

AGATA KOŁODZIEJCZYK  
KOSMOS W PRAKTYCE



ANALOG ASTRONAUT TRAINING CENTER



**AGATA KOŁODZIEJCZYK**  
**KOSMOS W PRAKTYCE**

Marzenia to nie to, o czym śniesz, ale co spędza sen z powiek...

Praca napisana na podstawie przeprowadzonych przez autorów edukacyjnych projektów i symulacji misji kosmicznych w latach 2016-2019. Celem pracy jest upowszechnienie zagadnień: współczesnej astronautyki, turystyki kosmicznej i kolonizacji terenów pozaziemskich, przede wszystkim zaś ma być pomocna dla tych, którzy chcą iść w stronę gwiazd a dopiero zaczynają tę niezwykłą, wartą każdego wysiłku, drogę. Jesteśmy z wami wszystkimi, którzy tak jak my, nie możecie spać, bo myślicie, jak bezpiecznie podróżować w kosmosie i zasiedlić nowe światy, jak stworzyć możliwość taniej, ekologicznej turystyki kosmicznej, jak zwiększyć zasięg ludzkiej eksploracji i kolonizacji. Jak żyć dobrze, w zgodzie z naturą, w każdych warunkach na ziemi i poza nią.

Pragniemy dedykować tę pracę nauczycielom, uczniom, inżynierom, artystom, biznesmenom, przedsiębiorcom i wszystkim tym, którzy poważnie myślą o życiu w kosmosie. Bazując na doświadczeniu wyniesionym z Europejskiej Agencji Kosmicznej, jak i cennym feedbacku od uczniów, chcielibyśmy zainspirować i ułatwić organizację zajęć praktycznych z tematyki kosmicznej. Prosimy o opinie i komentarze, aby ta książka stawała się jeszcze lepsza.

#### Zdjęcia na okładce:

1. Dr Sarah Jane Pell - komandor międzynarodowej symulacji misji księżycowej SPECTRA w czasie spaceru kosmicznego EVA (extravehicular activity), budująca Moonhedge w oparciu o wykonane wcześniej obliczenia. Dwutygodniowa misja SPECTRA odbyła się 14-29 lipca 2018 r. w habitacie Lunares w Pile, zorganizowana przez autorkę i jej zespół. Fotografia: Dr Sian Proctor.
2. Przygotowania modułu siłowni habitatu Analog Astronaut Training Center w gminie Rzepiennik Strzyżewski na potrzeby przeprowadzanych symulacji misji analogowych. Fotografia: Agata Kołodziejczyk

Redakcja: Dr Agata Kołodziejczyk, Matt Harasymczuk

Analog Astronaut Training Center

Copyright © Agata Kołodziejczyk

ISBN 978-83-956752-0-1

Kraków, 2020

Wydanie I

Wersja elektroniczna książki jest dostępna na stronie [www.astronaut.center](http://www.astronaut.center)

Kontakt: [fichbio@gmail.com](mailto:fichbio@gmail.com)

# SPIS TREŚCI

<b>Wprowadzenie .....</b>	<b>6</b>
<b>Misje stratosferyczne.....</b>	<b>7</b>
Przygotowanie sprzętu.....	9
Kapsuła .....	11
Zasilanie.....	12
Planowanie lotu .....	12
Zgoda Polskiej Agencji Żeglugi Powietrznej .....	13
Telemetria i nawigacja.....	15
Procedury .....	17
Launch czyli start balonu .....	17
Lądowanie .....	21
Analiza danych.....	21
<b>Warsztaty raketowe.....</b>	<b>27</b>
Symulator lotów kosmicznych .....	29
Oprogramowanie do projektowania modeli raketowych: OpenRocket.....	31
<b>Symulacje misji kosmicznych.....</b>	<b>34</b>
Uczestnicy misji.....	37
Role i odpowiedzialności .....	38
Przygotowanie misji .....	41
<b>Projektowanie baz pozaziemskich .....</b>	<b>46</b>
<b>Technologie kosmiczne .....</b>	<b>50</b>
Debata.....	50
Innowacyjne eksperymenty naukowo-biznesowe .....	51
<b>Biologia kosmiczna.....</b>	<b>52</b>
Pogoda kosmiczna .....	52
Systemy podtrzymywania życia .....	52
Produkcja celulozy z kombuczy .....	53
<b>Przydatne informacje .....</b>	<b>54</b>
<b>Spis Fotografii.....</b>	<b>55</b>

# WPROWADZENIE

Kolonizacja nowych obszarów w kosmosie to obecnie jedno z największych wyzwań XXI wieku. Przyniesie ono konkretne rozwiązania problemów klimatycznych i środowiskowych naszej planety. Porażka nie jest tutaj opcją: *"failure is not an option"* - jak to mówił Prezydent Kennedy ogłaszając program Apollo na Księżyc. To właśnie teraz, w 50-tą rocznicę tych historycznych zdarzeń człowiek powraca na Srebrny Glob, już nie jako pionier, lecz jako kolonizator, przemysłowiec, biznesmen, świadomy swojej misji, swoich mocy i słabości. Porażka nie jest opcją, ponieważ nie chodzi już tylko o pieniądze, czy manifest siły danego kraju. Chodzi o przetrwanie biologicznego życia. "Życie" to nie lubiany przez inżynierów parametr, który znacząco eskaluje koszty organizowanych misji kosmicznych. Jednak to właśnie praca ludzi w kosmosie przynosi największy zwrot kosztów: nową wiedzę, badania, technologie i nowe style życia dla wszystkich, przede wszystkim nas - żyjących tu na ziemi. Spośród wielu możliwości rozwoju badań nad załogowymi lotami w kosmos, analogowe symulacje misji kosmicznych zdają się być coraz bardziej popularne i wydajne jeśli chodzi o publikacje wyników badań, czy transfer nowych rozwiązań w sferę realizacji biznesowych.

W każdym kulturalnym mieście są kino, muzeum, filharmonia czy planetarium. Czas na rozszerzenie oferty i tworzenie lokalnych, dostępnych dla każdego, laboratoriów kosmicznych w duchu nadchodzącej ery wyjścia człowieka z kolebki ziemi. Z wielu stron słychać nienasycone głosy o praktykę i namacalne dotknięcie tego co nieosiągalne. W naszym kraju wciąż zbyt mało działań, które prowadzą na najbardziej prestiżowe kierunki inżynierii kosmicznej na świecie, na staże Europejskiej Agencji Kosmicznej, dalej i wyżej. Poza jednostkami, które bezwzględnie idą pod prąd i zajdą tam, gdzie same zechcą, większość ludzi nie rozumie, po co kosmos tu na ziemi. Okrojone raporty w mediach o milionach Euro wydawanych na utrzymanie kilku osób 400 km nad Ziemią działają prowokująco narzucając kontrolowany subiektywizm. Zapomina się natomiast o wartości danych z satelitów obserwujących Ziemię w konstelacjach Copernicusa, o systemach geolokalizacji GPS czy Galileo, o internecie satelitarnym i o najważniejszym - darmowej energii słonecznej.

Niniejsza praca nie jest podajnikiem teoretycznej wiedzy, bo ta jest obszernie dostępna w internecie i setkach opracowań. Stanowi przykłady praktyk, którymi się może delectować każdy bez względu na wiek, płeć, wykształcenie i stopień zamożności. Wystarczy tylko chcieć, aby sięgać gwiazd. Najpierw wygląda to jak zabawa, z czasem przechodzi w pasję, hobby, a dla wytrwałych transformuje w badania naukowe, biznes i upragniony lot w kosmos, czego autorzy tej pracy serdecznie życzą.

# MISJE STRATOSFERYCZNE

Czyli eksperymenty dla tych, którzy pragną testować własne pomysły w środowisku najbardziej zbliżonym do kosmicznego, tzw. near-space.



### Podstawowe parametry

**Stopień trudności:** od średniego po profesjonalny

**Czas przygotowania:** minimum 30 dni

**Ilość osób:** minimum 1

**Koszt minimalny:** 1000 zł (zakładając że się nic nie pożycza), możliwość bezpłatnego podłączenia się do innych misji na terenie Polski.

**Czego uczy:** pracy zespołowej, precyzji, umiejętności łączenia wielu podsystemów w całość, synchronizacji w działaniu, odpowiedzialności

**Dodatkowe profity:** wygrana w konkursach, zwiększenie szans na dostanie się na staże do branży kosmicznej, ogromna satysfakcja i niezapomniane doświadczenie życiowe.

**Misja** w języku osób zajmujących się branżą kosmiczną to inaczej odległa podróż w ściśle określonym celu. Jest ona precyzyjnie zaplanowana, a po jej zakończeniu wymagane jest przedstawienie raportu podsumowującego realizację ustalonych wcześniej zadań i analizę wyników.

Misje stratosferyczne mogą poszerzyć wiedzę na wiele sposobów. Dla niektórych proces tworzenia kapsuły to szansa nauczenia się nowych technologii, jak programowanie, modelowanie 3D, tworzenie elektroniki, zdobycie podstaw telemetrii i nawigacji. Dla pozostałych jest to możliwość przeprowadzenia wartościowych eksperymentów w górnej warstwie atmosfery z różnych dziedzin, np.: chemii materiałów, biochemii, biologii, dietetyki, ekologii, geofizyki, fotografii, meteorologii, itd..

Coraz popularniejsze stają się eksperymenty przynoszące określone efekty a nie tylko ocenę do dziennika. Uczniowie coraz częściej wymagają praktycznego zastosowania zdobywanej wiedzy i konkretnych rezultatów, zwłaszcza takich, którymi można podzielić się na Instagramie i w pozostałych mediach społecznościowych.

Misje stratosferyczne to okazja do realizacji zróżnicowanych eksperymentów przygotowanych przez uczniów. Prowadzącą osobą musi być osoba pełnoletnia, ponieważ wymagane jest uzyskanie zgody na lot balonu wydawanej przez Polską Agencję Żeglugi Powietrznej. Uczniowie wraz z opiekunem wspólnie konstruują kapsułę, montują systemy nawigacji, kamery i moduł eksperymentalny.



Misja stratosferyczna obejmuje:

1. Przygotowanie niezbędnego sprzętu (najdłuższy okres czasu w projekcie);
2. Start balonu wraz z urządzeniami pomiarowymi i eksperymentami ( 2 godziny);
3. Odzyskanie kapsuły, zgranie danych z lotu, zabezpieczenie próbek (6 godzin);
4. Analizę wyników (kilka dni).

### **PRZYGOTOWANIE SPRZĘTU**

Podobnie jak w przypadku misji kosmicznych, misje near-space wymagają skrupulatnych multidyscyplinarnych przygotowań. Ponieważ bardzo mało ludzi specjalizuje się w kilku dziedzinach naraz, zespół musi się bardzo dobrze komunikować ze sobą, aby nie było nieporozumień i opóźnień czasowych. Przygotowanie do misji stratosferycznej obejmuje konstrukcję kapsuły chroniącej wynoszony sprzęt, integrację czujników, kamer i urządzeń telemetrycznych, testy naziemne wszystkich podsystemów, rezerwację przestrzeni powietrznej i predykcje lotu.

#### **Podstawowy sprzęt i materiały**

##### **Materiały jednorazowe:**

Balon: 400 zł ( Hwoyee, Totex, Kaymont, Qualatex 36")

Wodór: 100 zł (Linde Gas)

Opcjonalnie Hel: 1000 zł (Linde Gas)

Jednorazowe rękawiczki gumowe: 20 zł

Baterie litowe: 20 zł

Ogrzewacze chemiczne: 20 zł

Materiały do budowy kapsuły: 50 zł (styrodur, balsa, włókna poliwęglowe, itd.)

Koszty transportu celem odzyskania kapsuły: 100 zł

##### **Materiały wielokrotnego użytku:**

Spadochron: 200 zł ( Spherachutes, RocketMan, Hight Altitude Science)

System telemetry, tracker GPS: 650 zł

Kamera: 1500 zł

Linki, sznurki, gumki (np. Castorama): 100 zł

Urządzenia do pompowania balonu (reduktor, wąż, adaptery): 500 zł

Powerbank: 200 zł

Kamizelki odblaskowe: 4 zł/szt.

## Jaki balon?

Rozmiary i kształty balonów są różne, najważniejsza jest masa balonu, która determinuje, ile ładunku poleci do stratosfery. Im większy balon, tym więcej sprzętu możemy wynieść w górę. Również od wielkości i masy balonu zależy jak wysoko on zaleci i tym samym jak długo będzie trwał lot i ekspozycja eksperymentów na środowisko stratosfery. Rekordy wysokości należą do balonów firmy Hwoyee 1600g. Na pierwszy start poleca się niewielki balon o masie 600g - 800g. W internecie dostępne są kalkulatory, które liczą, jaki balon będzie nam potrzebny (np. Habhub Balloon Sizing Calculator, High Altitude Science Ascent Rate and Burst Calculator, Project Aetheer Balloon Sizing/Inflation Tool). Aby móc z niego skorzystać, musimy znać masę naszego załadunku oraz wysokość, na którą chcemy lecieć. Jeśli decydujemy się kupić balon lateksowy, należy pamiętać, aby długo nie zwlekać z jego wykorzystaniem, guma bowiem z czasem traci elastyczność i zwiększa się ryzyko pęknięcia balonu. Podczas pompowania balonów należy szczególnie uważać, aby dotykać powłoki jedynie w gumowych rękawiczkach. Wystarczy odrobina potu, tłuszczu z naszych dłoni, i balon może szybciej pęknąć w miejscu zanieczyszczenia.

## Hel czy wodór?

Wiele osób obawia się korzystania z wybuchowego wodoru w czasie publicznych startów do stratosfery. Przy imprezach masowych słuszną decyzją jest użycie 10 razy droższego helu. Wybuch wodoru może być wywołany uszkodzeniem butli oraz zaprószeniem ognia iskrą na przykład z papierosa. Jeśli nie jesteśmy w stanie pozwolić sobie na helowy budżet, przy starcie misji należy podjąć dodatkowe środki ostrożności, czyli:

1. W czasie transportu butli ze stacji gazowej, ma być ona unieruchomiona pasami, zwłaszcza w części, w której znajduje się zawór. Unikać wstrząsania butlą przy przenoszeniu na stanowisko, najlepiej długim węzłem do gazu pompować wodór bezpośrednio z samochodu;
2. W czasie pracy z wodorem obowiązuje kategoryczny zakaz używania ognia;
3. Tylko niezbędne doświadczone osoby powinny znajdować się przy starcie balonu, reszta osób oddalona w wydzielonej strefie obserwacyjnej;
4. Osoby napełniające wodorem balon powinny mieć nakrycia głowy. Osoby mające kontakt z węzłem do gazu mogą korzystać z ciepłych rękawic, ponieważ rozprężający się wodór chłodzi. W przypadku wybuchu jest on bardzo dynamiczny, ponad głowami błyskawicznie pali się lateksowa powłoka balonu i kawałki stopionego plastiku opadają na ziemię.

## KAPSUŁA

Wielkość, kształt czy sposób wykonania kapsuły dużo mówią o jego twórcach, zwłaszcza o stopniu ich zaangażowania i stosunku do wykonywanego projektu. To tu najbardziej widać jakość misji. Kapsuła to nasz statek kosmiczny, najbardziej oryginalny element projektu, który pełni funkcję ochronną zabezpieczając sprzęt przed uszkodzeniem w czasie zmiennych warunków lotu i uderzenia o ziemię czy lądowania w wodzie. Musi być konstrukcją maksymalnie lekką (do 2 kg wraz z zawartością) i bezpieczną dla otoczenia. Wiele osób bardziej się skupia na sprzęcie, który po prostu pakuje przyklejając srebrną taśmą (tzw. duct tape) w środku styropianowego opakowania. Inni korzystają ze sztucznej inteligencji, algorytmów ewolucyjnych i druku 3D, aby komputer sam skonstruował kapsułę. Jeszcze inni całkiem odchodzą od schematu kapsuły i konstruują stratosferyczne drony. Co jest najważniejsze, to podpisanie kapsuły przed startem tak, aby w razie odnalezienia jej przez innego człowieka, mógł on zadzwonić i wskazać miejsce odbioru.



Kapsuły stratosferyczne mają różne kształty w zależności od eksperymentów i sprzętów, jakie ochraniają. Dobrze wykonana kapsuła nadaje się do wielokrotnego użytku, inne są specjalnie projektowane, aby amortyzowały uderzenie i się rozpadały w kontrolowany sposób.

## ZASILANIE

Najczęstszym błędem i przyczyną frustracji w lotach do stratosfery są problemy z zasilaniem, dlatego szczególnie ważne jest zakupienie dobrej jakości baterii litowych i konieczne sprawdzenie, czy są one wystarczająco naładowane tuż przed startem. Często zapomina się wymienić baterie na nowe po testach naziemnych, kiedy wszystko działa i usypia naszą czujność. Spośród wielu możliwości na rynku, baterie litowe sprawdzają się najlepiej przy niskich temperaturach. Nagrywanie całego lotu z kapsuły to 1,5-2 h czasu. Konieczne jest podłączenie kamery do power-banku, aby wystarczyło energii na cały lot.

## PLANOWANIE LOTU

Z łatwością możemy wybrać miejsce startu balonu. Osobiście wybieramy miejsca same w sobie ciekawe i piękne, aby mieć przyjemność nie tylko z przeprowadzanej misji, ale również cieszyć się urokiem przyrody. Jeśli planujemy raport do mediów, zdjęcie na tle zamku wygląda bardziej atrakcyjnie niż na ganku przed domem.



Niezwykle ważnymi kryteriami wyboru miejsca startu powinny być gęstość zaludnienia, ilość dróg i autostrad, rzek i jezior, granice państwa. Nie wiemy bowiem, gdzie wyląduje nasza kapsuła, a żaden ubezpieczyciel (o jakim nam wiadomo), nie weźmie odpowiedzialności za takie ryzyko. Po zaplanowaniu miejsca startu trzeba zatem zrobić predykcje lotu. W Polsce mamy przewagę wiatrów wiejących z zachodu na wschód, co należy uwzględnić w planach miejsc lądowania. W internecie można znaleźć kilka możliwości obliczania prawdopodobieństw lądowań i najlepiej wszystkie te możliwości przetestować w ciągu kilku kolejnych dni. Bardzo dobrym programem jest Cambridge University Spaceflight Landing Predictor dostępny na stronie: [www.predict.habhub.org](http://www.predict.habhub.org). W tabelę wpisujemy współrzędne geograficzne miejsca startu, wysokość, na której chcemy zakończyć nasz lot równoważny z pęknięciem balonu (burst altitude) i oczywiście datę startu. Jeżeli mamy niejasności co do innych okienek w tabeli, program sam proponuje użycie kolejnych kalkulatorów do obliczeń prędkości wznoszenia. Tutaj dodatkowo będziemy musieli podać masę całego ładunku i rodzaj balonu. Ogólnie nic trudnego i warto pobawić się parametrami aby zobaczyć, jakie są trendy, nabrać wyczucia, który parametr wpływa na jakie zmiany lotu.

### **ZGODA POLSKIEJ AGENCJI ŻEGLUGI POWIETRZNEJ**

Po ustaleniu miejsca startu należy wystąpić o zgodę na lot wydawaną przez Polską Agencję Żeglugi Powietrznej. Na stronie agencji trzeba pobrać i wypełnić formularz zgłoszeniowy dostępny tutaj: [www.pansa.pl/OPS/formularze/Formularz\\_sonda.pdf](http://www.pansa.pl/OPS/formularze/Formularz_sonda.pdf), można również pobrać format edytowalny Worda. Najlepiej wypełnić od razu kilka formularzy z różnymi terminami, ponieważ nie wiadomo, kiedy pogoda i predykcja lotu będzie odpowiednia dla ustalonych założeń. Wypełnione formularze powinny trafić do Działu Planowania Strategicznego ASM1 na minimum 14 dni roboczych przed planowanym terminem realizacji przedsięwzięcia. Adres e-mail, na który mają być wysłane zgłoszenia to [asm1@pansa.pl](mailto:asm1@pansa.pl).

W formularzu zgłoszeniowym zamieszczonym poniżej naniesiono uwagi oraz przykładowe wpisy, aby nie popełnić najczęstszych błędów. Czas startu, o ile nie jest startem nocnym, bądź startem ze specjalnymi wymogami czasowymi, powinien być zaplanowany w godzinach porannych, najlepiej na godzinę 9:00, najpóźniej 10:00 rano czasu lokalnego (7:00, 8:00 UTC), aby móc spokojnie dojechać na miejsce startu i przygotować wszystkie elementy misji do lotu, jednocześnie pozostawiając dostatecznie dużo czasu na odnalezienie kapsuły przed zmrokiem.

**Zgłoszenie wypuszczenia balonu stratosferycznego/sondowanie atmosfery  
w przestrzeni powietrznej wykorzystywanej do żeglugi powietrznej**

Od: Dane Zgłaszającego (Organizator)		Do <b>POLSKA AGENCJA ŻEGLUGI POWIETRZNEJ</b> Dział Planowania Strategicznego ASM 1 Tel. (22) 574 57 21, 23, 24, 25 lub (22) 574 67 11 Faks (22) 574 57 69, 574 57 13 asm1@pansa.pl
Imię Nazwisko: .....		
Telefon +48 .....	e-mail: .....	

**Informacje podstawowe:**

Termin rozpoczęcia: DATA /GODZINA ROZPOCZĘCIA / GODZINA ZAKOŃCZENIA	
Termin zasadniczy: ..... (data)	<b>UWAGA: wpisujemy czas w UTC, nie czas UTC) UTC+2 jaki obowiązuje w Polsce!!! Nie pomylić później terminu startu!!!</b>  (planowana godzina/godziny wypuszczenia)
Termin zapasowy: ..... (data)	

**Lokalizacja geograficzna (WGS-84)**

Nazwa miejscowości			
Szerokość geograficzna (stopnie, minuty, sekundy)	°	'	" N
Długość geograficzna (stopnie, minuty, sekundy)	°	'	" E

**Charakterystyka balonu i ładunku**

Balon	
Kolor balonu:	Wysokość sondowania: ~ <b>115000</b> ft/m AMSL
Ilość:	Prędkość wznoszenia / opadania: / m/s
Średnica przed wypuszczeniem / na wys. sondowania: <b>200</b> / <b>1600</b> cm	Rodzaj balonu: lekki / średni / ciężki ( <b>niepotrzebne skreślić</b> ) Waga powłoki balonu (bez gazu i ładunku):
Ładunek	
Kolor i średnica spadochronu:	Kolor ładunku:
Częstotliwość radiosondy: <b>144,8MHz , 868 MHz</b>	Waga (samego ładunku ze spadochronem):
<b>(wypełnić tylko, jeżeli waga ładunku ≥ 2kg)</b> Gęstość powierzchniowa ładunku: g/cm <sup>2</sup>	
<i>Obliczona zgodnie z Rozp. wykonawczym Komisji (UE) nr 923/2012 – SERA, Dodatek 2, punkt 1.1, podpunkt c) 3)</i>	

**Opis przedsięwzięcia:**

Organizowana misja stratosferyczna to międzynarodowe edukacyjne przedsięwzięcie mające na celu zaprezentowanie efektów środowiska stratosfery na nasiona, komórki drożdży i materiały hydrożelowe z nanocelulozy bakteryjnej. Lot organizowany będzie jako finał działań w czasie symulacji misji księżycowej organizowanej przez Analog Astronaut Training Center w Rzepienniku Strzyżewskim.

**(Wymagane)** Oświadczam, że zostałem poinformowany o treści obowiązku informacyjnego wynikającym z art. 13 RODO realizowanego przez PAŻP na stronie [http://www.pansa.pl/index.php?menu\\_lewe=ops&lang=\\_pl&opis=OPS/ops\\_formularze](http://www.pansa.pl/index.php?menu_lewe=ops&lang=_pl&opis=OPS/ops_formularze)

Podpis wnioskodawcy:

Data zgłoszenia:

Start balonu powinien być zaplanowany w oknie dwugodzinnym, np.: 08:00 - 10:00 UTC. Godzina zakończenia to z reguły 2-3 godziny po starcie. W przypadku jeśli mamy bardzo ciężką kapsułę i zbyt mało gazu w balonie, wznosi się on bardzo powoli i może przez to znacząco wydłużyć czas i dystans rejsu nawet do 8 i więcej godzin. Istnieje wtedy ryzyko zestrzelenia balonu przy przekroczeniu granicy państwa i tym samym naruszeniu przestrzeni powietrznej innego kraju. Odzysk kapsuły, jeśli w ogóle możliwy, będzie również utrudniony.

W przypadku lotów z naturalnym pęknięciem balonu, jako wysokość sondowania najbezpieczniej przyjąć 35 km odpowiadającą 115 000 stóp. Balony naturalnie pękają na wysokościach od 25 km do 30 km w zależności od jakości membrany, ilości gazu, od ciężaru kapsuły i od warunków meteorologicznych, np. wiatrów wiejących w stratosferze. Jeśli mamy odcinacz i chcemy odciąć kapsułę od balonu drogą radiową na konkretnej wysokości, wpisujemy w rubryki żadaną wysokość przeliczoną na stopy.

Dane telemetryczne, czyli częstotliwości radiosondy podaje się w oparciu o urządzenia, jakie będą wynoszone do stratosfery. Zazwyczaj stosuje się kilka częstotliwości, aby zwiększyć szanse odnalezienia kapsuły.

W opisie przedsięwzięcia uwzględniamy cel misji, oraz jej znaczenie w szerszym aspekcie. Zazwyczaj nasza misja będzie sklasyfikowana przez Agencję jako "lekki balon wolny bezzałogowy używany do celów meteorologicznych".

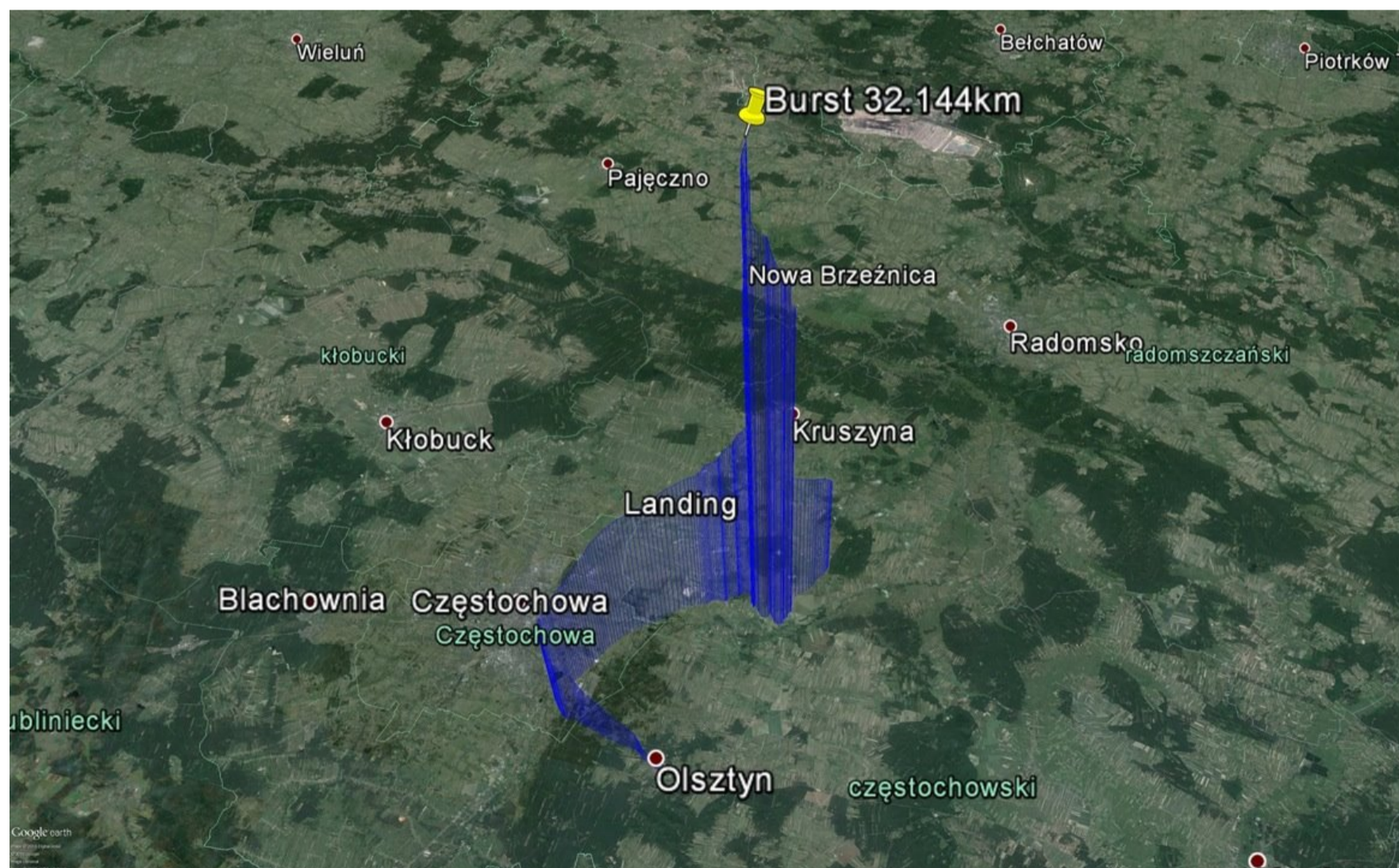
## **TELEMETRIA I NAWIGACJA**

Najbardziej krytyczna część misji to znalezienie odpowiednich trackerów (tropicieli). To dzięki nim odzyskamy cenny sprzęt misji. W tym celu wykorzystywane są sondy komunikujące się z naziemnymi radarami, albo urządzenia GPS czy Galileo z wykorzystaniem satelit. Wersją optymalną i najbezpieczniejszą są minimum dwa urządzenia wykorzystujące jedno i drugie. To pierwsze urządzenie to APRS - Automatic Packet Reporting System - amatorski system taktyczny do ustalania pozycji ruchomych obiektów wymagający posiadania licencji krótkofalarskiej. Cała procedura uzyskania licencji trwa kilka miesięcy wraz z czasem oczekiwania na egzamin, a wszelkie informacje jak to zrobić dostępne są na stronie [www.egzaminkf.pl](http://www.egzaminkf.pl). Warto również poczytać blogi osób, które przechodziły przez cały proces, aby spokojnie przebrnąć przez meandry formalnościowe. Licencja wydawana jest na 10 lat, a ubiegać o nią się mogą również niepełnoletni uczniowie za zgodą ich ustawowych przedstawicieli. Opłaty skarbowe wynoszą w sumie około 200 zł. Warto pomyśleć o

zaproszeniu do zespołu krótkofalowca, który z pasją i entuzjazmem podejmie zadanie śledzenia i odnalezienia kapsuły.



Istnieje cała gama trackerów dostępna w internecie. Co jest bardzo wygodne, większość z nich nie wymaga posiadania licencji, na przykład SPOT Gen3 czy Radiometrix NTX2 434.075Mhz. Dane z tych urządzeń przesyłane są na dedykowane strony internetowe, na przykład aprs.fi, tracker.habhub.org, Google Maps.





## PROCEDURY

Kiedy wszystko jest gotowe, sprawdziliśmy, że wszystko działa, musimy trzymać się planu, inaczej nawet najlepiej przygotowana misja będzie porażką. Mowa jest tu o procedurach, które są niezbędne w każdej misji kosmicznej.

### *T-1 tydzień*

Tydzień przed planowanym startem to krytyczny czas dla organizacji. Stworzenie checklisty to podstawa, aby nic nie przeoczyć w wielości zadań koniecznych do wykonania na ostatnią chwilę. Pakujemy sprzęt, robimy ostatnie zakupy, ustalamy kierowców, kto bierze laptopy, kto tablety i smartfony. Drukujemy naklejki sponsorów, organizatorów i tablice informacyjne dla przypadkowych znalazców. Warto napisać drukowanymi literami, że zawartość nie jest niebezpieczna dla środowiska, jest własnością danego organizatora i wskazać telefon kontaktowy w przypadku znalezienia kapsuły. Miłym akcentem jest podarowanie czekolady albo innego drobiazgu znalazcy.

Przykładowa checklista:

- Trackery x2
- Spadochron x1
- 600g balon x2
- Linki, sznurki, klamerki, gumki
- Baterie (naładowane) x8
- Ducttape (1 roll)
- Nożyczki x1
- Reduktor x1
- Kamera x3
- Czekolada dla znalazcy
- Itd..

### *T-1 dzień*

Kluczowy moment na podjęcie decyzji GO/NO-GO. Decyzja podejmowana jest na bazie predykcji lotu i prognoz pogody. Jeśli nastąpi decyzja GO, należy przygotować, najlepiej na spotkaniu z całym zespołem, kolejne punkty akcji. Wyróżnić w tabeli czas, miejsce, rodzaj zadania i osoby do niego przypisane. W tym dniu podłączyć wszystkie urządzenia do ładowania, zabezpieczyć się w naładowane power-banki i zapasowe baterie.

## LAUNCH CZYLI START BALONU

Na godzinę przed startem rozkładamy folię albo koc na trawie, gdzie można wyjąć balon z oryginalnego opakowania (tylko w rękawiczkach), zacząć przygotowywać materiały do napełniania balonu, reduktor, trititki, linki, ducttape. Jeśli nie mamy koca albo folii, balon

można trzymać delikatnie w dłoniach pamiętając, aby nie było bezpośredniego kontaktu powłoki balonu z tłustą skórą naszego ciała. Podczas gdy jeden zespół przygotowuje pompowanie balonu, druga ekipa włącza trackery i nawiązuje zdalną łączność poprzez sprzęty obsługiwane w centrum kontroli misji (tablety, laptopy, smartfony), następnie wiąże linki aby się nie poplątały i nie pourywały zachowując możliwie duże odległości pomiędzy wiązaniami. Centrum kontroli misji może być mobilne i poruszać się bezpośrednio z ekipą poszukiwawczą.



Długość trwania lotu jest stosunkowo krótka, do tego stopnia, że niektóre podzespoły jeszcze przed startem balonu wyruszają samochodami na prawdopodobne miejsce lądowania. Czas wznoszenia balonu to średnio 1.5 h. Czas opadania kapsuły eksperymentalnej ze spadochronem i z systemem nawigacji to ok. 40 min. Bardzo ciekawe i niemal obowiązkowe jest dołączenie do kapsuły kamery, która najlepiej dokumentuje warunki lotu.

### **Jakie eksperymenty mogą lecieć do stratosfery?**

Specyfika tego obszaru atmosfery narzuca pewne ograniczenia, co jest zbliżone do prawdziwych projektów kosmicznych. Są nimi: brak tlenu, ciśnienie bliskie zeru, niskie temperatury, brak ochrony UV w postaci warstwy ozonowej, zwiększone promieniowanie

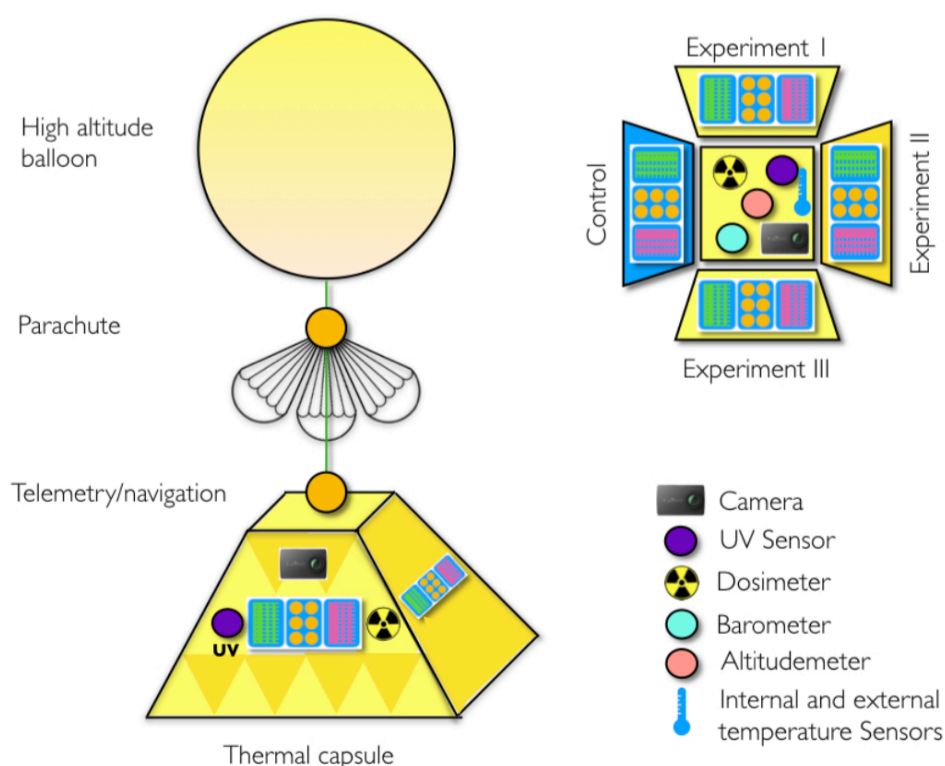
kosmiczne. Z tych powodów praktycznie niemożliwe jest poddawanie eksperymentom organizmów żywych. Rośliny zielone i zwierzęta giną bądź to z powodu ujemnych temperatur, bądź z powodu braku tlenu. W przypadku konstrukcji systemów podtrzymywania życia wymagane są zgody komisji bioetycznych, a ich uzyskanie obecnie kosztuje ok. 5000 zł. Takich dokumentów nie trzeba załatwiać w przypadku przeprowadzania eksperymentów na roślinach, bakteriach, wirusach, oraz zwierzętach takich jak stawonogi, np. owady. Wszelkie inne zwierzęta i organizmy genetycznie modyfikowane wymagają ścisłej kontroli.

W przypadku uczniów szkół podstawowych można badać rozwój drożdży po locie do stratosfery, następnie upiec chleb i porównać chleb ziemski z chlebem stratosferycznym. Można też testować zachowanie różnych materiałów: chleba, owoców, warzyw, kwiatów, liści, mchów, jaj owadów, poczwerek, itp. Próbkę można zapakować w szczelnych ciśnieniowych pudełeczkach po jajku niespodziance lub umieścić na platformach, które będą filmowane w czasie lotu. Można również poddać je bezpośredniej ekspozycji na warunki stratosfery.

Pasjonaci mogą próbować bardziej skomplikowane doświadczenia wymagające analiz porównawczych przed, w trakcie i po misji. W zależności od poziomu uczniów, mogą konstruować własną elektronikę, telemetrię, nawigację czy własne wydruki 3D. Dodatkowo można nawiązać współpracę z uniwersytetami i centrami badawczymi w celu dokonania profesjonalnej analizy na specjalistycznych instrumentach pomiarowych.

Charakter misji wymaga złożonego planowania. Uczniowie powinni być w planowanie zaangażowani ucząc się podstaw zarządzania, komunikacji i kontroli jakości.

## Wiązanie sprzętu do balonu i rozmieszczenie eksperymentów w kapsule



Pod balonem w odległości około 3m podwieszają się spadochron z pierwszą sondą, 3 metry niżej drugi tracker, następnie kapsułę z kamerami, czujnikami meteorologicznymi i eksperymentami. Jeśli badaniom podlega ekspozycja na światło, warto wzbogacić kapsułę w izolowaną od światła próbkę kontrolną.

## Stratosfera - dlaczego taka ciekawa i piękna?

Jak ciężko i kosztownie wyjść na Mount Everest...a jakby tak podarować komuś pierścionek, zdjęcie, maskotkę, banknot, wiersz, różę..., które pokonały wysokość kilku takich szczytów? Obszar znajdujący się między 25 km n.p.m. a 55 km n.p.m. jest niezwykle, ponieważ znajduje się powyżej najwyższych gór świata, powyżej warstwy ozonowej, w bezchmurnej próżni. Nie latają samoloty. Kamery bezszelestnie zgrywają nieopisane widoki. Jakże satysfakcjonujące jest wzbicie się wyżej niż zapowiadały predykcje lotu, lub gdy tor lotu radykalnie się zmienia przez nieoczekiwane wiatry w stratosferze!

### Ciekawostki

Silne wiatry w stratosferze zostały odkryte za pomocą rakiet Meteor-1 polskiego uczonego profesora Jacka Walczewskiego wraz ze swoim zespołem w latach 1966-1971.

GWIAZDA POLSKI to największy na świecie balon stratosferyczny, który powstał pod koniec 1936 r. W Poznaniu. Animatorem projektu był mjr pil. inż. Stanisław Mazurek, kierownik Wojskowej Wytwórni Balonów i Spadochronów. Z pieniędzy pozyskanych ze składek społeczeństwa, Polonii USA i sprzedaży znaczków okolicznościowych zbudowano gigant o wysokości 120 m i objętości 124 800 m sześciennych. Był to balon największy, jaki kiedykolwiek powstał. Przeszkodziła polityka, a potem wojna.



## **LĄDOWANIE**

Kiedy kapsuła wyląduje, należy jak najszybciej ją znaleźć. Wiele razy zdarza się tak, że osoby obserwują na miejscu lądowanie kapsuły. Oznacza to świetnie wykonaną nawigację. Nie oznacza to jednak, że będzie łatwo ładunek odzyskać. Czasem kapsuła wyląduje w ogrodzonym tartaku, którego strzegą groźne psy. Czasem lądowanie odbywa się na środku jeziora, torach kolejowych, a najczęściej w polach uprawnych, na łąkach, dachach i oczywiście na drzewach. To najbardziej ekscytujący, pełen niepewności i niespodzianek etap misji. Bez względu na to, w jakim stanie jest kapsuła, sukcesem jest samo odnalezienie sprzętu, po prostu. Zanim podniesiemy kapsułę i zaczniemy wyłączać sondy, kamery, czujniki i inne sprzęty, należy najpierw miejsce ofotografować. Jeśli lądowanie było ukośne, drobne poodrywane elementy kapsuły możemy odszukać poprzez analizę fotografii. W przypadku, jeśli kapsuła wyląduje w polu kukurydzy, staramy się jak najmniej dewastować uprawę. Ekipa poszukiwawcza powinna być ubrana w odblaskowe kamizelki, co wprawdzie przyciąga uwagę, ale też nadaje całemu przedsięwzięciu profesjonalizmu i aprobaty ze strony napotykanym osobom.

## **ANALIZA DANYCH**

Ostatnim etapem misji jest zgranie danych, ich uporządkowanie, oraz utworzenie kopii zapasowych. Konieczne jest szybkie (w tym samym dniu), pobranie danych aprs zintegrowanych z Google Maps, ponieważ dane te nie są długo przechowywane na serwerach. Najczęściej na tym etapie dowiadujemy się, co poszło nie tak, staramy się znaleźć przyczyny błędów i zastanowić nad poprawieniem procedur w przyszłości. Może przyjść rozczarowanie, kiedy linki się poplątały i spadochron przysłonił kamery a czujniki zamarły i nie zapisywały logów. Innym niepowodzeniem może być wylądowanie kapsuły w miejscu niedostępnym na przykład na wierzchołkach wysokich drzew. Kapsuła może nigdy nie zostać odnaleziona z powodu zerwania linek w czasie lotu (jeśli nie włożono do kapsuły urządzenia geolokalizacyjnego). Najbardziej niespodziewanym niepowodzeniem może być ucieczka balonu w czasie napełniania, jeszcze zanim misja się rozpocznie. Zdarza się i tak. Pamiętać należy wtedy o tym, że porażka w stratosferze jest tańsza niż porażka na orbicie. Koszt satelity studenckiego to ok. 1 mln złotych, a czas trwania przygotowań do misji to 6 lat. W tym samym czasie za tę samą sumę można by skonstruować i przetestować z sukcesem conajmniej 1000 satelitów edukacyjnych w stratosferze.



### Najczęstsze błędy

- źle związane linki, które pod wpływem wiatru się urywają albo pękają uniemożliwiając na przykład rozwinięcie spadochronu;
- niesprawdzone baterie, brak zasilania;
- brak izolacji termicznej powodujący zamrożenie sprzętu przy przechodzeniu przez niskie temperaturowo rejony górnej troposfery;
- zaparowanie szybki kamery;
- zapomnienie albo nieprawidłowe włączenie kamerek i czujników przed startem (powinny być oczywiste oznaczenia urządzeń włączonych, np. zapalone zielone diody, albo potwierdzenie odbioru sygnału, itd. ;
- brak backupów, np. drugiego balonu, drugiej butli z gazem, zbyt słabe trzymanie podczas pompowania balonu i ucieczka samego balonu;
- brak dodatkowej telemetrii;
- brak lin i sprzętu do ściągania kapsuły z drzew.

### Tworzenie zespołu misji stratosferycznej

Osoby chętne do wzięcia udziału w misji należy podzielić na role oraz wyjaśnić przynależne rolaom odpowiedzialności. W optymalnych warunkach wyróżnić można:

1. *Manager projektu* (zwykle nauczyciel) odpowiedzialny za koordynację projektu;
2. *Leader techniczny* odpowiedzialny za projekt misji (ustalenie celów, listy eksperymentów, analiza danych, opracowanie wyników, wnioski, sporządzenie raportu misji), nadzór konstrukcji kapsuły, integrację z systemem nawigacji i balonem;
3. *Zespół konstrukcji kapsuły*;
4. *Zespół konstrukcji elektroniki*;
5. *Zespół telemetrii i nawigacji*;
6. *Zespół odzysku kapsuły* (w tym conajmniej jeden kierowca z samochodem), odpowiedzialny za ustalenie toru lotu balonu (tzw. predykcje lotu), śledzenie lotu balonu i odzyskanie kapsuły;
7. *Zespół marketingowy* odpowiedzialny za pozyskanie sponsoringu (oszacowanie kosztów misji, prezentację projektu w potencjalnie zainteresowanych firmach, wysyłanie zaproszeń na start misji, komunikację ze sponsorami, informowanie na bieżąco o postępach w projekcie,





przygotowanie certyfikatów z podziękowaniami dla sponsorów, wysyłanie zaproszeń na launch misji, przygotowanie drobnych pamiątek ze stratosfery i organizację prezentacji podsumowującej przedsięwzięcie;

8. *Zespół finansów* odpowiedzialny za zakup potrzebnych materiałów, gotowych systemów nawigacji, kamer, gazu, balonu, spadochronu;

9. *Zespół analizy i opracowania danych*;

10. *Zespół komunikacji* odpowiedzialny za wizerunek misji i komunikację (projekt loga misji, publikowanie informacji w mediach społecznościowych, komunikacja z dyrekcją szkoły, komunikacja w prasie i radio).

W zależności od wielkości zespołu osoby podejmują się jednego bądź kilku zadań.

Po ustaleniu ról należy zorganizować spotkanie inicjujące projekt, tzw. *kick-off meeting*. Prowadzący inicjuje burzę mózgów, w wyniku której wyłaniają się podstawowe ustalenia tzn. co ma być celem misji, jaki jest termin realizacji, jak i z czego będzie zbudowana kapsuła, jaka elektronika będzie konieczna, jakie czujniki pomiarowe, jakie zasilanie, skąd pozyskać środki na projekt, kto będzie odpowiedzialny za poszczególne elementy organizacyjne.

### **Po co to wszystko?**

Motywuującym celem misji jest wzięcie udziału w prestiżowych konkursach, na przykład w międzynarodowym konkursie stratosferycznym BEXUS ([rexusbexus.net](http://rexusbexus.net)), Global Space Balloon Challenge ([www.balloonchallenge.org](http://www.balloonchallenge.org)), Explory ([www.explory.pl](http://www.explory.pl)), czy Google Science Fair ([googlesciencefair.com](http://googlesciencefair.com)). Doświadczenie w środowisku near-space jest dużym atutem w czasie naborów do Europejskiej Agencji Kosmicznej czy firm sektora kosmicznego. Sama stratosfera zaś jest kopalnią wiedzy, eksperymentów naukowych i pomysłów na rozwój kariery zawodowej. Wystarczy zacząć latać!

### **Ciekawostka**

Autorzy książki startowali 3-krotnie w zawodach Global Space Balloon Challenge: misja JADE, LEO3 i PAMELA. Za każdym razem otrzymywali pierwsze miejsca na arenie światowej. To jedyny taki rekord w historii lotów stratosferycznych.

## Planowanie misji - checklista:

1. Zdefiniować cele naukowe, techniczne i edukacyjne misji;
2. Na podstawie p.1 stworzyć nazwę i logo misji;
3. Przygotować listę zakupów;
4. Przygotować czas realizacji projektu (zaczynając od czasu startu balonu), diagram Gantta;
5. Rozdzielić zespół na role;
6. Zdobyć finansowanie;
7. Rozpocząć pracę nad konstrukcją i przygotowaniem materiałów do startu;
8. Wykonać testy poszczególnych podsystemów;
9. Integracja systemów;
10. Testy całej kapsuły wraz z zintegrowanymi systemami;
11. Wybór miejsca startu misji;
12. Złożyć wniosek o pozwolenie na lot do PAŻP;
13. Zorganizować dzień misji;
14. Analiza danych;
15. Prezentacja wyników.

### Przydatne linki

Materiały:

[sklep.stratosferycznie.pl](http://sklep.stratosferycznie.pl)  
[randomengineering.com.uk](http://randomengineering.com.uk)

Tutoriale:

[balloonchallenge.org/tutorials](http://balloonchallenge.org/tutorials)  
[ukhas.org.uk](http://ukhas.org.uk)

Konferencja zrzeszająca osoby zainteresowane środowiskiem stratosfery:

[nearspace.pl](http://nearspace.pl)

Organizacja misji stratosferycznych:

[copernicus-project.org](http://copernicus-project.org)  
[astronaut.center](http://astronaut.center)

# WARSZTATY RAKIETOWE

dla tych, którzy lubią rocket science



Rakiety kojarzą się z niebezpieczeństwem, przemysłem zbrojeniowym i zdecydowanie tematem ściśle tajnym. Całe szczęście, znacznie lepiej kojarzą się słowa rocket science, które dodają animuszu. Rozwój zainteresowania raketami nastąpił szczególnie w ostatnich latach, kiedy Elon Musk wraz ze swoją przełomową firmą SpaceX pokazał, że nie święci z NASA garnki lepią. Loty w kosmos mogą być komercyjne, dzięki temu mogą być tanie w zależności od rakiety, jaką się zbuduje i ekologicznego paliwa, które się opracuje. Nabory do pracy w SpaceX trwają nieustannie a biznes zdaje się dopiero rozwijać. Jedynym bowiem środkiem transportu w kosmos jest właśnie rakietka.

### Podstawowe parametry

**Stopień trudności:** od średniego po profesjonalny

**Czas przygotowania:** minimum 1 godzina

**Ilość osób:** minimum 1

**Koszt minimalny:** 70 zł

**Czego uczy:** aerodynamiki, materiałoznawstwa, szycia na maszynie, precyzji, cierpliwości, umiejętności łączenia wielu podsystemów w całość, odpowiedzialności, pokory

**Dodatkowe profity:** wygrana w festiwalach, konkursach, zwiększenie szans na dostanie się na staże do branży kosmicznej, ogromna satysfakcja i niezapomniane doświadczenie życiowe.

### Plan warsztatów:

1. Historia raket;
2. Budowa raket - charakterystyka, prezentacja krytycznych elementów konstrukcji;
3. Silniki raketowe - charakterystyka, zasada działania, krytyczne elementy konstrukcji;
4. Paliwa raketowe - charakterystyka procesów fizykochemicznych, koszty produkcji, wpływ na środowisko;
5. Prezentacja gry komputerowej Kerbal Space Program ([kerbalspaceprogram.com](http://kerbalspaceprogram.com));
6. Prezentacja programu do projektowania latających modeli raket OpenRocket v.15.03;
7. Zaprojektowanie własnej rakiety;
8. Wykonanie modelu i start rakiety.

Po zakończonych warsztatach istnieje możliwość prezentacji rakiety na dorocznym festiwalu Meteora na Pustyni Błędowskiej organizowanym przez Polskie Towarzystwo Rakietowe ([rakiety.org.pl](http://rakiety.org.pl)). Po zarejestrowaniu, uczestnik festiwalu może otrzymać od organizatorów za darmo silniki na start własnej rakiety, wypożyczyć elektronikę, zatankować N<sub>2</sub>O, skorzystać z wyrzutni czy przeprowadzić lot rakiety na licencję startową. Wstęp na imprezę nie wymaga rejestracji i jest wolny od opłat. Festiwal trwa dwa dni, warto zabrać namiot, prowiant i spędzić więcej czasu z doświadczonymi i zarazem najlepszymi w Polsce osobami zajmującymi się lotami raketowymi.

### Podstawowy sprzęt i materiały

Balsa 5mm	Parasol
Włókno węglowe siatka	Styrodur
Cienkie pleksi	Barwniki
Taśma papierowa szer. 5cm	Lakiery w sprayu
Rura kartonowa albo PCV 3m	Pędzel
Rękawiczki gumowe	Kubeczki plastikowe
Kleje: kropelka, magik	Wyzwalacz spadochronu (magnetometr)
Żywica epoksydowa	Telemetria
Żywica poliuretanowa	Kamera
Mikrobalony szklane	

Najprostszym sposobem na wykonanie pierwszej rakiety jest zakup edukacyjnego zestawu materiałowego o nazwie "rakiet modelarska". Model zawiera silniki pozwalające na dwa starty. Na polskim rynku produkcją takich rakiet zajmuje się firma SunModels ([www.sunmodels.pl](http://www.sunmodels.pl)). W przypadku dzieci szkół podstawowych złożenie takiego modelu wraz ze startami to 2 godziny lekcyjne. Starty można wykonywać po odpowiednim zabezpieczeniu terenu i upewnieniu się, że w pobliżu nie ma drzew i budynków. Teren startów najlepiej wydzielić czerwono-białą taśmą albo kredą na boisku szkolnym, pułap lotu to około 20 metrów. Modele są lekkie, tak skonstruowane, aby nie zagrażały zdrowiu i życiu. Po zapoznaniu się z podstawową budową i zasadą działania rakiet można przejść do następnego etapu: symulacji misji kosmicznych.

### SYMULATOR LOTÓW KOSMICZNYCH

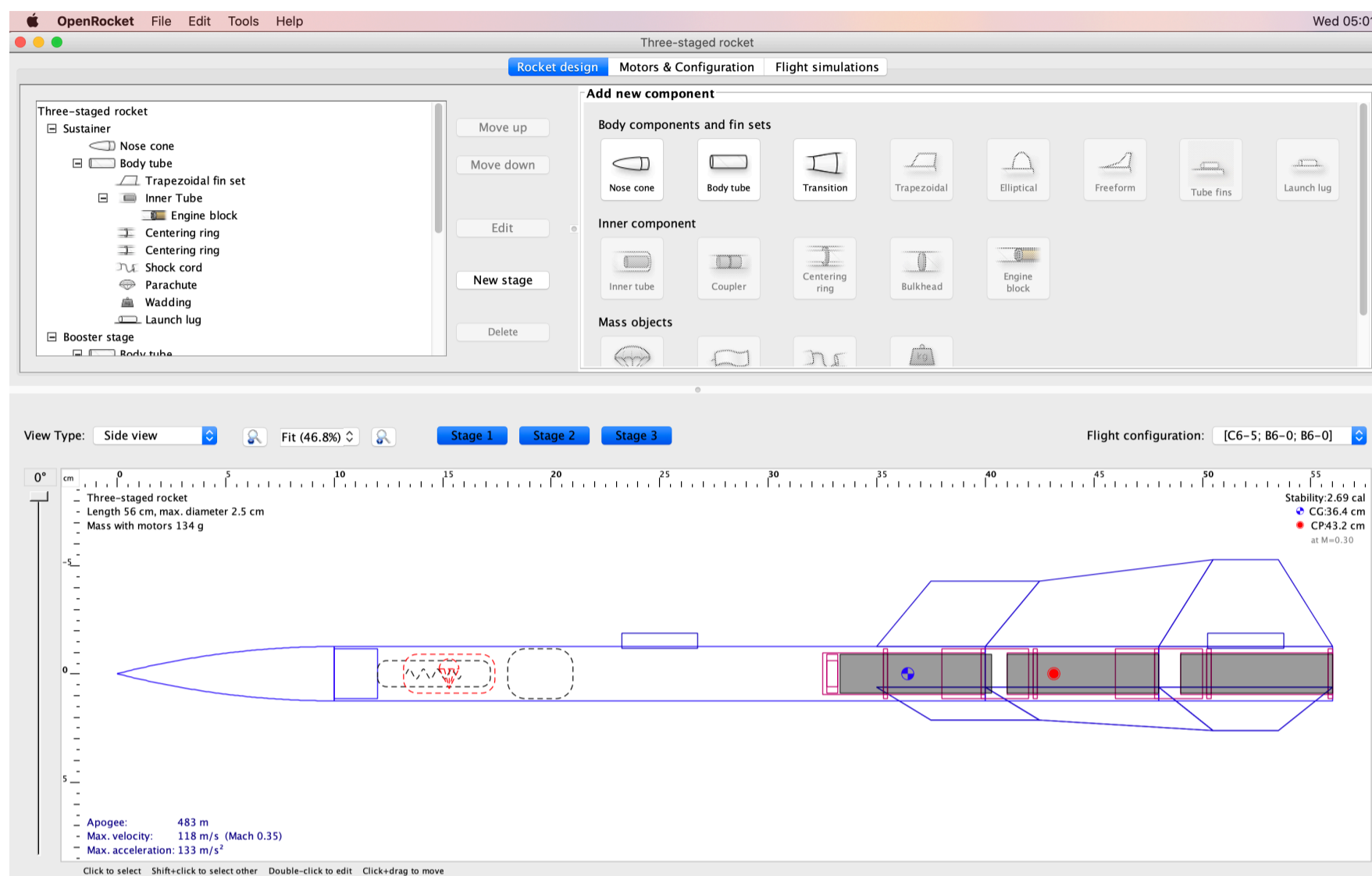
"Jeśli możesz wynieść swój statek na orbitę, jesteś w połowie drogi do dowolnego miejsca"

Robert Heinlein



Kerbal Space Program to gra powstała w 2015 r., która wiernie symuluje loty rakiet i pozwala prowadzić własny program kosmiczny. Rakiety są budowane z gotowych modułów (silniki, zbiorniki z paliwem, stateczniki, skrzydła i koła). Dla graczy dostępne jest kilka poziomów gry: (1) "sandbox" - najprostszy z pełną dowolnością ograniczoną jedynie fizyką i własną wyobraźnią; (2) poziom średni "science" z wprowadzonymi punktami nauki i (3) poziom zaawansowany "career" z dodatkowymi opcjami kontraktów i funduszy. Jest to jedno z najlepszych według nas narzędzi do przyjemnego i skutecznego "poczucia" mechaniki nieba oraz kuluarów technicznych przygotowania rakiety do lotu i pracy centrum kontroli misji. To tu odnajdziemy środowisko pełne wyzwań dla naszej wiedzy z zakresu praw Keplera, równań Ciołkowskiego, czy grawitacji Newtona....Gra polega na budowaniu statków latających do dedykowanych misji kosmicznych oraz sekwencyjnym odpalaniu kolejnych stopni konstrukcji w czasie lotu, aby misja zakończyła się sukcesem. Na początku możemy liczyć na malownicze porażki, eksplozje zbiorników paliwa, awarie silników i zaburzenia w aerodynamice trajektorii lotu. Z czasem uda się nam dotrzeć tam, gdzie chcemy. Konstrukcja rakiet bazuje na prawdziwych danych, rodzajach silników i mieszanek paliw. Inaczej będzie wyglądała rakiet na orbitę okołoziemską, inaczej na Księżyc, jeszcze inaczej na Marsa. Wiernie oddane jest również słownictwo i nazewnictwo techniczne, dzięki czemu można nie tylko nabrać wyczucia aerodynamicznego, zmierzyć się z rocket science, ale też poczuć się, jak byśmy byli na stażu w NASA. Jeśli powyższe argumenty nie przekonały Was do zagrania w Kerbal Space Program, wiedźcie, że jest to ulubiona gra Elona Muska i tysięcy osób zajmujących się kosmosem.

## OPROGRAMOWANIE DO PROJEKTOWANIA MODELI RAKIETOWYCH: OPENROCKET



Istnieje kilka programów do modelowania rakiet, ale OpenRocket zdaje się być najlepszy, jeśli chodzi o efekt finalny. Rakiety zaprojektowane w tym środowisku po prostu latają. W tym całkiem darmowym programie możemy się wiele nauczyć o architekturze i konstrukcji modeli rakiet. Poza gotowymi projektami edukacyjnymi, możemy sami konstruować własne modele. Program wylicza masę, pułap, maksymalną prędkość, przyspieszenie czy stabilność lotu. Kiedy uznamy, że utworzona rakietka spełnia nasze wymagania, przekładamy teorię na praktykę: wymiary na materiały, z których powstanie model latający. Lekkość i jednoczesna wytrzymałość konstrukcji to podstawa. Wykorzystujemy do tego balsem, karton, utwardzacz w postaci żywic, włókien węglowych, czy cienkich warstw pleksi. Należy pamiętać, aby wszystko było gładkie, docięte precyzyjnie na wymiar. Nawet niewielkie luzy na łączeniach mogą uniemożliwić prawidłowe lądowanie rakietki i jej połamanie.

### Silniki

Jeśli mówić o rocket science, to głównie w kontekście silników raketowych. Dostępne są one przez internet chociażby na stronie modelemax.pl, ale aby używać mocniejszych silników raketowych, np. z klasy B, będziemy potrzebować licencji startowej przyznawanej





## Ciekawostka

W latach 60 Polacy skonstruowali raketę sondażową Meteor do pomiaru wiatru, która przekroczyła umowną granicę kosmosu, tzw. Linie Karmana wynoszącą 100 km. Obecnie w Polsce rakiety latają na pułapy niższe niż balony stratosferyczne.

przez Polskie Towarzystwo Rakietowe. Aby uzyskać taką licencję, należy własnoręcznie wykonać latający model rakiety, przybyć na Festiwal Meteora, wystartować i zostać członkiem PTR. **Samodzielne wykonywanie silników przez osoby niedoświadczone może być bardzo niebezpieczne dla życia i zdrowia!!!**

## Spadochrony

W zależności od wielkości modelu spadochronem może być pasek folii, powycinana wodoodporna tkanina z parasolki z doszytymi sznurkami, lub wycięty fragment starego spadochronu wojskowego. Spadochrony mocuje się wewnątrz korpusu rakiety, który rozwija się automatycznie, kiedy raketa zaczyna opadać. W okresie wakacyjnym Analog Astronaut Training Center (AATC) wspólnie z Polskim Towarzystwem Rakietowym i Stowarzyszeniem Astronomia Nova organizują profesjonalne kilkudniowe warsztaty rakietowe przygotowujące do festiwalu Meteora. Już w czasie warsztatów można uzyskać licencję. Zapisy odbywają się przez stronę fejsbukową AATC.

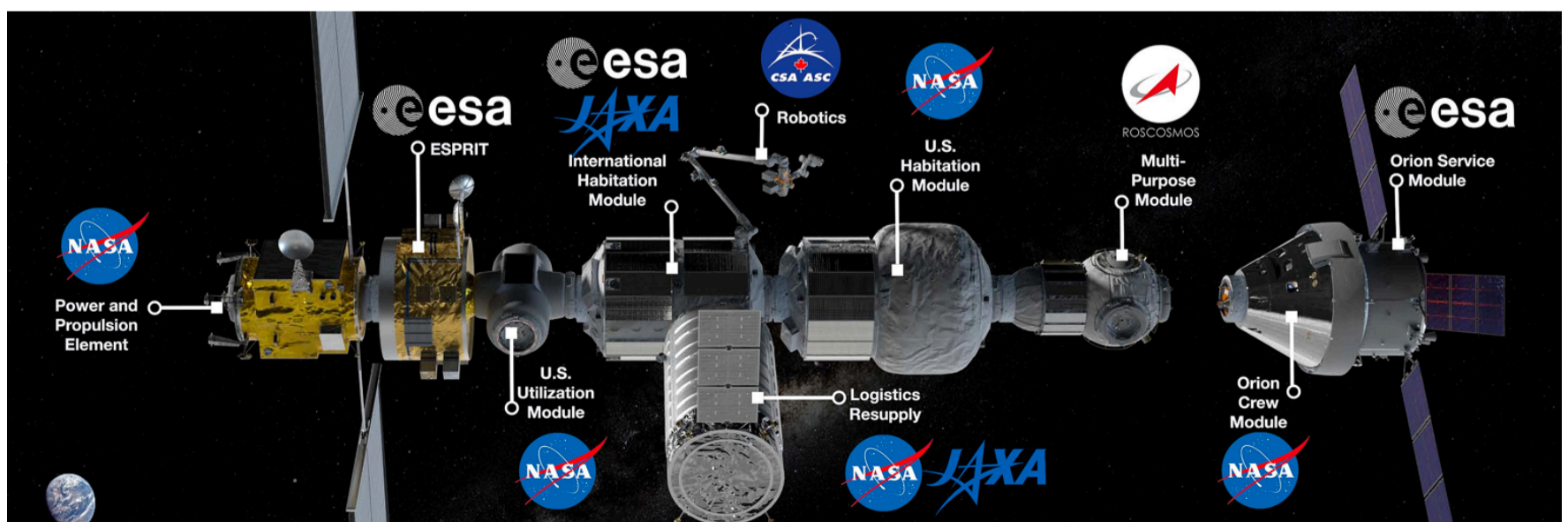
**Motywacja:** Najlepsi w tej dziedzinie bez problemu znajdą pracę w sektorze kosmicznym, na przykład w polskiej firmie idącej w ślady Space X, pragnącej zrewolucjonizować cenę wynoszenia satelitów na orbitę: Space Forest w Gdyni. Życzymy powodzenia!



# SYMULACJE MISJI KOSMICZNYCH

Kopalnia projektów o największym impakcie dla jakości życia w kosmosie i na ziemi.

W poprzednim rozdziale wspomniałam o symulacjach misji w grze Kerbal Space Project. Dotyczyły one problemów technicznych, inżynierskich i logistycznych. W obecnych czasach symulacje *stricte* techniczne nie wystarczają, ponieważ planowane długoterminowe misje poza orbitę ziemską wymagają złożonych interdyscyplinarnych przygotowań w oparciu o usystematyzowaną wiedzę zdobytą w testach naziemnych, w tym szeroko pojętą wiedzę biologiczną i humanistyczną. Dane zbierane od lat 60-tych wciąż nie wystarczają, aby człowiek mógł bezpiecznie przetrwać długi okres czasu w środowisku *deep space* czyli w przestrzeni kosmicznej znajdującej się poza ochronną warstwą magnetosfery ziemskiej. W 2024 roku zaplanowano budowę pierwszej załogowej stacji kosmicznej deep-space, na orbicie Księżyca. Europa, w tym także Polska zaangażowane są w ten wieloletni projekt, dlatego już dziś młode pokolenie powinno skupić uwagę na moduły stacji, które możemy realnie rozwijać. Poniższa wizja stacji Gateway udostępniona przez NASA ukazuje moduły stacji z zaznaczeniem partnerów (agencji), odpowiedzialnych za ich rozwój. Wszędzie tam, gdzie widoczne jest logo Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA), czyli przy module eksperymentów naukowych ESPRIT, module mieszkalnym i module transportowym, Polacy mogą się wykazać. Symulacje misji kosmicznych, które proponujemy w tym rozdziale, mają na celu przybliżyć możliwości i zainspirować do działań prowadzących do nawiązania współpracy naukowej lub biznesowej z Europejską Agencją Kosmiczną i tym samym współtworzyć pionierski, alternatywny świat dla człowieka. Cele, które chcemy osiągnąć, są realizowane poprzez tzw. *hands-on experience*, czyli poprzez wczucie się w role astronautów i członków centrum kontroli misji. Zazwyczaj takie symulacje osadza się w miejscach specjalnie do tego przygotowanych o nazwie habitat lub baza kosmiczna, ale mogą to być również dobrze zwykłe sale w szkole, najlepiej w podziemiach z ograniczonym dostępem do światła słonecznego.





52-09-23  
22:54:21  
Commander  
Bartek  
Biomedical  
engineer  
Agata  
Communication  
officer  
Bartek  
Data  
Karr  
MISJA  
OPTIMA  
2019

ATLAS  
NIEBA  
planety,  
główny  
wzrost

Analogowa misja kosmiczna to wyprawa bez podróży. Uczestnicy od razu "lądują" w miejscu docelowym realizując konkretne zadania. Symulowana misja na Księżyc czy Marsa to nie tylko inspirująca przygoda zderzenia się z innym wymiarem rzeczywistości, ale jest również realnym doznaniem iluzji miejsca i czasu. Pozwala na zapoznanie się z problemami, które już dziś stają się wyzwaniem młodego pokolenia takimi jak: limitowana ilość wody, pożywienia, dostępu do internetu, restrykcyjna gospodarka odpadami, optymalizacja wykorzystania czasu, wrażliwość na samopoczucie i stan zdrowia pozostałych członków załogi. Symulacje przeprowadzane są wedle tego samego scenariusza w celu zapoznania się z procedurami, językiem misji i optymalizacją wykonywanych działań. W tym czasie uczniowie mogą sprawdzić się w kilku rolach i odnaleźć własne preferencje, możliwości i potencjał. Te same założenia misji realizowane przez różne osoby sprawiają, że zarówno przebieg misji, jak jej wydajność będą różne, a wyniki będzie można łatwo porównywać i omawiać.

### Podstawowe parametry

**Stopień trudności:** od średniego po profesjonalny

**Czas przygotowania:** minimum 1 godzina (na bazie gotowych materiałów)

**Ilość osób:** minimum 6

**Koszt minimalny:** 0 (szkoła) - 200 zł (habitat AATC)

**Czego uczy:** pracy zespołowej, podstawowych elementów przygotowań i przebiegu załogowych misji kosmicznych, elementów treningu astronautów, siebie samego w nowych rolach

**Dodatkowe profity:** unikalne doświadczenie, możliwość wzięcia udziału w badaniach naukowych, rozwój kariery zawodowej w branży kosmicznej

Ważnym elementem wpływającym na powodzenie misji jest zaangażowanie uczniów w okres przygotowań. Zalicza się tu projektowanie logo i nazwy misji, wybór ubioru, czy skompletowanie elementów niezbędnych do przeprowadzenia symulacji, jak liofilizowane posiłki, zapasy wody pitnej i technicznej. Kolejnymi elementami podlegającym symulacji są precyzja zadań wykonywanych w czasie i właściwe ich planowanie. Sukces misji kosmicznej bowiem to nie tylko dobrze wykonane zadania, ale również dyscyplina czasowa. Każde przedłużenie wykonywanego zadania może stworzyć poważne komplikacje dla pozostałej części załogi i tworzyć dodatkowe koszty misji. Z tego względu agenda scenariusza powinna być jak najbardziej szczegółowa i realizowana z precyzją do 5 min.

W Polsce założyliśmy dwa habitaty: pierwszy to baza Lunares na lotnisku w Pile ([www.lunares.space](http://www.lunares.space)), drugi: Centrum Szkolenia Analogowych Astronautów na Południu Polski w gminie Rzepiennik Strzyżewski ([www.astronaut.center](http://www.astronaut.center)). Regularnie prowadzone są w tych miejscach nabory na analogi misji kosmicznych. Obiekty są też dostępne dla misji edukacyjnych i działalności związanych z popularyzacją astronautyki w Polsce.

Celem misji edukacyjnych jest tworzenie efektywnej platformy dialogu nauczycieli szkół podstawowych i średnich ze specjalistami dziedziny eksploracji kosmosu. Z drugiej strony misje te można traktować jako nowatorską formę team-buildingu między ekspertami - nauczycielami, a uczniami oraz silnej integracji uczniów w klasie, budowanie zaufania i odpowiedzialności za cały zespół. Misje skupione są na rozwoju młodzieży w ramach przedmiotów STEAM (science, technology, engineering, arts, mathematics) poprzez wykorzystanie wiedzy szkolnej w praktyce. Proponowana forma edukacji ma za zadanie inspirować do realizacji międzynarodowych projektów i konkursów kosmicznych. Ponadto ma inicjować powstawanie nowych programów nauczania, badawczych oraz przyczynić się do nawiązania cennych znajomości i współpracy.

## UCZESTNICZY MISJI

Uczestnicy misji dzieleni są na dwie grupy: astronautów przebywających w pomieszczeniu 1 zwanym Habitatem, oraz kontrolerów misji przebywających w pomieszczeniu 2 zwanym Centrum Kontroli Misji. Po wykonaniu zadania (misji), uczniowie zamieniają się miejscami i rolami, czyli osoby z Habitatu przechodzą do Centrum Kontroli Misji i odwrotnie. Zarówno Habitat jak i Centrum Kontroli Misji powinny być pomieszczeniami o zaizolowanych oknach, aby uczniowie nie mogli widzieć pory dnia. W każdej z grup powinni znajdować się opiekunowie. Każdy uczeń powinien wziąć udział w dwóch misjach: jako astronauta i jako kontroler misji.

### GRUPA ASTRONAUCI

#### Pomieszczenie 1 - Habitat:

1. Commander
2. Executive officer
3. Administrator
4. Astrobiologist
5. Crew medical officer
6. Data officer
7. Communication officer
8. Documentalist officer

### GRUPA KONTROLERZY MISJI

#### Pomieszczenie 2 - Mission Control Center:

1. Flight director
2. Executive director
3. Capsule Communicator - CapCom
4. Flight surgeon
5. Science data manager
6. Habitat data officer
7. Psychologist
8. Scheduling officer

## ROLE I ODPOWIEDZIALNOŚCI

Uczestnicy misji otrzymują role. Do każdej roli przypisane są odpowiednie zadania na czas trwania misji. Opiekunowie najpierw ustalają poszczególne role z uczniami, następnie rozdają karty pracy (scenariusze osobowe), przypisane do danych ról. Karty pracy służą do realizacji zadań w trakcie misji. Występują tam między innymi tabele do uzupełniania, ankiety i checklista na koniec. Uczniowie powinni zapoznać się z kartami pracy zaraz po rozdaniu i wyjaśnić ewentualne niejasności przed startem misji, czyli przed wejściem do Habitatu i Centrum Kontroli Misji. Po ukończonej misji, pakiety z danymi zbierane są przez opiekunów i dokumentowane w ustalony przez zespół sposób.

### ASTRONAUCI

1. Dowódca - commander (CMDR), kontroluje przebieg misji, pilnuje, aby wszystkie zadania w centrum kontroli misji (MCC) i w habitacie wykonane były na czas, a dane z misji przesłane do centrum kontroli misji i aby opiekunowie wykonali dokumentację fotograficzną. Jedynie briefing i debriefing ma ścisłe ramy czasowe, resztą może zarządzać w taki sposób, aby wszystkie zadania misji były zrealizowane. Deleguje i rozdziela pracę tak, aby każdy miał co robić i nie był zbyt przeciążony. W razie problemów stara się zorganizować pomoc, podejmuje decyzje, co należy robić w trudnych sytuacjach. Wspiera i motywuje swój zespół.
2. Zastępca dowódcy - executive officer (XO), pomaga dowódcy kontrolować przebieg misji, pilnuje, aby wszystkie zadania w centrum kontroli misji (MCC) i w habitacie wykonane były na czas, a dane z misji przesłane do centrum kontroli misji i aby opiekunowie wykonali dokumentację fotograficzną. Zastępuje dowódcę w przypadku, kiedy ten nie może przejąć swoich obowiązków. Dodatkowo zajmuje się organizacją ćwiczeń sprawnościowych i umysłowych, pilnuje, aby osoby wykonały odpowiednie badania i prawidłowo wypełniły tabele sportu. Współpracuje z lekarzem pokładowym.
3. Lekarz pokładowy - crew medical officer (CMO), kontroluje samopoczucie i zdrowie członków załogi w trakcie misji, pilnuje, aby każdy prawidłowo wykonał pomiary fizjologiczne, notuje dane w tabelach, zbiera pomiary na początku i pod koniec misji, ponadto pomiary astronautów przed i po spacerze kosmicznym EVA (Extra Vehicular Activity), oraz pomiary astronautów przed i po ćwiczeniach sprawnościowych i umysłowych. Jest odpowiedzialny za zebranie danych odnośnie pH moczu załogi, pilnuje, aby załoga się nie odwodniła, sprawdza czy osoby się nie przemęczają, zbiera dane i raportuje do MCC przez oficera komunikacji.
4. Sekretarz pokładowy - flight administrator (FA), notuje wszystkie informacje dotyczące misji: kto, co i kiedy robił, wszystkie logi przekazuje centrum kontroli misji MCC za

pomocą internetu. Sekretarz monitoruje czas wykonywanych zadań, informuje dowódcę o ewentualnych opóźnieniach. Monitoruje gdzie przebywają poszczególni astronauta i ile czasu. Przygotowuje dane dotyczące wydajności załogi.

5. Astrobiolog - astrobiologist (AB), kontroluje parametry środowiskowe habitatu w rano i wieczorem. Przeprowadza eksperymenty astrobiologiczne.
7. Oficer komunikacji - communication officer (CO), komunikuje się z centrum kontroli misji (MCC), konkretnie z CapComem. Komunikacja jest TYLKO W JĘZYKU ANGIELSKIM. Pilnuje czasu, który jest ściśle określony na komunikację z MCC: jest to briefing o godzinie 09:15 czasu ziemskiego, oraz debriefing o 15:00 czasu ziemskiego. Jako jedyna osoba na pokładzie, ma prawo do łączenia się z MCC. Również MCC może się kontaktować poza ustalonymi godzinami komunikacji. Odpowiedzialny za połączenie internetowe, bądź telefoniczne, ciągłą dostępność, najlepiej poprzez aktywny kanał na Skypie albo innym komunikatorze internetowym. Testuje radia i jakość komunikacji w trakcie spacerów kosmicznych. Informuje astronautów i przypomina im o zadaniach przekazanych przez centrum kontroli misji. Zapisuje czas każdej informacji odebranej i przekazanej z MCC.
8. Dokumentalista - documentalist officer (DO), sporządza dziennik pokładowy misji w formie pamiętnika, wykonuje zdjęcia innym astronautom w trakcie wykonywanych przez nich zadań, przygotowuje materiał pamiątkowy oraz na potrzeby dokumentacji misji na profilu mediów społecznościowych, w innych mediach oraz w materiałach szkolnych.



## ZAŁOGA W CENTRUM KONTROLI MISJI - MCC

1. Dyrektor misji - flight director (FD), kontroluje przebieg misji, pilnuje, aby wszystkie zadania w centrum kontroli misji (MCC) i w habitacie wykonane były na czas, a dane z misji przesłane do centrum kontroli misji i aby opiekunowie wykonali dokumentację fotograficzną. Deleguje i rozdziela pracę. W razie problemów organizuje pomoc, podejmuje kluczowe decyzje w trudnych sytuacjach. Wspiera i motywuje swój zespół. Sukces misji zależy głównie od Ciebie. Zadania dla załogi przekazuje komunikatorowi (CapComowi).
2. Zastępca dyrektora - executive director (XD), pomaga dowódcy, kontroluje przebieg misji, pilnuje, aby wszystkie zadania w centrum kontroli misji (MCC) i w habitacie wykonane były na czas, a dane z misji przesłane do centrum kontroli misji i aby opiekunowie wykonali dokumentację fotograficzną. Zastępuje FD. Dodatkowo zajmuje się organizacją ćwiczeń dla Centrum Kontroli Misji i odpowiedzialny jest za przygotowanie posiłków. Obserwuje interakcje w załodze, raportuje je. Współpracuje z lekarzem misji.
3. Komunikator z astronautami - capsule communicator (CapCom), komunikuje się z centrum kontroli misji (MCC), konkretnie z oficerem komunikacji. Komunikacja jest TYLKO W JĘZYKU ANGIELSKIM. Pilnuje czasu, który jest ściśle określony na komunikację z habitatem: jest to briefing o godzinie 10:30 czasu ziemskiego, oraz debriefing o 19:00 czasu ziemskiego. Jako jedyna osoba w zespole ma prawo do łączenia się z habitatem, kiedy jest taka potrzeba. Również załoga w habitacie może się kontaktować poza ustalonymi godzinami komunikacji. Odpowiedzialny za jakość komunikacji i ciągłą dostępność, najlepiej przez aktywny kanał na Skypie albo innym komunikatorze internetowym. Informuje astronautów i przypomina o zadaniach wygenerowanych przez centrum kontroli misji. Zapisuje czas każdej informacji odebranej i przekazanej z habitatem.
4. Lekarz misji - flight surgeon (FS), kontroluje samopoczucie i zdrowie członków załogi i MCC w trakcie misji, pilnuje, aby każdy prawidłowo wykonał pomiary fizjologiczne, monitoruje otrzymane dane w tabelach, zbiera pomiary na początku i pod koniec misji, ponadto pomiary astronautów przed i po spacerze kosmicznym EVA (Extravehicular Activity), oraz pomiary astronautów przed i po ćwiczeniach sprawnościowych i umysłowych.
5. Oficer danych naukowych - science data officer (SDO), monitoruje parametry środowiskowe habitatu rano i wieczorem. Wspiera astrobiologa w jego zadaniach, czyli przykładowo sprawdza czy podlane są rośliny hydroponiczne, wysiane lub prawidłowo



nawodnione kielki w kielkownicy, prawidłowo przeprowadzone eksperymenty z agarem w klinostacie.

6. Oficer danych bazy - habitat data officer (DO), zbiera od wszystkich dane, gromadzi w bezpiecznym miejscu, tworzy kopie zapasowe w zeszycie i na komputerze na utworzonym miejscu na dysku google udostępnionym całej załodze biorącej udział w misji. Dane przekazuje sekretarzowi pokładowemu oraz bezpośrednio do centrum kontroli misji MCC.
7. Psycholog - psychologist (PSY), kontroluje samopoczucie i zdrowie członków załogi zarówno astronautów, jak i MCC w trakcie misji, pilnuje, aby każdy prawidłowo wykonał swoje zadania. Przeprowadza psychologiczne testy i ankiety.
8. Oficer planista - scheduling officer (SO), przygotowuje wspólnie z MCC rozkład zajęć (w języku angielskim), dla astronautów oraz przesyła go do bazy w formie pliku pdf. Czasowy rozkład zadań dla każdego astronauty powinien być weryfikowany z bazą poprzez raporty CapComa.

## **PRZYGOTOWANIE MISJI**

Karty pracy powinny być wydrukowane i rozdane przed misją. Taka forma pracy umożliwia ograniczenie ilości komputerów w czasie misji. W przypadku misji odbywających się na terenie szkoły, potrzebny będzie specjalistyczny sprzęt badawczy, odpowiednie stroje, będzie też potrzebny co najmniej jeden laptop w habitacie i co najmniej jeden laptop w centrum kontroli misji. Komputery będą potrzebne do komunikacji przez Skype pomiędzy MCC i habitatem (tylko CC z MCC rozmawia z tylko jednym przydzielonym do komunikacji astronautą). Jeśli misje będą realizowane w habitacie, właściciel zapewni wszelkie potrzebne urządzenia, ubrania i sprzęty, potrzebne będą tylko karty pracy, laptopy i smartfony.

### **Potrzebne urządzenia elektroniczne:**

- minimum 2 laptopy
- minimum 2 smartfony
- opcjonalnie walkie-talkie

### **Przyrządy pomiarowe i materiały**

- klinostaty (możliwość wypożyczenia w AATC);
- maszyny do symulacji mikrogravitacji (możliwość wypożyczenia w AATC);
- odczynniki chemiczne;
- mikroskop;

- algi (możliwość nieodpłatnego pobrania w AATC);
- karaczany (możliwość nieodpłatnego pobrania w AATC);
- oświetlenie ledowe;
- układy hydroponiczne;
- mierniki pulsu, ciśnienia, temperatury, pH, masy ciała;
- białe cienkie skafandry malarskie z kaskiem, podwójnymi rękawiczkami i plecakiem obciążonym 4 kg jako symulacja skafandra kosmicznego (możliwość wypożyczenia w AATC);
- posiłki liofilizowane np. firmy Arpol.

## Ubrania

Grupa Astronauci ubiera się w jednakowe kolorystycznie koszulki i spodnie (najlepiej tego samego koloru koszulki co i spodnie aby symulować strój astronauty), w wersji optymalnej w skafandry dostępne komercyjnie. Na ubraniu powinny znaleźć się trzy rodzaje naszywek:

- **flaga kraju**, z którego uczeń pochodzi, na lewym ramieniu
- **naszywka z logiem misji** na prawej piersi, zaś na lewej imię i nazwisko
- opcjonalnie, pod imieniem i nazwiskiem można przypiąć **naszywkę określającą funkcję astronauty**. Zamiast naszywek można zastosować identyfikatory.

Załoga MCC również powinna być ubrana w jednakowe koszulki, posiadać loga misji, imiona i nazwiska, opcjonalnie funkcje.



## **Do przygotowania i wydrukowania:**

1. Regulamin misji x 4 (dla astronautów, MCC i 2 opiekunów);
2. Manual misji x 2 (do habitatu i dla MCC);
3. Karty do spacerów kosmicznych x 4 (1 karta wręczana dowódcy misji);
4. Karty pracy (przykładowe, gotowe karty pracy dostępne są na stronie [astronaut.center/education/](http://astronaut.center/education/)).

## **Manual misji**

Tak jak w prawdziwych misjach kosmicznych, również w symulacjach obowiązuje dokument opisujący dane techniczne, naukowe i logistyczne misji. W nim zawarte są wszelkie zadania misji, cel ich realizacji i sposób wykonania. W opisie znajdują się rozwiązania możliwych problemów. Manual misji tworzy cały zespół uczniowski przed wydarzeniem.

## **Przykładowe zadania**

Zadania wykonywane w trakcie misji powinny głównie opierać się na kreatywności nauczyciela, a ich wykonanie na kreatywności uczestników. Nie chodzi tu bynajmniej o wykorzystywanie gotowych pomocy dydaktycznych, przykładowo: pomiary habitatu mogą być wykonane bez wcześniejszego uprzedzenia, aby analogowi astronauta sami wymyślili, jak bez linijek, miarek i skali uzyskać dokładne pomiary ścian, szafek, itd.. Problemy, które są tematem symulacji, powinny być adekwatne do tych, które mogą wystąpić w rzeczywistości księżycowej czy marsjańskiej. Zadania powinny być szybkie i łatwe w ewaluacji. Parametrami podlegającymi ocenie są: czas wykonania zadania, jakość i wartość merytoryczna. W momencie rozpoczęcia wykonywania zadania uczestnicy zapisują czas na własnych kartach pracy. Podobnie na koniec zadania zapisują czas zakończenia zadania przekazując informację do Centrum Kontroli Misji. W zależności od misji księżycowej lub marsjańskiej, czas zapisywany jest w innych jednostkach. Czas księżycowy dostępny jest na stronie [lunarclock.org](http://lunarclock.org), a marsjański na stronie [giss.nasa.gov/tools/mars24/download](http://giss.nasa.gov/tools/mars24/download). Centrum Kontroli Misji ma za zadanie motywować i znajdować rozwiązania dla problemów astronautów, aby wyniki całej misji były jak najlepsze. Poniżej przedstawiono listę przykładowych zadań:

1. Wykonać pomiary habitatu, nanieść na mapę poglądową w skali 1:50 cm;
2. Przeprowadzić podstawowe badania fizjologiczne członków załogi (puls, temperatura, refleks, stopień zmęczenia, zdolność do koncentracji, stan emocjonalny);



3. Stworzyć plan ewakuacji z habitatu na wypadek awarii wody/gazu/prądu/wirusa/wysokiej i niskiej temperatury;
4. Przeprowadzić symulację ratowania astronauty, który stracił przytomność;
5. Wykonać szereg ćwiczeń na czas (30 przysiadów, 30 x 30 sekund desek) na początku i na końcu misji, porównać wyniki;
6. Wykonać sudoku na czas na początku i na końcu misji, porównać wyniki;
7. Wykonać test na refleks ( np. [www.humanbenchmark.com/tests/reactiontime](http://www.humanbenchmark.com/tests/reactiontime), [brainmetrix.com](http://brainmetrix.com), [reflex.test.net](http://reflex.test.net));
8. Wykonać test na pamięć przestrzenną (np. [memorylosstest.com](http://memorylosstest.com), [cambridgebrainsciences.com](http://cambridgebrainsciences.com));
9. Zaprojektować przyhabitadową oczyszczalnię ścieków (przy założeniu, że 1 astronauta produkuje 18 kg odpadów gazowych, ciekłych i stałych);
10. Utworzyć dietę dla astronautów;
11. Zaprojektować ekologiczne ubranie;
12. Napisać raport z misji;
13. Wykonać pamiątkowe zdjęcie z symulacji misji;

14. Wyczyścić ubrania z pyłu księżycowego;

15. Jedną misję wykonać w specjalnych strojach podkreślających tożsamość grupy drugą w normalnych ubraniach. Porównać wyniki.

## Grafik misji

Zadania misji powinny być zestawione w formie graficznej z uwzględnieniem wizualizacji czasowej dla każdego astronauty. Grafik wykonuje osoba bądź cały dedykowany do tego zadania zespół w arkuszu kalkulacyjnym na dysku Google. Następnie dokument jest udostępniony wszystkim uczestnikom misji, zarówno astronautom, jak i centrum kontroli misji. Jako przykład przedstawiono dzień pracy załogi międzynarodowej misji SPECTRA realizowanej 14-29 lipca 2018 r. w habitacie Lunares w Pile.

UTC	LST Date	LST Time	Vice Commander	Commander	Bioengineer	Crew Medical Officer	Geoscientist	Engineer	
	51-06-29	14:30	Wake up, prepare breakfast, prepare for the day + medical checkups (including the second urine pH measurements)						
	51-06-29	15:00	Breakfast + 1 min Food&Mood/Culture of Food (Dr Proctor)						
	51-06-29	16:00	Crew Briefing						
09:20	51-06-29	17:00	Video Link to Practon and Sentient, Western Australia - Feedback on VR Training (17:00 LST = 17:20 UTC+8)						
10:00	51-06-29	17:30							
10:30	51-06-29	18:00	Comms with base	LIDAR preparation	Microgreen Garden	finalizing previous tasks + moonhenge prep	LIDAR preparation	VR Project	
11:00	51-06-29	18:30	Media Outreach & Social Media			Hexoskin shirt			
11:30	51-06-29	19:00	Setting up space	Working on various research projects					
12:00	51-06-29	19:30	Media Outreach & Social Media	Working on various research projects					
12:30	51-06-29	20:00	cool down / personal time			Hexoskin shirt	cool down / personal time		
13:00	51-06-29	20:30	Lunch + 1 min Food&Mood/Culture of Food (Dr Proctor)						
13:30	51-06-29	21:00	Preparation for EVA, put on suit and medical checkup						
14:00	51-06-29	21:30	Preparation for EVA, put on suit and medical checkup	Preparation of 4 blue suits for Legendary Rover Team and LIDAR Engineer to be stored in EVA greenhouse module today	Preparation for EVA, assist with donning suits	Preparation for EVA, put on suit and medical checkup	Preparation of 4 blue suits for Legendary Rover Team and LIDAR Engineer to be stored in EVA greenhouse module today	Preparation for EVA, put on suit and medical checkup	
14:30	51-06-29	22:00	EVA - collecting cargo from Earth + Moonhenge	LIDAR preparation	EVA HabCom	EVA - collecting cargo from Earth + Moonhenge	LIDAR preparation	EVA - collecting cargo from Earth + Moonhenge	
15:00	51-06-29	22:30	post-EVA procedures		post-EVA procedures	post-EVA procedures		post-EVA procedures	
15:30	51-06-29	23:00	Comms with base		Reports	Reports		VR Project	
16:00	51-06-30	00:00	Dinner (1 min Food&Mood/Culture of Food)						
16:30	51-06-30	00:30	Evening medical checkups						
17:00	51-06-30	01:00	VRLife Tree						
17:30	51-06-30	01:30	Yoga & Meditation						
18:00	51-06-30	02:00	Team Bonding (Games, Story-telling, sharing)						
18:30	51-06-30	02:30	Sleep Time						
19:00	51-06-30	03:00							
19:30	51-06-30	03:30							
20:00	51-06-30	04:00							
20:30	51-06-30	04:30							
21:00	51-06-30	05:00							
21:30	51-06-30	05:30							

## Ewaluacja

Czas wykonania, jakość i wartość merytoryczna zadań misji podlegają ocenie. Aby ćwiczenie miało sens, należy wykonać tę samą symulację zamieniając grupę Astronautów z grupą Centrum Kontroli Misji. Analiza porównawcza wyników z obu misji dostarczy ciekawe wnioski pogłębiające rozumienie: (1) sensu szkolenia astronautów przed misją; (2) wysiłku wielu ludzi na sukces misji; a także (3) znaczenia stopnia zaangażowania, doświadczenia i wiedzy członków zespołu. Na koniec misji wydawane są certyfikaty ukończenia symulacji, które mogą wesprzeć CV na drodze kariery.

# PROJEKTOWANIE BAZ POZAZIEMSKICH

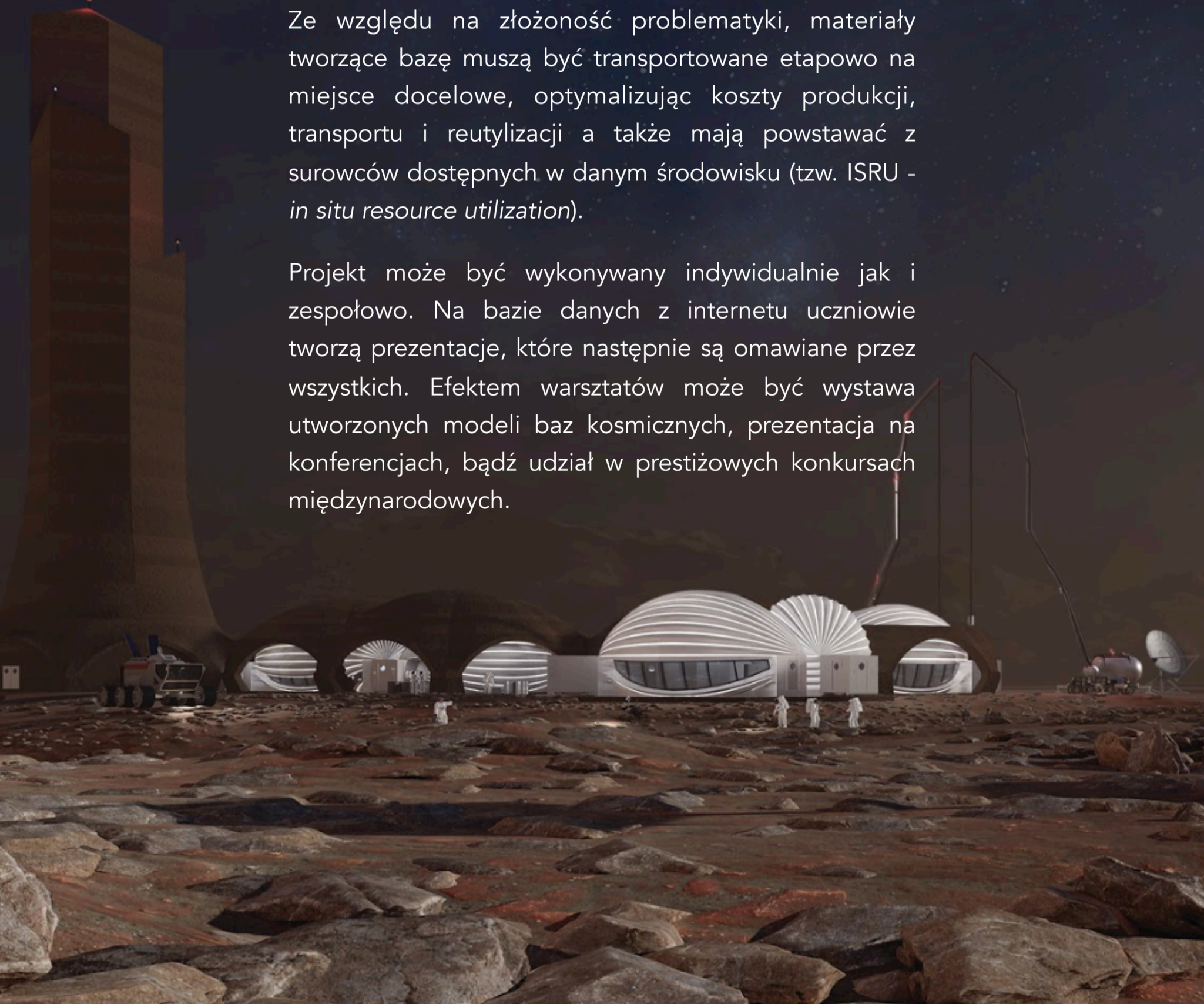
## Warsztaty MoonMars Village

Główną ideą ćwiczenia jest zaprojektowanie modułowej wielofunkcyjnej jednostki mieszkalnej dostosowanej do warunków Księżyca lub Marsa.

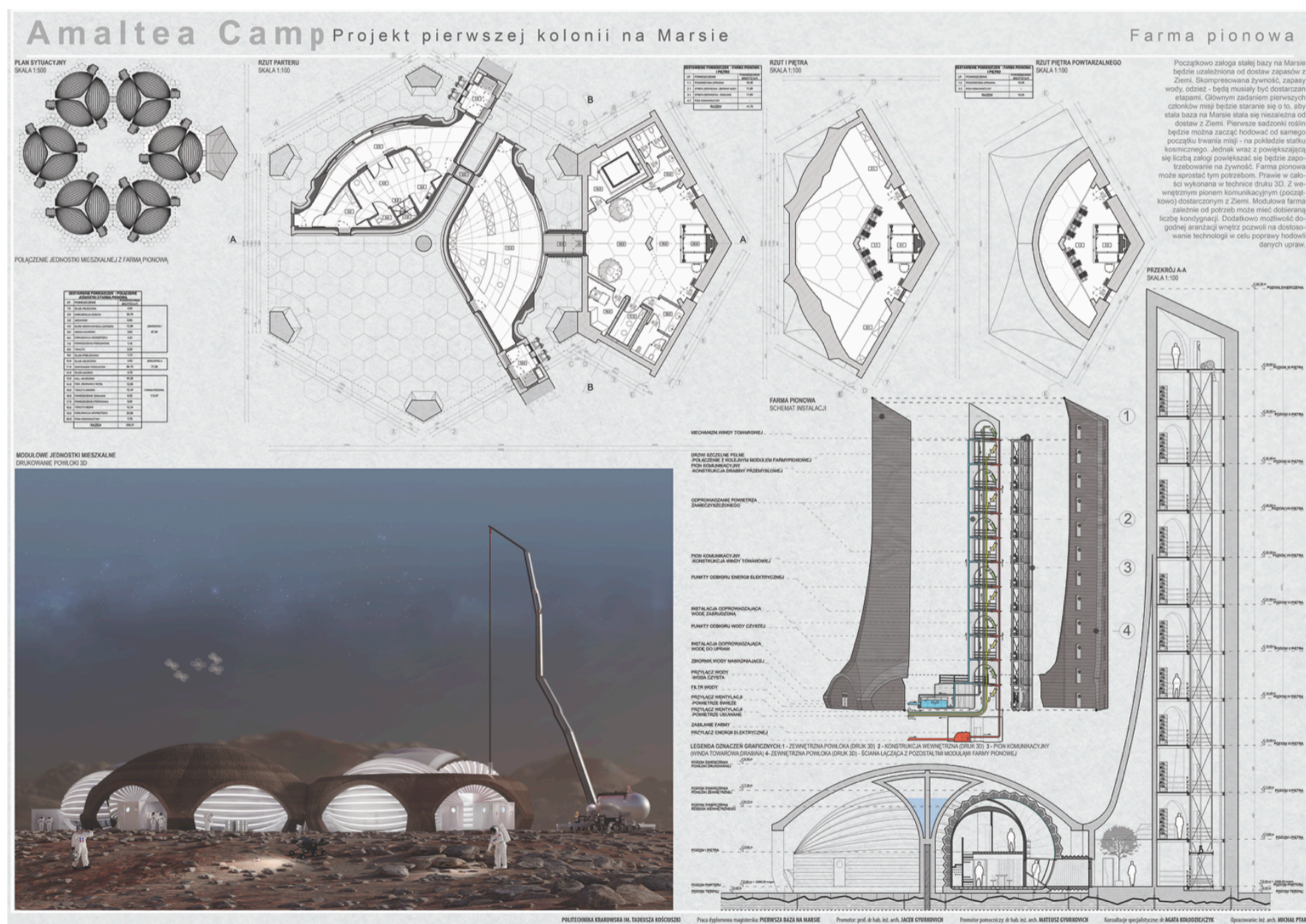
Habitat ma stanowić nie tylko schronienie, ale również miejsce pracy i wypoczynku w niemal całkowicie zamkniętej biosferze.

Ze względu na złożoność problematyki, materiały tworzące bazę muszą być transportowane etapowo na miejsce docelowe, optymalizując koszty produkcji, transportu i reutilizacji a także mają powstawać z surowców dostępnych w danym środowisku (tzw. ISRU - *in situ resource utilization*).

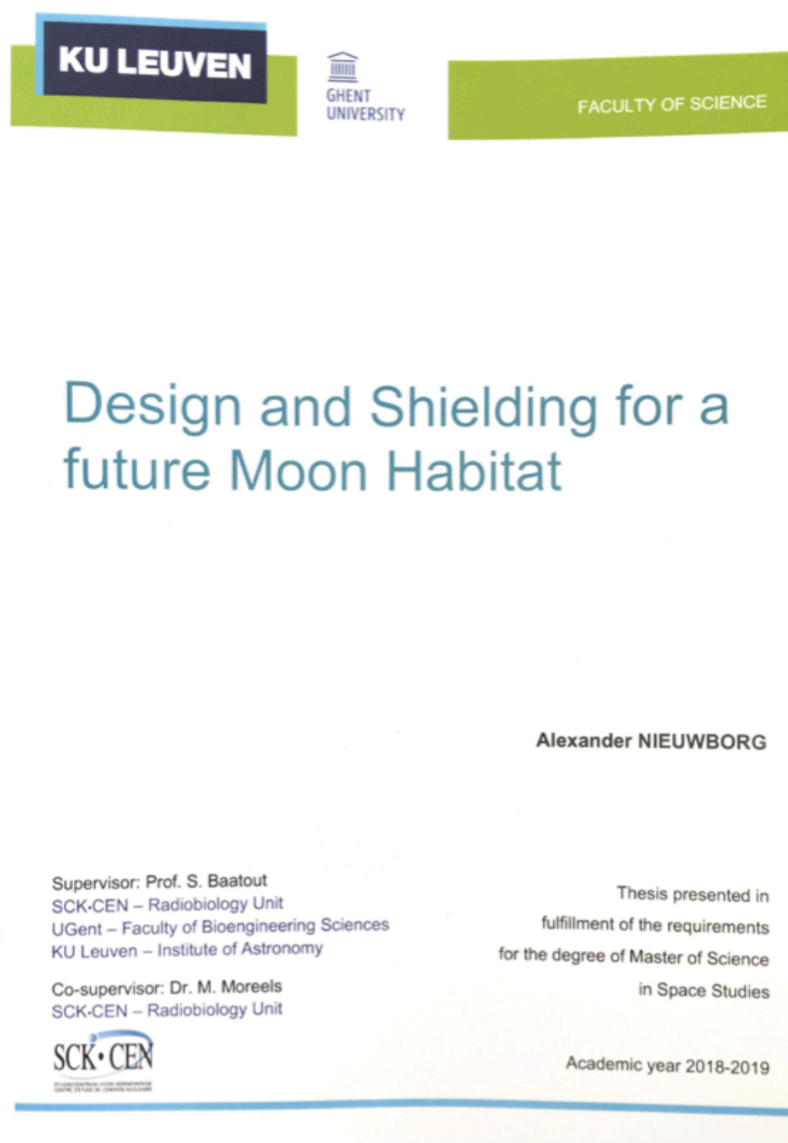
Projekt może być wykonywany indywidualnie jak i zespołowo. Na bazie danych z internetu uczniowie tworzą prezentacje, które następnie są omawiane przez wszystkich. Efektem warsztatów może być wystawa utworzonych modeli baz kosmicznych, prezentacja na konferencjach, bądź udział w prestiżowych konkursach międzynarodowych.



Architektura kosmiczna to interdyscyplinarna dziedzina wymagająca integracji zróżnicowanych talentów i umiejętności, dlatego najbardziej nadaje się na pracę zespołową. Łączy ona takie specjalności, jak inżynierię kosmiczną, architekturę, design, grafikę komputerową, projektowanie czynników ludzkich, nauki kosmiczne, medycynę, psychologię i sztukę. Projektowanie baz można wpisać w zadania w czasie symulacji misji, gdzie osoby tworzące projekt na własnej skórze doświadczają, co byłoby istotne, a co nie w kosmosie. Pomimo złożoności zdarzają się przypadki, że jedna osoba jest w stanie wykonać cały projekt. Grafiki, które tutaj prezentujemy, to elementy pracy magisterskiej studenta Politechniki Krakowskiej, Michała Ptaka, laureata drugiego miejsca w międzynarodowym konkursie na projekt bazy Marsjańskiej 2019 w Malezji. Michał sam stworzył cały projekt, współpracował z nami jedynie celem zdobycia dostępu do literatury i przedyskutowania kwestii nieopisanych w istniejących publikacjach, problemów nowych, z jakimi trzeba się zmierzyć w przyszłości.



Kolejnym projektem, w którym mieliśmy zaszczyt udzielać wsparcia merytorycznego, to praca magisterska belgijskiego inżyniera Alexandra Nieuwborga zamieszczona na kolejnej stronie. Projekt również został wyróżniony, tym razem jako najlepsza praca magisterska roku akademickiego 2018-2019 w katolickim uniwersytecie w Leuven.



W przeciwieństwie do dotychczasowych projektów baz kosmicznych, rozpoczęto przygotowania do długotrwałych misji na Księżyc i Marsa. Im dłuższa i bardziej izolowana misja, bardziej ważny staje się jakościowy dizajn habitatu. Im większy dystans bazy od Ziemi, tym większa potrzeba stworzenia samowystarczalnych modułów utrzymujących życie i personalizacji zadań w grafiku misji.

Wyzwania, którym trzeba sprostać to:

1. Wiedza na temat systemów kosmicznych i czynników ludzkich jako równoznacznych elementów projektowania bazy i misji;
2. Zrozumienie relacji pomiędzy wszystkimi elementami dizajnu i planowaniem misji;
3. Zdolność operacyjna skalowania od ogółu do szczegółu;
4. Wprowadzenie ukierunkowanych działań i osądów na możliwości dizajnu, bez ograniczeń obecnie obowiązującymi możliwościami;
5. Charakterystyka wpływu utworzonych środowisk na zachowania ludzkie;
6. Myślenie krytyczne.



## **Kluczowe parametry w planowaniu bazy kosmicznej**

Do podstawowych wymogów dizajnu załogowej misji kosmicznej zalicza się wprowadzenie do projektu pogłębionego opisu wyjaśniającego strukturę i funkcję następujących zagadnień:

- Systemy utrzymywania życia (atmosfera, termika, wilgotność, pożywienie, higiena, gospodarka utylizacji zanieczyszczeń);
- Ochrona przed zagrożeniami (mikrometeoroidy, mikrogravitacja, promieniowanie kosmiczne, biohazard, itp.);
- Implikacje behawioralne (przestrzeń osobista, prywatność, interakcje socjalne, itd.).

### **Proces dizajnu**

Praca nad projektem bazy kosmicznej wymaga interdyscyplinarnego nałożenia wiedzy architektonicznej, inżynieryjnej, nauk kosmicznych, projektowania form przemysłowych, ergonomii, medycyny i psychologii. Rozpoczynamy od naszkicowania kilku scenariuszy na podstawie ustalonych wcześniej celów i zdefiniowanych wymagań. Następnie tworzone są koncepty i wybór najlepszych rozwiązań do implementacji i finalnego projektu bazy.

### **Przebieg warsztatów:**

1. Wstęp teoretyczny;
2. Podział uczniów na grupy np.: baza Księżycowa, baza Marsjańska, baza na asteroidzie, baza na Wenus, baza na Europie (księżycu Jowisza); baza na Tytanie (księżycu Saturna);
3. Ustanowienie celów (inżynieryjnych, naukowych, biznesowych, użytkowników);
4. Zebranie i analiza dostępnych w internecie informacji;
5. Zdefiniowanie potrzeb;
6. Testowanie konceptów i wyodrębnienie wersji finalnej;
7. Prezentacja finalnego projektu przed innymi zespołami.

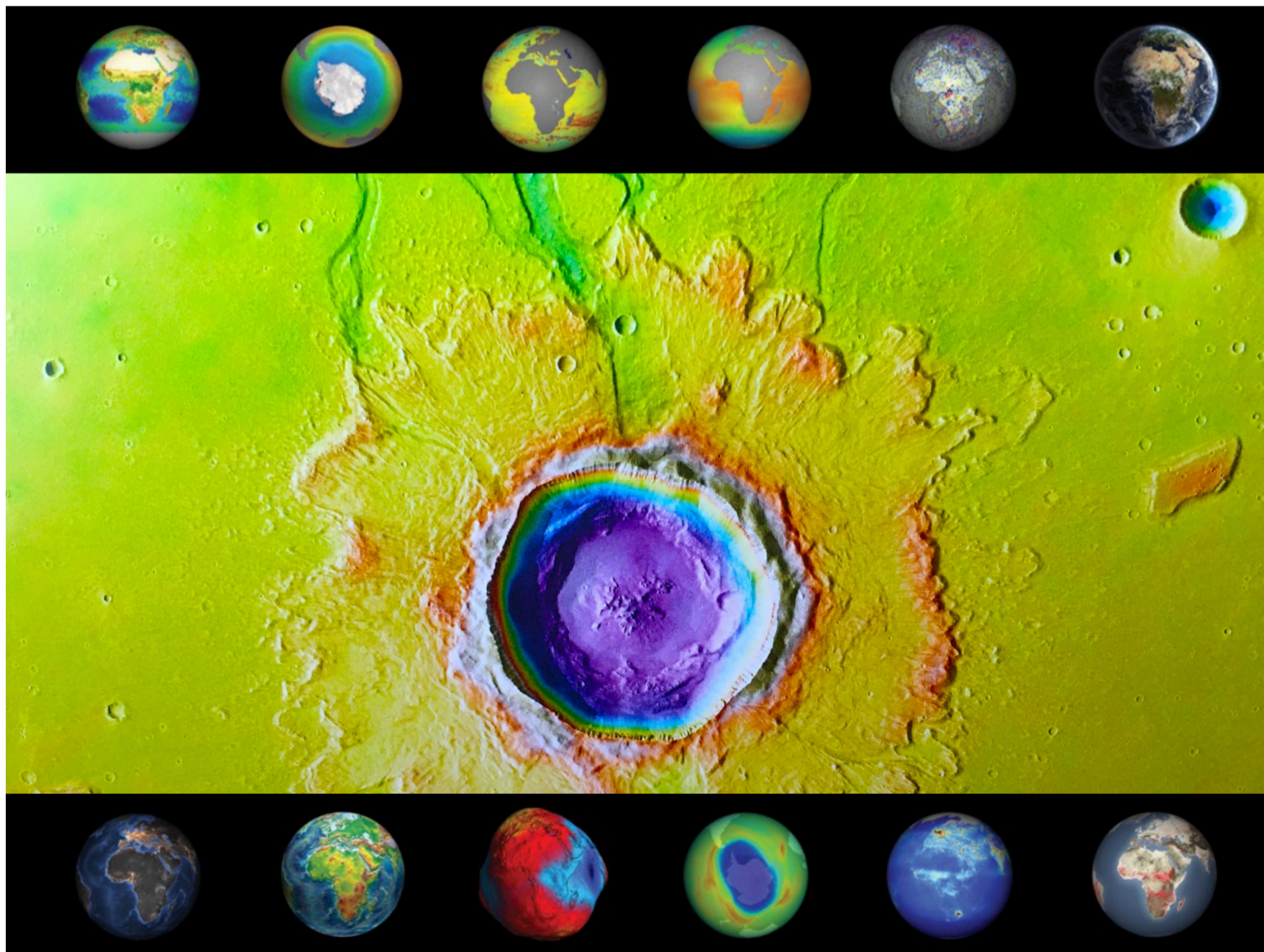
### **Ewaluacja**

Ocenie projektu bazy kosmicznej podlegają następujące tematy: stopień analogii do istniejących form architektonicznych, forma prezentacji, wizja projektu, rozwiązania strukturalne dla środowisk o zmienionej grawitacji (zgodność z prawami fizyki, dostępnością zasobów, itp.), konstrukcja geometryczna bazy, stopień innowacyjności.

# TECHNOLOGIE KOSMICZNE

## DEBATA

Zadanie polega na podzieleniu uczniów na dwa zespoły: pierwszy zespół ma za zadanie utworzyć listę technologii kosmicznych stosowanych w życiu codziennym. Technologie mają być sklasyfikowane w następujące grupy: niezbędne do życia, bardzo ważne, poprawiające gospodarkę, poprawiające poczucie bezpieczeństwa i poprawiające komfort indywidualny i społeczny. Drugi zespół ma wymienić te technologie, które zagrażają zdrowiu naszej planety. W obu przypadkach uczniowie prezentują nie tylko charakterystykę technologii, ale również jak w praktyce można mieć do niej dostęp i jak się z niej korzysta. Przykładem może tu być dostęp do danych programu obserwacji Ziemi Copernicus ([copernicus.eu/pl/dostep-do-danych](http://copernicus.eu/pl/dostep-do-danych)), Google Earth, Google Mars i Google Moon, czy dane dotyczące aktualnego nieba: [theskylive.com](http://theskylive.com). W tym ćwiczeniu należy wciąć pod uwagę również przedmioty i materiały użytku codziennego, takie jak srebrna duct tape, ubrania polarowe, czy ciekłokrystaliczne, dopasowujące do ciała poduszki i materace.

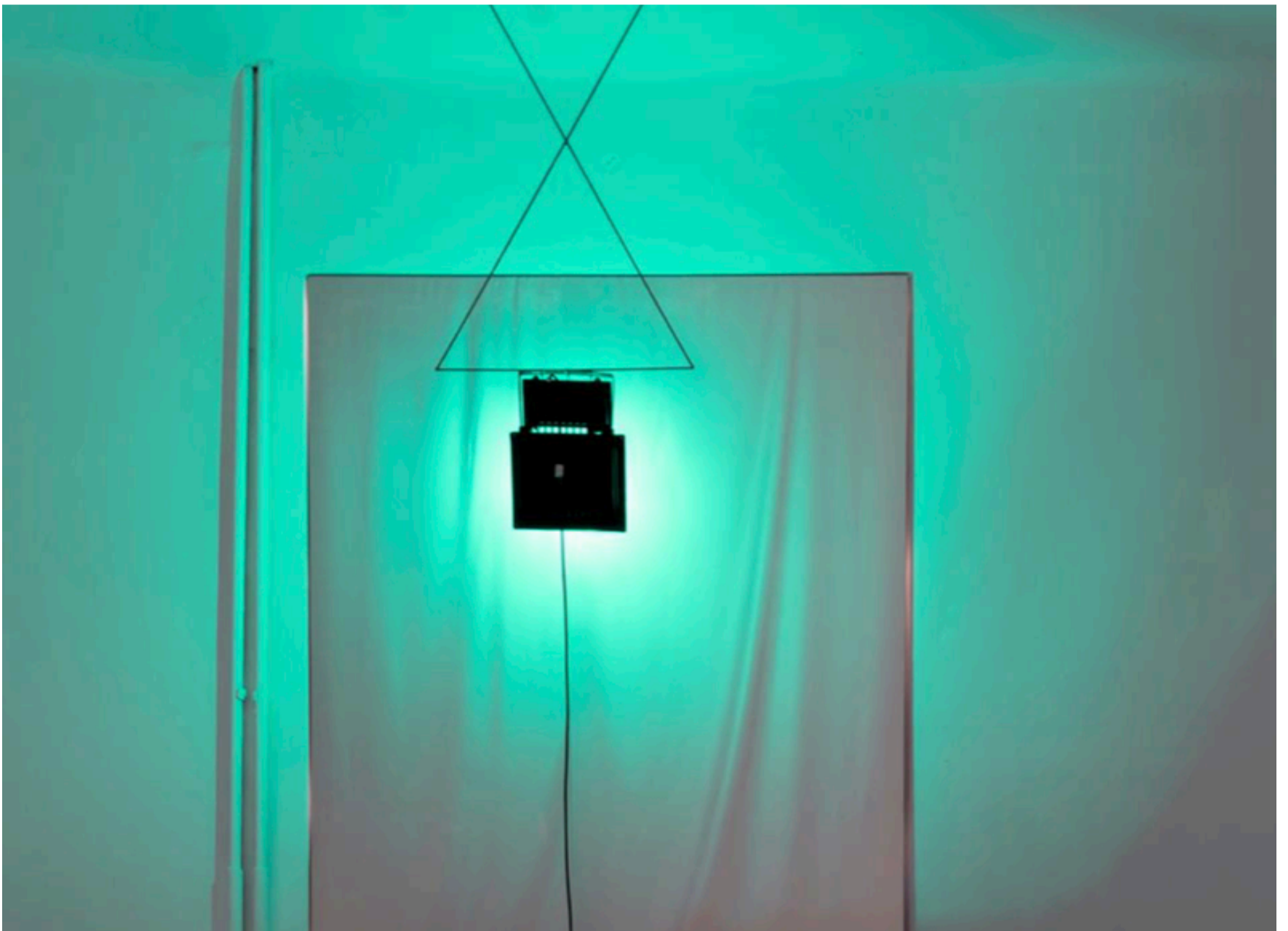


# INNOWACYJNE EKSPERYMENTY NAUKOWO-BIZNESOWE

Czy ciężko zostać wynalazcą? To zależy od wyobraźni, chęci, a przede wszystkim od potrzeb. Bo to potrzeba matką wynalazku. A technologie kosmiczne to wciąż najbystrzej płynąca rzeka innowacyjności. Gdzie nie spojrzeć - braki w dostępnych na rynku rozwiązaniach. Weźmy na przykład światło słoneczne. Nie można go kupić w sklepie, a w izolowanych bazach kosmicznych będzie niezbędne, aby przetrwać mogło ziemskie życie.

Analog Astronaut Training Center rozwija szereg nowych technologii, które w przyszłości znajdą zastosowanie w kosmosie, ale również tu na ziemi. Są nimi: (1) symulator światła słonecznego do synchronizacji zegarów biologicznych roślin, zwierząt i ludzi; (2) alternatywne bioreaktory jako systemy podtrzymywania życia; (3) komputer pokładowy oparty na algorytmach sztucznej inteligencji, który pomoże żyć bardziej ekologicznie - Habitat OS; (4) systemy hydroponiczne i aquaponiczne; (5) ekologiczne ubrania z kombuczy.

Projekty oczyszczające powietrze, wodę, utylizujące odpady stałe to kolejne wyzwania. Wszystko po to, aby przetrwać w kosmosie, przy okazji zaś aby ratować ziemię.



# BIOLOGIA KOSMICZNA

Jedną z intensywnie rozwijających się dziedzin nauki jest biologia kosmiczna. To kluczowa dziedzina w projektowaniu długoterminowych załogowych misji na Księżyc i Marsa, nie mówiąc o kolonizacji tych lub innych ciał niebieskich. Podstawowym wyzwaniem dla biologii jest ochrona życia, między innymi przed niszczącym kwasami nukleinowymi promieniowaniem kosmicznym. Kolejnym problemem jest uprawa roślin i hodowla zwierząt w izolowanym ekosystemie, jakim jest statek kosmiczny albo habitat. Teraformowanie nowych światów, produkcja wody i tlenu przyspieszając miliony lat ewolucji czy hibernacja astronautów na czas dwustudniowej misji na Marsa - to tylko nieliczne potrzeby. Poniżej zestawiono propozycje ćwiczeń w celu pogłębienia zainteresowania tematyką.

## POGODA KOSMICZNA

Jednym z bardziej ciekawych tematów jest obserwacja wpływu pogody kosmicznej na nasz organizm i otoczenie. Wystarczy wejść na stronę [spaceweather.com](http://spaceweather.com), gdzie zgromadzone są dane odnośnie prędkości i gęstości wiatru słonecznego, eksplozji słonecznych, burz magnetycznych i wielu innych parametrów, jak orbity asteroid w pobliżu naszej planety. Zadanie ma uświadomić uczniom, że ziemia nie jest oderwana od reszty wszechświata.

## SYSTEMY PODTRZYMYWANIA ŻYCIA

Najprostszym systemem możliwym do wykonania jest słoik z rzeczną wodą pobraną z dna w taki sposób, aby znalazł się w nim muł, glony i pierwotniaki żyjące w tym środowisku. Słoik należy przymknąć, aby zachował sterylność przy jednoczesnym umożliwieniu wymiany gazowej. Wystarczy nie dokręcić zakrętki. Raz na tydzień uczniowie powinni spisywać obserwacje z pobranych próbek. Szczególną uwagę należy skupić na obecności flory i fauny w słoiku. W tym celu potrzebny będzie dostęp do mikroskopu z obiektywem o powiększeniu 20x. Na podstawie obserwacji makro- i mikroskopowych uczniowie wyciągają wnioski. Jeśli jest taka możliwość, monitorowana jest temperatura i pH układu, a pod mikroskopem analizowany skład gatunkowy mikroorganizmów.

Bardziej skomplikowanym, ale obecnie modnym rozwiązaniem jest słoik z roślinami.

Każdy z uczniów zakłada uprawę z własnymi zaprojektowanymi gatunkami roślin. Zamiast słoika możemy zastosować butelkę plastikową wypełnioną wilgotną ziemią, przytkniętą korkiem umożliwiając wymianę gazową. Podobnie jak w przypadku opisanym powyżej, należy analizować rozwój i przekształcanie zamkniętej biosfery

## PRODUKCJA CELULOZY Z KOMBUCZY

Popularny napój z kombuczy został wyparty na terenie Europy przez amerykański koncern Coca-Coli w latach 70-tych. Na szczęście wciąż można rozpocząć hodowlę tego konsorcjum bakterii i drożdży. Przepis jest prosty: potrzebny jest mikrobiologiczny starter o nazwie scobby i medium czyli ochłodzona sterylna czarna herbata z dwoma łyżeczkami cukru (proporcja na kubek 250ml). Analog Astroanut Training Center dysponuje darmowymi próbkami tego specyfiku. Można je również znaleźć w sklepach internetowych. Poza walorami zdrowotnymi i smakowymi kombuczy, bakterie octowe tworzą na powierzchni roztworu sfermentowanej herbaty niezwykle mocny materiał zwany celulozą. Jest to najbardziej rozpowszechniony polimer na świecie. Kombucha ma zastosowanie w wielu dziedzinach przemysłu, ale wciąż jest mało powszechna jeśli chodzi o zastępnik plastiku. Wysznięta celuloza kombuczy stanowi bowiem biodegradowalną alternatywę dla opakowań plastikowych. Zadanie proponowane w tym dziale to próba wynalezienia metody druku 3D celulozą bakteryjną, oraz wynalezienia metody masowej produkcji celulozy jako ekwiwalent plastiku. Co ciekawe, z otrzymanej celulozy można szyc ubrania i inne przedmioty użytku codziennego jak portfele, długopisy, itd....czysta ekologia.



# PRZYDATNE INFORMACJE

## Filmy

Martian  
Right Stuff  
Apollo 13  
Gattaca  
Interstellar  
Gravity  
Contact  
Salyut 7  
The Age of Pioneers

## Książki

Mirosław Hermaszewski Ciężar Nieważkości  
Tom Wolfe: Right Stuff  
Tim Peake: Ask an Astronaut  
Gene Kranz: Failure is Not an Option  
Scott Kelly: Endurance: A year in Space, A Lifetime of Discovery  
Carl Norberg: Human Spaceflight  
Clayton Anderson: The Ordinary Spaceman: From Boyhood Dreams to Astronaut  
Mike Massimino: Spaceman: An Astronaut's Unlikely Journey to Unlock the Secrets of the Universe  
Scott Parazynski: The Sky Below

## Gry

Kerbal Space Program  
X-Plane  
Eagle 3D  
Interkosmos  
Orbiter  
Apollo 11 VR

## Kursy on-line

edx: Introduction to Aerospace Engineering: Astronautics and Human Space Flight  
edx: Human spaceflight: An introduction  
MIT: Aircraft Systems Engineering (Space Shuttle)  
MIT: The conquest of Space: Space Exploration and Rocket Science  
Masterclass: Chris Hadfield Teaches Space Exploration  
Delft University: Introduction to Space Engineering I  
edx: Space Mission Design and Operations

## YouTube

TMRO  
Scott Manley  
NASA Johnson  
Телестудия Роскосмоса  
Curious Droid

## Dokumenty

In the Shadow of the Moon  
Last Man on the Moon  
When We Left the Earth  
Failure is Not and Option  
Moonshot  
Hubble IMAX  
Neil Armstrong - First Man on the Moon

## Wiadomości

Spaceflight Insider  
Space Daily  
Mars Daily  
Moon Daily  
TMRO

## Seriale

Astronauts - do you have what it takes?  
From Earth to the Moon

# SPIS FOTOGRAFII

**Strona 7** - Start misji PAMELA maj 2019 z Gliwic. Pompowanie balonu odbywa się na kocach: jedna osoba pompuje balon mocno trzymając, pozostałe osoby podtrzymują balon. Zdjęcie: Agata Kołodziejczyk.

**Strona 11** - Modele kapsuł z różnych misji stratosferycznych. Zdjęcia: Agata Kołodziejczyk, internet.

**Strona 12** - Start jednej z misji JADE w Olsztynie k. Częstochowy, tym razem bez koców. Widoczna osoba operująca przy butli z wodorem, osoby pompujące balon, osoby wiążące kapsuły i włączające instrumenty pokładowe. Zdjęcie: Filip Stachowicz.

**Strona 15 (góra)** - Trackery do stratosfery wraz z przykładowym pozwoleniem radiowym. Zdjęcia: internet. **(dół)** - dane aprs zintegrowane z mapą Google wizualizujące lot balonu. Zaznaczone naturalne pęknięcie na wysokości 32,144 km. Opracowanie: Bartosz Moczala.

**Strona 17** - Przykład metody napełniania balonu wodorem bez koca. Powłoka balonu delikatnie trzymana jest w rękach pomocników. Zdjęcie: Filip Stachowicz.

**Strona 19** - Widok ze stratosfery w misji Elf Hunters z października 2016r. Zdjęcie: Arkadiusz Papaj.

**Strona 21** - Próba odzyskania kapsuły z wierzchołków drzew. Zdjęcie: Agata Kołodziejczyk.

**Strona 23** - Zespoły misji stratosferycznych: **(góra)**: misja hinduska lipiec 2019, zdjęcie: Alicja Kołodziejczyk, **(dół)**: misja LEO3 czerwiec 2016, zdjęcie: Joao Cunha.

**Strona 26** - Starty modeli rakiet na zakończenie warsztatów raketowych w Obserwatorium Astronomicznym Królowej Jadwigi w sierpniu 2019r. Zdjęcie: Agata Kołodziejczyk.

**Strona 32** - Testy nowo-uszytego spadochronu z części parasola w czasie warsztatów raketowych. Zdjęcie: Agata Kołodziejczyk.

**Strona 33** - Zdjęcie grupowe uczestników warsztatów raketowych przed startami. Zdjęcie: Agata Kołodziejczyk.

**Strona 35** - Załoga analogowych astronautów w czasie misji OPTIMA pozująca do pamiątkowego zdjęcia. Zdjęcie: samowyzwalacz załogi OPTIMA.

**Strona 39** - Kadr filmu dokumentalnego "Nieletni astronauta" wykonany przez Mediolia w czasie edukacyjnej symulacji misji na Księżyc "Youth for Moon" w habitacie Lunares.

**Strona 42** - Przygotowane skafandry z prawidłowo umiejscowionymi naszywkami czekające na właścicieli - załogę misji Lunar Expedition 1.0.

**Strona 44** - Zdjęcie z misji Hermes 2019 w habitacie w Rzepienniku Strzyżewskim. Analogowe astronautki wykonują jedno z zadań misji, czyli ważenie karaczanów.

**Strona 50** - Mapa topograficzna Marsa. Zdjęcie: MOLA, Mars Orbiter Laser Altimeter, NASA.

**Strona 51** - Prototyp symulatora światła słonecznego na wystawie sztuki współczesnej w Art Agenda Nova kwiecień/maj 2019 dr Magdaleny Lazar. Zdjęcie: Martyna Szulakiewicz.

**Strona 53** - Przykłady wykorzystania celulozy bakteryjnej z kombuczy jako bezszwowa okładka na książki, obudowa długopisu, kartka do składania origami wielokrotnego użytku, zakładka, portfel. Wykonanie i zdjęcia: Agata Kołodziejczyk.



Co to za książka?  
Otwarta, zapraszamy do środka!

