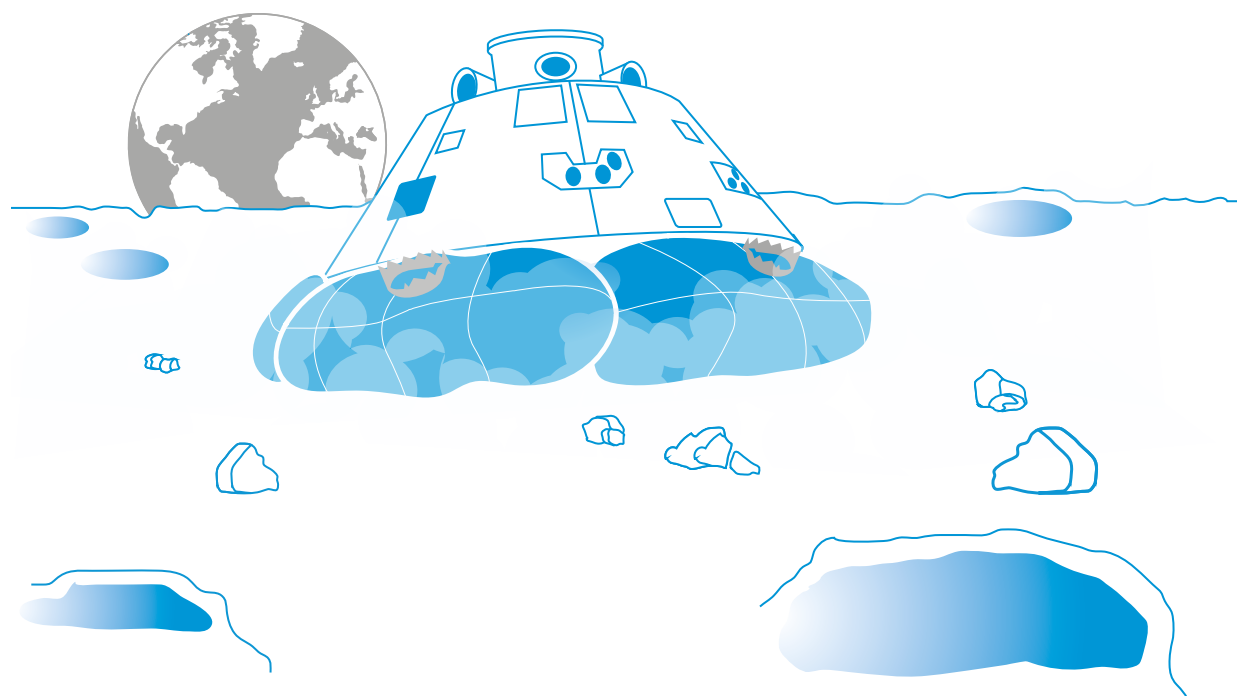
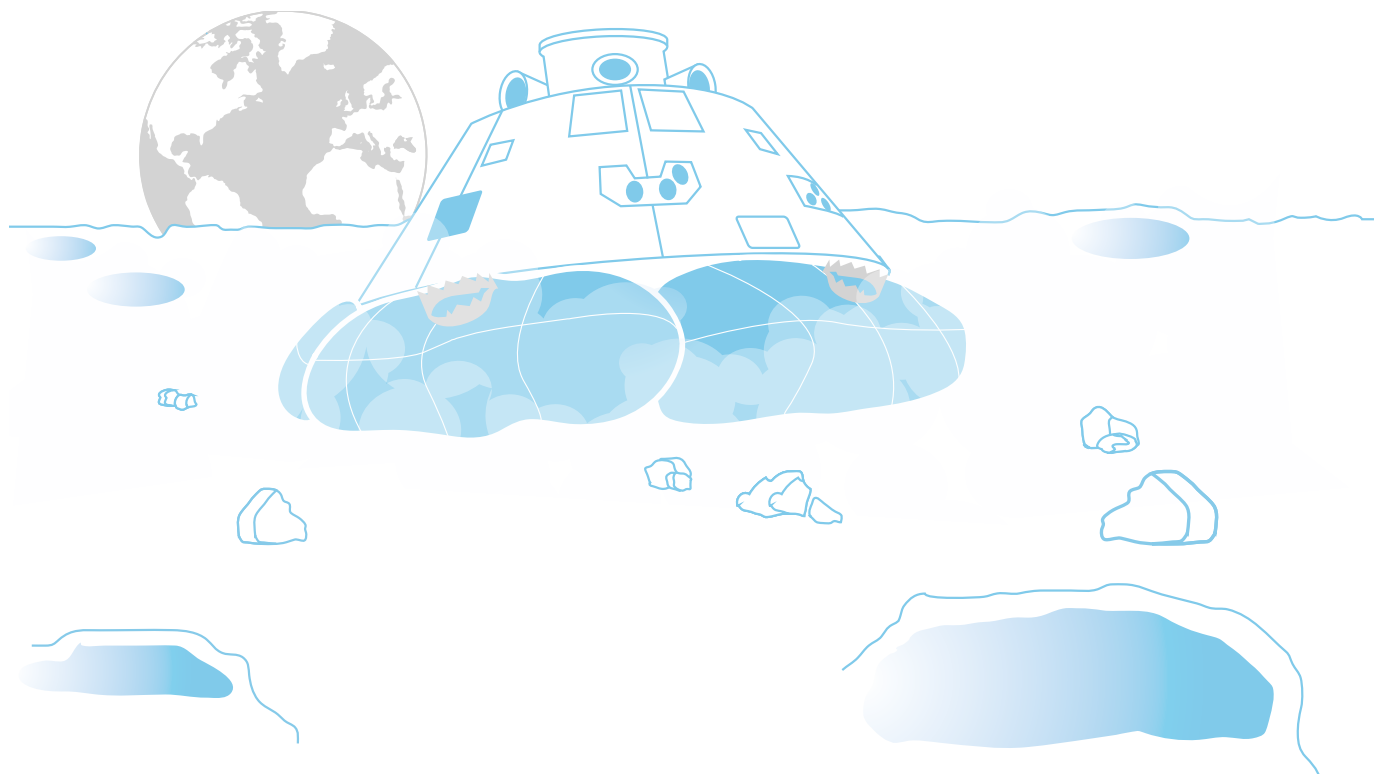


Lekcje z kosmosu

→ LĄDOWANIE NA KSIĘŻYCU

Planowanie i projektowanie księżycowego lądownika





Przewodnik dla nauczycielki/nauczyciela

Informacje wstępne.	3
Wprowadzenie.	5
Zadanie 1: Projektowanie i budowanie księżycowego lądownika	6
Zadanie 2: Przetestowanie własnego modułu lądowania	9
Zadanie 3: Lądowanie na Księżycu	12
Arkusze ćwiczeń.	16
Linki.	23

Tytuł oryginału: Teach with space: Landing on the Moon | P37

www.esa.int/education

Biuro Edukacyjne ESA zachęca do przesyłania komentarzy i opinii na adres
teachers@esa.int

Opracowane przez Biuro Edukacji ESA we współpracy z oddziałem ESERO Nordic
 Copyright © European Space Agency 2018

→ LĄDOWANIE NA KSIĘŻYCU

Planowanie i projektowanie księżycowego lądownika

→ Informacje wstępne

Informacje podstawowe

Przedmiot: fizyka, matematyka, ekonomia

Wiek: 14–16 lat

Rodzaj aktywności: zadania

Poziom trudności: średni

**Czas przygotowania się nauczycielki/
nauczyciela:** 1 godzina

Czas: 2 godziny i 30 minut łącznie

Miejsce: sala lekcyjna, boisko, na powietrzu

Słowa kluczowe: fizyka, matematyka, ekonomia,
lądowanie na Księżycu, grawitacja, tarcie, siła,
przyspieszenie, prędkość, prawa Newtona,
analiza ryzyka, szacowanie kosztów

Zakres i treść zajęć

W ramach tego zestawu zadań uczniowie/uczennice zaplanują, zaprojektują i zbudują moduł lądowania, który ma umożliwić załodze (w formie jajka-astronauty) przetrwanie. Odkryją oni czynniki, które należy wziąć pod uwagę w czasie lądowania na Księżycu w porównaniu z lądowaniem na Ziemi. Projektując księżycowy lądownik, uczniowie/uczennice nauczą się uwzględniać czynniki ryzyka oraz szacować koszty.

Uczniowie/uczennice dowiedzą się:

- jak identyfikuje się siły oddziałujące podczas lądowania na powierzchni Ziemi i Księżyca
- jaki jest związek pomiędzy masą a siłą grawitacji
- w jaki sposób rozwiązać zagadnienie ruchu wykorzystując drugą zasadę dynamiki Newtona
- jak przygotować projekt z uwzględnieniem budżetu i zarządzania ryzykiem
- jak pracować w zespole przy ograniczonym czasie i budżecie

ZESTAWIENIE WYNIKOWE TREŚCI					
Lp.	Zadanie	Opis	Rezultat	Wymagania	Czas
1	Zaprojektuj i zbuduj księżycowy lądownik	projekt i budowa księżycowego lądownika; wykonanie oceny ryzyka oraz projektu koncepcyjnego	umiejętność przygotowywania projektu przy określonym budżecie i wymagach; wykonanie oceny ryzyka i projektu koncepcyjnego; zbudowanie księżycowego lądownika	brak	60 minut
2	Przetestuj własny moduł lądowania	przetestowanie księżycowego lądownika; przeprowadzenie analizy wyników	przetestowanie lądownika i nabycie umiejętności zbierania danych; obliczenie przyspieszenia i prędkości w trakcie lądowania	ukończenie zadania 1	60 minut
3	Lądowanie na Księżycu	porównanie lądowania na Ziemi z lądowaniem na Księżycu	poznanie różnic między Księżycem a Ziemią; wyliczenie przyspieszenia grawitacyjnego oraz siły grawitacji	ukończenie zadania 2	30 minut

→ Wprowadzenie

W roku 1969 wyruszyła pierwsza załogowa misja Apollo 11, której celem było wylądowanie na Księżycu. Po czterech dniach podróży z Ziemi, księżycowy lądownik o nazwie Eagle (Orzeł) odłączył się od modułu dowodzenia orbitującego nad Księżycem i wylądował w Księżycowym Morzu (Mare Tranquillitatis (pol. Morze Spokoju)), które jest terenem względnie łagodnym i równym. Księżycowy lądownik był ręcznie sterowany, by uniknąć zderzenia z głazami i kraterami. „Houston, z tej strony baza Tranquility. Orzeł wylądował” – te słowa rozpoczęły nową erę w dziejach badania kosmosu.

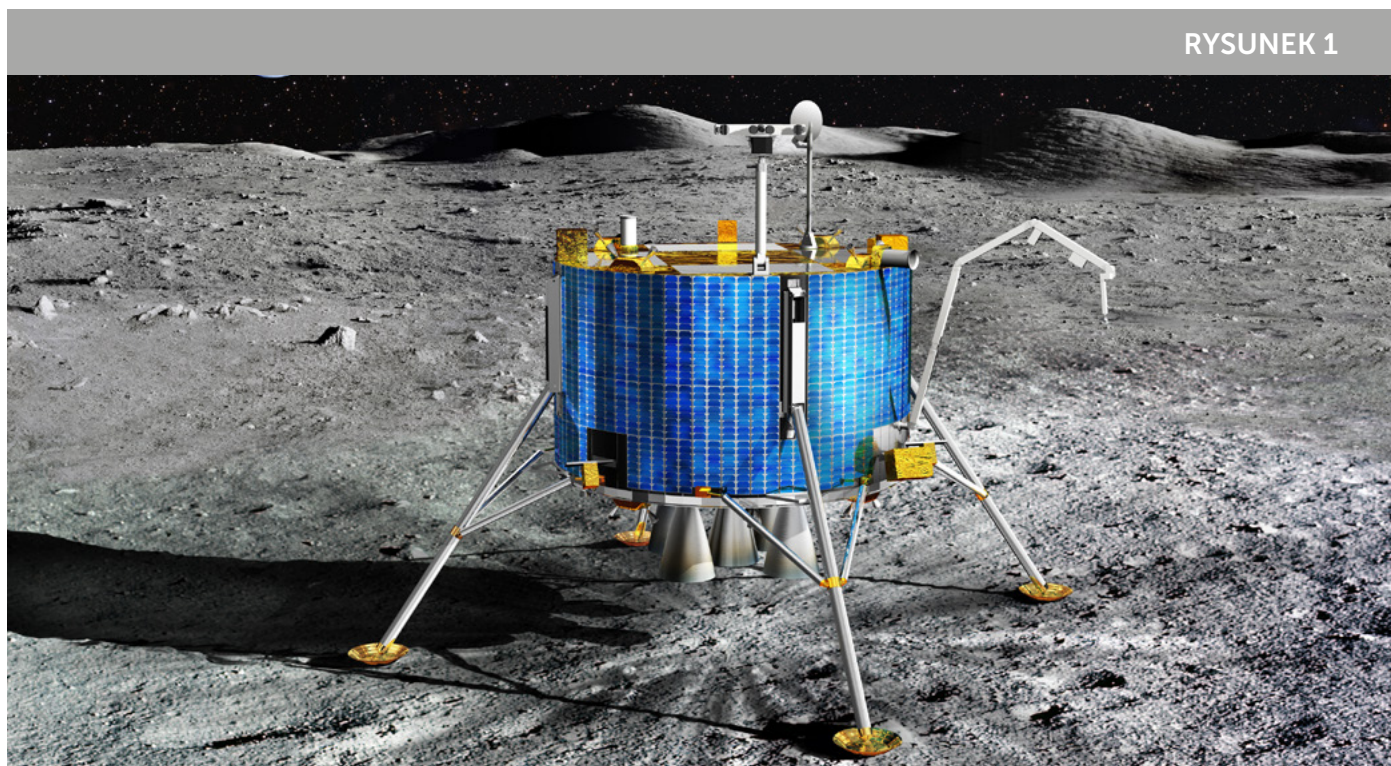
Apollo 12, druga załogowa misja lądowania na Księżycu, której celem było również ćwiczenie precyzji lądowania. W znacznej części przeprowadzono je automatycznie, a dokładność tego procesu miała niemałe znaczenie, ponieważ zwiększyła ona pewność lądowania w konkretnych, określonych wcześniej obszarach.

Zbliżanie się do powierzchni Księżyca stanowi jedną z najważniejszych faz lądowania księżycowego. Statek kosmiczny musi zmniejszyć swoją prędkość z 6000 km/h na orbicie Księżyca do kilku km/h w celu umożliwienia miękkiego lądowania. Wyznaczone miejsca na lądowanie w trakcie misji są często niebezpieczne, z licznymi kraterami, skałami i wzgórzami, co oznacza, że są one trudno dostępne.

Tylko 12 ludzi miało okazję przejść się po powierzchni Księżyca, a ostatni z nich wykonał taki spacer w 1972 r.

Europejska Agencja Kosmiczna (ESA), we współpracy z innymi partnerami, planuje powrócić na Księżyc w najbliższym dziesięcioleciu w ramach misji załogowych i zautomatyzowanych.

Wykonanie poniższego zestawu zadań przybliży uczniów/uczenice do zaprojektowania księżycowego lądownika oraz pozwoli zapoznać się z pewnymi wyzwaniami z zakresu badania kosmosu.



↑ Artystyczna wizja lądownika księżycowego

→ Zadanie 1: Projektowanie i budowanie księżycowego lądownika

Za pomocą prostych materiałów uczniowie/uczenice zaprojektują i zbudują moduł do wylądowania na Księżycu. W tym zadaniu celem jest przygotowanie takiego lądownika, który będzie w stanie bezpiecznie wylądować wraz z jajkiem-astronautą na powierzchni Księżycy. Planując pracę, uczniowie/uczenice powinni/powinny wziąć pod uwagę ryzyka związane z załogową misją księżycowego lądownika oraz wykonać ocenę czynników ryzyka, a także projekt koncepcyjny.

Materiały i narzędzia

- papier
- arkusz pracy ucznia/uczenicy wydrukowany dla każdej z grup
- słomki
- pianki cukrowe
- kuleczki bawełniane
- patyczki od lizaków
- plastikowa torba
- sznurek
- taśma klejąca
- nożyczki
- balony
- jajka – 1 jajko na grupę uczniów/uczenic
- waga

Ćwiczenie

Podziel klasę na grupy składające się z 3 – 4 osób. Rozdaj każdej z grup arkusz pracy. Wyjaśnij uczniom/uczenicom misję i jej wymogi. Zachęć każdą z grup do zaprojektowania lądownika księżycowego dla Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA). Mogą oni/one zachować swoje projekty tylko do wglądu w swojej grupie, mogą też zdecydować się na utworzenie wspólnej drużyny z inną grupą w celu wzajemnej pomocy. Każdy zespół na koniec przedstawi swój indywidualny projekt.

Przed rozpoczęciem pracy zapoznaj uczniów/uczenice z najważniejszymi zagadnieniami, które powinni/powinny uwzględnić w dalszej pracy. Zapytaj, co ich zdaniem jest istotne w trakcie lądowania na obcym ciele niebieskim (np. odległość do miejsca przeznaczenia, skład lub brak atmosfery, znaczenie lądowania w odpowiednim miejscu, kąt podejścia itd.).

Rozdaj uczniom/uczenicom listę materiałów wraz z ich kosztorysem (załącznik 1). Aby zachęcić młodzież do skutecznego rozplanowania wydatków, materiały wybrane przez nich po zakończeniu początkowej fazy projektowej powinny zostać podniesione o 10%. Każda grupa ma do dyspozycji budżet 1 miliarda euro. Budżet ten powinien pokryć koszty treningu jajka-astronauty (300 milionów euro), uruchomienia (1 milion euro na gram) oraz materiałów. Lista materiałów oraz dostępny budżet mogą być zmodyfikowane tak, aby zadanie było mniej lub bardziej złożone lub też można wprowadzić cięcie (lub podwyższenie) budżetu w określonym momencie.

Faza projektowa:

Przed rozpoczęciem budowy uczniowie/uczenice przygotowują ocenę ryzyka, korzystając z arkusza pracy. W zarządzaniu ryzykiem ocenia się zarówno prawdopodobieństwo, jak i wpływ wystąpienia

ryzyka. Zagrożenia występują na każdym etapie, począwszy od planowania projektu, budowy, transportu po szkolenie personelu. Uczniowie/uczenice w arkuszach pracy znajdą matrycę oceny ryzyka oraz listę potencjalnych ryzyk w trakcie tej misji. Korzystanie z takiej matrycy jest znanym sposobem na przeanalizowanie i grupowanie ryzyk w różnych dziedzinach nauki. Uzupełnią wskazane ryzyka w matrycy, a także przeprowadzą burzę mózgów na temat istnienia ryzyka, którego nie wzięli pod uwagę. Wybiorą też trzy najistotniejsze i najbardziej zróżnicowane ryzyka oraz opracują strategie ich ograniczenia.

Uczniowie/uczenice przedyskutują rozwiązania i spróbują zaprojektować najbezpieczniejszy lądownik w ramach swojego budżetu. Narysują swój pomysł i przygotują budżet obejmujący proponowany przez nich moduł za pomocą wzoru z arkusza pracy. Wyjaśnij młodemu osobom, że ten proces można porównać z projektowaniem konkretnej misji kosmicznej. Wszystkie wykorzystywane materiały i systemy powinny być odpowiednio zaplanowane, uzasadnione i ujęte w budżecie.

Faza budowy:

Uczniowie/uczenice budują swój lądownik. Prawdopodobnie zdali/zdały sobie sprawę, że pewne decyzje, które uznali/uznały za możliwe, nie przyniosły oczekiwanego rezultatu. Aby podnieść poziom trudności, można nałożyć dodatkowe 10% opłaty za materiały w przypadku, gdy uczniowie/uczenice zechcą dokonać zmian w projekcie.

Zespoły nadają nazwę swojemu modułowi (oraz jajku-astronautce). Na koniec grupy ważą swój lądownik oraz jajko-astronautę w celu oszacowania kosztów uruchomienia. Koszt ostateczny musi zmieścić się w budżecie 1 miliarda euro i zawierać koszty szkolenia jajka-astronauty, uruchomienia oraz materiałów wykorzystanych do budowy lądownika.

Wyniki

Poniżej przedstawiono jeden ze sposobów, w jaki można wypełnić ocenę ryzyk. Uczniowie/uczenice samodzielnie dobierają metodę oceny ryzyka.

		KONSEKWENCJE				
		Nieistotne	Małe	Średnie	Znaczne	Katastrofalne
PRAWDOPODOBIEŃSTWO	Prawie pewne		Lądownik ulegnie uszkodzeniu w trakcie testów	Nie wyląduje- my w ustalonym miejscu lądowania		
	Prawdopodobne		Inna firma (grupa) przygotowała sprawniejszy oraz/ lub tańszy projekt	Mamy opóźnienia	Wystąpią nieoczekiwane zmiany w wymaganiach	Jajko-astronauta nie przeżyje
	Możliwe		Lądownik ulegnie uszkodzeniu w trakcie transportu	Lądownik stanie się bardzo ciężki	Wystąpią nieoczekiwane zmiany w budżecie	Lądownik ulegnie uszkodzeniu w trakcie lądowania
	Mało prawdopodobne				Część materiałów stanie się zbyt droga	Ciągłe zmiany w projekcie doprowadzą do zbyt wysokich kosztów budowy lądownika
	Rzadkie				Pewne materiały nie będą dostępne	

Ryzyko 1: Jajko-astronauta nie przeżyje

Plan złagodzenia ryzyka: Zbuduj lądownik z uwzględnieniem nieprzewidzianych okoliczności – nie polegaj wyłącznie na jednym mechanizmie zabezpieczającym poprawne lądowanie. Wykonaj test spadku przy zwiększającej się wysokości przed ostatecznym testem. Przetestuj lądownik najpierw bez jajka-astronauty.

Ryzyko 2: Ciągłe zmiany w projekcie doprowadzą do zbyt wysokich kosztów budowy lądownika

Plan złagodzenia ryzyka: Zaprojektuj lądownik, zachowując rezerwę pieniędzy przed rozpoczęciem budowy. Ubiegaj się o dodatkowe fundusze z innych źródeł.

Ryzyko 3: Wystąpią nieoczekiwane zmiany w wymaganiach

Plan złagodzenia ryzyka: Dostosuj projekt i powiel mechanizmy bezpieczeństwa. Nie polegaj wyłącznie na jednej technologii czy mechanizmie. Przygotuj projekt lądownika z zachowaniem części funduszy przed rozpoczęciem budowy.

Dyskusja

To zadanie powinno zwiększyć świadomość znaczenia poprawnego zidentyfikowania i zrozumienia ryzyk, prawdopodobieństwa ich pojawienia się oraz, co ważne, ich konsekwencji. Uczniowie/uczenice powinni/powinny zdać sobie sprawę z wagi odpowiedniego planowania i budżetowania projektu kosmicznego.

Można wykorzystać to zadanie w celu omówienia niebezpieczeństw podczas eksploracji kosmosu. Przedyskutuj z uczniami/uczenicami sposób, w jaki należy ocenić ryzyko utraty życia przez astronautę w porównaniu z kosztem lądownika. Zadaj pytanie: Czy badania kosmosu w przyszłości powinny opierać się wyłącznie na zastosowaniu robotów?

Przed rozpoczęciem zadania 2 (testowanie lądownika) upewnij się, że uczniowie/uczenice znają definicję „przetrwania jajka-astronauty”. Czy można pozwolić na wystąpienie jakichkolwiek pęknięć w jajku? Określcie jak brzmi definicja udanej misji?

→ Zadanie 2: Przetestowanie własnego modułu lądowania

W tym zadaniu uczniowie/uczenice przetestują, czy ich lądowniki przetrwałyby zrzut pionowy, zachowując przy tym bezpieczeństwo jajka-astronauty. Opisz też warunki lądowania oraz uwzględniaj inne czynniki, które mogą mieć wpływ na wyniki. Opcjonalnie mogą nagrać zrzut, a następnie wykorzystać narzędzie do wykonania analizy nagrania wideo w celu zbadania przyspieszenia.

Zrzuty mogą wykonać w klasie lub na boisku szkolnym, gdzie będą musieli przewidzieć więcej zmiennych, jak warunki pogodowe czy różne podłoża. Jeśli nie będą wykonywać analizy wideo posłużą się gotowymi punktami pomiarowymi.

Materiały i narzędzia

- arkusz pracy ucznia/uczenicy wydrukowany dla każdej z grup
- samodzielnie zbudowane moduły, włącznie z jajkiem-astronautą (z zadania 1)
- (opcjonalnie) kamera/telefon z kamerą i statyw (zobacz załącznik 3)
- (opcjonalnie) program do śledzenia nagrania wideo (zobacz załącznik 3)
- (opcjonalnie) komputer lub smartfon

Ćwiczenie 1

Przed rozpoczęciem testów uczniowie/uczenice wypisują warunki lądowania (twardość podłoża, warunki pogodowe itd.) Ważne jest, aby uzgodnić podobne warunki dla każdego zrzutu. Przedyskutuj z uczniami i uczenicami dlaczego ważne by nie modyfikować kilku zmiennych w tym samym czasie.

W trakcie testów uczniowie/uczenice oznaczają miejsce lądowania na ziemi. Mogą zaznaczyć je krzyżem za pomocą taśmy na podłożu lub narysować cel w postaci tarczy i otaczających ją pierścieni, oznaczając odległość od środka. Uczniowie/uczenice zapisują wyniki każdego ze zrzutów (tabela w załączniku 2). Opcjonalnie w przypadku udanych księżycowych lądowników można wykonać testy na różnych wysokościach. Lądowniki, które przetrwają, powinny mieć strukturę, która łagodzi początkowe zderzenie (jak np. poduszka) lub też mogą posiadać kilka mechanizmów rozpraszających energię zderzenia.

Możecie wybrać zwycięski księżycowy lądownik na podstawie następujących kryteriów:

- wysokość zrzutu, jaką przetrzyma lądownik
- odległość od celu lądowania
- koszt lądownika
- stopień, w jakim ostateczny lądownik był zgodny z projektem i budżetem
- całość pracy grupowej, planowanie i komunikacja w grupie

Poproś zespoły o zaprezentowania swojego projektu przed klasą. Powinny one przeanalizować, w jakim stopniu ich plan zadziałał i co zrobiliby inaczej teraz, kiedy już poznali ostateczne rezultaty. Uczniowie/uczenice omawiają także czynniki zewnętrzne, które miały wpływ na zrzut, np. warunki pogodowe (silny wiatr, deszcz itd.) lub lądowanie jajka na różnych materiałach (asfalt, piasek, trawa itd.).

Ćwiczenie 2

W tym ćwiczeniu uczniowie/uczenice wykorzystają pozycję lądownika oraz prędkość i przedstawią je w funkcji czasu. Szczegółowe wytyczne dotyczące pomiaru tych parametrów znajdują się w załączniku 3. Alternatywnie można wykorzystać przykładowe dane zawarte w tabeli 1 załącznika 3.

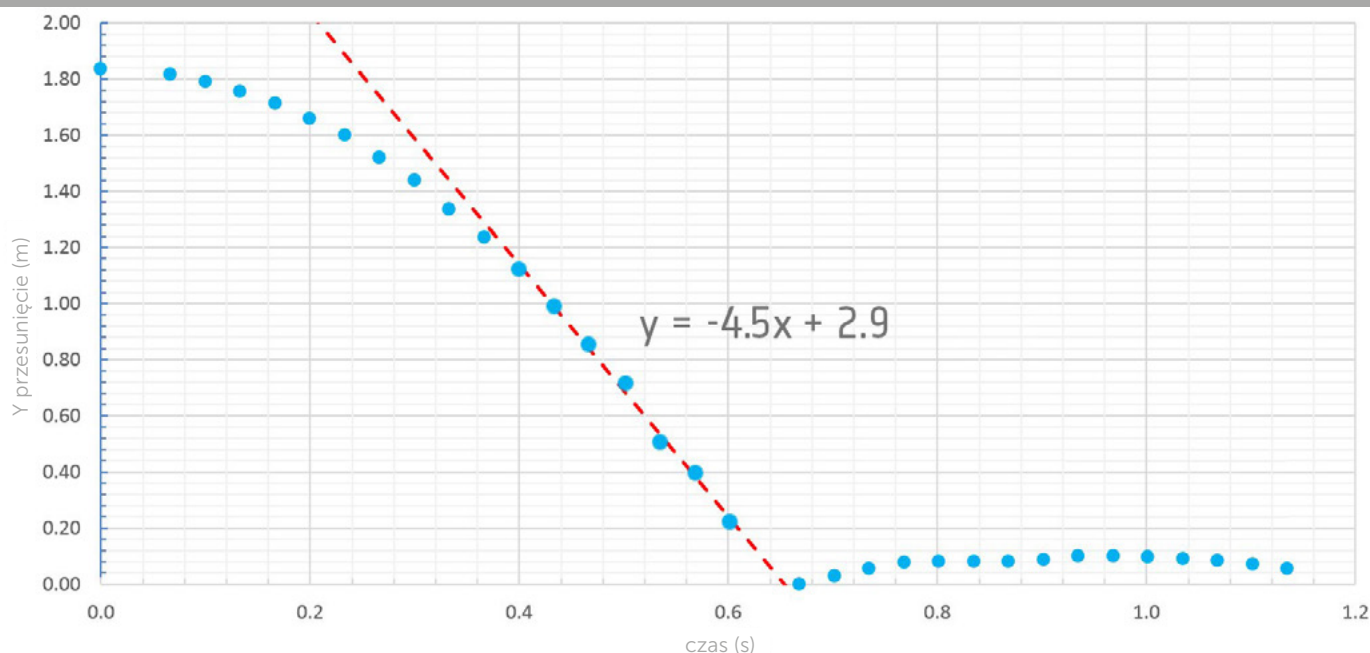
W tym ćwiczeniu uczniowie/uczenice przeanalizują prędkość i przyspieszenie w trakcie zrzutu/ów. Jako przykład wykorzystamy dane z tabeli 1 załącznika 3. Każdy uczeń będzie potrzebował kalkulatora graficznego lub komputera/smartfona z programem typu Excel.

1. Obliczanie prędkości zderzenia, z wykresu zależności przesunięcia w kierunku osi y od czasu.

Aby obliczyć przybliżoną prędkość zderzenia lądownika, uczniowie/uczenice najpierw rysują, przesunięcie lądownika w kierunku osi y – jako funkcję czasu. Następnie wykonają analizę regresji liniowej danych, zanim lądownik wyląduje (tylko 10 do 5 ostatnich punktów pomiarowych przed zderzeniem). Nachylenie tej regresji liniowej będzie odpowiadało przybliżonej prędkości zderzenia. Jeśli lądownik nie osiągnął prędkości końcowej, będzie on nadal przyspieszał, a ta metoda będzie wyłącznie przybliżeniem.

Na przykładowym wykresie (rysunek 2) prędkość zderzenia wynosi w przybliżeniu 4,5 m/s.

RYSUNEK 2

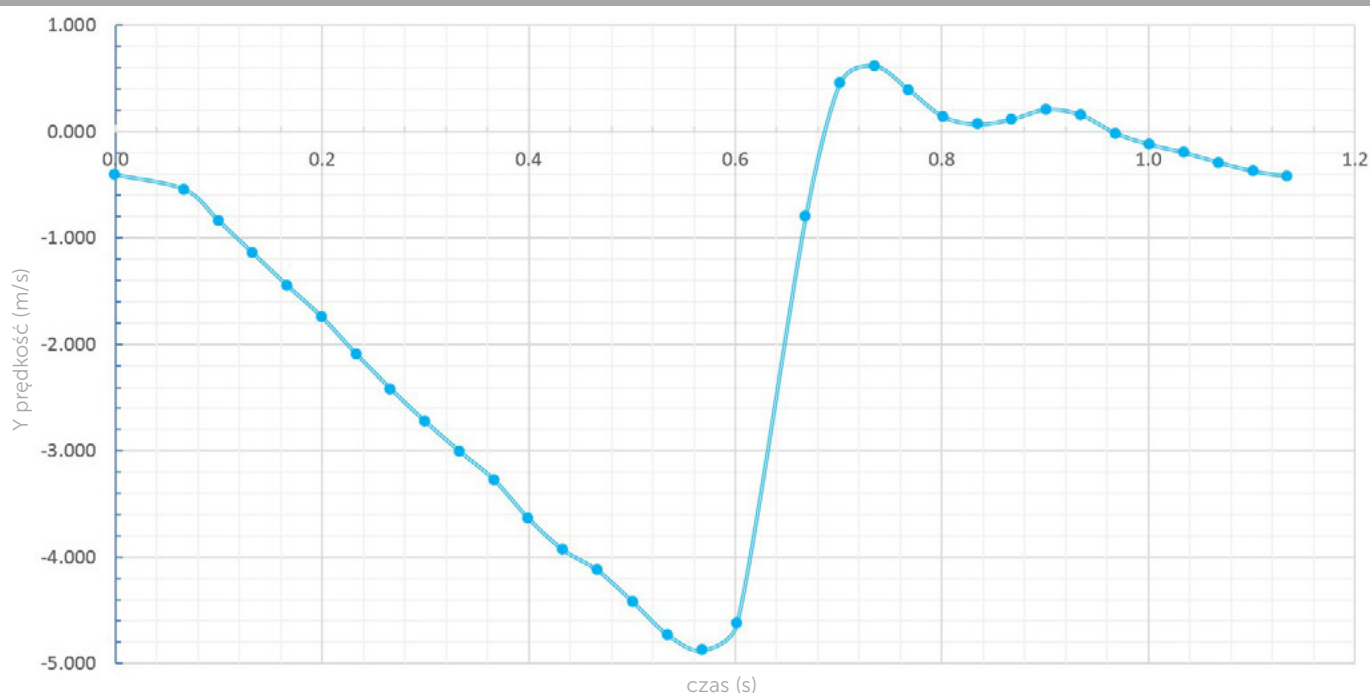


↑ Zależność przesunięcia w kierunku osi y od czasu.

2. Otrzymanie prędkości zderzenia na podstawie wykresu prędkości w kierunku osi y od czasu.

Inną metodą ustalania prędkości zderzenia jest wykreślenie prędkości w kierunku osi y w formie funkcji czasu. Przybliżoną prędkość zderzenia można łatwo zaobserwować na tym wykresie jako punkt, w którym prędkość osi y zmienia kierunek. Na rysunku 3 możemy zobaczyć sposób, w jaki lądownik uderza o ziemię z prędkością pomiędzy 4,8 a 4,9 m/s, co jest w przybliżeniu tą samą prędkością, co prędkość wyliczona w sposobie 1. Prędkość lądownika nie powinna spadać aż do momentu, gdy dotknie on ziemi (chyba, że korzystamy z systemu typu spadochron, co nie ma miejsca w przypadku przykładowych danych). Różnice w wartościach prędkości przypisanych punktom pomiarowym blisko punktu zderzenia wynikają z niepewności pomiarów.

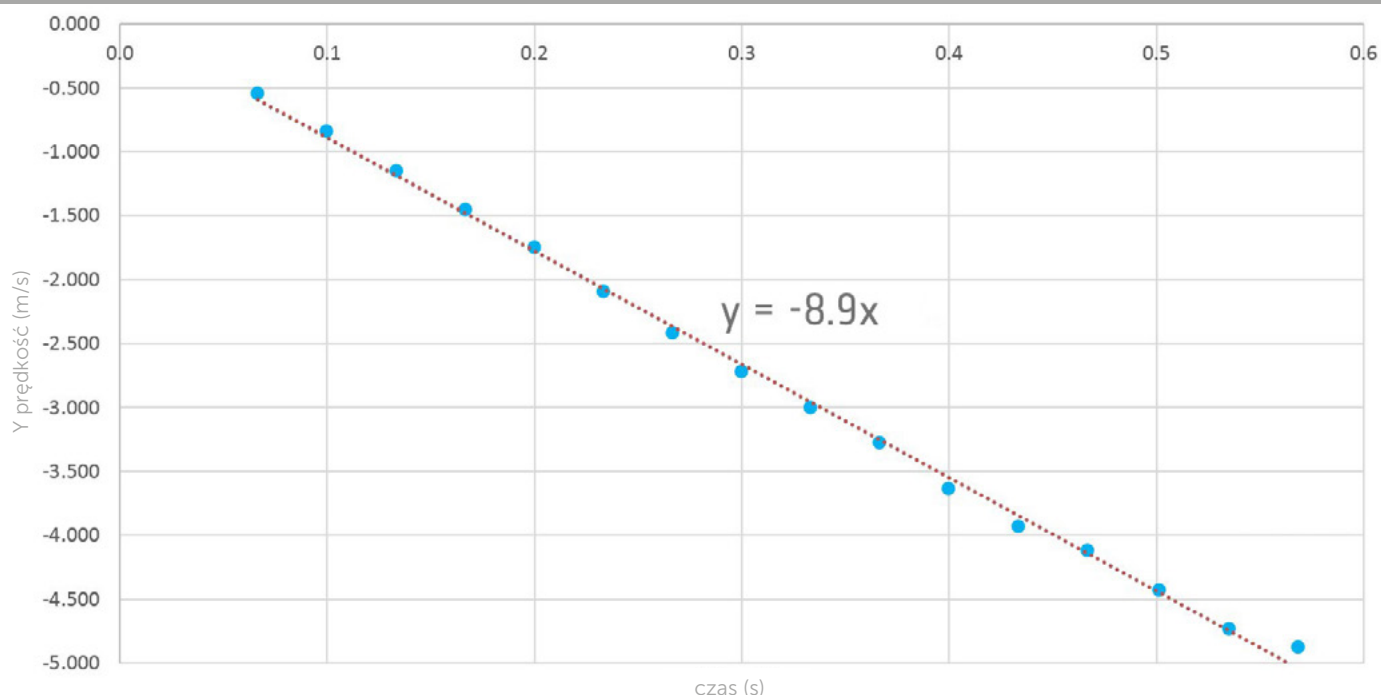
RYSUNEK 3



↑ Prędkość w kierunku osi y od czasu

3. Obliczanie przyspieszenia na podstawie wykresu prędkości w osi y od czasu:

Aby obliczyć przyspieszenie lądownika, uczniowie/uczennice mogą wykorzystać regresję liniową prędkości w kierunku osi y jako funkcję czasu przed punktem zderzenia. Nachylenie tej regresji liniowej będzie odpowiadać przyspieszeniu lądownika. Wykorzystując przykładowe dane z rysunku 4, przyspieszenie w kierunku osi y można obliczyć jako $y = -8,9 \times \text{m/s}^2$



↑ Regresja liniowa prędkości w kierunku osi y od czasu - punkty pomiarowe przed momentem zderzenia

4. Wpływ oporu na przyspieszenie:

Z uwagi na istnienie atmosfery siła oporu działająca na lądownik wywołuje hamowanie. Siła oporu zależy od kwadratu prędkości. Jeśli lądownik zostałby upuszczony z dużo wyższego punktu, uczniowie/uczennice mogli(ły)by zmierzyć osiągnięcie przez niego prędkości granicznej (stałej) w momencie, kiedy siła oporu jest równa jego wadze.

→ Zadanie 3: Lądowanie na Księżycu

W tym zadaniu uczniowie/uczennice będą porównywać lądowanie na Ziemi z lądowaniem na Księżycu. Zbadają także różne czynniki, które mają wpływ na lądowanie w obu tych lokalizacjach, a także przeanalizują schemat rozkładu sił. Dodatkowo zespoły zmodyfikują swój projekt lądownika na podstawie informacji, które poznały w trakcie fazy testowania.

Ćwiczenie

Jako wstęp do zadania 3 przedyskutujcie różnice między Księżycem a Ziemią. Które czynniki będą miały wpływ na lądowanie w każdym przypadku? Poprowadź uczniów/uczennice przez dyskusję na temat czynników, takich jak znaczenie lokalizacji oraz rodzaj miejsca lądowania, a także kąta schodzenia.

1. Poproś uczniów/uczennice o wymienienie 3 czynników, które mogą mieć wpływ na lądowanie w obu tych miejscach. Poniżej kilka przykładów:

LĄDOWANIE NA ZIEMI	LĄDOWANIE NA KSIĘŻYCU
1. Atmosfera	1. Miejsce lądowania
2. Miejsce lądowania	2. Lokalizacja na Księżycu
3. Prędkość wejścia w atmosferę	3. Prędkość lądowania
4. Kąt wejścia w atmosferę	4. Kąt podejścia
5. Pogoda	5. Wahanie temperatury

Porozmawiajcie o konsekwencjach związanych z różnicami, które wskazały zespoły, np. o atmosferze. Jak fakt jej braku na Księżycu wpływa na lądowanie? Spadochron nie zadziałałby w trakcie lądowania na Księżycu – być może potrzebny byłby silnik lub poduszka powietrzna. Ostoni termiczne są niezbędne w trakcie powrotu na Ziemię ze względu na tarcie względem atmosfery, jednak nie byłyby one potrzebne na Księżycu. Natomiast wahania temperatury na Księżycu są dużo bardziej ekstremalne niż na Ziemi, dlatego lądownik wymagałby aklimatyzowania.

2. Aby rozwiązać ćwiczenie 2, uczniowie/uczenice powinni/powinny skorzystać z równania na przyspieszenie ziemskie (g):

$$g = G \frac{m}{r^2}$$

gdzie G jest stałą grawitacyjną, m jest masą planety (Księżyc), natomiast r jest promieniem planety (lub Księżyc).

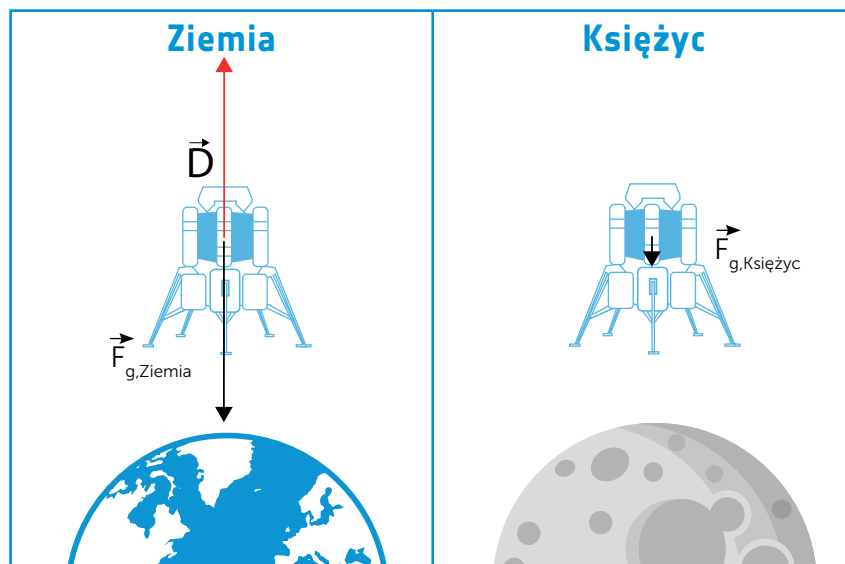
A także z drugiej zasady dynamiki Newtona:

$$F = m \times a,$$

gdzie F jest siłą wynikową oddziałującą na przedmiot, m jest masą przedmiotu podczas, gdy a jest przyspieszeniem.

ZIEMIA	KSIĘŻYC
$g_{\text{Ziemia}} = \frac{5,97 \cdot 10^{24} \text{kg} \cdot 6,67408 \cdot 10^{-11} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}}{(6371000 \text{m})^2}$ $g_{\text{Ziemia}} = 9,81 \text{ ms}^{-2}$	$g_{\text{Księżyc}} = \frac{7,35 \cdot 10^{22} \text{kg} \cdot 6,67408 \cdot 10^{-11} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}}{(1737000 \text{m})^2}$ $g_{\text{Księżyc}} = 1,62 \text{ ms}^{-2}$
Przyjmujemy, że masa lądownika wynosi 250g $F_{g, \text{Ziemia}} = 9,81 \text{ ms}^{-2} \cdot 0,25 \text{ kg}$ $F_{g, \text{Ziemia}} = 2,45 \text{ N}$	$F_{g, \text{Księżyc}} = 1,62 \text{ ms}^{-2} \cdot 0,25 \text{ kg}$ $F_{g, \text{Księżyc}} = 0,41 \text{ N}$

3. Poproś uczniów/uczenice o narysowanie wykresu sił działających na lądownik podczas lądowania na Ziemi i na Księżycu. Możesz zacząć od powiedzenia o przyspieszeniu grawitacyjnym na Księżycu, które jest 6-krotnie mniejsze niż na Ziemi, lub pozwolić uczniom/uczenice zastanowić się nad wynikami swoich obliczeń.



Księżyc jest otoczony próżnią, dlatego jedyną siłą działającą na lądownik to siła grawitacyjna ($F_{g,Księżyc}$) lub masa. Wektor masy lądownika będzie 6 razy mniejszy na Księżycu niż na Ziemi, zgodnie z wyliczeniami z ćwiczenia 2.

Ziemia jest otoczona atmosferą, dlatego musimy brać pod uwagę opór powietrza. Siła oporu (D) zależy od kwadratu prędkości lądownika. Wraz ze wzrostem prędkości siła oporu także rośnie, aż do zrównania się co do wartości z jego ciężarem. Wówczas siła wypadkowa będzie równa 0. Gdy opór jest równy ciężarowi, nie występuje żadna zewnętrzna siła działająca na przedmiot, który w takiej sytuacji będzie opadał ze stałą prędkością (prędkością graniczną).

4. Różnice podczas lądowania na Ziemi a na Księżycu.

Po dokonaniu analizy w ramach poprzednich ćwiczeń uczniowie i uczennice są świadome głównych różnic występujących między lądownikiem księżycowym a lądownikiem ziemskim. Porozmawiajcie w grupach o tym, czy wykorzystanie spadochronu byłoby użyteczne na Księżycu. Dodatkowo omówcie zalety i wady wykorzystania silnika w celu wylądowania lub poduszki powietrznej w celu złagodzenia lądowania. Zapytaj uczniów/uczenice, czy zaprojektowali(ły)by swój lądownik inaczej, gdyby nie musieli/musiły uwzględnić troski o przetrwanie jajka-astronauty. Odniesz te przemyślenia do realnych badań kosmosu oraz różnic między misjami, w których uczestniczą ludzie, i misjami angażującymi roboty.

Podsumowanie

Młode osoby powinny dojść do wniosku, że lądowanie księżycowym lądownikiem jest trudnym zadaniem, które wymaga licznych rozważań i testów przed przystąpieniem do pracy. Powinny także zauważyć, że umiejętności, takie jak tworzenie projektu z określonym budżetem, ocena ryzyka, projektowanie, testowanie i praca w grupie, są kluczowe w przypadku każdej misji kosmicznej.

Rozważania, które należy podjąć, oraz ryzyko związane z misjami załogowymi jest dużo wyższe niż ryzyko w przypadku misji wykonywanych przez roboty.

Uczniowie/uczennice powinni/powinny także dojść do wniosku, że testy wykonywane na Ziemi nie mogą w pełni zastąpić środowiska oraz warunków panujących na Księżycu, dlatego też testowanie powinno być uzupełnione teorią w celu zrozumienia różnic istniejących na Ziemi i na Księżycu.

→ LĄDOWANIE NA KSIĘŻYCU

Planowanie i projektowanie księżycowego lądownika

→ Zadanie 1:

Projekt i budowa księżycowego lądownika

ESA wyznaczyła ci zadanie zaprojektowania lądownika, który bezpiecznie przetransportuje jajko-astronautę na powierzchnię Księżyca.

Ćwiczenie

Podobnie jak w rzeczywistości będziesz współzawodniczyć oraz/lub współpracować z innymi organizacjami (twoimi kolegami/koleżankami z klasy) w celu zdobycia kontraktu z ESA.

Waszą misją jest:

- Zaprojektowanie i zbudowanie księżycowego lądownika w celu przetransportowania jajko-astronauty na Księżyc.

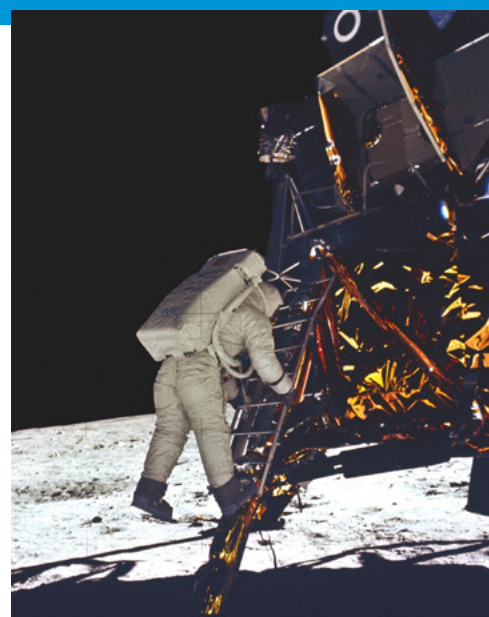
Wymagania:

- Lądownik musi przejść pozytywnie test zrzutu na Ziemi, a jajko-astronauta musi przeżyć lądowanie.
- Możesz korzystać wyłącznie z dostępnych materiałów.
- Lądownik musi być zbudowany w ramach wyznaczonego budżetu (maksymalnie 1 miliard euro).
- Lądownik musi być w stanie precyzyjnie wylądować na wyznaczonym miejscu lądowania.
- Należy przedstawić ocenę ryzyka oraz studium projektowe.
- Należy skończyć projekt i zbudować lądownik w wyznaczonym czasie: 60 minut.

→ Czy wiesz, że...?

Łączny koszt programu Apollo, dzięki któremu ludziom udało się odbyć podróż na Księżyc, wyniósł 25,4 miliarda dolarów – to po uwzględnieniu inflacji, dzisiejsze ponad 200 miliardów dolarów. W 2018 r. łączny budżet ESA wynosił 5,6 miliarda euro. Obecnie agencje kosmiczne oraz przemysł pracują wspólnie nad rozwinięciem bardziej trwałego programu eksploracji Księżyca. Należy pamiętać, że do dziś korzystamy z części infrastruktury stworzonej w latach 60, jak komory testowe, wyrzutnie, centra kontroli misji, stacje naziemne, wiedza inżynierska, technologia, materiały, stąd też program księżycowej eksploracji będzie trwalszy już od samego początku.

Buzz Aldrin w trakcie pracy w module lądowania Orzeł na powierzchni Księżyca. →



Stadium oceny ryzyka

Projektując misję kosmiczną, należy wziąć pod uwagę ryzyko i koszt. Należy upewnić się, że jajko-astronauta wyląduje bezpiecznie, jednocześnie utrzymując misję w budżecie tak, aby możliwe stało się zdobycie kontraktu z ESA.

Umieść rodzaje ryzyka wypisane po prawej stronie w macierzy oceny ryzyka zgodnie z prawdopodobieństwem ich powstania oraz ich konsekwencjami:

		KONSEKWENCJE				
		Nieistotne	Małe	Średnie	Znaczne	Katastrofalne
PRAWDOPODOBIENSTWO	Prawie pewne					
	Prawdopodobne					
	Możliwe					
	Mało prawdopodobne					
	Rzadkie					

1. Nie wylądujemy na wskazanym miejscu lądowania
2. Wystąpią niespodziewane zmiany w wymaganiach
3. Jajko-astronauta nie przeżyje
4. Wystąpią nieoczekiwane zmiany w budżecie
5. Pewne materiały nie będą dostępne
6. Część materiałów stanie się zbyt droga
7. Lądownik stanie się bardzo ciężki
8. Inna firma (grupa) stworzy tańszy i bardziej skuteczny projekt
9. Ciągłe zmiany w projekcie doprowadzą do zbyt wysokich kosztów budowy lądownika
10. Mamy opóźnienia
11. Lądownik ulegnie uszkodzeniu w trakcie testów
12. Lądownik ulegnie uszkodzeniu w trakcie transportu
13. Lądownik ulegnie uszkodzeniu w trakcie lądowania

Wybierz trzy główne waszym zdaniem ryzyka i napisz, jak można je zminimalizować:

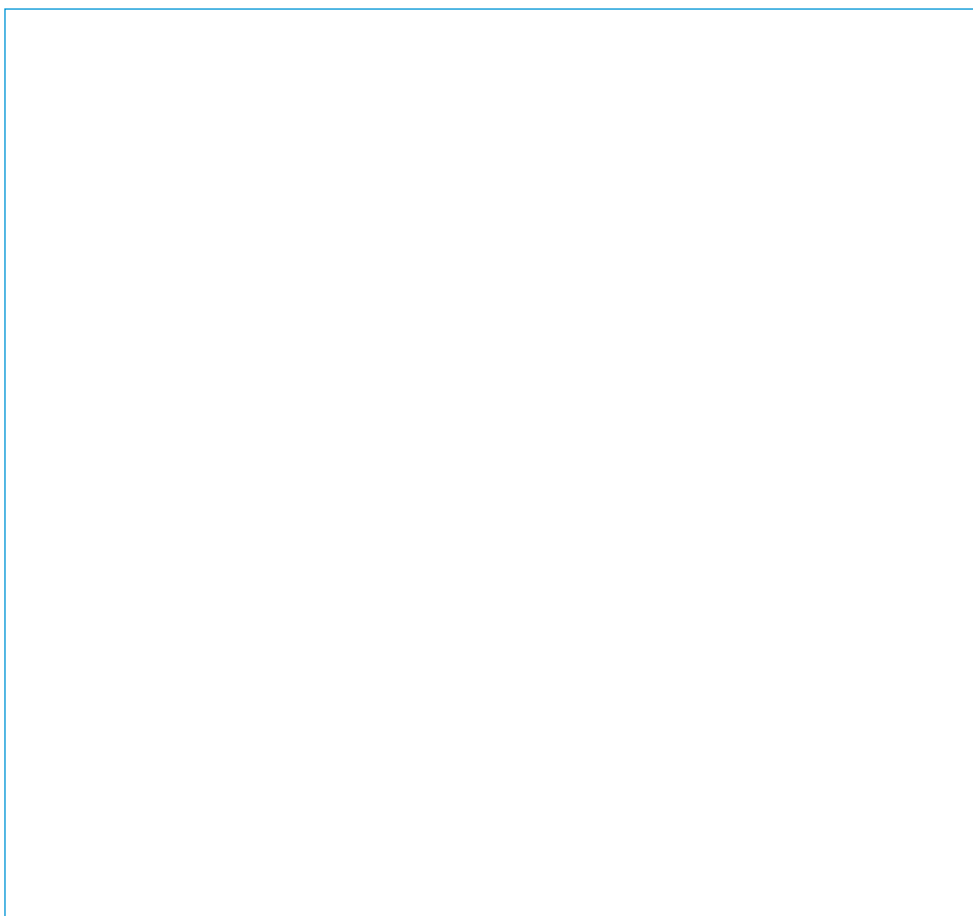
- 1) Ryzyko #: Plan złagodzenia ryzyka:
- 2) Ryzyko #: Plan złagodzenia ryzyka:
- 3) Ryzyko #: Plan złagodzenia ryzyka:

Studium projektowe

Nazwa modułu lądownika

Nazwa jajka-astronauty

Zapytaj nauczycielkę/nauczyciela o dostępne materiały i ceny. Wykonaj dokładny szkic tego, jak będzie wyglądał twój moduł lądownika. Omów z innymi, w jaki sposób różne części i materiały ochronią jajko-astronautę. Przygotuj budżet dla swojego lądownika na podstawie cen materiałów i nie zapomnij zawrzeć w nim ceny uruchomienia oraz szkolenia jajka-astronauty.



Material	Cena za jednostkę	Ilość	Cena całkowita

Cena lądownika	
Masa całkowita (jajko-astronauta + lądownik)	
Cena uruchomienia	
Cena szkolenia jajka-astronauty	
Łączna cena (lądownik + uruchomienie + szkolenie)	

→ Zadanie 2: Przetestowanie własnego modułu lądowania

Ćwiczenie 1

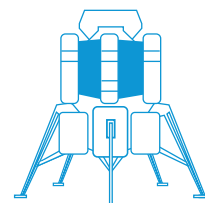
1. Przed uruchomieniem zanotuj warunki w trakcie lądowania (wiatr, deszcz, rodzaj podłoża itd.).

.....

.....

Należy upewnić się, że jajko-astronauta jest w wygodnej pozycji.

Przygotuj się do testowania.



Gotowy? Do startu! Start!

2. Czy jajko-astronauta przetrwało zrzut? Tak Nie
 3. Jak daleko od środka celu wylądował twój lądownik? cm
 4. Jak dobrze zaprojektowałeś(aś) pracę? Czy zrobił(a)byś to teraz inaczej?
-
-
5. Czy po zapoznaniu się ze zrzutami wykonanymi przez każdą grupę zauważyłeś(aś) powtarzające się cechy projektów lądowników, w których jajka-astronaucci przeżyły?

.....

.....

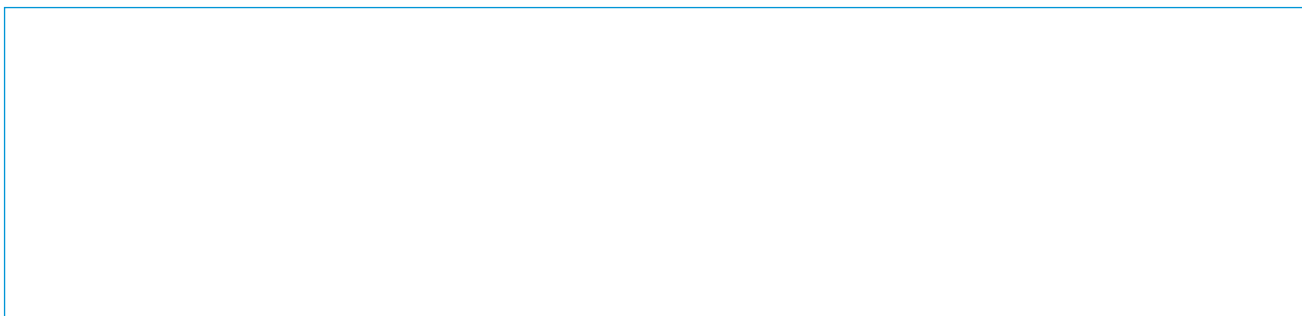
.....

.....

Ćwiczenie 2

W tym ćwiczeniu skorzystasz z wykresu przesunięcia lądownika jako funkcji czasu.

1. Oblicz prędkość z jaką uderzy lądownik o ziemię z wykresu zależności przesunięcia w kierunku osi y od czasu.



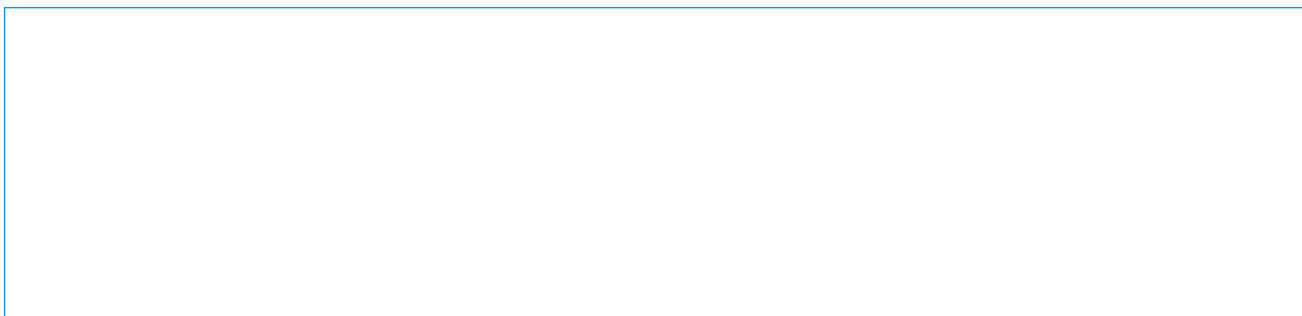
2. Wykreśl prędkość w kierunku osi y jako funkcję czasu. Oszacuj prędkość zderzenia na podstawie wykresu. Czy odpowiada ona tej samej wartości, którą wyliczyłeś(aś) w pytaniu 1? Wyjaśnij różnicę, jeśli taka wystąpiła.

.....

.....

.....

3. Oblicz przyspieszenie lądownika w osi y na podstawie wykresu prędkości w osi y od czasu.



4. Przyspieszenie ziemskie wynosi $9,8 \text{ m/s}^2$. zastanów się i spróbuj wyjaśnić, dlaczego nie udało się uzyskać tej wartości.

.....

.....

.....

→ Zadanie 3: Lądowanie na Księżycu

Nadszedł czas by przygotować lądownik do wylądowania na Księżycu. Przetestowałeś/przetestowałaś już swój lądownik na Ziemi, ale co się stanie, jeśli będzie on miał wylądować na Księżycu?

- Istnieje kilka znaczących różnic między lądowaniem na Księżycu i lądowaniem na Ziemi. Wymień 3 czynniki, które mogą mieć wpływ na to zadanie.

Lądowanie na Ziemi	Lądowanie na Księżycu
1.	1.
2.	2.
3.	3.

- Przyspieszenie ziemskie (g) planety jest wyrażone zależnością:

$$g = G \frac{m}{r^2}$$

gdzie m oznacza masę planety (lub księżyca), G oznacza stałą grawitacyjną, natomiast r jest promieniem planety (lub księżyca). Użyj wartości wskazanych poniżej w celu odpowiedzi na zadania a) i b):

$$G = 6,67408 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$$

$$r_{\text{Księżyc}} = 1737 \text{ km} \quad m_{\text{Księżyc}} = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg}$$

$$r_{\text{Ziemia}} = 6371 \text{ km} \quad m_{\text{Ziemia}} = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

- Oblicz przyspieszenie ziemskie na Ziemi i na Księżycu.

$$g_{\text{Księżyc}} =$$

$$g_{\text{Ziemia}} =$$

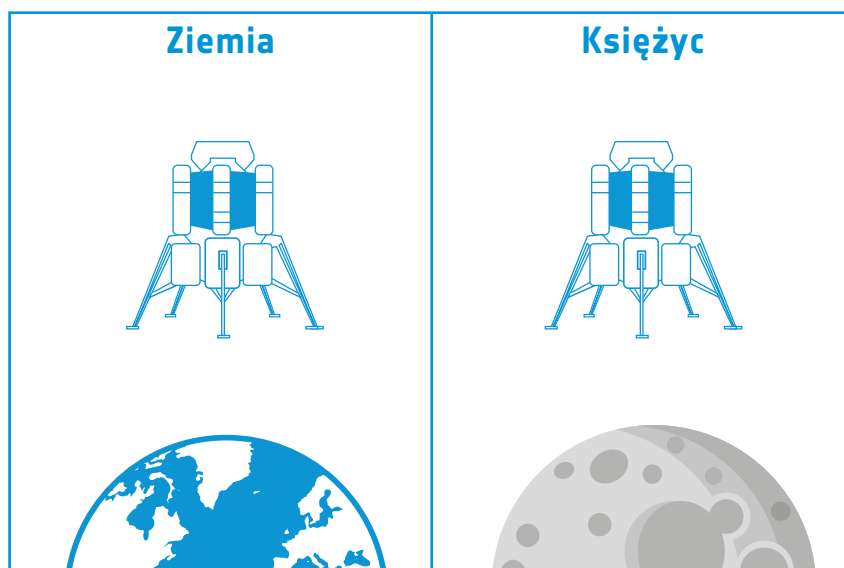
- Postępując się drugą zasadą dynamiki Newtona ($F = m \times a$), policz wypadkową siłę działającą na lądowniki na Ziemi i na Księżycu.

$$F_{g, \text{Księżyc}} =$$

$$F_{g, \text{Ziemia}} =$$

3. Księżyc a Ziemia

a. Narysuj siły oddziałujące na lądownik na Ziemi i na Księżycu.



b. Opisz wyjaśnienie twojego diagramu z rozkładem sił.

.....

.....

.....

.....

4. Co możesz zmienić, aby twój lądownik był lepiej przygotowany do lądowania na Księżycu?
Opisz wyjaśnienie.

.....

.....

.....

.....

→ Linki

Zasoby ESA

Wyzwanie Moon Camp:

esa.int/Education/Moon_Camp

Animacje przedstawiające podróż i życie na Księżycu:

esa.int/Education/Moon_Camp/Travelling_to_the_Moon

Materiały edukacyjne ESA:

esa.int/Education/Classroom_resources

Projekty kosmiczne ESA

SMART-1:

<http://sci.esa.int/smart-1>

HERACLES:

http://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Exploration/Landing_on_the_Moon_and_returning_home_Heracles

Informacje dodatkowe

Interaktywny przewodnik po Księżycu ESA:

<http://lunarexploration.esa.int/#/intro>

Jak skorzystać z programu Tracker:

Film instruktażowy 1 [youtube.com/watch?v=JhI-_glsE6o](https://www.youtube.com/watch?v=JhI-_glsE6o)

Film instruktażowy 1 [youtube.com/watch?v=ibY1ASDOD8Y](https://www.youtube.com/watch?v=ibY1ASDOD8Y)

→ Załącznik 1

Zadanie 1. Zaprojektuj i zbuduj księżycowy lądownik

Koszty obowiązkowe:

Szkolenie jajka-astronauty –	300 milionów euro
Koszt uruchomienia –	1 milion euro na gram

Materiały i narzędzia:

1 kartka papieru A4 –	50 milionów euro
1 słomka –	100 milionów euro
1 pianka cukrowa –	150 milionów euro
1 patyczek od lizaka –	100 milionów euro
1 torba plastikowa –	200 milionów euro
1 m sznurka –	100 milionów euro
1 m taśmy –	200 milionów euro
1 balon –	200 milionów euro

→ Załącznik 2

Zadanie 2. Przetestuj swój moduł lądownika

Nazwa lądownika	Wysokość zrzutu (m)	Odległość od celu (cm)	Koszt (milion euro)

→ Załącznik 3

Zadanie 2. Przetestuj swój moduł lądownika.

Ta część ćwiczenia 2 może być wykonana zarówno jako demonstracja, jak i jako kontynuacja zadań realizowanych w grupach, w zależności od dostępności komputerów lub smartfonów w klasie.

Analiza ruchu na podstawie nagrania zostanie użyta w celu śledzenia momentu lądowania. W internecie jest dostępnych kilka programów do analizy ruchu na podstawie nagrań wideo, niektóre z nich są darmowe, inne wymagają licencji. Proponujemy skorzystanie z:

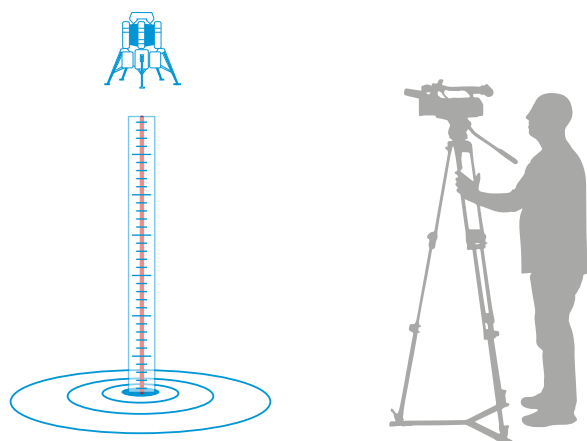
- „Tracker Program” – to darmowy program, odpowiedni do użycia na prawie każdym komputerze z dostępem do Internetu, do pobrania ze strony <http://physlets.org/tracker/>.
- Aplikacji „Video Physics”, która w połączeniu z aplikacją „Graphical” (obie aplikacje są dostępne na Androida i iOS) jest doskonała, jeśli chodzi o funkcje śledzenia ruchu na tabletach i smartfonach.

Można wykonać eksperyment i rozdać uczniom/uczennicom pojedyncze zestawy punktów pomiarowych lub mogą oni/one wykonać pomiary dla swoich lądowników samodzielnie.

Konfiguracja

1. Zamocuj taśmę mierniczą (lub linijkę) jako odnośnik w miejscu lądowania.
2. Umieść kamerę w taki sposób, aby miejsce zrzutu oraz miernik mieściły się w kadrze.
3. Trzymaj kamerę nieruchomo, najlepiej umieść ją na statywie.
4. W trakcie zrzutu lądownika upewnij się, że pozostaje on w takiej samej odległości, jak taśma miernicza/linijka od kamery. Aby uniknąć zaburzenia pomiarów co do perspektywy obserwacji.

RYSUNEK A5



↑ Reprezentacja ustawień zestawu do prowadzenia testów zrzutu

RYSUNEK A6



↑ Przykład analizy ruchu na podstawie nagrania wideo testów zrzutu z wysokości ok. 2 m

5. Śledź lądownik w wybranym przez siebie programie poprzez ręczne ustawienie punktów referencyjnych.
6. Zapisz dane.

Przykładowe dane dla zrzutu lądownika.

Czas (s)	Y Przesunięcie (m)	Y Prędkość (m/s)
0,000	1,84	-0,406
0,067	1,82	-0,547
0,100	1,79	-0,843
0,133	1,76	-1,148
0,167	1,71	-1,453
0,200	1,66	-1,748
0,233	1,60	-2,096
0,267	1,52	-2,420
0,300	1,44	-2,725
0,333	1,34	-3,006
0,367	1,24	-3,274
0,400	1,12	-3,638
0,433	0,99	-3,931
0,467	0,86	-4,123
0,502	0,71	-4,428
0,535	0,51	-4,734
0,568	0,40	-4,877
0,602	0,22	-4,623
0,668	0,00	-0,798
0,702	0,03	0,457
0,735	0,06	0,614
0,768	0,08	0,386
0,802	0,08	0,135
0,835	0,08	0,066
0,868	0,08	0,115
0,902	0,09	0,207
0,935	0,10	0,151
0,968	0,10	-0,019
1,002	0,10	-0,125
1,035	0,09	-0,201
1,068	0,08	-0,294
1,102	0,07	-0,375
1,135	0,06	-0,426