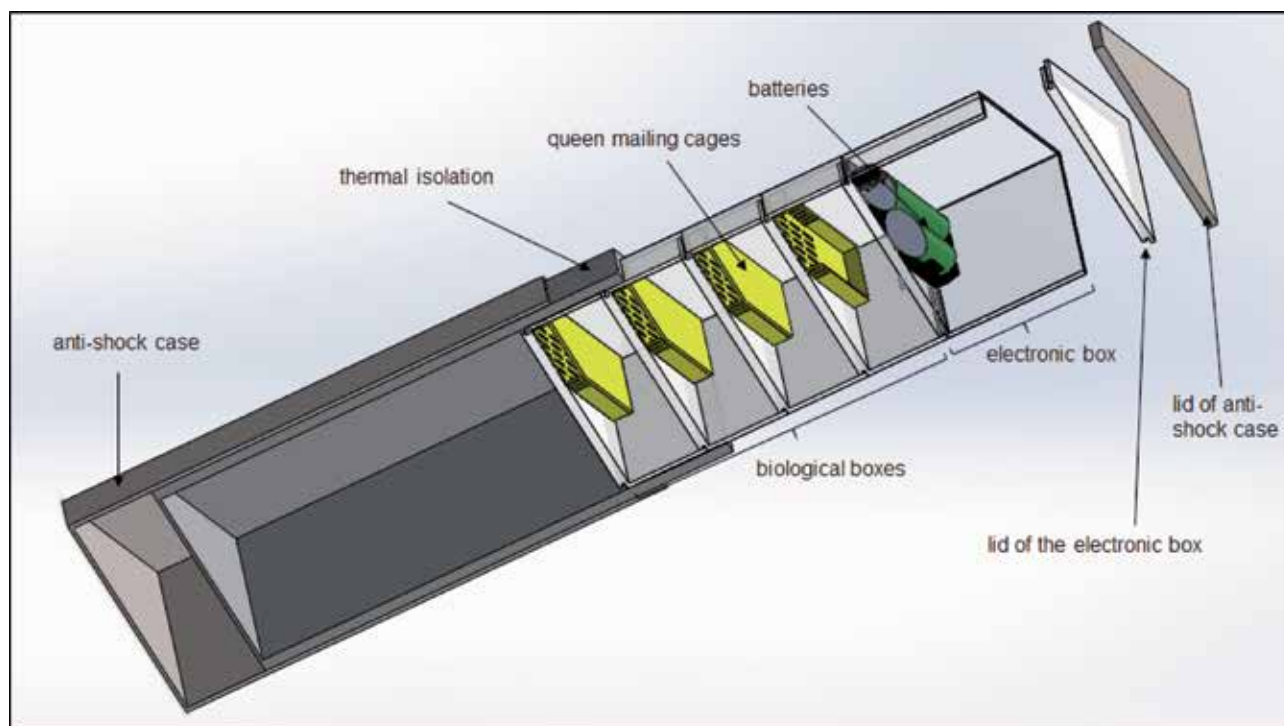
Głównym celem eksperymentu było wyznaczenie wpływu lotu rakieta na poprawność czerwienia (czyli rozmnażania się) królowej pszczoły miodnej (*Apis mellifera*). Dodatkowo sprawdzona została ich przeżywalność (w formie testu binarnego „żywe/martwe”) oraz kondycja po locie rakieta (wygląd skrzydeł, ciała), zachowanie po otwarciu klameczek pszczelich oraz gotowość do podjęcia lotu.

### Opis eksperymentu

Ładunek „BeeO!Logical” został zaprojektowany jako uniwersalna platforma do raketowych testów biologicznych, z możliwością wykorzystania także w gondoli balonu stratosferycznego. Był on przeznaczony do wykorzystania w trakcie najbardziej prestiżowych studenckich zawodów inżynierii raketowej Intercollegiate Rocket Engineering Competition, odbywających się na największym na świecie prywatnym kosmodromie Spaceport America, zlokalizowanym w stanie Nowy Meksyk w USA. Z tego powodu w trakcie jego projektowania uwzględnione zostały pewne założenia oraz ograniczenia narzucone przez regulamin samych zawodów.

Z uwagi na biologiczną naturę eksperymentu koniecznym było określenie poprawnej liczebności próby, w celu zapewnienia wiarygodności uzyskanych wyników. Była ona uzależniona również od dostępności przestrzeni wewnątrz ładunku (jego wymiary zewnętrzne to tzw. 3U, czyli 10 x 10 x 30 cm) oraz możliwości „produkcyjnych” pasieki dostarczającej osobniki do eksperymentu – czyli zwyczajnie ilości matek, które jednocześnie mogły zostać przekazane przez zaprzyjaźnioną „Pasiekę Szeligów” na cele eksperymentu. Co więcej, ilość ta była dodatkowo ograniczona przez konieczność jednoczesnego posiadania próby dwukrotnie większej niż wymagana jedynie przez ładunek raketowy – znów biologiczna natura eksperymentu narzucała konieczność posiadania 2 identycznych egzemplarzy eksperymentu – jednego funkcjonującego jako „próba badana” i wykorzystywanego w trakcie lotu rakieta oraz drugiego, będącego „próbą kontrolną” – czyli poddanego wszystkim zmianom czynników zewnętrznych, takim jak próba badana, poza jednym – lotem. Takie podejście do problemu znacząco ułatwia interpretację uzyskanych wyników oraz pozwala uniknąć wyciągania błędnych wniosków – przykładowo, jeśli jakieś zjawisko zostanie zaobserwowane w obu próbach, można wykluczyć jego wystąpienie na skutek interesującego nas lotu rakieta (bo przecież tylko jedna z prób w locie takim bierze udział).

„BeeO!Logical” składa się z 4 głównych mechanicznych części – kostek biologicznych (*biological boxes*), kostki elektronicznej (*electronic box*), obudo-



Ryc. 1. Schemat koncepcyjny ładunku (wizualizacja wykonana przy użyciu programu Solidworks 2018).

wy przeciwwstrząsowej (*anti-shock case*) oraz izolacji termicznej (*thermal isolation*). Wszystkie kostki wykonano z poliwęglanu o grubości 2 mm, jako materiału lekkiego a jednocześnie wytrzymałego mechanicznie oraz posiadającego duży zakres temperaturowy pracy. Taki wybór umożliwił wykorzystanie jego wewnętrznej części, jako niezależnej od reszty, w misji balonu stratosferycznego. Zewnętrzna obudowa wykonana została z 2-milimetrowej stali nierdzewnej. Poza podstawową funkcją umożliwiającą ona również łatwy montaż eksperymentu w rakiecie przy użyciu jedynie



Ryc. 2. Misja balonu stratosferycznego, kwiecień 2019. Na pokładzie gondoli znajdują się 3 królowe *A. mellifera* wraz ze świtą. (fot.: Maciej Talar).

2 wręg centrujących, mocowanych przy pomocy śrub M4 do podstawy i wieka obudowy. Jako izolacja termiczna wybrana została pianka Porogel Medium Spaceloft, cechująca się bardzo niskim współczynnikiem przewodzenia ciepła na poziomie  $0,015 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Swoje właściwości zawdzięcza zastosowaniu wypełnienia przestrzeni pomiędzy wzmocnionymi włóknami szklanymi aerożelem krzemionkowym.

Elektronika pokładowa została zrealizowana jako dedykowana płytki PCB, będąca głównym komputerem pokładowym ładunku. Została ona w całości zaprojektowana na potrzeby eksperymentu przez jednego z członków Koła Naukowego AGH Space Systems, inż. Bartosza Zielińskiego. Komputer pokładowy był odpowiedzialny za zbieranie i zapisywanie danych z zestawu czujników, takich jak barometr, czujnik wilgotności i temperatury czy też czujnik

stężenia dwutlenku węgla. Całość zasilana była przy użyciu 4 baterii typu AA – popularnych „paluszków”.

Same pszczoły były umieszczane bezpośrednio w klateczkach pszczelich (*queen mailing cages*) – są to małe transportery do przewozu królowych, powszechnie wykorzystywane przez pszczelarzy. Posiadają one wbudowany podajnik pokarmu oraz zaczepy ułatwiające ich bezpieczny transport. Ich zastosowanie znacząco ułatwiło proces składania ładunku oraz wykluczyło konieczność każdorazowego przekładania osobników z pojemnika do pojemnika. To z kolei pozwoliło ogra-



Ryc. 3. Rakiet „Carbonara” w trakcie startu (źródło: archiwum prywatne AGH Space Systems).

niczyć stres z tym związany, a zatem zmniejszyć jego negatywne oddziaływanie na badane pszczoły.

### Eksperymenty i ich wyniki

Pierwszym z eksperymentów wykonanych na zaprojektowanym ładunku była misja balonu stratosferycznego. Odbyła się ona 28 kwietnia 2019 roku. Została ona wykonana w celu poszerzenia zakresu badań o wpływ warunków zbliżonych do kosmicznych na matki pszczoły („królowe”) *A. mellifera*. Balon z 3 królowymi na pokładzie doleciał na wysokość ok. 37 km, po czym bezpiecznie powrócił na ziemię. Niestety wszystkie osobniki, zarówno z próby badanej, jak i kontrolnej, zmarły po około tygodniu od czasu odbycia się eksperymentu. Najbardziej prawdopodobnym powodem było drastyczne skrócenie czasu

ich życia przez niecelowe poddanie ich śpiączce wywołanej dwutlenkiem węgla. Zjawisko takie zostało już wcześniej zaobserwowane i opisane [3].

Kolejną próbą dla sprawdzenia poprawności zaprojektowania oraz wykonania eksperymentu był lot rakieta *Carbonara* wykonany 17.05.2019 r. na Pusty-

z uwagi na bardzo ograniczoną dostępność pszczoł miodnych w Stanach Zjednoczonych w ogóle, nie mówiąc już o królowych, będących bardzo cennymi na rynku amerykańskim (matki ze świtą były od swoich polskich odpowiedniczek przeszło 5-krotnie droższe!).



Ryc. 4. System montowania ładunku w rakiecie „Carbonara” (fot.: archiwum prywatne AGH Space Systems).

ni Błędowskiej w pobliżu Krakowa. Z uwagi na konieczność przystosowania ładunku do innej rakiety, niż projektowa, wykonano specjalny uchwyt montażowy w rakiecie. Koniecznym było również zrezygnowanie z użycia obudowy przeciwwstrząsowej z uwagi na maksymalną masę ładunku, jaki rakieta zdolna była wynieść. Na pokładzie znajdowały się tylko robotnice pszczoły miodnej, test więc był stricte binarny, sprawdzający ich przeżywalność w trakcie lotu.

Główne eksperymenty z użyciem ładunku rakietowego odbyły się w dniach 21 – 23 czerwca br. w Nowym Meksyku, USA. Podjęto trzy próby wystrzelenia rakiety *PROtyp*, z czego ostatnia zakończyła się częściowym sukcesem. Przewidywany pułap, na jaki miała wzbic się rakieta to 3 km (rakieta sondująca). Z uwagi jednak na niespodziewany wyciek w systemie podawania utleniacza do silnika (tzw. *feed system*) wytworzył się ciąg boczny, który spowodował że *PROtyp* wykonał kilka efektownych „fikołków”, po czym wylądował – szczęście w nieszczęściu – na jednym z 2 spadochronów. Osiągnięto pułap jedynie 225 m, jednak w momencie startu zarejestrowano przeciążenia rzędu 6,5 G! Niestety w eksperymencie wykorzystane zostały jedynie robotnice *A. mellifera*

Problemem w USA było również samo przełożenie samic do klateczek pszczelich. Kłopot ten był zaskakujący, ponieważ podczas eksperymentu przeprowadzonego w Polsce nigdy nie wystąpił. Również klasyczne metody „uspokojenia” pszczoł, tak aby możliwe było złapanie ich pęsetą i przełożenie do klateczki, okazały się nieskuteczne – po półgodzinnym pobycie w lodówce pszczoły zamiast uspokojenia się, a nawet zapadnięcia w stan lekkiego uśpienia (czego oczekiwano), stały się jeszcze bardziej pobudzone i ruchliwe! Jak później się okazało, najprawdopodobniej było to efektem przeprowadzenia tego typu działań na innym rodzaju pszczoły miodnej niż dotychczas – nie łagodnej europejskiej, lecz bardziej agresywnej mieszanki pszczoły amerykańskiej z afrykańską... Szczęśliwie proces udało się (choć częściowo) przeprowadzić i robotnice zostały finalnie umieszczone w transporterach, które następnie zostały zamknięte w ładunku rakietowym.

Po tak drastycznym locie zaskakującym może być fakt, iż większość z pszczoł znajdujących się na pokładzie rakiety przeżyło. Śmierć części z nich mogła być spowodowana lotem, jednak równie prawdopodobnym jest, iż umarły one... ze starości. Przeciętny

czas życia robotnicy w sezonie letnim to 2–4 tygodni [8], a należy pamiętać o tym, że z uwagi na bardzo ograniczoną dostępność pszczół, te same osobniki były wykorzystywane do eksperymentu przez 3 kolejne dni. Taki stan rzeczy mógł znacząco podnieść prawdopodobieństwo śmierci z przyczyn naturalnych w stosunku do śmierci spowodowanych przez stres związany z lotem czy też przeciążenia wywołane przez rakietę.

### Wnioski i dalsze plany

Od początku projektu nastąpił jego znaczny rozwój – miał już on kilka swoich kolejnych iteracji (powtórzeń), każda wprowadzająca poprawki w sposób działania czy też ułatwiająca obsługę. Dowiedziono również, iż robotnice gatunku *Apis mellifera* zdolne są do przeżycia dużych przeciążeń związanych z lotem rakieta (takich jak np. występujące podczas startu) i nie wpływa to znacząco na ich ogólną kondycję fizyczną, nie zauważa się również niepokojących zmian w ich wyglądzie zewnętrznym czy kondycji skrzydeł. Po trzech dniach zawodów w próbie kontrolnej przeżyło ok. 88% osobników, a w badanej – 75%. Początkowe wnioski są więc takie, iż pszczoły mogą być transportowane raketami bez negatywnego wpływu na ich późniejsze funkcjonowanie oraz przy względnie niskiej śmiertelności. Niezbędne jest jednak określenie wpływu tego specyficznego rodzaju stresu na sam proces rozmnażania się, jako krytyczne dla prawidłowego funkcjonowania rodziny pszczoły na obcej planecie.

Niemniej jednak kilka kwestii wymaga dalszych prac. Tyczy się to m.in. poprawy sztywności struktury mechanicznej, przy jednoczesnym zachowaniu obecnej modułowości ładunku, która to znacząco ułatwia proces jego składania i montażu. Kwestią wartą rozważenia jest również montaż kamery wewnętrznej, umożliwiającej dokładne określenie momentów i tym samym przyczyny śmierci kolejnych osobników. Pozwoliłaby ona również na skorelowanie pomiarów CO<sub>2</sub> i dużych jego „wyrzutów” z sytuacją wewnątrz ładunku. To samo dotyczy zaprojektowania i wdrożenia aktywnego systemu podtrzymywania życia. Rozwiązanie takie pozwoliłoby m.in. wykluczyć wpływ nadmiernego stężenia dwutlenku węgla w powietrzu na czas życia pszczół.

Wartą rozważenia jest również możliwość przeprowadzenia analogicznych eksperymentów z użyciem trzmieli (*Bombus*), jako bardziej samodzielnych i efektywnych zapylaczy [9]. Badania takie wymagałyby jednak zgody odpowiednich organów, jako że są one w Polsce gatunkiem chronionym.

Obecnie prowadzone są prace nad biocybernetycznym modelem rodziny pszczoły [6] z możliwością wykorzystania go do komputerowego przewidywania skutków poddania matki pszczoły stresom związanym z lotem rakieta. Model taki, jeśli okaże się wystarczający, będzie mógł zostać wykorzystany jako zastępczy względem eksperymentów na żywych osobnikach, co znacząco ułatwi badania oraz zminimalizuje ilość pszczół koniecznych do „poświęcenia w imię nauki”.

### Bibliografia:

1. Amador G.J., Hu D.L. (2017) Sticky Solution Provides Grip for the First Robotic Pollinator, *Chem*, 2: 162 – 164.
2. AO (2018) I9527EN/2/05.19: Why bees matter. The importance of bees and other pollinators for food and agriculture, *Food and Agriculture Organization of the United Nations*.
3. Eskov E.K., Eskova M.D., Spasik S.E. (2014) Hypo- and hyperthermia of bees anesthetized with carbon dioxide, *Russian Agricultural Sciences*, 40: 382 – 384.
4. <http://large.stanford.edu/courses/2017/ph240/black1/> [dostęp: wrzesień 2019]
5. <https://www.spacex.com/mars> [dostęp: lipiec 2019]
6. Migacz A., Tadeusiewicz R. (1983) The computer model of the bee colony. *System Science*, 9: 83 – 95.
7. [robonaut.jsc.nasa.gov/R2/](http://robonaut.jsc.nasa.gov/R2/) [dostęp: wrzesień 2019]
8. Rueppell O., Bachelier C., Fondrk M.K., Page Jr. R.E. (2007) Regulation of life history determines lifespan of worker honey bees (*Apis mellifera* L.) *Experimental Gerontology*, 42: 1020 – 1032.
9. Thomson J.D., Goodell K. (2002) Pollen removal and deposition by honeybee and bumblebee visitors to apple and almond flowers, *Journal of Applied Ecology*, 38: 1032 – 1044.