



Baza na Marsie

Projekt grupowy

Krzysztof Królewski¹, Joanna Bławat¹, Aleksandra Bojar¹, Iga Lewandowska¹

28 maja 2016

¹Nanotechnologia VI sem., Wydział FTiMS, Politechnika Gdańska

Skład zespołu i specjalizacje

Krzysztof Królewski

Lider projektu, praca nad następującymi kwestiami: zapewnienie mieszkańcom bazy odpowiedniego pożywienia, bezpieczeństwo w bazie, gospodarowanie odpadami

e-mail: kr.krolewski@gmail.com

Joanna Bławat

Praca nad następującymi kwestiami: powietrze w bazie, dostęp do wody, higiena.

Aleksandra Bojar

Praca nad następującymi kwestiami: produkcja energii i jej dostarczenie do urządzeń, zapewnienie w bazie odpowiedniej temperatury.

Iga Lewandowska

Praca nad następującymi kwestiami: projekt konstrukcji bazy, samopoczucie mieszkańców bazy i inne kwestie społeczne, systemy pomiarowe

Spis Treści

Skład zespołu i specjalizacje

Spis Treści

1 Wstęp

1.1 Cel i założenia projektu

1.2 Abstrakt

1.3 Warunki na Marsie

2 Realizacja projektu

2.1 Pożywienie

2.1.1 Wstęp

2.1.2 Proponowane rozwiązania

2.1.3 Perspektywy

2.2 Bezpieczeństwo

2.2.1 Wstęp

2.2.2 Propozycje rozwiązań

2.2.3 Perspektywy

2.3 Gospodarowanie odpadami

2.3.1 Wstęp

2.3.2 Propozycje rozwiązań

2.3.3 Perspektywy

2.4 Konstrukcja

2.4.1 Wstęp

2.4.2 Proponowane rozwiązania

2.5 Systemy pomiarowe

2.5.1 Wstęp

2.5.2 Przykłady rozwiązań

2.6 Tlen

2.6.1 Wstęp

2.6.2 Proponowane rozwiązania

2.6.3. Perspektywy

2.7 Woda

2.7.1 Wstęp

2.7.2 Proponowane rozwiązania

2.7.3 Perspektywy

2.8 Higiena

2.9 Kwestie społeczne

2.10 Energia

2.10.1 Zapotrzebowanie energetyczne

2.10.2 Energia jądrowa

2.10.3 Energia słoneczna

2.10. Zarządzanie energią

2.11 Kontrola temperatury

3 Podsumowanie

Bibliografia

1 Wstęp

1.1 Cel i założenia projektu

Praca zawiera projekt bazy na Marsie wykonany z myślą o zasiedleniu tej planety przez ludzi. Baza według przyjętych założeń będzie przeznaczona dla dziesięciu osób. Głównym celem jest osiągnięcie jak największego poziomu samowystarczalności i zapewnienie osadnikom możliwości samodzielnego funkcjonowania na czerwonej planecie. Raz na pół roku do bazy będzie docierać wysłany z Ziemi transporter z potrzebnym zaopatrzeniem i sprzętem. Mimo to większość jedzenia, zapasy wody czy energia będą musiały być wytwarzane na miejscu, w związku z czym baza będzie wyposażona w odpowiednie systemy i urządzenia. W projekcie nie został uwzględniony kosztorys, ponieważ całość jest wysoce skomplikowana, a konieczność użycia najnowszych, w wielu wypadkach niedostępnych jeszcze na komercyjnym rynku, technologii znacznie utrudnia oszacowanie kosztów ich wdrożenia. Nieuwzględniona została również kwestia transportu na Marsa astronautów oraz wszystkich potrzebnych materiałów i sprzętu ze względu na to, że jest to także problem o wysokim stopniu komplikacji, który ponadto odbiegałby od tematu przewodniego pracy, czyli założenia na Marsie osady.

1.2 Abstrakt

W pracy przedstawiono propozycje zapewnienia mieszkańcom bazy na Marsie dostępu do pożywienia, a także umożliwiono produkcję jedzenia w bazie. Zadbano o to, aby ludzie w niej mieszkający byli bezpieczni nawet w przypadku drobnych awarii któregośkolwiek z systemów. Wyposażono bazę w podstawowy ekwipunek do pierwszej pomocy, a także w zestaw skafandrów kosmicznych oraz sprzęt potrzebny do ewentualnej ewakuacji. Zdecydowano się na zastosowanie modułowej konstrukcji warstwowej. Główna ochrona przed promieniowaniem będzie płaszczyzn wodny umieszczony w kopułach, pełniący również funkcję głównego magazynu wody. Aby zapewnić bezpieczeństwo w funkcjonowaniu bazy zastosowano kompleksowy system pomiarowy. W module mieszkalnym przewidziano strefy relaksu i rekreacji poprawiające komfort życia w marsjańskiej bazie. Zajęto się także odpowiednim wykorzystaniem odpadów co pozwala na efektywniejsze wykorzystanie zasobów oraz zmniejszenie objętości śmieci. Wzięto też pod uwagę zupełnie podstawowe kwestie, jak zapewnienie powietrza o odpowiedniej zawartości tlenu i dostęp do wody. Tlen będzie pozyskiwany, dzięki rozdzielaniu dwutlenku węgla laserem na węgiel i cząsteczkowy tlen. Natomiast woda będzie uzyskiwana poprzez odparowanie jej z gleby. Umożliwiono też potencjalnym mieszkańcom bazy przestrzeganie elementarnych zasad higieny. Ponadto, omówiono sposoby wytwarzania i magazynowania energii niezbędnej do funkcjonowania bazy.

1.3 Warunki na Marsie

Mars, podobnie jak Ziemia, jest jedną z czterech planet skalistych Układu Słonecznego. Znajduje się on pomiędzy Ziemią, a Jowiszem, w odległości od Słońca około 52% większej niż odległość Słońca od Ziemi. Od naszej planety dzieli go średnio 225 milionów kilometrów (teoretycznie najmniejsza odległość dzieląca obie planety wynosi około 54,6 mln km, kiedy to Mars znajduje się w peryhelium, a Ziemia w aphelium, czyli odpowiednio najbliżej i najdalej Słońca). Powierzchnia Marsa stanowi niecałe 30% powierzchni Ziemi, ze względu na dziesięciokrotnie mniejszy promień Czerwonej Planety, w porównaniu z Ziemią. Nachylenie osi obrotu Marsa jest bardzo podobne do ziemskiego, w rezultacie czego na Marsie również występują pory roku, które trwają jednak dłużej niż na Ziemi z racji tego, że rok marsjański jest prawie dwa razy dłuższy niż ziemski. Dzień marsjański (tzw. sol) trwa 24 godziny 39 minut i 35 sekund.

Pomimo wielu podobieństw, w niektórych aspektach Mars znacznie różni się od Ziemi. Na przykład fakt, że Mars jest około dziesięć razy lżejszy od Ziemi czyni jego grawitację znacznie słabszą (stanowi 38% ziemskiej grawitacji). Średnia temperatura panująca na tej planecie jest również zupełnie inna. Mars jest planetą znacznie chłodniejszą niż Ziemia (temperatura powierzchni Marsa mieści się w granicach 186 - 268 K, czyli -87°C i -125°C). Dla porównania najniższa zarejestrowana temperatura na Ziemi (na Antarktydzie) to 180 K (-93,2°C). Woda na Marsie występuje tylko w postaci lodowców. Ciśnienie na Marsie jest znacznie niższe, a atmosfera składa się w 95% z dwutlenku węgla.

Ponieważ Mars jest znacznie bardziej oddalony od Słońca, dociera do niego około 40% promieni słonecznych, jakie docierają na Ziemię. Mars posiada bardzo cienką atmosferę, która nie filtruje światła ultrafioletowego, brak magnetosfery skutkuje również tym, że powierzchnia planety nie jest chroniona przed promieniowaniem kosmicznym.

Przetrawanie człowieka na Czerwonej Planecie wymagałoby skomplikowanych środków do podtrzymywania życia oraz egzystowania w sztucznych warunkach.^[65]

2 Realizacja projektu

Poniżej przedstawiono szereg istotnych, podzielonych na kategorie kwestii niezbędnych do omówienia w trakcie planowania kolonizacji Marsa. Przy każdym aspekcie opisano główne problemy oraz zaproponowano ich rozwiązania, kierując się obecnymi możliwościami technologicznymi, planowanymi innowacjami, panującymi warunkami na Marsie oraz ludzkimi potrzebami.

2.1 Pożywienie

2.1.1 Wstęp

Jednym z założeń z jakich wychodzimy jest możliwość produkowania jedzenia już na miejscu w bazie. Trzeba wziąć pod uwagę, że pożywienie musi być możliwie zróżnicowane tak, aby dostarczyć osadnikom wszystkich koniecznych do prawidłowego funkcjonowania organizmu składników. Dodatkowo oprócz wartości odżywczej konieczne będzie zapewnienie odpowiedniego smaku potraw. Wydawać by się mogło, że takie wymagania jak na bazę na Marsie są przesadzone i nazbyt luksusowe. Jednak podczas ziemskich symulacji życia w takiej marsjańskiej bazie smak potraw był jedną z rzeczy, na którą uczestnicy eksperymentu skarżyli się najbardziej. Po kilkunastu dniach spożywania mdłych i niesmacznych posiłków organizmy niektórych z nich nie akceptowały jedzenia mimo, że teoretycznie były w nim dostarczane wszystkie potrzebne składniki. Funkcję bazy marsjańskiej pełnił ośrodek Mars Desert Research Station (MDRS) na pustyni San Rafael w USA. Jest to druga na świecie stacja, założona przez pozarządową organizację Mars Society, która została skonstruowana w taki sposób, by symulowała warunki panujące na powierzchni Czerwonej Planety.^[1] Monotonny smak potraw był też wymieniany jako duża wada przez uczestników eksperymentu HI-SEAS^[2]. Angelo Vermeulen po czterech miesiącach spędzonych w usytuowanej na Hawajach kapsule symulującej warunki panujące w marsjańskiej kopule mieszkalnej stwierdził, że konieczne w menu powinny znaleźć się przyprawy, zioła, ostre sosy, a także produkty takie jak Nutella czy masło orzechowe.

2.1.2 Proponowane rozwiązania

Naturalnym pierwszym wyborem jeśli chodzi o produkcję jedzenia są rośliny. Już teraz dysponujemy danymi z dość sporej liczby eksperymentów pozwalających nam w mniejszym lub większym stopniu zweryfikować wykonalność koncepcji marsjańskich upraw. Marsjańska gleba wykazuje potencjał do wykonywania takich upraw. Trzeba się jednak wpierw zatroszczyć o usunięcie z niej składników, które stanowiłyby bezpośrednie zagrożenie dla zdrowia osób spożywających powstałe na niej uprawy. Mowa tutaj o nadchloranach, pyłe wulkanicznym i metalach ciężkich takich jak Pb, As, Hg i Fe. Konieczne jest także dostarczenie do gleby źródła azotu pełniącego rolę nawozu. Może to być możliwe wykorzystując odchody ludzkie oraz dokonując filtracji moczu.



Rysunek 1 Truskawki wyhodowane przy wykorzystaniu hydroponiki^[3].

Całym modulem przeznaczonym do upraw roślin byłaby szklarnia umieszczona, inaczej niż reszta modułów, pod powierzchnią ziemi w celu zapewnienia odpowiedniej ochrony przed promieniowaniem kosmicznym. Dach będzie w pełni przeszklony w celu zapewnienia dostępu światła słonecznego^[4]. Dodatkowo wykorzystamy maksymalnie to, co mamy na miejscu. Wydychany przez astronautów dwutlenek węgla (CO_2) będzie dostarczany do szklarni. Woda dla upraw będzie pochodziła z przefiltrowanego moczu. Dodatkowo w celu zapewnienia odpowiedniego poziomu nasłonecznienia szklarnia zostanie wyposażona w system wiązek światłowodów dostarczających promienie słoneczne na miejsce. Próby przeprowadzone na Ziemi dowiodły, że na glebie marsjańskiej można wyhodować rośliny takie jak pomidory, sałata, pszenica, rzeżucha czy gorczyca. Jednym z ważnych projektów mających zbadać możliwość hodowli jedzenia w niesprzyjających warunkach jest prowadzony przez naukowców z Uniwersytetu w Arizonie projekt CEAC (Controlled Environment Agriculture Center)^[5]. Badania potwierdziły, że w marsjańskich warunkach możliwa jest hodowla ziemniaków. Naukowcom udało się także wyhodować pomidory oraz truskawki. Z dużym prawdopodobieństwem można stwierdzić, że taka hodowla sprawdziłaby się w bazie na Marsie.

Oprócz upraw baza zostanie również wyposażona w drukarki 3D drukujące jedzenie. Pomysł choć wydaje się być abstrakcyjny jest już wykorzystywany m. in. przez NASA. Istnieją również drukarki dostępne do kupienia na komercyjnym rynku. W bazie znajdują się dwa rodzaje drukarek: 3D Chef Jet Pro^{[6][7]} oraz Foodini^[8]. Drukarka 3D Chef Jet Pro jest używana głównie do drukowania wyrobów cukierniczych. Korzysta przy tym z cukru, czekolady i różnych kremów. Produkty te można dostarczyć na Marsa w formie sproszkowanej. Przy drukowaniu wymagana jest również woda, która będzie uzyskiwana w bazie. Wydrukowane w ten sposób słodkie urozmaiciłyby dietę astronautów. Dużo szerszą gamą wydrukowanych dań charakteryzuje się drukarka Foodini. Foodini pozwala sprawnie przygotować ciastka, sosy, puree, nadzienie mięsne,

a także makarony, pizzę, tosty z serem czy hamburgery. Drukarka ma 6 oddzielnych kapsuł w związku z czym można użyć do 6 składników na raz. Parametry jakie można kontrolować to kształt i wielkość wyrobu oraz czas, temperatura (do 100 °C) i ciśnienie w jakich poszczególne składniki mają być dodawane. Póki co istnieją jeszcze jej wady tej koncepcji. Do takich można zaliczać czas drukowania, ciągle dość duży, i konieczność ingerencji człowieka praktycznie w każdym etapie tego procesu. Trzeba jednak dodać, że rozwiązanie to ma duży potencjał, a jego rozwój jest wspierany finansowo m. in. właśnie przez NASA. Niemal pewne jest, że w najbliższym czasie uda uzyskać się spory postęp w tej dziedzinie co będzie wiązało się z jeszcze większą dostępnością drukarek także na rynku komercyjnym.



Rysunek 2 Drukarka Foodini.^[9]

Oprócz tego zamierzamy wyposażyć astronautów w źródło białka. Ponieważ hodowla zwierząt na Marsie byłaby dość skomplikowana i możliwa do wykonania co najwyżej w późniejszym etapie projektu niezbędnym wydaje się zaopatrzenie bazy w alternatywne jego źródła. Jako rozwiązanie proponujemy hodowlę jadalnych owadów – np. jedwabników. Poczwaraki jedwabnika są źródłem wartościowego białka (mają go 4 razy więcej niż chociażby jaja czy mleko). Co więcej, odchody jedwabników mogą także posłużyć jako nawóz do upraw roślin. Przydatność jedwabników jako potencjalnego pożywienia dla astronautów na bazie potwierdzają badania japońskich i chińskich naukowców^[2].

Produkty, które będziemy musieli przetransportować na Marsa to wymienione drukarki, zapasy jedzenia potrzebne do przeżycia okresu przed pierwszymi plonami oraz sproszkowane półprodukty, a także przyprawy. Z racji tego, że produkty pozbawione wody są lżejsze i zajmują mniej miejsca ich transport będzie łatwiejszy, a raz na jakiś czas ich zapasy będą uzupełniane poprzez statek kontrolny docierający do bazy. Należy jeszcze zaznaczyć, że regularne transporty z Ziemi mogą w pewnych okresach roku umożliwić astronautom dostęp do rarytasów takich jak np. paczkowany kurczak.

2.1.3 Perspektywy

Spodziewamy się szybkiego rozwoju technologii drukowania jedzenia, w związku z tym jesteśmy pewni, że to rozwiązanie może zostać zastosowane w naszej bazie. Upoważnia nas do tego chociażby projekt RepRap znajdujący się już na wyższych etapach zaawansowania. Dodatkowo liczymy, że w kolejnych etapach budowania bazy uda się rozwinąć ją do tego stopnia, że będą mogły w niej być hodowane zwierzęta – np. kurczaki. To z pewnością pozwoliłoby na urozmaicenie diety astronautów raz na zawsze kładąc kres monotonnym potrawom. Jako perspektywiczne rozwiązanie postrzegamy również hodowlę tkanki mięśniowej w warunkach laboratoryjnych. Tutaj na chwilę obecną czynnikiem ograniczającym jest pożywka uzyskiwana z tkanek zabitych wcześniej zwierząt potrzeba na przestrzeni całego procesu uzyskiwania syntetycznego mięsa. Duże nadzieje na usprawnienie hodowli roślin w trudnych warunkach daje także ciągły rozwój hydroponiki, czyli techniki polegającej na bezglebowej produkcji roślin na pożywkach wodnych^[10].

2.2 Bezpieczeństwo

2.2.1 Wstęp

Absolutnie kluczową kwestią jest zapewnienie astronautom bezpiecznego życia na bazie. Nie można dopuścić do zagrożenia zdrowia ludzi tam przebywających, nie mówiąc już o śmierci. Taki przypadek miałby poważne konsekwencje i mógłby pogrzebać cały projekt skutecznie odstrasżając potencjalnych inwestorów. Musimy być więc przygotowani na wszelkiego rodzaju niebezpieczeństwa, których, niestety, na Marsie nie brakuje. Wystarczy wspomnieć promieniowanie kosmiczne, burze piaskowe, silne wiatry czy niesprzyjającą życiu atmosferę planety. W pewnym stopniu za bezpieczeństwo będą odpowiedzialne systemy pomiarowe, które opiszemy w dalszej części pracy. Ważną kwestią jest zdrowie astronautów dlatego w bazie muszą znaleźć się lekarstwa i środki medyczne, a także podstawowy sprzęt do udzielenia pierwszej pomocy. Konieczna będzie kontrola jakości powietrza wewnątrz bazy. Zmiana jego składu może sugerować awarię któregoś z systemów w bazie, bądź też awarię konstrukcji bazy. Tu dochodzimy do kolejnego elementu, który również opiszemy w tej pracy, a który także będzie elementem zapewniającym bezpieczeństwo, czyli konstrukcja bazy. Jej kształt i projekt musi być wykonany z myślą o bezpieczeństwie. Zamierzamy także wyposażyć bazę w system alarmowy. Jeśli taka procedura zostanie uruchomiona może dojść do ewakuacji całej bazy. Ze względu na możliwość ewakuacji w bazie muszą znaleźć się statki ewakuacyjne oraz skafandry kosmiczne.

2.2.2 Propozycje rozwiązań

Zacniemy od elementów, których opisy zostaną rozwinięte w innych podpunktach, czyli konstrukcji bazy i systemów pomiarowych. Konstrukcja bazy będzie charakteryzowała się modułowością co pozwoli w przypadku potencjalnej awarii na ewakuację bądź wyłączenie z użycia tylko jednego modułu zamiast całej bazy. Moduły zostaną połączone korytarzami, w

których znajdują się śluzy. Takie śluzy są dostępne na rynku i służą głównie do ochrony przed zanieczyszczeniami osadzającymi się na odzieży ochronnej i pełnią rolę izolacji między strefami, w których musi być zachowana szczególna czystość. W przypadku naszej bazy śluzy takie mogą znaleźć zastosowanie w łącznikach pomiędzy poszczególnymi modułami. Proponujemy zastosowanie śluzy powietrznej 1590-P3 firmy Cleanroom^[11].

Jeśli chodzi o skład powietrza to konieczne będzie kontrolowanie stężenia CO₂. Jest to główny składnik atmosfery Marsa, który na Ziemi występuje jedynie sporadycznie. Rozsądnym wydaje się również wyposażenie bazy w system wykrywania CO. Czujniki dwutlenku węgla są obecnie używane do kontroli jakości powietrza w pomieszczeniach do użytku publicznego tj. sale konferencyjne, szpitale, kina czy teatry i są najczęściej połączone z systemem klimatyzacyjnym. Analogiczny system potrzebny jest w naszej bazie z tym, że wymagałby małych modyfikacji i kalibracji. Zasada działania pozostanie jednak ta sama. Proponowanym przez nas rozwiązaniem jest przetwornik stężenia CO₂ z wyjściami przekaźnikowymi i interfejsem noszący nazwę H5424 produkcji firmy TEST-THERM^[12]. Jest on kompatybilny ze środowiskami LabVIEW, TIRS.NET, ControlWeb oraz EasyView. Jako czujnik CO najlepszym rozwiązaniem wydaje się czujka DG-1 CO firmy Satel^[13]. Jest to polska firma będąca potentatem na rynku systemów alarmowych do wnętrz, która oprócz systemów antywłamaniowych oferuje szeroką gamę czujek gazu. Czujkę DG-1 CO oprócz niezawodności wyróżnia niewielki pobór prądu, co jest niezwykle ważne jeśli chcemy stosować urządzenie na Marsie ze względu na ograniczone zasoby energii. Bardzo korzystny jest też fakt, że czujka może pracować w szerokim zakresie temperatur (od -10 °C do +55 °C).

W bazie znajdziemy także zestaw pierwszej pomocy, który znajdować się będzie w co czwartym module. Do każdego zestawu dołączona zostanie instrukcja z najważniejszymi informacjami i zalecanym postępowaniem w razie wypadku. Apteczka będzie zawierać podstawowe wyposażenie, w skład którego będą wchodzić: rękawiczki gumowe różnych rozmiarów – 4 pary – dwa różne rozmiary, maseczka do sztucznego oddychania – 1 szt., nożyczki z tępymi końcówkami – 1 szt. agrałka – 4 szt., chusteczki do dezynfekcji Leko – 6 szt., opaska elastyczna 10 cm x 4 m – 3 szt., opaska elastyczna 8 cm x 4 cm – 2 szt., bandaż dziany szer. 10 cm – 1 szt., bandaż dziany szer. 4 cm – 1 szt., kompres gazowy 9 cm x 9 cm – 3 szt., kompres gazowy 0,5 m x 2 – 2 szt., plaster z gazą 10 cm x 6 cm – 2 szt., plaster z gazą 10 cm x 8 cm – 2 szt., plaster z gazą 6 cm x 1 cm – 2 szt., plaster na szpuli 1,25 cm x 5 m – 1 szt., plaster na szpuli 5 cm x 5 cm – 1 szt., chusty trójkątne – 2 szt., opatrunek na oparzenia water-jel mały – 1 szt., siatka opatrunkowa nr 3 – 1 szt., siatka opatrunkowa nr 6 – 1 szt.^[14]. Do tego zestawu dołączony zostanie defibrylator, przenośne urządzenie USG i roztwór soli fizjologicznej.^[15]

Oczywistą rzeczą jest również to, że wszyscy mieszkańcy bazy będą musieli przejść kurs pierwszej pomocy oraz zdać egzamin z podstawowej wiedzy medycznej. Astronauci będą więc wiedzieli jak zszyć ranę, wykonać zastrzyk czy nawet wyrwać chory ząb. W razie poważniejszych i bardziej skomplikowanych chorób możliwa będzie komunikacja z specjalistycznym lekarzem na Ziemi w celu odpowiedniej diagnozy. Trzeba jednak pamiętać, że

czas przekazania informacji jest dość znaczny i wynosi ok. 20 minut^[15], co z pewnością tę komunikację utrudni. Gdy do wyleczenia pacjenta potrzebny będzie specjalistyczny sprzęt, konieczna będzie ewakuacja z bazy na Ziemię.

Jeden segment bazy będzie pełnił rolę modułu ewakuacyjnego. Będzie on wyposażony w skafandry umożliwiające astronautom wydostanie się poza atmosferę bazy, a także w dwa krótkodystansowe statki kosmiczne umożliwiające całej załodze bazy ucieczkę do najbliższego punktu kontrolnego będącego najprawdopodobniej stacją kosmiczną. Statek taki powinien umożliwiać ucieczkę i przeżycie w nim od kilku do kilkunastu dni tak, aby bez problemu przetransportować astronautów w bezpieczne miejsce. Jako perspektywiczne postrzegamy tutaj rakiety produkowane przez amerykańskie przedsiębiorstwo SpaceX, używane obecnie do zaopatrywania astronautów, jak chociażby rakietą Falcon 9 z kapsułą Dragon, która dostarczała zaopatrzenie Międzynarodowej Stacji Kosmicznej ISS.^[16] Firma SpaceX już teraz jest optymistycznie nastawiona do idei załogowych lotów na Marsa i rozpoczęła pracę nad stosownymi rakietami.^[17] Jako przykład można wymienić rakietę Red Dragon będącą marsjańską wersją rakiety Dragon. SpaceX odważnie zadeklarował, że pierwszy na razie bezzałogowy lot na Marsa tej rakiety wykonany zostanie w 2018 roku.^[17] Natomiast załogowa misja planowana jest wstępnie na rok 2025.^[18] Koncern ogłosił już zarys planu działań uwzględniający produkcję nowego silnika Raptor wykorzystującego ciekły metan oraz rakiety BFR, która ma zawieść na Marsa transporter MCT wraz ze stuosobową załogą.^[19] Szczegółowy plan kolonizacji Marsa ma zostać ogłoszony przez firmę 30 kwietnia 2016 roku w Guadalajara w Meksyku.^[20] Te same rozwiązania mogą zostać zastosowane w bazie jako statki kosmiczne służące do ewentualnej ewakuacji astronautów.



Rysunek 3 Kapsuła Dragon, która od 2012 roku dostarcza załodze ISS niezbędnych narzędzi i towarów^[21].

2.2.3 Perspektywy

Od czasów kiedy Neil Armstrong uczynił swój mały dla człowieka acz wielki dla ludzkości krok stając się pierwszym człowiekiem, który pojawił się na Księżycu minęło wiele lat. Wtedy jego robiony na zamówienie skafander, model A7L o numerze seryjnym 056, był wytworzony m. in. przez firmę produkującą biustonosze.^[22] Dziś śmiało możemy stwierdzić, że w dziedzinie produkcji skafandrów kosmicznych nastąpił spory postęp. Jesteśmy w stanie produkować znacznie bezpieczniejsze i wygodniejsze skafandry. Przykładem mogą być chociażby ważący zaledwie 29 kg I-Suit^[23], przy produkcji którego specjalną uwagę zwrócono na komfort i swobodę ruchów astronauty, czy też wytwarzany z myślą o działaniach na powierzchni księżyca lub innych planet Z-1, którego testy mają się odbyć w 2017 roku.^[23] Stroje te zostały przedstawione na rys. 4. Badania nad nowymi rozwiązaniami cały czas trwają i dają spore nadzieje na ulepszenie stosowanych dzisiaj rozwiązań również tych bezpośrednio dotyczących się zdrowia człowieka. Innowacje sprzętowe mogą doprowadzić w przyszłości do możliwości przeprowadzania nawet bardziej skomplikowanych operacji chirurgicznych w kosmosie. Amerykańscy naukowcy przedstawili projekt robota Robonaut 2^[15], który może to umożliwić. Robot ma być zdalnie sterowany z Ziemi, ale istnieją też bardziej zaawansowane wersje projektu zmierzające do przystosowania go do przeprowadzania operacji dzięki programowi komputerowemu. Należy również dodać, że pomocna może być obecnie panująca tendencja do miniaturyzacji urządzeń, ponieważ może dać ona możliwość zabrania na Marsa bardziej specjalistycznego sprzętu.



Rysunek 4 Stroje astronautów. Od lewej I-Suit^[24], Z-1^[25] oraz A7L^[26], w którym Neil Armstrong stawiał pierwsze kroki na księżycu.

2.3 Gospodarowanie odpadami

2.3.1 Wstęp

Ze względu na to, że wysłanie na orbitę obiektu o masie 1 kg wiąże się z kosztem ok. 5000 dolarów^[27] trzeba ograniczyć wysyłany na Marsa sprzęt oraz zaopatrzenie do absolutnego minimum skupiając się na jak największym wykorzystaniu zasobów, które będą dostępne na miejscu. Racjonalna gospodarka odpadami oraz produktami ubocznymi życia w bazie wydaje się być nie tylko atrakcyjnym rozwiązaniem problemów, ale również koniecznością, jeśli chcemy myśleć o realizacji bazy na Marsie na poważnie. Zatem fekalia, czy wydychane przez astronautów powietrze muszą przechodzić przez systemy zapewniające maksymalne ich wykorzystanie oraz gospodarowanie nimi w taki sposób, aby wytworzyć zamknięty obieg. Do tego trzeba wziąć pod uwagę wykorzystanie produktów ubocznych hodowli roślin, a także wszystkich innych odpadów, które na Ziemi bez wahania wyrzucilibyśmy na śmietnik. Z pewnością jest to wyzwanie, ale wydaje się być wykonalne.

2.3.2 Propozycje rozwiązań

Rozwiązania można zaczerpnąć z już istniejących baz kosmicznych, ponieważ od strony logistycznej są one do naszej bazy na Marsie podobne. Jako przykład może posłużyć Międzynarodowa Stacja Kosmiczna (ISS). W sieci można znaleźć schematy gospodarowania odpadami opublikowane przez NASA^[28]. Mocz oddawany przez astronautów będzie więc zbierany i filtrowany. Następnie odzyskiwana będzie z niego woda, która posłuży do podlewania roślin uprawianych w bazie. Tlen wyprodukowany przez rośliny w procesie fotosyntezy będzie natomiast trafiał do systemu gospodarowania gazem i finalnie będzie transportowany do pomieszczeń, w których przebywać będą astronauty. Natomiast wydychany przez astronautów CO₂ będzie trafiał do szklarni, w której uprawiane będą rośliny. Rośliny będą potrzebowały nawozu, ze szczególnym uwzględnieniem azotu, którego źródłem będzie kał. W bazie zastosujemy także system spalania odpadów oparty na urządzeniu VORTEX^[29] zaprojektowanym przez naukowców z NASA. VORTEX (Vortical Oxidative Reactor Technology Experiment) jest urządzeniem do spalania odpadów w warunkach niskiej grawitacji wytworzonym z myślą o misjach kosmicznych takich jak wyprawy na Księżyc, czy, w przyszłości, właśnie na Marsa. Idea działania urządzenia polega na obracaniu odpadów nad palnikiem przy asyście prądów powietrznych, co umożliwia równomierne i efektywne spalanie. To rozwiązanie da nam dwie główne korzyści. Po pierwsze będziemy mogli zredukować objętość śmieci. Po drugie spalanie może nam umożliwić odzyskanie części zasobów, nie mówiąc już o tym, że produkty spalania niektórych odpadów mogą posłużyć za nawóz dla upraw. Do takich z pewnością zaliczają się niejadalne części wyhodowanych na Marsie roślin.

2.3.3 Perspektywy

Naukowcy są świadomi, że kosmiczne wyprawy są przedsięwzięciem szalenie trudnym, w którym trzeba maksymalnie wykorzystać wszystkie nasze możliwości i z tego powodu przywiązują dużą wagę do każdej, czasami wydawałoby się nawet, że błażej i niewiele wnoszącej kwestii. Jedną z nich jest gospodarowanie odpadami. Badania nad innowacyjnymi rozwiązaniami w tej dziedzinie są nieustannie prowadzone. Jako przykład podam platformę LAUNCH^[30] zrzeszającą wokół siebie grupę kreatywnych osób specjalizujących się w stosowaniu nowych rozwiązań złożonych problemów. W gronie tych osób znajdują się także specjaliści od recyklingu i gospodarowania odpadami. W ramach programu LAUNCH: Beyond Waste^[31] prezentują oni swoje pomysły i idee, które oprócz praktycznych zastosowań na Ziemi mogą także z powodzeniem zostać zastosowane w kosmicznych wyprawach. Rozwiązaniom tym z uwagą przygląda się NASA najlepsze z nich sprawdzając i stosując m. in. na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej.

2.4 Konstrukcja

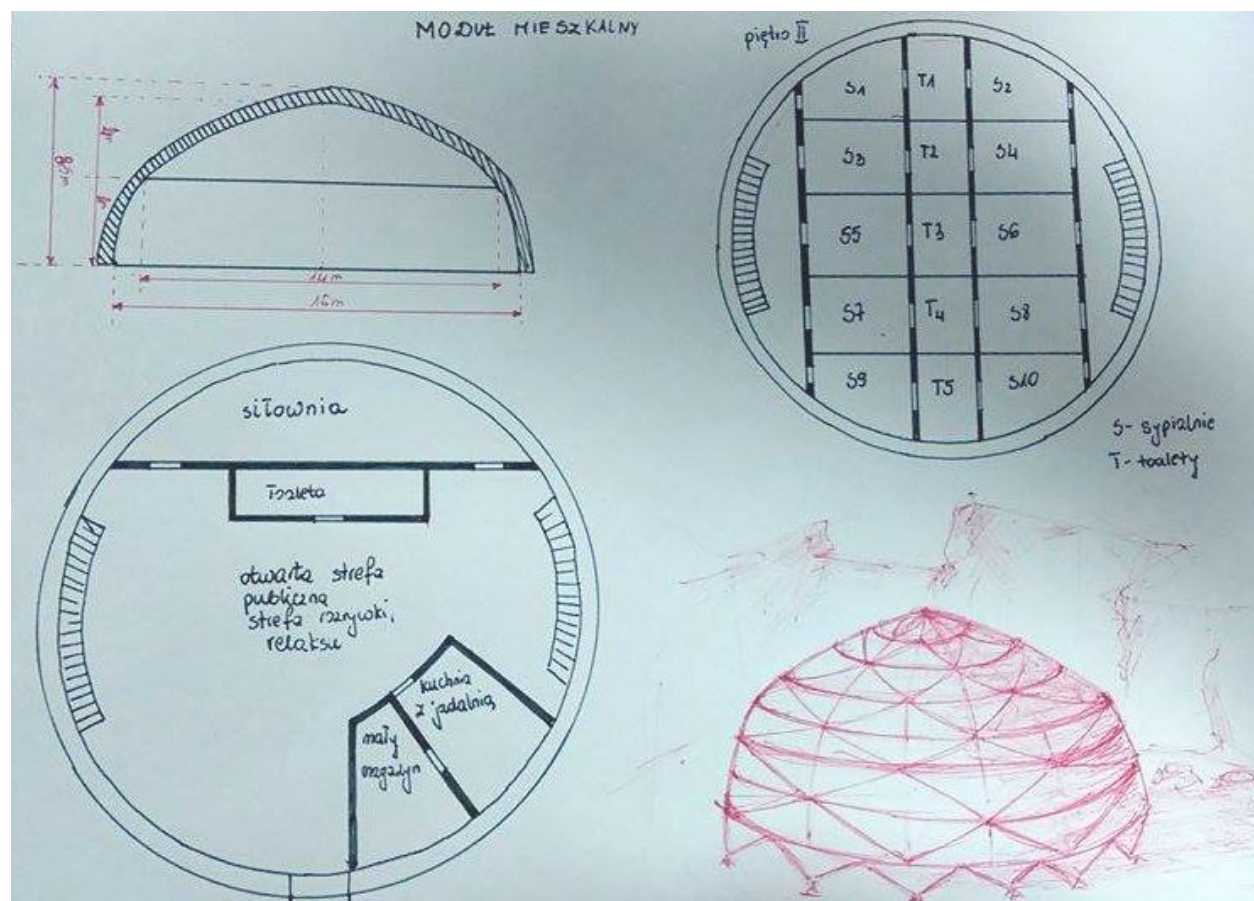
2.4.1 Wstęp

Konstrukcja bazy musi być dostosowana do warunków panujących na Marsie. Niska grawitacja umożliwia wykorzystanie ciężkich materiałów. Brak aktywności geologicznej Marsa pozwala na zastosowanie standardowych konstrukcji. Dużym problemem są silne wiatry występujące na Czerwonej Planecie. Aby zmaksymalizować stabilność i bezpieczeństwo bazy, należy więc zwrócić szczególną uwagę na geometrię całej konstrukcji. Kolejnym problemem w poprawnym funkcjonowaniu bazy na Marsie jest wysoki poziom promieniowania. Na podstawie pomiarów wykonanych przez łazik Curiosity dawka przyjęta przez astronautów na Marsie, znacznie przewyższałaby dawkę śmiertelną^[32]. Aby umożliwić przeżycie ludziom na Marsie, koniecznym jest radykalne zmniejszenie poziomu promieniowania. Bezpieczeństwo bazy jest priorytetem przy projektowaniu jej, konstrukcja marsjańskiego laboratorium musi gwarantować wysoki poziom niezawodności oraz możliwość poprawnego funkcjonowania całej bazy w obliczu niewielkich awarii.

2.4.2 Proponowane rozwiązania

Aby umożliwić poprawne funkcjonowanie bazy na Marsie w obliczu niewielkich awarii należy zastosować modułową konstrukcję bazy, aby w przypadku małych awarii poszczególnych części nie paraliżować poprawnego działania całego systemu. Baza powinna składać się z modułu centralnego, zbudowanego w formie kopuły na planie koła, szacowana wielkość modułu centralnego to około 100 m², zbudowany na podstawie koła o promieniu 6 m. Moduł ten będzie podzielony na szereg wyspecjalizowanych pomieszczeń, pełniących wszystkie podstawowe funkcje, takie jak np. funkcje kontrolne, gdzie będzie znajdowało się także laboratorium. Główna konstrukcja wykonana zostanie z aluminium^[33], wzmocnionych kompozytami z nanorurkami

węglowymi^[34]. Przekrój przez ścianę został przedstawiony na rysunku nr 1. Warstwa aerożelu krzemionkowego^[35], około 15 cm warstwa pełni główną funkcję izolacyjną. dwie warstwy szkła Zerodur^[36] zastosowano ze względu na jego niski współczynnik rozszerzalności termicznej. Pod kopułą rozłożony jest zbiornik z wodą, który po pierwsze pełni funkcję magazynu wody, a także ochrony przed promieniowaniem kosmicznym^[37].



Rysunek 5 Szczegółowy plan modułu mieszkalnego

Drugim modulem jest moduł mieszkalny, bezpośrednio połączony z modulem centralnym, jego szczegółowy układ przedstawiono na rysunku nr 5. Konstrukcja jest analogiczna do modułu centralnego, również z zastosowaniem płaszcza wodnego. Zbiornik o grubości około 1m będzie stanowił wystarczający rezerwuuar wody, a także gwarantował ochronę przed promieniowaniem. Kolejnymi modułami są zbiorniki na gazy: na azot, tlen, dwutlenek węgla, szklarnia. Zbiorniki na gazy umieszczone zostały pod ziemią. Zbiorniki na gazy mają pojemność odpowiednio: tlen - 5000 l, azot - 25000 l, co jest związane z zapotrzebowaniem człowieka na gazy.

2.5 Systemy pomiarowe

2.5.1 Wstęp

Aby zapewnić bezpieczne życie ludziom w bazie na Marsie konieczne jest ciągle kontrolowanie najważniejszych parametrów. Przede wszystkim monitorowany musi być skład atmosfery, temperatura, ciśnienie, wilgotność powietrza oraz poziom zasobów: wody, gazów i jedzenia. Wielkości związane z powietrzem monitorowane powinny być w każdym pomieszczeniu, a systemy te połączone z powinny być ze słuzami, żeby w przypadku anomalii odcinać pomieszczenia.

2.5.2 Przykłady rozwiązań

Do monitorowania warunków panujących w bazie zostaną użyte:

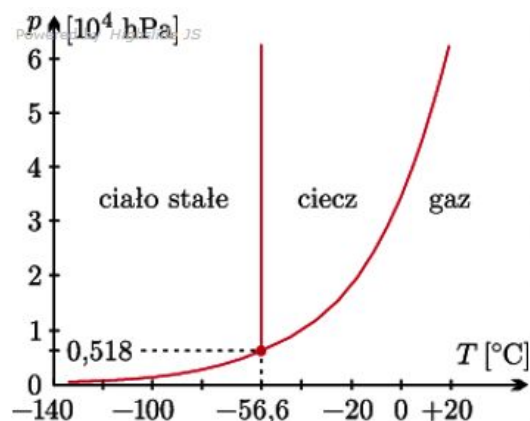
- termometr o szerokim zakresie odczytywanych temperatur, co jest szczególnie ważne w przypadku rozszczelnienia bazy^[38]
- analizator składu powietrza^[39]
- miernik wilgotności powietrza^[40]
- miernik ciśnienia^[41]

Poziom zasobów kontrolowany będzie w standardowy sposób poprzez sprawdzanie poziomu wypełnienia zbiorników.

2.6 Tlen

2.6.1 Wstęp

Jednym z podstawowych problemów jest uzyskanie powietrza o składzie zbliżonym do ziemskiego. Atmosfera Marsa jest cieńsza niż ziemska (stanowi ok. 0,9% atmosfery ziemskiej), z czego aż 95% to dwutlenek węgla. Pozostałe składniki atmosfery to azot (2,7%), argon (1,6%), tlen (0.15%), występują też śladowe ilości tlenku węgla, ksenonu, kryptonu i pary wodnej^[42]. Atmosfera jest silnie zapyłona, można w niej znaleźć cząstki o średnicy nawet 1,5 mikrometra, co ma też wpływ na jej zabarwienie^[43]. Przy powierzchni Marsa ciśnienie wynosi ok. 8hPa (nie przekracza 1% ciśnienia panującego na Ziemi), a gęstość atmosfery wynosi ok. 20 g/m³ (dla porównania na Ziemi jest to ok. 1,29 kg/m³ czyli 65 razy więcej)^[44].



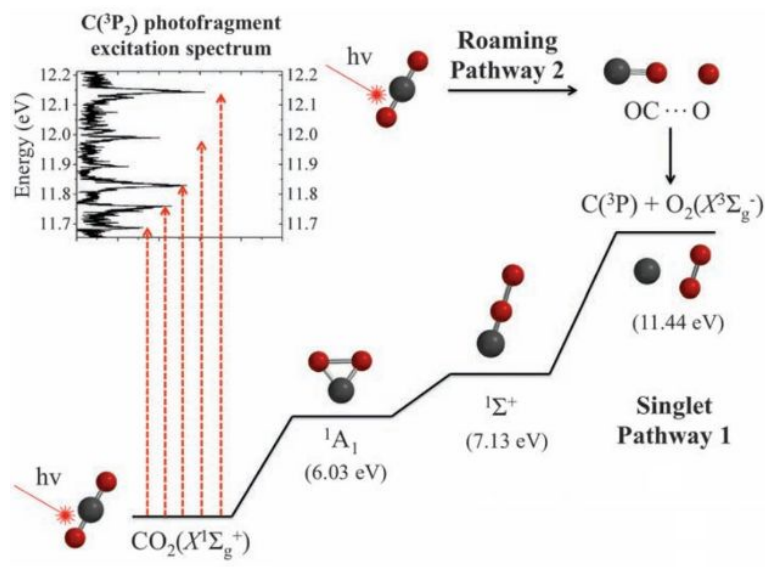
Rysunek 6 Diagram fazowy dwutlenku węgla.^[44]

Analizując diagram fazowy dwutlenku węgla przedstawiony na Rys. 6., można zauważyć, że punkt krytyczny występuje dla ciśnienia 5180 hPa i temperatury $-56,6^{\circ}\text{C}$. Ciśnienie na powierzchni Marsa jest ok. 600 razy mniejsze a temperatura oscyluje między -130 a $+50$, stąd wynika, że CO_2 występuje w fazie stałej i gazowej^[44]. Z racji tak dużej zawartości CO_2 , korzystnie byłoby przekształcać go w tlen. Należy jednak wziąć pod uwagę, że nawet gdyby udało nam się wytworzyć atmosferę na Marsie o składzie zbliżonym do tej na Ziemi, to zbyt niskie ciśnienie uniemożliwiłoby oddychanie mieszkańcom bazy. Ze względu na to chcemy uzyskać powietrze o takim składzie będzie uzyskane tylko wewnątrz bazy, natomiast poza nią będzie trzeba korzystać z butli tlenowych.

2.6.2 Proponowane rozwiązania

Okolo 20% tlenu znajdujacego sie w atmosferze ziemskiej pochodzi z reakcji fotosyntezy, gdzie glownym substratem jest CO_2 . Wlasnie reakcja, ktorej produktem jest tlen a substratem dwutlenek węgla, moze stac sie inspiracja do sposobu wytwarzania O_2 na Marsie, ze wzgledu na ogromna zawartosc CO_2 w atmosferze Czerwonej Planety.

W tym celu proponujemy wykorzystac ultrafiolet pryzniowy (VUV) w postaci wiązki laserowej. Zakres promieniowania nadfioletowego dzieli sie na kilka czesci, w tym na nadfiolet daleki, zwany pryzniowym obejmujacy zakres 10-200 nm. Istotna cecha jest to, ze mozna badac go jedynie w pryzni, ze wzgledu na silne pochlanianie przez powietrze^[45]. Taka jednoetapowa metoda wywarzania tlenu zostala opracowana przez naukowcow z Uniwersytetu w Kalifornii^[46]. Ogolny schemat procesu zostal przedstawiony na Rys. 7.



Rysunek 7 Schemat rozpadu cząsteczki dwutlenku węgla na węgiel i tlen cząsteczkowy.^[47]

VUV wiązka laserowa trafiając na cząsteczkę dwutlenku węgla, powoduje jej wzbudzenie. Ten nadmiar energii jest zbyt mały, aby spowodował konwencjonalny rozpad wiązania, ale wystarczający, aby spowodować przemieszczenie się jednego atomu tlenu, a następnie zerwanie wiązania C=O, powodując powstanie atomu węgla i cząsteczkowego tlenu^[47].

Laser wykorzystywany tutaj wypuszcza ok. 10^{15} fotonów na jeden impuls^[48]. Zakładając, że jeden impuls lasera trwa ok. 10 ps, energia potrzebna do zerwania wiązania 1 mola CO_2 to ok. 800 kJ, a ilość tlenu, którą w ciągu doby zużywa przeciętny człowiek wynosi ok. 300 l^[49]. Można zatem policzyć, że laser musi działać przez ok. 1,5 s, aby dostarczyć tlenu dla jednej osoby na dobę. Należy zwrócić uwagę, że taki czas byłby potrzebny, gdyby efektywność reakcji wynosiła 100%, czyli z każdego 1 mola CO_2 otrzymujemy 1 mol O_2 . Obecna efektywność wynosi ok. 5%, więc wzrasta on do ok. 8 s., co nadal jest dobrym wynikiem i w wystarczająco krótkim czasie pozwoliłoby na zaspokojenie potrzeb. Ilość tlenu wyprodukowanego przez laser powinna być dostarczana do części mieszkalnej w sposób kontrolowany przez system pomiarowy, tak, aby jego zawartość była utrzymywana na stałym poziomie, zbliżonym do ziemskiego. Warto też zauważyć, że opracowanie tej metody pozwala wysnuć jedną z teorii na temat powstania ziemskiej atmosfery – promienie słoneczne mogły powodować rozpad cząsteczek dwutlenku węgla na tlen w próżni panującej w kosmosie.

2.6.3. Perspektywy

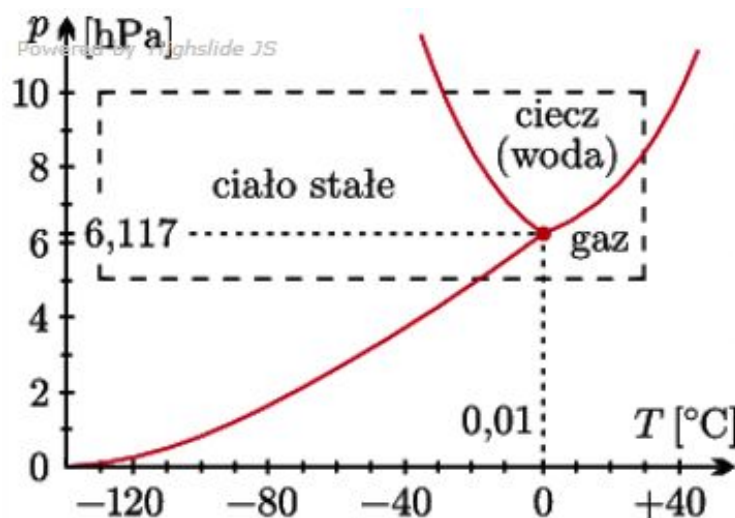
Otrzymywanie tlenu na Marsie umożliwiające rezygnację z przewożenia tam ciężkich butli tlenowych jest niezwykle istotną kwestią ze względu na koszty i logistykę całego przedsięwzięcia. W tym celu warto popracować nad wydajnością lasera, obecnie wynosi ona ok. 5%^[47]. Docelowo oczekuje się nawet wytworzenia typowo ziemskiego ekosystemu,

wykorzystując w tym celu bakterie i algi. Istnieje pomysł zbudowania pod powierzchnią Marsa wielu kopuł z tymi organizmami, które miałyby zostać użyte do produkcji tlenu w ilości wystarczającej do swobodnej egzystencji mieszkańców.^[50] Innym rozwiązaniem byłoby wykonanie palet z glonami pobierającymi CO_2 , a oddającymi tlen. Do tego procesu potrzebne byłoby sztuczne źródło światła. Projekt zakłada ok. 8 m^2 powierzchni i możliwość układania palet na stosie^[51]. Jednak biorąc pod uwagę niskie ciśnienie panujące na Marsie, wiatr słoneczny i częste burze piaskowe utrzymanie sztucznie wytworzonej atmosfery poza bazą jest mało prawdopodobne.

2.7 Woda

2.7.1 Wstęp

Woda jest elementem niezbędnym do poprawnego funkcjonowania ludzkiego organizmu. Ze względu na niskie ciśnienie, trudno jest utrzymać ją w stanie ciekłym na powierzchni Marsa. Jedynie w okolicy równika pojawia się ona na krótki czas. Na biegunach Marsa znajdują się czapy polarne w sporej części składające się z lodu. Szacuje się, że gdyby roztopić je całkowicie, to tak powstała ciecz mogłaby pokryć całą planetę nawet na głębokość 11 m .^[52] Analizując Rys. 8. można zauważyć, że teoretycznie woda na Marsie mogłaby występować w każdej postaci.



Rysunek 8 Diagram fazowy wody. Przerywana linia określa graniczne wartości temperatury i ciśnienia na Marsie.^[44]

Przerywaną linią na diagramie zaznaczono zakres temperatury i ciśnienia jakie występują na Marsie. Przeważają temperatury ujemne, więc najpowszechniej woda występuje w fazie stałej, a w okresie cieplejszym od razu sublimuje. W obszarach o wyższym ciśnieniu ciecz bardzo szybko

paruje, dzięki czemu można zauważyć rozrzedzone obłoki pary wodnej. Obecność wody wykryto też w glebie.

2.7.2 Proponowane rozwiązania

Woda na Marsie będzie przede wszystkim wydobywana z gleby. Łazik wyposażony w aparaturę RESOLVE^[53] będzie wybierał lokalizację o znaczącej zawartości wody w glebie. Pod tym względem korzystny jest obszar na 40-45° szerokości geograficznej. Łazik będzie zbierał glebę do konkretnego miejsca, w którym będzie następowało odsysanie wody. Tutaj najlepszym rozwiązaniem jest miejscowe ogrzewanie, w celu całkowitego odparowania wody, a następnie jej kondensacja. Taki proces będzie wielokrotnie powtarzany, a uzyskana woda będzie przechowywana w specjalnym magazynie. Wodę można też odparowywać z lodu znajdującego się przede wszystkim na biegunach. Jednak niekorzystnym czynnikiem jest spora odległość lokalizacji bazy od biegunów. Istotną kwestią będzie również zorganizowanie dodatkowego zbiornika wody na wypadek burz pyłowych, czy awarii. Przewiduje się, że jedna osoba potrzebuje ok. 50 l wody dziennie^[54]. Ważny jest więc recykling wody. Odzyskiwanie zużytej wody wymaga znacznie mniej energii niż uzyskanie jej z gleby.

2.7.3 Perspektywy

W 2018 roku NASA planuje wysłać na Księżyc łazik z aparaturą RESOLVE, a w 2020 roku jako jego następcę na Marsa polecieć ma łazik Curiosity. Urządzenie to będzie zbierać regolit i tworzyć z niego wodę (a także nawet tlen). W ten sposób sprawdzi się wydajność procesu, realnie oceni ilość wody jaką można uzyskać z danego obszaru, określi zdatność tej wody do picia i pomoże wybrać najkorzystniejszy obszar do jej pozyskiwania. Woda jest ciężka i nieścisliwa przez co jej przewożenie w odpowiednich ilościach na inną planetę byłoby wyjątkowo niekorzystne, natomiast jej niedobór mógłby odbić się na zdrowiu, a nawet zagrozić życiu mieszkańców bazy. Dlatego tak ważne jest bardzo dokładne przeanalizowanie tej kwestii i wykluczenie wszelkich możliwych błędów.

2.8 Higiena

Istotną kwestią jest umożliwienie ludziom egzystującym na Marsie przestrzegania elementarnych zasad higieny, jednocześnie pamiętając o ograniczonym dostępie do wody i konieczności jak najmniejszego jej zużycia. Tutaj warto skorzystać z projektu FOG^[55]. Umożliwia on wzięcie prysznica w 450 ml wody w ciągu minuty, wykorzystując mgłę wodną. Co zmniejsza ok 6 – krotnie standardowe zużycie wody. Cała kabina prysznicowa będzie miała formę niewielkiej

walizki, wewnątrz której umieszczone będą atomizery z wodą. Mimo wszystko będzie trzeba zapewnić podstawowe środki higieny, a zużytą wodę oczyszczać i wykorzystywać ponownie.

2.9 Kwestie społeczne

Aby zapewnić poprawne funkcjonowanie ludzi na Marsie również pod kątem psychicznym należy zapewnić uczestnikom misji odpowiednie warunki. Zwłaszcza w module mieszkalnym. Przewidziano strefę wspólną- strefę rozrywki, w której przewidziane są ekrany LCD, konsole, komputery, radio. Kolejną strefą jest siłownia, z kompleksowym wyposażeniem siłowni typu cardio i do ćwiczeń siłowych, co jest niezbędne do utrzymania kondycji fizycznej na Marsie. Aby zwiększyć komfort funkcjonowanie uczestników misji należy zapewnić regularny kontakt z Ziemią, a w szczególności z rodzinami mieszkańców bazy.

2.10 Energia

Jednym z głównych wyzwań związanych z założeniem bazy na Marsie jest zaprojektowanie systemu energetycznego. Energia jest niezbędna do życia tak samo jak woda i tlen – wykorzystujemy ją do ogrzewania pomieszczeń, przechowywania i przetwarzania żywności, do oświetlenia. Bez energii nie funkcjonują urządzenia elektroniczne, mechaniczne, automatyczne; nie istnieje informatyka, komunikacja i transport. Energia jest również potrzebna do wytwarzania zasobów in situ, takich jak woda czy tlen. Jako główne źródła energii dla bazy na Marsie rozważa się energie pochodzącą z rozszczepień jądrowych oraz energię słoneczną^[56].

2.10.1 Zapotrzebowanie energetyczne

Zapotrzebowanie na energię wysoce zależy od przeznaczenia misji. Jeśli chodzi na przykład o energię potrzebną na podtrzymanie życia jednego członka załogi, to jest ona funkcją wielu czynników, takich jak poziom aktywności fizycznej, jakość pożywienia i wielu innych. Do tego należy dodać energię potrzebną na badania naukowe oraz eksplorację zasobów. Energia potrzebna do funkcjonowania Biosfery 2 (zamkniętego systemu ekologicznego zbudowanego w latach 1987–1989 w Arizonie, mającego na celu prowadzenie badań nad możliwością użycia zamkniętych biosfer w kolonizacji kosmosu) dla 8 osób na dwa lata wynosiła około 100 kW na osobę. Ta ilość nie uwzględnia jednak energii potrzebnej do wytwarzania materiałów i dostosowania się do niekorzystnych warunków zewnętrznych, jakie panują na Marsie, co zwiększa zapotrzebowanie energetyczne. Badania naukowców z Japonii wskazały wartość 20 – 50 kW na osobę, jako ilość energii potrzebną do wysłania na Marsa załogi składającej się ze 150 osób, natomiast NASA (na podstawie misji referencyjnej mającej na celu określić wymagania i optymalne warunki niezbędne do kolonizacji Marsa, tzw. Mars Reference Mission) sugerowała ilość 60 kW. W związku z powyższymi, system energetyczny zapewniający energię w ilości rzędu 60 – 200 kW będzie optymalnym rozwiązaniem dla początkowej bazy^[57].

2.10.2 Energia jądrowa

Energia rozszczepienia jądrowego posiada znaczącą zaletę, która stanowi o jej popularności w planowaniu bazy na Marsie: może zapewnić obfitą, ciągłą dostawę energii niezależną od pogody czy lokalizacji. Reaktor jądrowy może zapewnić wystarczającą energię do wytwarzania zasobów in situ, zasilania systemu kontroli środowiska i podtrzymywania życia (Environment Control and Life Support System, ECLSS) oraz innych elektrycznych podsystemów. Ponadto, ponieważ reaktor jest w stanie zapewnić ciągłą dostawę energii, nie wymaga zastosowania układów magazynujących energię.

Jednak z wybudowaniem reaktora jądrowego wiążą się pewne problemy. Ze względów bezpieczeństwa, elektrownia jądrowa musiałaby znajdować się z dala od bazy, z którą łączyłyby ją kable elektryczne. Zostałaby umieszczona w dolinie (naturalnej, bądź wytworzonej za pomocą ładunków wybuchowych), w celu uniknięcia rozprzestrzeniania się odpadów promieniotwórczych do pozostałych części bazy. Problemem byłby także transport niezbędnych części reaktora z Ziemi na Marsa, głównie osłon przed promieniowaniem, składających się często z ciężkiego ołowiu. Innym problemem może być również brak wystarczającej ilości wody na Marsie, która jest niezbędna do chłodzenia reaktora. Poza tym wciąż istnieje niebezpieczeństwo awarii elektrowni, która jest często poruszaną kwestią w rozważaniach dotyczących pozyskiwania energii z rozszczepienia jądrowego.

Rozwiązaniem może być zastosowanie energii jądrowej w formie zaawansowanych generatorów radioizotopowych, zasilanych plutonem 238, w którym źródłem energii jest rozpad izotopu promieniotwórczego, a uwolnione ciepło zamieniane jest na energię elektryczną z wykorzystaniem silnika Stirlinga. Ten rodzaj wytwarzania energii już jest obecny na Marsie i znalazł zastosowanie w zasilaniu laboratorium naukowo-badawczym Curiosity Rover. Jest on jest znacznie mniej niebezpieczny niż reakcja łańcuchowa stosowana w reaktorach^[56].

2.10.3 Energia słoneczna

Energia słoneczna jest prawdopodobnie najlepszym rozwiązaniem na zaspokojenie potrzeb energetycznych bazy na Marsie. Przykładowo, Marsjańskie Łaziki Badawcze (MER – Mars Exploration Rover) Spirit i Opportunity były skutecznie zasilane dzięki panelom słonecznym. Łazik Spirit funkcjonował przez 6 lat, natomiast Opportunity od 2004 (data lądowania na Marsie) wciąż jest aktywny^[56].



Rysunek 9 Model MER *Spirit*, łazika marsjańskiego zasilanego energią słoneczną przetwarzaną dzięki panelom słonecznym^[59].

Nowoczesna technologia wytwarzania ogniw słonecznych sprawia, że ich wydajność może być porównywalna z tą pochodzącą od reaktorów jądrowych, a ponieważ są one bezpieczniejsze i bardziej przyjazne środowisku, stanowią znacznie lepsze rozwiązanie niż energia jądrowa.



Rysunek 10 Jednym z problemów pojawiających się w przypadku wykorzystania paneli słonecznych do wytwarzania energii na marsie są burze piaskowe. Na zdjęciu widać łazik marsjański *Spirit*, który po dwóch latach pracy na Marsie został znacznie pokryty pyłem^[60].

Głównym problemem, jeśli chodzi o panele słoneczne jest zależność źródła energii od dziennych i sezonowych cykli, pogody i poziomu pyłów zawartych w powietrzu. Pył, który jest wszechobecny w marsjańskiej atmosferze, może akumulować się na panelach, obniżając ich

efektywność. Jest to jednak problem do rozwiązania. Odpowiednie nachylenie paneli może umożliwić pozbycie się pyłu przez wiejący wiatr, w ostateczności można zastosować odpowiedni układ (automatyczny, bądź obsługiwany przez załogę) mający na celu usuwanie zanieczyszczeń^[61].

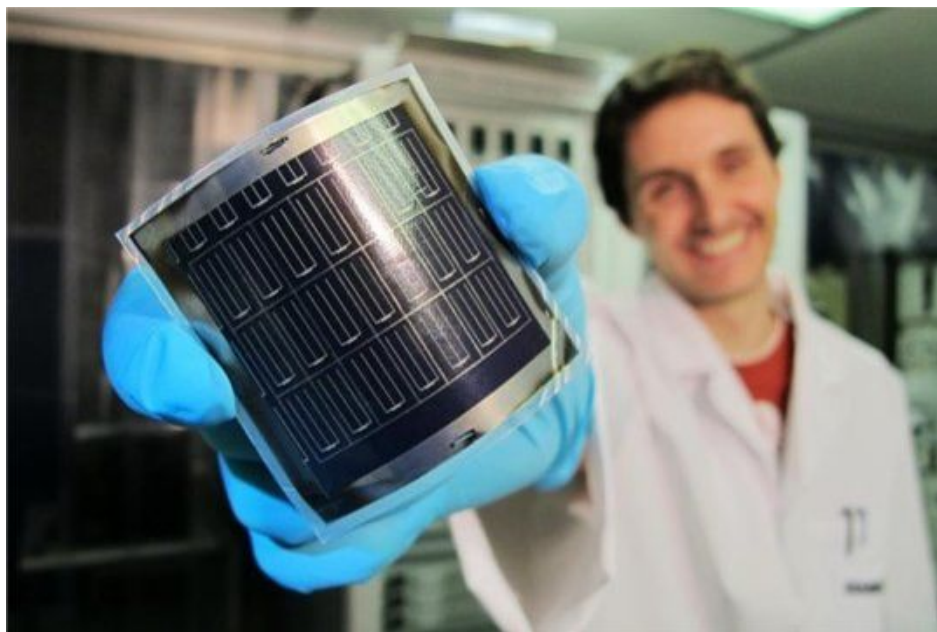


Rysunek 11 Kadr z filmu *Marsjanin*, w filmie baza również była zasilana dzięki energii słonecznej. Elektrownia słoneczna była umieszczona w niedalekiej odległości od bazy, dzięki czemu załoga miała do niej dostęp – może mieć to duże znaczenie w przypadku czyszczenia powierzchni paneli ze zgromadzonego pyłu^[62].

Energia słoneczna dostępna na powierzchni Marsa, jest około połowę mniejsza niż ta dostępna na Ziemi. Związane jest to głównie z tym, że Mars znajduje się dalej od Słońca aniżeli Ziemia. Intensywność promieniowania słonecznego w górnych warstwach atmosfery w porównaniu z Ziemią wynosi 43%, jednak stosunek ten poprawia się dzięki temu, że atmosfera Marsa jest około 100 razy cieńsza niż ziemska, w związku z czym mniej promieni zostaje odbitych, bądź pochłoniętych przez chmury^[57].

Drukowane ogniwa słoneczne

W ostatnich latach, technologie związane z energią słoneczną na Ziemi rozwijają się w znacznym tempie. Jednym z ważniejszych postępów w tej dziedzinie jest wykorzystanie CIGS (Copper Indium Gallium Selenide - selenek miedzi indu galu) jako materiału do wytwarzania cienkowarstwowych ogniw słonecznych^[56]. Materiał ten umożliwia drukowanie ogniw słonecznych – jest to metoda niezwykle tania i niewymagająca zaawansowanych technologii; nie wymaga próżni, ani toksycznych substancji chemicznych do produkcji. Drukowane ogniwa charakteryzują się dużą efektywnością w konwersji energii słonecznej na elektryczną. Tak wytworzone panele słoneczne są bardzo elastyczne (potencjalnie można umieścić je na każdej powierzchni), więc będą łatwe w transporcie.



Rysunek 12 Wydajne, elastyczne ogniwa słoneczne oparte na CIGS są atrakcyjnym rozwiązaniem na pozyskiwanie energii słonecznej na Marsie, między innymi ze względu na łatwość w transporcie. Ogniwo ze zdjęcia pochodzi z EMPA – Federalnego Szwajcarskiego Laboratorium Nauki i Inżynierii Materiałów; na chwilę obecną ich technologia nie została jeszcze wykorzystana do produkcji masowej^[63].

Magazynowanie energii

Energia słoneczna, podobnie jak każde inne źródło energii niedostarczające jej w trybie ciągłym, wymaga rozwiązania problemu magazynowania energii, aby była ona dostępna również podczas nocy, czy burz piaskowych. W tym celu zostaną zastosowane baterie oraz superkondensatory grafenowe^[56].

Technologia baterii rozwija się w szybkim tempie ze względu na rozprzestrzenianie się urządzeń mobilnych i pojazdów elektrycznych. Opracowanie baterii grafenowo-litowo-jonowych pozwala na znacznie szybsze ładowanie i możliwość magazynowania większej ilości energii. Baterie są niezawodne i tanie w utrzymaniu, jednak mogą być ładowane ograniczoną ilość razy, co skraca okres ich wykorzystania.

Superkondensatory grafenowe są nową, rozwijającą się technologią, która może być znacznie efektywniejszym sposobem magazynowania energii słonecznej niż baterie. Są one w stanie magazynować większą gęstość energii, rozładowanie ich następuje niezwykle szybko i, w przeciwieństwie do baterii, nie posiadają limitu związanego z liczbą ładowań. Technologia takich kondensatorów przyciąga dużą uwagę ze względu na jej potencjalne zastosowanie w przenośnych urządzeniach elektronicznych, czy samochodach elektrycznych. Inną ich zaletą jest to, że są one

wytwarzane z czystego węgla, co oznacza, że będzie istniała możliwość ich wytwarzana bezpośrednio na Marsie.

2.10. Zarządzanie energią

Aby życie w bazie było możliwe, system kontroli środowiska i podtrzymywania życia (ECLSS) musi działać w sposób ciągły, a więc dostęp do energii również musi pozostać nieprzerwany. W związku z tym, konieczne jest rozwiązanie problemu magazynowania energii^[56]. Pewien procent energii słonecznej zgromadzonej w trakcie każdego solu (dnia marsjańskiego) zostanie zmagazynowany do wykorzystania w ciągu nocy. Ponieważ gromadzenie energii posiada pewne ograniczenia, należy zminimalizować zapotrzebowanie na energię w ciągu nocy, kiedy nie ma dostępu do bezpośredniego źródła energii słonecznej. Może to zostać osiągnięte poprzez odpowiedni dobowy cykl pracy załogi – odgórnie narzucony odpoczynek w nocy przy pracy w ciągu dnia. Dzięki temu, energia niezbędna do oświetlenia bazy, eksperymentów, czy wytwarzania jedzenia będzie wymagana głównie za dnia, kiedy dostęp do energii słonecznej jest zapewniony. Należy również wziąć pod uwagę fakt, że niektóre urządzenia muszą działać bez przerwy, tak jak na przykład system komunikacji. Nawet jeśli w danej chwili system ten nie jest wykorzystywany przez załogę, dane telemetryczne muszą być w ciągły sposób przesyłane do urządzeń kontrolnych oraz na Ziemię.

2.11 Kontrola temperatury

Głównym wymaganiem podczas misji będzie zapewnienie odpowiedniej temperatury wewnątrz bazy. Dla prawidłowego funkcjonowania organizmu ludzkiego, pożądana temperatura środowiska, w którym on się znajduje wynosi około 295-298 K (22 – 25 °C). System kontroli termicznej musi być jednak przystosowany do dostosowywania temperatury w obu kierunkach, zarówno do ogrzewania pomieszczeń, jak i ich chłodzenia.

Na Marsie średnia temperatura wynosi 210 K (-63 °C)^[43], co jest porównywalne z temperaturą panującą na Antarktydzie. Temperatura wewnątrz bazy powinna być o około 80 K wyższa niż temperatura na zewnątrz. Pracujące urządzenia elektryczne i sprzęt elektroniczny będzie wytwarzać duże ilości ciepła odpadowego, co pomoże obniżyć ilość energii wymaganej do ogrzewania. Konstrukcja bazy powinna zapewniać odpowiedni stopień izolacji. Może to zostać osiągnięte dzięki obłożeniu ścian zewnętrznych bazy regolitem^[56], który jest jednym ze składników powierzchni Marsa. Dzięki temu dodatkowa ochrona przed utratą ciepła zostanie osiągnięta w tani i niewymagający dostarczenia dodatkowych materiałów sposób. Gdy natomiast wewnętrzne temperatury wzrosną, może być wymagane chłodzenie. Jak w przypadku ISS (Międzynarodowej Stacji Kosmicznej) ogromne ilości energii elektrycznej, wykorzystywanej przez urządzenia, są przetwarzane na ciepło. W tym celu zastosowano system rurociągów, w których pompuje się amoniak, który ma za zadanie gromadzić ciepło i transportować je w obszary, które narażone są na zimno z przestrzeni kosmicznej^[58]. Taki system spełnia swoją rolę

w regulowaniu temperatury wewnątrz ISS, więc również z powodzeniem mógłby zostać zastosowany w przypadku bazy na Marsie.

3 Podsumowanie

Nie ulega wątpliwości, że załogowy lot na Marsa i osadzenie tam ludzi jest problemem niezwykle złożonym i wymagającym wzięcia pod uwagę bardzo wielu czynników. Kompleksowość takiej operacji połączona z niesprzyjającymi warunkami panującymi na Czerwonej Planecie sprawiła, że do dnia dzisiejszego nie została ona jeszcze przeprowadzona. Niemniej jednak w naszej pracy postaraliśmy się udowodnić, że kolonizacja Marsa nie jest jedynie pomysłem rodem z filmów science-fiction, ale czymś, co dzięki pomysłowości i zastosowaniu najnowocześniejszych technologii jest tylko kwestią czasu.

Bibliografia

- [1] <http://innpoland.pl/123417,polak-ktory-wrocil-z-marsa-jakie-byly-jego-pozaziemskie-wrazenia>
- [2] <http://www.focus.pl/kosmos/jak-zyc-na-marsie-13397?strona=3>
- [3] https://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Hydroponic_strawberry_usda.jpg
- [4] <http://www.geekweek.pl/aktualnosci/18637/kosmiczni-ogrodnicy-wyzywia-przyszle-misje>
- [5] <http://www.geekweek.pl/aktualnosci/24450/oto-ziemniaki-ktore-beda-uprawiane-na-marsie>
- [6] <http://www.chip.pl/news/sprzet/drukarki-i-skanery/2014/01/3d-chef-jet-pro-drukarka-ktora-wydrukuje-slodycze>
- [7] <https://www.youtube.com/watch?v=WFH7lqLP-AQ>
- [8] <http://www.chip.pl/news/sprzet/drukarki-i-skanery/2013/12/foodini-drukarka-drukujaca-jedzenie-trafi-do-sprzeda-zy-w-polowie-przyszlego-roku>
- [9] <https://i.ytimg.com/vi/rPngd9NkX3A/maxresdefault.jpg>
- [10] <https://pl.wikipedia.org/wiki/Hydroponika>
- [11] http://www.cleanroom.com.pl/pokaz_produkt.php?id=20
- [12] <http://www.cometsystem.pl/pl/produkty/przetworniki-i-regulatory-temperatury-wilgotnosci-cisnienia/h5424-przetwornik-st/reg-H5424>
- [13] <http://www.satel.pl/pl/produktid/97>
- [14] <http://www.bhp.abc.com.pl/czytaj/-/artykul/apteczka-na-terenie-zakladu-pracy-jej-wyposazenie-i-obsluga>
- [15] <http://www.bbc.com/news/health-35254508>
- [16] <http://wiadomosci.onet.pl/swiat/spacex-dokonal-historycznego-ladowania-rakiety/ec8rdr>

- [17] <http://www.spidersweb.pl/2016/04/spacex-mars.html>
- [18] <https://pl.wikipedia.org/wiki/SpaceX>
- [19] <http://www.gq.com/story/elon-musk-mars-spacex-tesla-interview>
- [20] <http://observer.com/2016/04/elon-musk-says-spacex-city-on-mars-will-be-announced-in-guadalajara-mexico/>
- [21] http://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/m16-025_0.jpg
- [22] <http://www.smithsonianmag.com/history/neil-armstrongs-spacesuit-was-made-by-a-bra-manufacturer-3652414/?no-ist>
- [23] <http://gadzetomania.pl/3987,historia-skafandrow-kosmicznych-cz-3>
- [24] <http://www.armaghplanet.com/blog/wp-content/uploads/2013/02/IMAGE-of-MK3-spacesuit.jpg>
- [25] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dd/Z-1_Spacesuit_Prototype_-_standing_Nov_2012.jpg
- [26] http://plaztikmag.com/blog/wp-content/uploads/2012/08/moon-walk_small.jpg
- [27] http://next.gazeta.pl/internet/1,104530,13966221,Dlaczego__Odpowiadamy_na_Wasze_pytania__7.html
- [28] http://www.scienceinschool.org/sites/default/files/articleContentImages/19/habitat/issue19habitat10_1.jpg
- [29] http://www.nasa.gov/audience/foreducators/k-4/features/F_Recycling_for_Moon.html
- [30] <http://www.launch.org/>
- [31] <http://www.launch.org/challenges/waste>
- [32] <http://science.sciencemag.org/content/340/6136/1080>
- [33] http://janek.kozicki.pl/phdthesis/kozicka_2008_PhD_pl_lowres.pdf
- [34] [en. www.ichp.pl/attach.php?id=587](http://en.ichp.pl/attach.php?id=587)
- [35] <http://www.izolacje.com.pl/artykul/id1656,aerozele-krzemionkowe-jako-komponent-nowoczesnych-izolacji-ciepnych>
- [36] http://www.schott.com/advanced_optics/english/products/optical-materials/zerodur-extremely-low-expansion-glass-ceramic/zerodur/index.html
- [37] <http://losyziemi.pl/mars-zabezpieczenie-przed-promieniowaniem-kosmicznym>
- [38] <http://www.milmix.ksu.pl/sklep/termometr-st9280300-sond%C3%82%C4%85-przewodzie-p-4.html?osCsid=0c1b43ce4173dfa5334628cd7b278661>
- [39] <http://www.analizatorygazow.com/pl/analizatory-jakosci-powietrza/33-ieq-check-analizator-jakosci-powietrza.html>
- [40] <http://www.mera-sp.com.pl/katalog-produktow/przyrzady-pomiarowe/higrometry/higrometr-inspekcyjny-eti-6100>
- [41] <http://www.mera-sp.com.pl/katalog-produktow/przyrzady-pomiarowe/barometry/manometr-testo-511>

- [42] <http://odkrywcyplanet.pl/mars/>
- [43] <https://pl.wikipedia.org/wiki/Mars>
- [44] http://www.deltami.edu.pl/temat/astronomia/2015/07/21/Wycieczka_na_Marsa/
- [45] <http://www2.chemia.uj.edu.pl/~zcho/dydaktyka/prezentacja%20uv%202013.pdf>
- [46] <http://www.hngn.com/articles/44672/20141003/photosynthesis-free-oxygen-created-in-one-simple-step.htm>
- [47] <http://motherboard.vice.com/read/scientists-turned-carbon-dioxide-into-oxygen-by-zapping-it-with-a-laser>
- [48] <http://www.nap.edu/read/9182/chapter/8#39>
- [49] <https://pl.wikipedia.org/wiki/Tlen>
- [50] <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-3083040/How-make-oxygen-MARS-Nasa-plans-use-bacteria-algae-help-support-human-colony.html>
- [51] <http://www.permanent.com/space-colonization-ecology-celss.html>
- [52] <http://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?release=2007-030>
- [53] <http://www.benchmark.pl/aktualnosci/nasa-resolve-ksiezyc-wytwarzanie-wody-tlen.html>
- [54] <http://www.mars-one.com/faq/health-and-ethics/will-the-astronauts-have-enough-water-food-and-oxygen>
- [55] <http://www.proxim-solutions.com/#!/pfog/c380>
- [56] "The International Mars Research Station", Shaun Moss, 2015, ISBN-13: 978-1508927716
- [57] <http://www.marspapers.org/papers/MAR98058.pdf>
- [58] https://en.wikipedia.org/wiki/International_Space_Station
- [59] [https://en.wikipedia.org/wiki/Spirit_\(rover\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Spirit_(rover))
- [60] <http://www.universetoday.com/21293/despite-dust-storms-solar-power-is-best-for-mars-colonies/>
- [61] <https://marssettlement.org/2013/05/31/options-for-energy-production-on-mars/>
- [62] <http://albaenergy.com/2016/02/5-surprising-things-you-can-learn-about-solar-power-from-the-martian/>
- [63] <https://www.sciencedaily.com/releases/2013/01/130118064733.htm>
- [64] <http://tvnmeteo.tvn24.pl/informacje-pogoda/ciekawostki,49/jak-dlugo-na-marsa-od-kilku-minut-do-kilkuset-dni,114039,1,0.html>
- [65] https://en.wikipedia.org/wiki/Colonization_of_Mars#Relative_similarity_to_Earth